

平成 22 年度
農業用ロボット等の技術ロードマップ
構築に向けた調査研究報告書

平成 23 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
財団法人 製造科学技術センター



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp>

序

我が国機械工業における技術開発推進は、ものづくりの原点、且つ、輸出立国維持には必須条件です。

しかしながら世界的な経済不況脱出で先進国の回復が遅れている中、中国を始めとするアジア近隣諸国の工業化の進展と技術レベルの向上は進んでいます。そして、我が国の産業技術力の弱体化など将来に対する懸念が台頭してきております。

これらの国内外の動向に起因する諸課題に加え、環境問題、少子高齢化社会対策等、今後解決を迫られる課題も山積しており、この課題の解決に向けて、技術開発推進も一つの解決策として期待は高まっており、機械業界をあげて取り組む必要に迫られております。

これからのグローバルな技術開発競争の中で、我が国が勝ち残ってゆくためには、ものづくり力をさらに発展させて、新しいコンセプトの提唱やブレークスルーにつながる独創的な成果を挙げ、世界をリードする技術大国を目指してゆく必要があります。幸い機械工業の各企業における研究開発、技術開発にかける意気込みにかげりはなく、方向を見極め、ねらいを定めた開発により、今後大きな成果につながるものと確信いたしております。

こうした背景に鑑み、当会では機械工業に係わる技術開発動向に係わる調査のテーマの一つとして財団法人製造科学技術センターに「農業用ロボット等の技術ロードマップ構築に向けた調査研究」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

平成 23 年 3 月

社団法人 日本機械工業連合会
会 長 伊 藤 源 嗣

はしがき

わが国は戦後一貫して、製造業による国づくりを目指し、80年代末には、世界最高水準の経済大国となった。その後、バブル経済の崩壊、新興工業国の追い上げ、地球規模の環境問題の深刻化、わが国における少子高齢化の進行等の問題に直面しているが、資源小国の日本が、その経済を成り立たせていくためには科学技術によって経済価値を生み出し、それによりエネルギー、資源、食料を獲得していく必要があるというのは国民的なコンセンサスといっても良いであろう。

そこで、本調査では、今後の科学技術政策の課題であるライフ&グリーンイノベーションを実現するRT (Robot Technology) に焦点を当て、その実用化を計画的に推進するための技術ロードマップ構築の基礎となる調査を行った。これまで実施されてきた調査研究の結果を最大限利用し、それに現場をふまえた議論を委員会形式で重ねることで、ロボットの実用化を阻んでいる課題を浮き彫りにして、それらに対抗できる方策を議論した。

本調査では、ロボットを積極的に社会に導入して活用するために「ロボットの社会実装」という概念を提案し、様々なロボットの導入分野について社会実装を可能にするための方策を検討した。確たる社会的要請に合致したRTサービスを、地方自治体や中小のシステムインテグレータ、そして「町全体」「病院まるごと」サービスで必須の基幹事業を担う大企業を連携して実現すると、新たなバリューチェーンが形成されるという仮説を立て、関連する事例を示した。

本調査のタイトルに掲げた「農業」という言葉は、産業資源としてのバイオマスや、食の豊かさをイメージできる言葉であり、環境保全の取り組みを日本の成長につなげるグリーンイノベーションと、健康社会をかなえるライフイノベーションと密接に関わる。同時に、農業用ロボット実現の手立てとなるRT技術基盤は多岐に渡り、広くロボット共通の基盤となるため、これらを象徴化して報告書タイトルに用いた。本報告書は、日本がロボット先進国としての地位を維持する為の手引書と言える。関係各位の今後の企業／産学戦略の一助になれば幸甚である。

平成 23 年 3 月

財団法人 製造科学技術センター
理事長 庄山悦彦

平成 22 年度 農業用ロボット等の技術ロードマップ構築に向けた調査研究委員会

委員名簿

委員長

佐藤 知正 東京大学 大学院情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 教授

委員

浅間 一 東京大学 大学院工学系研究科 精密機械工学専攻 教授

石黒 周 (株)MOTソリューションズ 代表取締役

平井 成興 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 副所長

吉見 卓 芝浦工業大学 工学部 電気電子学群 電気工学科 教授

廣瀬 通孝 東京大学 大学院情報理工学系研究科 知能機械情報学専攻 教授

光石 衛 東京大学 大学院工学系研究科 機械工学専攻 教授

藤井 輝夫 東京大学 生産技術研究所

マイクロナノメカトロニクス国際研究センター 教授

森 武俊 東京大学 大学院医学系研究科 医学部 ライフサポート技術開発 寄付
講座 特任准教授

田所 諭 東北大学大学院 情報科学研究科 応用情報科学専攻 教授

福田 敏男 名古屋大学 工学研究科 マイクロ・ナノシステム工学専攻 教授

菅野 重樹 早稲田大学 理工学術院 創造理工学部 総合機械工学科 教授

大道 武生 名城大学 理工学部 機械システム工学科 教授

平野 晋 中央大学 総合政策学部 教授

川嶋 弘尚 慶應義塾大学 名誉教授

新保 史夫 慶應義塾大学 総合政策学部 准教授

古田 貴之 千葉工業大学 未来ロボット技術研究センター 所長

北野 幸彦 パナソニック(株) 生産革新本部 ロボット事業推進センター
商品開発 制御担当 リーダー

松日楽信人 (株)東芝 研究開発センター 機械・システムラボラトリー 技監

小平 紀生 三菱電機(株) FAシステム事業本部 機器事業部 主管技師長

大西 献 三菱重工業(株) 神戸造船所 原子力機器設計部 装置設計課 主席技師

瀬川 友史 (株)三菱総合研究所 先進ビジネス推進本部 研究員

小林 正啓 花水木法律事務所 弁護士

菊地 聡 伊藤忠テクノソリューションズ(株) 科学システム事業部 新エネルギー・
インフラ事業推進部 担当部長

村上 弘記 (株)IHI 技術開発本部 管理部 技術企画グループ 主幹

伊藤 健三 (株)ニチイ学館 経営企画本部 神戸ポートアイランドセンター 執行役員

柳原 好孝 東急建設(株) 技術研究所メカトログループ グループリーダー

萩田 紀博 (株)国際電気通信基礎技術研究所 知能ロボティクス研究所 所長

大場光太郎 独立行政法人 産業技術総合研究所 知能システム研究部門
ディペンダブルシステム研究グループ 研究グループ長

西田 佳史 独立行政法人 産業技術総合研究所 デジタルヒューマン工学
研究センター 生活・社会機能デザイン研究チーム チーム長
柴田 崇徳 独立行政法人 産業技術総合研究所 知能システム研究部門
知的インターフェース研究グループ 主任研究員
村井 健介 独立行政法人 産業技術総合研究所 関西センター
ユビキタスエネルギー研究部門 光波制御デバイスグループ 主任研究員

オブザーバ

木下 裕絵 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長
鈴木慎一郎 経済産業省 製造産業局 産業機械課
鈴木 泰 東京都産業労働局商工部 創業支援課 創業支援係
伊野本憲彦 東京都「都市機能型産業振興プロジェクト推進事業」
ロボット産業活性化推進機構 アドバイザー

事務局

瀬戸屋英雄 (財) 製造科学技術センター 専務理事
加藤 雅弘 (財) 製造科学技術センター ロボット技術推進室 室長
笹尾 照夫 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 部長
間野 隆久 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 部長代理
町田 泰亮 (財) 製造科学技術センター FA オープン推進室

委員以外の執筆者

鍵田 智也	社団法人関西経済連合会 産業部
中島 健祐	デンマーク大使館 インベストメント・マネージャー
中山 薫	つくば市 経済部 産業振興課 課長
杉井 清昌	セコム株式会社 IS 研究所 顧問
森口 智規	村田機械株式会社 研究開発本部 京都 R&D センター 課長
田中 聖人	京都第二赤十字病院 医師
高本 陽一	株式会社テムザック 社長
宮下 敬宏	株式会社 国際電気通信基礎技術研究所 知能ロボティクス研究所 境知能研究室 室長
秋元 大	セグウェイジャパン株式会社 取締役
池田 博康	独立行政法人 労働安全衛生総合研究所 上席研究員
藤川 達夫	財団法人 日本自動車研究所 ロボットプロジェクト推進室 室長
徳納 孝昭	株式会社 損害保険ジャパン 企画開発部 課長
中村 孝之	積水ハウス株式会社 総合住宅研究所 納得工房長
藤岡 睦久	獨協医科大学 名誉教授
神徳 徹雄	産業技術総合研究所 知能システム研究部門 タスク・インテリジェンス研究グループ 研究グループ長

Summary

本報告は、ライフ&グリーンイノベーションロボットについて、その実用化、産業化の観点から調査研究した結果をとりまとめたものである。第 1 章では、我が国の成長戦略、第 4 期科学技術基本計画に提示されているライフ&グリーンイノベーションロボットを概観し、本調査研究のドメインを明確にした。ロボットの実用化においては、実現したロボットを社会に組み込んで持続性のある運用をしてみることで、これを育てることが重要である。本調査研究では、このような観点から、報告書の第 2 章を、ロボットの社会実装とし、社会実装にあたって考えねばならないこと、その実際例を提示した。第 3 章は、そのような社会実装すべきロボットの課題分野と、解決デザイン、それに求められる機能と要素、そしてその実現技術を示した。第 4 章はまとめで、課題領域において、ロボットを社会実装してみせ、これを永続的に利用することを通じて育て上げてゆける持続性のあるロボット活用コミュニティによる社会実装プロジェクトを新しく立ち上げることの提案と、具体的プロジェクトとその研究体制としての日本総合ロボット研究所を提案して、その結論としている。

Executive Summary

緒論

本調査では今後の科学技術政策の課題であるライフ&グリーンイノベーションを実現するロボットテクノロジー（RT：Robot Technology）、ないしはロボットに焦点を当て、その実用化を系統だって推進するための戦略と戦術に関する調査を行った。本調査研究は、これまで実施されてきた技術の中核とした調査研究とは異なり、RTを社会に実装する側面を中心に、現場をふまえた意見と、これまでに蓄積された議論をふまえた意見に委員会形式による議論をつみ重ねることで、ロボットの実用化を阻んでいる課題を浮き彫りにして、それらに対抗できる方策を探った。

まず第1章の前半では、我が国の成長戦略や、第4期科学技術基本計画で言及されているライフ&グリーンイノベーションロボット分野を整理した。次に第1章の後半で、ロボットの社会実装の議論のスタート地点を明らかにした。

本調査の根底にある問題意識は、なぜロボットの研究開発は盛んなのに、その成果がほとんど実用化されない、産業化されないのかという点にある。単に技術だけの問題ではなく、社会的な視点を持つことが重要である。つまりロボットおよびロボット技術の成果をいかに社会で活用していくかというシーズ側からの発想にとどまらず、社会の発展のためにロボット技術がどのように使えるのかというニーズ側からの視点、それも真の需要者を取り込んだ社会サービスとして実装していくという発想が必要である。

ロボットの実用化を阻む諸問題について、生活支援ロボットを対象として検討を行った。それらは次のようなものである。

貧乏問題：製品が市場を獲得し産業として続いて行けるためにはある程度の市場規模が必要である。生活支援ロボットは多種多様なロボットが必要とされるが、そのどれもが市場規模としては小さいため大量生産のメリットがなく、大企業が手を出しにくい。

パトロン不在問題：一つの技術が社会イノベーションをなしとげるためには、その技術の守り手（パトロン）が不可欠である。生活支援ロボットのユーザパトロンとして相応しいのは福祉の現場をもつ地方自治体であろうが、問題なのは、自動車会社と異なり市の福祉課は、“研究開発のためのお金および口出しのための知恵”を潤沢には持ち合わせていなかったり、現場対応にもてる時間と手間と資金をとられてしまっていることが多いことである。

ロボットプロジェクト設定の困難問題：シーズオリエンテッドプロジェクト、ミッションオリエンテッドプロジェクト、ユーザ巻き込みプロジェクトなど様々なロボットプロジェクトが、これまでに組み込まれてきたが、サービスロボットは、まだ実用化レベルに達したプロジェクトは存在しない。シーズオリエンテッドプロジェクトでは研究者の興味本位のものに偏り、実社会のニーズを満たすものにならない。ミッションオリエンテッド

プロジェクトプロジェクトの場合、アポロ計画のように目標が明確かつ具体的でないとも効果がない。”2015年までに福祉ロボットを実用化せよ”という目標ではどのようなロボットをつくれればよいのかということすら明確にならない。

これらロボットの実用化を阻む問題点に対抗しつつ、社会実装を視野にいれつつライフ & グリーンイノベーションロボットの研究開発にとりくむ際に不可欠な連携戦略として、バリューチェーンアプローチと生活機能実現アプローチに注目した。

バリューチェーンアプローチは、具体的な RT システムの社会実装にかかわるすべてのステークホルダーが何らかの価値創造を行えることを要求するものである。ライフ、グリーンイノベーションロボットの実用化、社会実装の推進には、地方自治体、ボランティアや NPO、中小企業、大企業、金融機関や商社、大学や国内外の研究機関、そして国が連携した総合展開が求められる。地方自治体は、ライフ関連つまり介護や福祉、そして市民生活関連では、その税金執行をふくめた現業領域であり、グリーン関連では、原発やエネルギーを消費する市民生活に最終的に責任をもつ業務領域である。最終的に地方自治体が参画しない活動は、社会的に認知、持続しない。また、人によっておかれた状況が多様な高齢者や市民に、きめ細かく広く対応するためには、病院や施設のみならず、ボランティアや NPO による活動支援が不可欠である。ボランティアや NPO の多様なサービスは、ベンチャーや地域の中小企業の支えにより強化され、そのサービスインフラ（例えば、高齢者データベース、クラウド環境やロボットのハードウェアおよびソフトウェアプラットフォーム）は大企業しか提供しえない。ロボットサービスを社会で機能させ広める際には、これまでになかったビジネスモデルが求められており、金融や流通セクタの果たす役割は大きい。法律や社会制度の改変も含めた強力な戦略的取り組みは、地方および国のイニシアティブ無しにありえない。大学や研究機関の技術のみならず、長期的展望に立った社会のありかたをふくめたエビデンスベーストな提案（グランドデザイン）とそれに基づいた地域との共創知が、社会との連携を視野にいれた新しい科学技術分野を創る。

生活機能アプローチは、人が生きることの全体像をふまえ、市民の生活の理想的なありかたを出発点とし、その実現に必要な様々な生活機能をシンセサイズしてゆく（構成してゆく）という視点で技術の導入を行うものである。生活機能とは、人が生きる時に必要とする機能のことである。生活機能という概念は、21 世紀初頭に WHO が出した ICF(International Classification of Functioning 国際生活機能分類)の根底をなす概念であり、ICF においては、人の生きる機能である心身機能・構造、活動機能、そして参加機能に関して、そこに含まれるキーワードを、人が生きることの全体像を表現する共通言語として、網羅、分類して提示している、介護、福祉ロボットを考える時に、高齢化によって欠如した機能を補うという視点ではなく、これらの人のもつ生きるための働き (Function) を機能させる (Functioning) という方向性が、その知見の完備性、市場の広がりを考えるうえで、重要である。具体的にいうと、心身機能・構造については、これまで医工連携の立場から追求されており、活動機能については、介護の観点から追求されてきた。これらを、不足した機能を補うという観点ではなく、生きるための機能化というポジティブな視点からの取り組みが、これからのロボティクスで求められる。さらに、参加機能に関しては、家族の崩壊が声高に叫ばれ、高齢者の社会参加の重要性が強く認識している状況を踏

まえての方向性と取り組みが、強く要請されている。

その一方で、生活機能を支えるインフラ分野においても、エネルギーや、環境問題を解決するソリューションとしてのロボットが重要となる。単にロボットを導入したら事足りりとするのではなく、ソリューションとしてのロボット技術の利用を目指すべきである。

第2章では、ライフ&グリーンイノベーション RT (ロボット技術) の社会実装をやや詳細に論じている。

RT の社会実装が進んでいない理由のひとつに、人々が RT 導入の姿を誤解していることがあげられる。単体のロボットが、自動車のように移動機能が実現されていれば、すぐにも使われるという誤解である。ロボットに求められる機能は、後述するように社会基盤的であるし、仮に、特定の機能が求められる場合にも、経済合理性からロボット以外の代替手段のほうが有効であるという誤解につながり RT 導入の妨げとなっている。既存のロボットに拘らず、産業や社会のシステムレベルで解決すべき課題を見据え、人とロボットの役割をきちんと考え、そこに RT がどのように使えるか社会変革とインテグレーションの発想が必要である。「ロボットが単にある機能を持った生活・社会を構成する部品」というだけでなく「ロボットが人間の基本的な機能を人間と協調・協働しながら担う存在として、人間を中心に組み立てられている従来の社会システムを置き換える基盤」であることを認識することが重要である。

これは産業化ロボットのサービス分野展開に重要な視点である。サービスプロセスのロボット化を機に従来と全く異なる新たなサービスプロセスに切り替えていくと言うアプローチが必要である。しかしサービス提供者側とロボット/RT 提供者側のビジネスモデルは全く異なっていることから、既存機器のロボット化と異なりかなり困難である。RT システムプロデューサーと呼ぶプレーヤが中核となってロボット化による新たな製品/サービス事業を興すようなことが求められる。RT システムプロデューサーは、対象となるサービス事業領域の知識と RT に関わる知識を持ち、それらを組み合わせた新たなサービスイノベーションによるビジネスモデルを構築できる企業/人材である。

社会システムにまで及ぶためには地域や自治体を巻き込んだ活動が RT の社会実装には必須である。1999年から始まった最初の次世代ロボット産業化ブームの中で2002年に福岡市、大阪市といった大都市が次世代ロボット産業化に向けた施策展開を開始している。つづいて、北九州市、福岡県、神戸市、神奈川県、川崎市、岐阜県などが産業化に乗り出し、その後、富山県、つくば市、青梅市などもロボット産業創出を試みてきている。第2章にはこれらの詳細が紹介されている。

必ずしもこれらの事例のすべてが順調というわけではないが、これらの事例における経緯から得られることとして、地域におけるロボット/RT の社会実装のプロセスは以下のプロセスが望ましいと考えられる。

- ① 地域の強みを活かしたゴールイメージ (ターゲット) の策定、提示、共有
- ② ゴール達成のための戦略 (仕組みとアプローチ) の立案
- ③ 首長のコミットと重要な行政施策としての位置づけ (予算化)
- ④ ゴール実現に関わる分野ごとの有力なプレーヤの発掘と巻き込み
- ⑤ 方向性に沿った新ビジネス創出の人材とベンチャー支援の仕組みの構築

- ⑥ 方向性に沿った連携構築の仕組みの構築
- ⑦ 実現に向けた法規制の見直しと特区活用による実証試験の推進
- ⑧ 市民（潜在ユーザー）に対する受容性向上と仮説検証

そして地域がロボット／RTの社会実装と産業化を成功させるために改善し、変えていかなければならないポイントとして以下のようなものがある。

- ① アーキテクトの役割の人材：産業化の経験があり、具体的なプロデュース能力（主にグランドデザインと連携促進）を保有している人材がいるか。
- ② ロボット／RTの活用による新産業の重要性が認識されており、地域としてのゴールイメージあるいはドメイン、戦略的なアプローチの検討が行われているか：ロボットの産業化や社会実装に予算がつけられ、推進のための専任が設定されているか。
- ③ 地域の首長がコミットしているか。有力なプレーヤがそろっているか。またそれぞれがそれぞれの専門の立場で対等に参画しているか。それらの専門家が研究者やモノづくり企業に偏っていないか。
- ④ ビジネスモデルがイメージされているか：単なるモノづくり、マスマーケティングーマスプロダクションモデルになっていないか、新しいビジネス創出を支援する体制が整っているか。
- ⑤ 法規制の強化／解除、導入助成や調達など社会的な受け入れ体制づくりに自治体側が取り組んでいるか。

RTと社会の係りについて、より根源的なレベルからの議論も必要である。本報告ではこれを社会システムデザインと社会システム構築プロセスとして考察を行った。

社会システムとは、「消費者あるいは生活者に対して価値提供をする体系的仕組み」を指し、その基本的性格は縦割りに構成されている既存産業、およびそれに関わる既存省庁に横串を通したものである。代表的なものには、国防システム、金融システム、医療システム、教育システム、観光システム、交通システム、住宅供給システム、訴訟システム、産業廃棄物処理システムといったものがある。社会システムデザインとは、バラバラの性能要素とそれに応えるバラバラの構成要素を、全体と部分とがつじつまが合うようにまとめ上げて価値提供の仕組みを構築することをいう。生活者の価値観の大きな変化、社会のインフラとなる技術の変化、規制緩和などにより社会システムの変革が必要とされ、またそれが動き出すことがある。

前述のようにロボット／RTは社会のインフラとなる技術となりうるもので、従来の社会システムの中の局所的な改良ではなく、今後のロボット／RTの進化を織り込んで新たな社会システムごと設計しなおすことが重要である。交通システム、産業廃棄物処理システム、国防システム、医療システム、セキュリティシステムなどはその対象となる領域であろう。

この社会システムのデザインのアプローチを特に高齢化対応の社会システムや低炭素社会システムといった日本が先頭を切って直面し、今後世界中の国々がその課題を抱えることになるテーマに対して、現在の対処療法的な課題解決のアプローチに対して、十分な

説得力を持つ形で適用していく必要がある。

さらに、社会システムデザインを推進するためには、特に経済的合理性の評価の方法論を見直し、ボランタリー経済の金銭経済価値評価も重要となるのではないかと考えられる。ボランタリーな活動によって支えられるサービスにかかるコストがいくらで、それがどのくらいの経済的価値を生んでいるのかといったボランタリー経済の金銭経済価値の評価を正しく行い、客観性をもって RT 導入判断の指標とすべきである。上記のような社会システムデザインは、日本では具体的な事例さえ非常に少ないと考えられるため、こうしたアプローチを指向している海外の国との連携により、その方法論や推進のヒントを得たり、社会的課題ごとに共同で検討することも必要であろう。例えば、高齢化対応社会システムといったテーマに関しては介護ロボットの導入で先進的取り組みを進めているデンマークと連携するといったことが考えられる。

これまで述べてきたことを踏まえ、ロボットの社会実装とそれに伴う産業化を促進する具体的方策として以下のようなものが有効と思われる。

(1) 社会システムデザイン推進機構の設置

社会システムデザインの方法論を確立していき、新たにデザインされた社会システムが説得力を持って社会に受け入れられていき、かつそれがよりよい社会として改善されていくプロセスをまわしていくことを推進する仕組み、たとえば社会システムデザイン推進機構と呼ぶような組織を立ち上げて活動を展開。

(2) 総合特区等活用による社会制度等の変革の下での、あるいは先進的社会制度の国家との連携を活用した新たな社会システム実証の推進

民意を受けた強力なリーダーシップを持つ首長のもとで、社会的課題解決を実現しようとする地域・コミュニティが総合特区等を活用し、規制緩和と同時に規制の強化や政府調達ならびに新技術導入に伴うリスクを軽減化する方策（安全に関わる規格、標準化、PL法、損害保険適用など）を取り入れることによって、(1)で描かれた社会システムを実証。同時に、共通の社会課題を持ち、その解決のための社会制度変革の先進的な国家（たとえば、高齢化対応社会では、デンマークなど）との連携による実証の推進。

(3) オールジャパン・ロボット／RT コミュニティシステム構築会社（日本ロボット事業推進機構）の設置

国が日本の先行モデルとして(2)を位置づけ、その実証システム構築を実現しうるオールジャパンの企業連携組織に委託し、社会課題を解決する社会システムパッケージの構築、販売、メンテナンスの実施と他地域ならびに海外への展開を推進。特に、国税を投入して社会システムの実証を行うことにより、従来に比べ、QOL と効率性が向上されることによる社会的コストの減少と、その社会システムパッケージの、海外への販売が生む日本の経済成長と税収増につなげる。

(4) 社会実装に伴う産業化のための戦略的アプローチを指向

「ロボットの定義やその呼び名を含む社会的な認識を、ロボット／RT によって実現しうる価値の観点から表現し、共有する」「ロボット／RT 産業の基本的な進展プロセスを認識したうえでどのようなアプローチとどのようなアウトプットを目指すのかを明確にする」「ロボット産業のフェーズや日本の競争的ポジションなどに応じたビジネスモデルを創出する（マスマーケティング・マスプロダクション型を前提とせず、新たなビジネスモデルの検討に対し、ロボット／RT の研究・技術の検討に注力するのと同等に注力すべき。）」

「ロボットハードウェア開発ビジネスよりも、全体システム（原発システムなど）やインフラ（交通システム、タウンマネジメントシステムなど）へのロボット／RT のインテグレーションやサービスプロセスへのロボット／RT 組み込みによるサービスイノベーションの実現を軸に事業化、産業化を検討する」「ユーザーイノベーションを創発する方法、たとえば、モジュラーアーキテクチャーやオープンソースなどによりユーザードリブなイノベーションを誘発する」「トータルバリューパッケージング（エコシステム）ビジネスを指向し、知的財産、標準化、オープン化をコントロールしてエコシステムとしての競争優位性を持った産業として戦う」

(5) アーキテクト（社会システムデザイナー／ビジネスアーキテクト）の育成

ロボットの社会実装の鍵が、QOL と効率性を同時に持ち上げることを可能とするロボット／RT を基盤技術とした社会システムデザインであることを述べた。また、産業化の鍵は、ギャップのあるプレーヤ間をネットワークして新たな顧客価値を実現しうるトータルバリューパッケージングによるビジネスモデルであることを述べた。これらの中核となる人材がアーキテクトである。社会システムデザインの方法論を身につけ、社会的課題を解決しうる新たな社会システムを構想し、設計できる人材「社会システムデザイナー」と新たな顧客価値の仮説とビジネスモデルを立案し、それを実現しうるネットワークを構築して事業を創出する人材「ビジネスアーキテクト」が数多く登場してこなければならない。従来行われてきた科学技術人材の育成だけでは、こうした科学技術を社会的価値、市場価値に転換して生み出される新たな社会や産業を創出していくことは困難であろう。

第 3 章では、社会ニーズに基づく RT の課題と技術に関する調査をまとめた。RT の課題の対象としたのは、環境分野、福祉分野、介護分野、環境モニタリング分野、医療分野、防災分野、原子力分野、住宅分野、建築・土木分野、農業分野、教育分野、製造業分野、運輸分野、研究開発分野である。技術に関しては、ライフログ技術、クラウドネットワークサービス技術、サービスコンテンツ技術、パーソナルモビリティ技術、エコロジー技術、マイクロ・ナノロボット技術、RT ミドルウェアを取り上げた。

ロボット技術のニーズは、多様な分野に存在する。これまで、ロボット技術開発においては、ロボット技術を様々な分野へ応用するという考え方で、多くの取り組みが行われてきた。経済産業省が日本ロボット大賞の中で定義しているように、ロボット技術を「センサ、知能・制御系、駆動系の 3 つの技術要素を有する知能化した機械システム」技術と捕らえると、それは基盤的な技術と考えることができる。それを、様々な分野での作業、運搬、センシング、ヒューマンインタフェースなどに適用することで、自動化や支援システ

ムの構築を行い、効率化や省力化、安全化、新しい価値創造などを図ろうとする試みが行われてきた。しかるに、単にロボット技術として開発されたものを、応用しようとする試みだけでは、実用化に至らなかったり、ましてや製品化・事業化できないケースも多かった。

その一つの大きな理由は、それぞれのニーズ分野において、実際にどのような機能や技術が必要とされているのかを十分調査・分析をせずに、安易にロボット技術を応用しようとしたことが挙げられる。ニーズ分野で活用されるシステムを開発するには、真のユーザが誰であるか、それが現場でどのように使用されるかを明確にする必要があるし、使い勝手やコストまでも考えたシステムデザインを行う必要がある。

そこで本章では、このようなシーズ駆動の **push** 型のシステム開発ではなく、ニーズ駆動の **pull** 型のシステム開発を前提とした上で、課題分野と新しい基盤技術の二つの切り口で、今後の開発の方向性を検討した。

まず、ロボット技術をどのような分野でどのように応用するのかではなく、産業分野としてどのような課題分野が存在し、その中でどのようなロボット関連技術のニーズが存在するかという観点で、開発すべきロボット技術の明確化を試みる。特に、新成長戦略に基づき、ライフ&グリーンロボット技術という観点から検討を行った。なお、ここで挙げられた分野は、GDPの算出などに用いられる分野を意識しながら、ロボット技術の導入の可能性のある分野をピックアップした。具体的には、①社会や地域からどのような要請があるのか、②従来の開発事例を鑑み、どのような技術的問題が残され、解決することが求められているか、上記要請に対しどのようなサービスイメージが考えられうるか、③事業化を行う上での技術的課題以外にどのような課題が存在するか、などについてそれぞれの課題分野ごとにまとめた。

また、様々なニーズに応えるのに、今後重要になると考えられる、ライフ&グリーンロボットに関連する最新の基盤的技術をピックアップし、それぞれの技術の観点からも、上記の検討を行った。

以上、ニーズに基づき、ライフ&グリーンロボット技術という観点から、各課題分野において求められている社会的要請、具現化するサービスイメージ、今後解決すべき課題などについて述べるとともに、今後重要になると考えられる、ライフ&グリーンロボットに関連する最新の基盤的技術として、ライフログ技術、クラウドネットワークサービス技術、サービスコンテンツ技術、パーソナルモビリティ技術、エコロジー技術（エネルギー消費低減化システム）、マイクロ・ナノ技術、RTミドルウェアなどを取り上げ、それをライフ&グリーンロボット技術として適用し、社会実装していく課題等についてまとめた。

ここで明確となったのは、ロボット技術は、半導体技術などと異なり、材料、デバイス、部品といった中核となるハードウェア要素が存在するわけではなく、ニーズや、要求される機能に対し、それを解決するためのアルゴリズムやシステムインテグレーション技術こそが中核をなしているということである。ロボット工学の体系に関しても、いわゆる運動学・動力学などを除けば、固有のディシプリンが存在するわけではない。それは、機械工学、制御工学、情報処理といった一般的なディシプリンを総合的に活用し、非常に自由度

の高いシステムをうまく設計・構築し、計測・制御・運用するという、システムティックな問題解決技術なのである。

このように考えると、今後、ライフ&グリーンロボット技術の事業化を進め、社会に普及させるためには、要素技術開発やシステム設計・インテグレーションを行うロボット技術者とニーズ分野ごとの利用者とが一体となった各種プロジェクトと、システムインテグレーションを容易にするような基盤技術開発、環境構築、人材育成を行うプロジェクトを並行して実施することが肝要である。

また、これからの高齢社会において、日本の生産性をいかに維持するかも一つの重要な社会的課題であり、この課題の解決を図る一つの有効な手段として、ライフ&グリーンロボット技術を活用し、高齢者や身体障害者の労働を可能にするような労働支援システム(物理的支援・情動的支援を含む)を開発するプロジェクトなども検討すべきであると考えられる。

第4章の結論では、まず、本調査研究で議論してきたRTシステムないしはロボットが実用された場合の商品としての姿を、自動車のように販売時点で機能が完成している商品ではなく、ユーザとともにその機能を創造してゆく商品としての姿を示し、このような商品は、それを制作し、育成する“ロボット活用育成コミュニティ”により初めて可能になることを示した。第1章で提示したバリューチェーンの別の表現である。次に、本調査研究で議論してきたロボットの新規プロジェクト構想をまとめた。代表的なものは、地域に根差したプロジェクトとして、医療・介護・福祉システムとモビリティシステムを、そして、ロボットインフラプロジェクトとして、原子力施設や製造システムに関するプロジェクトを提示した。ただし、今回の調査が行われたのは平成23年3月11日の東日本大震災の前であり、この未曾有の震災がもたらした社会システムへの影響については議論に含まれていない。今回の大震災から従来の社会の問題点を分析し、その克服を視野にいたした社会像のもとでRT活用の将来像を考える必要がある。社会インフラシステムの安全性について、より高度なものが求められるであろうし、産業から家庭生活まであらゆる場面でエネルギー消費を抑えることが必須の課題になるであろう。

調査研究のスケジュール

(財)製造科学技術センターは、医療、福祉、介護、住宅、環境、環境モニタリング、原子力、防災、土木・建築、農林水産業、製造業、運輸、教育、研究開発の各分野の専門家で構成されるロボット調査研究委員会を設置して、委員会形式で調査研究を実施した。さらに、社会実装例については、委員以外の方々にも報告書を執筆して頂いた。研究の内容については、報告書第1章で述べる。下表に調査研究のスケジュールを示す。

表 スケジュール

半期別・月別 項目	平成 22 年度					
	下半期					
	10	11	12	23 年 / 1	2	3
ロボット社会実装、課題技術調査 ①論点整理 ②社会実装整理 ③課題分野整理	→				→	
④委員会の開催	第1回(10/8) 論点整理① 第2回(10/9) 論点整理②	第3回(11/30) 課題分野毎議 論		第4回(1/12) 原稿審議①	第5回(2/25) 原稿審議②	
⑤報告書の作成・公表				→	→	→

目次

序

はしがき

委員名簿

Summary

第1章 諸論	1
1.1 成長戦略と第4期科学技術基本計画	1
1.1.1 成長戦略とライフ&グリーンイノベーションロボット	1
1.1.2 第4期科学技術基本計画とライフ&グリーンイノベーションロボット	3
1.2 ロボット技術と社会実装	6
1.3 ロボットの社会実装戦略	6
1.3.1 バリューチェーンアプローチ	6
1.3.2 ロボットソリューションアプローチ	7
1.4 ロボットの実用化を阻む諸問題	7
1.4.1 生活支援ロボットは貧乏である	8
1.4.2 パトロン不在問題	8
1.4.3 ロボットプロジェクト設定の困難問題	9
1.4.4 ライフ&グリーンイノベーションロボットの実用を阻む問題群と、バリューチェーンプロジェクト	10
第2章 ロボットの社会実装	11
2.1 ロボットの社会実装概要	11
2.1.1 提示するロボットの社会実装／産業化のプロセスの前提	11
2.1.2 ロボット化ならびにロボットの産業化の進展	13
2.1.3 ロボット／RTの社会実装と産業化に関わるプレーヤ	17
2.1.4 地域におけるロボット／RTの社会実装と産業化の事例と問題点	20
2.1.5 ロボット／RTの社会実装プロセスと産業化の要諦	27
2.1.6 社会システムデザインと社会システム構築プロセス	31
2.1.7 ロボットの社会実装とそれに伴う産業化を促進する具体的方策	32
2.2 ロボットの社会実装各論	35
2.2.1 社会実装事例	35
2.2.1.1 関西次世代ロボット推進会議による都市再生プロジェクト	35
2.2.1.2 デンマークの試み	40
2.2.1.3 パナソニックの試み	45
2.2.1.4 岐阜県の試み	51
2.2.1.5 つくば市の試み	56
2.2.1.6 役に立つサービスロボットを目指して	59

2.2.1.7	セラピー用ロボット・パロの社会実装	6 7
2.2.1.8	健康分野	7 2
2.2.1.9	病院内サービスロボット	7 7
2.2.1.10	ロボット導入で病院搬送がどう変わるか?	8 2
2.2.1.11	ロボット産業に於けるベンチャー企業の戦略	9 0
2.2.1.12	大阪におけるネットワークロボットの実証実験	9 2
2.2.1.13	サービスロボット普及に向け国や自治体に期待すること	9 9
2.2.1.14	スマートコミュニティ/ヘルスケア	1 0 0
2.2.1.15	「見守り医」を組み込んだ新たな医療サービスネットワークの提案とその実現へ向けての手順と問題点について	1 0 5
2.2.1.16	近距離移動体セグウェイによる新事業開拓	1 1 0
2.2.2	社会実装の社会基盤	1 1 6
2.2.2.1	ロボット社会のデザイン	1 1 6
2.2.2.2	サービスロボットの安全性に関わる標準化の取り組み	1 2 1
2.2.2.3	次世代ロボット産業の障害になり得る法的課題について	1 2 5
2.2.2.4	対人安全性	1 3 0
2.2.2.5	損害保険	1 3 2
2.2.2.6	情報倫理（ライフログと個人情報保護）	1 3 7
2.3	2章のまとめ	1 4 1
第3章	社会ニーズに基づくロボット課題分野と技術	1 4 2
3.1	ライフ&グリーンイノベーションロボットの課題分野	1 4 2
3.1.1	医療分野	1 4 3
3.1.2	福祉分野	1 4 6
3.1.3	介護分野	1 5 5
3.1.4	住宅分野	1 6 6
3.1.5	環境分野	1 6 8
3.1.6	環境モニタリング分野	1 7 0
3.1.7	原子力分野	1 7 3
3.1.8	防災分野	1 8 1
3.1.9	土木・建築分野	1 9 1
3.1.10	農林水産業分野	1 9 5
3.1.11	製造業分野	2 0 9
3.1.12	運輸分野	2 2 1
3.1.13	教育分野	2 4 5
3.2	ライフ&グリーンイノベーションロボット技術	2 5 8
3.2.1	ライフログ技術(生活データベース技術)	2 5 8
3.2.2	クラウドネットワークサービス技術	2 7 2
3.2.3	サービスコンテンツ技術	2 7 7
3.2.4	パーソナルモビリティ技術	2 8 1
3.2.5	エコロジー技術	2 8 5

3.2.6	マイクロ・ナノロボット関連技術	299
3.2.7	RTミドルウェア	304
3.3	ニーズ分野に基づく今後のライフ&グリーンイノベーションロボット 技術開発	305
第4章	結論	308
4.1	まとめ	308
4.2	成果	308
4.2.1	問題意識と社会システム設計	308
4.2.2	調査対象：ライフ&グリーンイノベーションロボット	308
4.2.3	完成品としての製品	309
4.2.4	単機能性を活かしたロボット	309
4.2.5	汎用性（多機能性）を活かしたロボット	309
4.2.6	実用ロボット：機能をユーザとともにつくる商品、半完成品として の製品	309
4.2.7	ロボット活用育成コミュニティ	310
4.2.8	サービスとロボットの一体化商品	311
4.2.9	ロボット活用育成コミュニティによるサービス・ロボット統合システムプロジ ェクト	311
4.2.10	社会システムデザイン	311
4.2.11	社会システムを考慮したプロジェクト	312
4.2.12	新規プロジェクト構想	312

第1章 諸論

概要

本緒論の章においては、まず、成長戦略や、科学技術基本計画（第4期）において、ライフ&グリーンイノベーションが中心課題としてとりあげられていることを述べ、それに呼応してロボット分野においても、多様なライフ&グリーンイノベーションロボットをとりあげることが重要であることを述べる。つぎに、このようなライフ&グリーンイノベーションロボットの産業化は、単に技術だけでは解決できず、社会的な視点の必要性を論じる。そのうえで、ロボットを社会に実装する具体的な方法論として我々はバリューチェーンの構築に基づくプロジェクトを提案する。バリューチェーンとは、価値を生み出す複数の経済セクタが、社会の中でお互いに連鎖しあって、継続的に活動できる鎖として合理的に閉じていることである。これが閉じないということは持続的な成長ができないことを意味する。社会視点として、もう一点、重要なことがある。それは、問題を全体としてとらえ、全体像をみすえて問題解決をはかるソリューションの視点である。緒論においては、これをふまえて、現状の非産業用ロボットの実用化をはばむ問題点を整理し、それを打破するためには、ロボットの社会実装に関する検討が、ロボット技術開発とともに不可欠なことを述べる、これをうけ、本調査研究の第2章と第3章で、それぞれ、ロボットの社会実装とロボット技術を扱う。第4章は、これらの調査を踏まえた結論であり、さまざまなロボットの実用化は、そのロボットを創り、育成しつつ活用するコミュニティをベースとしたプロジェクト、ロボットを社会実装するバリューチェーンプロジェクトの重点分野を提示している。

1.1 成長戦略と第4期科学技術基本計画

1.1.1 成長戦略とライフ&グリーンイノベーションロボット

政府は、平成21年12月に成長戦略を閣議決定し、平成22年6月18日に、その詳細版である新成長戦略～「元気な日本」復活のシナリオ～を示した。そこでは、次のように成長分野を位置付けている。

日本は、世界に冠たる健康長寿国であり、環境大国、科学・技術・情報通信立国、治安の良い国というブランドを有している。こうした日本が元来持つ強み、個人金融資産（1,400兆円）や住宅・土地等実物資産（1,000兆円）を活かしつつ、アジア、地域を成長のフロンティアと位置付けて取り組めば、成長の機会は十分存在する。また、我が国は、自然、文化遺産、多様な地域性等豊富な観光資源を有しており、観光のポテンシャルは極めて高い。さらに、科学・技術・情報通信、雇用・人材は、成長を支えるプラットフォームであり、持続的な成長のためには長期的視点に立った戦略が必要である。

以上の観点から、我が国の「新成長戦略」を、強みを活かす成長分野（環境・エネルギー、健康）、フロンティアの開拓による成長分野（アジア、観光・地域活性化）、成長を支えるプラットフォーム（科学・技術・情報通信、雇用・人材、金融）として、2020年までに達成すべき目標と、主な施策を中心に方向性を明確にする。

また、この新成長戦略では、日本の強みを活かす成長分野としてのグリーンとライフイノベーションに関して、次のような戦略を提示している。

●グリーン・イノベーションによる環境・エネルギー大国戦略

【2020年までの目標】

『50兆円超の環境関連新規市場』、『140万人の環境分野の新規雇用』、『日本の民間ベースの技術を活かした世界の温室効果ガス削減量を13億トン以上とすること（日本全体の総排出量に相当）を目標とする』

その詳細部分で、ロボットに関連する部分として、以下のものがある。《》内に、関連ロボット分野を追記して示す。

- ・ (総合的な政策パッケージにより世界ナンバーワンの環境・エネルギー大国へ)

電力供給側と電力ユーザ側を情報システムでつなぐ日本型スマートグリッドにより効率的な電力需給を実現し、家庭における関連機器等の新たな需要を喚起することで、成長産業として振興を図る。さらに、成長する海外の関連市場の獲得を支援する。《エネルギーに流れを扱うスマートグリッドの先にある、人とモノの流れも扱うロボットサービスロボット分野》

- ・ (グリーン・イノベーションによる成長とそれを支える資源確保の推進)

電力の固定価格買取制度の拡充等による再生可能エネルギー (太陽光、風力、小水力、バイオマス、地熱等) の普及拡大支援策や、低炭素投融資の促進、情報通信技術の活用等を通じて日本の経済社会を低炭素型に革新する。安全を第一として、国民の理解と信頼を得ながら、原子力利用について着実に取り組む。《原子力発電用ロボット》

- ・ (快適性・生活の質の向上によるライフスタイルの変革)

エコ住宅の普及、再生可能エネルギーの利用拡大や、ヒートポンプの普及拡大、LED や有機EL などの次世代照明の 100%化の実現などにより、住宅・オフィス等のゼロエミッション化を推進する。これはまた、居住空間の快適性・生活の質を高めることにも直結し、人々のライフスタイルを自発的に低炭素型へと転換させる大きなきっかけとなる。こうした家庭部門でのゼロエミッション化を進めるため、各家庭にアドバイスをする「環境コンシェルジュ制度」を創設する。《ライフスタイルを革新する生活機能ロボット分野》

- ・ (老朽化した建築物の建替え・改修の促進等による「緑の都市」化)

日本の都市を、温室効果ガスの排出が少ない「緑の都市」としていくため、中長期的な環境基準の在り方を明らかにしていくとともに、都市計画の在り方や都市再生・再開発の在り方を環境・低炭素化の観点から抜本的に見直す。

老朽化し、温室効果ガスの排出や安全性の面で問題を抱えるオフィスビル等の再開発・建替えや改修を促進するため、必要な規制緩和措置や支援策を講じる。《ロボティックハウスやロボティック都市分野》

- ・ (地方から経済社会構造を変革するモデル)

公共交通の利用促進等による都市・地域構造の低炭素化、再生可能エネルギーやそれを支えるスマートグリッドの構築、適正な資源リサイクルの徹底、情報通信技術の活用、住宅等のゼロエミッション化など、エコ社会形成の取組を支援する。そのため、規制改革、税制のグリーン化を含めた総合的な政策パッケージを活用しながら、環境、健康、観光を柱とする集中投資事業を行い、自立した地方からの持続可能な経済社会構造の変革を実現する第一歩を踏み出す。《地域ロボットサービス分野》

● ライフ・イノベーションによる健康大国戦略【2020 年までの目標】

『医療・介護・健康関連サービスの需要に見合った産業育成と雇用の創出、新規市場約 50 兆円、新規雇用 284 万人』

その詳細部分で、ロボットに関連する部分として、以下のものがある。《》内に、関連ロボット分野を追記して示す。

- ・ (医療・介護・健康関連産業を成長牽引産業へ)

我が国は、国民皆保険制度の下、低コストで質の高い医療サービスを国民に提供してきた結果、世界一の健康長寿国となった。世界のフロンティアを進む日本の高齢化は、ライフ・イノベーション (医療・介護分野革新) を力強く推進することにより新たなサービス成長産業と新・ものづくり産業を育てるチャンスでもある。したがって、高い成長と雇用創出が見込める医療・介護・健康関連産業を日本の成長牽引産業として明確に位置付けるとともに、民間事業者等の新たなサービス主体の参入も促進し、安全の確保や質の向上を図りながら、利用者本位の多様なサービスが提供できる体制を構築する。誰もが必要なサービスにアクセスできる体制を維持しながら、そのために必要な制度・ルールの変更等を進める。《生活機能ロボットサービス分野》

- ・ (日本発の革新的な医薬品、医療・介護技術の研究開発推進)

安全性が高く優れた日本発の革新的な医薬品、医療・介護技術の研究開発を推進する。産官学が一体となった取組や、創薬ベンチャーの育成を推進し、新薬、再生医療等の先端医療技術、情報通信技術を駆使した遠隔医療システム、ものづくり技術を活用した高齢者用パーソナルモビリティ、医療・介護ロボット等の研究開発・実用化を促進する。その前提として、ドラッグラグ、デバイスラグの解消は喫緊の課題であり、治験環境の整備、承認審査の迅速化を進める。《ロボ

ット介護、福祉サービス分野」

・(アジア等海外市場への展開促進)

医療・介護・健康関連産業は、今後、高齢社会を迎えるアジア諸国等においても高い成長が見込まれる。医薬品等の海外販売やアジアの富裕層等を対象とした健診、治療等の医療及び関連サービスを観光とも連携して促進していく。また、成長するアジア市場との連携(共同の臨床研究・治験拠点の構築等)も目指していく。《国際ロボットビジネスモデル分野》

・(バリアフリー住宅の供給促進)

今後、一人暮らしや介護を必要とする高齢者の増加が見込まれており、高齢者が居住する住宅内での安全な移動の確保や転倒防止、介助者の負担軽減等のため、手すりの設置や屋内の段差解消等、住宅のバリアフリー化の促進が急務である。このため、バリアフリー性能が優れた住宅取得や、バリアフリー改修促進のための支援を充実するとともに、民間事業者等による高齢者向けのバリアフリー化された賃貸住宅の供給促進等に重点的に取り組む。《生活機能化ロボティックハウス分野》

・(不安の解消、生涯を楽しむための医療・介護サービスの基盤強化)

高齢者が元気に活動している姿は、健全な社会の象徴であり、経済成長の礎である。しかし、既存の制度や供給体制は、近年の急速な高齢化や医療技術の進歩、それに伴う多様で質の高いサービスへの需要の高まり等の環境変化に十分に対応できていない。高齢者が将来の不安を払拭し、不安のための貯蓄から、生涯を楽しむための支出を行えるように医療・介護サービスの基盤を強化する。

具体的には、医師養成数の増加、勤務環境や処遇の改善による勤務医や医療・介護従事者の確保とともに、医療・介護従事者間の役割分担を見直す。また、医療機関の機能分化と高度・専門的医療の集約化、介護施設、居住系サービスの増加を加速させ、質の高い医療・介護サービスを安定的に提供できる体制を整備する。《人と人をつなぐロボット分野》

・(地域における高齢者の安心な暮らしの実現)

医療、介護は地域密着型のサービス産業であり、地方の経済、内需を支えている。住み慣れた地域で生涯を過ごしたいと願っている高齢者は多く、地域主導による地域医療の再生を図ることが、これからの地域社会において重要である。具体的には、医療・介護・健康関連サービス提供者のネットワーク化による連携と、情報通信技術の活用による在宅での生活支援ツールの整備などを進め、そこに暮らす高齢者が自らの希望するサービスを受けることができる社会を構築する。高齢者が安心して健康な生活が送れるようになることで、生涯学習や、教養・知識を吸収するための旅行など、新たなシニア向けサービスの需要も創造される。また、高齢者の起業や雇用にもつながるほか、高齢者が有する技術・知識等が次世代へも継承される。こうした好循環を可能とする環境を整備していく。《地域ロボットサービスグリッド分野》

1.1.2 第4期科学技術基本計画とライフ&グリーンイノベーションロボット

《第4期科学技術基本計画》

1.1.1 で述べた政府の成長戦略をふまえ、総合科学技術会議では、2011年度から5年間の第4期科学技術基本計画を策定した。第4期においては、第三期の基本計画のような領域別ではなく、**環境・エネルギー(グリーン)と医療・介護・健康(ライフ)の分野を二本柱とする課題解決型の研究分野を重点化するとともに、基礎研究の強化を掲げている。**

第三期の基本計画においては、ライフサイエンス、情報通信、環境、ナノテクノロジー・材料などの4分野を、重点的に推進すべき分野を定めて研究開発を促進してきた。これに対し、第4期では、現実社会において解決が必要とされている「重要課題」を定め、その課題解決に必須の研究領域として、新成長戦略で明記されているグリーンイノベーション(環境・エネルギー大国戦略)と「ライフイノベーション(健康大国戦略)」が二大柱となっている。基本計画における関連記述は、次のとおりである。《》内は、関連するロボット分野である。

成長の柱としての2大イノベーション

・基本方針

我が国が取り組むべき喫緊の重要課題は、気候変動への対応と低炭素社会の実現《グリーンイノベーションロボット》、そして高齢化の問題への対応《ライフイノベーションロボット》である。特に低炭素社会の実現は、温室効果ガスの排出削減に寄与するのみならず、再生可能エネルギー等の普及、拡大、社会インフラの整備等が進むことで、世界規模の新市場の出現につながり、我が国の資源・エネルギー制約の克服《エコロボット》と、新たな産業の創成、雇用の創出が可能となる。また、高齢者の増加と人口減少は社会保障費の急激な増大をもたらす《福祉ロボットによる解決》とともに、労働力人口の減少《労働支援ロボットによる解決》につながり、我が国の将来の成長にとって大きな制約要因となる。しかし一方で、高齢社会の進展は、医療・介護・健康サービスの需要拡大をもたらし、こうした社会的制約を克服する取組は、中長期的に新たな成長を生み出す原動力ともなりうる。

このような観点から、第4期基本計画では、環境・エネルギーを対象とする「グリーンイノベーション」と、医療・介護・健康を対象とする「ライフイノベーション」を2つの大きな成長の柱として位置付け、科学技術イノベーション政策を戦略的に展開する。……

・グリーンイノベーションの推進

(1) 目指すべき成長の姿

我が国と世界が直面する喫緊の課題である気候変動問題を解決し、かつ、世界各国が将来の成長の鍵として熾烈な競争を展開している脱化石燃料の潮流を捉え、世界最先端の低炭素社会を実現するため、グリーンイノベーションを強力に推進する。これにより、我が国が強みをもつ環境・エネルギー技術の一層の革新を促すとともに、社会システムや制度改革を推進し、これを国内外に普及、展開することで、我が国の持続的な成長を実現する。また、これらの取組により、世界に先駆けた環境・エネルギー先進国の実現を目指すとともに、持続可能な自然共生社会や循環型社会の実現、さらには豊かな国民生活の実現を目指す。

(2) 重要課題達成のための施策の推進

・エネルギー供給の低炭素化

i) エネルギー供給の低炭素化

……さらに、基幹エネルギー供給源の効率化と低炭素化に向けて、火力発電の高効率化、高効率石油精製に加え、石炭ガス化複合発電等と二酸化炭素の回収及び貯留を組み合わせたゼロエミッション火力発電の実現、次世代軽水炉の実用化に向けた研究開発《原子力発電関連ロボット》も含め、安全確保を前提とした原子力発電の利用拡大《原子力発電所メンテナンスロボット》に向けた取組を推進する。

ii) エネルギー利用の高効率化及びスマート化

……我が国の最終エネルギー消費の約半分を占める民生（家庭、業務）、運輸部門の低炭素化に向けて、住宅及び建築物の高断熱化、次世代型ヒートポンプシステム、定置用燃料電池、高効率照明、パワー半導体など省エネルギー技術の開発、普及《ロボットハウス分野》や、次世代自動車に用いられる蓄電池、燃料電池、パワーエレクトロニクスによる電力制御等の開発、普及に関する取組を推進する。さらに、高効率輸送機器（鉄道、船舶、航空機）に関する研究開発を推進する。また、情報通信技術は、エネルギーの供給、利用や社会インフラの低炭素化を進める上で不可欠な基盤的技術であり、次世代の情報通信ネットワークに関する研究開発《ロボットサービスグリッド分野》、情報通信機器やシステム構成機器の一層の省エネルギー化、ネットワークシステム全体の最適制御に関する技術開発を進める。

iii) 社会インフラのグリーン化

環境先進都市の構築に向けて、高効率な交通及び輸送システムの構築に向けた研究開発を推進する。また、これまで人が通信主体であったネットワークに生活の中のすべての電力で作動する人工物が通信主体として接続し、電力、ガス、水道、交通等の社会インフラと一体となった巨大ネットワークシステムに関する研究開発を推進する。《ロボットインフラ分野》

(3) グリーンイノベーション推進のためのシステム改革

・ライフイノベーションの推進

(1) 目指すべき成長の姿

我が国では世界で最も急速に高齢化が進行しており、今後、ますます深刻となる医療、介護の問題について、個人の人生観や死生観を尊重しつつ、その解決の方策を見出すことが喫緊の課題となっている。このため、国として、国民が心身ともに健康で、豊かさや、生きていることの充実感を感じられる社会の実現に向けて、ライフイノベーションを強力に推進する。これにより、医療・介護・健康サービス等《医療・介護・生活機能化ロボットサービス分野》の産業を創成し、活性化することで、我が国の持続的な成長を実現する。さらに、先進諸国がこれから直面する高齢社会への対応や発展途上国に蔓延する疾病に対し、医薬品、医療機器の開発等を通じて、国際貢献を目指す。

(2) 重要課題達成のための施策の推進

・革新的な予防法の開発

……さらに、認知症等による社会的、経済的な損失や負担の大きさを踏まえ、積極介入研究《生活機能低下予防ロボットサービス分野》を推進することにより、認知症等の発症防止や、早期診断、進行の遅延技術等の研究開発を推進する。

・新しい早期診断法の開発

・安全で有効性の高い治療の実現

放射線治療機器、ロボット手術機器等《次世代手術、治療ロボット分野》の新しい治療機器の開発、内視鏡と治療薬の融合など診断と治療を融合させる薬剤や機器の開発、さらに遠隔診断、遠隔治療技術の開発、それを支援する画像情報処理技術の開発を進める。

・高齢者、障害者、患者の生活の質（QOL）の向上

高齢者や障害者の QOL の向上や介護者の負担軽減を図るため、生活支援ロボット《生活支援ロボットサービス分野》やブレインマシンインターフェース（BMI）機器、高齢者用のパーソナルモビリティ《パーソナルモビリティロボット分野》など、高齢者や障害者の低下した機能を代償する技術、自立支援や生活支援を行う技術、高度なコミュニケーション支援に関する技術《コミュニケーションロボット分野》、さらには介護者を支援する技術に関して、安全性評価手法の確立も含めた研究開発を推進する。

(3) ライフイノベーション推進のためのシステム改革

以上、みてきたように、第4期科学技術会議では、グリーンとライフイノベーションの柱を立てただけではなく、社会の中での課題抽出と課題解決を、つまり、具体的かつ多角的・総合的アプローチを求めている。研究分野としては、科学技術だけでなく人文・社会科学も含め、またプレーヤも、大学や研究機関の研究者ばかりでなく、企業、政府・行政および、NGO/NPO など市民社会や市場やベンチャーまで含めたかたちで、展開してゆくこと、学術としても、イノベーションの社会実装における具体性と実効性のある戦略形成とそのブレークダウンを求めている。

1.2 ロボット技術と社会実装

本調査の根底にある問題意識は、なぜロボットの研究開発は盛んなのに、その成果がほとんど実用化されない、産業化されないのかのかという点にある。単に技術だけの問題ではなく、社会的な視点を持つことが重要である。つまりロボットおよびロボット技術の成果をいかに社会で活用していくかというシーズ側からの発想にとどまらず、社会の発展のためにロボット技術がどのように使えるのかというニーズ側からの視点、それも真の需要者を取り込んだ社会サービスとして実装していくという発想が必要である。

我々はこのような視点を、ロボットの社会実装という観点から、次の節で議論し、さらにそれを第2章で詳細に議論することにした。しかも、この視点の重要性に鑑みて、これまでの調査研究とは異なる視点を前面に押し出すために、このロボットの社会実装の議論を本報告の第2章にもってくることにした。

社会実装をすすめる場合に、不可欠な手順が石黒周によって示されている。それによれば、社会実装を考える上で、まず最初に考えなければならない点は、どのような社会を、実装すべき社会と考えるかである。我々が望ましい社会を想定し、そのグランドデザインを描き、その社会を経済的に実現するためのビジネスモデルを提示し、その社会を技術的に実現するためのロボット技術を明示・実現することが求められる。ビジネスモデルとロボット技術を、統合しながら、ロボットを社会の中で試す社会実験を実施する。これらのプロセスと並行して、市場拡大や、社会システム改革の努力がなされなければならない。

1.3 ロボットの社会実装戦略

以上の社会実装手順を念頭に、政府、総合科学技術会議の動向をふまえて、ライフ&グリーンイノベーションロボットの研究開発にとりくむのであるが、その際に不可欠な連携戦略として、バリューチェーンアプローチとロボットソリューションアプローチを示しておきたい。

1.3.1 バリューチェーンアプローチ

《国内外大学・研究機関、ベンチャ、大企業、中央省庁、地方自治体、当事者組織、金融、流通の連携による総合的展開アプローチ；バリューチェーンアプローチ》

ライフ、グリーンイノベーションロボットの実用化、社会実装の推進には、地方自治体、ボランティアやNPO、中小企業、大企業、金融機関や商社、大学や国内外の研究機関、そして国が連携した総合展開が求められる。地方自治体は、ライフ関連つまり介護や福祉、そして市民生活関連では、その税金執行をふくめた現業領域であり、グリーン関連では、原発やエネルギーを消費する市民生活に最終的に責任をもつ業務領域である。最終的に地方自治体が参画しない活動は、社会的に認知、持続しない。また、人によっておかれた状況が多様な高齢者や市民に、きめ細かく広く対応するためには、病院や施設のみならず、ボランティアやNPOによる活動支援が不可欠である。ボランティアやNPOの多様なサービスは、ベンチャや地域の中小企業の支えにより強化され、そのサービスインフラ（例えば、高齢者データベース、クラウド環境やロボットのハードウェアおよびソフトウェアプラットフォーム）は大企業しか提供しえない。ロボットサービスを社会で機能させ広める際には、これまでになかったビジネスモデルが求められており、金融や流通セクタの果たす役割は大きい、法律や社会制度の改変も含めた強力な戦略的取り組みは、

地方および国のイニシアティブなしにありえない。大学や研究機関の技術のみならず、長期的展望にたった社会のありかたをふくめたエビデンスベーストな提案（グランドデザイン）とそれに基づいた地域との共創知が、社会との連携を視野にいった新しい科学技術分野を創る。アジアをはじめ世界展開には、海外研究機関との連携が重要である。

以上に述べた連携要素は、介護、福祉ロボットが実用された時のバリューチェーンを構成する点に注意されたい。これらの要素組織をそのスタート時点から考慮した総合的研究開発プロジェクトのみが、人の社会生活をみすえた課題発見、ソリューション構築とその社会実験を先導とする社会導入、そして企業のインキュベーションを起点とする次世代のロボット産業を可能とし、新しい科学技術領域領域の確立に寄与する。地域ロボットサービスのバリューチェーンプロジェクトの早急な立ち上げと推進が急務である。

1.3.2 ロボットソリューションアプローチ

例えば、生活支援ロボットを実現しようとする場合、市民の生活の理想的なありかたを出発点とし、その実現に必要な様々な生活機能をシンセサイズしてゆく（構成してゆく）という視点、ソリューションをベースとしたアプローチが、これからのロボティクスの方向性として重要である。生活機能とは、人が生きることの全体像をふまえ、人が生きる時に必要とする機能のことである。生活機能という概念は、21世紀初頭にWHOが出したICF（International Classification of Functioning 国際生活機能分類）の根底をなす概念である。ICFにおいては、人の生きる機能である心身機能・構造、活動機能、そして参加機能に関して、そこに含まれるキーワードを、人が生きることの全体像を表現する共通言語として、網羅、分類して提示している。介護、福祉ロボット考える時に、高齢化によって欠如した機能を補うという視点ではなく、これらの人のもつ生きるための働き（Function）を機能させる（Functioning）という方向性が、その知見の完備性、市場の広がりを考えるうえで、重要である。具体的にいうと、心身機能・構造については、これまで医工連携医の立場から追求されており、活動機能については、介護の観点から追求されてきた。これらを、不足した機能を補うという観点ではなく、生きるための機能化というポジティブな視点からの取り組みが、これからのロボティクスで求められる。さらに、参加機能に関しては、家族の崩壊が声高に叫ばれ、高齢者の社会参加の重要性が強く認識されている状況を踏まえての方向性と取り組みが、強く要請されている。

その一方で、生活機能を支えるインフラ分野においても、エネルギーや、環境問題を解決するソリューションとしてのロボットが重要となる。単にロボットを導入したら事足り、あるいは、ロボットのハードウェアを実現したら事足りとするのではなく、ソリューションとしてのロボット技術の利用を目指すべきである。

1.4 ロボットの実用化を阻む諸問題

本節では、生活支援ロボットを例に、非産業用ロボットの実用化を阻んでいる諸問題を整理してみよう。

少子高齢化が進む我が国でも、生活支援ロボットへの期待は大きい。このような次世代ロボットの第一歩は看まもり手助けロボットであろう。しかしながらその実用化（社会実装）は依然難しく、さまざまな政策や関連ロボットプロジェクトが実施されてきたが実現されていない。以下では、その原因や問題点を論じ、新たな方策としてバリューチェーンプロジェクトを提案する。

1.4.1 生活支援ロボットは貧鉱である

総合科学技術会議科学技術連携施策群次世代ロボット連携群によって 2007 年に実施された「ロボット市場調査報告書 (2005 年度実績)」によれば、工場における産業用ロボットや自動機械の市場 (売上高) が、7328 億円であったのに対し、いわゆる非産業用ロボット (次世代ロボット) の市場規模は、272 億円にすぎなかった。次世代ロボットの中身には実に多様なロボットが含まれており、点検・保守・調査 (22 億)、農業 (200 億)、介助・介護 (0.3 億)、清掃 (0.2 億)、案内 (0.35 億)、癒し (1.8 億)、教育 (4.2 億)、白物家電型 (6 億)、健康 (25 億)、家族・友達型 (1.5 億)、おもちゃ・ホビー (11 億) であった。

一方、NEDO が経済産業省と連携して 2010 年 4 月に発表したロボットの将来市場予測によれば、先の調査の 2005 年度から 10 年後の 2015 年の産業用ロボット市場を、1 兆円 (2005 年度から 1.4 倍) と見込んでいるのに対し、それ以外の市場規模は 6000 億 (2005 年度から 22 倍) としている。6000 億の中身は、ロボテック (RT 製品、1771 億)、農林水産 (467 億)、サービス分野 (3733 億) であり、先の 2005 年度販売データとは分類が異なるので単純には比較できないが、仮に 2005 年度から 22 倍の市場拡大があるととしても、生活支援ロボットを広義に解釈しても、そこに分類されるロボットの市場は、せいぜい以下の規模にしかならない。介助・介護 (6.6 億 = 0.3×22)、清掃 (4.4 億 = 0.2×22)、案内 (7.7 億 = 0.35×22)、癒し (40 億 = 1.8×22)、教育 (92.4 億 = 4.2×22)、白物家電型 (132 億 = 6×22)、健康 (550 億 = 25×22) おもちゃ・ホビー (242 億 = 11×22) 大企業の 1 事業部を維持するためには年間 100 億円の売り上げが求められることを考えると、上記の一分野のロボットを 1 社が独占したとしてもこの条件を満たす分野は、白物家電と健康、ホビーぐらいしかない。1 社独占はあり得ないし、白物家電、健康、ホビーといっても、その中には多様なサービスロボットが含まれている。国際展開という可能性を考慮にいれても、サービスロボットの分野は、一分野のロボットで大企業の事業部を維持することはできない。鉱山でいえば、貧鉱なのではないだろうか。

1.4.2 パトロン不在問題

一つの技術が社会イノベーションをなしとげるためには、その技術の守り手 (パトロン) が不可欠である。自動車のそれは、残念ではあるが、第一次大戦を戦った軍であった。産業用ロボットの場合は、自動車会社であった。ユニメートやバーサトランロボットが出現した時、自動車会社はその高精度な繰り返し能力を潜在能力として着目し、ロボットメーカーに、“お金とくちだし”をし、世界に冠たる産業用ロボットとして育てあげた。それでは、看まもり手助けをする福祉ロボットのパトロンは、だれなのか？

生活支援ロボットのユーザパトロンとして相応しいのは福祉の現場をもつ地方自治体であろう。福祉ロボットを実用化するには福祉の現業をもつ、市の福祉課が参画しなければならない。問題なのは、自動車会社のように、市の福祉課は、“研究開発のためのお金および口出しのための知恵”を潤沢には持ち合わせていなかったり、現場対応にもてる時間と手間と資金をとられてしまっていることが多い点である。

資金に関しては、地方自治体/NPO と、県/国/企業との連携が、知恵に関しては、地方自治体/NPO と、大学/研究機関/企業事業部との、生死をともにする強い連携が不可欠である。生活支援ロボットを実用化するという国および国民の意思と意思表示も重要である。

Web 型ロボットサービス

貧乏問題に対する解決策として Web サービスを取り上げてみたい。

インターネットの世界では、Web ブラウザがあれば、本やさまざまな商品のネットビジネスが行えるし、旅行、オークションなどの事業も手軽に行える。

もし Web ブラウザに相当するようなプラットフォームがロボットの世界に実現されたら、その上に、健康や、ケア、介護、医療、エコ、便利、防犯、防災などの Web ロボットサービスが展開できる。その際には、ロボットサービスコンテンツが重要な役割を果たす。サービス提供の観点からは、様々なサービスを個別に追求し、社会に導入してゆくことが重要であるが、それとともに今後は、様々なサービスを、家庭や施設にある既存のセンサやアクチュエータを組み合わせ実現してゆく、統合化サービス技術が重要になってくる(個別サービスから統合可能サービスへ)。さらに、このような多様なサービス実現への切り込み隊としてのベンチャ企業と、様々なサービスを可能とする Web ブラウザのようなしなやかな構築維持する大企業との協業体制も重要である。生活データベースがそのような役割を果たすと考えている。

1.4.3 ロボットプロジェクト設定の困難問題

ロボットのプロジェクトの成功は、実は非常に困難である。

シーズオリエンティッドプロジェクト、ミッションオリエンテッドプロジェクト、ユーザ巻き込みプロジェクトなど様々なロボットプロジェクトが、これまでに取り組まれてきたが、サービスロボットは、まだ実用化レベルに達したプロジェクトは存在しない。以下の理由によると考えている。

シーズオリエンティッドプロジェクトでは、ともすれば研究者の興味本位のものに偏り、実社会のニーズをふまえていないロボットや、論文になりやすいロボットが構築されることが多い。ミッションオリエンテッドプロジェクトプロジェクトならば、アポロ計画のような”1960年代に人類を月に送り込め”というミッションは、目標が明確で、とりくみやすい。しかしながら、”2015年までに福祉ロボットを実用化せよ”というミッションでは、実は、どのようなロボットをつくれればよいのかということすら明確にならない。生活支援ロボット、あるいは、看まもり手助けロボットの領域では、ミッションの設定そのものが、課題なのである。

ロボットのユーザを最初からとりこんだプロジェクト、ユーザ巻き込みプロジェクトはどうか？NEDO・経済委産業省の”人間支援型ロボット実用プロジェクト”は、まさにこのようなプロジェクトであった。つまりプロジェクトの初期段階からユーザを内部に取り込むことで、有用なりハビリ支援ロボットの研究開発が実施された。使えるロボットの実現という意味では、このアプローチは重要であった。望むらくは、開発されたロボットの社会価値の大きさとその持続を考えた取り組み、つまり、開発したロボットを継続的に利用するユーザをプロジェクトの立ち上げ段階から考えておくようなプロジェクトフォーメーションが不可欠であったと思われる。以上の問題点への方策をとりいれたプロジェクトとして、1.2 で提案した”バリューチェーンプロジェクト”を推進したい。

バリューチェーンプロジェクトは、1) ロボットの継続的なユーザ(生活支援ロボットの場合は、地方自治体や県、国の現業部門、それに福祉関連施設)、2) ロボットの個別のサービスを実現するベンチャ企業、3) そのようなロボットのインフラやキーコンポーネントを提供する大企業(ロボットメカなどの製造業界だけでなく、4) 通信や住宅、家電、自動車などの業界の企業、5) それらの技術開発を実施する大学や研究所、これらに加えて 6) ロボットの社会流通を担う銀行や保険会社や商社をプロジェクトの立ち上げ時点から巻き込んだプロジェクトである。

実際にこのようなバリューチェーンプロジェクトを実現・実施するためには上記の様にさまざまな分野、異業種の連携が欠かせず、連携の具体的な形をビジネスモデルを視野にいたしたものとして設計し、実装していけるようなコーディネーター／アーキテクト人材が必要となる。

このようにしてサービスロボットが産業化された場合は、自動車産業と同様な、幅広いすそ野を有する産業に育つと予想している。このようなロボット産業を構成するバリューチェーンの参画者を最初からすべて取り込んだプロジェクト、バリューチェーンプロジェクトが、看まもり手助けロボットを実用化するうえで不可欠であると考えている。

1.4.4 ライフ&グリーンイノベーションロボットの実用を阻む問題群と、バリューチェーンプロジェクト

生活支援ロボットの実用化をはばむ問題は、1) 誰がロボットを継続的につかうのか（パトロン不在問題）。2) 個々の市場の小ささ（貧乏問題）、3) プロジェクト立案の難しさ（プロジェクト困難問題）に整理した。この諸問題は、生活支援ロボットに限らず、原子力用ロボットでも、エコ RT でも、ロボット教育においても、同様になりつつ。これらを乗り越えられるプロジェクトとして、ソリューションとして地域にまたがって多種のサービスを提供するバリューチェーンプロジェクトが有効であると考えている。ロボット実用化に関しては、本章で述べた Web 型サービスロボットビジネスモデル以外に、人ができない単機能高性能ロボットを実用する単品商品のビジネスモデル、RT 家電や RT 自動車のような RT 埋め込み商品ビジネスモデル、RT ハウスやソフトウェアプラットフォームなどのロボットインフラビジネスモデルなどがありうる。これらのモデルを、人の生活のありかたを踏まえたグランドデザインとともに提示し、技術開発や社会実装を推進することで次世代ロボット市場を開くことを実現することが重要である。

本報告書では、上記のような基本認識のもと、まず、第 2 章で社会実装を論じ、その後に第 3 章でその技術課題を提示する。それらをベースとして、本報告書の結論を第 4 章で述べる。

参 考 文 献

[1] 新成長戦略

http://www.meti.go.jp/topic/data/growth_strategy/pdf/sinseichou01.pdf

[2] 第 4 期科学技術基本計画

<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryu/haihu95/siryu01.pdf>

[3] ロボット総合市場調査－2005 年度実績－，総合科学技術会議 科学技術連携施策群 次世代ロボット連携群，2007 年 3 月

（執筆担当：佐藤知正）

第2章 ロボットの社会実装

2.1 ロボットの社会実装概要

本項ではロボットの社会実装とそれに伴う産業化を可能とするプロセスを概説する。

2.1.1 提示するロボットの社会実装／産業化のプロセスの前提

2.1.1.1 問題意識とロボットの定義

ロボットはその定義にもよるが、ロボットの社会実装とその実装にともなう産業化が実現するか否かは、本来問題とならない。ロボットは「人間の機能の代替や機能の拡張を技術的に実現したもの」であり、ロボットあるいはその技術（RTと呼ぶ）は、人間の系におけるQOLと効率性というトレードオフの関係にある両者を共に持ち上げる手段となるものであると考えられる。なぜなら、人間の社会に組み込まれていくことと、それに伴いそれを提供する産業が成長していくことにはあまり疑問の余地がないからである。むしろ、問題は、ロボット／RTの技術開発ならびに研究において、現在、世界をリードしている日本が、それを組み込むことにより実現しうるQOLと効率性を両立させた生活・社会の実現やそれに伴う産業の創出の主役になりそこなうかもしれないという点にある。たとえば、ロボット／RTによって解決しうる代表的な社会的課題である超高齢化社会への対応は、他にもない日本がその実現を最も必要とする国であり、そのうえ、その手段たるロボット／RTを自ら保有しているにもかかわらず、それが実現できないという事態はどうしても避けなければならない。

超高齢化という課題への対応にロボット／RTが役立つであろうことは、すでに多くの人たちによって認識されるようになってきていると考えられるにもかかわらず、またこの課題が世界において日本が最も深刻であることも殆どの人が認識しているはずであるのになぜ、ロボット／RTの社会への実装が日本では本格的に進まないのであろうか？

その理由を考えてみたときに以下のような点が思い当たる。

- ・ロボット／RTが何を指すのかを多くの人たちが誤解をしていること：これは、それを提供する側すなわち、これらの技術開発や研究を行っているプレーヤ、これらを製品として提供しようとしているプレーヤなどと同時に、その受け手となるべき生活者、生活者に対してこれらの情報を提供するメディア関係者、これらを活用して社会的課題解決を推進する立場の政治家や行政官のかなり多くが、それぞれロボット／RTやそれが生活・社会に導入される姿について誤解していると考えられる。

- ・ロボット／RTという手段以外にも多くの代替手段がありうるという漠然とした捉え方しか行われていないこと：上記の誤解とあいまって、ロボット／RTを、経済的合理性が成立しない手段、大げさな手段、非人間的な手段、技術的にまだ時期尚早な手段など、漠然とした捉え方でしか捉えておらず、これまでに行われてきた問題の発生現場での小手先の改良の積み重ねで正解に至るのではないかという捉え方が支配的であると考えられる。このように考えるとまず、ロボットの定義を明確にし、それを共有したうえで議論を進めることが極めて重要であると考えられる。その定義を異なって理解している者同士では、社会実装や産業化を共創していくことは困難になる。

本項においては、ロボットをセンサ、情報処理技術、駆動制御をインテグレートしたシステム、このシステムを構成する要素技術をRTと定義し、しかもそのシステムが人間との協働によってベネフィットを生むように設計されているシステムであるとする。また、最終的にこうしたシステムをゴールとして、このゴールに向かって、インテグレーションが行われ、また人間との協働

レベルの改善が行われていくプロセスをロボット化と定義する。

上記のとおり、これまでの次世代ロボットの産業化や普及展開では、ロボットの定義を明確化し、共有することを意識的に行ってこなかったことが、社会実装や産業化の障害となっていると認識し、以下を社会に対してうまく打ち出していく必要がある。すなわち社会実装や産業化を促進するうえで障害となっているという認識を持ち、積極的にその定義の共有をはかることが重要であるとするアプローチにおいて、ロボットの呼び方をその定義に基づいて社会実装促進のためにうまく打ち出すことを考えなければならない。

ここで「うまく」という意味は、解決すべき対象課題や、想定されるユーザを含むすべての関与者に対して、ロボット/RTがもたらすベネフィットが理解されるようなコンセプトとして表現されることである。もちろんこれは容易なことではない。前述のとおり、ロボット/RTが基盤となる技術と考えられることから、その関与者は極めて広範で、それらのすべての関与者が理解でき、かつ相反しないベネフィットとして完全に誤解なく表現することは無理であろう。しかし、たとえ、すべての関与者が納得するようにできず、一部で論争や反発が生じたとしてもこのアプローチは行われなければならない。たとえば、後述されるがデンマークはここ数年、国をあげ、また有力な地域が率先して、高齢化に対応した社会の仕組みづくりに取り組んできている。日本に比べ、高齢化率を見ても（日本が約 23%であるのに対し、デンマークは約 15%）日本ほどには深刻な状態にないデンマークがロボット/RTを組み込んだ高齢化対応社会づくりを推進している。彼らのストーリーは明瞭で、QOL 向上と効率性向上の双方を実現しうる高齢化対応社会の実現は、移民政策を積極的に取らない限り、人間でなくてはならないところに人間を配置し、人間でなくてもすむところを人間の機能を高度に代替しうる技術によって代替していく方法しか道はない、というものである。この人間でなくてもすむ機能を高度に代替しうる技術がロボット/RTであり、それがもたらすベネフィットが Labor Saving なので、ロボット/RT のコンセプトを Labor Saving Technology と呼んでいる。このような呼び方は前述のとおり、多くの関与者の納得のいくところであるが、高齢者の介護に関わる仕事をする人たちの中には自分たちの仕事を奪おうとしているという反発が強くあるということである。

2.1.1.2 提示するプロセスの前提

本報告書で提示するロボットの社会実装とそれに伴う産業化を可能とするプロセスは、次世代ロボット/RTに関わる事業、それらの活用、生活・社会あるいは市場への導入・普及に関わってきた主だった関係者の試行錯誤と、そこから得られた知見に基づいている。それらの多くは厳密に言えば、まだ仮説的なものである。しかし、生活・社会あるいは市場への導入と普及を目指し、そこから産業化を果たそうとしてきた人たちのさまざまな試行錯誤を通して得られた仮説には、従来のやり方に対する反省、何をやるとうまくいかないのか、成功に導くために何が障害になっていると考えられるのかという点について重要な知見を得ることができると考えられる。ロボットの社会実装とそれに伴う産業化が実現していない現在、こうした経験に基づく仮説が、それらが定量性を欠き、まだ検証が行われていないとは言えるものの、ロボットの社会実装と産業化を成功に導くプロセスのヒントとなるものであろう。ただ、こうした仮説は、これまでその仮説を持つ人が置かれてきた外部環境や組織内部の環境にも大きく依存しており、これらの仮説から読み取る方向性や次の一手は、ロボットの普及と産業化を実現しようとする各プレーヤ毎に異なるであろう。また、その仮説から成功につなげるための方策を生み出すためには各プレーヤの時代を読み取る能力からの創造的な工夫や努力とリスクを伴うチャレンジが必要となる。こうした各プ

レーヤによるチャレンジが競争を生み、この競争により、より優れた製品やサービスが登場してくることに伴い、日本の“ロボット産業”の国際競争力となっていくと考えられる。ただし、ロボットの生活・社会への導入、普及を進め、同時にこの産業が次世代の日本の大きな柱になるような産業規模に育っていくためには、各プレーヤ毎のチャレンジだけでは実現できない、ロボットの社会実装の最も重要な仮説を主張しなくてはならない。それは、ロボットの社会実装と産業化の実現には、新たな社会システムを設計、構築するところから手をつけなくてはならないという仮説である。これを実現しようとする、各テーマ毎の社会システムに関わる広範な重要プレーヤ間の連携と、しかるべき社会システムの設計の方法論に基づいて得られた最も優れた社会システムの選択肢を実現するためのプロセスの構築が不可欠となる。

この仮説の前提は、ロボットの定義にも関わるが、「“ロボット”が単にある機能を持った生活・社会を構成する部品」というだけではなく、むしろ「“ロボット”が人間の基本的な機能を人間と協調・協働しながら担う存在として、人間を中心に組み立てられている従来の社会システムを置き換える基盤システム」である点にある。前者の「ロボットが単にある機能を持った生活・社会を構成する部品」が従来の主なとらえ方であり、これだけであれば各プレーヤ間の競争を伴うチャレンジのみで実現しうる。しかし、後者は、産業化に関わる各プレーヤが、より広範な生活・社会を構成するプレーヤと連携をしなければ実現が困難である。今後、本報告書にとりあげ提示される仮説やその仮説的考えの根拠となった試行錯誤が継続的に行われていき、同時にこれまでに不足していたと考えられるアプローチが加えられることにより社会実装と産業化を可能とするプロセスが確立していくことが期待される。

2.1.2 ロボット化ならびにロボットの産業化の進展

前述のように「ロボット/RT」と「ロボット化」を定義すると、ロボット化を推進することがすなわちロボット/RTの社会実装であり、ロボット化のプロセスにおける経済的な活動がロボットの産業化と考えてよいであろう。このように考えたときにロボット化ならびにロボットの産業化は、その推進が容易に進むと考えられる図 2.1.2-1 のような進展をたどっていくことが素直な過程であると考えられ、またそのような過程を念頭においた促進策をとるべきであろう。すなわち、①顧客の要求が数値化しやすいなど明確であり、②顧客とロボット/RTの提供者側との専門性を持ったやりとりが成立しやすく、③ロボット/RTの提供者側の従来の事業モデルに近似した事業モデルが適用できる、という3つの観点から考えた際に、より容易なロボット化から困難なロボット化にむかっていく過程を考えると言うことである。

まず、産業用ロボット分野は前述の①～③を満たす範囲で、これまでもそうであったが、今後ともロボット化が進展していくことは言うまでもない。人間との協調作業の導入が進みながら、最終的には完全無人化を目指して技術開発が進められていくであろう。一方、③の事業モデルについて、例えばシステムインテグレーションサービスの比重が高まっていくという転換が起こってくることも考えられる。これと並行して、最も容易にロボット化を推進しうるのは(i)自動車や家電、情報・通信機器といったすでに社会に普及しているハイテク製品のロボット化である。すでに存在しているハイテク機器に対するニーズは明確化しやすく、また、ハイテク機器を開発している企業とロボット/RT提供者間の知識ギャップは非常に少なく(場合によっては、この両者が同一の企業である場合も多い)専門性をもったやりとりが容易に成立する。また、事業モデルもハードウェアの開発・販売というマスマーケティング・マスプロダクションである。つづいて、(ii)空間・環境やインフラのロボット化が進んでいくと考えられる。これもすでに社会に存

在しているハードウェアであるためニーズが明確化しやすい。開発しているのはロボット／RT 領域ではないが、研究・技術者であるため、ロボット／RT 提供者と専門性の高い対話は（i）ほど容易ではないが成立する。新たな空間・環境、インフラの開発事業は従来の事業モデルに近似した事業モデルが適用できるが、すでに存在している空間・環境、インフラのロボット化の方が市場としては大きいと考えられ、その場合、システムインテグレーションサービスといった事業形態をとることになり、ロボット／RT 提供者側の事業モデルを従来のモデルから変えなくてはならない。次に、（iii）サービスのプロセスのロボット化が進むと考えられる。サービスプロセスのロボット化は、通常、プロセス内の「人間でなくてもいい」あるいは「人間が行うべきではない」部分を、人間とロボット／RT の協働システムあるいは無人化していくことによって進められる。しかし、この多くの試みは従来のサービスプロセスに比べむしろ割高になることが多い。それは規模の経済や技術上の問題であることも確かであるが、本来新たなテクノロジーの導入によってプロセスの見直しを行う場合、プロセスの局所の置き換えを狙うとその効果は限定的であるか、むしろ従来の方法の方が勝ることになる。あるべきアプローチはトータルプロセスのリエンジニアリングというアプローチであるべきであろう（図 2.1.2-2）。つまり、サービスプロセスのロボット化を機に従来と全く異なる新たなサービスプロセスに切り替えていくと言うアプローチにすべきである。このようなサービスプロセスのロボット化が前述の（i）や（ii）に比べ、容易ではない理由は、サービスそのものの持つ特性にも原因がある。サービスという製品が無形である（無形性）ことから、現在展開されているサービスの仕様などが明確ではない。サービスの顧客とサービスの提供者側の協働によってサービスが作られ、消費されるという性格（同時性）があり、また、顧客やサービス提供環境によってサービス品質が変化する（異質性）ことなどから、ロボット／RT の技術仕様抽出しにくいと考えられる。加えて、サービス事業者側に技術（ロボット／RT のような先端技術になればなおさらである）が理解でき、自ら技術開発に参画できる人材が極めて乏しいと同時に、ロボット／RT 開発側にはサービスの現場の知識やサービスビジネスについての専門知識を理解できる人材が乏しいという実態がある。サービス提供者側とロボット／RT 提供者側のビジネスモデルは全く異なっていることから、前述のロボット化の容易さの目安となる 3 つの観点すべてにおいて（iii）のロボット化はかなり困難であることがわかる。（iv）サービスロボットが社会に導入され普及するという状態が起こるのは、この（iii）が推進されていくサイクルの中から誕生してくるのが通常であると考えられる。これは、従来の新たな技術の導入によるサービスのイノベーション創出のサイクルとその進展の中から生み出されてくるセルフサービス機器（図 2.1.2-3 参照）の関係と同様で、ロボット技術がサービスプロセスに組み込まれてサービスイノベーションがおこり、それが繰り返される中からセルフサービス機としてのサービスロボットが登場してくるのである。前述のとおり、（iii）と（iv）の進展を困難にしている大きな原因の一つである、サービス提供事業者とロボット／RT 提供者との間に横たわる非常に大きなギャップ（双方に相手の専門性を理解できる人材がいない、大きく異なる双方のビジネスモデル）を埋める一つの有力な方法として、図 2.1.2-4 に示すような、RT システムプロデューサーと呼ぶプレーヤが中核となってロボット化による新たな製品／サービス事業を興すという方法がある。RT システムプロデューサーは、対象となるサービス事業領域の知識と RT に関わる知識を持ち、それらを組み合わせた新たなサービスイノベーションによるビジネスモデルを構築できる企業／人材である。

以上は前述のとおり、そのロボット化を阻害すると考えられる要因に着目して、ロボット化の進展しやすさを考えたものであり、実際にはそれぞれはオーバーラップして進展するし、また、それぞれの領域において先進的な取り組みを行う企業の存在やその取り組みの成否によって大き

な影響を受けることになる。ただ、このような本来進展すべき過程を示したのは、これまでに行われてきている多くの事例は、この容易さ（困難さ）を明らかに認識せずにロボット化、産業化を進めようとしてきたと思われるからである。その認識がないために、(i) から (iii) の経験を経ずに (iv) の挑戦を始めるという最も困難なアプローチを、サービスロボットを開発して販売することこそがロボット産業だとの安易な考えで始めてしまい、何年かの試行錯誤で思ったような成果が出ないために撤退するといった事例が非常に多く見られるのである。特に 1999 年のソニー社 AIBO とホンダ社の ASIMO の発表を機に起こった第 1 次の次世代ロボットブームから今日までの約 10 年間に、次世代ロボットの産業を自らの地域のこれからの産業に育てようとする地域が数多く登場してきているが、それらの地域の自治体のいくつかにもこうした事例が見られる。

後述するが、ロボット化がもたらす社会変革という点から、地域を挙げてロボット化とそれに伴う産業化に取り組むことが極めて重要である。しかし、次世代ロボットの産業化に取り組んできたいくつかの地域では、上述の認識がないままその産業化に取り組み、また以下のような、地域で取り組むことの重要な意味をも認識せずに施策展開をしていると思われる。ロボット/RT が人間を主たる構成要素とするシステム（その大きなくくりとしての社会システムもその一つ）のイノベーションの必須の要素であり、それを認識してシステムの変革をデザインすれば、従来トレードオフの関係にあった「質」と「効率」の双方を共に持ち上げた新たなシステムを創造することが可能となると考えられる。この新たな人間を含むシステム、特に社会システムのイノベーションをロボット/RT によって実現する試みは、ある地域コミュニティの生活者を巻き込み、場合によっては、従来のシステム運用のルール（社会システムの場合は、法制度など）の変更を伴って、実証していく必要がある。この地域コミュニティを巻き込み、法規制の強化/緩和を伴う実験のプロセスは自治体が国と協働して進めなければ実現しえない。この点こそが、他のプレイヤーではできない自治体の役割であろう。

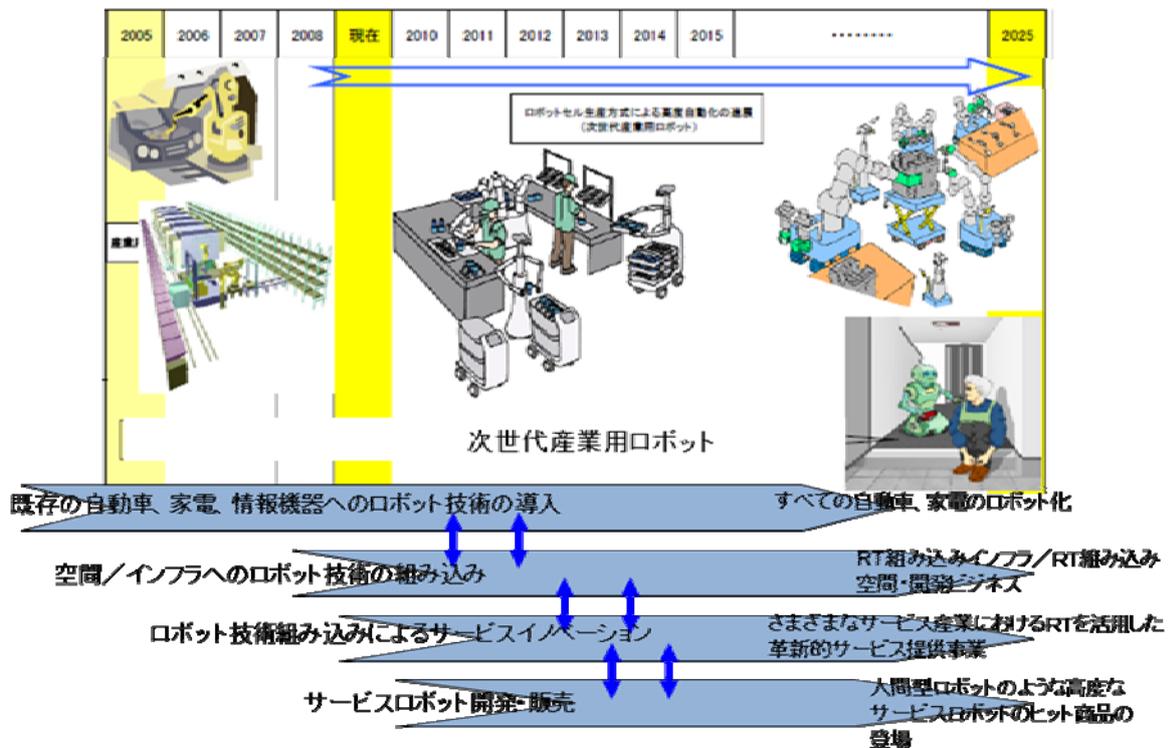


図 2.1.2-1 ロボット産業化の進展

(次世代産業用ロボットに関しては経済産業省編技術戦略ロードマップを転用)

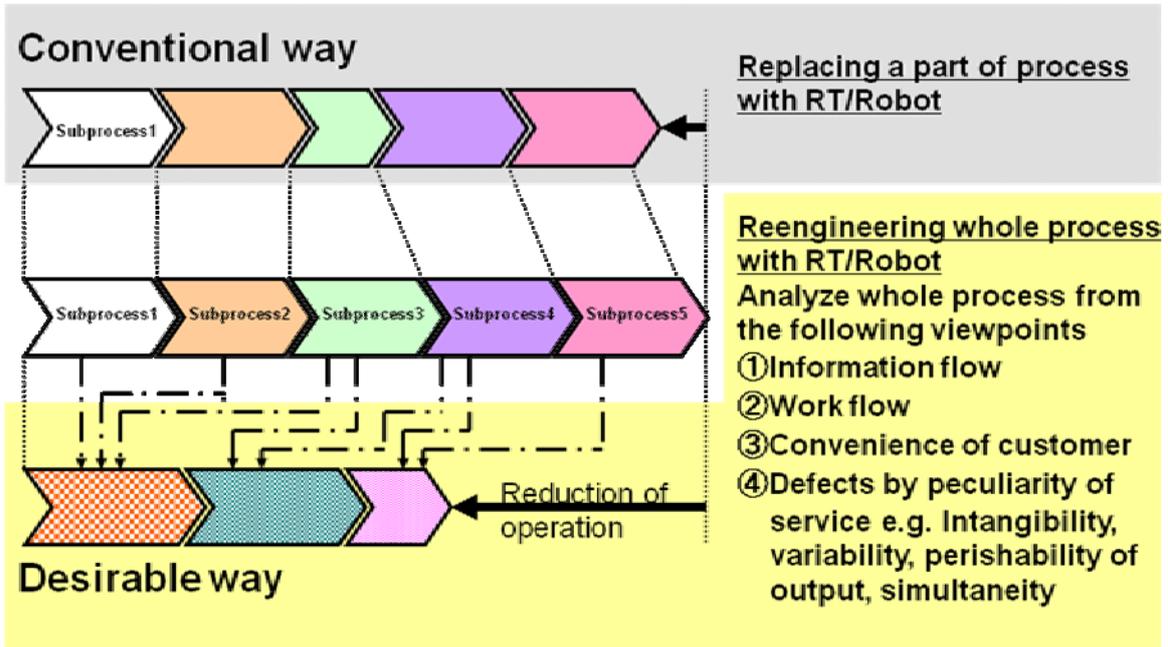


図 2.1.2-2 トータルプロセスのリエンジニアリング

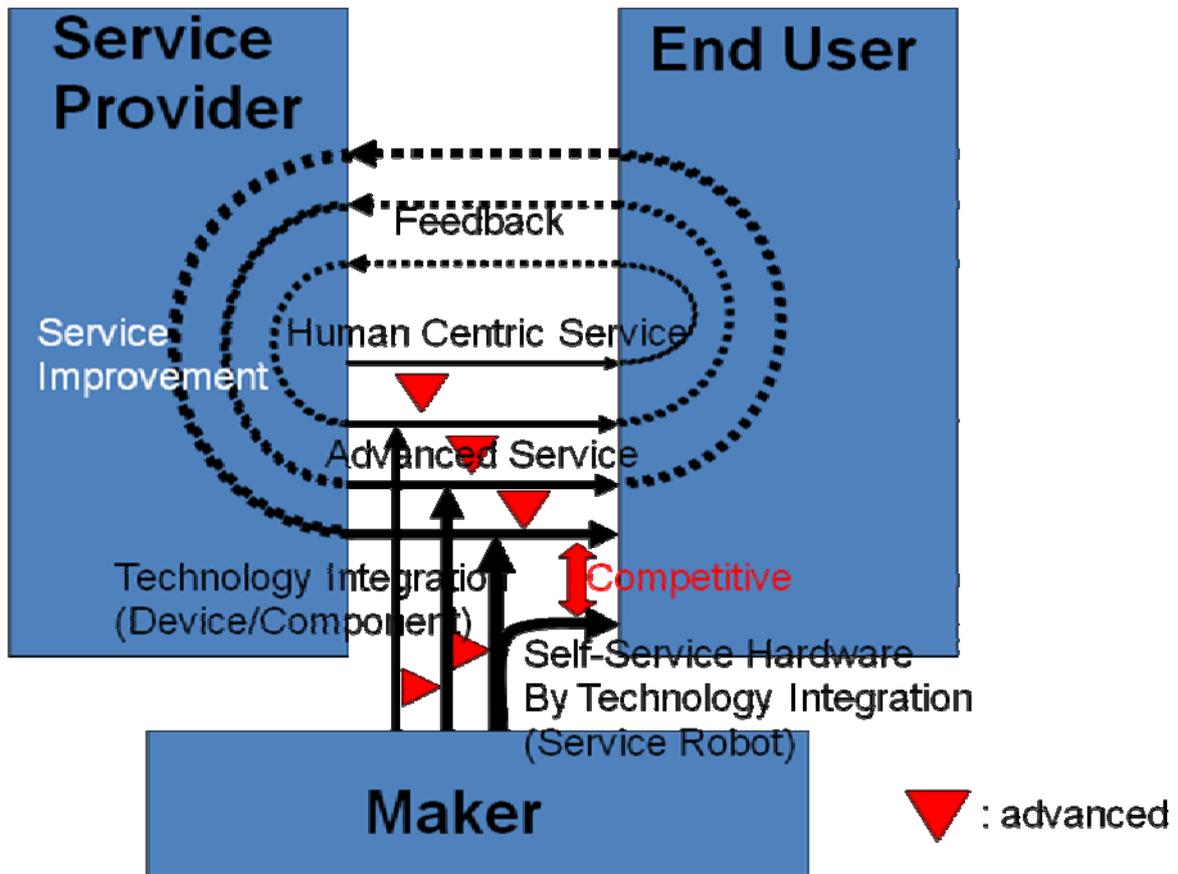


図 2.1.2-3 新技術導入によるサービスイノベーション創出サイクル

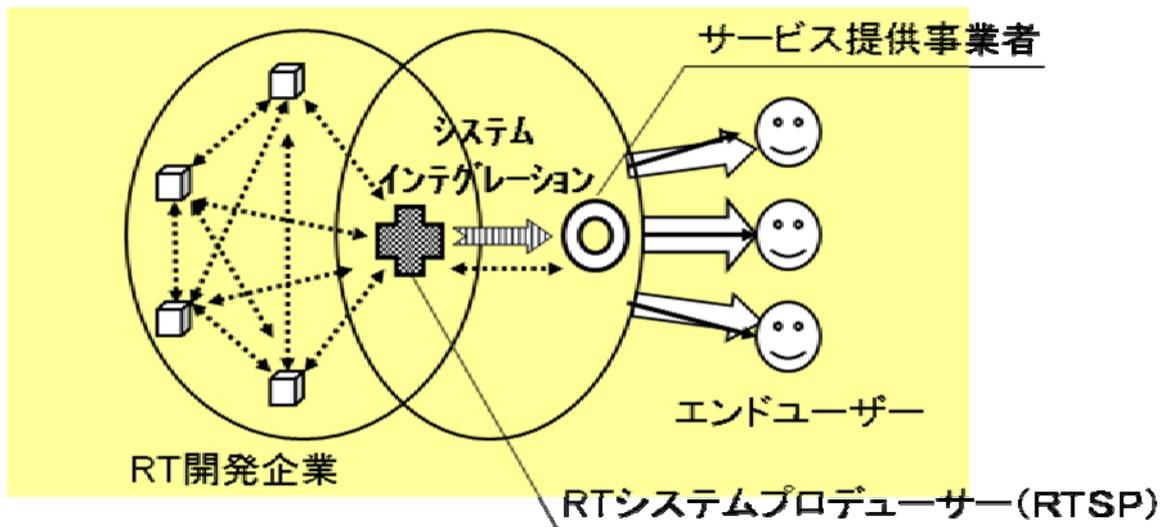


図 2.1.2-4 RT システムプロデューサーを中核としたサービスイノベーション

2.1.3 ロボット／RTの社会実装と産業化に関わるプレーヤ

2.1.3.1 社会実装と産業化における国と地域の役割

前項の最後に述べたとおり、ロボット化がもたらす社会変革という点から、地域を挙げてロボット化とそれに伴う産業化に取り組むことが極めて重要であり、その推進主体は、その地域の自治体であり、また社会変革の結果によって生み出される社会の構成員たる地域コミュニティの生活者である。特に、その変革に従来の社会システムの運用ルールである法制度の変更が伴う場合は、国が全国一律で同時に決め打ちで推進する以外には、自治体が国と協働して推進するしか方法はない。日本のような大きな人口と成熟期にある社会特有の多様な価値観を持つ国民を抱える国においては、政府のよほどの強力なリーダーシップがない限り、前者のような全国一律の大きな変革はなしえないであろう。そうすると日本において、この社会変革の推進主体は強いリーダーシップを持ち、現状の延長線上にある社会を変革したいと望む生活者のいる地域の自治体が、国と協働して推進するしか方法がないことになる。また、こうした変革に関わるコスト負担については、その変革に伴って生み出される新産業による経済的価値によってまかなわれるというシナリオになる。社会変革にロボット／RTが必須であるという点については2.1.1で述べたとおりであり、以上のようなシナリオに基づき、ロボット／RTを基盤とした社会変革とそれに伴う新産業創出がパッケージとして進められていくことになる。

このアプローチにおける国の役割は、先行して社会変革に挑戦する地域の成果を他地域が享受できることの見返りとして、先行地域の試行錯誤にともなうリスクを下げるために初期の資金的負担と試行錯誤を含む社会変革の方法論の確立を担うことであろう。

2.1.3.2 ロボット産業化に関わるプレーヤ

産業化の推進過程は前項に述べたが、その産業化に関わるプレーヤは、前述の (i) から (iv) のそれぞれの領域によって異なるが、概ね図 2.1.3-1 のとおりである。前項でも述べたとおり、従来のアプローチは主に図 2.1.3-2 のようなアプローチで行われてきたが、(iii) (iv) といったタイプの産業の創出を加速するためには、図 2.1.3-3 のようなアプローチが求められ、その中核を担う企業・人材はビジネスプロデューサーあるいはアーキテクトとなると考えられる（前項では、この企業・人材が、サービスとロボット/RT の知識を兼ね備え、ビジネスモデルを生み出す役割を持つことから、RT システムプロデューサーと呼んだ）。

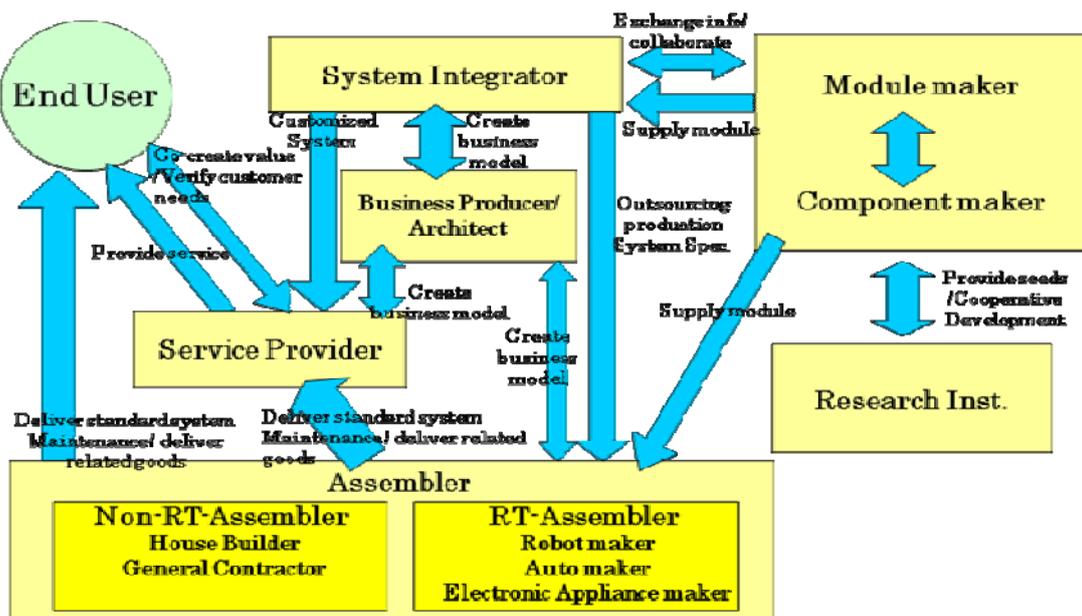


図 2.1.3-1 ロボット産業化に関わるプレーヤ

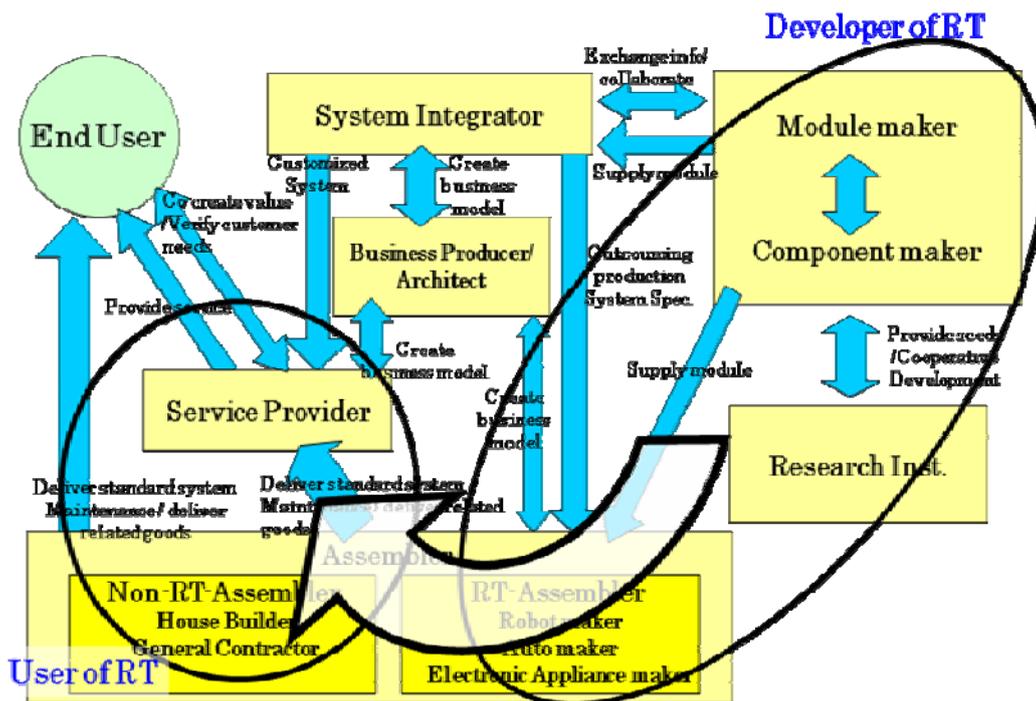


図 2.1.3-2 従来のロボット産業化アプローチ

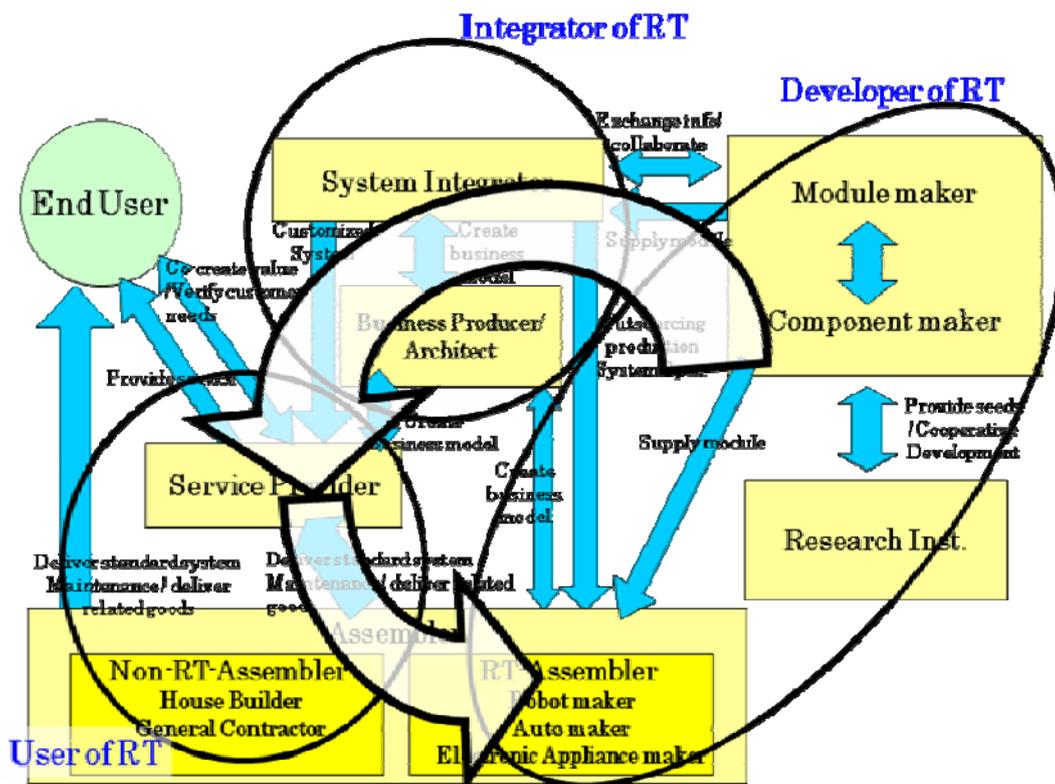


図 2.1.3-3 サービスプロセスのロボット化に必要なアプローチ

2.1.4 地域におけるロボット／RTの社会実装と産業化の事例と問題点

2.1.4.1 ロボット／RTの社会実装と産業化の推進地域と問題点

パートナーロボット登場にともなって 1999 年から始まった最初の次世代ロボット産業化ブームの中で 2002 年に福岡市、大阪市といった大都市が次世代ロボット産業化に向けた施策展開を開始している。つづいて、北九州市、福岡県、神戸市、神奈川県、川崎市、岐阜県などが産業化に乗り出し、その後、富山県、つくば市、青梅市などもロボット産業創出を試みてきている。

これらの地域の産業化のアプローチにはほぼ共通しているのは、

- ① 地元の大学や研究機関のロボット関連の有力な研究者を中心に据えてロボット産業の施策検討・立案の場をつくる
- ② その検討の場に地元のロボット／RT に関わる有力なモノづくり企業が中核メンバとして参加する
- ③ ロボットあるいはロボット技術・研究に関するセミナーが開催され、地元のモノづくり関連の主に中小企業が集まり勉強会、研究会が立ち上げられる
- ④ 一般向けのロボットの展示やデモンストレーションが企画され、ロボットを多くの人たちに触れてもらう
- ⑤ 地元企業と大学・研究機関が協力して地元の顔となるロボットの開発プロジェクトが立ち上げられ、ロボット先進地域のアピールのために役立てる
- ⑥ 継続的な事業としては、モノづくり企業のネットワーク作り、主に技術開発関連の勉強会／研究会、市民向けのロボット展示やデモ、産学連携のコーディネート、国の研究ファンドや補助金事業獲得が行われている

以上に加え、中でもロボットの産業化に力を入れている地域では、市民参加型の実証実験、さらには構造改革特区を活用した実証実験、ロボット技術者を生み出すための人材育成事業、企業同士の交流拠点の整備なども行われている。残念ながら、いくつかの地域では数年間の試みの結果、成果（多くの場合、ロボットハードウェア製品の発売、その売り上げがどの程度行われたかをその目安としている）が芳しくないということで施策展開のための予算を減らしたり、新たに期待される新領域の産業にシフトしていこうとしている。しかし、こうした傾向は、前述のとおり、ロボット／RT がこれからの社会的課題を解決する必須の基盤技術であり、そこから産業化して経済的価値を生み出すことはその社会実装によって実現される社会をより進化させていくサイクルを回すために必要なことであるという点からすれば非常に残念なことである。

では、せっかく次世代ロボット産業化に乗り出した地域で、なぜうまくいっていない実感がなく、じり貧状態の地域が増えてきているのか？それは、上記の施策そのものはそれほど間違っているようには見えなくても以下のような非常に重要な点が抜け落ちているためであると考えられる。

- ① 地域の首長（地域住民の民意を受けたトップ）が考える地域の将来像との連動や、ロボット／RT の社会実装と産業化によって目指すべき地域の姿が描かれていない。また、それを実現する手段としてのロボット／RT が持つ重要性も理解されていない。
- ② ロボットの産業化の施策を立案する行政サイドでは、これまでにおこなってきた既存産業の振興策をベースとして、それに他先行地域のロボット産業施策の情報を収集して加えて、いきなり施策の検討・立案から入ろうとする。①によって提示されるゴールイメージとそれを実現する大きな戦略やロードマップが欠如しており、1年単位の施策、3年程度のレンジの施策の評価と見直し、焼き直しに終始する。前述のロボットの産業化の基本的な進展プロセスを念頭に置いてい

ないことから、想定している産業化のタイムレンジが合っていない、創出する事業イメージやフェーズに合わせた施策の力点の置き方がずれているなどの不整合が起きている。

③ “ロボットの産業化＝「研究開発とモノづくり」”という考えを前提にしており、モノづくり特にロボットハードウェアの研究・開発に関わるメーカーと研究者を中心に据え、そのプレーヤの中だけで検討が行われ、協働すべき他産業（空間開発、サービス事業者など）との連携が行われない。また、国の研究ファンドの獲得が手段ではなく、目的や成果となってしまう。さらに、人材育成についても、ロボット事業を生み出す人の育成ではなく、研究・技術者の育成となっているのもこの前提からである。

④ 市民向けのロボット展示やデモ、さらには実証実験が行われても、ビジネスモデルや事業プランが全く描かれていない状態での実証実験が多く、検証する内容の大半が技術的な検証のみとなっている。したがって、そこで検証されたものは経済的価値につながるかは全く別物となっている。実用化を想定したロボットの実証試験の場合でも、現行の社会・生活の中のある機能を代替したり、効率化するというロボットの試験が殆どで、真剣なユーザが見たときに経済合理性が成り立つ手段と受け取ることができない。

以上のような重要点に対しての取り組みも行われるようになってきており、これらを取り入れた産業化を推進している代表的な地域の一つに大阪市がある。もちろん、成功につながるアプローチはここに挙げたものだけではないであろうし、地域的な特徴を活かした異なるアプローチが考えうる。たとえば、つくば市のロボットへの取り組みはその一つである。研究・開発の振興に他地域との違いを打ち出し、産業創出はその研究・開発の振興から研究開発型ベンチャーが生み出されてくることを期待するというやり方である。市長がその方針を打ち出し、その方針に基づいて行政が地元の大学や研究機関（主に筑波大学と産業技術総合研究所）と強く連携しながら推進している。ロボット／RTに関わる大きなメーカーがないことや有力なサービス事業者が存在しないことなどから、つくば市の持つ資源と強みを考えたアプローチとなっていると考えられる。以上のようなアプローチの具体方策を2008年8月に発足した「ロボットの街つくば推進会議」という場で検討を進めている。つくば市のように研究開発を中心に据えた別の事例に岐阜県があり、早稲田大学との共同プロジェクトの研究所 WABOT-HOUSE が有名である（2.2 参照）。また、福岡市のロボット特区での実証試験や北九州市におけるロボット産業施策の中で多くの製品開発と事業化を行ってきたテムザック社が中心となって開設したベータ国際ロボットセンターからの新たなロボットの提案や宗像市との連携による実証試験は大都市圏ではない地域のロボットの社会実装や産業化の参照すべき事例となると考えられる。

2.1.4.2 地域における産業化の代表的事例

ここでは地域特に大都市圏における産業化の代表的事例として、大阪市の次世代ロボット産業化について紹介する。大都市圏におけるロボット／RTからの産業化は、非大都市圏に比べると、その産業化のアプローチに関わる意思決定に非常に多くのコンフリクトが生じるために理想的に推進することが困難である。しかし、大都市圏におけるロボット／RTの社会実装とその産業化の成功事例をつくりだすことは、成功した場合の日本の社会全体に対する波及効果、経済的インパクト、国際的競争力という観点から極めて重要である。以下、大阪市の次世代ロボット産業化の概要を述べる。

① 大阪市の次世代ロボット産業化の経緯

2002年に大阪市は、市の約2万社にのぼる事業所の調査を行っている。その調査で、「技術力・製造加工精度」が自社の強みと答えた事業者は9300社、さらに「RTに取り組んでいるか、活用できる技術を持っている」と答えた事業者が850社あることがわかった。この調査が、大阪市が次世代ロボット産業創出に乗り出すきっかけとなった。その後、有識者による委員会を立ち上げ、そこで次世代RT産業創出構想をとりまとめた。その中で、基本方針として、次世代ロボットのマーケット創出、産業創出のための場の創造、新産業を立ち上げていく人材の育成が掲げられた。重点アクションとして、ロボカップの誘致、協働プラットフォームの創設、研究開発拠点の設置を行っていくこととなった。

(i)ロボカップの誘致：ロボカップに参加する世界中の研究者のネットワークを通して、国内外の大学や研究人材ならびに研究知識を産業創出につなげていくこと、ならびに大阪市が次世代ロボット産業創出に取り組んでいくことを広くアピールすることを狙いとしてロボカップの大会の誘致を行った。2004年にロボカップジャパンオープン、2005年には世界大会が開催された。世界大会では18万人を超える市民、研究者、企業関係者が大会への参加や見学に訪れ、大阪がロボットに積極的に取り組んでいることが広くアピールされ、そのプレゼンスとブランドイメージを高めることに十分に効果があった。

(ii)協働プラットフォームの創設：次世代ロボットビジネスの創出には幅広い技術の融合やさまざまな研究知識の創出・活用のための企業間連携や産学・産学官連携が必要となるのに加え、業種を超えた連携による新たなビジネスモデルの創出も求められる。こうした連携の促進のための協働プラットフォームとして2004年6月に中小企業のネットワークRooBOと、2004年11月に次世代ロボット産業創出拠点ロボットラボラトリーが創設された。

(iii)研究開発拠点の設置：前記、ロボットラボラトリーが推進役となって国の研究プロジェクトの獲得、運営を行ってきているが、場所の制約等がありロボットラボラトリーには研究開発拠点としての役割を持たせていない。前述の大型都市開発の中で、この研究・技術開発機能をもった拠点づくりの検討が進んでいる。

② 戦略と施策

(i)次世代ロボット産業クラスター創出のための戦略

最終的に関西・大阪の強みを活かした領域における次世代ロボット産業クラスター創出をめざし、クラスターを成功に導くダイヤモンド・モデル(M.E. Porter)の4要因(1. 人的資源/資本/物理的インフラ/行政インフラ/情報インフラ/科学技術インフラ等の要素条件、2. 高度で要求水準の厳しい顧客や先行ニーズといった需要条件、3. 有能な供給業者の存在や競争力のある関連産業・支援産業の存在、4. 適切な投資と持続的なグレードアップを促すような状況、地域にある競合企業間の激しい競争)をベースに戦略を設定している(図2.1.4-1)。ロボットラボラトリーでは、これらの4つの戦略に基づく具体的な施策の立案と推進を行いながら、より有効な施策への改良や切り替えを進めている。これまで、主に以下の5つの施策の展開を行っており、有効な施策やその展開方法に関する知見を蓄積し、その知識を2013年に開設が予定されている新たな拠点に移転していこうとしている。



図 2.1.4-1 次世代ロボット産業クラスター創出のための戦略

(ii)5つの主な施策

(ii)-1. 次世代ロボットビジネスに関わる企業のネットワーク形成

次世代ロボットビジネスを生み出したいと考えるさまざまな業種や専門性を持った企業や個人のネットワーク化を支援・促進している。RooBO（ローボ）という名称で、440メンバを超えるネットワークに成長している。数社の中心的中小企業が牽引する形でネットワーク形成が進められ、その中で行われる活動と組織運営を大阪市がロボットラボラトリーを通して支援している。主な活動としては、ロボット開発の共同受注と会員企業同士の連携による事業化プロジェクトの推進、先端技術や潜在顧客の持つ課題に関する勉強会や研究会の開催、会員間の交流を通じた知識共有などである。次世代ロボットビジネスには、広範な要素技術やさまざまな専門知識、サービス提供企業の持つ知見などが幅広く求められる。それを反映して RooBO にはさまざまな企業が参加している。(図 2.1.4-2)

RooBO は、RooBO パートナーズと呼ぶ、都市開発事業者、病院などの医療・福祉関係事業者、ハウスメーカー、セキュリティや娯楽に関するサービス事業者など大手企業やサービスプロバイダーの企業群と連携している。

また、RooBO を通じた地域間連携も活発に行われている。関西一円のロボットに関わる企業間の意見交換の場（関西次世代ロボット推進会議；2.2 で紹介）を通じた近隣地域間の交流を初めとして、中国、四国地方の企業群との交流もさかんに行われている。

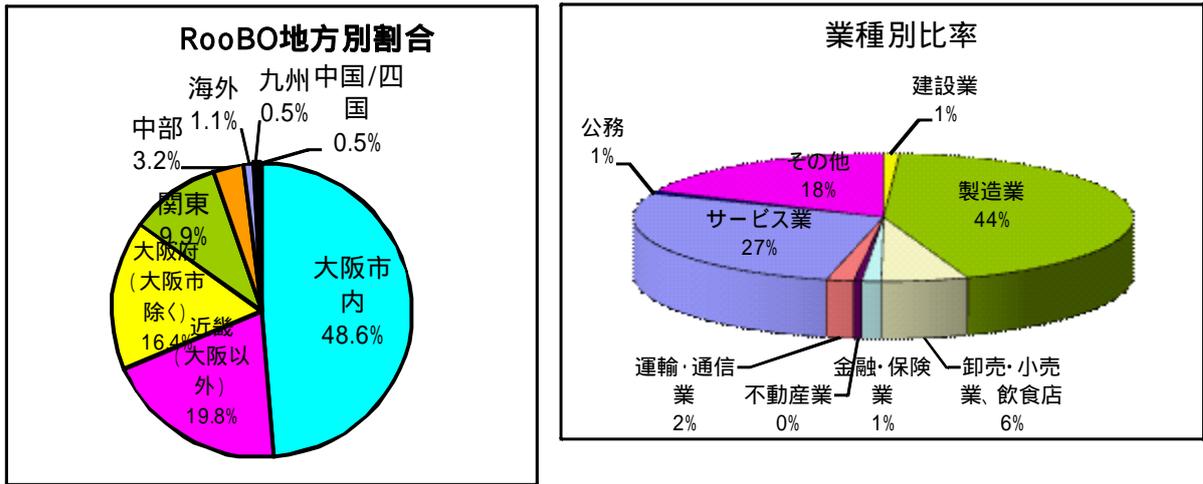


図 2.1.4-2 RooBo メンバの地方別割合と業種別比率

(ii)-2. ロボットビジネスを立ち上げる人材の発掘・育成

次世代ロボットビジネスは、想定顧客の持つ課題抽出や新たな顧客価値の仮説からビジネスコンセプトを生み出し、それを、ビジネスプランに落とし込んだうえで、RT を活用して実現するビジネスである。したがって、顧客価値の仮説に基づくビジネスコンセプトとビジネスプランを生み出し、提示できる人材が不可欠である。こうした人材を一人でも多く発掘・育成し、自らの描いたビジネスプランをもとにベンチャーを立ち上げていってもらうための施策を継続的に実施している。各参加者は個別に起業アイデアをビジネスプランとして仕上げていき、ビジネスプランを具体化するために必要となる資源の調達や RT に関わる企業、研究者とのマッチングをロボットラボラトリーがサポートし、ベンチャーの立ち上げを実現する。

(ii)-3. 実証実験の推進と支援

事業化に向けた実証実験の計画を公募し、審査を経て、補助金による資金的支援を行っている。審査は、事業性の観点に加え、実証実験を一企業では実現することが困難である、あるいは多くの市民の参加が期待でき、市民の次世代ロボットへの興味喚起や学習効果が期待されるなどの観点から行われる。

実証実験施策は、基本的には実証実験の計画ごとに、実証に適した環境を探し出して実施しているが、一方で、人通りが多いショッピングモールとして、大阪市の観光名所でもあるユニバーサル・シティウォークを一定の期間、さまざまな実証実験を集中的に行う場所として、広く PR し、大規模に行っている。

(ii)-4. リーディングプロジェクトの推進・支援とリーディングベンチャーの創出支援

本施策は、今後狙うべきターゲット市場や新たなビジネスアプローチに挑戦しようとする事業化の試みを支援し、成功事例あるいはそこから次世代ロボットビジネスを成功に導く鍵を読み取ることを狙いとしている。次世代ロボットビジネスは、広範な技術の統合が必要で、さまざまな要素技術を持つ企業同士の連携が求められる。また、サービスプロバイダーとメーカーという異なる領域の企業同士の協働も重要となる。そこで、複数の企業が連携を組んで事業化を進める企業コンソーシアムによるプロジェクト創出とそれを事業化していくベンチャーに引き継いでいくというアプローチを次世代ロボットビジネスのキープアプローチとして、支援している。

(ii)-5. 事業化の知識・情報の共有と発信

セミナーの開催、研究会の開催を通して、先行して次世代ロボットビジネスをスタートさせた企業の経験に基づく知識の交換や今後、事業化を行うにあたって重要となるであろう課題に対して興味を抱く企業が集まり、意見交換を行うなど、事業化に関する知識や情報の共有が行われている。また、報道発表など、情報の発信の支援も頻繁に実施されており、有力なメディアへの露出を数多く実現している。特に中小企業が独自に行っても、なかなか取り上げられないことが多い新製品発表記事が、多くのメディアで大きく取り上げられるようになっている。

以上のような施策の展開の経緯を図 2.1.4-3 に示している。

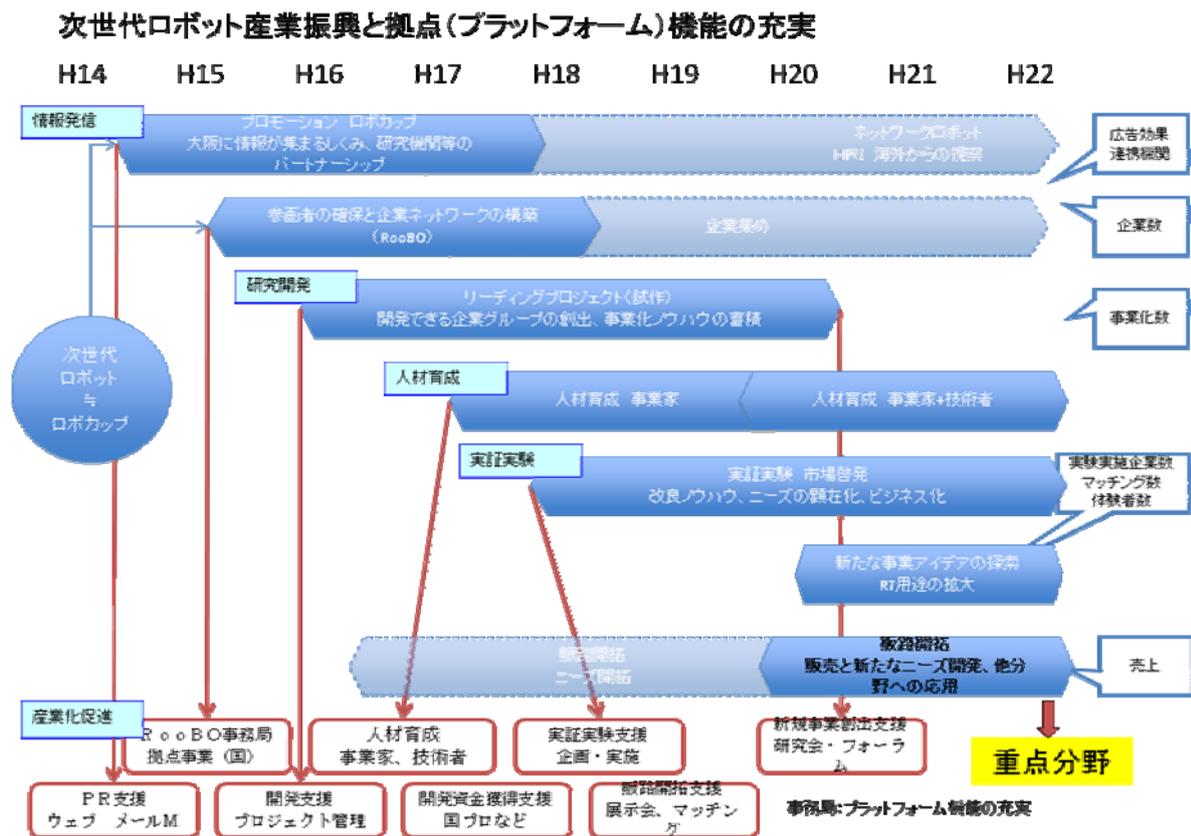


図 2.1.4-3 次世代ロボット産業振興と拠点機能の充実

③ 事業化のターゲットとアプローチ

産業クラスター化を目指す大阪市としては、大阪圏の強みを発揮できる領域や競争上のポジションをとろうとしている。大阪圏の強みとしては、例えば、以下のような点をあげることができる。まず、大阪大学をはじめとして ATR、NICT といった知覚・知能領域ならびにネットワーク・コミュニケーション領域に強い大学、研究機関が集積している。他には、東洋理機社、イーガー、北陽電機といった中小企業のネットワーク連携の核となるリーダーシップのある企業が存在し、次世代ロボットビジネスに乗り出そうという強い思いを持つ数多くの企業ネットワークがある。ビジネス創出ならびに市場創出のための試みが 260 万人の大都市の中心で進められており、潜在的なユーザとのインタラクションが活発である。2013 年に街開きする大規模な都心エリアで、次

世代ロボットビジネス創出のためのさまざまな仕掛けが計画されている、などである。これらの条件を勘案し、大阪圏では以下のようなターゲット領域とアプローチをとっている。

a. RT を組み込んだサービスの創出

サービスロボットを作って販売するというアプローチよりは、サービスプロバイダーと共同して、RT による既存のサービスプロセスのリエンジニアリングによる革新的な新サービスプロセスを創出する。

b. ユーザーを取り巻く空間・環境の RT 化

顧客との顧客価値共創のためのプラットフォームとして、顧客を取り巻く空間・環境の RT 化を位置づける。

以上をふまえて、2010 年から大阪市の次世代ロボット産業化の重点領域としては図 2.1.4-4 のような 3 つの領域が掲げられており、これらの領域での成功事例づくりに注力している。本報告書作成の中で、以上のような大阪市の次世代ロボット産業創出施策の中で活躍する RooBO の中核的メンバ企業（東洋理機工業社、北陽電機社、イーガー社、知能技術社）ならびに次世代ロボットベンチャー創出施策の中で誕生したベンチャー企業（バイオシグナル社、ロボリューション社、アールテクス社）のインタビュー調査を行っている。そのインタビュー調査結果を掲載した。

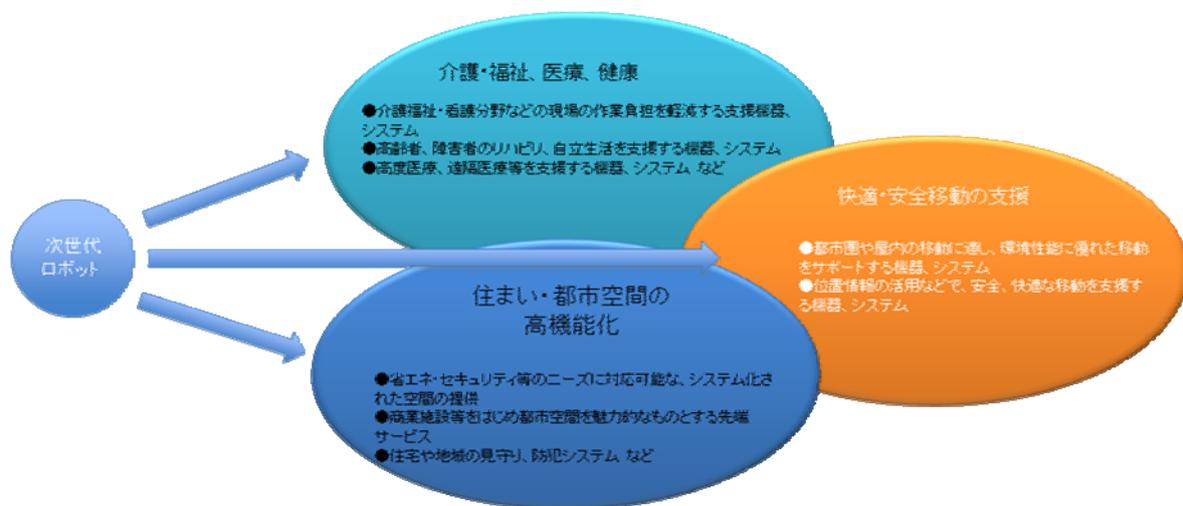


図 2.1.4-4 大阪市の次世代ロボット産業化の重点領域

2.1.5 ロボット／RTの社会実装プロセスと産業化の要諦

2.1.5.1 地域における社会実装プロセス

前述のような約9年に及ぶ地域の次世代ロボット産業化の中で行われてきた議論や試みに数多く関わってきた経験から地域におけるロボット／RTの社会実装のプロセスは以下のプロセスが望ましいと考えられる。前述のとおり、これ自体が仮説であるため、今後、このプロセスはロボット／RTの社会実装とそれに伴う産業化を積極的に推進する地域によって試行され検証されていく必要がある。また、その試行と検証で得られた知見がフィードバックされることによって、望ましいプロセスが改良されるだけでなく、各地域の特徴に適合したプロセスが開発されていくべきであろう。

- ① 地域の強みを活かしたゴールイメージ（ターゲット）の策定、提示、共有
- ② ゴール達成のための戦略（仕組みとアプローチ）の立案
- ③ 首長のコミットと重要な行政施策としての位置づけ（予算化）
- ④ ゴール実現に関わる分野ごとの有力なプレーヤーの発掘と巻き込み
- ⑤ 方向性に沿った新ビジネス創出の人材とベンチャー支援の仕組みの構築
- ⑥ 方向性に沿った連携構築の仕組みの構築
- ⑦ 実現に向けた法規制の見直しと特区活用による実証試験の推進
- ⑧ 市民（潜在ユーザー）に対する受容性向上と仮説検証

以上のプロセスが望ましいとした場合、その地域がロボット／RTの社会実装と産業化を成功させるためにどのようなポイントを改善し、変えていかなければならないかを以下に記す。

- ① アーキテクトの役割の人材：産業化の経験があり、具体的なプロデュース能力（主にグランドデザインと連携促進）を保有している人材がいるか。
- ② ロボット／RTの活用による新産業の重要性が認識されており、地域としてのゴールイメージあるいはドメイン、戦略的なアプローチの検討が行われているか：ロボットの産業化や社会実装に予算がつけられ、推進のための専任が設定されているか。
- ③ 地域の首長がコミットしているか。有力なプレーヤーがそろっているか。またそれぞれがそれぞれの専門の立場で対等に参画しているか。それらの専門家が研究者やモノづくり企業に偏っていないか。
- ④ ビジネスモデルがイメージされているか：単なるモノづくり、マスマーケティングーマスプロダクションモデルになっていないか、新しいビジネス創出を支援する体制が整っているか。
- ⑤ 法規制の強化／解除、導入助成や調達など社会的な受け入れ体制づくりに自治体側が取り組んでいるか。

2.1.5.2 日本全体への実装プロセス

前述のプロセスによる地域におけるロボット／RT の社会実装による社会的課題を解決しうる地域社会づくりと、それと連動した産業化を推進するためには、広範で柔軟な法制度の見直しが必要になる。こうした試みを先行して推進する地域によって実現される社会を、他地域に対するモデル、あるいは日本のこれからの社会のモデルとしていくのであれば、先行地域が行うさまざまな試みを効率的に推進しうる権限を、国はその地域の自治体に付与すべきであろう。従来、こうした地域の試みは構造改革特区の枠組みの中で行われてきた。しかし、従来の縦割りの省庁ごとの法規制解除や法規制強化を前提とした特区では、こうした試みの推進には大きな足かせとなる可能性が高い。総合特区は、上記のようなアプローチを実現しやすくする枠組みであると考えられるので期待したい。また、こうしたアプローチは、そもそも国民の主体的関与と地域主権という考え方が浸透してこなければ加速しないと考えられるため、日本が政権に関係なく、この流れをより強化していくことを期待したい。特区適用による社会実証実験の検討の中では、これまでもロボット／RT を社会実装することによる社会課題解決のために抵触する数多くの規制、例えば、遠隔医療であれば医師法第 17 条、第 20 条、薬事法第 39 条などが取り上げられてきた。こうした規制緩和に加え、特区の枠組みでの社会課題解決のためのアプローチを加速するために、規制の強化や政府調達も重要となる。たとえば、海外では、規制強化の例として、No Lift Policy や No Hazard Policy などがあり、政府調達としては、デンマークに見られる Labor Saving Technology に対応するロボット／RT を国税によって調達している事例などがある。規制とは異なるが、経済産業省が推進する生活支援ロボットの対人安全性に関わる規格づくりとその標準化もロボットの製品化にあたり、企業が負うリスクが軽減化され社会実装を加速することにつながると考えられる。さらに安全規格が整備されたうえで、発生する対人安全性に関わる事故などの問題に対し、その知見を、今後の製品開発や安全規格、評価にフィードバックする仕組みと、損害が補償される保険が整備されていなければならないであろう。生活支援ロボットの対人安全性に関わる評価方法、規格、標準化に関しては 2009 年度より 5 年間にわたり NEDO の生活支援ロボット実用化プロジェクトとして開発・検討が進められており、2.2.2.2 において現時点までの進捗を含む概要を独立行政法人労働安全衛生総合研究所の池田博康氏が述べる。また、2.2.2.5 において保険に関する現状と概要を述べる。

2.1.5.3 社会実装にともなう産業化の要諦

これまでに社会実装にともなう産業化についていくつかのポイントを述べてきた。ここでは、それらを含め、ロボット／RT からの事業化・産業化についてその要諦を述べる。

(1) ロボットの定義 (2.1.1.1 参照)

ロボットと言ったときに共有される概念は、多くの場合、人間型ロボットや産業用ロボットから想像される機械である。しかし、産業化の立ち上がりフェーズ（前述の 2.1.2 における (i) から (iii) のフェーズ）では、多くの場合、この概念の共有は事業化・産業化の障害となる。ロボット／RT が人間の生活の QOL と効率性を同時に持ち上げる基盤技術であることを認識し、それが社会実装とそれに伴う産業化に適した定義と呼称で社会の中で共有されるようにすることが重要である。次項の産業化の進展プロセスにも関わるが、ロボット産業を「いわゆるロボットという機械を開発・生産し販売する産業」と捉えるとそれはかなり限定的な産業規模になってし

まう。ロボットの定義の拡張によって想定される、次項の（i）から（iii）の産業をロボット産業であると認識することは重要である。

② ロボットの産業化の基本的な進展プロセス（2.1.2 参照）

ロボット／RT からの産業化はその産業化の容易さの観点（①顧客の要求が数値化しやすいなど明確であり、②顧客とロボット／RT の提供者側との専門性を持ったやりとりが成立しやすく、③ロボット／RT の提供者側の従来の事業モデルに近似した事業モデルが適用できる）から、（i）既存の家電や自動車のロボット化、（ii）空間・環境やインフラのロボット化、（iii）サービスプロセスのロボット化、（iv）サービスロボットの普及、という順序でそれぞれのフェーズがオーバーラップしながら進展すると考えられる。こうしたフェーズを経ずに産業化を進めようとするとならば、それぞれのフェーズで得られる知識や普及促進環境を持たずに進めることになり、産業化は非常に困難なものになると考えられる。不連続な革新的技術によって、これらのフェーズを飛ばしうるが、その場合でも本来の産業化の進展のパターンは認識している必要がある。また、最終フェーズをロボット産業の姿であると設定し、それを数年で実現しようとする試みが多くの企業や地域で見られるが、以上のような観点からそれは極めて困難であることを認識しなくてはならない。ロボット産業の姿をもっと柔軟に設定するか、長期にわたる試行錯誤を覚悟するかが必要である。ロボット／RT によって生み出されるベネフィットを他国、他地域から購入してきて享受しようとするのではなく、自らがそれによる経済的な価値を得ようとするのであればどんなに困難であっても一定の試行錯誤とそれに係る時間は覚悟しなくてはならない。しかし、それをいかに効率的にしかも大きな経済的規模で行うかを考えると進展プロセスの認識と実現しようとするロボット産業の姿の設定は非常に重要である。

③ サービスプロセスへのロボット／RT 組み込みによるサービスイノベーションの創出

サービスの高度化の有力な方法であると目されるロボット／RT によるサービスイノベーション創出の試みはなかなか促進されないでいる。実際に、その方法の困難さはサービスを提供する事業者とロボット技術を開発する製造業者の間に横たわる大きなギャップに起因している。サービス提供者の多くは、現状ではロボット技術のような高度な先端技術を理解することもできなければ、ましてやそれを利用し、さらにはそれに自ら手を加えて改良を施すことは困難である。一方、ロボット技術の知識を持ち、その開発ができる製造業者は、サービスの現場で起こっていることを経験したこともなければ、その勘所がわかっているわけでもなく、当然そのサービスのビジネス設計をすることもできない。これら両者のギャップは、例えば、製造業者がサービス事業者ニーズを聞くと言った程度のことでは埋まらないことは明白で、この両者の距離をいかに縮め、両者の専門性の中からいかに高効率なあるいは従来にない価値を持った新たなサービスを生み出していくかが鍵を握ることになる。そこで、まず、製造業者がやらなくてはならないことは、あるサービス事業領域の中でその業界をリードするサービス事業者を見つけ出し、その事業者が解決したいと考える課題に対して、あるいは従来やりたくてもできなかったサービスアイデアに対して、ロボット技術を活用した解決策を提案し、彼らにとって重要なパートナーとなっていくことであろう。以上のような、ロボット技術を持つ製造業者が関わることによってサービス事業者によるイノベーションを実現することは、これまでそのやり方も含め殆ど行われてこなかったため非常に困難である。しかし、対象となるサービス市場は製造業者にとっては未開の広大な荒野であり、大きな事業機会と考えることができる。ただ、多くの場合、製造業者とユーザ企業間の非常に大きなギャップを埋めるための有効な方法を戦略的に組み入れていかなければ事業化はう

まくいかないであろう。考えられる有力な方法としては、以下のような役割を担う企業を両者の間に介在させるという方法である。まず、製造業者とユーザ企業両者の専門性を理解したうえで、ユーザ企業の持つ課題の解決や要望・ニーズに応えるロボット／RTによる手段をソリューションシステムとして考案する。事業性を組み入れたビジネスプランと共にそのシステムをユーザ企業に対して提案し、製造業者や研究者の連携を構築してそれを具体化するという役割を担う企業（RTシステムプロデューサー）である。さらに、この企業が事業化するソリューションシステムをモジュラーアーキテクチャーとして設計すれば、同様の要望を持つであろうユーザ企業が所属する業界全体への普及をはかる際に、企業ごとに基本設計は同じだが細部の仕様が異なるといった程度のカスタマイズを効率的にかつ経済性も成り立つ形で実現できるであろう。さらに、このような状態が作れば場合によっては、ユーザ企業が自らの望む仕様や機能に合わせて自ら改変・改良するというユーザーイノベーションと呼ばれる姿になる可能性もある。そこまで進展すれば、RTシステムプロデューサーはシステムアーキテクトの役割、製造業者はアーキテクチャーに適合した多様なモジュール群を競って開発する役割、ユーザ企業はそれぞれに適合したシステム化を行って顧客価値を作り出す役割といった分業が成立していくことになる。以上に加えて、サービスプロセスへのロボット／RTの導入の際に実現しなければならないのは、ITがサービス業に劇的な変化をもたらしたアプローチと同様のトータルプロセスのリエンジニアリングと言うアプローチである。ロボット／RTによって技術的に置き換え可能なプロセスの中の局部的なサブプロセスの改善による生産性の向上に注目するのではなく、ロボット／RTを活用することにより、サービスのトータルプロセスをある時間軸の中で最終的にどのようなプロセスに変革しうるか、その変革の第一歩としてどのサブプロセスの改善からスタートするのか、という紐解き方によるアプローチをとるべきであろう。

(4) ユーザーイノベーション

上記でも触れた、ユーザ企業が自ら望む仕様や機能に合わせて改変、改良を繰り返し、より最終ユーザにとって望ましい製品／サービスが開発されていくアプローチが重要である。ロボットをモジュラーアーキテクチャーとし、さまざまなRTモジュールが用意されていくことがユーザーイノベーションを活性化することにつながる。

トータルバリューパッケージ（エコシステム）ビジネス：前述のとおり、ロボット／RTを基盤的な技術ととらえるのであれば、アップル社によるiPodビジネスやIBMによるスマートプラネットビジネスに見られるトータルバリューパッケージ（エコシステム）ビジネスのアプローチをとることが、これらのアプローチが時代の潮流であると言う以上に、極めて重要となる。ロボットを従来の家電や自動車と同じビジネスモデルの下で、マスマーケティング・マスプロダクション型の産業と捉えるのでは、産業の規模や収益性、競争優位性などの観点からしても魅力が感じられない産業となってしまう。ハードウェア、特に競争力のある要素技術を核としたハードウェアをベースとするとしても、より重要なのは、サービス、コンテンツ、ソフトウェアを組み合わせ、従来にない顧客価値や未解決の課題を解決するソリューションとして実現するビジネスアプローチをとることである。たとえば、高齢化対応という課題を解決する技術手段の一つとしてロボットを開発し販売するというアプローチを取るのではなく、高齢化に対応したロボット／RTを組み込んだ社会システム全体を世界に普及していくというアプローチである。このアプローチを前提とすると、競争優位性を保つための手段も大きく変わってくる。従来の技術依存、ハードウェア依存のモデルであれば、特許を中心とした知的財産権によるガードが最も重要なガード手段であったが、新たなアプローチの場合、ビジネスモデルによってさまざまな競争優位性を保つ方

法が組み合わさってくることになる。その中で標準化やオープン性も重要な鍵を握ることになると考えられる。以上のアプローチを取る際に現在の日本に最も欠けていると思われるのは、新たな顧客価値のコンセプトとそれを実現しうるビジネスモデルを立案・提示できる人材（ビジネスアーキテクト）である。こうした人材の発掘、育成は急務であろう。

2.1.6 社会システムデザインと社会システム構築プロセス

2.1.6.1 社会システムデザインの必要性とそのアプローチ

社会システムとは、「消費者あるいは生活者に対して価値提供をする体系的仕組み」を指し、その基本的性格は縦割りに構成されている既存産業、およびそれに関わる既存省庁に横串を通したものである。代表的なものには、国防システム、金融システム、医療システム、教育システム、観光システム、交通システム、住宅供給システム、訴訟システム、産業廃棄物処理システムといったものがある。社会システムデザインとは、価値提供の仕組みが内包する、バラバラの性能要素とそれに応えるバラバラの構成要素を、全体と部分とがつじつまが合うようにまとめ上げることをいう（横山禎徳、2006）。生活者の価値観の大きな変化、社会のインフラとなる技術の変化、規制緩和などにより社会システムの変革が必要とされ、またそれが動き出すことがある。前述の通りロボット／RTは社会のインフラとなる技術となりうるもので、従来の社会システムの中の局所的な改良ではなく、今後のロボット／RTの進化を織り込んで新たな社会システムごと設計しなおすことが重要であると考えられる。交通システム、産業廃棄物処理システム、国防システム、医療システム、セキュリティシステムなどはその対象となる領域であろう。すでに進められている事例としては、社会システム産業を標榜するセコム社の安全・安心事業の展開アプローチをあげることができる。セコムはロボットビジネスとしてこの事業を展開しているわけではないが、結果的に技術的な側面で見れば、ロボット／RTをベースとしたシステム構築を行っている。

この社会システムのデザインのアプローチを特に高齢化対応の社会システムや低炭素社会システムといった日本が先頭を切って直面し、今後世界中の国々がその課題を抱えることになるテーマに対して、現在の対処療法的な課題解決のアプローチに対して、十分な説得力を持つ形で適用していく必要がある。十分な説得力を持つためには、一つには、デザインプロセス自体を従来の学問体系との関係を考えながら確立していくことではないかと考えられる。加えて、国民への受容性を高める、さらには国民が積極的に社会システム構築のプロセスに関与するという状態の醸成をはかっていかななくてはならない。その中で、マスコミ対策は非常に重要であろう。特にこうした新たな試みに対する市民に向けてのマスコミを通じた情報やメッセージが適切に伝えられることは極めて重要である。

さらに、社会システムデザインを推進するためには、特に経済的合理性の評価の方法論を見直し、ボランティア経済の金銭経済価値評価も重要となるのではないかと考えられる。社会的課題の解決は、日本において従来、その経済性が度外視されてきた。たとえば、公的に支えなければならない解決策が、その経済的負担の大きさばかりがクローズアップされて、対策がなされず長期にわたって放置されたり、一方では、深刻な社会的課題の状況を感情的にクローズアップし政府批判が行われるといったことが繰り返されている。こうした社会的課題に対して、政府や公共団体が対策を打たなければならないし、NPOやボランティア組織によって、さまざまな解決に向けた試みが行われることは非常に重要である。しかし、同時にこうした社会サービス、特にボランティアな活動によって支えられるサービスにかかるコストがいくらで、それがどのくらいの経済的価値を生んでいるのかといったボランティア経済の金銭経済価値の評価をしなければ、QOL

と効率性の向上に対して科学的かつ事業的な観点からの解が導入されていかなくなると考えられる。

上記のような社会システムデザインは、日本では具体的な事例さえ非常に少ないと考えられるため、こうしたアプローチを指向している海外の国との連携により、その方法論や推進のヒントを得たり、社会的課題ごとに共同で検討することも必要であろう。例えば、高齢化対応社会システムといったテーマに関してはデンマークと連携するといったことが考えられる。

2.1.6.2 社会システム構築プロセス

以上のような社会システムデザインの方法論を確立していく中で明らかになっていくであろうが、これまでの経験から社会システム構築プロセスとして、図 2.1.6-1 に示したようなプロセスが望ましいと考えられる。

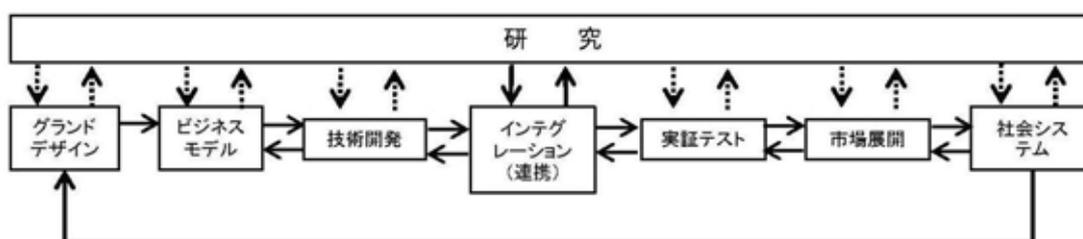


図 2.1.6-1 社会システム構築プロセス

2.1.7 ロボットの社会実装とそれに伴う産業化を促進する具体的方策

これまで述べてきたことを踏まえ、ロボットの社会実装とそれに伴う産業化を促進する具体的方策を以下に挙げる。

(1) 社会システムデザイン推進機構の設置

社会システムデザインの方法論を確立していき、新たにデザインされた社会システムが説得力を持って社会に受け入れられていき、かつそれがよりよい社会として改善されていくプロセスをまわしていくことを推進する仕組み、たとえば社会システムデザイン推進機構と呼ぶような組織を立ち上げて活動を展開。

(2) 総合特区等活用による社会制度等の変革の下での、あるいは先進的社会制度の国家との連携を活用した新たな社会システム実証の推進

民意を受けた強力なリーダーシップを持つ首長のもとで、社会的課題解決を実現しようとする地域・コミュニティが総合特区等を活用し、規制緩和と同時に規制の強化や政府調達ならびに新技術導入に伴うリスクを軽減化する方策（安全に関わる規格、標準化、PL法、損害保険適用など）を取り入れることによって、(1)で描かれた社会システムを実証。同時に、共通の社会課題を持ち、その解決のための社会制度変革の先進的な国家（たとえば、高齢化対応社会では、デンマークなど）との連携による実証の推進。

(3) オールジャパン・ロボット／RT コミュニティシステム構築会社（日本ロボット事業推進機構）の設置

国が日本の先行モデルとして(2)を位置づけ、その実証システム構築を実現しうるオールジャパンの企業連携組織に委託し、社会課題を解決する社会システムパッケージの構築、販売、メンテナンスの実施と他地域ならびに海外への展開を推進。特に、国税を投入して社会システムの実証を行うことにより、従来に比べ、QOL と効率性が向上されることによる社会的コストの減少と、その社会システムパッケージの、海外への販売が生む日本の経済成長と税収増につなげる。

(4) 社会実装に伴う産業化のための戦略的アプローチを指向

「ロボットの定義やその呼び名を含む社会的な認識を、ロボット／RT によって実現しうる価値の観点から表現し、共有する」「ロボット／RT 産業の基本的な進展プロセスを認識したうえでどのようなアプローチとどのようなアウトプットを目指すのかを明確にする」「ロボット産業のフェーズや日本の競争的ポジションなどに応じたビジネスモデルを創出する（マスマーケティング・マスプロダクション型を前提とせず、新たなビジネスモデルの検討に対し、ロボット／RT の研究・技術の検討に注力するのと同等に注力すべき。）」「ロボットハードウェア開発ビジネスよりも、全体システム（原発システムなど）やインフラ（交通システム、タウンマネジメントシステムなど）へのロボット／RT のインテグレーションやサービスプロセスへのロボット／RT 組み込みによるサービスイノベーションの実現を軸に事業化、産業化を検討する」「ユーザーイノベーションを創発する方法、たとえば、モジュラーアーキテクチャーやオープンソースなどによりユーザードリブなイノベーションを誘発する」「トータルバリューパッケージング（エコシステム）ビジネスを指向し、知的財産、標準化、オープン化をコントロールしてエコシステムとしての競争優位性を持った産業として戦う」

(5) アーキテクト（社会システムデザイナー／ビジネスアーキテクト）の育成

ロボットの社会実装の鍵が、QOL と効率性を同時に持ち上げることを可能とするロボット／RT を基盤技術とした社会システムデザインであることを述べた。また、産業化の鍵は、ギャップのあるプレーヤ間をネットワークして新たな顧客価値を実現しうるトータルバリューパッケージングによるビジネスモデルであることを述べた。これらの中核となる人材がアーキテクトである。社会システムデザインの方法論を身につけ、社会的課題を解決しうる新たな社会システムを構想し、設計できる人材「社会システムデザイナー」と新たな顧客価値の仮説とビジネスモデルを立案し、それを実現しうるネットワークを構築して事業を創出する人材「ビジネスアーキテクト」が数多く登場してこなければならない。従来行われてきた科学技術人材の育成だけでは、こうした科学技術を社会的価値、市場価値に転換して生み出される新たな社会や産業を創出していくことは困難であろう。

参考文献

横山禎徳、『アメリカと比べない日本』、ファーストプレス(2006)

(執筆担当：石黒周)

本概論の執筆にあたって、次世代ロボット事業に対する取り組みの実態を踏まえて、次世代ロボット産業化の課題の洗い出しを行うために、産業化の最も先行した地域である大阪市の中企業ならびにベンチャー企業の何社かにインタビュー調査や議論の協力をいただいた。その企業は以下のとおりである。

(1) 株式会社アールテクス：手指リハビリロボットの開発、設計、販売を行っているベンチャー企業。大阪市のロボットビジネス起業コース卒。

http://www.roobo.com/index.php?mpage=index_detail&schr=146

(2) 株式会社イーガー：コンピュータ関連ソフト／ハードウェアの開発ならびにシステムインテグレーション企業。新規事業として次世代ロボット事業に進出。D+ropop（紙のボディを持った広告媒体ロボット）の開発の他、三菱重工社の WAKAMARU によるロボット演劇にも関わっている。

<http://www.eager.co.jp/>

(3) 知能技術株式会社：ロボット／ロボット技術による顧客の課題解決企業。移動体通信分野、土木分野、プラント分野、交通インフラ分野など幅広い分野向けに知能ロボット技術によるソリューション提案を行っている。高速道路サービスエリアトイレ清掃ロボット Ladybird などの開発実績がある。

<http://www.chinou.co.jp/>

(4) 東洋理機工業株式会社：次世代ロボット開発ネットワーク RooBO の代表企業。各種組み立てロボットを始めとして、コミュニケーションロボットの受託開発や案内、受付、安全安心見守りなどの次世代ロボットシステムのインテグレーションを行っている。

<http://www.toyoriki.co.jp/>

(5) バイオシグナル株式会社：生体信号を利用した次世代ロボットシステムのためのヒューマンインターフェースの開発を行っているベンチャー企業。大阪市のロボットビジネス起業コース卒。

<http://www.biosignal.co.jp/>

(6) 北陽電機株式会社：光伝送装置、カウンタ、センサ、計測機器などを手掛ける企業。障害物検知センサーとしてサービスロボットのレーザー式測域センサの開発、販売を行っている。

<http://www.hokuyo-aut.co.jp/>

(7) 株式会社ロボリユーション：介護福祉 RT 分野を含め幅広くロボットビジネスプロデュースを行っているベンチャー企業。大和ハウス工業社、村田製作所社等の大手企業のロボット関連プロジェクトのとりまとめも行う。大阪市のロボットビジネス起業コース卒。

<http://www.robot-revolution.com/>

(五十音順)

2.2 ロボットの社会実装各論

2.2.1 社会実装実例

2.2.1.1 関西次世代ロボット推進会議による都市再生プロジェクト

2.2.1.1.1 背景・経緯

少子高齢化や市民の価値観の多様化、犯罪・災害等への不安の高まりなど社会的な背景を受け、人間と共存、協働する次世代ロボットのニーズが高まりつつある。次世代ロボットは、情報通信技術やバイオ、ナノなどの先端技術と地場のモノづくり技術とを融合した多様な要素技術から構成され、この振興により大きな経済波及効果が見込まれる。関西は、研究開発・技術開発に優れた企業、特に、生活関連メーカーやものづくり中小企業が集積しているなど、生活・ものづくり技術を中心に産業再生を図ることができる地域といえる。

そこで、2002年12月、経済界が関西産業競争力会議ⁱ（議長：秋山関経連会長（当時））において、“人間共生型ロボット産業の拠点形成”を重点的に取り組む行動計画のひとつに決定した。2003年2月には関経連がロボット関連企業を中心とする「関西ロボット研究会」を立ち上げ、拠点形成のための推進体制について検討した。そして、同年4月、産学官を代表する「関西次世代ロボット推進会議」を設立した。

また、国の動きとしては、2001年、当時の都市再生本部（本部長：小泉内閣総理大臣（当時））が選定する都市再生プロジェクトの取り組みが始動した。このプロジェクトは、慢性的渋滞といった「20世紀の負の遺産」の解消や、持続発展可能な社会の実現といった「21世紀の新たな都市創造」を目的に関係府省、地方公共団体、関係民間主体が参加して取り組む具体的な行動計画のことである。2004年4月、第7次都市再生プロジェクトに「大阪圏における生活支援ロボット産業拠点の形成」が採択されたことを受け、2005年2月より「大阪圏生活支援ロボット産業拠点の形成に係る推進協議会」が設置された。

2.2.1.1.2 主な活動

関西次世代ロボット推進会議の取り組みは、情報発信、ネットワーク形成、研究開発・事業化支援の3点である。具体的に情報発信の活動としては、国際フロンティア産業メッセ等国内外の展示会におけるブース出展やポータルサイト「KANSAI ROBOT-NET」（<http://kansai-robot.net/>）での公開を通じて、当推進会議が管理している関西のロボット関連プロジェクトのPRを行っている。ネットワーク形成の活動では、会員間のネットワーク構築を支援することにより価値設計やビジネスモデルを創出できる人材を発掘・育成し、RT（ロボット・テクノロジー）の自発的な利活用を図っている。研究開発・事業化支援の活動としては、それぞれの進捗段階で生じる課題を抽出し、これらの課題を関係府省と情報共有するとともに規制緩和・強化等の働きかけを行っている。

また、推進協議会では、関西次世代ロボット推進会議が推進するプロジェクトの現状をPDCA報告書として取りまとめ、これらのプロジェクトの課題解決に向けた議論を行っている。この活動では、大阪圏において生活支援型ロボットの産業拠点を形成し、経済再生を通じた都市再生を図ることを推進協議会の目的としている。

2.2.1.1.3 推進会議が支援するプロジェクト

PDCA 報告書に掲載している現在進行中のプロジェクトの数は、全部で 27 である。これらのプロジェクトをテーマ別に「安心安全分野」、「医療福祉分野」、「教育分野」、「生活空間分野」の 4 つの大分類に整理し、さらにロボットや RT が活躍する場面ごとに 8 つの中分類に整理している。具体的には、「安心安全分野」を「災害救助及び危険作業支援 RT システム」、「街が安心安全を見守る RT システム」、「農林水産現場に適応した RT システム」に、「医療福祉分野」を、「医療支援 RT システム」、「自立支援 RT 義肢装具」に、「教育分野分野」については、「RT 訓練機器・教材」、「生活空間分野」については「快適な暮らしを提供する RT 空間モデル」、「創造的なビジネス RT 空間モデル」に整理している。

具体的なプロジェクト名は以下のとおりである。

【安心安全分野】

1. 公共地下空間等のテロ被害・災害低減化ロボットシステムの開発
2. マンマシンシナジーエフェクタ（パワーエフェクタ）の開発
3. 高速道路保全作業環境改善プロジェクト
4. 自動認証&緊急通知システムによる地域防犯（ロボットロケーター）
5. 高齢者・障がい者（チャレンジド）のためのユビキタスネットワークロボット技術
6. アニマルセンシングによるエコ型動物管理システムの探索研究

【医療福祉分野】

7. 診断・治療のためのマイクロ対内ロボット
8. 生活支援／重作業支援パワーアシストロボット
9. インテリジェント義手

【教育分野】

10. レスキュー工学普及啓発プロジェクト
11. 次世代ロボット分野でのイノベーション型製造中核人材育成（EPEER）
12. 新学術領域「人ロボット共生学」
13. ロボット演劇
14. 人間とロボットの認知発達研究のための普及型ヒト型ロボット・プラットフォーム

【生活空間分野】

15. 産総研「アウェア・ホーム」、「ヘルスケア・ハウス」
16. NICT ユビキタスホーム
17. 人間協調型自立支援 RT 家電の実用化開発
18. ロボティクスが見守るライフスタイル
19. サービスロボットによる実用サービス実証
20. なにわ空中棚田プロジェクト
21. コミュニケーション RT システムによる高齢者在宅健康管理支援システムの開発
22. 全方向移動自律搬送ロボット
23. RT×ユビキタスによるパーソナルモビリティを組み込んだサービスの開発
24. 遠隔操作型「ジェミノイドF」の開発
25. ユビキタスマーケットの開発と実証
26. 情報大航海プロジェクト
27. 植物工場における環境制御システム

2.2.1.1.4 プロジェクトの進捗管理

推進会議では、上述のプロジェクトの進捗管理の方法として、構想、研究開発、実証実験、実用化・製品化の4つのフェーズに分類し、プロジェクト担当者から現在それぞれの担当プロジェクトがどの段階に該当するのか自己評価していただいている。

構成する個別プロジェクト	進捗状況				主な成果	成果目標
	1. 構想	2. 研究開発	3. 実証実験	4. 実用化・製品化		
3. 高速道路保全作業環境改善プロジェクト				➡	ユニバーサル・シティワーク等での社会フィールド実証実験	事業化
ネットワーク・ヒューマン・インターフェースの総合的な研究開発		08年度に終了			鉄道駅等公共空間や路上での社会フィールド実証実験	技術の実用化
4. 自動認証&緊急通知システムによる地域防犯 (ロボットロケター)					さつき台、デベロッパ2社、警備会社3社、新築マンションの標準整備、ゲートタウン標準装備採用	事業化
施設内外の人計測と環境情報構造化プラットフォーム開発		08年度に終了			人の位置・行動計測センサーネットワーク	技術の実用化
5. 高齢者・障がい者(チャレンジ)のためのユビキタスネットワークロボット技術				➡ 応用		

図 2.2.1.1-1 2009 年度 PDCA 報告書掲載の進捗管理総括表（一部抜粋）

例えば、図 2.2.1.1-1 のように「高速道路保全作業環境改善プロジェクト」は 2008 年から 2009 年にかけて実証実験段階から実用化・製品化段階へステップアップしたことが分かり、さらに別の案件では 08 年度までのプロジェクトで開発された技術を 09 年度以降のプロジェクトに応用していることが分かる。このようにして、それぞれのプロジェクトの進捗状況が総括表で管理可能となっている。

2.2.1.1.5 推進会議の今後の方向性

関西次世代ロボット推進会議が取りまとめてきた関西地域におけるプロジェクトは概して研究開発の比重が高く、そのアウトプットとしてスタンドアロン型のロボットを開発しようとするプロジェクトが中心であった。

推進会議はロボットや RT を研究開発から事業化・産業化につなげるべく、2003 年以降取り組んできたプロジェクト支援の活動を通じ、関西圏におけるロボット産業の特徴や RT の強みを活かした産業振興の方向性を整理してきた。特に 2009 年には、①ネットワークロボット技術をベースとした環境・インフラの整備、②ロボット技術をシステム化した RT 空間ビジネス、③ロボテクシステムプロデューサーによるユーザ企業との連携事業、④新たな大手企業のロボットビジネス参入、⑤有望な研究開発プロジェクトの 5 つの方向性を打ち出した。さらに、2010 年にはこれらの方向性を踏まえ、以下の通り総括を行った。

まず、関西圏の特長は、ネットワークロボットやユビキタス×ロボットをテーマとしている点であり、急速にグローバルに進展するユビキタス社会の形成の時流にもマッチしているものといえる。今後さらにユビキタス環境が進展していくとともに、「多地点、多様なユーザ、多サービス連携」に向けて発展するものと考えられることから、個々のロボットはネットワークでつなぎあわされることによりユビキタス社会に対応したサービス提供システムにすることが求められる。

そこで、推進会議としては、研究開発寄りのプロジェクトと事業化寄りのプロジェクトの大き

な分類し、特に研究開発段階から事業化段階への移行を目標とするプロジェクトを強力に推進していくことが必要であると考え。この点については、推進している研究開発を念頭においた価値あるコンセプトとビジネスモデルの創出が欠かせず、これを生み出しうる人材の発掘や育成を行い、従来の法規制が制約となる場合はそれを解除する特区などの方策を活用し、実証実験を積極的に実施することがこれからの重要な課題である。

同時に、新産業の大きな流れとして、グリーンイノベーションやライフイノベーションという言葉に代表されるように世界が直面する大きな課題の解決に向かい、特に先進国では、ハードウェアだけではなく、ソフトウェア、サービス、コンテンツといったトータルでの価値提供システム間の競争が進んでいる。この競争に勝ち残るためには、オープンイノベーションや多様なプレーヤ間の連携を可能とするビジネスアーキテクチャーが極めて重要であるといえる。

上述の観点から、今後の関西のめざすべき方向性を以下の3つに定めた。

- ① 研究開発の推進に向けた方向性：

ネットワークによりつなぎ合わせた価値提供システムに進化させるとともに、今後も傑出した要素となりうる個別プロジェクトを推進する。
- ② 事業化の推進に向けた方向性：

価値を提供するトータルシステムパッケージで国際競争力を強化する。
- ③ ①②を達成する3つの手段：

価値設計とビジネスモデルを創出できる人材を発掘・育成すると同時に、プロジェクト間やプレーヤ間の連携を促進させ、事業性を検証するための実証実験を積極的に実施する。

2.2.1.1.6 関西における拠点機能案

生活支援ロボット産業クラスターの形成を目指し、以下のような拠点イメージを持って、重点プロジェクトの推進や協働プラットフォーム構築に取り組む。

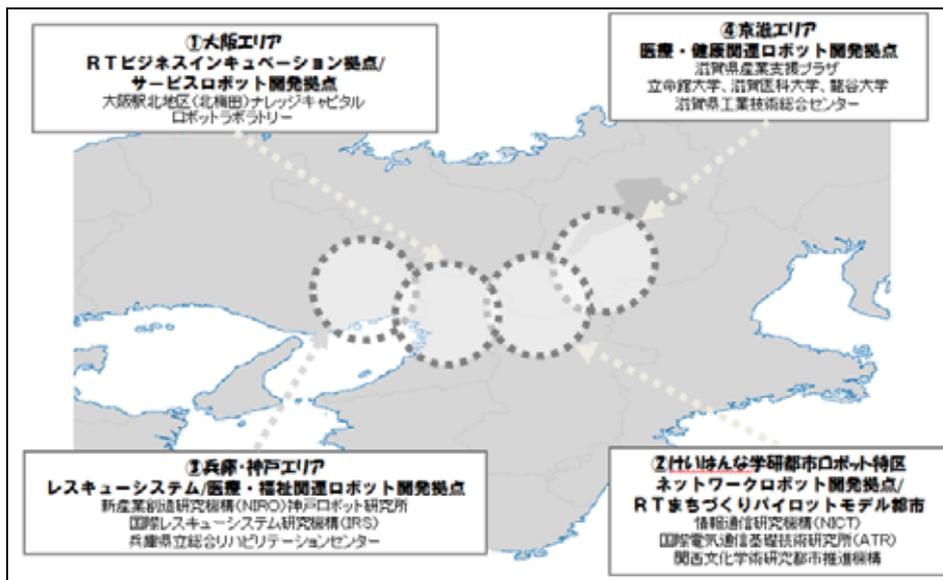


図 2.2.1.1-2 産業化を目指した拠点イメージ

地域ポテンシャルを活かした多様な RT の研究開発や社会フィールド実証実験等のプロジェクトが各拠点で進められ、最終的に実用化・製品化に至ることが目標である。これらの開発成果と既存サービスとの融合を促進することにより、新たなビジネスや公的サービスを創出し、関西全体として多様な研究開発や要素技術、ユーザ等の求心力を高め、生活支援ロボット産業クラスターの形成の足がかりとする。

大阪エリア：「RTビジネスインキュベーション拠点/サービスロボット開発拠点」

都市再生緊急整備地域に指定されている大阪駅北地区では、ナレッジキャピタルに RT に関するインキュベーション拠点を整備する。ユビキタス環境下で大阪駅北地区に訪れた数多くの消費者が未来生活を体感できる実証実験フィールドや、各地で開発された RT を導入した新たなサービス提供や製品のテストマーケティングが行われるなど協働プラットフォームの拠点機能を果たす。

けいはんな学研都市ロボット特区：ネットワークロボット開発拠点/RTまちづくりパイロットモデル都市

情報通信やロボット関連の研究機関の連携を核に、研住近接のロボット特区の特色を活かしたネットワークロボットの研究開発や社会フィールド実証実験を展開する。人々の暮らしや地域コミュニティという視点から、RT を導入した新たな地域サービスやまちづくりのあり方を提案するパイロットモデル都市を目指す。

兵庫・神戸エリア：「レスキューシステム/医療・福祉関連ロボット開発拠点」

阪神・淡路大震災の経験を踏まえたレスキューロボット、あるいは医療産業拠点としての特色を活かした医療・福祉関連ロボットの研究開発や社会フィールド実証実験を展開する。

京滋エリア：「医療・健康関連ロボット開発拠点」

びわ湖南部地域の大学を核に、医療・健康関連ロボットの研究開発や社会フィールド実証実験を展開する。現在では、文部科学省の地域イノベーションクラスタープログラムの認定を受け、高度先端医療の実現に向け研究開発、実用化が進んでいる。

(執筆担当：鍵田智也)

2.2.1.2 デンマークの試み

2.2.1.2.1 デンマークで福祉医療ロボットが注目される背景

(1) デンマークの概要

デンマークは人口が約 550 万人、経済規模は日本の約 16 分の 1 という小国である。日本人には酪農畜産を主体とした農業国としてのイメージが浸透している。一方で高福祉国家としても有名であり、特に複数の調査で「国民幸福度世界一」として紹介されている。こうした北欧の小国でロボットが注目されている理由を理解する為には、高福祉国家であるという事実に加え、デンマークの産業についても知る必要がある。日本国内でのイメージとは異なり、現在のデンマークは ICT、バイオテクノロジー、環境技術など先端技術で世界的な研究開発拠点として欧米で認知されている。例えば、グーグルはデンマークに R&D センターを有しており、ここで戦略的なクローム OS の主要コンポーネントを開発している。ノキアはフィンランドの企業であるが、国外にある最大の R&D センターはコペンハーゲンに在り、スマートフォンの開発を行っている。マイクロソフトもデンマークの企業を買収し、デンマークで中小企業向け顧客管理システムの一つを開発するなど数多くの欧米企業がデンマークで開発したソリューションを世界に展開している。従って、ワイヤレス技術、スマートフォンを含む携帯電話端末、組込みシステム、ソフトウェア開発の産業が発展しており、そもそもデンマークではロボット技術を開発、応用する上での下地が整っていることがある。

(2) 何故ロボットなのか

デンマークで福祉介護ロボットが注目されている背景には大きく二つの要因がある。第一に福祉サービスの更なる高度化実現の為と、第二に高齢化に伴う労働者不足解消の解決策としてロボット技術を活用しようという点である。第一の福祉サービスの高度化は、デンマークの福祉制度と密接に結びついている。デンマークでも長い年月をかけて所謂「ゆりかごから墓場まで」という福祉制度を発展させてきたが、特に高齢者福祉制度で重要な転換点として挙げられるのが、1982 年に制定された高齢者医療福祉政策三原則である。ここで現在の高齢者福祉制度の根幹となる三原則が制定された。具体的には①人生における継続性の尊重、②高齢者の自己決定権の尊重、③残存能力の活用である。そして 1988 年にはプライエム（介護ホーム）の新規建設禁止令が出され高齢者介護は施設から自宅で給付されるべきであるという方向に大きく転換されることとなった。三原則を含め在宅での高齢者福祉サービスを実現するために様々な福祉器具が開発されたが、近年の ICT を含めた技術の発展と、より健康的な高齢者生活を実現し、高齢者自身の生活を「受動型から能動型」にするためにロボット技術を含めた先端技術の活用を推進するべきであるという考え方が広く共有されることとなった。例えばコペンハーゲン市は、高齢者向けのサービスに将来必要となる技術として、ロボットに加え、ナノテクノロジー、通信技術、注意喚起技術、自立支援技術、能動力創出技術、労働力省力化技術などに注目しており、これらの技術を具体的な福祉介護サービスで応用展開するためのプロジェクトを計画している。

第二の労働者不足解消の手段としてのロボットであるが、デンマークは日本と同様に高齢化が進行している。高齢化率は 2009 年時点で 16.3% となっており、高齢化率そのものは日本より低い、デンマーク社会は高齢化による社会サービスの変化に敏感なことがある。それは、高福祉国家として老後の年金を含め、各種福祉介護サービス、医療、教育が国民の税金で賄われている代わりに、行政サービスとして無償で提供されていることと関係する。つまり福祉などのサービスは全て公共部門が担っており、公共部門で従事する労働者の比率は全労働人口の約 30% を超え

ると言われている。そして今後 10 年で公務員は約 25% (約 20 万人) が退職するとの予測がある。従って公共部門での労働者不足は即、福祉介護や医療サービスの低下に繋がることになる。デンマークではこの労働者不足の切り札としてロボット技術を活用しようと考えている訳である。通常、労働者不足の解消策として議論されるのは、移民と女性労働者である。ところがデンマークは厳しい移民政策を取っていることなどから、簡単に移民には頼れないことがある、また女性労働者についても平等なデンマーク社会では女性の社会進出が 1970 年代にほぼ完了しており、約 70% の女性は仕事に従事していることからこれも解決策にはなり得ない。そこで着目されたのがロボット技術による生産性の向上により、労働者不足を解消するというアプローチであった。前述のように元々技術力が高く、先端的な産業が発展している環境に加え、福祉サービスの高度化とサービス水準の維持に必要な労働者不足の解決という明確な動機が融合することでデンマークにおける福祉医療ロボットの導入機運が高まった。

2.2.1.2.2 デンマークで導入が検討されている日本製ロボット

(1) 労働力省力化対応

サイバーダイナミクス株式会社は、2010 年デンマークで法人を設立しロボットスーツ HAL による実証実験を計画している。日本でも福祉施設向けに HAL スーツが提供されているが、デンマークでの利用目的は日本のものとは異なっている。デンマークは、病院で障害を持った患者がリハビリテーションの目的で HAL スーツを装着する。しかし患者の自立支援そのものが目的ではなく、患者が自立的に行動出来ることにより、介護に従事する看護師などの労働力軽減に主眼が置かれている。同社は実証実験を行うにあたり、オーデンセ市が申請した ABT ファンド (Labor Saving Technology Fund) の補助金を活用する予定となっている。ABT ファンドは労働力の省力化を実現する技術に対して、企業と研究を行っている公的研究機関が補助金を申請出来る制度であり、申請には以下の要件を満たすこととされている。

実証実験プロジェクト

- a) 生産性とサービス改善の可能性があること
- b) 技術の活用と新しい作業形態の確立が実現出来ること
- c) 革新的で挑戦的なソリューションであること
- d) 他の公共部門への展開が可能であること
- e) 多くの人々にプロジェクトの成果を還元できること

導入プロジェクト

- a) 生産性の向上とサービスの高度化に効果的なビジネスケースであること
- b) 技術の活用と新しい作業形態の確立が実現出来ること
- c) ソリューションが十分試行されており確立していること
- d) プロジェクトソリューションが、公共セクタで広く導入されていること

オーデンセ市では HAL スーツの実証を通じ、労働力省力化技術により、労働者不足の問題を解消することに加え、効率化で人件費削減による財政支出削減効果をも期待している。ロボットの利用方法において、日本とは異なる視点で取り組んでいる事例として興味深い。

(2) 福祉サービスの高度化対応

パナソニック株式会社はサービスロボットの中でも介護用ロボットを中心にデンマークの福祉医療現場で実証実験を行い、将来的に日本市場だけでなく、欧州を含めた世界市場での展開を視野に入れている。2010年には、オーフス市、オーデンセ市との間でヘルスケア分野における新しい技術の開発と利用に関して、共同プロジェクトの覚書を締結した。パナソニック生産革新本部ロボット事業推進センターの所長である本田幸夫氏は、デンマークとの連携について以下の通りコメントしている。「デンマークは国民の幸福度世界一、長寿高齢化含め老若男女国民全てが健康で生き生き社会に参画できる国を作ろうとしている。そのために電子カルテ含めた医療情報、健康情報のIT化は世界トップクラスである。今後リハビリや介護、介助ロボットなど最先端技術を更に導入、有効利用し、人が積極的に機能回復して自立し、健康で生き生きできる社会に進化させたい。またその必要があり、それが国や地方公共団体の市民に対する義務であるとされている。国民も他人の世話になるのではなく、自分で出来る事は自分です、また社会に貢献したいと望んでいる。しかし、デンマーク自体は小さな国なので、ロボットのモノづくりはできない。私たちはデンマークでユーザビリティに関するアプリケーションを開発していきたいと考えている。パナソニックは、医療福祉ロボットの開発をしている。そのコンセプトは、単なる一商材提供ではなく、家まるごと、病院まるごと、町まるごとのロボットソリューション提案である。デンマークは、国、地方自治体が一体になって、住民の理解を得ながら社会実証をすることが容易である。ベッドが車椅子に変化するロボティックベッドには、ITを利用した遠隔医療や利用する人が社会参加できる仕組みを組み入れている。このロボットを、デンマークで社会実証すれば、デンマークが得意なユーザビリティの開発とシナジーが発揮できる。日本のモノづくり技術とデンマークのユーザードリブン・イノベーション（利用者主体の革新）を実践できる社会環境をうまく融合させる事ができれば、超高齢化社会を元気にする方策を見つける事ができるはずだ。その結果、日本もデンマークもハッピーになり、その知見、ノウハウ、商品を世界に提供する事が可能となる。」日本でもロボットに関する実証実験特区などによるロボット開発が進展しつつあるが、パナソニックの事例を通じ、先進的な福祉医療制度があるデンマークと日本国内での実証実験結果を融合することが出来れば、今までとは異なるアプローチで医療福祉ロボットの製品化に向けた開発が出来るものと期待されている。

(3) 遠隔福祉サービス&モビリティ対応

株式会社テムザックは、昨年デンマークを視察し南デンマーク地方に位置するファーボー市と同社製品であるロボリアを利用した遠隔福祉サービスに関する覚書を締結した。デンマークでも高齢化の進展により高齢者介護の問題が議論されているが、日本と大きく違う点として、自立意識の高いデンマークでは高齢者自身が出来ただけ長く自宅で生活をしたいと望んでいることがある。その為、政府や自治体にはこうした要望に対処する為のコスト増や十分な労働力の確保といった問題に直面しており、その為に「技術による解決」が最も有効であると考えられている。テムザックとのプロジェクトでは、対象者として訪問介護サービスを受けている高齢者やケアセンターの住民とし、ロボリアを利用する遠隔福祉サービスにより、①訪問介護に関する労働リソースを節約する、②ケアセンターにおける夜間人員数を削減する。③将来的に物理的な介護スタッフの関与なしに、高齢者に安全で高度な介護サービスを提供することが目的とされている。そして、実現するための評価項目としてロボリア導入前後のケアワーカー数の分析、ロボリア導入による移動コストの削減効果とケアワーカーの労働環境の変化（特に労働環境の柔軟度合）、高齢者自身や家族の安全性に関する評価を取り入れることとしている。この実証実験を通じ、ファーボ

一市では将来的に年間約 2,000 万円～3,000 万円の削減効果を得られると期待している。勿論、高齢者がどの程度ロボットを受け入れるかなどリスクも想定されているが、住民数わずか 7,200 人の同市にとり、遠隔福祉サービス導入による費用削減効果は大きく、テムザックとのプロジェクトには市議会議員や市長自ら積極的に関わるなど多大な期待を寄せている。テムザックはロボリアに加えて、将来的にユニバーサルビークルとして開発されているロデムをデンマークで実証することも計画している。デンマークでも介護現場におけるベッドから車椅子、車椅子から自動車への乗移りが課題となっている。この乗移りで他人への介助が必要なことを、「自立生活のリンクが切れる」と表現しており、自立性維持の最大の障害とされている。従ってロデムによるノーマライゼーションの実現と高齢者や障害者にとっての新しいモビリティ形態の提供はまさしくデンマーク社会の基本精神である「共生」を生み出すことに繋がり、テムザックとファーボー市の連携は単にロボット技術の提供には留まらない価値の実現が期待されている。

2.2.1.2.3 福祉医療ロボット分野における日本とデンマークの連携について

(1) デンマークと日本の高齢化対応に関する違い

2.2.1.2.1 節で記述した通り、デンマークでは日本と同様に高齢化が進展している。しかし、日本より高齢化の到来に伴う社会構造変化に対する危機意識が高く、解決のために具体的なアクションを取りつつあることが大きな違いとして挙げられる。これは社会福祉先進国であるという社会制度上の違いが要因としてある。つまり高齢化により社会福祉サービスがその質、量ともに大きく影響を受けることが分かっているにも関わらず、政府、自治体を含めた行政側がその解決に向けて努力を行わないということはデンマーク社会では許されないという背景による。高齢者は今まで以上にサービスの向上を要求し、若い世代は現在の引退世代が享受しているサービス水準が将来低下するなどという事態は受け入れ難い。デンマークでは一般的に地方自治体でも健全財政主義が取られており、財政赤字に陥る場合は、「増税」か「サービス水準の低下」の二者択一により事態を解決することが一般的であることも危機意識に拍車を掛けている。この点は本来デンマークより高齢化が進展している日本でこそ、議論を深め具体的な解決策について行動が取られるべきであるにも係らず遅々として進まないことを考えるとデンマークの取り組みは参考になると言える。次に、高齢者の意識に伴うサービス展開の違いがある。日本の高齢者が受動的であるのに対し、デンマーク人の高齢者は能動的であり、自立的である。そして、そのことが積極的な高齢化対応サービスや新技術の開発と利用に対する取り組み度合いの違いとなって現れている。デンマークで子供は「神様からの贈り物」であり高齢者は「社会における芸術の賜物」という呼び方をされており、充実した老後を健康的かつ積極的に過ごすという考え方と、老後を子供に頼らず完全に自立した生活を送るという習慣がある。従って積極的に先端技術を活用し、豊かな自立生活を謳歌したいと考えている高齢者が多く、実証実験の際には容易に被験者を集められることがある。また行政側としても、高齢者の高いニーズに応えるために、現状の福祉介護器具やサービスに満足することはなく、絶えず新しい技術や解決策を採用しながら、より水準の高い福祉社会を実現しなければならないという政策の動機を生み出し、行政や開発企業を巻き込んだプロジェクトが盛んに推進されることに繋がることになる。これは社会の文化的背景や国民の気質に関係することでもあるので、デンマークの事例をそのまま日本で展開することは出来ないが、日本でもアクティブ高齢者と言われている世代が増えていることを考えると、将来的に参考になる事例であると言えるだろう。

(2) 日本とデンマークの連携のあり方について

日本とデンマークの福祉医療ロボットにおける連携のあり方については、両国の共通点と相違点から導き出すことが出来る。共通点としては、両国とも高齢化が進んでおり、早晚社会福祉の制度変更やサービスの見直しが必要とされていること、そしてロボットを含めて技術を活用した新しい福祉介護システム導入の必要性に迫られていること、教育水準が高く ICT、環境技術、生命科学などの先端産業が発展していることがあり、産業分野などで技術の成熟度が似ていることから連携し易いことがある。従って両国の福祉介護を含めたサービスロボット開発力とそれを必要としている社会環境から必然的に同じ方向性を目指しており、両国の経験や知見を融合することで競争力のある福祉介護ロボットの開発が可能になると考えられる。相違点として、日本はロボットの要素技術では産業ロボットを含めて世界一であること、福祉医療ロボット分野でも依然世界でトップランナーであり、既に開発したロボットをデンマークの社会で即実証出来る環境にあること、一方デンマークはソフトウェア開発やアプリケーションに強みを持っており、技術の統合（インテグレーション）で豊富な経験とノウハウを有すること、加えて福祉介護分野で重要となるユースードリブン・イノベーション（利用者主体の革新）で世界的に有名なことがある。相違点からはデンマークは日本にはない強みや経験があり、特にユースードリブン主体の革新では日本がやや不得意とされていることを考慮すると両国の連携は、良い補完関係にあると言えウィン・ウィンとなり得る。また、ロボットの産業化という視点で捉えた場合も日本とデンマークは良いパートナーになれる可能性がある。今後日本が福祉医療などサービスロボット分野で国際競争力を確保し、ガラパゴスなどと揶揄されている携帯電話の二の舞を避けるために必要なことは、安全性の基準作りを含めて国際標準化活動で主導権を握ることと、プラットフォーム戦略により将来的な対コモディティ対策を組み込んでおくことである。この点、デンマークは通信技術などを含めて国際標準化活動に長けていること、欧州で ICT や環境技術で発言力があると共に福祉関係ではリーダーシップを取っていること、更に技術の統合とアプリケーションでの強みを活かして、プラットフォーム戦略でもそのノウハウや活動で優位性を有していることを鑑みると、デンマークとの連携は日本のサービスロボットの産業化の面でも役に立つと考えられる。むしろ国内における厳しい規制と、福祉介護現場での実証実験を行うのが容易ではないという環境を考慮すると、世界的にも先端的な福祉介護現場というベストロケーションを活用することで、サービスロボットの社会実装に向けた取り組みと、新しいビジネスモデルの確立を他国に先駆けて実施することの意義は非常に大きなものとなり、日本の先端産業を育成する一つの解決策になり得るとも考えられる。

（執筆担当：中島健祐）

2.2.1.3 パナソニックの試み

2.2.1.3.1 病院の経営課題を解決するロボットソリューションビジネスの試み

従来のロボットビジネスは、メーカーが「かならずや人の役に立つであろう」と仮説をたてたロボットを開発し、市場に対して提示し、需要家が日ごろいただいているニーズにピンポイントで当たれば販売に到るというものであった。しかしながら、「ロボットは多機能でありフレキシブルという本質をもつものであるからであるから必ずや需要家のニーズにヒットするはず」という仮説は正しくなかったことが認識されつつある。需要家のニーズは、メーカーが想像するよりもはるかにニーズの焦点が絞られておりかつ深く、多機能やフレキシブルといった特徴は、需要家にとっては焦点がぼけたものに見え、結果として需要と供給がマッチすることがむずかしいことがわかってきた。

そこで、パナソニックでは、仮説の企画にもとづいたロボットを開発する前に、需要家の全体の状況をまず詳しく聞き、よく知ることから始めて、需要家と供給側が、「課題はここである」と納得・共有した上で、メーカー側が商品を組み合わせることで需要家の課題を解決するシステムを提供するというプロセスを試みた。このビジネススタイルをソリューションビジネスと呼んでいる。

この場合、需要家にとって取引の目的は「商品」を手にするのではなく「経営課題の解決」を獲得することになる。

メーカーにとっては、一見、ビジネスの前段階に「お客様の事を知る」という膨大な作業が付加され採算がとれるかどうか疑問が生じるビジネススタイルではあるが、特にロボットのようなコンセプトだけがあり具体仕様が決めるのがむずかしい新規な機械システムを需要にマッチングするにはこのほうが効率が高く、新市場の開拓・新規製品の立上には適切であると考えられる。最初の件名では「顧客を知る」作業は膨大な工数を要するが、同カテゴリの顧客に対しては課題がほぼ同様なため、最初の件名で実施したソリューションが雛形として使え、ビジネスの効率は一気に高まる。また1件あたりの売上が大きいために、メーカーの体力ややり方次第ではビジネスとして成立する可能性も大いにある。ただし、メーカー側に豊富な要素デバイス商品やシステム化技術をもっていることが要件となり、さらに事業としての成功には、メーカー企業に、BtoB 事業の実績や、お客様との対話からビジネスを創り出す営業スタイルの土壌があることが要件になる。

2.2.1.3.2 「病院まるごと」というソリューションビジネスの試み

パナソニックでは、上記の考え方にもとづき、グループ内病院である松下記念病院を対象として「病院まるごと」ソリューションビジネスを試みた。ビジネスの検証であるから、納入総額が妥当かどうかの検証も含まれている。この検証の結果、ロボットを活用したソリューションは、病院の原価低減ひいては病院経営に大きく寄与することが確認できている。

「まるごと」には2つの意味合いを含んでいる。

- ・【文脈的まるごと】もっとも上位の経営レベルの課題から病院各部門の現場の具体課題にブレークダウンする際の文脈が網羅的であること
- ・【物理的まるごと】課題の解決策が、結果として物理的に病院内全体に及ぶこと

2.2.1.3.3 病院業務の分析

病院の最上位課題から現場の具体課題へのブレークダウンの切り口として、製造会社としてノウハウを蓄積してきた業務プロセス改善の手法を適用した。すなわち、①生産性や品質を悪化させている根源の発見と解決、②業務の滞留やムダの発見と削除、といった観点で病院の業務を分析した。

病院の「経営改善」という最上位課題の次には、「医業収入の増加」「原価の低減」「医療サービスの質向上」などに課題分解される。その内の「原価の低減」をさらに展開した事例を下記に示す。



図 2.2.1.3-1 経営課題のブレークダウン例

このように分析した結果、具体的な改善メニューとして、当然ながら、現場の 5S に行き当たる課題もあれば、ロボットの活用に行き当たる課題もあがってくる。

また、これとは別に、第 3 者からでは見えにくい部分を掘り起こすために、職員に困りごとをヒアリングして集計するという手法も使った。

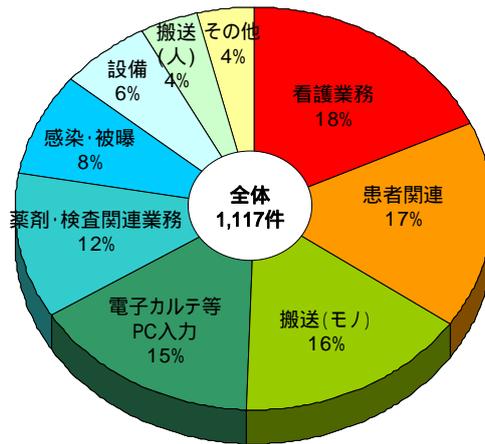


図 2.2.1.3-2 職員への「困りごと」ヒアリングの集計

病院では、人材不足感が常態化しているが、その一因が過酷な業務にある。離職率が高まると人材を次々と補充しなければならず、労務管理コストの高騰と、職場への習熟度の平均が低下し、専門職のスキルの低下・医療のリスクにもつながる。よって、職員の感じる困りごとやストレスは、単に個々人の問題として済まされるものではなく、重要な経営課題につながっているのである。

この事例では、看護業務・患者関連は専門職の本業であるから、何かの手法や道具によって困りごとを緩和することが難しい。一方、3番目に現れる「搬送(モノ)」は、職員はだれもが、本業ではない周辺業務であると感じており、「私ではなく誰か他の人がやってくれないか」「何故私でないといけいないのか」「患者さんのそばを離れて何かあったらどうなるのか」という葛藤があり強いストレスが生じる。この結果、搬送の機械化が、職員はもちろん経営側にとっても強く望まれることが明らかになった。

2.2.1.3.4 解決策の実装

次に、解決策を実際に導入することになるが、病院にとっては、どのような機械システムが最適であるか、知識や判断能力はもっていない。製造業が自社の現場を改善する場合は、もともと工学技術者を多く雇用しているの、工学的知識・知恵をもって自社に合った最適解を探したり、いまだ世の中に確固とした手段系が存在しなければ自ら機械システムを創り出す努力まで行われるが、病院事業においては、そのような技術者はほとんど雇用していない。そこで、外部のソリューション提供能力の在る企業とタッグを組むことが必要になる。ここに、ソリューションビジネスが成立する必然性が生じる。

パナソニックでは、上記で明らかになった改善メニューのひとつ「調剤業務の効率化」に対しては、当社の注射薬払出しロボットシステムを適用し、「夜間搬送業務の削減」に対して、従来から種々の搬送機械が販売されているので、それらをリストアップし最適解を探った。

病院の搬送にまつわる諸条件、搬送物・物流量・頻度・運び先・メンテナンス性とメンテナンス費用・建物への影響などを考慮した結果、既存の廊下を自走するロボットがあれば、最適であ

ることがわかった。

しかしながら、このようなロボットは完成形として販売されているものがなかった。そこで当社に自律移動ロボットの要素技術の蓄積があったのでこれを活用することにした。しかし、病院の望む職員が任せられて足手まといにならない「搬送手段」に仕立て上げるためには、次のような数々の考慮すべき課題が浮上した。

- ① ロボットの到着に確実に気づかなければ、薬の受け取りが遅れる
- ② どのエレベータで上下移動させればよいのか？
- ③ エレベータ数が少ないので、ロボットがエレベータにのると患者や来院者から不満がでるのではないか
- ④ 収納した薬が、職員以外に人に触れることがないように守る方法は？
- ⑤ 夜間に、見たこともないような物体が動いていると恐怖感をいだくのではないか？ 危険ではないか？
- ⑥ セキュリティのため薬剤部はドアがあるがどのようにロボットを通過させるか？
- ⑦ ロボットにいたずらをする人があるかもしれない
- ⑧ ロボットの現在位置や状態を監視する監視盤が必要だが、そのための情報ネットワークは？

このような、諸々の事柄が懸案事項として次々と生じてきて、これらの解決策を捻出するために多くの技術者の知恵と病院とのディスカッションが必要となった。これらの細かな懸案事項に対する解決策の適用と施工は、幅広いシステム化技術とノウハウをもつ当社グループのパナソニックシステムソリューションジャパン社があたった。

ビジネスの全体プロセスは下図のようになる。

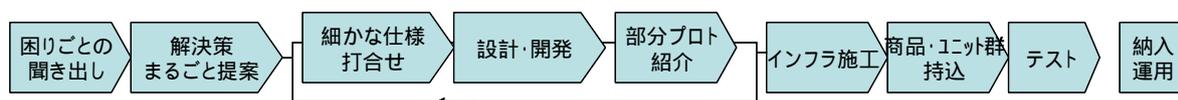


図 2.2.1.3-3 ソリューションビジネスのプロセス例

その結果、下記のような物理的に、病院全体に各種機器を配したトータルシステムが展開されることになった。

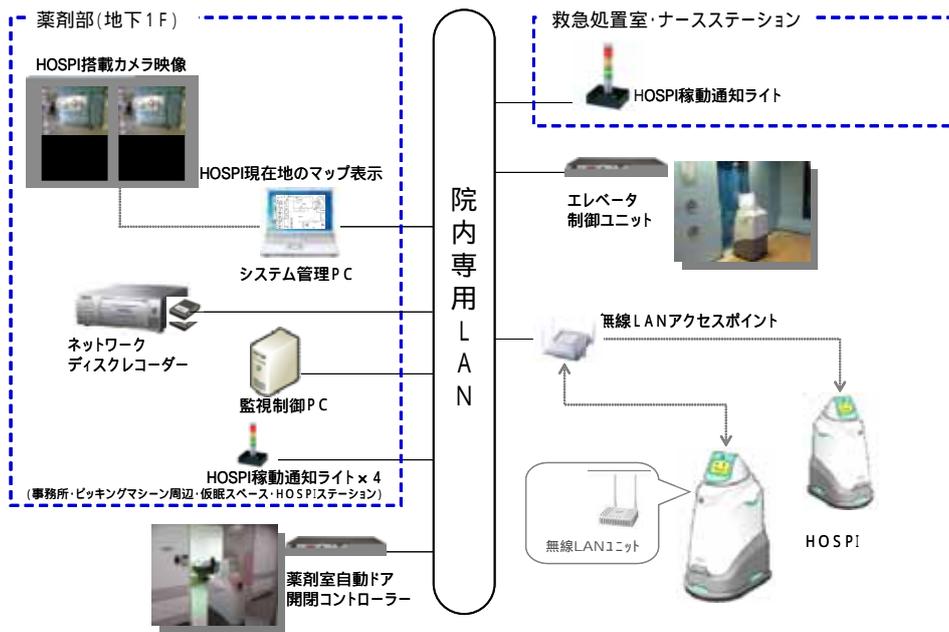


図 2.2.1.3-4 搬送ロボットシステム

以上のようなプロセスを得て、松下記念病院の特有の事情や要望にフィットした「搬送手段」が構築でき、現在実搬送をくりかえし高い信頼性と、ロボットを初めて目にする数百人の看護師・薬剤師でも間違いなく操作できる操作性を確認した上で、夜間 8 時間運転から 12 時間へ、さらに休日昼間運転に順次拡張することで病院経営への貢献（投資対効果）が妥当でありさらに拡大できることを確認した。

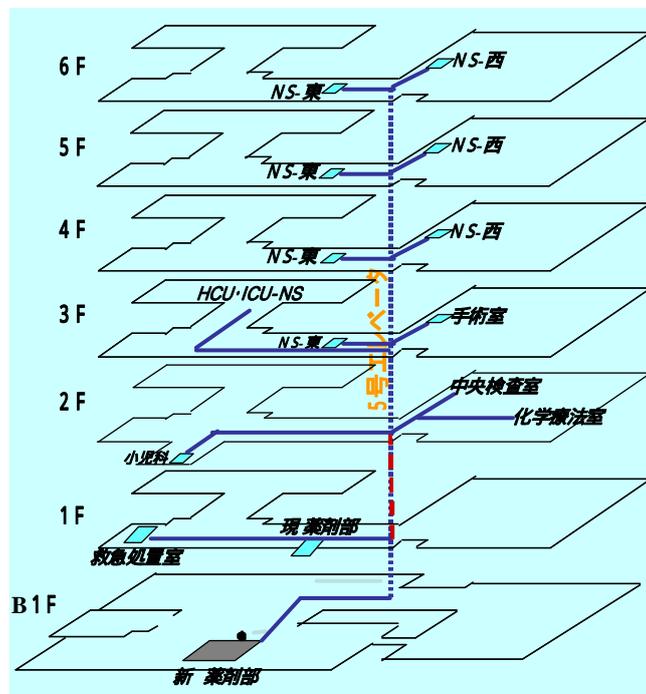


図 2.2.1.3-5 病院建物全体に広がる搬送経路（物理的まると）

2.2.1.3.5 「まるごと」範囲の自発的拡大

課題のブレークダウンは一旦網羅的に行うことを上記に述べたが、通常は解決策メニューの実施は一気に行えない。優先度をつけたり順序付けをおこなったり、ひとつの解決策メニューを実施して効果をみてから次を検討するといった方法が、投資リスクを最小にしながら経営効果を確実に獲得していくためには妥当である。

上記に、「搬送」の課題へのソリューションを提供する例を述べたが、この結果が波及して、かつ最大限「搬送」で準備したインフラを共有しつつ、病院の省エネルギー、セキュリティ強化等へのソリューション要望範囲が、需要者側つまり病院経営側から自発的に拡大する可能性が見られる。

つまり、ソリューションビジネスの規模が自発的に拡大し、需要者にも供給者にも満足度が拡大する正のスパイラルに進行する可能性を秘めているのである。このことは、ロボット技術が社会に実装される原理をしめしており、医療福祉サービス産業の健全な成長のメカニズムになり得ると考えられる。

(執筆担当：北野幸彦)

2.2.1.4 岐阜県の試み

2.2.1.4.1 ギフロボットプロジェクトの背景

岐阜県では、「ギフロボットプロジェクト 21(GRP21)」と名付けたロボットの研究・開発プロジェクトを平成14年から推進している。GRP21では、今後重要になることが予想される介護や福祉、レスキューなど民生用ロボットの分野から、陶磁器や繊維など地場産業向けのいわゆる「名人ロボット」に至る様々なロボットの研究開発プロジェクトを地域の産業界、大学、県研究機関など産学官が連携し、それぞれの持つ技術力を結集して横断的かつ総合的に進めることにより、新たな産業や雇用の創出、既存産業の高度化・活性化、ひいてはロボット技術や文化の開発を目指している。

GRP21は、平成14年から開始された総合プロジェクトである早稲田大学 WABOT-HOUSE プロジェクト、知的クラスター創成事業、その他に地場産業ロボット活用プロジェクトなどいくつかの個別プロジェクトから構成されている。

GRP21の中核として設立されたのが早稲田大学 WABOT-HOUSE 研究所（岐阜県ロボットプラザ）である。WABOT-HOUSE 研究所は、岐阜県と早稲田大学との協定締結（2001年11月16日）に基づき、2001年12月1日に設立された。当初の事業計画は2012年3月までの10年間であり、岐阜県各務原にあるテクノプラザ地区において人間とロボットの家である WABOT-HOUSE を創りつつ、建築・ロボット・情報通信の融合に関する研究を進めている。2002年4月から2007年3月までが第1期、2007年4月より2012年3月までが第2期である。第1期がインフラ整備と地域企業等との連携構成、第2期が共同研究開発および産業コーディネート事業と位置付けている。

2.2.1.4.2 WABOT-HOUSEプロジェクトの目的

WABOT-HOUSE プロジェクトでは、A棟、B棟、C棟の3つの建物から構成される人間ロボット共生空間 WABOT-HOUSE を拠点として、関連企業群、県の研究所、地元大学等の教育・研究機関、自治体との連携により、近未来の新しいライフスタイルの提示、ロボットや RT 家具による生活支援の例示、先端ロボティクス実験空間の構築、RT シーズの抽出と提供、システムインテグレーションの実践、自然環境保全の実行などを通して、ロボット技術の社会貢献を描きつつ、そこに参加した企業を中心に具体的なロボット産業を創出させることを目的としている。

具体的には、これまで下記のテーマを、技術シーズとして蓄積してきている。

- 近未来ライフスタイルの提案
- 環境構造化、変化する家空間、家具の RT 化
- 近未来ハウスコントロール
- リサイクル、省エネ、バイオリージョン
- ポジショニングシステム
- RFID タグ、室内 GPS
- コミュニケーションロボット&システム
- ホームサーバー、通信モジュール、会話システム
- 医療・福祉ロボット&システム
- 高機能車椅子、知的クラスタープロジェクト
- フィールドロボット&システム

● 街中ロボット、屋外作業、森林作業、植物型ロボット

2.2.1.4.3 WABOT-HOUSEにおける企業連携

(1) 概要

WABOT-HOUSE ではさまざまな企業の開発・経営情報を収集・整理し、岐阜の地域性を踏まえそれらのデータを基に、WABOT-HOUSE 研究所と企業との有機的連携を計画し、実際に技術シーズとニーズのマッチング作業を行っている。

方法論としては、岐阜県企業の技術状況と地域性やロボット技術に精通している研究者にコーディネーターとしての役割を期待し、WABOT-HOUSE 研究所の各プロジェクトと関連企業との連携を進める。特に、さまざまなニーズに対応する意欲のある経営者あるいは技術者に対して、WABOT-HOUSE で蓄積されているロボット・建築・通信の融合技術を伝えることが有効であり、ニーズとシーズのマッチングによる新たな共同研究開発が期待できる。また、県内に広くロボット技術を啓蒙するために、展示会、講演会などを積極的に企画運営する。

(2) 地域連携による新しいプロジェクト

これまで、ワボットハウスミュージアム設置に関する研究、みのひだ・ものづくりネットワーク企画設置、ロボット技術の社会的あり方に関する研究委員会開催など、ロボット技術が社会的にまた地域の生活の中でどのように受け入れられるかを検討してきた。

大学等の研究機関、自治体と民間企業の間には構造的なギャップがあり、産・官・学が同じフィールドに立ったとしてもそれだけでは民間企業がロボット技術における連携に踏み切るためには多くの困難がある。地域振興策としてのロボット技術の研究開発においては、地域に理解されるような科学技術開発の啓発手法と、地域産業の企画設置と運営が求められる。WABOT-HOUSE では、ロボット技術による地域産業の創出のためにもものづくりの文化と技術についての理解を深めて、地域社会に求められうる産業を育むために社会技術の構築による場作りの研究活動を行うものである。地域住民と研究所による場づくりについて、いくつかの社会技術的な実際の手法を立案・試行し、それらを総合的に検討することにより、新産業を産み、育むような共創型コミュニティの設計技術に関する知見を得ることを目指している。

さらにロボット技術の産業化、つまり人とロボットが共創するには、ロボットが社会的にどうあるべきかを社会システムや制度の面から検討することが必要となる。WABOT-HOUSE では、ロボット技術と公共空間との関係やそこにおける課題、さらに市街地におけるロボット技術の持つ潜在的な可能性とともに、そこにあるリスクについて、技術論に加えて多様な価値観を持つ地域社会的観点からの社会科学的、また人文科学的な検討を行う場を持つ必要があると考えている。

以下は、検討の結果、進めているプロジェクトの例である。

(i) ロボットタワープロジェクト

地域社会で活動するロボットの制御のための情報提供の必要性が、地域インフラの整備の中で指摘されており、その具体的な展開としてロボット技術を搭載したタワー（ロボットタワー）を街中に設置してゆくという研究企画が推進している。

ロボットタワーを各務原市内に設置し、ロボット技術の公道実験を行うとともに、この資源を活用してのロボット分野への進出を考える新規企業との連携や地元児童・生徒へのロボット技術の教育の場づくりを行い、地域市民へのロボット技術と文化の啓蒙を行う仕掛け作りを進めている。

る。社会や都市という活動フィールドを想定した研究を進めていることについて、日本科学未来館など外部機関からその先進性と希少性について注目されている。技術的には、環境構造化についての発展可能性を秘めるプロジェクトでもある。

(ii) 各務原市およびテクノプラザにおける特区活用

テクノプラザ内にある株式会社 VR テクノセンター（岐阜県出資企業）と各務原市役所と共同で、テクノプラザ内におけるロボット特区（現在は実際には特区としての位置づけは解消されているが、その蓄積を生かすという観点での）活用の可能性について、岐阜県情報研究所にも加わっていただき意見交換を行ってきている。

VR テクノセンターとは、これまでテクノプラザ内で開催してきたロボット実験や催しを通して地域内の移動ロボットに関する商品化や事業化について検討を行ってきている。各務原市役所とは、ロボット研究を行うテクノプラザの地域的な価値の創造のためには、住民に分かりやすい形でその特区の特性を見せるべきであるという考えを共有しており、地域向けもしくはロボット技術専門家やビジネス用途への転用を考える関係者などが集う場での、ロボット技術 PR の方法論を検討してきている。

これらの活動により、WABOT-HOUSE 研究所におけるこれまでの経験を外部へも提供し、実験蓄積を地域的な振興政策として活用してもらうこととなり、新規の研究事業や企業を含めた実験フィールドとしての活用へと結びつきつつある。

(3) 研究所の活動領域とテーマの再検討

(i) 現況と課題

WABOT-HOUSE 研究所としては、ロボット技術を岐阜所在の企業に活用してもらい新産業に繋げることが目標であるが、企業側に大学の研究しているロボット技術を受け入れる素地が薄いことが多く、現在の大学の保持する技術をそのまま提供することでは、企業側の理解に欠け、最終的な連携に繋げることのできなくなる。

(ii) 改善のための基本方針

研究所としては、「技術移転」「技術指導」「共同開発」による岐阜県内での新産業創出を目指しているが、そこには、ロボット技術にターゲットを絞ることでロボット産業が創出できるのか、という根本的な課題が存在している。

WABOT-HOUSE 研究所の活動が広がるにつれ、地域の企業の側からのロボット技術に関する相談や意向依頼の中で、素材や構造、環境問題など、ロボットとは直接関連しない多様な課題が研究所に持ち込まれることが増えてきた。それら案件について研究所の対象を超えるという理由で断わらざるを得ないこともあり、また場合によっては研究員の判断で早稲田大学本部に支援を求める対応を行ってきた。

さらに、岐阜県外からの共同研究依頼や技術相談などが同様に増加していると共に、中部経済産業局の「グレーターナゴヤイニシアチブ」など、経済活動や技術連携について県単位から中部圏全体としての活動を支援する体制が整備されつつあることもあり、岐阜県外企業や研究機関、連携組織などからのコンタクトが増えてきたということがある。

研究所の置かれた実情を受け入れ、テーマと活動領域の再検討を行い、現在のロボット技術分野以外の理工系分野についても研究所の活動領域として拡張し、また岐阜県外とのネットワーク構築についても基本的に受け入れを行い展開を進める、ということを経験的方針とすべきではないか、との議論が研究所内で行われるようになった。

(iii) 新しい活動の展開

これまで、地域社会との「実質的」な連携を行う必要があり、企業、地元経済団体・機関との連携、場作りにおいて、近道ではないが着実に地域の可能性を拾い上げる活動を目指すことが最重要課題である。そのためにはロボット技術とその文化の啓発活動やロボット技術による地域活性化が必要であり、ロボット技術だけでなく多様な形で研究所の能力、さらに早稲田大学が持つ可能性を地域と結びつけられるネットワークが必要であるとして、地域に存在する「多様な価値判断を行う多層的主体」とのネットワーク形成を精力的に推進してきた。

すなわち、地域社会の多様な価値観、そして地域の潜在的な資源や能力を顕在化させ発揮することでの対応を検討するためには、「大学、自治体の都合を企業に押し付けない」とことと「地域のいいところを探して伸ばしてゆく」とことに留意する必要があるとして、ロボットによる地域産業振興向けのプログラムを作成してきた。この枠を広げることとし、理工系全般、活動地域についても中部圏全域からの依頼があった場合、基本的に相談を受け入れるということでの対応とすることにした。

元々WABOT-HOUSE 研究所は、「ロボットを総合的に研究し開発することにより新たな地域産業を創出する」というミッションを担っている。ロボットの概念が急速に拡張する現代では、その研究の場が既存のロボット分野の関係者だけで閉じるべきではなく、そこには多くの「プレーヤ」の存在がある。プレーヤを増大させることにより、結果としてロボット技術を活用する産業の増大が図れることは当然であり、理工系分野の連携依頼においては、その多くが制御、メカニズムなど、いわゆるロボットではなく RT であり、経済産業省の RT 戦略とも一致するものである。

RT について中小企業に連携可能と理解してもらうことは可能であり、その準備や説明が研究所に問われている部分である。言い換えれば、現代において RT に関わりの無い企業、市民はいないといえる。これは岐阜が全国に先んじて活動している部分である。

ロボットを考える際に、その技術の高度化を行うロボット研究者と、その文化の裾野の拡張を行うコーディネーター（社会学者・地域プランナー）が存在していることが肝要であり、地域と連携する研究所には必須の体制である。

(iv) 「中部地域連携センター」構想

ロボットを核としつつも、将来的にはたとえば環境問題や新エネルギー、そして IT と RT の融合など、RT から枝分かれする多様な触手の存在を見出し、それをうまく使いこなすソリューションを開発することで新産業の創出につながるという提案が重要である。

それゆえに岐阜所在の研究機関が中部圏へ向け広く理工系の研究成果を提供することで、連携を創出し、さらにフィードバックさせることで岐阜の地域産業振興につながるという新たな組織作りが有効であると考えている。現在、中部経済産業局、岐阜県等と情報交換しつつ、WABOT-HOUSE を拡大した形での「中部地域連携センター」(仮称)の設置構想を検討中である。

今後さらに本構想の具体化を行い、平成 23 年度より組織としての本格稼働を始められるように準備を進めている。

中部地域連携センター構想案(早稲田大学WABOT-HOUSE研究所)

趣旨：岐阜県の支援によるWABOT-HOUSE研究所での研究開発に並行し、早大、WH研究所の資源を有効活用した地域振興推進活動を展開する

目的：1. 岐阜県を中心とした中部圏でのWH研究連携成果の効果的な展開
2. 岐阜県を中心とした中部圏での産業活性化および地域連携の促進
3. 中部圏における岐阜県地域の役割強化

活動：1. 産学連携、地域連携のためのセンター機能
2. ものづくり講座の開催（8回/年、修了証発行）
3. WH工房（ものづくり支援、共同研究開発）
4. ニュースレター、交流会の開催 等

人員：早稲田大学教員（理工学術院教員、WH研究員他）、近隣大学教員、企業関係者

資金：コンソーシアム方式の活動資金調達、実費受益者負担

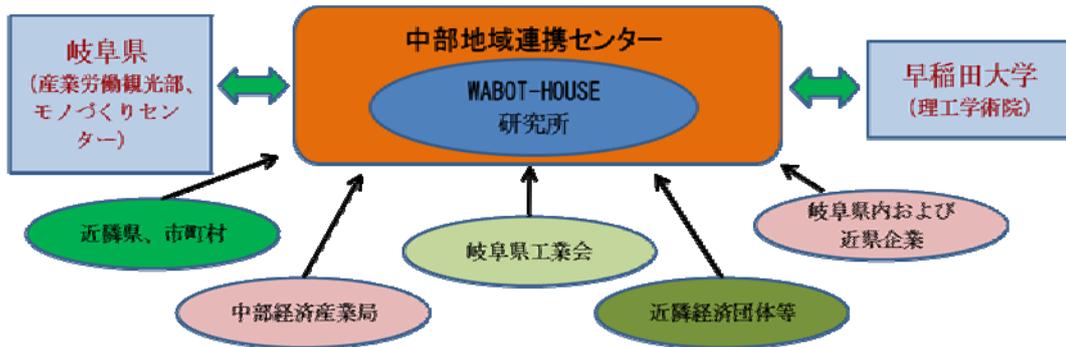


図 2.2.1.4 中部地域連携センター構想

(執筆担当：菅野重樹)

2.2.1.5 つくば市の試み

2.2.1.5.1 つくば市のサービスロボット産業に対するこれまでの取組について

ロボット技術は少子高齢化、人口減少、グローバル競争等、日本が直面する社会的課題の解決への貢献が期待される科学技術の一つであり、「環境技術」と並びこれからの日本の産業競争力を支える源泉となりえるものがある。

つくば市は「ロボットの街つくば」をスローガンに様々な取り組みを行ってきた。平成20年8月に「ロボットの街つくば推進会議」を立ち上げ、つくばに集積するロボット技術、人材を活用した提言「ロボットの街つくばの実現に向けて（提言）」を取りまとめている。その中で、特に「社会フィールド（実環境）でのロボット実証実験の推進」を掲げている。ロボットが実社会で有効に機能するためには、実環境（混在空間）の中での実証実験を繰り返し行う必要があり、当然フィールドが求められる。つくば市は、ロボットに限らず、環境問題等の解決に向け、道路空間はもとより、公園、庁舎等の公共空間の活用を積極的に提案している。現在、庁舎を使った案内ロボットの実験を行っているが、市民が利用する空間の中で、違和感なく実験が受容されている現実に、市民の理解とつくばの未来を感じているのは私だけではないと思っている。

次に、提言では「ロボット安全研究拠点の誘致」を掲げた。人間とロボットが共存する社会においては、より一層の安全性が求められる。産業化に向けてロボットの安全規準や検証手法の確立は必須条件であり、「ロボットの街つくば推進会議」の中で議論し、その拠点をつくばに誘致すべく、提言を取りまとめた。

一方、具体的な取組として企業立地促進奨励金の創出がある。「経済波及効果による地域経済の活性化」、「雇用機会の確保・拡大」、「税収の確保」を目的に、特にロボット関連産業の誘致に着目した制度構築としている。また、企業立地促進法に基づく茨城県圏央道コンプレックス基本計画に目指すべき産業集積分野に、市場創造型産業としてロボット関連産業を位置付けている。市内には既存の工業団地内及びTX沿線地域に業務系用地があり、事業主体である茨城県、UR都市再生機構と連携し企業誘致に取り組んでいる。

その他、つくばで生まれたメンタルコミットロボ「パロ」やリハビリ体操ロボット「たいぞう」を市が購入し活用及び普及に取り組んでいる。また、研究機関や企業の協力を得てイベントや展示会等に参加、出展し「ロボットの街つくば」のPR活動を継続している。先般開催された米ラスベガスCESの家電展示会につくばのロボットを展示するとともに、市長自らトップセールスを展開している。

2.2.1.5.2 つくばチャレンジや構造改革特区を活用した特区の取り組みと進展状況について

つくばでは産総研や筑波大学等の研究機関により、ロボットの最先端の研究が行われている。それらの研究成果をもとにロボット関連ベンチャーも生まれている。そのような環境の中、平成19年に筑波大学、つくば市等との連携により日本初の自律ロボットの走行競技（つくばチャレンジ）が開始された。本年度で第5回を迎えるが、コースの設定等難易度が上がる中、技術の共有化を図り、ロボットの完走も多くなっている。

構造改革特区を活用した特区の取り組みについては、平成21年1月新規の提案を行い、翌22年1月に承認されている。その後、特区申請に向けた協議を重ねてきたが、新規提案の承認から丸1年を経て、本年2月2日、モビリティロボット実験特区計画の申請を行ったところである。申請に至るまでの間、内閣府を介し、国交省、警察庁との協議の中で電動機の定格出力による原

動機付き自転車あるいは小型特殊自動車等に分類することや、ナンバープレートは必須であることなど、また道路運送車両法の保安基準の緩和について個別項目について協議を了し、警察庁においては、道路交通法施行規則の車体（ロボット）の大きさを一部緩和すること等で了解を得ている。本年3月の認定（予定）後、陸運局へのロボットの保安基準緩和申請、ナンバープレートの交付を受ける等を経て4月中旬にロボット特区実証実験推進協議会の設立を予定している。当協議会は、モビリティロボットや実環境におけるロボットの実証実験を円滑に推進するため、つくば市、実験参加企業等をメンバに構成し、この中で、実証実験の推進、情報発信、実験データ等の集約を行い、また国への提言等の活動に取り組んでいきたいと考えている。さらに段階的にモビリティロボットを活用した社会システムの実験として、シェアリングシステム社会実験、タウンセキュリティ社会実験等を検討している。

本特区を推進し社会実験の場を積極的に提供することで、つくばが日本のサービスロボット産業育成の一翼を担い、つくばの産業が活性化することを期待している。

2.2.1.5.3 サービスロボット産業振興のポイントと課題

平成21年度に前述「ロボットの街つくばの実現に向けて（提言）」の中で掲げたロボットの安全研究拠点は、NEDO「生活支援ロボット実用化プロジェクト」として発足し、その拠点がつくばに整備されることが決定し、昨年末、「生活支援ロボット安全検証センター」としてオープンした。産業振興のポイントはロボットが人間社会にいかにも有用であるかはもとより、安全性の確立が第一である。この点がクリアされなければ産業化は望むべくもない。今後、「生活支援ロボット安全検証センター」を拠点に安全性の検証等が進展し、国際標準等を整備することにより産業として大きく飛躍すると考えている。生活支援ロボットはグリーンイノベーション分野に位置づけられているが、モビリティロボットは新たな移動手段として、低酸素社会の実現に向けたグリーンイノベーション分野においても位置づけられるべきと考えている。市としても、プロジェクト終了後に「生活支援ロボット安全検証センター」が新たに安全認証機関として、ロボット産業をけん引することを期待している。



つくばチャレンジ 2010



モビリティロボット体験試乗会



移動ロボット庁舎実験

図 2.2.1.5 つくば市の取り組み

(執筆担当：中山薫)

2.2.1.6 役に立つサービスロボットを目指して

2.2.1.6.1 はじめに

たまたま著者は「ロボット政策研究会」「ロボット産業政策研究会」に参加する機会を与えられた。両研究会の集大成ともいえるべき「ロボット産業政策研究会報告書～少子高齢化社会を見据え、ロボットと共存する安全安心な社会システムの構築に向けて～」(2009年3月25日)の冒頭には

「我が国は中長期的に続くであろう、総人口・労働力人口の減少と高齢化の進展、要介護者等の増加といった社会構造の変革の始まりを迎えつつある。……このような状況下で、ロボットの技術による課題解決への期待が高まっている。」との状況認識のもと、「今後、切に求められている分野で役立つロボットの近い将来の実用化、更には産業化の実現に向け、技術革新、システム改革などについて提言する」旨が述べられている。

また、上記報告書に先立つ「ロボット政策研究会報告書～RT革命が日本を飛躍させる～」(2006年5月)の冒頭「2. 課題への対応の方向性 (1)市場環境の整備」では

○サービスロボットの市場導入は、ロボットメーカ、ロボットを使うサービス提供者(サービスプロバイダー)、ベンチャーキャピタル、リース・レンタル事業者及び地方自治体等の幅広い関係者との連携が必要。

○幅広い関係者の連携の場として、「ロボットビジネス推進協議会」(仮称)を設置すべき。

との提案がなされた(背景にはこれまでのサービスロボット開発・普及の歴史を見直した場合、産業ロボットとは異なり、個々の企業の努力だけでは対応できないとの認識があると思われる)。この提案に基づき2006年11月には「ロボットビジネス推進協議会」が設立され、関係者の熱心な取り組みが行われていることは周知の通りである。

さて、上記「ロボット政策研究会報告書～RT革命が日本を飛躍させる～」では、サービスロボット普及の関与者として①ロボットメーカ、②ロボットを使うサービス提供者(サービスプロバイダー)、③ベンチャーキャピタル、④リース・レンタル事業者 及び ⑤地方自治体等、を挙げている。セコムはたまたま自社内に③ベンチャーキャピタル、⑤地方自治体等を除く、①ロボットメーカ、②ロボットを使うサービス提供者(サービスプロバイダー)、④リース・レンタル事業者に相当する部署が存在し、「ロボットビジネス推進協議会」が意図していることの実験を小規模ながら実施してきたと言える。

本稿がサービスロボットビジネスに関係される皆様の参考になれば幸いである。

脚注 セコムと④リース・レンタル事業者の関係

弊社のセキュリティサービスではレンタルが基本である。また食事支援ロボット「マイスプーン」では買取とレンタルのいずれかを選択できる。レンタルとしている理由は顧客サイドの経済的負担軽減もあるが、セコム資産とすることで設備異常のとき自主的に点検・修理・交換ができることが大きな理由である。セキュリティサービス、食事支援ロボットいずれも設備異常理由で時間的空白が許されないサービスであり、レンタルは最も適したビジネス形態である。

2.2.1.6.2 セコムのサービスロボット開発

セコムは平成元年(1989)に「社会システム産業元年」を宣言した。弊社はすでに1980年代

から、わが国の将来を見据えた場合、今般ロボット産業政策研究会報告書でも指摘された「労働力人口の減少と高齢化の進展、要介護者等の増加」が不可避であり、安心して快適な社会にするためには、安全安心にかかわる“いざというときに頼りになるワンストップ” (<http://www.secom.co.jp/vision/>) になることが必要と考え、爾来、日常的安全安心としてのセキュリティサービス、長期的安全安心としての医療・福祉サービスを軸とする事業展開をしてきた。セキュリティ、福祉分野サービスでは将来とも人手に依存せざるをえない。少子高齢化による「労働力人口の減少」が進行する中で、いかに人材を有効に活用するかを大きな課題としてきた。両分野でのロボット研究開発はその解決策の一つとして位置付けている。ここではサービスロボットとしてセコムが長年研究開発してきたセキュリティ系ロボットと福祉系ロボットに関して現状と将来展望について述べてみたい。

(1) セキュリティ系ロボット

まずセキュリティサービスの概要を紹介し、その後でセキュリティ系ロボットに関するこれまでの実績を述べる。

セキュリティサービスとは

セキュリティサービスは提供形態から「常駐警備」と「機械警備」に大別される。「常駐警備」は百貨店、大きな建物向けサービスである。「常駐警備」における業務内容は対象物件への来訪者の受付、案内から始まり、異常事態の未然防止のための誰何（推測）、立哨・巡回、異常発見時の通報、連絡、救援、正常化のための事後処理、そして契約先への報告書提出などから構成される。顧客サイドからの要望は 24 時間、毎週、トラブルなく安心、快適であること、仮にトラブルが発生したとしても速やかに原状復帰することに尽きる。また常駐警備では制服を着た警備員が目を光らせて立っているという無言の抑止力も評価されていることは言うまでもない。常駐警備員は契約対象物件に関する「人、もの、情報」を理解し、かつ異常事態が発生した場合には組織的、適切、迅速な対処することが求められる。このようなシステム行動は、常なる訓練、緊張感、観察力などによって維持される。以上のような業務をすべてロボット化することは現時点では無理であろう。

一方「機械警備」は「人間が得意とする業務」と「機械が得意とする業務」の相乗効果により、大幅な料金ダウンを図り、セキュリティサービスの普及を意図したものである。ここでは 24 時間いつでも、異常事態を人感センサ、火災感知センサ、さらに画像処理、音声処理を駆使した最新センシングシステムなどで確認し、異常事態を発見した時のみ安全のプロが駆けつけること（「緊急対処」と呼んでいる）が基本となる。たとえば家庭、コンビニ、事務所ではセキュリティサービスの内容は異なる。家庭では留守のときの防犯や防火サービス、在宅のときの不意の健康異常や歓迎されざる人来訪などへの対応がある。コンビニでは強盗や暴力行為などで店員の身の上に危険が発生したとき、また挙動不審者来店時の対応などがある。また事務所では職員退社後の侵入者の発見、内部犯罪の防止などがある。弊社は長年のセキュリティサービス提供実績で蓄積したノウハウに基づき、まず個々の契約先物件において発生するであろう異常事態（リスク）を予測し、セキュリティプランニングを立てる。各リスクを早期検知するうえで現段階において最善の設備を設置しサービスを開始する。異常事態を知らせる情報は通信回線でセンターへと送信される。センターには経験豊富な監視員が 24 時間対応する体制となっている。監視員はセンサ情報を総合的に判断し、契約先物件に最速で到着できる緊急対処員に現場急行の指示を出すとともに、必要に応じて 110 番、119 番、緊急連絡先に通報する。機械警備でも常駐警備と同様に

緊急対処後、正常化のための事後処理、そして契約先への報告書提出を行う。

ロボット技術によるセキュリティサービスイノベーション

セコムは IS 研究所および開発センターにおいて 20 余年、セキュリティ系ロボットの研究および開発を行ってきた。セキュリティサービスを構成する関係者は「顧客」、「サービス運用者」、「警察、消防など公的機関」である。「技術開発者（メーカー）」はセキュリティサービスをイノベーションするために存在する。さて、ロボット技術によるセキュリティサービスイノベーションにどう取り組んできたかについて紹介する。

ロボット導入条件は「顧客」、「サービス運用者」、「警察、消防など公的機関」にとって合理的（コストパフォーマンス）かつ付加価値（新機能）がある場合に限られる！と言っても過言でない結論できる。残念ながら現段階ではロボット技術だけでセキュリティサービスにイノベーションを起こすには知恵不足、力不足を痛感している。その中で段階的に進めてきたことについて述べてみたい。

“SECOM AX”（1998 年発売開始）

画像センサ“SECOM AX”をロボット技術によるセキュリティサービスイノベーション第一段階と位置付けている。基本的な考え方は以下のとおりである。

ロボット機能を「センシング」「プロセッシング」「アクチュエーション」に大別した場合、セキュリティサービスにおけるロボット技術の現実的な使い方は「センシング」「プロセッシング」を機械化し、「アクチュエーション」は専門家が担う形態（マンマシーンシステム）ではないかと考えてきた。この方向で開発し商品化したものが画像センサ“SECOM AX”である。従来の熱線検知の人感センサでは安価なもの、小動物、カーテンのゆれなどに反応するため、通信回線経由でセンターに送られてきた信号だけでは侵入者による異常（「実報」）か、それ以外による異常（「誤報」）かを現場到着するまで判断できない場合が多かった。誤報多発は不必要な現場への緊急対処を発生させるため顧客にご迷惑をおかけすると同時にセコムにとっても運用コストを押し上げてしまう。この課題を解決するために画像センサ“SECOM AX”を開発・発売した（図 2.2.1.6-1）。画像センサは真っ暗な状況でも、侵入者のみを検知するように画像処理エンジンが搭載されている。侵入者を検知した場合、当該画像はセコムの画像監視センターに自動送信される。さらに内蔵のマイクで現場の音を拾えるようにしてある。監視用の PC 画面には侵入者部分をマーキングした画面が表示される。センターにいる監視員は送られてきた画像と音声で状況を正確に把握し、迅速、適切に対処することが可能となった。すなわち“SECOM AX”では顧客物件に設置された画像センサが「センシング」「プロセッシング」を担い、センターの監視員と現場に駆けつけた緊急対処員が「アクチュエーション」を担う形態を取っている。現在、日本全国に数十万台の AX 画像センサが稼働している。ロボット機能を分解して、マンマシーンシステムとして統合したことで、ロボット導入条件が満たせたと考えている。

“SECOM Robot X”（2005 年発売開始）

本格的なセキュリティロボットへの第一歩として“SECOM Robot X”を開発・発売した（図 2.2.1.6-2）。有望な用途は工場屋外の巡回監視である。夜間かつ悪天候の場合、巡回に当たる警備員にとっても大変な精神的・肉体的負担になる。ましてや人を人と思わない凶悪犯との遭遇で警備員が殺傷されることは絶対回避する必要がある。“SECOM Robot X”には人物検知センサ、夜目遠目が利くカメラ、犯人威嚇に効果的なマイクスピーカーなどが搭載されており、時速 10km で

走行できる。ロボットからの画像音声情報は建物内部の監視卓に送られ、異常事態を検知した場合、初期対応はロボットを通して警備員が、つぎの対応は心の準備ができた警備員があたる（ここでもマンマシーンシステムは不可欠と判断している）。このようにロボット巡回はいわば斥候として極めて有効である。工場敷地全体に夜目遠目が利く高性能監視カメラは多数設置することはコスト的に厳しいが、走行ロボット搭載なら現実的となる。また、ロボットによる巡回ではどんな悪環境においても「監視業務の標準化」ができるメリットもある。一方、決まった軌道を走行することによる「空間的死角」、プログラム走行による「時間的空白」の対策を講じる必要がある。当面は既設のアラームシステムや監視カメラシステムとの連携で対応しているが、将来的には“SECOM Robot X”の大幅なコストダウンを図り、複数“SECOM Robot X”による同時・連携稼働に移行するのが望ましいと考えている。

脚注 マンマシーンシステム（人間が得意とする業務と機械が得意とする業務の相乗効果）

人間が得意とする業務：存在による抑止、訓練と経験による臨機応変かつ総合的判断など
機械が得意とする業務：24時間7日のセンシング、環境をいとわない、並列処理（時間・空間）、正確な記録、迅速な検索など、将来とも進化が期待される。

(2) 福祉系ロボット

福祉系ロボットは、ロボット産業政策研究会報告書の冒頭にある喫緊かつ中長期課題である「我が国は中長期的に続くであろう、総人口・労働力人口の減少と高齢化の進展、要介護者等の増加といった社会構造の変革」を解決する有望な手段として期待されている。福祉サービスの中で機械化が期待される業務は「移乗」「排泄」「入浴」「食事」であろう。今後、老老介護世帯、独居高齢世帯が増加することを考えると、素人でも使える技術によるサポートが必須となる。「移乗」「排泄」「入浴」に共通することは身体の上げ下げ、移動といわば重力に逆らう動作である。介護者が腰痛を起こす原因となる。このことは世界中で認識されており、すでにリフト、電動ベッド、車いす、ポータブルトイレ、機械式浴槽などが福祉機器として販売されている。当面の課題はこれらの福祉機器を施設や家庭で日常的にどう使いこなしていくかであると指摘されている。しかし福祉系ロボットはいまだ長い黎明期にあると言える。

食事支援ロボット“マイスプーン”（2002年国内、2004年オランダ発売開始）

1990年代の初めに、セコムIS研究所のロボット研究員がなにか障害者にとって役に立つ福祉ロボットを創りたいと調査していた。知り合いの頸椎損傷者と議論を重ねる中で、「また自分で食事ができるようになるとうれしい」と言われ、当研究者もそれなら何とかできそうだと直感的に思い、食事支援ロボットへの挑戦が始まった。つまり、福祉系ロボットの役割を「失われた身体機能を補うもの」とごく自然に受け止めたわけである。試作機を創って頸椎損傷者の厳しい声を聴いては試作をやり直すことを数度、なんとか「使えそうだね」と言ってもらうまで約8年の歳月がかかった。じっくりと利用者の率直な声を聴きながら改良を続けていく研究スタイルは福祉系ロボットにおいては基本ではないかと思っている（この間、締め切りや研究費などを意識することなく、純粋に対象者が喜んで使ってもらえるロボットはなにかを追求できた！ 逆に常に意識したのは商品時の価格と安全性である）。ただし、商品化への道の一筋縄では行かなかった。食事支援ロボットは何台売れるのか、売り方はどうするのかと言った視点で見た場合、ビジネス的に採算が合うものではなかったからである。幸い創業者の後押し、テクノエイド協会からの研究開発助成などにより、2002年に国内発売まで漕ぎ着けることができた（図2.2.1.6-3）。つぎの課題はPRと公的助成であった。食事支援ロボットは試用し、使い慣れて初めて効用が理解され

る商品であり、広告媒体を通しての PR で認知してもらうことは期待できない。さらに発売してしばらくは障害者自立支援法の「日常生活用具」として認定されていなかったため、利用者が全額負担しないと購入できないと言うハンディがあった。関係者の働きかけのおかげで 2006 年には障害者自立支援法「日常生活用具」の中に「食事」が追加され、全額負担が 1 割負担と大幅に軽減され現在にいたっている（適用第一号は 2009 年、北海道北斗市）。

2004 年からオランダで発売開始した。人口は日本の 8 分の 1 でありながら、すでに日本国内に匹敵する台数が利用されている。このような差異が生じてくる理由をオランダで販売を担当している FOCAL 社情報から推察すると以下のようにまとめられる（図 2.2.1.6-4 ただし正確かつ詳細な情報にするためには現地調査の必要があるのであくまで参考にとどめていただきたい）。

- (i) 本人が食事支援ロボットの利用を希望すれば自己負担ゼロで支給される。
- (ii) 日本では「利用者が市町村に申請する」が、オランダでは本人の医療ケアを担当する「医療機関が処方し保険会社に申請する」。
- (iii) 福祉機器に関する信頼できるデータベース (<http://www.handy-wijzer.nl/>) が作られ、本人、医療関係者が常時利用している。

食事支援ロボット販売の経験から、これから新しい福祉系ロボットが登場した場合、その効用を利用者はもちろん市町村の福祉担当者に周知し理解してもらうためには相当な時間がかかると推測する。せつかく開発されたロボットを普及させるために②の「医療機関が処方し保険会社に申請する」、③の「信頼できるデータベース」は即刻取り入れた方が良いのではと思っている。これらは一企業の努力の限界を超えている。

なお、福祉系ロボットではフィールドテストが重要となる。食事支援ロボットの場合、国立リハビリテーションセンターや横浜市総合リハビリテーションセンターなどの協力を得た。また、EU 輸出では EU 福祉機器事情や EU 安全規格調査と現地化サポートをそれぞれスウェーデン障害研究所、TUV、オランダ FOCAL 社の協力を得て行ってきた。

2.2.1.6.3 サービスロボットの産業化に向けて

(1) サービスロボット普及の条件

セキュリティ系ロボットと福祉系ロボットでは実現すべき機能は異なるが、開発アプローチは同じと考えている。基本は徹底的な業務分析の中から機械化になじみ、かつビジネス合理性が成り立つ「業務要素」を発見し、プロトタイプ試作をし、フィールドテストをして関係者の率直な意見感想に基づき改良を加える過程を愚直に繰り返すことである。しかし、技術的に見通しをつけること（開発）とビジネスに使えること（普及）の間には大きなギャップが存在する。

セキュリティ系ロボットがビジネスに採用されるかどうかは「顧客の納得」（顧客からは「ロボットを使うのはセコムの勝手でしょう。われわれにとってメリットは何？」と言われる）、および「サービス運用者の負担軽減」（自社社員にとって使い慣れないものを使う負担）は当然クリアできた上で、セキュリティサービスとしてみた場合、ロボット導入によるコストパフォーマンス大幅向上が必須となる。これらは厳しい課題ではあるが、幸いセコムとしては「1. ロボットメーカ、2. ロボットを使うサービス提供者（サービスプロバイダー）、3. リース・レンタル事業者」を兼務しており、セキュリティサービスの革新のため粘り強く挑戦していく。

一方、福祉系ロボットの場合「顧客の納得」の顧客とは利用者個人であり、「サービス運用者の負担軽減」のサービス運用者は利用者の家族、施設スタッフとなろう。ここではロボットをいか

に必要とする方々へ PR するか、ロボットの利用費用を誰が負担するかと言う別の課題が登場する。この課題はロボット産業政策研究会報告書の「今後、切に求められている分野で役立つロボットの近い将来の実用化、更には産業化の実現に向け、技術革新、システム改革などについて提言する」の“システム改革”（ロボット産業化を推進する経済産業省と福祉系サービスを担当する厚生労働省の一層の連携を切に希望する）に当たると思われる。

ここで注意しなければならないこととして、セキュリティサービスは異常事態の検知から正常化までの一連の業務として提供されるものであり、部分的に機械化してもサービス提供の質と生産性が上がらなければ、その機械は使われなくなってしまうことである。福祉サービスでも同様であろう。まさにロボット導入によってサービス内容、サービス提供体制、サービス提供コストの同時変革、すなわちサービスイノベーションができるかどうかで初めて産業化の第一歩を踏み出せるということである。

(2) サービスロボットの世界制覇に向けた技術戦略！

産業ロボットが世界を相手にしているのと同様にサービスロボットは最初から世界マーケットで勝負することを意識する必要があると感じている。そのためにはわが国としてのロボット開発に関する技術戦略が必要ではないだろうか。たとえばわが国のいろいろな企業でセキュリティ系ロボット、福祉系ロボットが開発されてきたが、ビジネス化では一様にご苦労されているのが実情と察する。いろいろな製品を横通しで眺めるとロボット実用化に必須な基本技術が存在するのではないかと思う。もし、ロボットの研究開発に従事する人がこれらの基本技術をあたかも PC 組み立てのときのマザーボードのように使えれば、多種多様な実用的ロボットが誕生しやすくなるものと期待する。ささやかではあるが弊社の開発経験をもとに ロボット実用化に必須な基本技術と認識していることについて述べたい。

セキュリティ系ロボット“SECOM Robot X”のコストパフォーマンス向上に必要な技術開発課題を整理してみる。基本機能は「走行部（車体）」「走行部（ガイド）」「自律走行部」「人物検知部」「通信部」である。コストダウンにもっとも効果的な部分は「走行部（ガイド）」「自律走行部」「通信部」である。工事費が高い磁気誘導線埋設、白線引き、無線アンテナ設置はインフラとして必要ではあるが、顧客サイドからはセキュリティロボットとしての魅力的な機能としてはまったく受け止めてもらえない。早期に磁気誘導線埋設、白線引き、無線アンテナ設置を必要としない「自律走行エンジン」が開発され、「公衆高速無線ネットワーク」によるロボット制御、画像音声情報通信が可能となることを切望している。

一方、福祉系ロボットの場合、セキュリティ系ロボットに比べはるかに多種多様なロボットが必要とされる。多品種少量生産が基本となろう。想定される利用者の特徴を掌握し「外部仕様を創り上げる役割」とそれを実現するための「内部仕様を固め試作する役割」から構成される小さな組織で開発することが有効と思われる（著者は 1970 年代の超 LSI 研究組合のような企業横断組織をイメージしている）。前者は利用者と信頼関係を構築した技術者が得意とする。後者に関しては優れたマニピレーターの技術蓄積を保有するわが国のロボットメーカーの存在は魅力的である。

（執筆担当：杉井清昌）

**理想を実現した革新的なシステムです。
異常発生！その瞬間からセコムが、**

見て、

聞いて、

直ぐ対処！

真の暗夜状態で、画像センサーは、侵入者を感知し、警備をセコムに自動通報します。更に内蔵のマイクが、現場の音をひろいます。

犯人の視界を遮断

セコムの特許「ローコンターマブ」方式によるアクティブオブジェクトを感知し、口を開き瞬時に、電磁波により、侵入者の視界を遮断し、侵入者の行動を抑制します。

営業中など有人時にも対応します。

この装置は、営業中にも対応し、24時間監視と警備が可能なシステムです。また、緊急時には、警備員が現場に駆けつけ、迅速に対応します。

マーキングにより、セコムは侵入者の動きを的確にとらえます。緊急時、警備員が駆けつけます。

緊急時の対応は、現場の状況と音声で状況を正確に把握し、迅速、適切に対応します。

緊急時の対応は、現場の状況と音声で状況を正確に把握し、迅速、適切に対応します。

図 2.2.1.6-1 画像センサー“SECOM AX”

(画像センサーが「センシング」「プロセッシング」を担い、「アクション」はセンターの監視員と現場に駆けつけた緊急対応員が担う)

SECOM Robot X

導入メリット
さまざまなニーズに対応します

巡回監視だから確実
近接カメラセンサーでは死角がでるが、常に高い場所から確実に監視。再発の予防などに効果的な監視と警備に活躍します。

過酷な環境の警備も安心
人が居住するには過酷な環境区域、酷暑や豪雪の厳しい環境などの警備もロボットなら安心。第一現場での二次災害を防止とともに、ロボットを通じて警備員からの負担の軽減や、電気を消費する警備員を削減することができます。

出入口の管理
施設の門や扉の前に停車すると、巡回コースを指定することで、仕立社、送下社、開門時の業務などを音声で承認でき、音声で承認者と連絡をした後、入場許可証をロボットが自動配布し、通行許可証を渡すことができます。

●使用可能な場所
物理的に囲まれた敷地内で、入場するにあたって管理者の許可が必要となっていることにより、不特定の人、車が入れない場所(道路交通上の道路にあたる場所)

犯罪抑止に大きな効果
敷地内の違法行為、事故などの予警備監視。人の立ち入りが増加している重要なエリアなどへの侵入監視が可能。警備員へのリスクを減らし、警備員からの通報や、サイトの監視などによる現場でトラブル防止や犯罪抑止に役立てることができます。

図 2.2.1.6-2 SECOM Robot X

(異常事態への初期対応はロボットを通して警備員が、つぎの対応は心の準備ができた警備員が当たる)



図 2.2.1.6-3 食事支援ロボット“マイスプーン”

(「自分で好きなものを食べたい」「家族・友人と一緒に食事をもっと楽しみたい」の願いを実現)

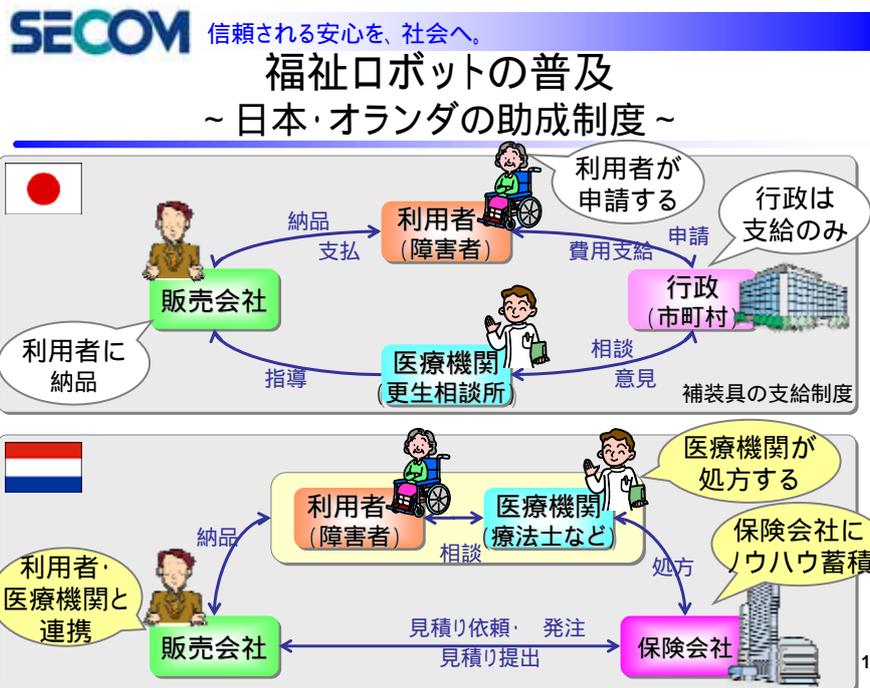


図 2.2.1.6-4 食事支援ロボットがどのようにして利用者に届けられるか (日本・オランダの比較)

2.2.1.7 セラピー用ロボット・パロの社会実装

2.2.1.7.1 セラピー用ロボット・パロ

(1) ロボット・セラピーとペット代替

産業技術総合研究所は、アニマル・セラピー代替の「ロボット・セラピー」を提唱し、また一般家庭でのペット代替の 2 つの目的で、1993 年からアザラシ型ロボットのパロを研究開発してきた（図 2.2.1.7-1,2）。（株）知能システムが知財のライセンスを受けて、第 8 世代（MCR800 型）を実用化、2005 年から日本での販売を開始した。その後、パロを欧米で展開するため、安全認証等に関して、欧州向けには、CE マーク、RoHS 規制等への対応が必要であり、アメリカ向けには、UL、MET 等の取得が必要であった。産総研は、それらに対応するため第 8 世代を改良し、08 年に MCR888 型を実用化し、（株）知能システムが、08 年から欧州、09 年から米国に販売を開始し、現在に至っている。



図 2.2.1.7-1 アザラシ型ロボット・パロ

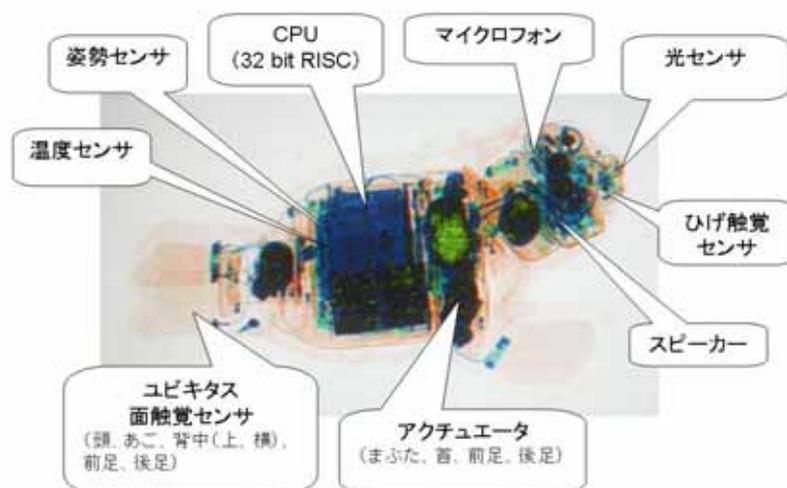


図 2.2.1.7-2 パロの機能等

(2) セラピー効果

パロの研究開発にあたっては、人と動物との関係に関する研究、特に、アニマル・セラピーの研究を参考にした。アニマル・セラピーは、欧米で数多くの研究と実践がある。動物とのふれあいにより、人に対して、次の3つの効果が認められている。

- ① 心理的效果：鬱の改善、動機の向上等
- ② 生理的效果：ストレス低減、血圧・脈拍の安定化等
- ③ 社会的効果：コミュニケーションの活性化など

しかしながら、アレルギー、噛付き・引掻き事故、動物の好き嫌い、人畜感染症、住居のルール、医療福祉施設での管理等の問題のため、動物とふれあえない人や場所がある。また、本格的なアニマル・セラピーの実施には、動物の訓練が必要であり、例えばドイツではセラピー・ドックの訓練に約2万5千ユーロのコストがかかる。

そのため、アニマル・セラピーの効果は理解されていても、どこでも容易に実施されているわけではない。

(3) 国内外での受容性（主観評価実験結果）

パロが人々から利用されるためには、まず人々から受け入れられる必要がある。世界7カ国（日本、韓国、ブルネイ、イギリス、イタリア、スウェーデン、アメリカ）で、博物館・科学館等でのパロの展示の折りに、約2000名に対してアンケート形式で、パロとふれあった後にパロに関する主観評価実験を行った。結果として、パロは、どの国でも高い評価を得た。さらにデータを主成分分析すると、2つの主成分があり、物理的な意味をつけると、パロに対して「ペット」と「セラピー」の役割とすることができた。日本と韓国では、「ペット」としての評価が高かったが、「セラピー」は低かった。イギリス、イタリア、スウェーデンでは、「セラピー」は高かったが、「ペット」は低かった。アメリカとブルネイでは、どちらも高かった。

アジアでは、ロボットに対する抵抗感は低いものの、アニマル・セラピーへの理解が低いとためと考えられる。ヨーロッパでは、ロボットへの抵抗感が高いが、アニマル・セラピーが広く浸透していることから、パロの目的が理解されたためと考えられる。アメリカとブルネイは、ロボットへの抵抗感が低く、また教育水準が高いことからアニマル・セラピーが理解されているため、どちらも評価が高かったと考えられる。

2.2.1.7.2 日本における取組

(1) ペット代替

パロは、2005年からこれまでに約1500体が販売された。約7割は個人名義、約2割は医療福祉施設等で購入された。販売は、(株)知能システムによる直接販売と、全国の百貨店等の代理店によって販売されているため、個人名義の比率が高いと考えられるが、上記のように、日本ではペット代替としての役割の方が求められる傾向にあると言える。

(2) ロボット・セラピー

一方、医療福祉施設等でのセラピーを目的に、約2割（約300体）が利用されている。デイサービスセンター、介護老人保健施設、特別養護老人ホーム、精神医療センター、養護学校等で、子供から高齢者まで、様々なセラピー目的で利用されている。パロのセラピー効果を引き出すためには、医師、セラピスト、看護師、介護師等の介入が重要であるが、その手法については、研

究を深める必要がある。なお、首都大学東京が、後述するデンマークのセミナーを参考にしながら、厚生労働省の予算により、高齢者向け施設でのパロの利用のための手引書を研究開発している。

(3) 今後の課題

日本における、パロの事業化に関しては、次の課題がある。

① ペット用パロとセラピー用パロの分離、高度化

現状のパロは、ペット代替とセラピーの二つを目的にしているため、汎用向けとして生き物らしくしている。しかし、一般家庭でのペット代替と、セラピー用では、目的が異なるため、それぞれの目的に合わせたパロの高度化が必要。

② パロの医療機器化

セラピー用とする場合、認知症高齢者の精神安定用、抗うつ用等について、対象とセラピー効果を明確にし、ガイドラインを準備することで医療機器化と医療保険の対象化が望ましい。

③ パロの介護保険の対象化

高齢者の在宅介護における本人の認知症予防や、同居者の介護の負担の軽減等の効果を示すことにより、介護保険の対象になることを目指す。

④ パロの利用のライセンス・システム

パロを利用する本人向け、セラピーを施すセラピストや介護者向け等、パロのセラピー効果を最大限に引き出すためのパロの手引を開発し、それをセミナーによって教育し、ライセンスを提供するようなシステムが必要である。



図 2.2.1.7-3 デンマークでのロボット・セラピーの様子

2.2.1.7.3 ヨーロッパにおける取組

(1) セラピー用

先述のように、欧州では、ロボットに対して、危険なもの、仕事を奪うもの、というネガティブな概念が非常に強く、一般の人々はもちろん、特に保守的な医療福祉の分野では、受け入れられにくい。一方、日本に比べて、動物は家族の一員として大切にされ、アニマル・セラピーに対して、はるかに深く理解されている。そのため、パロがセラピーを目的とする点は容易に理解され、パロも高い評価で受け入れられる。

デンマークは06年から08年にかけて、国やコペンハーゲン市のプロジェクトで、それぞれパロを高年齢向け施設で評価し、そのセラピー効果を確認した。その結果を踏まえ、デンマーク技術研究所が、パロの販売を希望した。ただ、技術系研究者がパロを紹介しても、医療福祉の現場では受け入れられないことから、パロを評価した介護福祉系研究者を引抜いて雇用してもらい、さらに産総研と共に、パロに関するセミナーとライセンス制度を開発した。パロは、ライセンスを有する医師、セラピスト、看護師、介護師等がいる医療福祉施設しか導入ができない。これまでに、約300名がライセンスを取得し、約150体が100か所以上の医療福祉施設で導入された(図2.2.1.7-3)。1体は4600ユーロで、25%の消費税は免除されている。また、セミナーは一人500ユーロである。

ライセンスを有する人々には、パロ利用の効果等の記録を依頼し、ユーザ会議で発表してもらい、意見交換を行うと共に、産総研の研究として、今後のパロの改良のために、そのデータを収集している。

(2) デンマークから欧州全体への横展開

デンマークを欧州への窓口として、10年から、ノルウェー、スウェーデン、フィンランド、オランダ、ドイツ、スペインにおいて、各国の医療福祉システムに合わせながらライセンス制度と共に、パロの医療福祉施設への導入を開始した。今後、欧州の他の国にも展開する予定である。

(3) 今後の課題

パロは欧州では、CEの複数の指令に適合しているが、医療機器の承認を得ていない。今後、医療機器の承認を得て、パロの活躍の場を拡大する予定である。また、パロやロボットに対する理解を深めることにより、在宅介護等の一般家庭でのセラピー、さらには、ペット代替の役割を担えるようにする。

2.2.1.7.4 アメリカにおける取組

(1) FDAによる医療機器認証

パロをアメリカで展開するため、08年にイリノイ州シカゴにPARO Robots USが設立された。パロは、セラピー効果を謳うため、FDA(食品医薬品局)による医療機器の承認が必要であった。そのために、パロの安全性と効果を説明するデータが必要であり、これまでの臨床研究データ等を提出した。09年9月に、パロは医療機器の承認が得られた。その後、12月からパロの販売が始まった。1体は6千ドルである。医療福祉施設だけでなく、個人でも購入が可能である。

(2) 医療福祉施設での事前審査とクリニカル・テスト

医療福祉施設が、パロを導入するにあたっては、パロが医療機器であっても、それぞれの施設が、倫理委員会、インфекション・コントロール委員会等を開催し、承認を得なければならず、それらの手続きに半年から1年程かかる。また、その後も、各施設が独自にクリニカル・テストを1、2体のパロで半年から1年程かけて実施し、パロのセラピー効果を認めた後に、施設の規模等に応じて複数体のパロが追加で導入される。そのため、パロが本格的に導入されるまでに、1年から2年近くかかっており、非常にハードルが高い。

また、パロは医療機器であっても、未だ医療保険等の対象ではないため、導入コストの負担が問題である。

(3) 今後の課題

パロが広く利用されるためには、パロの導入コストを医療保険等で負担してもらえるようにするため、クリニカル・データの蓄積が必要である。また、小児病棟等、インフェクション・コントロールの基準が高いところでもできるようにするための衛生管理等のガイドラインの作成が必要である。さらには、欧州のように、パロのセラピー効果を引き出すためのセミナー等の機会の提供が必要である。

一般向けにはまだ価格が高いため、今後、医療福祉施設等での利用が広がり、低価格化できれば、より多くの人々の手に届くようになると思われる。

(執筆担当：柴田崇徳)

2.2.1.8 健康分野

2.2.1.8.1 望ましい生活の姿

65歳以上人口 2946万人（内 75歳以上 1429万人 22.11 現在）、高齢者率 23.1%。

60歳以上の方の健康かどうかの健康度調査によると、83.9%が概ね健康と答えている。

しかしながら、高齢になると身体機能の低下とともに、社会的役割の減少、さらには将来への不安からくる日常生活へのモチベーションの低下などなど、高齢者の生活環境の変化は否定的要素が前面にでてきているのが、今の日本の現状である。

ところで、諸分野の今後の高齢者の生活未来図を論議するにおいて、これからの高齢者の望ましい生活の姿は如何なイメージなのか議論のあるところである。

高齢者の生活イメージは、社会制度の充実、医療の高度化、高度技術の開発、経済発展を背景に、これまで過ごしてきた経験を生かした上に積み上げられていくというのが自然ではないだろうか。歴史的にみて、大正・昭和初期に生まれた日本人の多くの高齢者生活の根底には、「受動的な生活＝他力的自己生活」の思惑が流れ、戦中・戦後生まれの 60 歳代においては、成長期における目まぐるしいほどの技術革新と社会環境の進歩の恩恵と共に能動的自己実現への欲求が見え隠れする。

このような生活感情を基にした高齢者のライフイメージは、個々人により異なるとはいえ、これからの高齢者には、能動的な生活の自己プラン化は必然的に表面化すると思われる。そのライフイメージのひとつは、「自己実現」を日常の生活のなかで、如何に達成するかであり、身体機能の衰え、第一線の経済活動からの退きを踏まえて、自己努力を課することによる生活モチベーションを如何に維持するかにある。

「仕事（労働）」中心の生活から、徐々に仕事から離れていくが、「いつまでも現役のままいたい」、「役割を持ちつづけることにより、生活のモチベーションが持続できる」という高齢者の生活の原点を崩さないこと。自己努力のみでは成り立たない日常生活（自立支援）であり、家族・地域・社会との相互交流、衰えを補う支援、社会システムとの融和の基に組み立てる必要があること。さらには、元々、人の行動の引金になる動機付けには、個人の興味・趣味・志向からくる「好き・嫌い」の感覚的判断が大きく左右する。高齢者のそれも例外ではなく、というより若年者以上に生活行動のキーになる。社会参加（趣味や余暇活動・地域社会活動）への活動がそれに値するといえる。

自己実現の継続の手法として、意識と体力の過負担にならないバランス調整、また、自己を生かせる生活量比率の確保はその基本となる。

この基本を可能にできる環境を整えることから始まる社会システムの構築が、豊かで安心できる近未来の高齢者のライフイメージではないだろうか。

まとめてみると、「仕事（労働）」「自立支援」「社会参加」の均等ライフプランが望ましい生活の姿といえよう。

2.2.1.8.2 ロボット技術を生生活福祉に生かす能動的自立支援の切っ掛け作り

一般に 60 歳を超えると身体機能が低下するといわれる。高齢者になり、いろいろな障害を持つと、生活活動の制限が生まれる。その一部分に一旦凹みができる。現在の支援は、その部分の穴埋めのみには焦点をあてて、それを越えての次へのステップにつなぐものにはなっていないのが現状ではないだろうか。

受身型の高齢者像から、めまぐるしいほどの技術革新の時代を育ててきた団塊世代が高齢者となってくると、高齢者自身が「自分のライフプランを自分で組み立てる」時代に入ってくる。高齢になっても、能動的でありたい、積極的でありたい、社会参加もしたいという気持ちを持った方々が増えていくこれからの高齢社会での生活支援は、これらの高齢者のライフイメージをどのようにサポートするかが最大の課題といえる。(図 2.2.1.8-1)

本来、生活支援サービスは、「ヒト」、「モノ」、「環境」を互いに相俟った総合的プランに基づいた支援がなされてやっと、受動的な生活支援から能動的な自立した生活へのモチベーションアップにつながる効果を生み出させるものである。

「ヒト」のサービス、「モノ」=福祉用具等のサービス、住居改善・社会環境の整備等の社会サービス、それぞれのサービスの質的向上は常に見直しされ、制度的支援も順次検討が加えられてはいるものの、次世代に向かっては、それぞれの分野の高度化が課題といえる。その切っ掛け作りの最先端に IT/RT 技術を生かした機器類が位置することになるであろう。

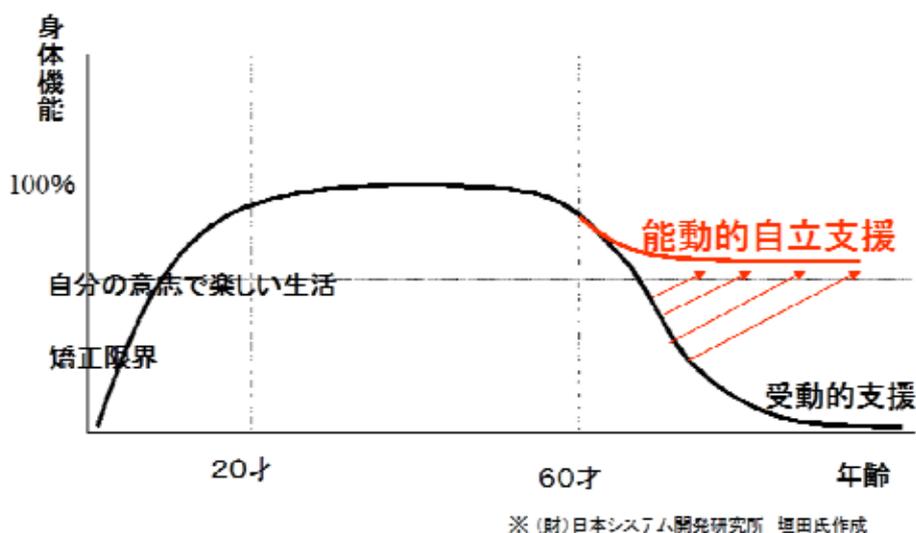


図 2.2.1.8-1 能動的自立支援

(1) 福祉用具の現状

福祉用具は、1993年に福祉用具法が施行されて以降、「福祉用具産業分野」を一産業分野として認知され、1993年時点 7735 億円であった市場規模を、2007年には 1兆 2608 億円、約 1.6 倍の伸びを示すまでに成長した。しかしながら、生活の中に十分に利用されているかといえば十分に生かされているとはいえない状況があり、まだまだ利用価値の普及に力を注ぐ必要に迫られている。

少子高齢化が進む中、介護の効率、安全性の確保、高齢者の自立支援を担う役割においても、福祉用具の市場の拡大をさらに加速させていくことも、豊かな社会形成に不可欠といえる。

ところで、中小企業が大半を占める福祉用具業界にとっては、福祉用具の利用促進と同時に使いたいと思える機器開発への動きは、なかなか難しい課題であり、旧来より常に問題化している。福祉用具開発に求められる特性は、高齢者や障がい者等の身体機能に合ったものであること、身体機能に応じて調整が可能であること、利用環境に充分配慮したものであること、利用者や利用環境の変化等によって安全性が損なわれないこと、修理・アフターサービスにも十分な配慮が欠

かせない等、一般商品以上に厳しい条件が課せられる。このクリアすべき要件は、経営基盤の弱い中小企業においては、おのずと積極的な開発への先行投資を鈍らせる結果となっている。

(2) 福祉用具の高度化

日本の介護の世界には、日本人特有の生活観念からくる「モノ」を使つての介護への抵抗感が残っている。この意識を変化させないと福祉用具の利用が普及しない面も多い。介護のキーマンであるケアマネージャ・ヘルパー・被介護者の家族さらには看護師・OT・PT等コメディカルを意識にも「人手による看護・介護」の偏った介護意識は強く、福祉用具利用への根強い抵抗感となっている。福祉用具の効果の認識不足、用具の選択ミス、使い方の間違い等々、いくつかの要因があげられるが、総じて普及しない原因は、福祉用具使用に対しての信頼度が薄い点に絞られる。安全性は勿論のこと、機能の精度・操作性・利用効果についての説明不足というところにも普及しない原因があることも事実である。福祉用具の利用の大半が福祉制度に依存している今の現状から脱皮しにくい背景もあり、普及させるには今ひとつ工夫を要する。例えば、移乗リフトの利用は介護者の腰痛予防だけでなく、安全な介護方法としても利用効果は明確であるが、まだまだその効果の「見える化」さえ関係者にも遅々として進んでいない現状である。

この移乗リフトの機能にロボット機構（被介護者の自立操作機能とか、走行機能を持たせること等）を導入できるとすれば、介護の方法も生活支援策も変化し、非介護者のみならず、関係者の認識は一変するとおもわれる。

福祉用具へのIT・RTの積極的な導入は、情報の精度化・機器の安全性の確保・操作性の単純化・従来用具の複合化等が期待でき、利用効果の「見える化」を促進できるものと考えられる。福祉用具の高度化は、福祉用具産業の一般化とともに介護方法・自立支援策の見直しへの引き金になると期待できる。（図 2.2.1.8-2）

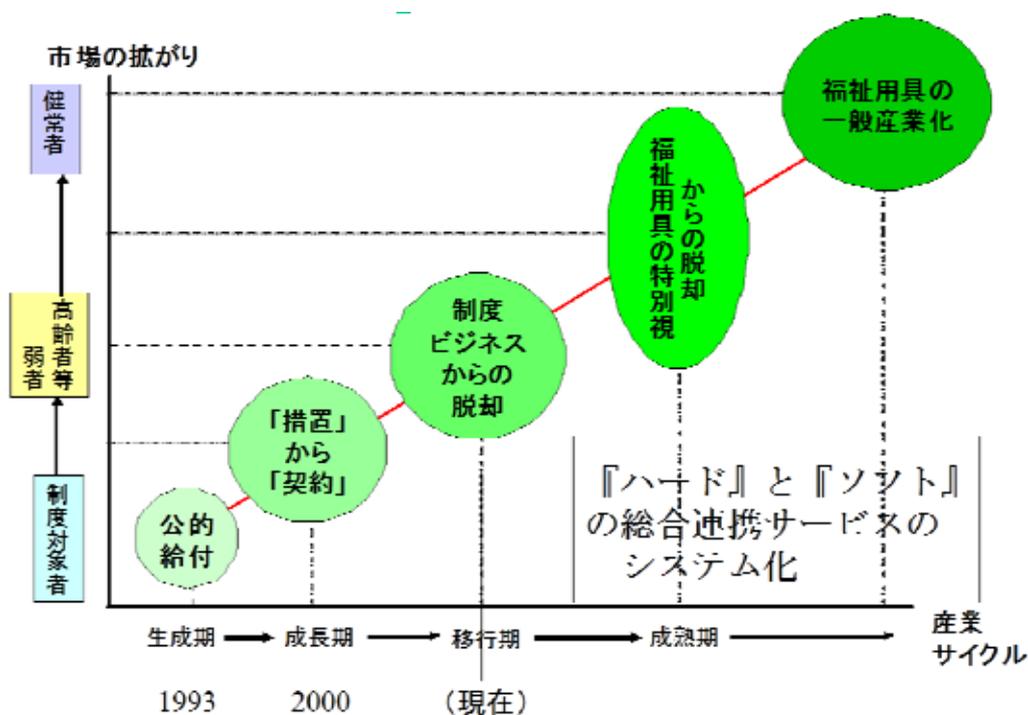


図 2.2.1.8-2 福祉用具業界の転機

(2) ロボット技術の利用促進のための開発側と利用者側の橋渡し場所の設置

「福祉サービスロボットテクノセンター(仮称)」を設置し、福祉用具・生活支援用具に RT 導入により、どんな効果をもたらせたかの有用性・効率性を知らしめ、利用促進を図る。同時に RT ニーズの汲み取り、安全性のチェックと使い方指導・訓練、臨床分析を集中して行う生活支援ロボット情報の身近な発信拠点とする。

(執筆担当：伊藤健三)

2.2.1.9 病院内サービスロボット

村田機械株式会社では、NEDO「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」として、2007年7月より、病院内ロボット搬送システムの開発を実施してきた。

本プロジェクトでは、複数の病院において実証実験を実施し、サービスロボットのユーザの声を反映させるべく、病院関係者と一緒に開発を進めている。



本報告では、サービスロボット普及に向けて、ロボットを受け入れていく社会の雰囲気作りの重要性について、これまでの経験から述べてみたい。

日本におけるロボット技術は世界的にも先進的であり、技術レベルも高いと思われる。実際に工場や倉庫で使われるロボット（自動機）は人に出来ない速さで情報を処理し、人に出来ないスピードで動くことを実現している。そこでは、人とロボットの稼働領域を明確に分けることでロボットの利便性を最大限に利用できるよう、ロボットに適した環境を与えている。

一方、工場や倉庫内といった産業分野での利用以外となると一般的な公共空間でロボットが活用されている例は日本国内では少ない。

ロボットが導入されない理由として、「安全性とコストが大きな課題」と言われるが、本来、この二つは比例するものであり、安全性を高めようとするほど、コストも上がる。

「安全性は高く」、「コストは低く」を両立することは困難である。本来この議論には「実現される機能」を考慮する必要がある。すなわち、「機能に見合うコストで、許容できる安全性が確保されているか」を議論すべきである。実際、車や鉄道はベネフィットが大きい為、対人事故が発生しても、利用禁止とならず、運用ルールや注意喚起といった使う側の人間で安全性を高める努力をしている。例えば、「車の前に飛び出したら危険」ということを繰り返し幼児教育から行われ、「手を上げて横断歩道を渡りましょう」ということになるし、「歩道のない道では道路の端を歩く」ことが世の中の常識になっていく。

そこには、自動車の利便性を利用するために「自動車は危ない」ことを教育し、日常の行動規範として、自動車に対する私たちの常識を構築し、「危ない自動車」を受け入れているのである。では、サービスロボットではどうか。長く、日本ではロボットは正義の味方、ヒーローとして登場することが多く、ロボットに万能を求めてきた。結果、ロボットに対して、親近感を持ち、ロボットを受け入れる土壌があるものの、ロボットに求める機能的な要求レベルが高くなりがちである。特に安全に関しては、「ロボットは絶対安全でなければならない」との期待が過度にあることにより、ロボットメーカーは余程のレベルで安全が確認できないと製品化できない。その結果、

安全性を高めるためにアクチュエータの出力を抑える、走行スピードを抑えるといったことが必要となり、結局、要求仕様（ここでの要求仕様とは、ユーザを満足するような機能レベル）を満たさない中途半端なロボットになってしまい、「サービスロボットはまだまだ実用的には使えない」と言われることになる。

確かに私たちの期待するロボットのイメージほど、実用的で万能なものはない。しかし単一機能であれば十分仕事ができるものも出てきている。その単一機能のロボットを積極的に利用することこそ、国を挙げて進めていくべきではないだろうか。

(1) 国策としてのサービスロボット市場醸成

日本では技術開発に開発資金を投入し、その技術の製品化は各メーカーに任せている。ここには、国が製品化まで面倒見ること、市場のニーズと違うものが出来ることを危惧していると聞いたことがある。しかし、国の施設で利用することを前提に要求仕様を提示し、実際に国が購入して使用していくことで、前例を作り上げていくことも必要ではないだろうか。国の施設で使用することで日本が今後ロボット技術を取り入れていくことを国内外に広めるとともに、ロボット利用を促すきっかけにもなると期待できる。何よりも一度市場が構築されれば、自ずと技術力の向上が図られ、製造コストの低下も見込まれ、更なる普及が促進される。現に韓国では国策としてロボット開発だけでなく、その利用にも力を入れ始めており、実際に案内ロボットが数多く利用され始めている。昨年開かれた韓国でのロボット展を見学したが、現状のロボット技術のレベルの高い低いではなく、サービスロボットを実際に使っていこうとする姿勢に本気度を感じるとともに、今後、日本の技術力が追い抜かれるのではないかという危機感を感じた。日本とはかなり事情が違うがアメリカでも、軍事にロボットを利用しはじめたことにより、ロボット需要が大きく飛躍している。結果、様々なロボットメーカーが誕生し、大きな市場規模を形成している。

(2) サービスロボットによる豊かな社会の実現

これまでの病院内での実験を通じて、医師、看護師、職員、患者、見舞い客と立場の違うさまざまな方に実際にロボットが動いているところを見ていただき、お声をいただいた。



サービスロボットに対する大変大きな期待を感じていただいていることは間違いない。一方で、ロボット＝人減らし（経費削減）、といった捉え方をされる方々もおられるのも確かである。確かに産業用ロボットにはコスト低減、生産効率向上といったミッションが与えられ、大きな成果を出してきたのも事実である。しかし、サービスロボット普及に向けては、コストや効率ばかりを

追い求めるのではなく、利便性の向上や豊かな社会生活の実現を感じさせることこそ必要だと感じている。私たちは京都第二赤十字病院様で院内走行実験を継続して実施する中で、年に一回クリスマスキャロルというイベントにロボットを参加させていただいている。



この活動により、ロボットの認知度向上や将来の使い手の方々への期待度の醸成といったことも期待している。しかし、感情的なところでは、涙を流して喜んでくださる患者様にお会いし、サービスロボットの費用対効果で測れない大きな可能性を感じているのも事実である。

(3) サービスロボットと人との共生

「ロボットと人が共生」する世の中を目指して、如何に人の世界にロボットを順応させるかといった技術開発が進められている。しかし、本当の意味で共生を目指すのであれば、使う側の人間も一緒になって、ロボットを受け入れる社会を構築していく必要がある。

これまでのようにロボットが如何に人に合わせるかだけでなく、様々なロボットに対して周囲の人間が如何に付き合っていくか、利用していくか、そこを真剣に取り組まないと、いつまでたってもロボットは役に立たないとされてしまう。人にしか出来ないことは人で、ロボットに出来ることはロボットでと役割を分担することでかなりの作業は可能となる。そのとき、重要なのは「ロボットは人間ほど器用ではない、だから人間がうまく使ってやらないとだめなんだ」ということを人間側が理解しておくことだ。

(4) サービスロボットについての教育

ロボットを使う人間側が如何に歩み寄ることができるかが「ロボットと人との共生」の鍵となる。したがって、将来ロボットを広く普及させていくためには、自動車に対する幼児教育のように、ロボットに対する教育が大変重要となる。最近ではロボットを使った授業も出てきており、子供たちに大変人気があるが、更に一歩進めて、ロボットを作るための技術だけでなく、使うための知識も併せて教育していくことが今求められているのではないだろうか。例えば、小中学校で様々なサービスロボットが常時動いている環境を構築し、ロボットを利用する上で、どうしたら危険か、どこまでのことがロボットに出来るのかといったことを、日常の学校生活の中で、子供たちに体感させることは、「ロボットと人との共生」実現にむけて大変有効であると思われる。何よりも小さな頃から慣れ親しんだ経験はロボット技術の更なる向上と市場醸成の両方に大変効果的である。是非、実現してほしい。

最後にサービスロボット普及に向けて、繰り返しになるが以下の施策を提案したい。

<中小企業のための安全認証支援制度>

近年、サービスロボットの安全認証制度を日本主導で構築して行こうという流れがあり、NEDO プロジェクトで安全規格作りが進められている。安全認証制度が出来ることはサービスロボットを提供していくロボットメーカーにとっては、安全に対して、どこまで対策すべきかの指針を与える大変意味のあるものである。しかし、一方で認証取得に要する費用が高額となると参入障壁となり、ロボット産業推進の阻害要因となることが懸念される。特に日本におけるサービスロボット分野においては大企業だけでなく、中小企業はじめ多くのベンチャー企業が参画を模索しており、その裾野は広い。したがって、サービスロボット市場醸成期においては、裾野に広がる中小、ベンチャー企業にとっても受け入れられる仕組みづくりが重要である。そのためにも、安全認証制度の確立とともに中小企業及びベンチャー企業に対する認証支援制度設置が必須である。具体的には、中小企業及びベンチャー企業の安全認証に係る費用の一部を国費で負担することにより、多くのサービスロボットが安全認証を取得し、安全認証制度の実績づくりとサービスロボット普及の推進を図り、世界に先駆けてサービスロボットの安全認証を広めることができれば、今後の国際安全基準改定にも大きな影響力を維持していくことも可能であり、日本のサービスロボットが世界でも存在感を出していけると期待する。

<公共施設におけるサービスロボット導入>

安全規格や安全認証制度がないことがサービスロボット普及の足かせになっているとの意見を否定はしないが、それだけが原因であるかのような風潮には疑問をいだく。また、ニーズに合ったロボットがないとの意見も良く聞かれるが、実際には、一般の人がロボットに求める万能な機能を満たすだけのロボットがないというのが現状である。実際にロボットはまだまだ発展途上であり、これからも進化を続けていくと期待される。とはいえ、進化するまで市場には出せないということでは、ロボットが市場に出てくるまで開発をし続けられるような体力のある企業はさほどない。機能的にはまだまだでも、単機能でも使えるロボットを積極的に導入していくことで、早期にサービスロボット市場を形成し、徐々に熟成させていくことが重要である。まずは国の公共施設（省庁、市役所、病院、公立小中学校等）で、実際にサービスロボットを導入し、積極的にサービスロボットを利用していくことで、国内において、その認知度を広めていくとともに一定の市場形成を行う。その際、効率だけを求めるのではなく、豊かな暮らし実現を目指し、単なる人の代替ではない用途を各施設で検討し、付加価値を生むサービスロボット利用を促進する。具体的には国の施設で必要とする機能を備えたロボットを公募、複数企業に開発費を支援し、仕様を満たしたロボットをそのまま、施設で利用する。その際、公共施設で利用するロボットは安全認証を受けることを義務つけていくことにより、安全認証制度の普及も促進する。ただし、認証制度に掛かる費用の一部を支援することで、中小、ベンチャー企業でもロボットを納入できるようにする。

また、ロボットを導入した公共施設ではロボットの保全員を職員として雇用することで、新たな雇用を創出し、ロボット導入＝付加価値創出＝単なる人減らしではないという世論形成を行う。また、その際、ロボットは万能ではなく、周囲の人の協力無しでは成り立たないといった大衆教育活動もあわせて行うことが必須である。ここで重要なことは、ロボットを利用し続けることである。例え単機能でも使い続けられるロボットを導入することがロボット普及に大きな意味をもつと考える。いくつかの自治体で燃料電池車や電気自動車が公用車に採用されているが、現状のコストを考えると採用は時期尚早である。しかし、将来に向けたメッセージとして導入を決め

る自治体があるように、将来の人手不足、高齢化社会に向けてのメッセージとしてロボットを導入する自治体がでてくることを期待したい。

<サービスロボット利用に関する教育推進>

今後迎える少子高齢化社会に向けて、長年その答えの1つがロボットの普及であるとされてきた。ならば、社会として、ロボットとどのように接していくべきかをもっと教育していくべきである。具体的にはサービスロボットを実際に学校に導入し、児童が利用することでロボットへの理解を深める。幼児教育では、動いているロボットの前に立ったら危ないことを教え、低学年ではロボットが働くために周囲の人間がどのようにすればいいかを考え、高学年ではロボットのメンテナンスも担当していく。さらには、中学校、高校の授業として、自分たちの学校で実際に利用するロボットを開発し、子供たちの創造力育成と将来の「モノづくり日本」を支える人材育成を目指す。ここで、重要なのはこれまでのようにロボットを作ることばかりを教えるのではなく、どのように使うかにも重点を置いた教育を実施することである。こうすることにより、サービスロボットを自然に受け入れられる世論が形成され、より安全にロボットが使われる世の中になると期待できる。

ロボット開発者として機能と安全性、コストのバランスを高次に目指すことは必須である。しかし、それとともにロボットを受け入れる社会作りも同様に大変重要なミッションであると感じている。これからもサービスロボット普及に向けて、技術開発とともに社会作りにも貢献できる取り組みを続けていきたい。

(執筆担当：森口智規)

2.2.1.10 ロボット導入で病院搬送がどう変わるか？

2.2.1.10.1 搬送支援の必要性和背景

病院の経営は厳しさを増している。これに対応するために、現在病院ではさまざまな経営努力がなされてはいるものの、その中心は病院機能の拡充による収入の増加を目指す方向性と、人件費を含めた支出の減少を目指す方向性に分けられる。増収を目指すには高額な医療機器に対する定期的な設備投資と、医療の進歩に対応するための投資が必要である。したがって、病院の設備投資は医療機器を中心に発生するのは自明である。一方で人件費の圧迫も大きいのも事実であり、さまざまな工夫が必要である。しかしながら、この様な状況は、本質的な医療の部分へのみ投資がなされ、人件費の過剰な節約を生むことに繋がって行く。病院内の医薬品、医療材料、検査検体搬送はこういった状況から、注目されない現状にある。特に設備投資費用が潤沢な国公立病院以外の一般病院や病床数 700 以下の中・小規模病院では顕著である。

すなわち、国立大学、国立センター病院などを中心に自走台車やエアースシューターなど大規模搬送設備が建設段階から導入されている施設では問題にならないが、多くの一般病院や、建物が比較的古い病院では、直接増収に繋がらない搬送設備は軽視される傾向がある。さらに搬送設備の導入を考慮している病院でも、設備投資の代償として、人件費との相殺が求められる状況が通例となっており、簡単には導入できないのが実情であろう。

しかしながら、夜間の搬送、緊急物品搬送においては、病棟の看護師や救急外来の看護師がその業務を行っており大きな問題である。すなわち搬送に看護師が利用されることによって、本来の業務である患者看護、患者観察、患者サービスの時間が削られその分が搬送に供出されている状況であり、安全な療養環境の保持のためには大きな問題であるといえる。

今般のロボットによる病院物品搬送において、筆者が人件費とのバスターを基礎とした導入に大きく反対してきたのは、上記の理由が大きい。すなわち看護師が本来の業務をなす環境を構築する、そのためのロボットによる搬送支援が必須であるという論理である。この点をしっかりと認識して推進しなければ、ロボット搬送は広がって行かないと確信している。『搬送システムを入れようと思うが、それで何人分の人件費が削減できるか？』この様な、費用対効果のはき違えた論理を構築して、搬送の必要性を論じている限りは、看護師を取り巻く業務環境は全く改善されないであろう。もちろんこの点を国が補助をするという形態が病院にとって大きな福音となるのは言うまでもない。

2.2.1.10.2 搬送形態とロボットに期待される役割の整合

現在病院における、医療材料、薬剤などの物品搬送の形態は大きく以下に分けられる。また表 2.2.1.10-1 に搬送形態とその担い手、特徴を纏めた

① 日中定期搬送

日中は患者、見舞い客を含めた外来者が沢山病院にあり、その状態でロボットによる搬送を行うのはあまりメリットがないそこで、大型搬送台車でパワーアシスト型のものが最も望ましいと考えられる。

② 夜間、休日緊急搬送

一刻を争う搬送と言うのは今後も無くならないと思われる。この領域の搬送に関してはエアースシューターの様な、少量軽量物の迅速な搬送が行いうるものが望ましい。

③ 夜間、休日定時搬送

上記二つの搬送の隙間に、危急に必要なではないが、ある程度の時間以内に搬送しなければならない物品も存在する。

搬送形態に3つのものがあれば、それぞれに個別最適化された搬送方法、搬送の担い手の確保が必要であるが、そうはなっていないのが問題の本質である。②③の夜間、休日における搬送を全て看護師が担っているという現状は容認できる状態とはいえない。

表 2.2.1.10-1 病院における搬送形態

①日中定期搬送

当日、あるいは翌日に必要な薬剤ならびに医療材料の搬送。
使用予定が決まっているものの搬送である。緊急物品は含まれない。
全搬送量の約80-90%はこれで賄える。

②夜間、休日緊急搬送

患者の容態急変、あるいは緊急入院に伴って必要となる物品の搬送。
急性期病院において、この分野の搬送総量は今後も増して行くと思われる。

③夜間、休日定時搬送

一秒を争うものではないが、当該日の夜半あるいは翌日の早朝に使用するものなどがこれに含まれる。
また、3日以上連休中に使用するものもこの搬送形態に頼っている。
休祝日の法改正によりハッピーマンデーが増えたことも、この種の搬送増加の原因となっている。

現状では、金曜の夕方に土日の予定使用物品、特に薬剤の搬送を行なっている。しかしながら、当院の分析では医師がオーダーを行なった点滴・注射指示のうち、50%以上が、変更破棄されると言うデータがある(表 2.2.1.10-2)。それを考えれば、予定分の搬送だけでは業務が成り立たないのは明らかである。また、今すぐ使用する訳ではないが、夜半に使用予定である、あるいは翌日の早朝に使用する予定のものに関しては、夜間のうちに即時ではない搬送の必要性が生じる。これらに対してはエアシューターでは対応できない大きさの材料や薬品も存在することからロボットのニーズは存在すると思われる。

表 2.2.1.10-2 入院注射に関する基礎データ

2007年4月1日～2008年3月31日実績

入院注射実施総件数	329,892
注射認証実施件数	327,678
オーダー変更・中止件数	178,697
総変更中止率	54.53%
変更件数	133,860
変更率	40.85%
中止件数	44,837
中止率	13.68%

このことは血液検査検体（血液が入ったスピッツ）の搬送、すなわち現在想定している、薬剤部、調度課などのサプライエリアから病棟への搬送と逆方向の搬送の必要性においても有用である。つまり、看護師が病棟から検査室へ走って持って行く必要は必ずしもないものの、検査結果が得られるのが遅くなるようでは診療に影響が出かねないような検体の搬送においても有用性が高い。さらに、このように搬送形態に応じた最適化を行なうことでもう一つ大きなメリットが得られる。病棟における在庫の削減である。搬送が大変であるからと言って、必要な薬剤や医療材料を使用しないという状況は病院においては容認できない。高度専門化を続ける医療機関においては、代替品の使用で可能な医療行為と言うのはありえない。患者の状態に即応した薬剤、医療材料の適正な使用が高度な医療を支えている限り、必要時に搬送がなされなければ、医療レベルの低下どころか、医療機関の存在意義すら否定されかねない事態を生じるため薬剤、医療材料の的確かつ迅速な使用は必須条件である。このような状況の中で搬送が適切になされない場合は、万が一を想定した薬剤、医療材料の備蓄が必要となる。もちろんある程度の在庫保持はどうしてもなくせないが、搬送をしっかりと見直すことで、病棟への置き在庫の削減は大幅に可能になると思われる。

当院ではかなりの在庫を削減する事に成功しているが、この背景には看護師が必要時に搬送を担っているという状況が存在し、決して適正な状態であるとはいえない。

表 2.2.1.10-3、図 2.2.1.10-1、2 に当院で行った看護師による休日、夜間搬送調査の結果を抜粋して提示する。夜間は準夜帯(夕方 17 時から 24 時までの間)を中心に看護師による搬送が行われており、各病棟から少なくとも二時間に一回程度の搬送が行われていることがわかる。また休日の搬送量も非常に多く、各病棟から一時間に一回から二回程度の搬送が看護師を担い手として行われていることがわかる。

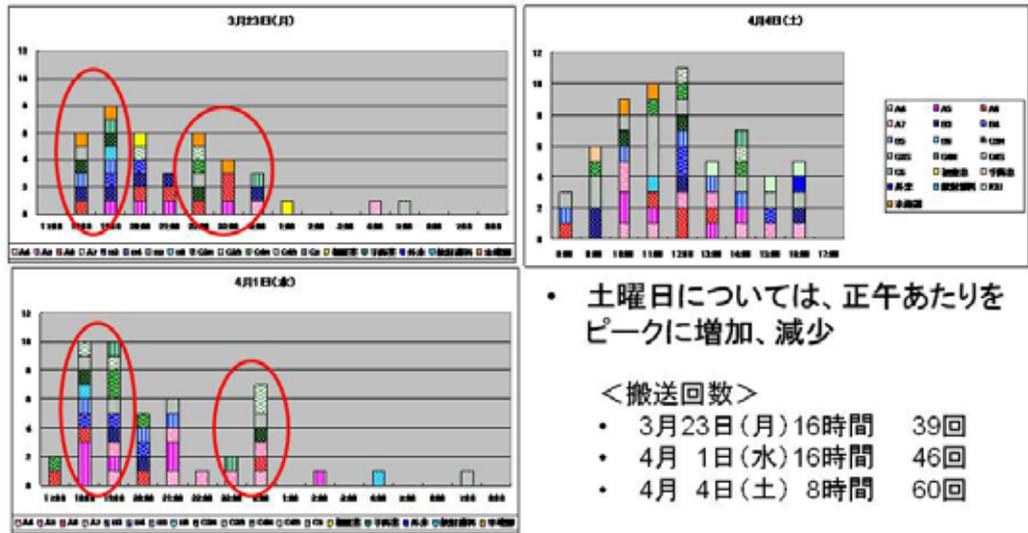
表 2.2.1.10-3 院内物流調査

・ **夜間・休日の薬剤搬送の実態調査**

- ・ 平日PM5:00～翌日AM8:00 2日間
- ・ 土曜AM8:00～PM5:00 1日間
- ・ 薬剤部入り口での聞き取り調査
(ただし、緊急時は目視のみで集計)

<調査項目>

- 搬送時間
- 搬送内容
- 搬送物の大きさ、量
- 搬送形態
- 搬送者の勤務病棟、勤務先
- 薬剤部、調度倉庫以外へ立ち寄りの有無
- 緊急度(勤務時間中に使用するか)



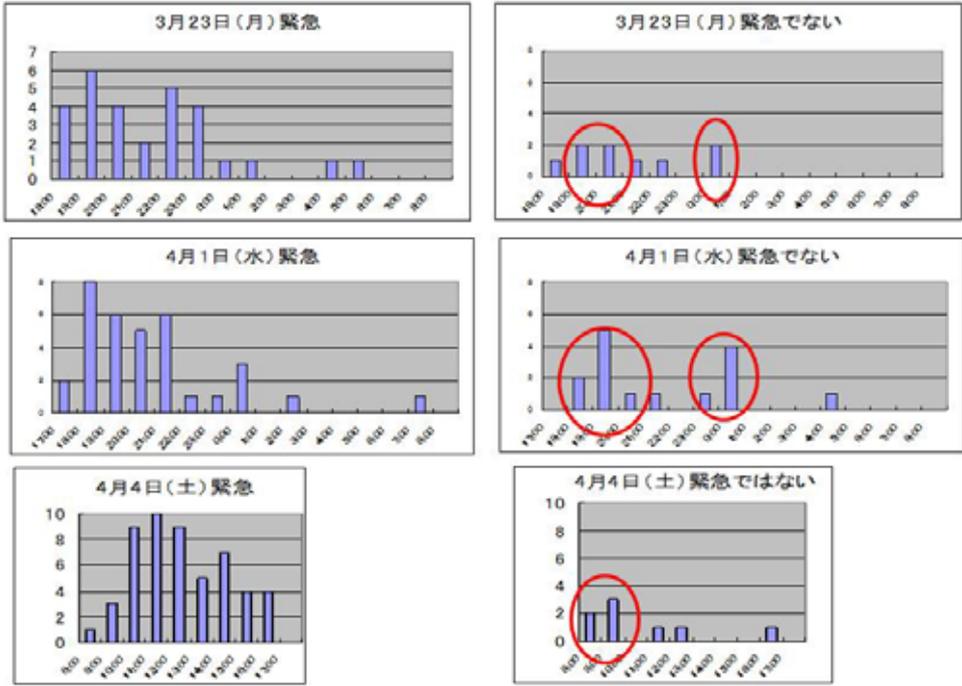
• 土曜日については、正午あたりをピークに増加、減少

<搬送回数>

- 3月23日(月)16時間 39回
- 4月 1日(水)16時間 46回
- 4月 4日(土) 8時間 60回

- 平日夜間搬送の担い手は主に準夜勤務帯に集中
- シフトの切り替え時間前後にやや搬送頻度があがる傾向

図 2.2.1.10-1 薬剤搬送の夜間、休日頻度と搬送時間



- 特に勤務時間外に使う物品はシフト切り替わり前後に搬送

図 2.2.1.10-2 時間による緊急搬送の頻度

これらの中で、エアーシューターによって搬送可能なものも数多く存在するが、全てが緊急物品ではなく、夜間、休日の定時搬送がなされるようになり、さらにエアーシューターが装備されれば、看護師が病棟を離れなければならない状態はほぼ回避できると思われる。しかしながら、現実問題として、エアーシューターを建築後の病院に全フロアに装備するにはコストが高く掛かることも予想され、全ての病棟に配備される例が多くは無いことから、全てをエアーシューター

で搬送することは難しいと思われる。またエアーシューターに搬送の全てを頼ってしまうことで、危急の搬送の際に、使用過多により、間に合わない状況も想定される。そこで、ロボットによる一時間に一回程度の定時搬送がなされれば、看護師の業務の多くの部分が改善され、エアーシューター導入後の病院においても、エアーシューターへの依存度が軽減され、導入がより容易になるとと思われる。

これらのことより、われわれはロボットにおける搬送の役割を表 2.2.1.10-3 に提示する。ロボットによる搬送のメリットとして、建築躯体に影響を与えることなく導入ができ、容易かつ安価な導入が可能となることも強調しておきたい。

2.2.1.10.3 搬送ロボット導入により得られるメリット

搬送ロボットの導入により下記のメリットが得られる。

夜間搬送を行わず、病棟在庫により対応されている病院では在庫の削減がなされるため、メリットは分かり易い。休日搬送に搬送を担う人材を配置している病院でも人件費の削減と言うわかりやすいメリットがある。

では、当院の様に、病棟在庫を低減し、夜間、休日に勤務をしている看護師が搬送を行っている病院においてはどうか？現在、看護師による搬送で、急性期医療が行われているのであるから、機能は十分果たされている。だからそのままでも良い。それは一つの考え方であろう。では、看護師の本来業務とは何であろうか？看護師とは患者を『見て』『護る』のが業務である。決して薬剤や、医療材料の搬送を生業としている職業ではないはずである。患者の安全、健康、治療のために必要であるために、止む無く搬送を担っているという本質に眼を向けねばならない。現状では搬送のために、止むを得ず病棟を離れねばならない状況が生じるため、60床近い病棟、すなわち60人の患者を3人で管理している病棟で、搬送という業務があるために、たとえ短時間とはいえ、60人の患者をたった2人で管理しなければならないことが日常化しているのである。これが、ロボット導入により全ての時間帯で看護師が病棟から離れずに患者の看護が出来るようになる。こういった医療安全の向上は金額で表現しづらいため、なかなか議論に上らないが、入院患者の立場からすれば素晴らしいことである。特に、急性期化が進み、今までは集中治療室やハイケアユニットで管理していた様な、重症の患者が一般病棟に入院している状況では非常に大きなメリットになるであろう。

病院経営において、この様な金額で表せないメリットは軽視されがちで、人件費と言う支出を下げるという議論にのみ陥りがちな状況の打破のためにも是非この視点に注目していただきたい。医療安全と言う非常に大きな概念においては、経営的なメリットは可視化しがたい。いわば医療安全の担保は生命保険の様なもので、何事も起こらなければ注目されないが、一度、医療安全が阻害されるような事象が生じれば、それは金銭に換えられない事態を引き起こす。患者にとってはもちろんの事だが、病院にとっても医療安全の保持、維持は重要事項である。

例えば、看護師が搬送のために病棟を離れ、その間に患者に何事かが起これば、病院にとって非常に大きな損失となる。現在何も起こっていないのは、患者の看護と、搬送という二つの大きく異なる業務を看護師が大きな犠牲を払って高レベルで実現しているからである、と言う単純かつ重要な事実に是非目を向けて夜間、休日の搬送改善を今後も推進して行きたい。

表 2.2.1.10-4 ロボット搬送システム運用イメージ

- ・ **定時巡回搬送**
 - **医療資材保管庫および薬剤部
ナースステーション各室を時刻表にもとづいて巡回**
- ・ **システムの簡素化**
 - **荷物の積み下ろしは人が行う**
- ・ **24時間・365日搬送対応**
 - **資材補充頻度アップ、病棟における在庫減少**
- ・ **既設病院へも導入容易**
 - **建築物への大きな施工不要**

2.2.1.10.4 今後への課題と展望

病院搬送をロボットが適切に行い得る状況が現出することのメリットは述べた。では、具体的導入に向けての課題と改善すべき点にポイントを絞って論じたい。

『医療安全の担保は保険の様なものである』と述べた。当院では 2004 年より点滴・注射業務の安全使用のために、携帯情報端末を用いた注射・点滴の認証を行っている。前段で述べた医師による注射・点滴の変更率が 50%を超えるとしたデータはこのシステムから得たものである。このシステムのための安定導入には非常に大雑把ではあるが約 1 億円程度の投資を行っている。無論、同時導入したシステム全体の価格となると、これの何倍もの費用がかかっている。では、この投資に対して、医療機関への具体的、金銭的なインセンティブはあるだろうか？

実は、まったく存在しない。

当院では年間 30 万件の注射・点滴行為の 99.3%において、このシステムを用いた認証を実施しており、点滴・注射行為に基づく事故は起こっていない。それだけの投資と、職員の不断な努力に対して、保険診療ではなんらの加算もないのである。確かに医療安全を全うするのは医療機関の義務である。しかし、人間は間違いを犯す生き物である。したがって人間系だけのチェックシステムでは不十分であるため、システムを導入する。しかし、それに対するインセンティブは無いのが現状である。たとえば、当院より医療安全レベルが低い病院であっても、当院のように多額な投資をして安全を確保している病院でも、保険診療行為としては同等のものとみなされる。もちろん電子化、システム化、IT 化だけが医療安全に対する方法論では無い。人間系で非常に大変な努力をされているご施設もあるが、それでも金銭的な補償は存在しない。では、なぜ多額の投資をして当院は本システムを導入したのか？大胆な言い方をすれば『保険』である。ひとたび、医療事故が起こればそれによって連鎖的に生ずるデメリットは非常に大きい、賠償金などの直接的なものだけではなく、失墜した信用は金銭に換えがたい損失をもたらすであろう。可能性のあるデメリットを回避するための保険として、導入に踏み切ったと言う部分は否定できない。

搬送ロボットを導入したいという希望があっても、なかなか導入に踏み切れない事情はこの点滴・注射安全管理システムの導入における問題点と酷似している。

☆ 現在人間の手でうまく行っているのだから、なぜ多額な費用をかけて導入する必要があるのか？

と言う論理である。

☆ 院内搬送に関しては、看護師の手で行われていて、何も起こってないのだから必要ないだろう。

と展開されて行く。

この点において、ロボットによる搬送支援は『保険』として割り切って導入するしか無いと言うのが最大の課題であろう。

技術の進歩と、われわれの様に導入に対して積極的な施設において、安全性ならびに効果検証を行えば、ロボット単体の役割を向上することは出来ると確信している。しかし、それを『保険』と言う捕らえ方で、『導入するかしないかは施設が検討したら良い』と言うスタンスでは絶対に広がらないであろう。

少し、病院の医療支援からは外れるが災害支援、災害救助ロボットを考えてみて欲しい。つい先日のニュージーランドの地震を見るまでもなく、いくら建築系で耐震を行ったとしても、限界はある。地震大国ニッポンにおいては、『備え』も必要ははずである。消防、レスキュー、自衛隊の方々による被災者救助において、救援範囲の拡大、向上、そして救援者の二次被害を避ける意味においても災害支援ロボットは非常に重要なツールである。この論理からすれば、各自治体が数台の災害支援ロボットを保持、管理しようとするような国の支援は不可欠ではないだろうか？院内搬送ロボットと同様、技術の進歩と、十分なテスト運用によって、ハードウェアとしてのロボットの機能向上は十分に期待できるレベルにある。しかし、これが実質運用に供せられる状況と、商行為として成り立つ社会構造が実現されなければ、せっかくのニッポンの技術は廃れてゆくであろう。たとえ、すばらしいものが『開発』されたとしても、それが『実際に運用』される状況にならなければ、まさに技術は陳腐化し、投資は無駄になる。

では、医療機関において搬送ロボットの実装するためには、何が起爆剤となるだろうか？ひとつは経済支援である。経済支援といっても、全額の導入資金負担を国に背負っていただく必要は無い。ばら撒き型の予算が効率的な運用につながらないのは、多くの実例がある。大切なのは『導入のための経済支援』ではなく、『運用における経済支援』である。具体的には医療安全の確保を実現するために、看護師の搬送をロボットで代行させた場合には、医療機関の施設加算保険点数として何点かが加わるような形が望ましい。これであれば、導入のためのインシヤル費用は病院負担となるが、ランニングコストおよび、加算点数によるインセンティブをメリットとして、ロボット導入に踏み切る施設が増えるだろうと思われる。当然、インセンティブを得る代償として、どの程度の搬送をロボットで行っているかを報告する義務を課せれば良い。導入インシヤルコストを国が負担するだけと言うスキームでは、国費を使って購入したはいいものの、まったく使用しないような医療機関も出てくるであろう。実際、国庫補助で導入したものが、埃を被っている実例や、国費を得て行われた実証実験が『単なる実験』に終わっている事例は枚挙に暇が無い。しかし、実運用状況の報告義務をしっかりと果たし、運用を行っていれば、毎月毎月一定額の収入アップにつながるとなれば、医療機関においてもハードルは低くなる。さらに、ロボット導入により、看護師は病棟での患者の看護に持てる時間のすべてを捧げられるし、搬送のために人材を割いている施設では、人件費の削減につながり、収入、支出の双方でメリットが得られる。

しかし、それだけでは十分とは言えないだろう。医療安全の向上、担保のために導入を考える上では、金銭的なインセンティブだけでは不十分である。

少し乱暴な提言になるが、看護師に本質的な業務のみの施行を義務付けると言う論点である。すなわち、患者の生命に関わる様な緊急の場合を除いて、看護師が勤務するエリアから離れないと言う規制が有効かも知れない。もちろん、労働基準法に基づいた、休憩などの人権保護は当然の

こととして、患者に直接関わる業務以外の間接業務をさせないという規制は、翻って看護師の権利向上や医療安全につながるのではないだろうか？日常的に看護師、また医師が、患者のためとはいえ、搬送を担っている状況はある意味おかしいのである。一部の巨大病院が豊富な国費などを使って、大規模搬送システムを導入しているものの、患者の命の重さや看護師の業務の重要性に、小規模病院も、大規模病院も変わりはないはずである。設備投資が出来ない病院ほど人間系に負担がかかっている現状は現実に存在する。恵まれた施設の職員は良いが、人間が最大限の、いや、限界を超えた努力をして医療行為を安全に遂行している職場は多い。それを打破するためには、金銭的インセンティブと、本来業務を十分に全うする環境を整えるという二つの命題が両輪で実現される必要があるだろう。

災害支援も同様である。救助を行う立場の人間が、安全かつ効率的に行い得るように環境を整えるのは当然の行為であり、それを現場に負担を押し付けたままでは改善は見込めないと思われる。自治体それぞれへの配備が困難なら、国が必要数を保持し、災害派遣の際に、真っ先に災害支援ロボットを搬送できる状況を整えておけば、救助を行う人間の安全性と、被災者の支援効率の向上が期待できる。『いつ起こるかかわからないもの』に対して、現場が備えをするのは非常に難しい。医療機関も営利目的ではないとは言え、ひとつの企業であることには変わりはない。特に経営状況が厳しくなっている現状では、無駄は少しでも削りたいのは他の業態と同じである。『いつ起こるかかわからないもの』には行政の支援が必須であると考えている。

2.2.1.10.5 まとめに変えて

病院搬送ロボットの導入に関して私見を述べた。

わたしが考える搬送ロボットは、あくまで『業務支援』である。決して『省力化』ではない。人が人として、人にしか出来ないことを十分に出来る環境を整える。これが支援であり、搬送をロボットにさせることによって省力化、支出削減につなげるという論理では広がってゆかないだろう。資本主義においては間違った論理かも知れないが、対費用効果だけを考えるのなら、とっくに現在の日本の医療は崩壊しているのである。看護師という職業は、仕事量に対する十分な収入を得ていない。人に関わりたい、助けたいという思いを抱いて、看護師への勉強を始め、戴帽式で崇高な使命を得たからこそ看護師たちは歯を食い縛ってがんばっている。その状況をゼロ点と捉えてはいけない。今の現状では彼女ら、彼らは疲弊してしまう。看護師が疲弊すれば、患者が不利益を被る。自宅で死を迎えることがほとんど無くなった昨今、人を最後に『見て』『護って』くれるのは看護師である。この様なすばらしい職業を選んできた人たちを何とか助けてあげたい。その為の小さな、小さな一歩をロボットで実現したい。

(執筆担当：田中聖人)

2.2.1.11 ロボット産業に於けるベンチャー企業の戦略

(1) 基本開発姿勢

ロボットありきの開発を避け、ユーザーニーズをロボット技術で解決する事に集中。

(2) 基本開発体制

ロボットの開発は、多岐に渡る事から、各方面の開発機関や、研究所、大学等との連合の開発体制を構築。社内に過剰な研究員を抱えないよう注意している。

社内においても、フレキシブルな開発を平行して行なう為に、通常の組織に付加して、方面司令官制度と言うべきものを置き、自在に、活動できる体制を敷いている。ただし、これは、プロジェクトチーム制ではない。

都心部では、何かと資金が掛かるため、郊外の風光明媚な土地に立地。逆に言えば、都心で開発する必要は無い。

(3) 問題点

① 資金に関して

明治以降、成功事例のないものに、資金を供給した経験の少ない日本は、成功事例を見せない、動けないようである事が、一番の問題である。

また、近年、監査法人に関する規制も厳しくなり、産業化していないものへの資産評価が行なわれず、ロボットに関する特許などの評価もゼロの状態であり、企業の試算表や、バランスシートは、債務超過にならざるを得ず、これにより、さらに、資金調達が困難になっている。

大企業からの支援、出資に関しても、株主代表訴訟にみられるように、コンプライアンスの問題が強調されすぎ、利益が確定的で無いものへの投資にブレーキがかかっている。

② 安全基準

国民性なのか、安全に関して、絶対性を求める傾向が強く、安全が確定確認できたもの意外は、市場に投入する事ができず、永遠に安全実験、実証実験を繰り返す事になっている。

西欧諸国に於いては、半製品であっても、それを使用して見て、その結果を商品に反映し、最終商品を国民で創り上げようという風土があり、また、チャレンジする冒険者に心から拍手を送る国民性が感じられる。

安全をないがしろにする訳ではないが、必要性和安全性の関係に関する議論があまりに少ない気がする。

③ 地方自治体

県、市、においては、精神的な支えは、十分行なっているが、ロボットのような次世代の国家の産業になるべきものを育成するには、自治体としての支援では限界を感じる。

デンマークの人口は、550万人であり、もしかしたら、九州が独立すれば、フレキシブルな戦略を立てられるのかもしれない。

④ 国

国家戦略を感じない。

他国に於いては、次世代産業として、また、新技術を習得するために、本格的にロボット技術

を導入しようとしており、その為であれば、企業の国外からの誘致、買収も辞さない覚悟を感じる。

ちなみにデンマークのラスムセン首相は、「私が、国を動かしますので、どうすれば、デンマークで、ロボットをやれるのか、教えてください」と、政治指導を将に感じた。

他国に於いては、積極的に、初めは、国家でロボットを使用してみるなどの政策を取ろうとしているが、日本においては、実績の無いものは、購入するのは非常に困難である。官僚ばかりではなく政治家も含め、ロボットに関する国家としての長期戦略の確立が望まれる。

尚、諸外国では、軍事予算を積極的に活用し、ロボット開発を行い、また、軍が使用することにより、さらに、実用的になりつつある。軍用品からの民間転用も新商品、新産業の流れの一つであり、我が国でも検討の必要があるのではないだろうか。

(4) 資金調達について

資金調達は、特に地方の企業にとっては、大問題である。関東圏の企業ならば、デモに関しても、東京で行なうことが容易にできるが、地方では、それもなかなかできない。当然マスコミ等への取り上げも全然違いがある。その上、資金を出す可能性のある大企業やキャピタルは、東京へ集中し、地方から上がってきた時には、既に、投資は一巡している事になる。

① 国に対する要望

広く全国を精査の上(大学の先生方の精査だけではなく、証券会社や財界、アナリスト、各省庁の責任部署、地方自治体なども入れた委員会等で)、支援すべき企業を確定し、集中的に、かつ、すみやかに、資金支援や出資を国家戦略の立場から行なって欲しい。

一企業の支援は難しいと良く言われるが、いつまでも広くばら撒いていると何も成果はでてこないと思う。また、技術流出を恐れるあまり、外為法で縛るのではなく、国家方針として、支援育成し、世界に進出させるべきと思う。その折に、何を日本に残しどの技術を出すのかを企業とともに考えていく必要がある。

それなくしては、企業としては、生き残るために最も重要な技術から資金化に走らざるを得ず、特に破産寸前の当社も例外ではなく、現在、海外との資本提携、また、移転を計画中である。とにかく、新しい産業を立ち上げるのに、個人財産の全てを注ぎ込んでも足りるものではなく、国家の責任を放棄して、一個人の資産力のみで産業を興せというのは、国家として無責任である。

② 海外展開について

ロボットに関する国際標準は、まだ確立されておらず、その経験値とスピード感から考えて、国際標準作りは、ヨーロッパ諸国のほうがはるかに上を行っており、日本で実証実験をおこないつつ、海外でロボットの安全基準を作っていくというように大上段に構えるのではなく、それよりも、海外の CE マークなどを一つずつ取得していく方が、早いのではないかと考える。

あくまでも、受け入れていただける国で、実売を行い、生活の中で、安全基準を作っていくべきであろう。つまり、自動車を走らせてから、道路交通法を作りたいと思う。また、海外では、それを受け入れてくれる国家は、実在する。

(執筆担当：高本陽一)

2.2.1.12 大阪におけるネットワークロボットの実証実験

ー実現に向けた法規制の見直しと特区活用による実証試験ー

2.2.1.12.1 概要

大阪市は、総務省のユビキタス特区指定をうけている。その特区での地域活性化の試みの1つとして、商業施設等にネットワークロボット技術を導入し、一般生活者に向けた、どこでも・今だけ・あなた（たち）だけ、の情報提供サービスを実世界で実現する「ユビキタスマーケットの開発と実証」を進めている。ここでは、ユビキタスマーケットの概要とこれまでの成果を紹介し、大阪市におけるネットワークロボット技術の社会実装の現状と今後の展望について述べる。

2.2.1.12.2 はじめに

実際の街中や商業施設を歩き交う人々の位置・移動軌跡・視線などの購買につながる行動を、個人情報にできるだけ触れずに自動的に取得・蓄積・解析できれば、人々の嗜好にあった「あなた（たち）だけ」「今だけ」の情報をリコメンドすることが可能になる。これは、インターネット上の通信販売などで成果を上げている商品リコメンデーションサービスを ICT 技術によって実世界で実現すること、ひいては、これまで情報世界の中だけであった ICT 産業を実世界で実現可能にすることを意味する。このような実世界 ICT 技術による購買行動取得とリコメンデーションサービスなどを実現するためのプラットフォームを、ユビキタスマーケットプラットフォームと呼ぶ。

このプラットフォーム、およびプラットフォームを利用したサービスの開発と実証が、総務省が進めるユビキタス特区事業の一つ、総務省委託事業「ユビキタスマーケットの開発と実証」（実施機関：大阪市都市工学情報センター、ATR）として、平成 21 年度から平成 22 年度末まで実施されている。

2.2.1.12.3 ユビキタス特区

総務省は、平成 19 年度に策定した ICT 改革促進プログラム[1]、および ICT 国際競争力強化プログラム[2]において、国際的に優位にあるユビキタスネットワーク技術等を活用し、世界最先端のサービスの開発、実証実験等を促進し、日本のイニシアティブによる国際展開可能な「新たなモデル」を確立するとともに、豊かな国民生活の実現に寄与することを目的として、世界初の ICT サービスを開発・利用できる環境（ユビキタス特区）を創設する、としている。このプログラムに従い、総務省では、平成 20 年に 28 件[3,4]、の対象プロジェクトと対象地域をユビキタス特区事業として決定し、平成 20 年度から事業を開始した。さらに、平成 21 年度から 22 年度までの 2 ヶ年間で、従来の「ICT 産業の国際競争力強化」に加え、「都市の国際競争力強化」や「地域再生・産業創造」について、新たに実施すべきプロジェクトの有無について把握するため、新たに提案を募集（平成 20 年 6 月 23 日～7 月 18 日）し、寄せられた 29 件の提案の中から、大阪市を含む 3 件を第三次決定として採択（平成 21 年 3 月 11 日）した。

これらのプロジェクトの中で、大阪市は、「ユビキタスマーケットの実証」プロジェクトとして採択されている。このプロジェクトでは、商業施設において、地域活性化を目的として、

電子タグ、センサ、ネットワークロボット等を活用した顧客誘導、リコメンデーションサービス等の開発・実証を行う。このプロジェクトに対して公募が平成 21 年 4 月 30 日～5 月 22 日に行われ、財団法人大阪市都市工学情報センター（代表機関）、ATR（共同提案機関）が提案するユビキタスマーケット・コンシェルジュサービスが採択（平成 21 年 6 月 30 日）された。

2.2.1.12.4 ユビキタスマーケットの開発と実証

大阪市で実施しているユビキタスマーケットの開発と実証とはどのような事業なのか、本節にその概要と必要となる技術、サービスイメージを紹介する。

(ア) ユビキタスマーケットとは

本事業では、複数店舗からなる商業施設（商店街やショッピングセンターなど）において、ユビキタス技術やネットワークロボット技術を応用して施設内の人々の動線を検出・記録し、複数店舗間の連携消費傾向（ある店に立ち寄った人は別の店に立ち寄りやすい、あるモノを購入した人は別のモノを購入する傾向が強い、などの傾向）を取得・分析する。これら多数の顧客の行動履歴データを元に、携帯端末や店頭勧誘ロボットが連携して、次に立ち寄りやすい店舗へ顧客を誘導する手法を確立する。これにより、ネットショップで実績を上げているリコメンデーション機能等を実空間で実現することにより、複数店舗間連携による町興しや商店街活性化を目指す。

また、店舗内部では、店舗内環境センサ群で各商品に近づく客の位置や行動などの情報を取得・解析し、販売促進に役立つマーケティング情報を獲得する。これらの情報に基づいて、人気商品のタイムリーな紹介、商品の展示方法の提案、商品紹介ノウハウの蓄積、販売員の効率的配置・利便性などに改良を加えて、従来の POS システムが商品の販売情報の記録を主としている代わりに、顧客の発見・勧誘・販売促進などを新しく付け加えた新商品・顧客管理システムを実現する。

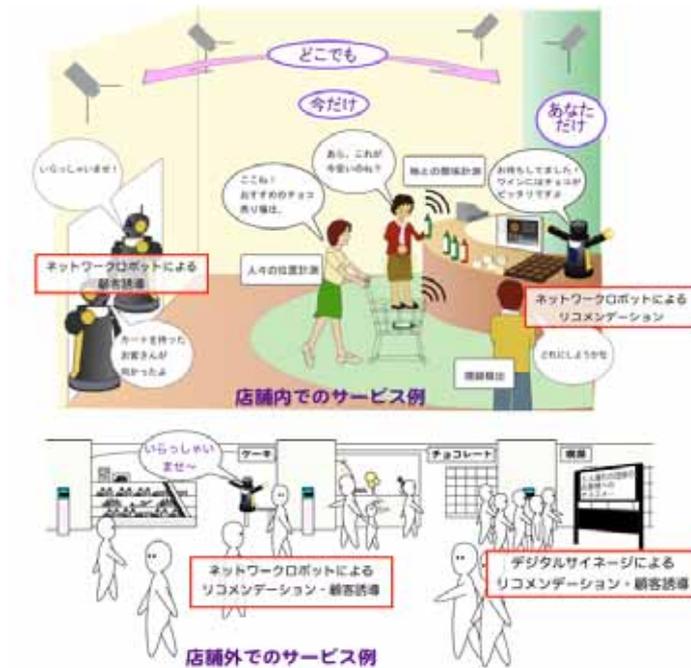


図 2.2.1.12-1 ユビキタスマーケットのサービスイメージ

(イ) ユビキタスマーケットを支える技術

① 位置計測技術

複数のレーザ距離計（レーザレンジファインダ）でセンサから人（モノ）までの距離情報を取得し、それらを組み合わせて適応型人形状モデルを利用した推定により、人の位置と向きを高精度で計測する技術[5]である。現状で、50人以上の同時計測が可能となっている。

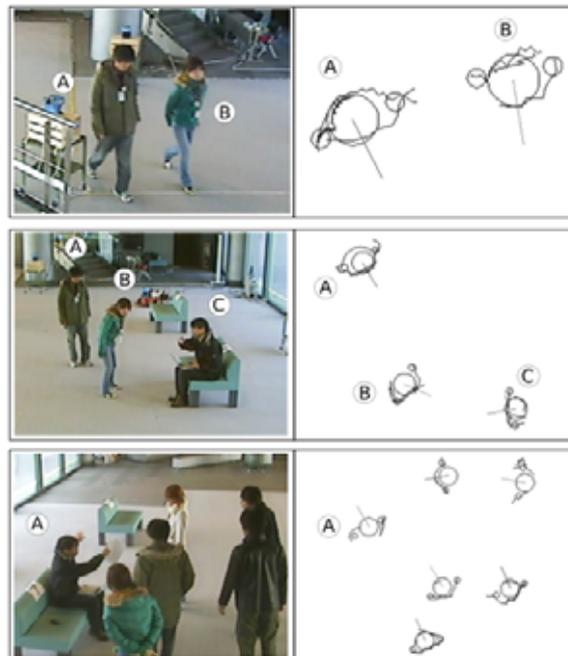


図 2.2.1.12-2 人位置計測技術

② 視線計測技術

顔特徴点抽出後に眼球モデルにフィッティングさせることにより、利用者に特殊な装置を装着させずにキャリブレーションフリーで視線計測を実現する技術である。1つのカメラで同時に4人の視線計測が可能となっている。



図 2.2.1.12-3 視線計測

③ 環境情報構造化技術

複数のセンサシステムで計測した人の位置情報を統合・蓄積し、蓄積された人の位置情報を統計的に解析し、人がどこにいるのか(位置情報)、その人がどのような場所にいるのか(場所の意味)、その人がどのような行動をしているのか(行動の意味)、を抽出する技術[6]である。これらの情報を、ロボットや携帯端末などに無線 LAN を介して提供する環境情報構造化プラットフォームを構築している。

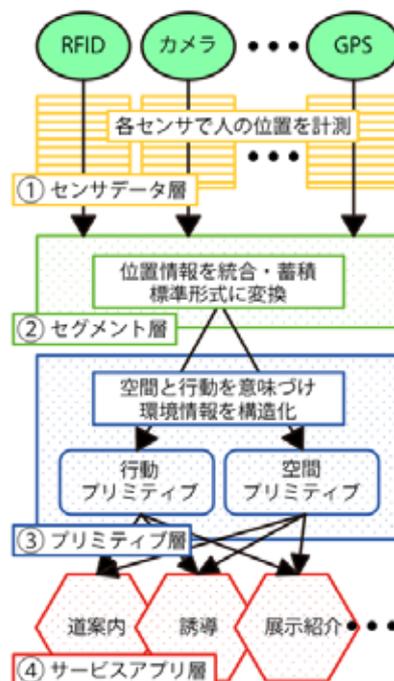


図 2.2.1.12-4 環境情報構造化プラットフォーム

④ ロボット連携技術（ネットワークロボット技術）

3 種類（アンコンシャス型・ビジブル型・バーチャル型）のロボットがネットワークを介して連携し、単体のロボットでは不可能なサービスを実現するための技術[7]である。本技術は多くの要素技術を含んでいるため、詳細は文献[7]などを参照してほしい。

(ウ) サービスイメージ

① 店舗・商品等コンサルティングサービス

店舗内にセンサ環境を一定期間設置し、顧客の位置・行動・視線などの購買行動を取得・蓄積し、従来 POS システムが対象としてきた購買時点情報よりも前の顧客行動を解析することで、商品や店員の配置、顧客の店舗内での動線の構築、タイムサービスなどに関するコンサルティングを実施する。

② 店舗内外での顧客誘導サービス

店舗内外で顧客の購買行動を取得・蓄積・解析し、店舗内では商品の場所などを、店舗外では店舗の場所や施設内設備の場所を、ネットワークロボット技術により、ロボットや携帯端末などの情報提供デバイスがわかりやすく案内する。

③ 店舗内外でのリコメンデーションサービス

店舗内では顧客の位置・行動・視線など、店舗外では顧客の位置・行動などを購買行動としてセンサで取得・蓄積・解析し、顧客に対して適正な情報（あなた（たち）だけ、今だけの情報）を提供する。例えば、商品の詳細情報や付加価値情報を提供することにより、顧客の購買行動を促進する。

(エ) 実験場所（大阪南港 ATC）

現在、大阪南港 ATC（アジア太平洋トレードセンター株式会社、大阪ベイエリア（大阪市住之江区）に位置するショッピングモール）内での実験を実施している。大阪南港 ATC は、大阪で有数の集客力を持つ複合施設であり、建物は ITM 棟と O's（オズ）棟で構成され、ITM 棟には IT 関連・海外企業等のオフィスを中心に、家具・インテリア、住宅機器や健康・環境をテーマにした施設やショールーム、アウトレットモール等が並ぶ。一方、O's（オズ）棟は、レストラン、ショップ、アミューズメントなど多彩な店舗で賑わい、ATC ホールでは各種イベントが開催されている。来館者は、カップル、ニューファミリーを中心に年間 800 万人超となっている。

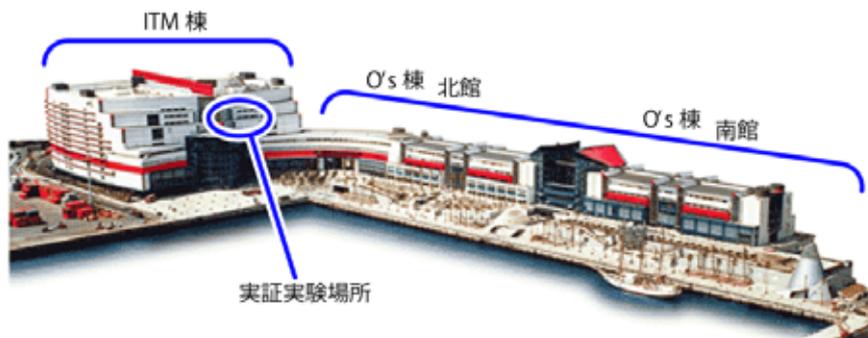


図 2.2.1.12-5 ユビキタスマーケットの実証実験場所
アジア太平洋トレードセンター (ATC)

(オ) 実験結果概要

現在この事業では、実証実験場所にコンビニエンスストアを模擬した仮想店舗を構築し、一般生活者から被験者を公募して、購買行動の計測、解析（店舗内での連携消費傾向等）、売上げの向上、エンドユーザとなる一般生活者への受容性、これらの技術を利用してサービスを提供する ASP 事業者への受容性や事業性等についての実験を実施している。この事業は平成 22 年度現在実施中のため、実験結果詳細についてはここでは述べず、概要のみ紹介する。

購買行動は、この事業によって開発された計測および構造化の技術によって、ほぼ連続して計測できること、連携消費傾向等の解析も可能であること、またこの解析結果から得られたルールに基づく商品推薦を行うと顧客の行動が変容することも確認できた。

ニーズについては調査中であるが、エンドユーザとなる一般生活者に対しては、購買行動を計測されることに対して高い受容性があること、ASP 事業者に対しては事業性・波及効果が高いことなどが明らかになってきた。

2.2.1.12.5 おわりに（社会実装に向けて）

本節では、大阪市におけるネットワークロボットの実証実験の 1 つとして、大阪市のユビキタス特区事業である「ユビキタスマーケットの開発と実証」を紹介した。この事業では、一般生活者の購買行動計測を可能にする ICT 技術を開発し、社会への実装を目的としている。大阪市では、この取り組み以外にも ICT 技術を活用した多くの事業を推進している。

このような最新の ICT 技術を社会に実装していくためには、要素技術およびサービスの研究開発、実装のターゲットとなる地方自治体との連携、実証実験、ASP・エンドユーザのニーズ調査、実装に必要な法整備、などを段階的に実施し、さらにループとして繰り返すことが重要である。このループによって、最新の ICT 技術は、研究者、技術者だけでなく、地方自治体、ASP、エンドユーザ、それぞれに浸透させることができる。

社会実装の成功例としては、EU FP-6 のプロジェクトである DustBot[8]が挙げられる。DustBot は、都市のゴミ問題をネットワークロボット技術で改善するプロジェクトであり、地方自治体としてはイタリア・トスカーナ県にある Peccioli 市、および Valdera エリアと密に連携している。ここでは前述したループが繰り返されており、このプロジェクトの成果と

して事業化がすでになされている段階である。

本節で紹介した大阪市のユビキタス特区事業は、まさに社会実装のためのループを回そうとしている段階である。今後、継続的に地方自治体と連携し、研究開発・ニーズ調査・法整備をループさせ、真の社会実装を目指していく予定である。

参考文献

- [1]総務省：ICT 改革促進プログラム, http://www.soumu.go.jp/pdf/070420_1.pdf, 2007.
- [2]総務省：ICT 国際競争力強化プログラム,
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2007/pdf/070522_3_1.pdf, 2007.
- [3] 総務省：「ユビキタス特区」の創設について, 総務省報道発表（平成 20 年 1 月 25 日）,
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2008/080125_5.html, 2008.
- [4] 総務省：「ユビキタス特区」の第二次決定について, 総務省報道発表（平成 20 年 3 月 27 日）,
http://www.soumu.go.jp/menu_news/s-news/2008/080317_3.html, 2008.
- [5] Dylan F. Glas, Takahiro Miyashita, Hiroshi Ishiguro, and Norihiro Hagita : "Laser Tracking of Human Body Motion Using Adaptive Shape Modeling," in Proc. 2007 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2007), 2007.
- [6] 萩田 紀博, 宮下 敬宏, 神田 崇行, 山崎 達也 : 施設内外の人計測と環境情報構造化の研究・室内外を移動する人にサービスを提供するための環境構造化プロジェクト, 第 24 回日本ロボット学会学術講演会, 2N24, Sep. 2006.
- [7] 萩田紀博：“ネットワークロボット概論,” 電子情報通信学会誌, Vol.91, No.5, pp.346-352, 2008-05.
- [8] DustBot, Networked and Cooperating Robots for Urban Hygiene FP6-045299,
<http://www.dustbot.org>, 2006.

(執筆担当：宮下敬宏)

2.2.1.13 サービスロボット普及に向け国や自治体に期待すること

2.2.1.13.1 「ロボット特区」の更なる推進

特定自治体を「ロボット特区」とし、従来の法規制を超えたロボット運用を可能にする。

例えば、

- ・道路交通法：搭乗型ロボットや自律ロボットカーの走行を承認する
- ・労働安全衛生法：柵なしでの人とロボットとの共存を承認する
- ・食品衛生法：無人ロボット店舗での食品販売を承認する
- ・薬事法：手術ロボット等による先端医療を積極的に導入する
- ・電波法：ロボット用無線局、高周波の非接触給電装置等の設置申請を簡素化

など。ロボット導入によるメリットが一般に認知されれば、当該自治体への転入者の増加が期待でき、地域の活性化にもつながる。さらに導入自治体が増えることにより、ロボット特区が一般的となる状態を作り出していく。

2.2.1.13.2 ロボット導入業者を支援するプロジェクト

サービスロボットの技術開発する側を支援するのではなく、導入運用する側を支援するプロジェクトの発足。サービス業者に対してロボット導入運用についてのアイデアを募り、優れたビジネスモデルの提案をしたサービス業者にロボット導入資金を支援する。一定期間運用した後、サービスロボットビジネスの実現度を評価し、解決すべき課題について検証する。

2.2.1.13.3 自治体によるロボット導入

県・市町村の自治体みずからがロボット導入の先駆者となる。庁舎内に受付案内などのサービスロボットを設置、住民サービスの自動化・効率化を推進する。

2.2.1.14 スマートコミュニティ／ヘルスケア

2.2.1.14.1 序論

住宅のロボット化はすでに始まっている。

今和次郎（1888～1973、建築学、生活学、風俗学）は生活学の中で、生活は、生理的生活、義務的生活、生産的生活、余暇的生活に分類され、それを循環し繰り返すという、生活の循環の考え方を提唱している。

伝統的な日本の住まい方では、住宅内で子育てや介護はもちろん、仕事や余暇も内包していた。ところが、戦後の高度成長期以降の都市への人口流入により、核家族化が進展し、都市生活型住宅が郊外ニュータウンに大量に建設された。すると、個々の住宅での生活は単調な基本的循環となり、生活は社会との関係の中で合理化と外部化が進行していくことになった。

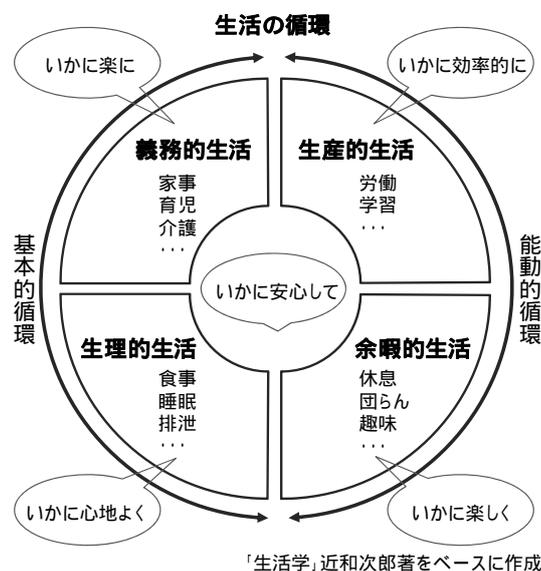


図 2.2.1.14-1 生活の循環の考え方

技術革新による住宅の高性能・高機能化により、伝統的な住宅の中で生活規範として繰り返された循環は、家族生活の変化や個人の豊かさなどを背景に、あらゆる場面で安心や効率、楽しさを追求し、利便性の高い道具や社会サービス、WEBの活用による新たな社会システムの導入が進み、住宅に求められる役割も変容してきた。

例えば、近代生活を支えた三種の神器や住宅建材などには既にコンピュータやアクチュエータが加わり、自分で部屋中を走り回る掃除機や、洗濯物の内容を感じて洗濯・乾燥をこなす洗濯機、実際のプレーと同じ行動を検知して家にいながらスポーツを楽しめるゲーム機など、生活の場面にロボット技術（RT）が入り込んでいる。このような、生活者との関係において自律的に働く機器・設備は既に RT であり、これらの技術がセットアップされた住宅は RT 化に向かっている。さらには、不審者を感じ、通報するだけでなく警備員が駆けつける社会サービスも一般化しており、住宅 RT と外部サービスの連携が、今後の生活の循環を支える機能となり始めている。

2.2.1.14.2 住宅RT化の予兆

「住」を取り巻く社会環境の変化を俯瞰すると、人口構成の大きな変化に伴って、標準世帯と言われた戦後核家族が主たる家族タイプでなく、高齢者、単身世帯が主流となりつつある状況が、今後の住宅を考える上で大きい。住宅業界では、夫婦+子ども 2人、専業主婦という家族を想定した住宅(3LDK、4LDK)の供給をビジネスの中心にしてきたが、今後多様な生活者を見据えて、住宅技術開発や社会サービスを展開する必要が出てきた。

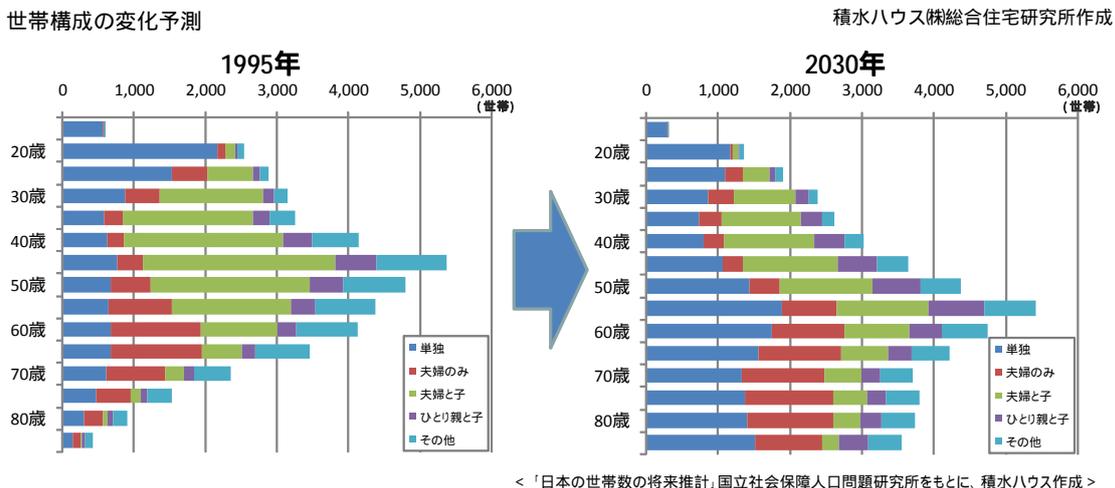


図 2.2.1.14-2 世帯構成の変化予測

ここから考える予兆としてまず、個々の長寿な生活者の自立生活を前提とした「生涯を通じた健康」需要の拡大がある。健康に対する価値観は、病気を治すことから病気にならない予防や未病ケアへと変化している。これに伴い、健康の基準が社会化されて、ダイエットや禁煙は当たり前になってきた。シックハウスや食材のトレーサビリティなどの情報も増え、健康は医者に支えられるのではなく、人生の大半を過ごす住まいで自己管理することがますます重要になる方向にある。

また、地球環境問題の拡大も、生活者にとっては健康な暮らしの問題として捉えられている。健康と環境を考えた LOHAS 運動など、生活者一人ひとりが環境を身近に考え、ミクロな環境を取り込み、自身の健康と地球環境に対して目に見える負荷を低減する「身近な環境との共生」を重視した暮らし方である。

「生涯を通じて健康を予防し、身近な環境と共生しながら暮らす」ことに対する「住」技術、「住」サービスが、今後の「住」ビジネスの基軸になるものと考えられる。

個々の生活者に対する健康管理やミクロな環境の調整は、非常に個別性が高い。従って、住まい手とのインタラクティブな情報のやりとりやセンシングによって機能するインターフェース技術が重要になると考える。今後、インターフェース機能の整った住環境（住宅を含む生活環境）を構築していくことが、「住」ビジネスに求められる。

2.2.1.14.3 インターフェース技術を支える住宅RT

住まい手の関心が大きな意味での「健康」に向いていることを認識した上で、ロボット技術をインフラとした住技術、住サービスの重要性を確認したい。

◇健康スマートライフ RT

住宅が受け持つべき健康管理の最大の対象は高齢者である。高齢化の加速と医療、介護サービスの不均等化が顕在化している現在、日常を自宅で暮らすことの多い高齢者の健康を在宅で管理することの重要性は、不安を抱える高齢者はもちろん、適切な受け入れが課題となっている医療側からも、喫緊の課題として浮かび上がっている。

しかし、健康管理は医療器具類のみでは解決しない。体調変化から不安になり、大病院に駆け込む高齢者が多く、地域医療に支障をきたしていることが指摘されているが、計測するだけでは、かえって不安を助長してしまう可能性が高い。

在宅で、日常生活の中で可能な限りリアルタイムに見守ることと、未病段階において、健康に関する適切なアドバイスを行なうことが望ましい。そこで日常の見守りをインターフェース機能を備えた RT が行なうことが考えられる。ただし、実際の医師が関与し、判断や診療を行なう社会サービスが伴っていることが前提となる。

この健康管理 RT は、バイタルデータを取得・管理し、医師と同様のアルゴリズムに基づいて判断し、必要なアドバイスの発信や見守り医師による問診を行なうもので、住宅内にはバイタルデータの取得と RT 及び医師とのインターフェース機能を設置、データを蓄積・分析し最適な健康アドバイスを送る頭脳と、医師と生活者を繋ぐコミュニケーション機能は WEB 上の健康プロバイダが行い、データに基づく診断や問診、医療機関の紹介などは WEB 上の見守り医師が行なうという、「RT+IT+人」で成立するシステムとなる。従って、ヒューマノイド RT ではなく、負荷なく見守られる心地よい空間そのものが RT であるべきである。そして、RT と医療との連携は重要である。日常のバイタルデータの見守りケアは、IT+RT で行なうとしても、必要な時に必要な医療が受けられなければ単なる健康計測装置である。リアルな医師が登場する RT 端末が住技術・住サービスであり、高齢者に限らず、多くの利用者に安心を提供するシステムとなる。

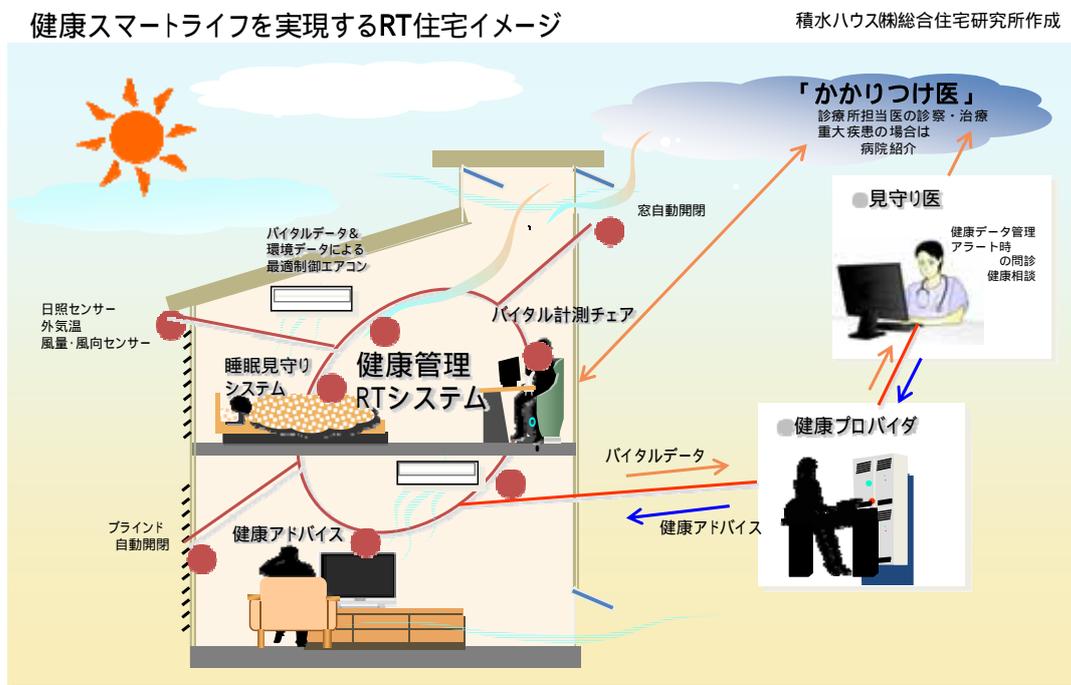


図 2.2.1.14-3 健康スマートライフを実現する RT 住宅イメージ

また、住空間内の RT 端末は、健康な環境づくりをリアルタイムでサポートすることで、健康で環境にやさしい暮らしができる住まいが実現する。

高性能な省エネ住宅では、計画的に空調している期間に性能を発揮するようにできている。確かに空調効率は高くなっているが、こまめに外気や風、日差しなど自然の力を上手く取り入れると心地よい時期、時間が多い。春先に差し込む日射や初夏の夕刻に山から下りる風、初冬の晴天時の陽だまりなど、空調に頼りがちな時期にも、それより心地よい自然がある。高性能住宅に住み始めると気づかなくても暮らせてしまうが、室内外気候データを取得する端末を備え、分析と適切な空調アドバイスや通風のサポートを行なう住宅端末とプロバイダによる IT+RT となる。住まい手とのインタラクティブな環境づくりを重ねるうちに学習し、自動的に窓の開閉や日射のコントロール、空調の運転などの環境設定が行なえるようになってくる。

◇スマートコミュニティ

住宅が長寿命になってくると、個々の住宅の耐久性よりも人が住む街としての長寿命化が大切であると考えている。住みたくない街にいくら長寿命な家があっても意味がないからである。街全体のインフラとして健康で環境にやさしい RT を導入して街の魅力を高めるものが、スマートコミュニティではないだろうか。

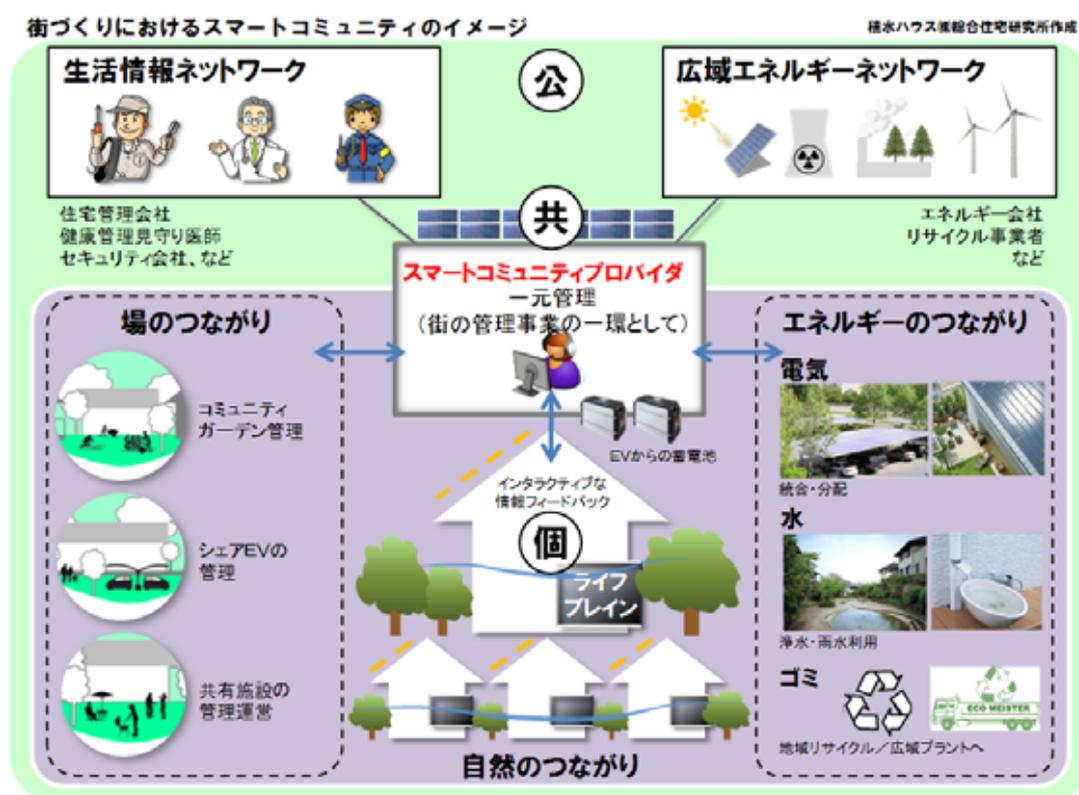


図 2.2.1.14-4 街づくりにおけるスマートコミュニティのイメージ

人口減少と成熟経済を迎えた今後のまちづくりは大規模宅地造成ではなく、再開発や用途変更、維持・再生事業となる。また、家族構成の多様化、小家族化、高齢化を前提にすると、多様な住宅の配置と、生活者相互の交流やサポートが大切になる。そして、地域や街区で相互にまとまれ

ば、各住戸で持たなくてもよさそうな生活利便機能や生活サポート機能の共有化や共同でのエネルギー利用など、より効率のいい仕組みを導入することが可能となる。既存の街であっても、空き家を利用した生活サポート施設や高齢者施設の付加、老朽化した設備を街区単位で更新してエネルギー利用を共同化するなど、街全体として生活機能を合理化、外部化することで住宅機能を補完することにより、まちの魅力を高めることができる可能性がありそうである。

各住戸の設備と共有設備の系統連携による電力生産＋消費や中水利用、カーシェアや子どもの見守りサービス導入など、共有で高まる利便性を、設備の RT 化と IT による連携、サービスを提供する人の、「RT+IT+人」によって成り立つまちのシステムである。

2.2.1.14.4 おわりに

住宅の RT 化は、設備機器や建材の RT 化を超えて、IT 及びリアルな人を繋ぐ技術へと、新たな局面を迎えようとしている。

遠隔による見守り医師や設備の系統連携など、技術的な実現可能性は見えてきたが、法的規制、保証や責任の所在、管理体制、費用負担など、ビジネスモデルとしての課題は多い。しかし、従来の住宅技術開発の延長上にある、設備としての RT に留めてしまっただけでは、生活者にとってよりよい生活への価値が見えなくなってしまう。

ロボット技術が住環境のインフラとなるためには、「住」技術と「住」サービスを兼ね備えることを可能とする社会環境の整備が急務であると考えられる。

(執筆担当：中村孝之)

2.2.1.15 「見守り医」を組み込んだ新たな医療サービスネットワークの提案とその実現へ向けての手順と問題点について

2.2.1.15.1 はじめに

本提案については、経済産業省商務情報政策局サービス産業課医療・福祉機器産業室による平成 22 年度「医療情報化促進事業」を実施する事業者に係る企画競争募集に応募し、その実現化を図ろうとしたが、残念ながら不採択となったようである。したがってその応募内容から本題に沿って抜粋して記述する。

2.2.1.15.2 「見守り医」を組み込んだ新たな医療サービスネットワークの提案

・提案の背景

国民の少子高齢化が急速に進む現在、わが国の医療保険制度は破綻の危機に直面しており医療費の抑制が国政の最重要課題のひとつとなっている。この状況に対し、高齢者の健康管理・医療を行いつつ必要に応じて地域医療機関へ患者を誘導するとともに情報を提供し支援する位置づけで、平成 20 年 4 月に後期高齢者医療制度の一部として「かかりつけ医」が制度的にスタートした。

しかしながら、「かかりつけ医」の考え方については患者側と医師側との間に隔たりがあり、現状では定着しているとは言い難い。これは、わが国における医師リソースの偏在から、家庭医に必要な知識や技術はへき地の医師に求められるのに対し、都市部での開業医は専門性を示さざるを得ず、これが大きな障害となり家庭医制度は普及しない構造となっている。また、このような構造を制度的に変更しようとしても、医学教育や医療構造全体に係る事由であるため、ただちに変更することはほぼ不可能な状況にある。

・提案の目的

この状況に鑑み、本提案では高齢者の健康管理を、新設する「見守り医」が広域ネットワークを介して実施し、必要に応じてあらかじめ設定した地域の誘導先医療機関へ患者を誘導し、健康管理情報等を提供し診療を支援するということを主目的としている。

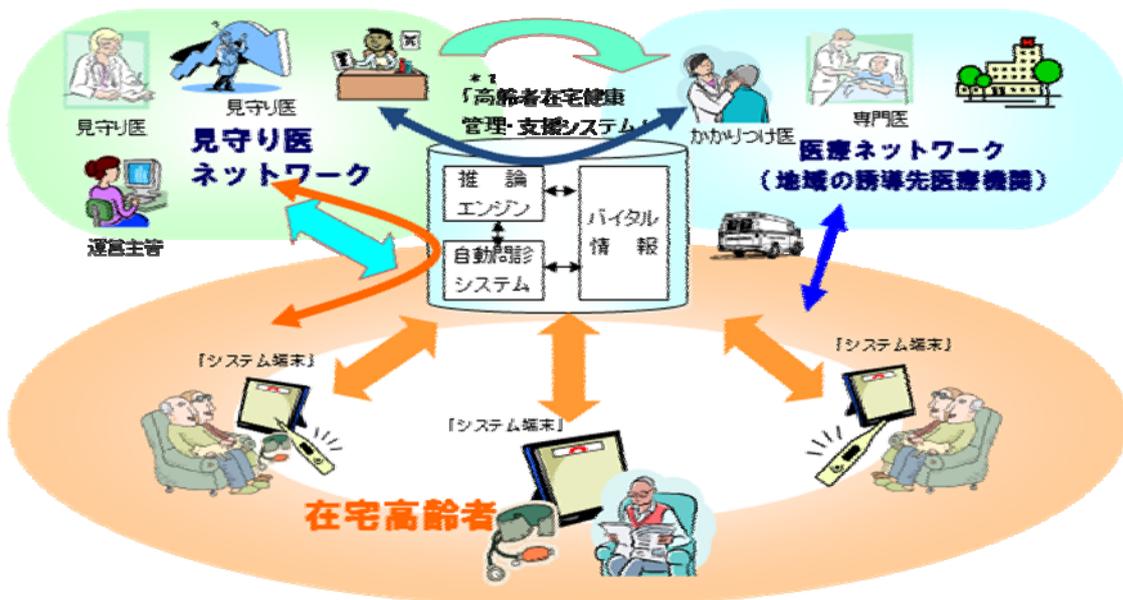
現在の医療構造の中で、医師と患者の双方に受け入れやすい方法として本提案のサービスの仕組みが確立し、全国に普及することで、従来の「かかりつけ医」を補完若しくは代替する存在として、利用者全てに状況に応じた地域医療機関への適切な誘導と医療機関への支援を実施することで「医療情報化促進事業」（どこでも MY 病院構想）を実現する。

また、医師個人としても、医療ノウハウの提供先が、地域医療サービスと広域医療サービスの双方に関与し、また不就労医師や退職後の高齢医師などの参加も得て、どこでも MY 病院構想とシームレスな地域連携医療の実現に寄与するものとする。

このように、本提案は現在の「かかりつけ医」制度を補完、代替する観点から有用性を要するという点で、国の委託事業として相応しいものとする。

・提案する事業の全体概要

本サービスは、クラウド方式のサーバに利用者、見守り医、誘導先医療機関がネットワークを介して接続する在宅高齢者向け広域健康管理・支援のビジネスモデルである。



*1:新エネルギー産業技術総合開発機構(NEDO)の「戦略的先端ロボット要素技術開発プロジェクト」研究開発委託にてプロトタイプとして「高齢者在宅遠隔健康管理・支援システム」を開発

図 2.2.1.15-1 全体概要図

・提案する事業で実施する内容

①在宅健康管理・支援サービスの利用者として、選定条件に合致する60歳以上の高齢者夫婦（初年度：90組、180名）を選出。サービス用デバイスとして「高齢者在宅健康管理・支援システム端末」を提供しご利用頂く。

「見守り医」は利用者からあらかじめ問診票により既往症や服薬情報等を取得し、利用者個人に応じたバイタルデータカットオフ値及び問診エキスパートシナリオ、健康アドバイスを設定しておく。

②利用者は、測定ガイダンスによるバイタルサインの測定と結果に基づく問診・健康アドバイスを受けながら日々の計測を行ないつつ計測履歴の参照等を行なうことで、自発的な日々の健康管理に配慮した生活習慣を身に付けるとともに、健康管理情報をクラウドサーバに蓄積する。

③計測時のデータ状況により、「見守り医」がリモート診察やあらかじめ設定した地域の誘導先医療機関へ利用者を誘導するとともに、要診療の根拠や健康アドバイス等をサマリ化しクラウドサービスにアップロードする。

利用者が誘導先医療機関を受診した際は、利用者が提示するIDとパスワード（その都度システム側で発行）により、当該患者の許可の下で必要な健康情報等を取得し、外部所見として診療録に保存することを可能とする。

・利用者は次の団体から選出

「積水ハウスネットオーナーズクラブ会員」、及び「東京衛生病院(東京)」、「下都賀郡市医師会病院(栃木)」の人間ドック受診者と慢性疾患受診者の2グループ

・事業の運営

システムのコントロールセンターは医師によって運営管理されるべきであり最終的には独立し

た NPO 法人組織とすることが望ましいが、本事業においては統括責任者の藤岡睦久（獨協医科大学名誉教授）が代表取締役を務める株式会社オフィス・エフ・エム・イーが運営にあたる。

「見守り医」を組み込んだ新たな医療サービスネットワークの提案とその実現へ向けての手順

・事業を行うための作業項目と内容

(1) 準備関連

① サービス規約の作成

- ・ サービス規約の作成、及び利用者と見守り医に対する権利と制約、事前問診の内容検討等サービス規約に準拠した契約内容、諸様式等の作成

② 利用者の確保

- ・ 利用者選出条件の作成

サービスを利用するためのパソコン、インターネット等環境面での条件、サービスの有用性を評価するための医療関連条件（かかりつけ医の有無、既往症や現在の受診状況等）の選出条件と母数の作成

- ・ 参加勧誘のためのリーフレット作成
- ・ 上記 2 つの項目に基づく利用者の選出

③ 見守り医の確保

- ・ 参加勧誘のためのリーフレット作成
- ・ 参加医師の勧誘（実験では割愛する）

(2) システム関連

① システム開発関係

- ・ 事業の実施に必要な機能要件の整理
- ・ システムの開発委託契約とシステム開発、構築、及び保守契約

② 基盤構築関係

- ・ データセンタのセキュリティ評価と契約
- ・ 医療用セキュアネットワークの構築

(3) 実証実験の実施

① サービスご利用前

- ・ 選出された利用者とのサービス利用契約
- ・ 利用者登録と事前問診票に基づく問診の実施と問診スクリプト、バイタルサインカットオフ値のリモート設定

② サービスご利用中

- ・ サービス利用状況の確認、及び必要に応じた利用者のフォロー
- ・ サービス利用アンケート（評価、意見等）の実施と分析、課題の抽出
- ・ 必要に応じリモート診療、事前登録した誘導先医療機関への受診のアドバイス
- ・ 医療機関受診時の健康管理サマリ（仮称）の作成とコンテナサーバへの格納
- ・ 医療機関誘導後の医療機関及び利用者へのアンケート（評価、意見等）の実施と分析、課題の抽出

(4) 実証実験の取り纏め

- ・ 各種アンケートの実施結果の分析と課題の整理
- ・ ビジネスモデルの評価
- ・ 次年度への評価結果、改善事項の反映と次年度実施計画の見直し

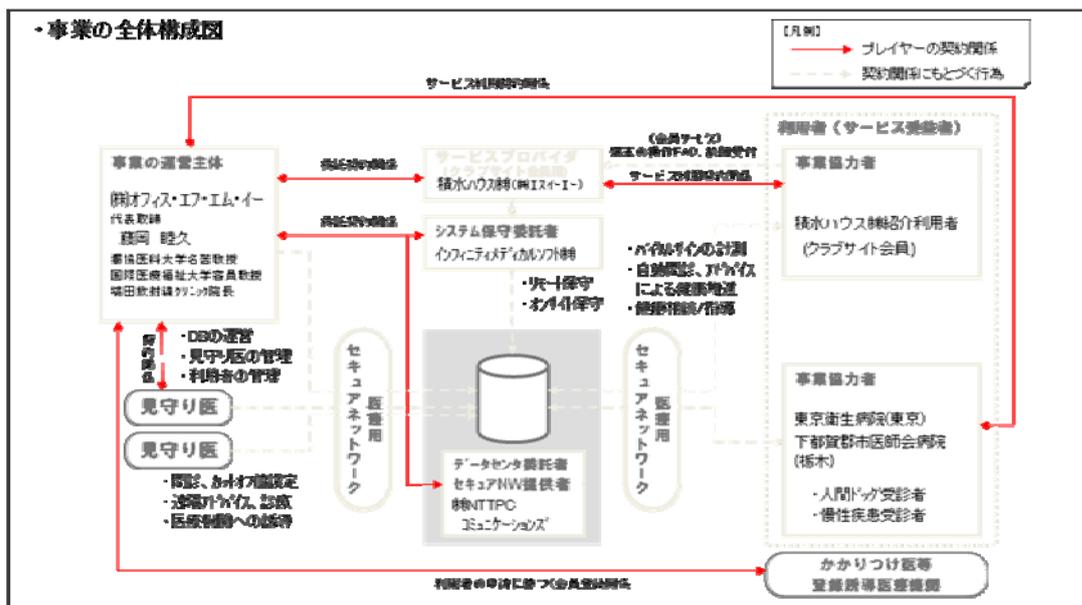


図 2.2.1.15-2 事業の全体構成図

2.2.1.15.3 「見守り医」を組み込んだ新たな医療サービスネットワーク実現へ向けての問題点について

(1) 「見守り医」が確保できるか？

当面すでにネットワーク上で遠隔画像診断を実施している放射線科読影医の協力を得て実施する所存である。

このシステムが普及するにつれ、家庭内未就労医師の参加も得られるようになり、本来のかかりつけ医である開業医の参加も得られると考えている。

(2) 「見守り医」が社会に受け入れられるか？

登録時にしっかりとした医療データを採り、状況により紹介する医療機関をあらかじめ細かに決めており、事前にその医療機関の了解を得ておくことが重要であろう。

「見守り医」は単なるネットワーク上の遠隔医師ではなく、その間にコミュニケーション RT を用いたインターフェースが存在することが重要であり、かつ個人の医療データが集積され利用されることが十分に理解されれば、社会に容易に受け入れられるものとする。

また医療機関や医師会については、このシステムが従来のシステムに競合するものではなく、支援するものであることが理解されれば十分に受け入れられるものとする。

行政にとっては広域システムであることから、地域行政との関係が難しい面も出てくると考えられるが、当面健康保険適用外とすることで、地域行政における混乱は回避できると考える。

(3) ビジネスとして成立するか？

初期投資の段階ですぐにビジネスとして成立させるのは困難な状況もある。

一つは現在人間ドックなどの健康診断に国民の興味が非常に高く、人間ドックのサービスの一部として、人間ドックを実施している医療機関と提携して、実施することにより、ビジネスとなりうる方向性がある。

もう一つは、現在進行している住宅メーカーとの連携によるビジネスである。次委託の一部であるインフィルとしてコミュニケーションRTを用いたインターフェースを販売すると同時に、「見守り医」を含めた情報システムと連携することである。

その全段階としては現在住宅メーカーの持っている顧客に対するネットワークサービス事業との連携がその入り口となると考えている。

しかしながら、ある程度の公的支援を得ないとビジネスとして成り立たせるにはかなりの数を確保する必要があると考える。

(4) 法的問題はクリアできるか？

法的な問題は遠隔医療に関する医師法、医療機器販売に関する薬事法および患者の医療データに関する個人情報保護法が問題となる可能性があると考えている。

しかしながら遠隔医療に対する規制は緩和される方向にあり、直接の医療行為を伴わない、本システムにおいては、各種バイタルデータのカットオフ値設定において対面診察を行っていれば、特に問題はないと考えている。

薬事法については、今回使用している機器は全て薬事法で認証された市販の機器を持ちており、特に問題はないと考えている。

個人情報保護法については、これからの問題であるが、通常患者データを扱うセキュリティーの範囲で十分にクリア可能と考えている。

2.2.1.15.4 まとめ

ここで提案する「見守り医」制度は、現状の我が国の医療体制を支援補完するものであり、十分に機能すれば、日本全国で比較的均一の医療サービスを受けられる可能性が増してくる。またこのネットワークが完成すると、将来家庭内に導入されるであろう、種々の介護ロボットなどの医療関連ロボットの監視システムとして機能させることも可能となろう。

このシステムについては、小規模でもまずスタートさせることが重要であり、その点で公的支援が必要と考える。

ひとたびスタートすれば自己増殖的に広がって行くものとする。

(執筆担当：藤岡睦久)

2.2.1.16 近距離移動体セグウェイによる新事業開拓

2.2.1.16.1 はじめに

今日のセグウェイジャパン株式会社が受け継いでいる DNA は、1982 年の Silicon Graphics、Inc. 設立にまで遡る。Silicon Graphics、Inc のコンピュータは、創業者ジムクラークが考案した高速な 3D CG を実現するジオメトリエンジンを搭載した CG 専用マシンであった。その後の 10 年で CG が普及し、それにともない、Silicon Graphics、Inc. は、CG 業界でトップ企業となった。ところが、この栄華も長くは続かず、やがてコア・コンピタンスであるはずのジオメトリエンジンを OpenGL としてオープン化し、膨らむ研究開発費を稼ぐためクロスライセンスで OpenGL に関する特許を売りはじめた。その結果、Silicon Graphics、Inc. の先進技術は、やがて PC の急速な進化に吸収される形で、技術が PC に移り変わっていった。

セグウェイジャパン株式会社の母体となった日本シリコングラフィックス株式会社は 1987 年に設立された。この会社が、日本 SGI 株式会社に変更した 1999 年頃からロボット事業にも着手した。図 2.2.1.14-1 にセグウェイジャパン株式会社創立までの取り組みを示す。

ロボット事業は、まず、ロボカップのスポンサーを務めることから着手した。ロボット事業は、自動車産業と同様に、インフラと法律が整備されるまでは、富裕層をターゲットにしたビジネスモデルとなる。そこで、当時は、日本 SGI 株式会社のロボット製品を、ステーブジョップスや、モナコの不動産王や、アラブの石油王にプレゼンしに行くということをし、真剣に議論した。デザイナーや欧州系ハイブランドとのコラボレーションが功を奏した Posy というロボットは、日本 SGI 株式会社の Corporate Identity キャラクターとして活躍し、一日当たりにしてスーパーモデル並みのギャラを稼ぎ出すほどの売れっ子になった。Posy の事業は、日本のロボット技術で世界の尊敬を集め、さらに利益を上げるビジネスモデルを検証した例と言える。

2004 年から、人間の声から感情を認識する技術を開発した。この技術を au コールセンタに適用して、ユーザストレスの測定に用いる実験を行い、技術の実用性を検証した。このような、ロボットにも役立つインターフェース技術にフォーカスをあてた製品分野では、コールセンタのようなサービスにおけるヒューマンインターフェースの部分を技術で置き換えて、それにデザイナーの協力を得て洗練させることで製品価値が出てくるようだ。モビリティ分野でも人間の移動に対する要求を、技術で少しだけエンハンスしてあげるとニーズが生まれてくるのが分かってきた。

セグウェイの特徴

<ol style="list-style-type: none"> 1. 電気動力であること <ul style="list-style-type: none"> ・ 走行中にガスを排出せず環境負荷が低い ・ 1回の充電(10~20円)で約40km走行 2. デザインの先進性 <ul style="list-style-type: none"> ・ 直感的な操作で誰でも簡単に操作できる ・ 周囲とのコミュニケーションが円滑 ・ 他の乗り物との「速度域」の違い 3. 機動性 <ul style="list-style-type: none"> ・ 走行・停止に優れ、回転半径ゼロ ・ 歩行者の中でも安全に運用可能 4. Fun... <ul style="list-style-type: none"> ・ 移動する喜びを得られる 	 <p>【スペック】 (12基本モデル) 最高速度: 約20km/h 重量: 47.7kg 走行距離: 約35km 乗員: 一人乗り バッテリ: リチウムイオン 充電時間: 8~10時間 積載量: 45kg~118kg (搭乗者含む)</p> <p>【価格】 12基本モデル 935,000円(税抜き)</p>		
<p>セグウェイ導入で 得られる主な 効果とキーワード</p>	<p>環境</p>	<p>従業員のモラル 士気向上</p>	<p>土地や施設への ロイヤリティ形成</p>
<p>安心安全</p>	<p>話題性</p>	<p>楽しさ</p>	

図 2.2.1.16-2 セグウェイの特徴

2.2.1.16.3 セグウェイに対する社会的要請

アメリカでは、45州/50州が Segway を EPAMD (Electric Personal Assistive Mobility Device) に分類して公道走行(主に歩道と自転車道)を認可している。欧州でも、12国/27国が Segway を PT (Personal Transporter) として認可している。欧州では、英国が一番保守的である。日本も同様である。EU 向けの安全認証については、2.4GHz ZigBee などモジュール単位で CE 認証を受けているが、Segway 全体としての認証は不要である。例えば、空港に持ち込む機材は、それこそ CA の制服の生地素材に至るまで厳しい規制があるが、このような場所でも Segway の安全性が認知されてパトロールに使われている。実は、成田空港や関西空港でも、パトロールに使われている。図 2.2.1.16-3 に米国及びヨーロッパでの公道走行認可状況を示す。世界で 7 万台が稼働している。人身事故の報告はほとんどない。総出荷台数の 3~4 割が警備に使われ、2~3 割がツアーに使われ、残りが個人で所有されている。

警備業務に対する社会的要請は、警備員のモラルを向上させることである。アメリカの警察がセグウェイを採用する主な理由は、パトロール警官のモチベーションが極めて上がるという現場の事実に基づいている。シカゴ警察は 150 台導入している。ニューヨーク市内でセグウェイに乗りパトロールする警官は、さしずめ現代の騎馬警官といったところである。パトカーでパトロールしていた時よりも、話易く話かけられ易い。

米国及びヨーロッパでの公道認可状況



- ・ 米国全50州の内、45州がEPAMDを認可
- ・ ヨーロッパ主要国では、イギリスを除く殆どの国が歩道もしくは自転車道での運用を認可 *ドイツが昨年度、オランダは今年度から主に警察の利用レンタルシステムの検討も盛ん中東でもドバイ、アブダビが積極的

図 2.2.1.16-3 米国及びヨーロッパでの公道走行認可状況

ダウンタウンをセグウェイでパトロールするようになってからパトロールの回数が増え、声をかける回数とかけられる回数が増えたことで軽犯罪が減り、9.11 テロ以降上がっていた警官の離職率を下げた。ヨーロッパでも同じようなことが起きた。セグウェイが警備では圧倒的なコストパフォーマンスを出すことが世界的に認められている。アメリカでは、セグウェイの公道走行を許可する法律を条文化する以前から警察が活用した。欧米では、一般に法律で禁止されていないことは、やってもよいと解釈される。法律で許可されていないことを、やってはいけないと解釈する日本と異なる。欧米のこのような法解釈の自由に歯止めをかけるのは、宗教的な良心だと言われている。すなわち、ここまでなら神に許されるという良心である。この良心に反する行為があったと認識された場合には、メーカーだけでなくユーザであろうと罪を問われる文化がある。

ツアーでもセグウェイツアーは潰れない。世界で約 600 サイトある。一度セグウェイに乗ると虜になる。乗り慣れている人でも初心者でも楽しめる。その土地の事を知ろうとしたときに、車だとスピードが速すぎて様々なことを見落としてしまう。セグウェイなら体の一部になり乗っていることを忘れ、その場所を好きになる確率が高い。図 2.2.1.16-4 にセグウェイの利用シーンを示す。

主な活用用途

業務用途

倉庫/工場



島根あさひ社会復帰促進センター
2008北海道酒類博覧会
AEON LakeTown

セキュリティ



パソコ横浜
国営ひたち海浜公園
案内

レジャー用途

セグウェイツアー



十勝千年の森
ハウステンボス centrain

イベント



SAVO STAR RESORT
TPS
ゴルフ

図 2.2.1.16-4 セグウェイの利用シーン

横浜でのパーソナル・モビリティの可能性 (「点」から「線」、「線」から「面」の展開へ)



現状、各エリアへの来訪者が他のエリアに移動する確率は低いと考えます。

原因は駐車スペースの量もしくは情報が不足していることと、「他のエリアに移動するための手段」「移動に使う情報」をもたない人が多いことが予想されます。

セグウェイをはじめとした魅力ある移動手段とガイドの存在が、これらの問題解決には不可欠なツールとして特に欧州で見直されています。

楽しさ 魅力ある移動	コミュニケーション	環境への配慮
新しい ライフスタイル提案	土地や施設への ロイヤリティ形成	パワーユーザー 獲得

自家用車、バス、鉄道などの他の交通手段の終端にマルチモーダルステーションを構築。セグウェイ、自転車、ペロタクシとの連携で魅力ある移動手段の構築を目指す。

更に、ガイド育成をすることにより横浜ブランドへのパワーユーザーの育成を継続的に行う必要。

図 2.2.1.16-5 半径 2km 圏内に入る都市機能

2.2.1.16.4 今後の事業展開

一方、個人で所有するには高すぎる為、シェアリングビジネスに期待がかかる。例えば、図 2.2.1.16-5 に示す様に、都市で半径 2km の円を書くと、この中に、観光、政治、ビジネス等のほとんどの都市機能が入ってくる。しかし、車でここを走ると、渋滞に巻き込まれて、快適な移動ができない。そこで、トラム（市街電車）、レンタル自転車、レンタルセグウェイ、二人乗りの EV 等を織り交ぜたモビリティサービスを充実させたほうが良いという議論が、世界各国で起きている。

つまり、路車間通信や、車両間通信などの ICT（Information Communication Technology）技術を充実させ、ITS（Intelligent Transport Systems）の信頼性を向上して、事故リスクを低減し、クラッシュブルゾーンを簡素化して、車体を軽量小型化し、エネルギー効率を向上して、駐車スペースも小さいモビリティを開発して、その専用道を敷き、街でシェアするサービスモデルを構築することが今後の展開である。

このようなサービスモデルにおける安全性は、機器単体の安全設計だけでなく、サービスシステム全体を配慮する必要がある。セグウェイジャパンは、公認のインストラクター制度を設け、サービスを行う法人向けビジネスを重視している。すなわちサービスを提供する側を啓蒙・監督して、安全な運用を徹底させることが、個人のモラルに頼るよりも事故リスクを低減する効果が高いと考えている。

日本でモビリティを議論すると、たいてい効率重視の議論になる。すなわち、「速く」、「安く」、「遠くへ」である。しかしながら、セグウェイはパトロールの例を見ても効率だけでは語れない部分がある。日本の法制度がセグウェイを許容できた時、半径 2km の都市圏内の移動を楽しむというスタイル（ニーズ）が生まれる。この新しいスタイルが生まれた現場に立つ時に初めて、「こういうスペックが欲しい」、「こういう安全性が欲しい」、「こういうルールが必要だ」ということが見えてくる。

安全面でいうとセグウェイでは自動二輪相当の保険（任意）も用意しており、1500 台のマーケットに対して 1200 人のインストラクターをつける。その結果、事故が無く保険が使われない。

特区等での実証実験を通じて、近距離の移動を楽しむというスタイル形成を先行し、さらに適切な法制度作りを行うことが望まれる。

2.2.2 社会実装の社会基盤

2.2.2.1 ロボット社会のデザイン

2.2.2.1.1 ロボット・RTを実用化するためには社会デザインから考えることが必要

現在、産業用ロボットの全世界の稼働台数は100万台を超えており、その3分の1がわが国で稼働している。1960年代に米国で登場し、その後のわが国の高度経済成長にあわせて、自動車や電気電子分野を中心に利用を拡大してきた。それに対して、サービスロボットや生活支援ロボットと呼ばれる、人の生活の場で活用することを想定したロボットは、愛・地球博前後の盛り上がりにも関わらず利用は拡大せず、未だ黎明期にある。

こうしたロボットあるいはその要素技術であるRTの実用化に向けた活動は、これまで、シーズ発想のものや、特定の尖ったニーズに基づくものが多かった。前者はニーズと合致せず、後者は個別細分化されたニーズには合致するものの、市場創出は限定的であり、新しい社会やビジネスの姿を描くほどのものには成り難い。

そもそも、ロボット・RTの定義は曖昧である。代表的なものに「ロボットとは、センサ、知能・制御系、駆動系の3つの技術要素を有する、知能化した機械システム」というロボット産業政策研究会¹の定義がある。これを分解したものをRTとすれば、現在話題を集めているようなスマートグリッド・スマートハウスも、高度化する携帯電話や家電製品も、デジタル化が進む自動車も、全てRTの範疇ということもできる。この曖昧さ、関連分野の広大さから、ロボット・RTをその定義や技術から論じてしまうと、議論が発散し、各組織・個人によって考えていることがバラバラとなってしまいう側面がある。

わが国にとって重要なことは、何がロボット・RTか、ということではなく、少子高齢化をはじめとする社会環境の中で、先端技術を活用したどのような明るい未来が描けるか、であろう。このため、社会全体のあるべき姿を描いた上で、その実現のための全体システムの一要素としてロボット・RTを位置づけるという、ロボット社会のデザインの重要性が認識されるに至っている。

2.2.2.1.2 社会デザインの目的は、次の社会システムの実現に向けて皆でビジョンを共有すること

社会デザインの目的は、目指すべき社会の姿と、そこに至るためのステップを、皆で共有することにある。言うまでもなく、社会は多様なステークホルダから成り立っている。ある断面、たとえば自動車社会のあり方1つ取ってみても、自動車業界、石油業界、自治体、利用者、歩行者、商店街、商業施設、警察など、ステークホルダを挙げればきりが無い。このような多様なステークホルダの関係が、現在の社会システムにおいては、何らかの安定状態にある。そのため、現在のままでは将来的には立ち行かないことが分かっていたとしても、こうした安定状態から次の社会を目指すには、大きなパワーと結束力が要するため、中々議論が進まない側面がある。また、次の社会システムに意向するための投資コストは大きなものであり、それをステークホルダ間でどのように分担するかも、大きな問題となる。これらを克服し、次の局所最適な社会システムへと向かうために必要なものが、ビジョンの共有、すなわち社会デザインと捉えられる。

よって、ロボットの社会デザインを考える場合にも、それがロボット関係者のみに理解・共有されるようなものでは、こうした効力を発揮できず、絵に描いた餅となってしまうことが危惧さ

¹ ロボット産業政策研究会報告書（2009年3月25日）

れる。ロボット関係者以外も含めた議論とし、どのような社会を目指し、そこでロボットはどうか活用できるのか、専門家でなくとも理解できるシンプルさとともに示していくことが重要である。

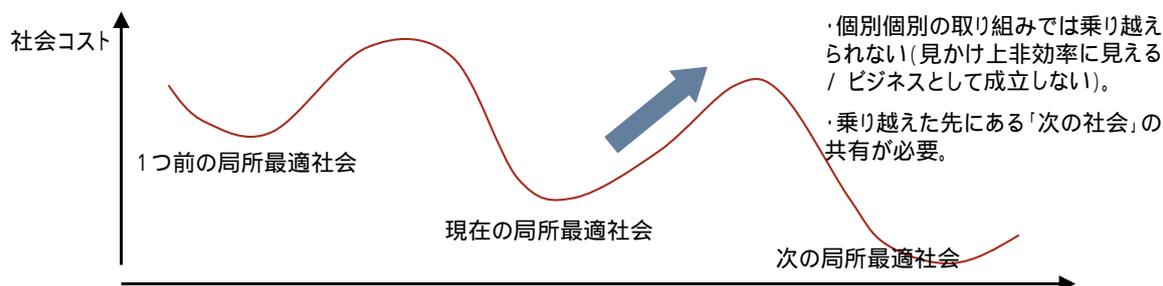


図 2.2.2.1-1 将来ビジョン共有のための社会デザインの必要性

2.2.2.1.3 課題先進国であるわが国にとって、目指すべき次の社会の姿を描くことが急務

社会デザインの重要性があらためて認識されているのは、ロボット分野に限った話ではない。わが国は、いわゆる「日本株式会社」と呼ばれる、官僚制、終身雇用、銀行を中心とする株式の持ち合い、財閥に変わる企業グループであるケイレツ、といった要素により構成された、製造業により外貨を稼ぐことに最適化された社会システムにより、高度経済成長を遂げた。しかしながら、新興国が経済成長する中で、国内の少子高齢化、国内需要の不足とデフレ、環境問題の深刻化や資源需給の逼迫といった各種の要因により、わが国の社会システムは競争力を失いつつある。過去の成功体験を引きずらず、次の 10 年、20 年を明るくもつとできる社会システムの姿を描くことが急務と言える。

こうした背景のもと、株式会社三菱総合研究所は「プラチナ社会研究会」を発足した²。「プラチナ社会」とは、現在のわが国の 3 つの課題（温暖化問題、高齢化問題、需要不足とデフレ問題）を世界に先駆けて解決し、人間を起点としたより快適な社会モデルである。「プラチナ社会研究会」では、これらの 3 つの課題を解決するために、温暖化問題と高齢化問題をわが国の優れた技術、サービス、制度を組み合わせることで解決し、その過程で新産業と雇用の創出を目指している。2010 年 12 月 28 日現在、参加会員は 231 組織（企業参加会員 129 組織、自治体参加会員 65 組織、その他賛助会員 37 組織）に達しており、いくつかの分科会に分かれて、次の社会のあり方を検討している。

2.2.2.1.4 少子高齢化を克服する社会システムは、海外でも今後必要性が高まり、わが国の次の産業となる

少子高齢化は、多くの先進国が共通して抱える課題であり、一人っ子政策により人口ピラミッドが歪んだ中国においても、そう遠くない将来、深刻化することが予想される。また、環境問題については、既に世界共通の課題となっている。こうした中で、わが国が他国に先んじて少子高齢化・環境問題双方を克服できる社会システムを実現できた場合、これまで日本型のものづくりがそうであったように、海外への展開が大いに期待される。

低炭素・省エネ社会に関しては、現在、スマートグリッドやスマートコミュニティに関する取

² プラチナ社会研究会 <http://platinum.mri.co.jp/>

り組みが各国で行われている。これらも、外需中心の産業構造であるわが国や韓国においては、自国の電力ネットワークの高度化のみならず、海外へのシステム展開が意識された取り組みとなっている。わが国では経済産業省がスマートコミュニティの実証実験を4地域で進めており、韓国では済州島においてスマートグリッドの実証実験が取り組まれている。

また、スウェーデンは、バイオマスなどの環境ソリューションを活用した持続可能な都市を”SymbioCity”としてブランド化・パッケージ化し、その海外展開を、国を挙げて進めている³。2009年3月には、中国の河北省唐山市において、SymbioCityのモデルの1つであるHammarby modelによる環境共生都市が完成した。SymbioCityの特徴は、税制や都市設計を含めた全体システムの中で環境ソリューションを活用することで、本来割高なバイオマスを、足かせではなく経済成長・雇用拡大に結び付けていることである⁴。

プラチナ社会研究会における取り組みの1つに、超高齢化社会における持続可能な街づくりを提案する「プラチナシティ」がある⁵。住み替え支援などにより人口構成を一定範囲に保つこと、マイカー乗り入れ制限などにより歩いて暮らせる街を形成すること、世代を超えた近居・同居により相互扶助のコミュニティを形成することなどにより、高齢者にも環境にも優しい街づくりを描いている。

こうした次の社会システム検討の動きは、今後も活発化していくことが見込まれる。その中で、わが国が強みとするロボット・RTがどう貢献していけるか考え、こうした検討の場に提案したり、ロボット・RT関係者が検討の場をコーディネートしたりすることが重要と思われる。

³ SymbioCity<http://www.symbiocity.org/>

⁴ 株式会社三菱総合研究所 Thinking Today 「産業のシステム化(8)：街づくりを公共事業から産業へ」 http://www.mri.co.jp/NEWS/column/thinking/2010/2020261_1805.html

⁵ 株式会社三菱総合研究所 Thinking Today 「プラチナシティ ー超高齢社会の持続可能な街に再生する」 http://www.mri.co.jp/NEWS/column/thinking/2010/2024511_1805.html

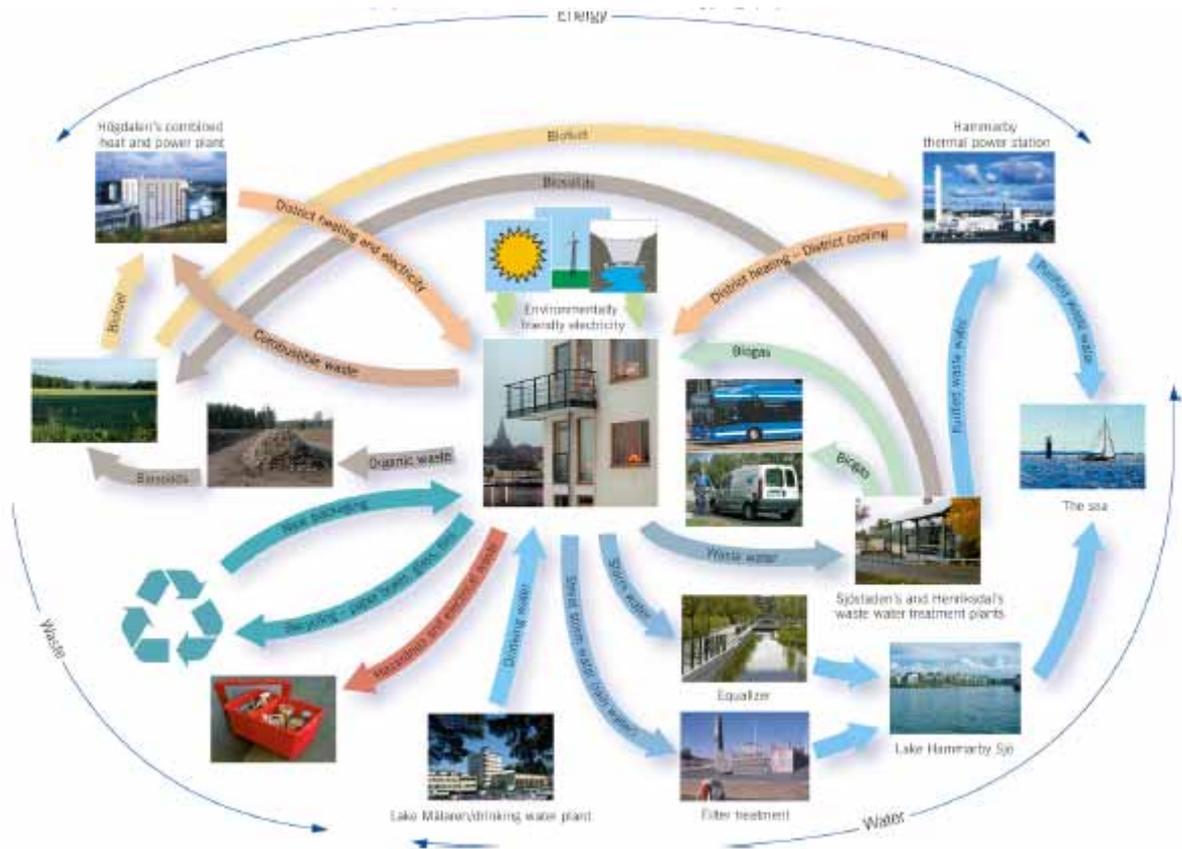


図 2.2.2.1-2 スウェーデン”SymbioCity”の1つである”Hammarby model”

出所： <http://www.hammarbysjostad.se/>

2.2.2.1.5 ロボット活用社会実現のためには、啓蒙活動と、実証活動を両輪で進めることが有効

これまで述べてきた通り、わが国におけるロボット・RTへの期待は大きいものの、その社会実装のためには、それらを他の要素と上手く適合させた社会システムの姿を描く必要がある。そもそも、わが国は少子高齢化をはじめとする課題を多く保有する課題先進国であるが、それらを解決し、次の10年、20年を切り開く社会システムの姿についても、現在各所で検討されている段階であり、社会デザインの重要性が増しているものの決め手に欠けることは、ロボット・RTに限定しない、わが国共通の課題である。

ロボット・RTの社会デザインについては、今後の議論によって描かれ共有されていくことを期待したいが、考えるにあたっての方向性として2点提言したい。1つ目は、社会システムを考えるにあたってのロボット・RTの捉え方である。ロボット・RTが人のモチベーションを高める側面に注目してはどうだろうか。ロボット・RTはシンプルに言えば自動化技術であり、「...しなくてよい社会」と表現したくなる場所であるが、社会デザインにあたっては「...できる社会」と捉えて検討することが好ましい。〇〇社会といったときにすぐに浮かぶ言葉としては「自動車社会」「情報化社会」が挙げられるが、前者は自動車によって色々なところに便利に移動できるようになった社会、後者は情報通信技術によって色々なことを調べたり情報発信したりコミュニケーションできるようになった社会である。ロボット・RTについても、自動化・効率化技術としてだけでなく、人や社会を活性化し、前向きな行動や価値観を引き出す手段として捉えるのが好ましい。

もう1つは、活動の仕方である。社会デザインは、多種多様な社会のステークホルダーが共有できるものでなければ実効性を持たないため、活動の規模も重要である。スマートコミュニティアライアンスは2010年12月14日現在525社、プラチナ社会研究会は2010年12月28日現在231組織である。ロボット・RT関係者としても、こうした規模の活動の場における存在感を高めたり、こうした規模の活動の場を組織したりすることが必要ではないか。一方で、ロボット・RTは未だ実績の少ない技術であり、有効性を実証するための取り組みをあわせて実施することが重要であろう。小規模な取り組みで良いから、自治体を巻き込んだ実証を実施し、1つ1つ成功事例を積み重ねることが、大きな取り組みにつながると考えられる。マクロ視点での大きな活動と、ミクロ視点での個別の活動、その双方によって、ロボット・RT関係者が次の社会システムづくりに大いに貢献していくことを期待したい。

(執筆担当：瀬川友史)

2.2.2.2 サービスロボットの安全性に関わる標準化の取り組み

非産業用途のロボット開発の進展に伴い、ロボット実用化・市販化の足かせの一つとして安全問題がクローズアップされてきた。防護のための柵を持たずに人間と動作領域を共有し、あるいは領域内を自由に移動する新しい形態のロボットに対して、従来の産業用ロボットに適用されてきた安全のルールが有効ではなくなっている。産業用ロボットについても、作業者とより近接する共存・協調型ロボットが実用化されつつあり、こちらも新しい安全問題を抱えるようになってきている。

このような状況下で、人間とロボットとの共存・協調を指向するロボットの安全性を検討する活動が主に日本ロボット工業会の委員会で始まり、これまで以下の検討が行われてきた。

- ・「移動ロボット」安全ガイドライン（案）

主に建設用ロボットを対象とし、作業空間の共有を特徴とする（人との協働無し）

- ・「サービスロボット」安全性ガイドライン（案）

「サービスロボットの安全性等に関する標準化フェージビリティスタディ」より、移動ロボットを非産業用共存型ロボットにまで拡張

- ・「高齢者等福祉用ロボット」の標準化の検討

主に手術ロボットを対象とし、リスクベネフィットの概念を導入

さらに、愛知万博への出典ロボットの安全審査活動のために、「ロボット安全性ガイドライン調査研究専門委員会」が組織され、展示と運用のためのガイドラインが制定された。

以上の背景から、経産省から「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」が2007年に発行され、人間と共存するロボットのライフサイクルにおける各ステークホルダー（図2.2.2.2-1参照）に求められる安全確保の取り組みを規定した。このガイドラインはリスクアセスメントに基づく安全設計やリスク低減方策を求めており、基本的な考え方は産業用ロボットをはじめとする産業機械の基本安全規格と同様である。技術上の安全要求事項までは言及されていないが、ロボットの設計者・製造者以外にも、管理者、販売者、使用者にもロボットのリスク低減（安全運用）を求めていることが従来の安全規格との相違点である。

このガイドラインが基本概念の上位規定とすると、具体的な実施項目を規定する下位のガイドラインとして、日本ロボット工業会において、

- ・「サービスロボットの設計安全に関するガイドライン」

- ・「サービスロボットの運用に関するガイドライン」

の検討が行われた。前者は、「パーソナルケアロボットの安全要求事項（ISO/CD13482）」の作成作業と連動して検討が引き続き行われており、後者は、B to B(Business to Business)の関係のみを想定した「サービスロボット運用時の安全性ガイドライン」として2009年に公開された。その他、サービスロボットの用語の標準化活動（WG1）や、日本ロボット学会、日本機械学会においても検討が進められている。

「パーソナルケアロボットの安全要求事項」は、産業用ロボット関連の国際規格策定を行っているISOのTC184/SC2（産業用オートメーションシステムとインテグレーションの産業用ロボット委員会）WG7で審議が継続されており、非医療分野の移動マニピュレータ、搭乗型ロボット、身体アシストロボットに関する製品安全要求事項の議論を進めている。特に、産業用ロボットの安全規格（ISO10218）に比較して今後議論を要する項目として、本質安全設計方策や機能安全による保護方策（通信を含む）の標準化が課題として挙げられている。

2.2.2.2.1 サービスロボットの安全性評価の取り組み

サービスロボットの安全性評価は、前述の次世代ロボット安全性確保ガイドライン等で規定するようにロボットのステークホルダーが実施すべき活動であり、特に、設計者・製造者が最初に行うリスクアセスメントが最も重要な活動である。安全設計のためにリスクアセスメントを行い、合理的な安全設計目標を定めるという手順は、ISO 機械安全規格の原則となっているが、サービスロボットも機械である以上、これを踏襲することになる。

しかし、サービスロボットのリスクアセスメントが従来の機械設備で行われるリスクアセスメントと大きく異なる点は、リスク要素の見積り基準の設定が難しいことにある。産業用機械設備では、リスク受容の想定対象者が成人要員（14歳以上の健全労働者）を前提としているのに対して、サービスロボットの想定使用者の限定は現実には困難であり、それ故見積りのための目盛りをどう設定するかが問題となっている。特に、リスク要素の中で「危害の酷さ」については、ロボット使用者がどの程度の危害ならば安全と見なすのか、あるいはどの程度の危害を受容できるのか、といったデータが乏しいため、ロボット設計者・製造者が見積判断できずに困っている。これまで、自動車分野で蓄積されてきたデータはサービスロボットにとってはクリティカルであり、新たな規範が求められている。

「危害の酷さ」の見積り方法の提案としては、従来は身体部位の傷害程度で分類することが一般的であったが、人間とロボットとの共存の可否を傷害レベルの閾値で判断することは、共存自体の特質を失うことになりかねない。そこで、ロボットの人体への挟圧に対して、物理的な傷害の手前に痛覚による耐性値を閾値とする方法や、皮膚の許容変位内の変形値を閾値とする方法などが提案されている。さらに、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）による「生活支援ロボット実用化プロジェクト」事業では、2009年から生活支援ロボットのリスクアセスメント手法および安全性基準適合性評価手法の確立を達成目標として、対人安全性に関する指標を創出して他の試験方法や評価方法とともに国際標準提案を行うことを目指しており、成果が期待されているところである。

2.2.2.2.2 サービスロボットのリスク受容の考え方

サービスロボットの製造者から使用者に引き渡されるロボットには、製造者がリスクアセスメントに従って適切なリスク低減方策を施しても、どうしても残留リスクは存在し、これをロボット運用段階で対処することが使用者の役割となる。したがって、個々の使用者が残留リスクを認識し、それを受容するか否かを判断しなければならない。現実には、「安全」の判断を与える指針（JIS Z8051）では、個人的判断に従う製造者と使用者との契約を、製造者がリスクアセスメントを果たした結果として認めている。

しかし、このような契約に基づく「安全」は、手術ロボットや特定者向けの介護ロボット以外には適用が難しく、一般には、製造者が最高水準の安全技術を施してリスク低減を行い、不特定多数の想定使用者に代わって「適切なリスク低減」が成されたと宣言することになる。想定使用者が産業用ロボット使用者の場合は、その使用環境や使用者の知識・操作レベルの均一化が図れるため、残留リスクを解消することが期待できる。一方、サービスロボットの使用者は図 2.2.2.2-2 に示すように、対象使用者毎の受容レベルが異なるため、製造者が宣言した残留リスクのレベル（製造者が許容を求めるレベル）と個々の受容レベルとの差を解消する必要がある。同図中のリスク差の解消方策は以下が考えられる。

- a. 操作方法の教育・訓練
- b. 資格・免許による実際の操作者と操作範囲の限定（aの結果として）
- c. 管理による実際の操作者と操作範囲の限定
- d. 保護具等の利用
- e. 便益とのトレードオフ（使用者によるリスク受容の緩和）

上記は基本的に使用者側の方策であるが、a、bは製造者が実施する場合もある。上記5つの方策の中で個別使用者の判断に委ねられるeの方策を除いて、運用の規定が前出「サービスロボット運用時の安全性ガイドライン」で規定されている。なお、万一の事故に対する補償を目的とする保険については、ロボット運用時の方策には含んでおらず、別途議論が必要である。

新しいサービスロボットの実用化を促進するために、「次世代ロボット安全性確保ガイドライン」の基本に立ち返り、製品としてのロボットの残留リスクは、製造者と使用者間のリスク配分を踏ったうえで、使用者の自己責任によりロボットの使用を決めるという考え方が必要になると思われる。

2.2.2.2.3 おわりに

幸いにして、サービスロボットによる大きな事故は発生していないが、産業用ロボットのように死亡事故が起こってから大騒動となって安全規則ができたという歴史を踏襲することはもはや許されない。ロボットではないが、新しい機械として普及途上であった自動回転ドアが国内で初の死亡事故を起こした結果、それまで国内で400台強あった自動回転ドアが撤去、又は使用禁止となり、その後1年間以上導入されなかったという事実もある。自動回転ドアの場合、JISで安全要件として回転速度やドア羽根の衝突・挟圧値制限を規定するとともに、エレベータドアと同様に、人体が挟まれることはあり得るという前提から、使用者への危険性認識の啓蒙活動を進めて、ようやく再稼働され始めている。サービスロボットが同じ道を辿らないように、製造者による安全技術の導入は当然として、使用者も事故予防のための努力を行うとともに、その活動をサポートする制度や仕組みを整備することが急務であろう。

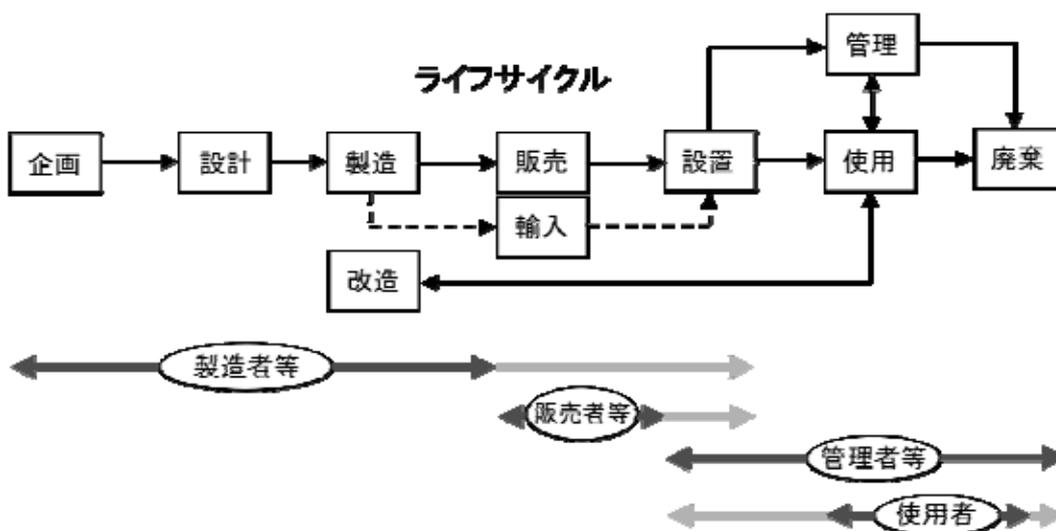


図2.2.2.2-1 サービスロボットのライフサイクルと関係主体との関連

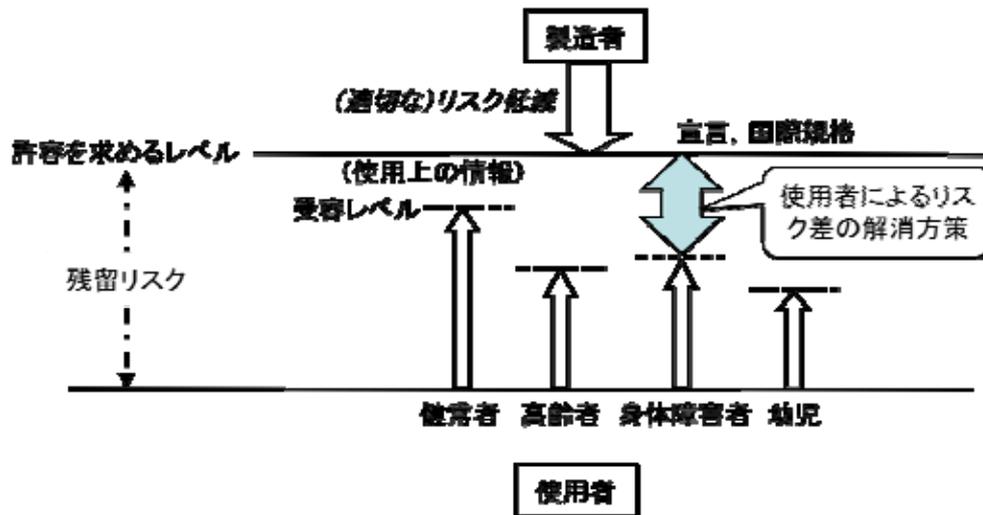


図2.2.2.2-2 サービスロボット製造者と使用者によるリスク認識レベル

(執筆担当：池田博康)

2.2.2.3 次世代ロボット産業の障害になり得る法的課題について

2.2.2.3.1 本稿の目的

次世代ロボット産業が、わが国の重点産業施策とされて久しい。しかし現在、次世代ロボット産業は、一種の袋小路にさしかかっているように見える。その原因は様々であろうが、法律の観点から見た場合、次の3点にが、次世代ロボット産業の障害になっている、あるいはなり得ると思われる。その3点とは、次の通りである。

- 1 製造物責任法等、物理的事故に関する法制度
- 2 個人情報保護法等、プライバシー保護に関する法制度
- 3 外為法等、輸出規制に関する法制度

そこで本稿においては、これらの法的課題を指摘し、その内容を概観したい。

2.2.2.3.2 製造物責任法等、物理的事故に関する法制度

(1) 問題の所在

次世代ロボットは、産業用ロボットと異なり、人間と物理的に接触することを予定している。そのため、人間と物理的に接触することによる事故の発生が想定される。たとえば、介護用ロボットが抱きかかえた患者を落下させて怪我をさせるなどである。

このとき、ロボットメーカは、どのような法的責任を問われるのか、この責任を回避するためにはどうしたらよいか、といった法律問題が論じられてきた。

次世代ロボットにおいて特徴的に、このような問題が論じられる理由は次の通りである。すなわち、例えば自動車が事故を起こした場合、被害者による責任追及は、まず操作者すなわち運転手に向かう。ドライバーに賠償の資力がない場合でも、法制度上、自動車の所有者が法的責任を負うと定められているし、保険制度も充実している。

これに対して、次世代ロボットの場合、自律動作を本質とし、運転者が存在しないため、被害者による責任追及は、直接、メーカに向かうのである。

(2) 取組の現状

次世代ロボットが事故を起こした場合、そのメーカ等、開発・設計・製造に関わった者が過大な法的責任を問われるのでは、多大な萎縮効果が発生し、次世代ロボット産業の成立・発展に対する重大な阻害要因となる。

また、次世代ロボットが事故を頻発すれば、安全性に対する信用を喪失し、ユーザからそっぽを向かれ、市場から排除されることになる。そうならないためには、当該次世代ロボットは安全であるとの信頼を、社会から獲得する必要がある。

そこで、経済産業省や、その関連団体の取組は、主として、リスクアセスメントの義務づけと、(国際)安全基準の策定及び安全認証機関の設置に向けて行われてきたように思われる。そして、これらの取組の最終目的地は、「安全基準を満たすという認証を受けた次世代ロボットにより事故が発生しても、メーカは免責される」という点にある。

(3) 取組の問題点

この取組については、法律家の見地からは、次の問題点が指摘される。

確かに、リスクアセスメントの徹底、(国際)安全基準の策定及び安全認証機関の設置は、次世代ロボットの安全性を客観的に担保し、社会の信頼を得るため必要であるし、国際安全基準の策定は、次世代ロボットを輸出する前提として必須であるばかりか、わが国次世代ロボット産業の国際競争力を優位づける基礎となり得る。また、次世代ロボットが事故を起こした場合、これが安全認証を受けていなかったり、これに違反したりしていた場合には、被害者はこの点を立証するだけでメーカーの法的責任を問うる、という点において、被害者保護に資するともいえる。その意味で、リスクアセスメントを徹底し、安全認証を受けることは、次世代ロボットメーカーにとって、法的責任を免れるための「必要条件」であるといえてよい。

しかし、「十分条件」たり得るか、すなわち、リスクアセスメントを徹底し、安全認証を受ければ、メーカーは法的責任を免れるか、という点に関しては、法的見地からは消極的にならざるを得ない。

理由の要点を指摘すると、第一に、民間の第三者機関はもちろん、行政府による認証でさえ、裁判所を法的に拘束しない。第二に、認証を受けた次世代ロボットによる事故についてメーカーが免責されるということは、一方で当該ロボットによりメーカーが利益を受けているのに、他方で被害者が「泣き寝入り」のリスクを負うことであって、そのような制度に国民的合意は得られない。

これに対しては、「安全基準を満たし認証を受けたロボットによる事故被害の救済については、保険による賠償を行えばよい」との見解がある。しかし、現在のわが国における損害保険制度は、加害者側に法的責任がある場合に、賠償を代わって行うものであって、加害者側に法的責任がない場合に、被害者の補償を行う制度ではない。安全認証を受けたロボットのメーカーには法的責任がないという見解は、法的責任の存在を前提とする現行保険制度と矛盾するのである。この見解からすれば、新たな保険制度を創設することが必要になる。

(4) 民事責任と刑事責任

次世代ロボットが事故を起こした場合、法的責任を問われるかもしれないという機具が、メーカーや研究者等の間に存在することは、この問題に関わってきた筆者としても、強く認識しているところではある。しかし、法律実務家の目から見ると、少なくとも一部には、行き過ぎた萎縮が見られるようにも思う。

すなわち、民事上の責任に関しては、製造・運用の瑕疵や過失の立証責任や証拠収集責任が専ら被害者側に負わせられており、懲罰的損害賠償も原則として認められていないわが国の民事裁判制度を前提にする限り、次世代ロボットによる事故が発生しても、被害者が訴訟で勝訴することは極めて困難であり、また、勝訴したところで、賠償金額は僅少である。この事実は、被害者側から見ると非常に問題であるが、メーカー側から見れば、開発を萎縮させるほどの驚異でないことを意味する。

他方、刑事上の責任に関しては、次世代ロボットメーカーや研究者などに対して不当な萎縮効果を与えているとの危惧を禁じ得ない。というのは、わが国においては、悲惨な事故があると、企業のトップや担当者の刑事責任を問わずにはいられない、という法文化があるように見受けられるからである。このような刑事責任は、判決においてはまず間違いなく執行猶予つき有罪判決となるので、判決が被告人に与える不利益はあまりないが、その前提となる逮捕・勾留と、これに対するマスコミ報道による本人や家族・勤務先に対する打撃は計り知れないほど大きい。しかも、刑事手続上、被疑者被告人には防御権・黙秘権が保障されているので、刑事手続が必ず原因究明

や事故再発防止につながるとは言えない。

このような見地からすれば、メーカ等には刑事責任を問うより、原因究明や再発防止を優先し、被害者の救済には民事責任を充てる制度の方が望ましいことは明白である。ただし、現行の民事訴訟制度では、前述の通り、被害者による証拠収集力、責任証明力は極めて低く抑えられているので、刑事責任を問わないのであれば、民事責任を問いやすくするよう、制度の変革が必要であろう。

2.2.2.3.3 個人情報保護法等、プライバシー保護に関する法制度

(1) 問題の所在

次世代ロボットは、カメラ・マイク・RFID リーダー・レーザーレンジファインダ等、様々センサを多数搭載する。しかも、実環境に設置された多種多様なセンサやコンピュータと常に情報交換をしながら、人間に対してサービスを行う。このように、次世代ロボットは同時に、ネットワークロボットでもある。

このことは、人間から見ると、次世代ロボットによって、絶えず自分のプライバシー情報を収集され、ネットワークに電場されることを意味する。端的にたとえれば、カメラを搭載した次世代ロボットは、自律移動する街頭監視カメラそのものである。従って、次世代ロボット産業を振興するためには、プライバシー権との調整問題を避けて通ることができない。

(2) わが国の法制度

次世代ロボットとプライバシー権との調整という視点で見ると、わが国の法制度は、先進諸国と比較して、極めて立ち後れている。

その理由は第一に、法制度の不備である。わが国では、プライバシー権を保護する法体系は、個人情報保護法の制定以来、全く整備されていない。また、個人情報保護法は、私人間の権利関係調整に適用される法律ではなく、行政法規に過ぎないし、プライバシー権と呼ばれる権利のごく一部しか保護していない。

また、プライバシーを侵害された被害者が、法的救済を受けるためには、裁判所に訴訟を起こすしか方法がない。しかし、プライバシー侵害を理由とする損害賠償訴訟は、その性質上、公開の法廷でプライバシー侵害の事実を明らかにしなければならず、その結果再度のプライバシーの公開を余儀なくされるうえ、わが国司法の実情では、賠償金額は極めて僅少であるから、実際に裁判所によって救済される道は閉ざされているとあって過言ではない。

わが国の法制度が立ち後れている理由の第二は、プライバシー保護するための第三者機関の不存在である。現在、プライバシー保護機関に関して国際標準となりつつあるのは、「プライバシーコミッショナー」と呼ばれる、政府からも独立した第三者機関であるが、わが国には該当する機関が存在しない。かつて、個人情報保護法の立法過程において、上記第三者機関の創設が議論されたが、見送られ、同法に関する監督機関は各「個人情報取扱事業者」の監督官庁とされた。その結果、監督官庁ごとにバラバラの個人情報ガイドラインが制定され、かえって、プライバシー保護制度を混乱させる結果となっている。

なお、現在、プライバシーコミッショナーを置く国家や地域は 50 を超え、毎年「プライバシーコミッショナー国際会議」を開催しているが、同機関を有しないわが国は、この会議に参加することさえできない。

2.2.2.3.4 法制度の不備が次世代ロボットに与える影響

わが国がプライバシー保護法制度の後進国であるという事実は、次世代ロボット産業の振興にとって、大きな障害になり得る、と考える。

その理由は第一に、適法違法の境界がはっきりせず、しかも、プライバシー問題は、しばしば極端に感情的な反発を招くため、大きな萎縮効果を企業や研究者に与えている。

第二に、プライバシー保護制度後進国であるわが国の次世代ロボットは、先進各国に受け入れられないため、輸出産業振興を妨げる可能性が高い、という点である。

以上の点に鑑みても、わが国において次世代ロボット産業を振興させるためには、プライバシー保護制度の充実が不可欠であると考えられる。

外為法等、輸出規制に関する法制度

(1) 問題の所在

次世代ロボット産業を振興させるためには、次世代ロボットを自由かつ多量に輸出できる環境を整える必要がある。

わが国において、輸出を規制している法律は外為法(外国為替及び外国貿易管理法)であるが、同法は、具体的な禁輸品のリストを、政省令に委任している。しかし工業技術の複雑高度化は、政省令による対応も困難にしているため、これらの政省令は、通達やガイドライン、経済産業省の解釈等によって、事実上補完されている。

問題は、この輸出管理法制度が、次世代ロボットの輸出に対する障壁となっているのではないか、という点である。

(2) わが国の輸出管理制度の問題点

外為法に基づく輸出規制は、「リスト規制」と「キャッチオール規制」に大別される。「リスト規制」は、輸出管理令上、許可対象品(武器・軍用品のほか、民生品も含まれる)が列挙されているものであり、全世界への輸出が対象地域とされている。「キャッチオール規制」は、リスト規制品並びに食料品と木材を除くすべての工業製品が許可対象品とされているものであり、対象地域は世界 192 カ国中、「ホワイト国」と呼ばれる 26 カ国を除く 166 カ国とされている。よく知られている例としては、炭素繊維製の釣り竿や、シャンプーもキャッチオール規制の対象である。

いうまでもなく、このような規制品のすべてが結果的に輸出を禁止されるのでは、わが国は輸出立国として存在することはできない。そこで、政省令以下で様々な例外や、例外についてのさらなる例外を定め、経済産業省の担当部署が例外への該当性の有無や、輸出に際して付する条件の内容を判断することとされている。このため、結果として、条文を読んでも何が規制対象品なのか、そうでないのかが極めて分かりにくい構造となっているうえ、実際に輸出許可がなされるか否か、輸出が許可されるとしてもどのような条件が付されるかは、担当官と相当期間協議しなければ分からない、というのが現状である。

このように、わが国の輸出産業には広範かつ曖昧な規制が課せられている。しかし、誤解されてはならないのが、次世代ロボット産業の振興という視点から見て問題なのは、規制が広範に及ぶことではなく、規制の範囲が曖昧なことである。

(3) 規制の「広範さ」と「曖昧さ」

すなわち、わが国の工業製品に対する輸出規制は主として、わが国及び国際安全保障の要請に

より、ワッセナー・アレンジメント他の条約や紳士協定といった「国際輸出管理レジーム」に準拠して行われているものである。「輸出の自由」は憲法によって保障される国民の基本的人権の一つであると解されているが、他方、平和主義や国際協調主義も憲法上の基本理念である以上、輸出の自由に対する必要最小限の規制である限り、輸出規制自体が非難されるべきことではない。そして、その結果として輸出規制範囲が、結果として極めて広範に及び、特定の次世代ロボットが輸出を禁止されたとしても、そのことが事前に予測可能である限り、国内企業を萎縮させることはない。なぜなら、はじめから輸出できないことが分かっている以上、国内市場で受け入れられる限度において製造を行えばよいからである。

しかし、規制の範囲が「曖昧」である場合には、国内企業は、製造しようとする製品を輸出できるのか、できないのか、できるとしても、どのような条件がつくのか、なにより、許可が通るまで何ヶ月かかるのか、といったことを予測できない限り、輸出先と契約したり、製造計画を立てたり、開発を行うことができない。既存の工業製品は、同種製品を前例にすればある程度予測もつくが、次世代ロボットのような新規性のある製品は、全く予測がつかない。このことは、次世代ロボットの開発を担う企業に、多大な萎縮効果を与えることになると思われる。

(4) 次世代ロボットと輸出規制

ところが、輸出規制の実態において、製品や輸出先、最終需要者に新規性がある場合、輸出許可申請はしばしば膨大な時間と労力を要することになり、許可を受けた場合でも、輸出後の使用状況報告義務を含め、様々な義務を課されることになって、結果的に経費倒れに陥るということがありうる場所である。また、法律実務家の立場から見ると、輸出不許可処分に対する行政上の不服申立制度が整備されていないことも、事業者に対する不当な萎縮効果の減員になっていると思われる。

以上述べたところから明らかなおおりに、わが国の輸出管理制度の持つ「曖昧さ」という問題点は、次世代ロボットにのみ影響を与えるものではない。わが国が世界の下請け工場としてではなく、最先端工業製品の輸出国として発展するためには、現在の輸出管理制度は大きな足かせになるだろう。

(執筆担当：小林正啓)

2.2.2.4 対人安全性

2.2.2.4.1 生活支援ロボットの対人安全性

対人安全性確保の必要性

生活支援ロボットは、人へのサービスという目的を達成するために、人が関与する環境下で稼働する。このため、その普及においては、対人安全性の確保が重要となっている。

2.2.2.4.2 対人安全性確保のための課題

生活支援ロボットの対人安全性には、3つの課題があげられる。

第1に多様な人との関わりおよび多様な環境のもとで使用されるという条件の克服が課題となっている。特定の作業者の操作により特定の環境で使用される産業用ロボットと異なり、生活支援ロボットの対人安全性確保には、多様な状況への対応が必要となる。例えば、操作者の訓練レベルは産業用ロボットよりも低く想定しなくてはならない。使用環境についても、オフィスや家庭の床は、フローリング、タイル、カーペットなどに変化する。また、操作者以外がロボットに近づいてくることが想定しなくてはならない。近づいて来る人の年齢層も多様である。このような状況を想定した上での安全性確保は、より困難な要求であると言える。関連分野（産業用ロボット、電気・電子機器、自動車など）で蓄積された技術を発展させて対応する努力が続けられている。

第2に、対人安全性に関わるリスクを分析することが課題となっている。新しい製品を市場に投入する際には、その製品のライフサイクルにわたって想定されるリスクを分析し、十分に低減しなくてはならない。一般には、過去の不具合情報を参考にリスクを同定するが、生活支援ロボットが市場で使用された実績が少ないために、リスクを同定することがむずかしい。関連分野で蓄積された情報を活用することが試みられている。

第3に、安全性の検証手法の確立が課題となっている。リスクの分析の妥当性を確認する必要があり、また、リスクに対して方策を導入した結果リスクが十分に低減されたことを検証しなくてはならないが、その手法と基準が確立されていない。我が国では、対人安全性の検証手法を確立するための「生活支援ロボット実用化プロジェクト」が、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の事業として遂行されている。また、国際標準化の場で、対人安全性への要求事項についての議論が進められている。

2.2.2.4.3 安全性の検証に関する動向

(1) 第3者による検証の必要性

前述の第3の課題については、ロボットメーカ各社が独自に安全性確保の妥当性検証を行なうことも考えられる。しかし、生活支援ロボットの場合には、システムが複雑であることから、欧州で行なわれているような第3者機関による安全の検証が望ましいと考えられる。この制度によって網羅的な安全の検証を行なうことで、市場展開後の使用リスクをより確実に低減することが可能となり、その結果、生活支援ロボットの普及が促進されることが期待される。

(2) 検証試験の必要性

リスクの中には、試験によって安全性を検証すべきものもある。前述の「生活支援ロボット実

用化プロジェクト」では、ISO14121-1 の付録 A に記載されたハザードと潜在的な危害を参考に、生活支援ロボットで想定される危険源を同定している。その結果、機械的危険源、電氣的危険源、人間工学的危険源に加えて、EMC・通信に関する安全性・信頼性検証と機能安全に関する検証の必要性を指摘し、以下のような試験を検討している。

- ・ 走行安定性試験

移動作業型および搭乗型生活支援ロボットでは、停止中、直進走行時、旋回時、制動時の転倒等に対する安定性を評価する必要がある。生活支援ロボットは、様々な床や路面の上で使用されるために、試験走路の路面材や形状は、実際の使用環境を再現できることが必要である。

- ・ 障害物検知・対応試験

自律移動機能をもつ生活支援ロボットにおいては、周辺の人や障害物の検知とその対応（減速、停止、回避）能力に関する試験が必要である。

- ・ 衝突安全性能試験

移動作業型および搭乗型ロボットの本体が周囲の人に衝突した場合の安全性や、搭乗型ロボットが転倒や衝突した場合の搭乗者の安全性、さらに、移動作業型ロボットに搭載されたマニピュレータのような可動部が人を打撃した場合の安全性を評価する試験方法と評価基準の検討が必要である。

- ・ 耐久性試験

人と共存して使用される生活支援ロボットの機械的な劣化故障は、人への危害につながる可能性があるため、耐久性を評価する試験が必要である。

- ・ 操作・情報提示機能試験

人間がロボットを操作する場合の操作系やロボットの状態を人に提示する情報提示機能等のヒューマンマシンインターフェースについても、生活支援ロボット固有の試験方法が必要である。

- ・ 接触安全性能試験

人間装着型（密着型）生活支援ロボットについては、装置が使用者の身体と接触するために、他の機械装置にはない「接触安全性」の評価試験方法の開発が必要となる。

- ・ EMC・通信に関する安全性・信頼性試験

制御を電子システムにゆだねるロボット、安全関連情報を有線・無線伝送する場合には、ロボットの放射エミッション試験に加えて、外乱ノイズ等の影響で安全機能が損なわれないことを調べるための放射イミュニティ試験が重要となる。

- ・ 機能安全に関する検証

生活支援ロボットは、安全関連系にハードウェア、ソフトウェアを含む電気・電子系を使用すると考えられるために、機能安全に関する検証も必要となる。ハードウェアのランダム故障やソフトウェアのバグなどにより、安全関連系が期待どおりに動作しない場合、危害が想定されるからである。

（執筆担当：藤川達夫）

2.2.2.5 損害保険

2.2.2.5.1 はじめに

保険を活用することにより、ロボットに係るリスクの低減に効果があるが、新しい分野であるため保険実績が十分と言えない。今後、安全基準等の成立により、より適切な保険料が設定されるなど見込まれる。社会への普及に向けて、認証機関で安全性を認めた製品に包括して保険を付帯する安全マークによる損害保険や、ロボットが例えば自動車のように一定の危険性を内包しつつも社会として広範囲に不可欠な存在になる場合には、そのリスクを社会全体が広く分散して負担する自賠責保険のような制度の必要性がいずれ高まることも予想される。

2.2.2.5.2 損害保険の現状

(1) 保険付帯の現状

現在、広く利用されているロボットは産業用であり、工業など特定の場所で運用されている。一般的に固定式のロボットであり、ロボットの稼働範囲を限定して柵等で囲い、人間はロボットの稼働範囲に入らないことを安全の原則としている。次世代ロボットは、産業用ロボットとは異なり、常に人間と直接に接することが役割となる。そのため、運用する際には、より一層の本格的な安全対策の構築が必要不可欠となる。

しかしながら、十分な安全対策を実施したとしても、事故がなくなるわけではない。突発的な事故のリスクは常に存在する。そのような残留リスクの存在する中で、次世代ロボットの利益を享受するという観点から、保険等の社会的対策が必要であると言える。

次世代ロボットのリスクも既存の保険商品で付保可能である場合も多く、実用化されているものは既存の保険に付されている。ただし、実用化されている事例が十分ではなく、大数の法則が成り立たないため、補償範囲や保険料の水準が妥当であると言い切れないのが現状である。

(2) 既存保険商品

ロボットとそれに係る損害を対象とする既存保険商品は各種考えられるが、本稿では、利用者の傷害を補償する傷害保険と製造者及び使用者の第三者賠償を担保する賠償責任保険を中心に検討する。

(i) 傷害保険、労災保険

ロボットのユーザを対象とすると、最も頻度の高いと予想される事故の形態は、ロボット使用時におけるケガすなわち「傷害リスク」であると推測できる。正常使用はもとより、暴走などの異常下、あるいは誤使用による事故など発生形態に関わらず、事故の発生によりユーザが傷害を負った場合に、速やかに、ケガの手当て、治療、入院、および生活の安定に必要な補償を実施するためにかける保険が必要になる。

傷害リスクを担保する保険には、いわゆる日常生活全般のケガや交通事故などに備える傷害保険と、業務中の事故の労災保険がある。どちらも、急激（※1）かつ偶然（※2）な外来（※3）の事故によって、身体に傷害を被った場合に所定の保険金（死亡保険金、後遺障害保険金、入院保険金、手術保険金、通院保険金）が支払われる。

※1「突発的に発生すること」すなわち、事故から傷害の発生までの過程が直接的で時間的な間隔がないこと

※2「予知できない出来事」すなわち、“原因が偶然” “結果が偶然” “原因と結果がともに偶然”

のいずれかをさす

※3「身体の外からの作用」すなわち、ケガの原因自体が身体の外部からによること

(ii) 賠償責任保険

賠償責任保険には、生産物賠償責任保険（PL 保険）・施設所有管理者賠償責任保険・個人賠償責任保険などがあるが、いずれも偶然な事故によって第三者の生命又は身体を害したり、または第三者の財物に損害を与えたために、被保険者が法律上の賠償責任を負担することによって被る損害（賠償金、訴訟費用等）を支払う保険であり、次の特徴が挙げられる。

1) 被保険者の「法律上の賠償責任」を担保する

法律上の賠償責任の発生要件としては、不法行為、債務不履行ともに原則として加害者に故意又は過失のある場合。しかし、故意は損害保険の約款上免責となるため、この保険は被保険者の過失による賠償責任を担保することになる。

2) 保険金額を契約の都度、保険期間中に予想される事故の形態及びその賠償額を基準に任意に設定できる

3) 保険料は各契約の実態に応じ、危険の度合いを最も反映すると思われる要素（施設であれば面積、製品であれば売上高など）により定められる

2.2.2.5.3 ロボットに関する損害保険の課題と望ましい姿

次世代ロボット向けの新たな保険を検討するに当たって、前章で損害保険の現状と対応する既存保険商品について考察した。これをロボットのメーカーのリスクとユーザのリスクに大きく分けると表のようにまとめることができる。

表 2.2.2.5-1

リスク	現状	あるべき姿
メーカー	既存の保険商品（賠償責任保険、労災保険等）の組合せで可能	次世代ロボット総合保険（賠償・傷害・物損） 【課題】 リスクの定量的把握
ユーザ	ケガの補償は傷害保険・第三者賠償責任は個人賠償責任保険で可能	安全マークによる保険 被害者救済を目的とした強制保険 ロボットユーザ総合保険

(1) メーカー向けの保険

メーカーのリスクについては、PL 保険、労災保険、財物保険などの既存の保険商品を組み合わせれば、十分な保険をかけてリスクを回避することが可能になる。しかし、多種目の保険を個別にかけることは、煩雑であり、保険のカバーの重複あるいは遺漏が発生する危険がある。そこで、「次世代ロボット製造者総合保険」といった総合保険商品を開発する事が有益である。実際、1980年代に工業用ロボットが普及し始めたときにも同様の問題意識から（産業用）ロボット総合保険が開発され、現在に至るまで盛んに利用されている。

メーカー向けの次世代ロボット総合保険の課題は、次世代ロボットのリスクの定量化把握が現状では困難なことであり、保険の原則である「大数の法則」が成立するように、次世代ロボットが多量に社会に普及して、リスクの把握が統計的に行えることである。

(2) ユーザ向けの保険

ユーザのリスクについてもメーカー向け同様、総合保険が開発されることが望ましいが、さらに、次世代ロボット普及に向けた社会的制度の一部として、被害者救済を目的として、他の普及促進制度と有機的に位置づけられることが望ましい。そのためには、自動車損害賠償責任保険を例とした国の制度（立法の裏づけ）が期待される。

自動車損害賠償責任保険とは、自動車損害賠償保障法によって加入が義務づけられている強制保険で、その特徴は表に示されるとおり、①被害者救済（無過失責任）の原則、②強制保険による基本補償の確保、③被害者救済を確実にする保障事業制度である。この3本の柱によって、人身事故の被害者救済の最低限ラインは確保される。

表 2.2.2.5-2 自動車損害賠償責任保険の3本の柱

No.	柱	内容
1	無過失責任	被害者が加害者の「過失」を証明する必要がなく、加害者側にほぼ無過失責任に近い賠償責任を負わせている
2	強制保険	原動機付自転車を含み、全ての自動車が自賠責保険の加入を義務付けられており、この強制締結(強制保険)により基本補償を確保している
3	保障事業制度	ひき逃げや自賠責保険に未加入の自動車の事故による被害者を救済するため、自賠責保険とは別に政府の「保障事業制度（自動車損害賠償保障事業）」によって、自賠責保険とほぼ同様の補償が受けられる

自動車（一部を除く）については、車検（自動車検査登録制度）により、登録を受けなければ運行してはならないことになっている。車検を受けるためには 納税及び自賠責保険の加入が条件となるため、運行する車両については自賠責保険の加入義務付けの実効性が担保されることとなる。また、自賠責保険は所有者または使用者が契約するが、保険の対象はそれぞれの車両になることが特徴といえる。

ロボットのユーザの賠償資力を担保する保険の義務化については、そのロボットを特定することと、加入義務が履行されているか確認する仕組みの構築が課題といえる。

さらには、強制保険部分では補償されないリスクをカバーするための任意保険である自動車保険のように、対人・対物・ロボット本体の補償を加えた保険が開発されることが望ましい。

(3) 安全マークによる保険

製品にあらかじめ付いている保険として安全マークがある。財団法人製品安全協会の SG マークや日本玩具協会の ST マーク、自転車協会の BAA マークなどで、それぞれの協会が会員企業の製品の安全性を検査・認証して、その印として製品につけるマークである。このマークがついている製品であれば、万一の事故が発生した場合に、被害者は協会に申し立てて、協会が事故の原因が当該製品にあるか否か調査した後、適切な保険金が支払われるシステムになっている。

メリットは以下のものである。

- ・マーク付製品を購入すると、保険が自動的に付帯されている
- ・協会が窓口となるので被害者が訴える先（連絡先）が分かりやすい
- ・製造者は生産物賠償責任保険等に加入する

安全マークは製品の高品質化、消費者保護に資するものであり業界の発展にも大いに寄与する

利点がある。次世代ロボットの市場を拡大する上で、認証機関が主導して安全認証と保険を組み合わせたスキームを普及させることは価値のある事業だと考えられる。次世代ロボットの安全マークは、ロボット工業会等の団体がロボットの安全対策について機能・形状・強度・材質などの安全基準を制定し、団体が指定する安全認証機関による審査を経て基準を満たしている製品に団体が発行することになると思われる。次世代ロボット普及の初期段階において、消費者に製品の安全性を示す客観的な基準として有効であるばかりではなく、ロボットメーカーにおいても、安全性を第三者が認証することで普及の一助となる。また、このマークのついた製品について保険が自動的に付されることにすると、この保険は、生産物賠償責任保険（PL 保険）に加え、傷害保険等を付帯することにより、ロボットメーカーの過失の有無に係らず一定の補償を提供する制度にすることが可能である。保険の契約者を団体とすることで、支払対象か否かを問わず事故事例の収集が可能となり、安全基準の見直しの一助となる。また、団体若しくはその関連団体に家電製品 PL センタのような機能を持たせ、ユーザ向け窓口を設けることで、ロボットに関する相談、機能、安全性等に関する相談に対する助言や情報の提供、及び、ヒヤリハットを含むユーザ情報の収集が可能になる。

安全マークによる保険制度を構築する場合には図 2.2.2.5-1 に示すとおり、

- ・ロボットの安全認証機関
 - ・事故情報の収集・分析機関
 - ・保険の支払を行う補償機関
- の 3 機関で行うことが望ましい。

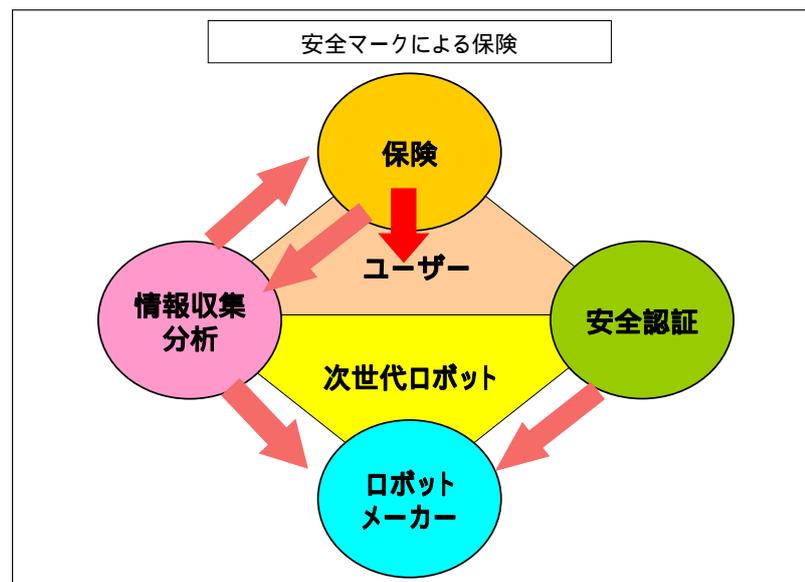


図 2.2.2.5-1 安全マークによる保険

(4) 事故事例の収集・分析

事故事例の収集・分析は保険会社が得意な分野である。しかしながら、保険会社が集まる情報は、保険金の支払いが目的であり、事故の原因究明や再発防止は主目的ではないため、技術的情報は不十分であることが多い。

先に示したように、次世代ロボットはいわばロボットの素人がユーザとなって直接ロボットを扱い、また家族など高齢者や幼児がロボットに触れる機会も想定されるため、従来にない事故が

発生する可能性が高い。これらの新種の事故を、予兆の段階で捕らえて対策を実施するためにも「ヒヤリハット」も含めた事故情報の収集が重要である。

2.2.2.5.4 まとめ

既存保険商品のうち、ロボットに適用可能な賠償責任保険と傷害保険を中心に検討した。その結果、ロボットに係るリスクは概ね、

- ① 自身のケガなどによる傷害リスク
- ② 第三者の身体や財物を害する損害賠償リスク
- ③ ロボットそのものの損傷などによる、物的損害リスク

の3種類に分類でき、それぞれのリスクは、既存の保険商品でカバーすることが可能であるが、製造者や使用者などが個々に保険に加入することは負担が大きいといえる。

そこで、ロボットに関連するリスクに対応する保険の可能性について検討した。わが国の保険制度のなかで参考となる、安全マークによる保険、自動車用の自賠責保険について検討し、ロボットユーザ総合保険に必要な条件をまとめた。

一大産業への成長が期待されるロボット産業の中でも、人間と接せる次世代ロボットが大きな割合を占めると予想され、それに伴い、保険の役割も大きくなるといえる。したがって、ロボット生産者・使用者及び一般ユーザー（消費者）のニーズに対応できる、ロボット用保険商品の開発が必要であり、また、被害者救済を第一の目的とした自賠責保険のような制度の設立を業界および消費者団体と協力して働きかけることが今後の課題である。さらに今後は、ロボット安全マークによる保険制度の可能性を、ロボットビジネスに係る事業者・研究者・技術者・政策決定者などと、損害保険各社も参加して、検討すべきと思量する。

2.2.2.6 情報倫理（ライフログと個人情報保護）

2.2.2.6.1 次世代ロボットと法

次世代ロボットの利用に伴う法的課題は、当該ロボットそのものの取扱いに関する法的責任から、それを用いて取得される情報の取扱いに伴う法的責任に至るまで検討課題は多岐に渡る。

前者については、ロボットという製造物について、その欠陥により損害が生じた場合の製造業者等の損害賠償責任が、「製造物責任法」に基づいて問われるであろうし、今後、次世代ロボットが一般消費者の生活の用に供される製品として普及することにより、「消費生活用製品安全法」に基づいて一般消費者の生命又は身体に対する危害の防止を図り、適切な保守や製品事故に関する情報の収集及び提供等の措置を講ずることが義務付けられることなどがあげられる。

後者については、次世代ロボットによる情報の取得が、個人に関する情報の取得を伴う場合には、「個人情報保護法」に基づいて、その情報の適正な取扱いと保護が義務付けられる。

本項では、主に後者の問題について、「ライフログ」の取扱いに伴う問題を中心に法的課題の検討を行うが、この問題は、クラウド・コンピューティング、ソーシャル・ネットワーキング・サービス（SNS）、CGM、ストリート・ビュー、スマートグリッド、ライフログ、行動ターゲティング広告、DPI（ディープ・パケット・インスペクション）、バイオメトリクス、RFIDをはじめとして、日々新たな技術開発とそれらを利用したサービスが提供されるに伴い生じている問題とも関係があることから、これら諸問題との関係において生じている個人情報・プライバシー保護をめぐる新たな課題も踏まえて、他の技術利用との関係における問題も含めた検討がなされることが求められている。

2.2.2.6.2 ライフログとは

(1) ライフログとは

「ライフログ(Lifelog)」とは、「人間の活動(life)」の「記録(log)」のことである。コンピュータを装着するなどしてセンサなどで個人の活動に関するログを取得する行為が、元来のライフログの語源と考えられる。

(2) ライフログの定義⁽⁶⁾

「ライフログ」という用語を用いて法的課題について研究した先行研究は、国内では石井論文⁽⁷⁾、国外ではアレン論文⁽⁸⁾以外には見当たらない状況である。国内では未だこの問題が法学領域における研究課題としては新しい問題であるがゆえに、先行研究が少ない状況であるが、国外に関しては、ライフログという呼称が一般的ではないことがその要因と思われる。

法学のみならず人文・社会科学系の分野では先行研究はほとんど見あたらない。一方、自然科学系の分野ではライフログの活用に関して新たな可能性を研究する様々な研究がなされているが、

(6) 新保史生「ライフログの定義と法的責任-個人の行動履歴を営利目的で利用することの妥当性-」情報管理.Vol. 53 (2010) P.295-310。

(7) 石井夏生利「ライフログをめぐる法的諸問題の検討」情報ネットワーク・ローレビュー第9巻第1号1-14頁(2010)。

(8) Anita L. Allen, *Dredging up the Past: Lifelogging, Memory, and Surveillance*, 75 U. CHI. L. REV. 47 (2008).当該論文の要旨は、前掲注の石井論文を参照されたい。

ライフログという用語は様々な意味で用いられている。

そこで、本項では、法的側面からライフログの問題について検討を行うにあたり、ライフログの定義を以下のように試みたい。

「ライフログ」とは

①特定の自然人の②特定の活動に関する③特定の情報を、④特定の記録媒体に、⑤自動的に⑥デジタルデータとして⑦包括的又は連続的に記録（蓄積）し、それによって取得された、⑧特定の個人に関する個人情報（個人識別情報）及び⑨個人に関連する個人情報に該当しない情報（非個人識別情報）の総称をいう。

2.2.2.6.3 ライフログの利用をめぐる課題

(1) 技術的課題

ライフログを確実かつ効果的に取得するための技術は、日々新たなものが開発され続けている。しかし、法的課題が新たな技術開発の制約になったり、萎縮効果をもたらすことも多い。次世代ロボットにおいてライフログを取得する場合には、個人の私生活に最も深く入り込んだ情報を取得することも想定されることから、その傾向は特に顕著である。よって、技術的課題について検討するにあたっては、法的観点からみた技術利用の可否について明確にする必要がある。

さらに、技術的課題としては、プライバシー保護技術(PETs)をどの程度利用するのか検討を行うことも重要である。

(2) 制度的課題

我が国において、「ライフログ」という用語を用いて制度的な検討を実施した研究会として、総務省「利用者視点を踏まえた ICT サービスに係る諸問題に関する研究会」の「ライフログ研究会」における検討が行われている。

2.2.2.6.4 我が国におけるライフログの適正な取扱いを担保する枠組み

(1) 個人情報保護関係法令の適用関係

ライフログのうち、「個人識別情報」については個人情報保護法が定める「個人情報」に該当することから、同法に基づく取扱いを行わなければならない。なお、個人情報保護法上の課題について検討するにあたっては、当該サービスを提供する者によって、個人情報保護に関する法令の適用関係が異なる点を把握しておかなければならない。

表 2.2.2.6-1 個人情報保護関連五法

(1) 個人情報の保護に関する法律(平成15年5月30日法律第57号)
(2) 行政機関の保有する個人情報の保護に関する法律(平成15年5月30日法律第58号)
(3) 独立行政法人等の保有する個人情報の保護に関する法律(平成15年5月30日法律第59号)
(4) 情報公開・個人情報保護審査会設置法(平成15年5月30日法律第60号)
(5) 行政機関の保有する個人情報の保護に関する法律等の施行に伴う関係法律の整備等に関する法律(平成15年5月30日法律第61号)

(2) 総務省ライフログ研究会による配慮原則

総務省の報告書では、ライフログ活用サービスに関する検討がなされ、我が国のライフログ活用サービスの現状、諸外国の対応状況、我が国において懸念される法的問題、より信頼されるサービスに向けて（配慮原則の提言）、ディープ・パケット・インスペクション技術（DPI 技術：Deep Packet Inspection）を活用した行動ターゲティング広告について検討がなされた。

我が国のライフログ活用サービスの現状については、ライフログ活用の 2 つの方向性として、①利用者の興味・嗜好にマッチした情報を提供するサービス（行動ターゲティング広告、行動支援型サービス）及び②統計情報を提供するサービスについて。我が国において懸念される法的問題としては、個人情報保護法との関係について主に検討がなされている。具体的には、個人情報への該当性と行動ターゲティング広告等への適用、ならびに、特定の個人情報を電子計算機を用いて検索することができるように体系的に構成したものに当たるかについて検討がなされている。

さらに、プライバシー等との関係について、① プライバシー侵害の有無・程度及び② 利用者の不安感等について検討がなされている。

以上の検討を踏まえて、より信頼されるサービスに向けて（配慮原則の提言）が示されている。

配慮原則の対象について、① 対象情報は、配慮原則の対象となる情報は、特定の端末、機器及びブラウザ等（以下「端末等」という。）を識別することができるものとする。対象情報は、個人情報保護法上の個人情報であるか否かを問わない。② 対象事業者については、対象となる事業者は、対象情報を事業（ただし、対象情報を蓄積せずに行う事業は除く。）の用に供している者となっている。

配慮原則は、以下の 6 つである。

表 2.2.2.6-2 ライフログ活用サービスにおける配慮原則（総務省ライフログ研究会）

① 広報、普及・啓発活動の推進	対象事業者その他の関係者は、利用者のリテラシーの向上や不安感や不快感の払拭に資するべく、対象情報を活用したサービスの仕組みや、本配慮原則に基づく取組について、広報その他の啓発活動に努めるものとする。
② 透明性の確保	対象事業者その他の関係者は、対象情報の取得・保存・利活用及び利用者関与の手段の詳細について、利用者に通知し、又は容易に知り得る状態に置く（以下「通知等」という。）よう努めるものとする。通知等に当たっては、利用者が容易に認識かつ理解できるものとするよう努めるものとする。
③ 利用者関与の機会の確保	対象事業者は、その事業の特性に応じ、対象情報の取得停止や利用停止等の利用者関与の手段を提供するよう努めるものとする。
④ 適正な手段による取得の確保	対象事業者は、対象情報を適正な手段により取得するよう努めるものとする。
⑤ 適切な安全管理の確保	対象事業者は、その取り扱う対象情報の漏えい、滅失又はき損の防止その他の対象情報の安全管理のために必要かつ適切な措置を講じるよう努めるものとする。
⑥ 苦情・質問への対応体制の確保	対象事業者は、対象情報の取扱いに関する苦情・質問への適切かつ迅速な対応に努めるものとする。

(3) ライフログの管理の失敗と法的責任

最後に、個人情報としてのライフログの取り扱いの失敗に伴う法的責任は、以下の表の通り整理を試みたい。

表 2.2.2.6-3 ライフログの取扱いに伴う法的責任の種類

不正な 取扱い	違法・不正 取得	不正競争防止法違反にあたる方法での情報の取得 不正な方法による取得 未成年者からの不適正な情報の取得 承諾範囲を超えた情報の取得 差別を助長する情報の取得 副次的な情報（本来は取得を予定していなかった情報）の取得
	違法・不正 利用	目的外での利用 個人の権利利益を侵害する目的での利用 公序良俗に反する利用
	違法・不正 提供	無断提供 目的外での提供 提供範囲を超えた提供 承諾と異なる態様での公表 承諾と異なる媒体での公表
管理の 失敗	漏洩・滅失・毀損 (情報の安全管理を怠ったことにより、当該情報の機密性・完全性・可用性が失われること)	

(執筆担当：新保史夫)

2.3 2章のまとめ

第2章では、なぜロボットの研究開発の成果がほとんど実用化されてこなかったのかという本調査研究の根底にある問題意識に対して、ロボットあるいはロボット技術の社会実装とその実装にともなう産業化を可能とする仮説的なプロセスとアプローチを提示した。その仮説は、実用化、事業化に向けたこれまでの多くの失敗事例と、数少ない成功あるいは成功につながると感じ取れる事例を元に導いている。どうすればうまくいくかは、今後いくつもの成功例が出てくる中でより明らかになっていくであろう。現時点では、本章の中から何が問題でうまくいかなかったのかを読み取ることができるのではないだろうか。

2.1の社会実装概要では、2.2に挙げたヒントとなる事例を元に、ロボットとその技術の社会実装とそれにとともなう産業化を可能とするプロセス、ならびに鍵となるアプローチを概説した。①社会実装や産業化を促進するための定義とその重要性、②ロボット産業化の進展プロセス、③社会実装と産業化に関わるプレーヤとその連携アプローチ、④社会実装と産業化推進に対する地域の取り組みの重要性、⑤地域における社会実装のキープロセスと産業化のキーアプローチ、⑥鍵を握る社会システムデザインと社会システム構築プロセス、について述べ、最後に社会実装と産業化促進の具体的方策についても触れた。

2.2のロボットの社会実装各論では、まず2.2.1の中でこれまでの数少ない成功あるいは成功につながると感じ取れる事例を紹介した。ロボット産業化や社会実装の先進地域として関西圏、大阪市に加え、岐阜県とつくば市のアプローチや試みを紹介した。企業の取り組みとしては、大手メーカ企業、技術開発型ベンチャー、大手サービスプロバイダー、サービス開発型ベンチャーを取り上げた。大手メーカ企業の事例として取り上げたパナソニック社は、これまでのロボット開発・販売によるロボットビジネスとは異なるアプローチを取ろうとしている。また、従来のモノづくり産業には見られなかった、重要な製造業のパートナーとして、サービス事業者やサービス開発企業がどのように市場を切り開いているかを知ることも非常に重要である。加えて、ロボットやロボット技術を活用する側であるユーザ、特にリードユーザとして病院の医師によるロボット導入の意義と問題点、さらにはロボット技術を活用した新たな医療サービスの試みを取り上げた。従来試みられてきたマスマーケティング・マスプロダクション型のロボット事業化アプローチとは異なる視点や取り組みから多くのヒントを読み取ることができる。

2.2.2では、以上のような社会実装を進めていくうえで重要な基盤について取り上げた。ロボットを組み入れた社会システムのデザインの重要性と、安全性に関わる標準化、産業化の障害となりうる法的課題、対人安全性、損害保険、情報倫理といったテーマについて紹介した。

従来は、研究から技術開発へ、その後、実証実験を経て、市場導入を検討するといったリニアなロボットの実用化、事業化のアプローチが大半であった。20世紀の日本の製造業の成功モデルをなぞった、こうした画一的アプローチから、市場やユーザを巻き込み、サービスを取り込み、ビジネスモデルを描きながら事業化を果たしていくといった、事業創出のあたりまえのアプローチを行っていかなくてはならないということをあらためて真摯に考えなくてはならない。同時に、ロボットやその技術の社会実装を真に実現するためには、従来の制度や仕組みを前提とするのではなく、社会システムの再設計から取り組んでいかなくてはならない。これを実現するためには、地域とコミュニティが自らの問題として関与し、特区などを活用した社会実証を経て取り組み、国はそれを次の日本の社会システムモデルづくりと位置付けて支援することが重要である。

(執筆担当：石黒周)

第3章 社会ニーズに基づくロボット課題分野と技術

3.1 ライフ&グリーンイノベーションロボットの課題分野

ロボット技術のニーズは、多様な分野に存在する。これまで、ロボット技術開発においては、ロボット技術を様々な分野へ応用するという考え方で、多くの取り組みが行われてきた。経済産業省が日本ロボット大賞の中で定義しているように、ロボット技術を「センサ、知能・制御系、駆動系の3つの技術要素を有する知能化した機械システム」技術と捕らえると、それは基盤的な技術と考えることができる。それを、様々な分野での作業、運搬、センシング、ヒューマンインタフェースなどに適用することで、自動化や支援システムの構築を行い、効率化や省力化、安全化、新しい価値創造などを図ろうとする試みが行われてきた。しかるに、単にロボット技術として開発されたものを、応用しようとする試みだけでは、実用化に至らなかったり、ましてや製品化・事業化できないケースも多かった。

その一つの大きな理由は、それぞれのニーズ分野において、実際にどのような機能や技術が必要とされているのかを十分調査・分析をせずに、安易にロボット技術を応用しようとしたことが挙げられる。ニーズ分野で活用されるシステムを開発するには、真のユーザが誰であるか、それが現場でどのように使用されるかを明確にする必要があるし、使い勝手やコストまでも考えたシステムデザインを行う必要がある。

そこで本章では、このようなシーズ駆動の **push** 型のシステム開発ではなく、ニーズ駆動の **pull** 型のシステム開発を前提とした上で、課題分野と新しい基盤技術の二つの切り口で、今後の開発の方向性を検討した。まず 3.1 では、ロボット技術をどのような分野でどのように応用するのではなく、産業分野としてどのような課題分野が存在し、その中でどのようなロボット関連技術のニーズが存在するかという観点で、開発すべきロボット技術の明確化を試みる。特に、新成長戦略に基づき、ライフ&グリーンロボット技術という観点からまとめることとした。なお、ここで挙げられた分野は、GDP の算出などに用いられる分野を意識しながら、ロボット技術の導入の可能性のある分野をピックアップした。具体的には、①社会や地域からどのような要請があるのか、②従来の開発事例を鑑み、どのような技術的問題が残され、解決することが求められているか、上記要請に対しどのようなサービスイメージが考えられうるか、③事業化を行う上での技術的課題以外にどのような課題が存在するか、などについてそれぞれの課題分野ごとにまとめた。

また、3.2 では、様々なニーズに応えるのに、今後重要になると考えられる、ライフ&グリーンイノベーションロボットに関連する最新の基盤的技術をピックアップし、それぞれの技術の観点からも、上記の検討を行った。

(執筆担当：浅間一)

3.1.1 医療分野

3.1.1.1 医療分野における社会要請

腹壁を数十センチ切開して行う開腹手術に代わり、腹壁に空けた数ヶ所の穴から細長い内視鏡と術具を挿入して治療を行う内視鏡下手術が行われるようになった。このような低侵襲手術では、痛みが少なく早期回復が可能であるだけでなく、入院期間が短く早期社会復帰が可能であるため、社会的にも医療コストの低減や本人、および、家族の機会費用削減などのメリットがある。一方で、内視鏡下手術は医師にとっては困難な手術であり、ロボット技術を応用した手術支援が望まれている。工学的な支援により低侵襲支援を容易に行うことができる環境を整えることで、広く一般に低侵襲治療を普及することが可能となる。

低侵襲手術に続くイノベーションとしては、超微細手術の実現が期待される。ロボット技術を活用することで、人の手による手術で実現可能な精度を超える超微細・超精密手術を実現できる。更に、医師の手による手術では対象となりえなかった治療、例えば 0.5mm 以下の血管・神経の吻合を行うことで、高度の機能回復が見込める。また、医師の手による手術で実現可能な精度以上の正確さで人工関節を設置することにより、痛みのない歩行が可能になるなど、術後 QOL の更なる向上が見込める。

このように、ロボット技術を活用することで、低侵襲手術を更に普及するだけでなく、人の手による手術手技による手術よりも高い治療効果を実現することが可能であり、我が国のライフイノベーションによる健康大国戦略とも一致する。

3.1.1.2 ロボット技術を応用した高度医療サービス

内視鏡下手術支援ロボティックシステム

①従来研究

内視鏡下手術支援ロボティックシステムとして最も成功しているものは、アメリカの Intuitive Surgical 社の da Vinci®である。これは、世界で 1500 台以上販売されており、我が国でも 2009 年に製造販売の承認を得て、臨床で使用されている。この手術ロボットが 3 億円程度の初期投資と約 2500 万円の年間保守費用がかかるにも関わらず、世界中で普及しているのは、このロボットを使用することで術者の手による手術よりも手術成績が向上するケースがあるからである。特に前立腺がん全摘手術ではロボット手術による効果が大きく、アメリカでは前立腺がん全摘手術の 7 割以上がロボット手術であるという病院もある。

②研究／技術課題

我が国でも手術ロボットの研究は盛んであり、NEDO による次世代手術ロボット開発の大型プロジェクト“インテリジェント手術機器研究開発プロジェクト”などがある。世界的にみても高度なロボット技術を誇る我が国で手術ロボットが普及しない原因としては、後述する医療機器審査の問題に加え、ビジネスモデルの構築が困難であることが挙げられる。また、我が国の医工連携は極めて高いレベルにあるが、対象とする手術領域毎にプロジェクトが構成されることが多く、プロジェクト間の更なる連携強化が必須である。また、技術的な面では、次世代低侵襲手術である単孔式内視鏡手術（臍の切開部 1 ヶ所から複数の術具を挿入して治療を行う方法）や、経管腔的内視鏡手術(体表に一切傷をつけない手術で、子宮壁や胃壁などの管腔臓器にあけた穴を經由して、体腔内に術具を導入する方法)を対象とした手術ロボット開発が望まれる。ロボットの更なる細径化・多自由度化と、搭載するデバイスの小型化・高機能化の研究が盛んになることが予想さ

れ、我が国の得意とする精密技術を生かすことで、世界をリードすることが期待される。

手術方式	開腹手術	内視鏡手術 1987～	ロボット手術 1989～ 1998:1st DaVinci endoscopy
切開	大きい	小さい	
術後回復	遅い	早い	
手技	容易	困難	容易

#写真はIntuitive surgical, Incのホームページ<http://www.intuitivesurgical.com/>より

図 3.1.1-1 手術の進化

微細手術支援ロボティックシステム

①従来研究

手術支援技術は「医師の目と手を超える」ことを目的に研究されてきた。工学技術の応用としては、術前／術中画像を活用したナビゲーションや画像誘導型手術ロボット、非侵襲診断・治療を実現した各種撮像技術や治療デバイス、カプセル内視鏡などの開発がある。前項の手術ロボットは、体腔内での自由度、器用さの拡張を目的としたものである。これらの技術により、非侵襲あるいは低侵襲の手術が実現可能となったが、医師の手による手術と比べて、治療成績が大幅に向上するものは限られる。一方で、微細手術支援では、低侵襲手術の実現だけでなく、優れた機能回復を見込むことができる。具体的には、例えば脳神経外科や形成外科では、医師の手では縫えないような細い血管や神経をロボットで吻合することにより、機能回復のレベル向上が見込める。また、眼科においては、術者の手振れで穿刺できないような極細径血管への穿刺・薬剤注入が可能となる。整形外科では、ロボットによる骨切削により人工関節を高精度に設置することが可能であり、術後の痛みをなくすだけでなく、人工関節の寿命を延ばすことが可能となる。このように、医師の手で行う手術よりも優れた治療成績を実現できるロボット技術の開発が強く望まれている。また、医師よりも優れた治療成績を実現することこそが、ロボット手術が普及するために不可欠な要素であると考えられる。

②研究／技術課題

今後の手術ロボット技術開発は、「低侵襲手術を実現する多自由度の専用ロボット」から、「医師よりも優れた治療成績を実現する超精密汎用ロボット」に研究をシフトする必要がある。また、我が国が世界をリードするためには、我が国の「お家芸」である超精密技術の活用が不可欠である。高精度・超小型のセンサやアクチュエータ、精密駆動伝達機構、超精密加工技術などを統合し、手術ロボットに搭載することが強く求められる。また、国内の研究グループ間及び産学間の連携を更に強化することで、限られたリソースを効率よく割り当て、次世代手術ロボットにおける我が国の優位を確保することこそが手術支援ロボティックシステムの実用化につながる。

筆者の所属する東京大学大学院工学系研究科機械工学専攻 光石・杉田研究室でも微細手術支援ロボティック・プラットフォームを開発している。軟組織用プラットフォームとしては、脳外科、眼科、小児外科を対象としたマスタ・スレーブ型汎用手術ロボティックシステムを開発しており、0.3mm の人工血管の吻合や、120 μ m の眼底血管へのカニューレーションを実現している。また、小児外科用には超精密加工技術を用いて製作した微細ギアを搭載した直径 3mm の多自由度鉗子を開発している。また、硬組織プラットフォームとしては、整形外科を対象とした手術ロボットを開発しており、高精度の骨切削が可能である。さらに、骨の切削状況をミクロスケールで観察し、その現象を解明することにより、術後の人工骨と骨の接合力を向上させる骨切削を実現している。

- **軟組織用プラットフォーム: 脳神経外科, 眼科, 小児科など**
- **硬組織用プラットフォーム: 整形外科など**
- **マイクロロボット用プラットフォーム: 血管内治療など**



図 3.1.1-2 微細手術支援ロボティック・プラットフォームの例

3.1.1.3 その他の課題

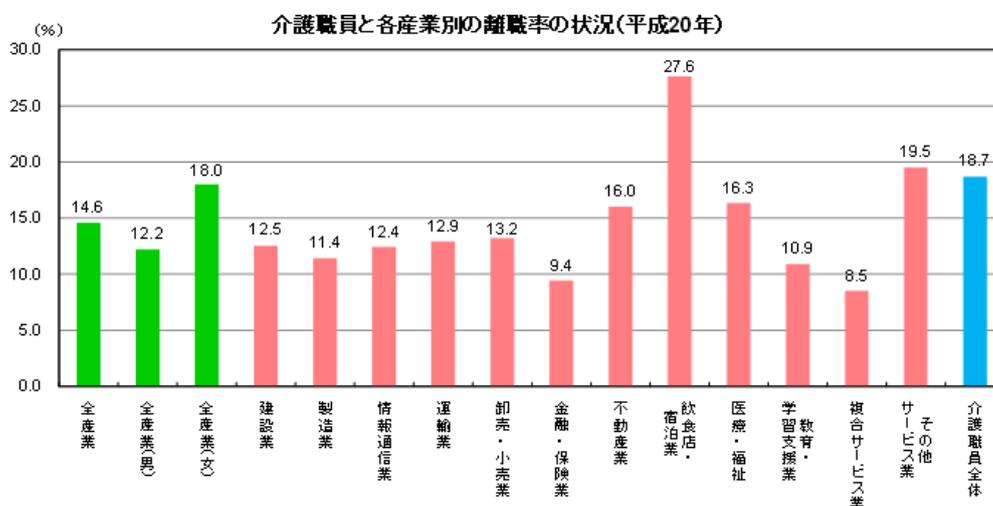
手術支援システム実用化によるデスバレーとして、薬事法に基づく医薬品審査の問題がある。現在は、審査に必要な臨床試験に協力する医師を支援する体制が不足しており、また審査にかかる時間も長く、審査費用も高額である。複雑な制度が企業の新規参入を阻んでいるとの指摘もある。これらの問題を解決すべく、厚生労働省は平成 20 年から「医療機器の審査迅速化アクションプログラム」を実施しており、今後、審査員が増え、審査時間も大幅に短縮される予定である。また平成 21 年には医学系・工学系の 12 学協会が参加した学際ネットワーク「日本医工ものづくりコモンズ」が設立され、我が国の医療機器開発を支援する環境が整いつつある。このような制度の改革と並行して、制度さえ整えば実用化につなげられるような完成度の高いロボティックシステムの開発が求められる。

(執筆担当: 光石衛)

3.1.2 福祉分野

3.1.2.1 福祉分野における社会要請

本格的な高齢化社会時代に向かっていく途上にあつて、人の心身の健康状態を維持するシステムが社会的に確保されているか、だれもが他人事ではなく肌で感じる心配ごとである。一方、心配の意に反して、健康状態を維持する社会的システムであるはずの医療介護分野の事業が経営破たんや職につく人の不足により縮退する兆候がみられる。特に介護の現場では、労働環境も厳しく、離職率が高く人材確保が難しいという実態が指摘されている。病院においても、2011年度に看護職員が140万人余り必要なのに対し、実際には135万人弱にとどまり約5万6千人不足の見通しであることが厚生労働省の見通しとして発表されている。状況を放置した場合2025年には高齢化の進展があいまって約20万人不足するという推計も提示されている。



(資料出所)全産業及び各産業の離職率:平成20年雇用動向調査(厚生労働省)
介護職員及び施設系介護職員の離職率:平成20年度介護労働実態調査(財)介護労働安定センター)
注) 離職率の定義は右のとおり。 離職率=(1年間の離職者数)÷労働者数

図 3.1.2-1 介護職員と各産業別の離職率の状況 (平成 20 年)

高齢化社会とは、総人口あたりの高齢者割合が多い状態であり、高齢者とは心身の不都合が発現する可能性が高い特性がある。生活に何らかの支障を感じる程度の一人ひとりの心身の不都合の総和が、社会の不都合(=まだ大丈夫と思っている人でも今後への「不安感」となって現れる。この不都合を緩和する役割の柱が医療サービス事業(病院)・介護サービス事業である。不都合と緩和は、悪化と良化の相対する関係であつて、指標化すると、健康に関する社会的な不都合度指標 = Σ (一人ひとりの心身の不都合) / 不都合緩和機能 (医療サービス事業・介護サービス事業) と言える。

社会的健康に関する不都合度指標が低いほど、不安の少ない健康的で元気な社会であろう。分子の「一人ひとりの心身の不都合」を低減するために、不都合を感じないときからの健康増進、不都合が発現したときに回復させる治療・治療技術や補助具の向上が期待される。この面に関しては、専門技術分野の課題に対し、課題意識を世界共通にもちながら研究が進められ日々進展している。

一方、分母の不都合緩和機能を増大するには、医療サービス事業や・介護サービス事業が健全な経営を維持しながら十分に社会に保有され発展していることが必要である。おいしい水がすぐ飲めるような水資源が豊富に確保されていると不都合感や不安が少ない豊かな心持ちでいられ、水資源の枯渇の兆候があらわれると急に不安がつるのと同様である。

このような期待に反する病院事業・介護事業の縮退という兆候を反転させ、積極経営に転じて医療福祉ビジネスが拡大することが社会的しくみ面での喫緊の課題である。このような高齢化社会に向かう途上での課題意識をもっているのは日本だけでなく、アジア諸国でもすでにこの課題に対応して医療ビジネスへの投資が拡大しているとの報道がある（2010年12月21日付け日本経済新聞）。日本では、総務省が、病院に関して平成19年に「経営の効率化」「再編・ネットワーク化」「経営形態の見直し」の3つの視点を盛り込んだ「公立病院改革ガイドライン」を策定・発行し、各地方公共団体に病院経営の健全化ひいては体制の強化を促している。さらに平成20年度12月には「公立病院に関する財政措置の改正要領」を決定・公表し、平成21年度以降の公立病院に関する地方交付税措置を大幅に拡充している。また厚労省では「介護職員処遇改善交付金」を供出して介護事業の縮退の歯止め策を講じている。このように、行政や個々の病院では、健康で元気な国を維持・増進するためのインフラをビジネスベースでの健全な拡大基調にのせるために懸命な努力が払われている。

また、このような課題に日本の得意分野としてきた精密ですみずみまで気の配られた機械工業技術で医療や介護を補完・支援できないかという取組みが盛んになりつつある。そうした中でもデンマークでは「医療も介護もケアは暖かい人の手によるものでなければならない」と明瞭に語られており同意するところであり忘れてはならない視点である。製造業で行われてきたように、経営合理化イコール機械化・省人化・究極は無人工場といった戦略は、対象がモノであるから可能であり、対象が人である医療・介護では、まちがってもとれない戦略であることも再確認しておく必要がある。逆に、医療・介護現場で働く人々がやりがいとプライドをもって職にあたるよう職場環境を改善し離職率を低減し医療介護インフラの拡大を阻害しないような策として、職員をサポートすることを目的とした機械システム技術の適用が必要である。

さらには、病院や介護事業の経営破たん歯止めがかけられたとしても、上記分子の自然増大を考慮すると、不都合状態が発現する前の健康増進や、社会活動・社会参加を可能な限り豊かに維持し「生きる」ことを楽しめる社会に促進する基盤（インフラ）へと拡大・発展させることも有効であると考えられる。

このような健康を積極的に増進するインフラであっても、施設が遠隔地にあっては日常生活から縁遠くなり衰退する可能性もある。よって地域に密着し、既に社会に現存するスポーツ・フィットネス施設やショッピング・食事施設、エンターテインメント性を有する施設なども地域内で連携して最適配置され、いつでも日常的に訪れることができ地域の人が日常的に顔を合わせられるようにEV・オンデマンドのコンピュータ、自然環境までも考慮された街全体構想が望まれる。



図 3.1.2-2 街全体ロボット化構想

3.1.2.2 どういうサービスで要請に応えるのか

(上記の要請を受けたサービスの具体的内容あるいはサービスイメージ)

3.1.2.2.1 病院の経営の健全化・発展支援事業

病院経営の改善には、いろいろな取組みが提案されているが、第1に患者数の増加、が取り上げられている(総務省「公立病院経営改善事例集」)。患者数の増加と同時に、医師・看護職の人員確保あるいは少ない職員数でも患者へのケアを確保する方策が必然の課題となる。

病院は、心身に不都合をもつ人が少しでも快方に向かうことを求めて訪れるのであるから、いかに患者本位のケアをしてくれることによって快癒したかによって顧客満足度が決まり、理屈ではなく病院での治療を受けた人の口コミで評価が広まることが多い。よって、患者満足度が患者数の増減に直結しており、ひいては経営の成否にリンクしている。ここでは、医療設備や技術がいかに高度で先端的であるかという要素は一部には必要要素ではあるが、職員がいかに一人ひとりに対峙する時間を確保し親身になってくれるか、また待ち時間が短い、交通が便利かなど他のサービス事業の成否を決める要素と同様の要素がより重要である。

そのことから、医師・看護師・薬剤師が、わずらわしいと感じ、実際専門職でなくても遂行可能な作業を見つけ出し、それを機械化・システム化することで、患者と疾患に向き合う時間を可能な限り確保するよう支援するサービスが考えられる。職員にとっては職場環境・労働への納得度が高まり離職も防ぐ効果を奏するであろう。

また、経営改善の意味では、病院の省エネルギー化による経費削減、セキュリティ・患者看守りの機械システム化、清掃にロボットを活用したサービスパッケージなどにより、経営の効率化をもたらすビジネスが期待される。

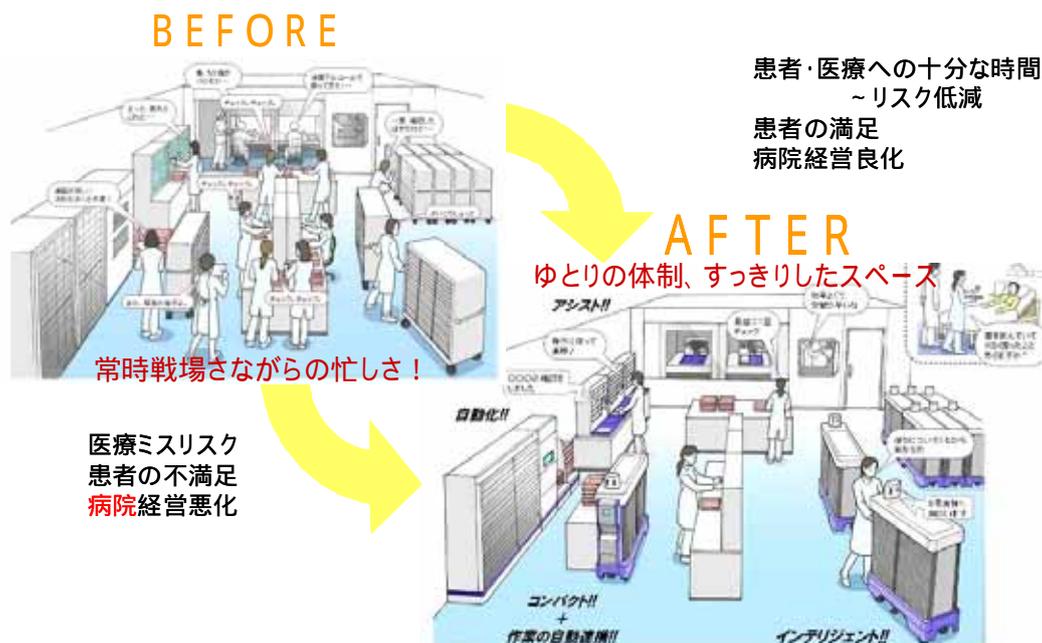


図 3.1.2-3 病院内サービスイメージ

◆従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

薬剤業務支援ロボット

薬剤業務のロボットによる高効率化が可能となれば、薬剤師が服薬指導など、患者に有効で安全な薬物療法を提供するための業務へのシフトを可能とすると共に、医療の安全・安心に繋げることができる。

薬剤業務は、①処方に基づく薬剤取り揃え業務②調剤業務③鑑査業務④搬送業務⑤服薬指導等のプロセスで構成されているが、このプロセスに応じて、ロボット単品ではなく、薬剤業務全体のソリューションをシステムで提供することが求められる。

下記事例の“注射薬払出ロボット”と“自律搬送ロボット”は注射薬の取り揃え業務の支援と薬剤搬送業務の支援を目的としており、薬剤師の本来の業務である服薬指導の時間を確保するとともに、病院経営への貢献も可能となる。



図 3.1.2-4 注射薬払出ロボットシステム

従来研究事例① 注射薬払出しロボット



図 3.1.2-5 注射薬払出ロボット

患者一人ひとりの処方箋に応じて注射薬・点滴薬をトレイに取り揃える機械システムである。注射薬はロボット機構にて専用ポケットにピックアップされ、その後、注射薬用トレイに払い出される。さらに投薬情報を記載した注射箋を装置内でトレイに払出し行い最小設置面積の装置内部で注射薬払出し業務の一連の作業を完結することができる。

注射薬はアンプルやバイアルという名称の非常に割れやすいガラスビンに入っているが、本研究事例の機械は注射、業界でも最高レベルの薬品破損率 5 万分の 1 以下を実現している。

この注射薬は、始め注射薬払出ロボット内の専用カセットに充填されており、そこからロボット機構にて専用ポケットにピックアップを行う。このカセットからポケットにピックアップを行う際、薬品は破損の危険を生じるが、本研究事例では、極めて優しく薬品を払い出す”ソフトハンドリング”機構を実現している。

また、この注射薬払出ロボットは、コンパクトな薬剤払い出し機構を導入することで、業界最小レベルの設置スペースである：幅 2,675mm×奥行き 750mm を実現している。これは日本のなかで多数を占める 200～400 床のスペースに限りのある病院に設置できるよう意図されている。

従来研究事例② 病院内搬送ロボット



図 3.1.2-6
自律制御による搬送ロボット



図 3.1.2-7
人の引っ張り力をアシストする搬送ロボット

看護職の手間をとらせる搬送作業を機械に置き換える方策として、走行経路にレールや誘導ガイド線を必要としない、自律誘導技術を用いた搬送用ロボットが開発されている。米国では、すでに同目的のロボットがビジネスレベルで販売されており普及が急速に進んでいる。

このロボットは予定経路上に障害物があっても自動的に回避し、搬送目的地に向かって走行する。目的地や経路をフレキシブルに変更できるメリットがあり、病院だけではなく検体検査会社などに導入され始めており、汎用性が高いことを認められている。

ロボットの背面には、ID 認識された者に限り開錠できる扉つき収納庫を備えており、収納した薬剤が搬送中にいたずらされないように守られている。

また、人々の通常に居る中で子供程度の大きさの機械が無人で動き回るようなことは、かつて無かったことであり、新しい文化として人々が受け入れやすいように、シンボリックな表情を表現する「顔」を表示し、親近感を感じさせるメッセージを発しながら走行する。

薬剤搬送の場合、薬剤調剤室は、一般的に多層階となっている病院内の1階または地下1階にあり、そこから薬剤を上層階の病棟などに運ぶ必要がある。この搬送作業は、看護師や薬剤師の本来業務を中断させるため機械化が強く望まれる作業である。

搬送ロボットはこの搬送作業を代替するものであり、特に職員が少なくなる夜間は手が回らないことが多くなるため、搬送ロボットが効力を発揮する。

また、本研究事例のロボットは、誘導するためのレールやガイド線を敷設する必要がないため、床や壁などは現状のまま美観を保ち、維持に気を配る必要もない。多層階の各階に搬送するため、自動的にエレベータに搭乗する機能も用意されている。



図 3.1.2-8 エレベータに搭乗する搬送ロボット

また、病院のあらゆる箇所に移動する搬送ロボットを安心して運用するために、無線 LAN により現在位置や状態を拠点となる薬剤部など一箇所で監視する機能や、ロボットに搭載されたセキュリティカメラにより捉えた映像を、拠点となる部屋に転送し、間違いが許されない薬剤搬送の走行中の周辺状況を監視しエビデンスを残す機能まで備えている。

◆研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

薬剤業務関係だけでも、業務プロセス全体をみわたすと薬剤鑑査や注射薬混合などの業務の機械化が望まれており、より高度で複雑な作業を行えるロボットの研究課題が残されている。また病院には、病棟・手術・検査など多くの機能部門があり、薬剤部門と同様に職場の困りごとや改善要望があり、それぞれが医療産業の成長のためには解決すべき研究課題である。

一方、自律制御の搬送（移動）ロボットの技術軸での用途展開が望まれており、薬剤だけでなく、治療器具、検体、リネン類などの搬送、搬送物に応じた形態のロボットを研究開発する必要がある。

将来的には、遠隔診察・治療や、院内の清浄を保つ病院特有の清掃機能をもつロボットの要望が挙がっている。

3.1.2.2.2 介護事業の健全化・拡大を支援する道具の提供サービス事業

介護分野でも医療と同様に、またはそれ以上にビジネスとして健全に成立し、増える高齢者層を十分に支えられるよう拡大することが望まれている。よって、介護分野の職につく人や経営を支援する道具を提供することが必要になる。

◆従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

従来研究事例① ロボティックベッド

介護作業の中で最も負担が大きいとされるベッドと車いすの移乗時の介護者の負担を軽減しながら、介護の必要な人の自立を支援する。研究事例は、従来の電動介護ベッドと同様の背上げ・ひざ上げ・高さ調節などの機能を持ちながら、ベッドの半分が車いすユニットとして機能する分離・合体型のベッドである。ベッド本体と車いすユニットの分離・合体がスムーズに行えるため、介護が必要な方・介護する方、双方にとって負担やリスクが大きかった「移乗」を簡単・安全にできる。

電動ケアベッド(車椅子機能付き)

- ・ベッドの半分が車椅子として機能
- ・機構部品の工夫などで単純かつ安全な分離・合体機構を実現



図 3.1.2-9 電動ケアベッド

従来研究事例② 洗髪ロボット

日常生活行動である「洗髪」は技術を入浴の難しい入院中の人や障害のある人から希望が高いにもかかわらず、介護する側の負担が大きいことから、きめこまかな対応が困難である実態がある。そこで、ロボットハンドの技術を応用し、手洗い・泡洗浄を合計 16 個の指先で行う「洗髪ロボット」が開発されている。頭の形をあらかじめスキャニングし、いろいろな形の頭に対して最適な力加減で頭全体をマッサージしながら洗浄動作を行う。個人ごとのデータも記憶可能で、毎日の洗髪ニーズにも対応する。介護の質向上と、介護職の負担の削減を両立するツールとして最適である。

洗髪ロボット

- ・ロボットハンドの技術を応用
- ・手洗い・泡洗浄を合計16本の指先で行う



図 3.1.2-10 洗髪ロボット

◆研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

ロボティックベッドは、体を自由に機敏に動かすには支障のある人が使うものであるため、道具によって万一にも使う人の支障を増してしまうことが許されない。介護される人、する人のあらゆるシチュエーションを配慮して安全対策を施す必要がある。開発する実験室の中だけでは想

定するリスクは不十分になりがちであるので、実際の介護現場で、できる限り多様な状況の人の使用に供してみることでリスク源の見落としを極小化することが必要である。

洗髪ロボットは、人体の最重要部のひとつである頭部分に接触作用するものであるため、どのようなモードでも危険側に進行しない機械システムにしておく必要がある。

介護の業務は身体運動機能のサポートだけではない。静的に、「見守る」「会話により動作や生活のモチベーションを活性化する」といったサポートも望まれている大きな部分である。米国では、その部分に関して IT やセンサを駆使して、遠隔にいる介護師が自宅で一人暮らしの高齢者をサポートする「遠隔介護」の事業が試験的に開始され急成長している。見守られていること・会話によって生活に彩りをもたらすことが、介護の大きな部分を占めていることの証左であろう。

3.1.2.3 その他の課題（制度など産業化を阻む弊害）

人の活動空間に、物理的動作を筐体外に表出したり移動するロボットは、これまで一般化していないため、安心と安全を担保できる技術的指標を示す必要がある。この指標は、大部分は身の回りに普及してきた家電やパソコン・介護機器・健康器具などに関する膨大な設計知識財産が活用され、外部に動的挙動を示す部位に起因する重篤な事故を防止する策を追加することで完成する。メーカーは一旦この指標を適用した製品を製作し、応用の拡大と普及の拡大に従って都度見直すという作業が必要である。さらに、メーカーは個別製品に対してリスクアセスメントをして指標ではカバーできないリスクにたいする対応策を講じなければならない。また、今まで見たこともないような機械製品をユーザ側が受け入れ使いこなすためには、ユーザやこれを取り巻く人々への啓蒙・教育も必要である。

このような普及初期では、上記指標に適合した開発商品をユーザとメーカーの手厚い監視下において実際に活用供していき、迅速な改善フィードバックをまわす体制が、各企業の実際の事業体制の上に補完するかたちで追加する必要がある。

よって、同カテゴリに既存製品が存在する場合の発展改良品型の製品開発以上に、開発負荷が格段に高くなることは明らかである。また、ユーザとメーカーが手厚い監視が必要であるとの共通認識をもって実証と改善を重ねられる病院や介護の実現場が必要である。この部分について医療福祉産業を強化・リードする公的な支援が必要である。

（執筆担当：北野幸彦）

3.1.3 介護分野

3.1.3.1 介護分野の社会要請

日本では、急速な少子高齢化と、それに関連した人口減少が進み、社会構造の変化をふまえ予測した対応が強く求められている。2005年に死亡数が出生数を超え、日本の人口は自然減少の局面を迎えた。2050年までは自然現象の状況は変わらないとされ、その頃には一年あたりの自然現象は100万人を超えるとみられている。

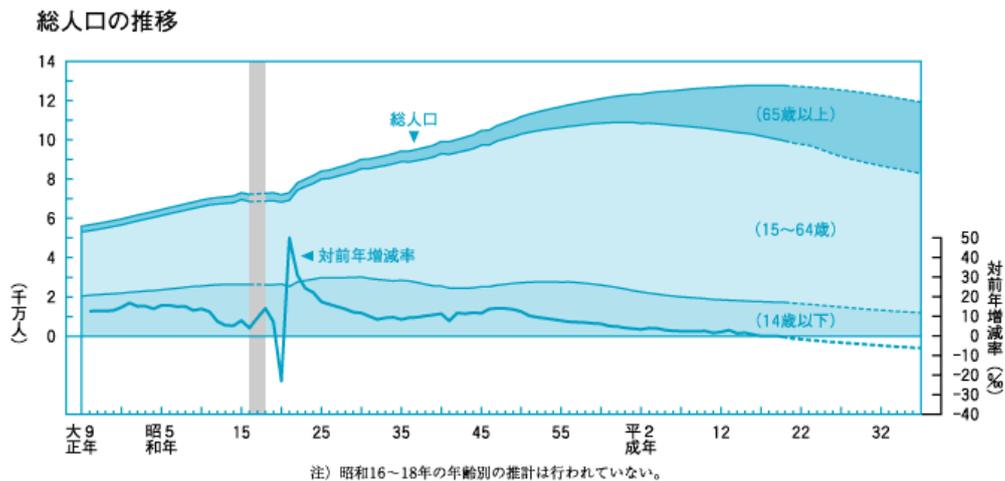


図 3.1.3-1 日本の総人口の推移 (総務省統計局「人口の推移と将来人口」2010より)

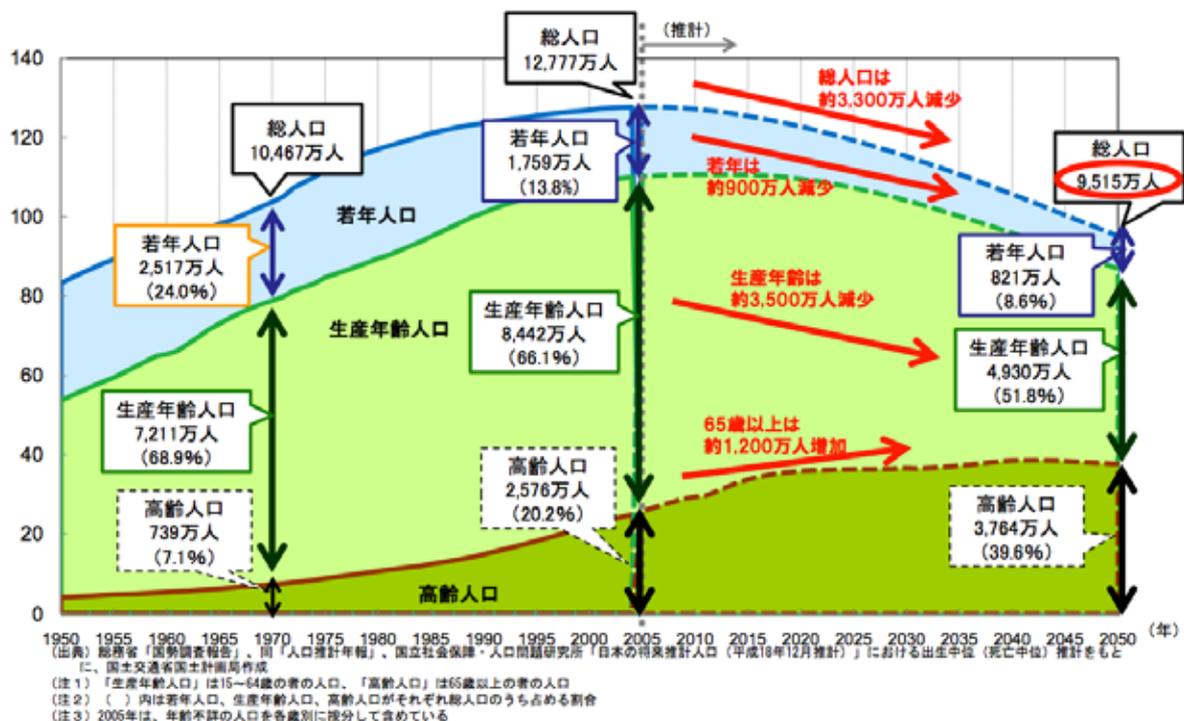


図 3.1.3-2 日本の高齢者人口
(国土交通省国土審議会製作部会長期展望委員会「国土の長期展望」
中間とりまとめ 平成 23 年 2 月 21 日より)

日本の総人口は 2004 年の 12,784 万人をピークとして今後急速に減少していく。これからの 100 年間で、明治時代中盤 100 年前の水準に戻っていく可能性が言われている。この変化はより長期的に見ても類をみない急激な減少である。2050 年には 9,500 万人程度となる。江戸幕府ができたころの人口 1,200 万が 100 年後には 3,100 万人、明治維新の頃には 3,300 万人となっていたが以後の急増が大きく逆転するかたちである。2050 年は 2005 年に比べて 3,300 万人すなわち 25%減少となる。

一方、高齢者の人口（65 歳以上の人口）は 1,200 万人から 3,800 万人程度へと増加するのに対して、生産年齢人口は 3,500 万人減少し、若年人口（14 歳以下）は 900 万人減少してしまう。結果、高齢化率は現在の 2 割程度から 4 割程度へと大きく高まる。

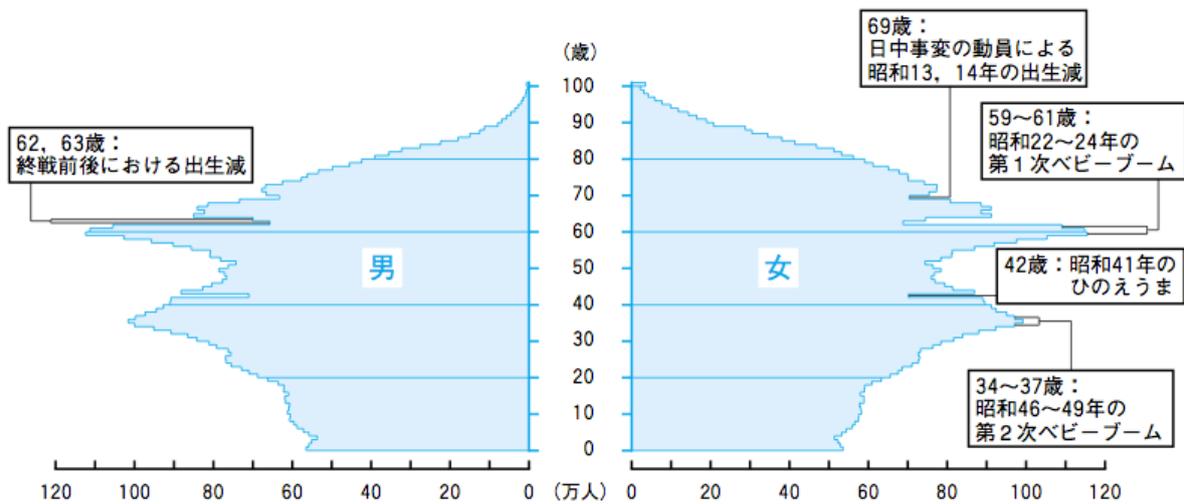


図 3.1.3-3 日本の人口ピラミッド (総務省統計局「年齢各歳別人口」2010 年より)

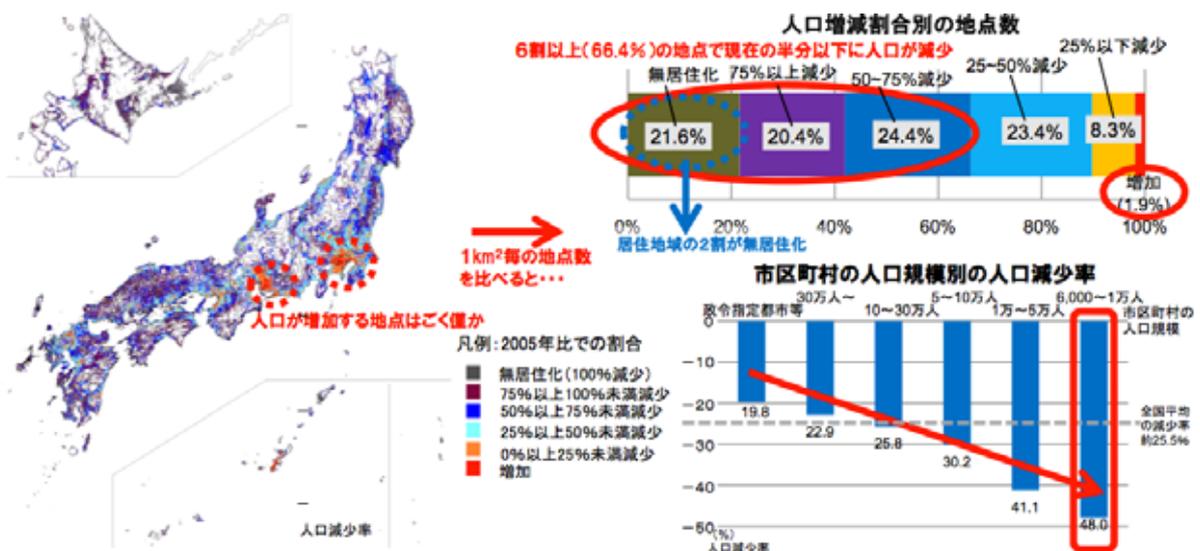


図 3.1.3-4 日本の高齢者人口

(国土交通省国土審議会製作部会長期展望委員会「国土の長期展望」
中間とりまとめ 平成 23 年 2 月 21 日より)

日本の人口増減を地域別で見ると、全国平均の人口減少率（2005 年比 25%程度）よりも人口が疎になる地点が過半数となっている。特に、人口が半分以下になる地点が現在の居住地の 6 割以上を超えるのに対し、人口が増加する地点の割合は 2%以下で、東京圏と名古屋圏とに集中している。東京圏は減少率が小さく、さらに 5 年毎に区切って減少率の推移をみても東京圏とそれ以外との減少率の差は拡大するため、東京圏の人口比率は指数的に増大する。東京圏では高齢人口の増加率は 90%、増加数は全国 1200 万のうち 500 万を占める。

市町村の人口規模別で見ると、人口規模が小さくなるにつれて人口減少率が大きくなる。特に、現在の人口が 5,000 人～1 万人の市区町村の平均では、人口がおおよそ半分に減少する。地域コミュニティの活性化が大きな課題となる。過疎化が進行する地域をみると、平均人口減少率は 60%を超え、全国平均 25%とは大きな差がある。2050 年までに、現在人が居住している地域のうち約 20%が無居住地となる。日本全体で土地約 50%に人が居住しているのが 40%に減る計算である。離島 258 島のうち 30 近い島が無人口となる可能性がある。

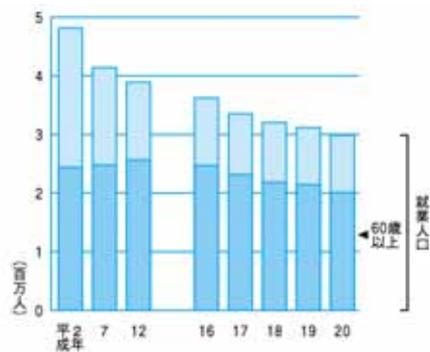


図 3.1.3-5 日本の農業就業人口（総務省統計局「日本の統計 2010」より）

将来無居住化あるいは低密度居住化する地域は、いまは農用地や植林地として利用されていることが多く、農業あるいは林業に関連する土地が 9 割程度を占める。生産年齢人口は総人口と同様に減少するのであるが、あらためてその減少率をみると、総人口の減少率 25%を大きく差のある約 40%である。減少数で見ても、総人口が 3,300 万人減るのに対して 3,500 万人減少する。

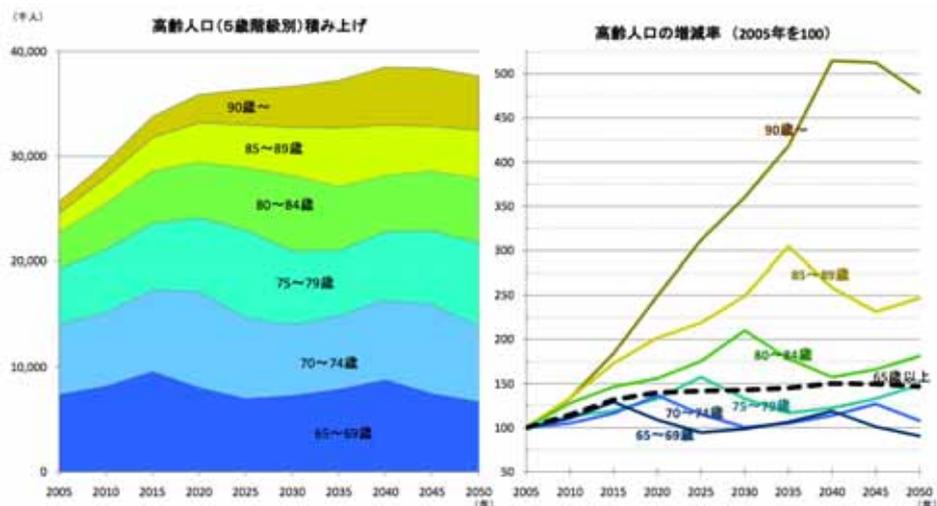


図 3.1.3-6 高齢者年齢階層別増加率
 (国土交通省国土審議会製作部会長期展望委員会「国土の長期展望」
 中間とりまとめ 平成 23 年 2 月 21 日より)

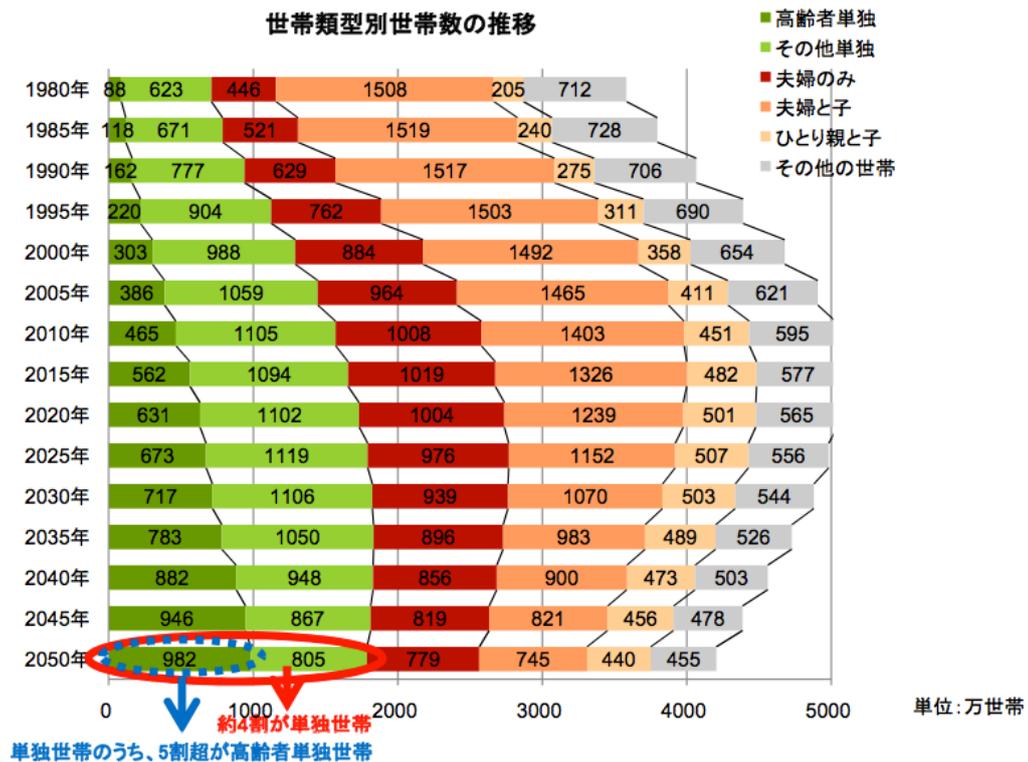


図 3.1.3-7 世帯類型別にみた日本の世帯数の推移
(国土交通省国土審議会製作部会長期展望委員会「国土の長期展望」
中間とりまとめ 平成 23 年 2 月 21 日より)

65 歳以上の高齢者 1 人あたりの生産年齢人口は現在 3 人弱程度であるが、2050 年までにほとんどの地点において 2 人を下回り、全国平均は 1.31 人となる。地域内の相互扶助力が大きく低下することが危惧される。

65 歳以上の高齢者人口を 65 歳～69 歳、70 歳～74 歳のように 5 歳ごとにみると、年齢が上がるほど増加率が高まる傾向にある。特に 80 歳以上の年齢階層についてみると、2050 年まで一貫して 65 歳以上で計算される高齢人口の増加率よりもかなり大きくなっている。

総世帯数は 2015 年までは増加し、その後減少に転じる。世帯数の減少は総人口の減少よりは緩やかに進む。総人口が 2005 年比で 25% 減なのに対して、総世帯数では 15% である。東京や名古屋圏では減少が小さく、特に東京圏は 2050 年まではほとんど減少しない一方、地方ではほとんどのところで 3 割近く減少する。昭和から平成にかけて主流であった家族類型の「夫婦と子」からなる世帯は 2050 年には 750 万世帯程度となる。単独世帯が 1,800 万世帯近くなり、全体に占める割合が 4 割程度となる。高齢者単独世帯の割合は 50% を超え、2050 年まで増加が続く。高齢者単独世帯数は 150% 以上と高齢人口の増加率 45% を大きく上回って増加するが、特に東京圏では高齢者単独世帯数増加率は 210% をこえ、現在の 3 倍以上に増加する。

認知能力低減の支援を含めた介護が、人口減少、高齢化率増大、大都市集中化、地域内での都市圏集中化、人口減少が遅い大都市圏においても起こる急速な高齢化といったかたちで、人のみによる実現可能性がみえにくくなっているなか、システムや機器による介護の支援や介護作業代替そのものを要請している。

3.1.3.2 サービスイメージ

人の代替を目指すロボットとそれに基づくサービスから、人を見守るサービスまで、5 つに分けてイメージを検討する。

a. 人の代替を目指すロボット

高齢化がすすむなか、身体機能の低下、精神的機能の低下。人には多様な変化がうまれる。介護生活をアシストする機器として、ロボティクスをベースとした「介護生活アシスト型ロボット（パナソニック ロボティックベッド）」などといったものが提案・開発されている。例えばロボティックベッドは、ベッドと車椅子が双方向に形状変化する機械で、東京大学強調知能システム研究室が提唱した「環境型ロボット」のコンセプトをベッドの形で実現する、いわばベッド型のロボットである。介護を必要とする人も臥床状態から座位にスムーズに移行でき、安心して活動的な自立生活を送ることをアシストする機能を想定している。自らの意思で食卓テーブルに容易につける、家族の団らんに集うといったことの実現をねらったプロトタイプである。自動変形したり障害物を回避したりすることで、ベッドや車椅子の操作・操縦を安全にアシストする機能、対話インターフェースや直観的コントローラで簡単に操作できる機能、クッション形状変化や寝返りアシストで姿勢に合わせて人体サポートする機能、テレビ視聴やネット家電連携ディスプレイで体勢にあわせた情報提供をする機能を有している。このような、現存の人によるケア技術にロボティック技術を融合あるいは導入し、人の代替を目指すのが、介護ロボットのサービスイメージの大きな核の一つである。



ロボティックベッドを開発
(2009年9月 パナソニック)

図 3.1.3-8 パナソニックロボティックベッド (パナソニックウェブページより)

b. 人の身体機能を助けるロボット

筑波大学発サイバーダインの「HAL」のようなロボティック技術に基礎を置くアシスト機械が着目されている。ロボットスーツは、モータやなんらかの人工筋肉動力を用い、人体に装着する外骨格型の装置である。まれに衣服型の意匠の場合もある。パワードスーツ、パワーアシストスーツとよぶべきもので、人間の筋力不足を補う目的で着用するタイプの機械であり、本来は建築

現場など人の力を遙かに超えて作業効率をあげるためのものであった。介護を念頭においたものは、GEのHardyman(1968)をはじめとして多く提唱・開発されてきており、全身補助をイメージしたいわゆるコンセプトモデル的なものから、腰・膝の動力補助に注力したリアリティの高いものまでさまざまである。



図 3.1.3-9 HAL(Hybrid Assistive Limb) (サイバーダイナウェブページより)

少子高齢社会の進行で、老々介護が現実化するなか、介護労働力が純粋に不足することについての懸念が高まっており、ベッドから車椅子への移動、抱き起こしなどといった体力的負担を補う意味でも、パワーアシスト技術の開発への期待は大きい。筋電位測定に基づくアシストが実現されたとされており、頑健で精度良い推定が保証されれば筋電義手以上のインパクトを社会にもたらすと考えられる。

c. 人の身体機能低下を予防するロボティック機器

高齢化は、病気や怪我への対応力の低下と関係する。骨粗鬆症の回復の遅れによる外出力低減で元気がなくなる老人の話、入れ歯になじめないことでの食欲の減退の話など、極めて良く耳にする時代である。身体機能の低下は、精神への影響も当然あり、その予防は社会全体の健康という意味でも重要である。

高度なロボティック技術に限らず、センサデータに基づいてちょっとした制御を行うアクチュエータ機器を身体機能低下予防機器に利用することは、ある意味重要なオープンスペース（未開拓市場）であると考えられる。医療機器としての認証が得にくくとも、健康保持機器としての開発もありうる。



図 3.1.3-10 横浜ゴム Medi-Air クッション (Response.jp より)

たとえば、横浜ゴムはとこずれ防止に効果があるとする車椅子用のエアセルクッションを開発している。とこずれ・褥瘡の主因は圧迫による血流の低下とされており、車椅子は上半身の重みが座骨結節に集中するため、床ずれ発生危険度が極めて高いという問題があった。臀部がクッションの底についた場合に、センサが検知し自動的に空気をいれ座面を再浮上させる機能について、ロボティック技術を活用し、床ずれ予防に役立つ機器として実現した。一回の充電で 10 時間使えるというような、現実的な使いやすさへの配慮もしている。

ロボティックスの技術を身体機能低下の予防につなげる研究開発は、その可能性の広さに比べ、まだまだ少なく、基礎学術研究レベルのものを小規模でも実体あるものにする開発型研究へのさらなる支援がのぞまれる。

d. 人の精神機能低下を予防するロボティック機器

身体的機能低下と精神的機能低下は密接な関係がある。すなわち、健康な体が健康な心を保つと同時に、逆に健康な精神状況は、身体的な健康にも貢献する。

例えば、パロと呼ばれる癒しの動物型ロボット研究の一環で産業技術総合研究所で開発されたアザラシの仔を模したぬいぐるみのような外観のロボットがある。これは名前をつけるとそれに反応するようになったり、声をかけたりなでたりすると鳴き声で応えたり、また頭、まぶた、前脚・後脚が動く。パロが動物に似たような反応を示すことから、パロとふれあうことにより、アニマルセラピーと同様の効果が得られるとされている。これにより、心理的なストレスを低減したり、精神的に活性度があがったりする効用が期待されている。実際の動物を連れ込んだり飼ったりしにくい施設や動物を飼うことが困難な家庭へ導入することを念頭に実用化開発が進められ、デイサービスセンターや介護老人保健施設などで私見が行われた。メンテナンス費こみで販売されており、特にまず欧州において実適用が期待されている。

高齢者を元気づけ、動機づける効果、ストレスを低減し血圧や脈を安定させる効果、コミュニケーションを活性化する効果などが想定されており、また看護師や介護者のバーンアウトによる心労の低下についてはエビデンスも出始めており、有用性が確認されつつある。



図 3.1.3-11 アザラシ型ロボット パロ (知能システムウェブページより)

施設収容者数の増大、老々介護など、高齢社会の深まりは、高齢者自身の精神的機能低下のみならず、周囲の介護者や家族・関係者の心理的・精神的負担を増大させる。精神的低下を予防するためにロボティックスの技術を活用することは、潜在的なフィールドが非常に大きいと考えられる。

e. 人を見守るロボティック機器

高齢化社会は、高齢者にも社会に貢献しつつけていただく、高齢者にも勤労による生産と充足感による活力の確保を期待する。栄養事情や生活スタイルの変化から、日本の高齢化社会はこれまでにない元気な高齢者が多いシーンとなることが想定される。一方、十分なエビデンスは示されていないものの、認知症あるいはそれに近い状態となる高齢者は相対的に増加して見えてくるのではないかとされている。

高齢者にはさまざまな形での見守りが必要となる。ここでは認知症について注目する。高齢化が進むなか、2025年には高齢者の550万人は認知症となると言われており、これは2005年の2倍にあたる。特に身体機能も低下しがちな後期高齢者での増加の割合が多いことがみこまれ、その独居率の高さを考えると、なんらかのかたちで生活状況からすばやく認知症の予兆を検知するような見守りの和が必要であろう。2000年代前半に東北大学により行われた田尻プロジェクトでは、認知症と診断される割合は低くとも、それに近いいわゆるMCI(Mild Cognitive Impairmentの略)の比率は、80歳以上では2人に1人以上と判っており、また65歳から69歳という初期高齢者においてもMCI率は40%近いとされている。これは、老々介護のシーンとあわせて考えると、認知能力の低下への気づきはますます遅れがちであることを示しており、週一回程度の訪問面談や月一回程度の通院では対応が困難であることが容易に推察される。

	2005	2010	2015	2020	2025
65-69歳	120	133	153	132	114
70-74歳	271	283	314	362	313
75-79歳	507	571	600	666	772
80-84歳	725	911	1,032	1,090	1,216
85歳以上	1,377	1,810	2,326	2,792	3,113
合計	2,999	3,708	4,424	5,042	5,528

図 3.1.3-12 日本の認知症高齢者の将来推計 (エイジング総合研究センター)

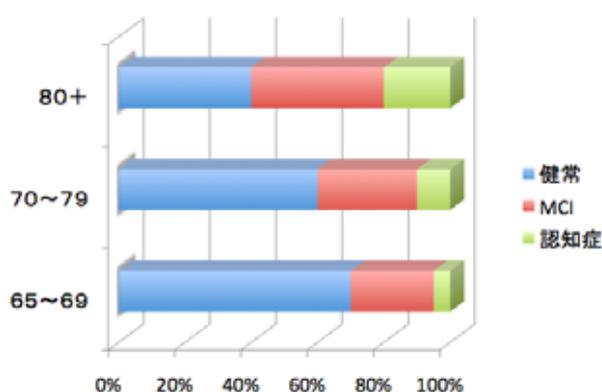


図 3.1.3-13 Mild Cognitive Impairment(MCI)という概念 (東北大学 目黒教授 田尻プロジェクト 2004)

地域、自治体で、総体として、居住している高齢者を広い意味で見守り枠組みが不可欠であり、健康・疾患というプライバシー度の高い情報を扱うことに配慮しつつも、やはりセンサ・情報処理技術を導入することで、少しでもはやく確実に事故の発生や異変の検知を行う機器・システムを実現することには、大きなニーズがあると考えられる。

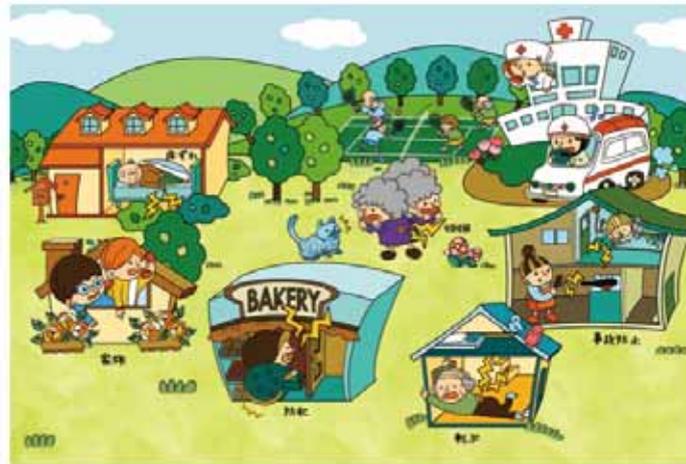


図 3.1.3-14 センサ技術に基づく見守りサービスのイメージ (@Taketoshi Mori)



図 3.1.3-15 部屋毎に設置した焦電センサによる生活行動見守りシステム
(立山科学、東京大学)

見守りシステムとしては、たとえば、定期的に単身高齢者等へ「お元気コール」などで連絡するもの、水道や湯沸かし器あるいは電気ガスの使用状況をもとに安否チェックを行うもの、双方向通信システムを配置して日常の安否確認や緊急時通信手段を提供するもの、など多様なものが提案・実用化されている

(みまもりネット <http://service.panasonic-denkois.co.jp/mimamori/>

みまも〜る <http://home.tokyo-gas.co.jp/mima/>

みまもりほっとライン <http://www.mimamori.net/>

立山緊急通報システムコールセンター http://www.tateyama.jp/product/sy_report.html など)。

また、生活支援型ネットワークロボットとしてさまざまな情報をインターネットから取得し、個人にあった地域の多様な情報を提供して高齢者の自発的行動の促進もはかる高齢者コミュニティ活性化技術 (NEC) も開発されつつある。

このような見守りシステムは、単にその時点のデータに基づく支援のみならず、長期間データ

を蓄積することにより、本人や地域高齢者全体の「像」を蓄え理解することが可能とするわけであり、統計科学の活用、すなわち数理科学や数理工学を導入した新たな疫学によるサービスの展開の礎となると考えられる。昨今のロボティクスにおいて最も進展している技術ともいえる確率的フレームワークの展開は、高齢化社会における見守りサービスとして、実体ある具現化が早いのではないかと期待できる。

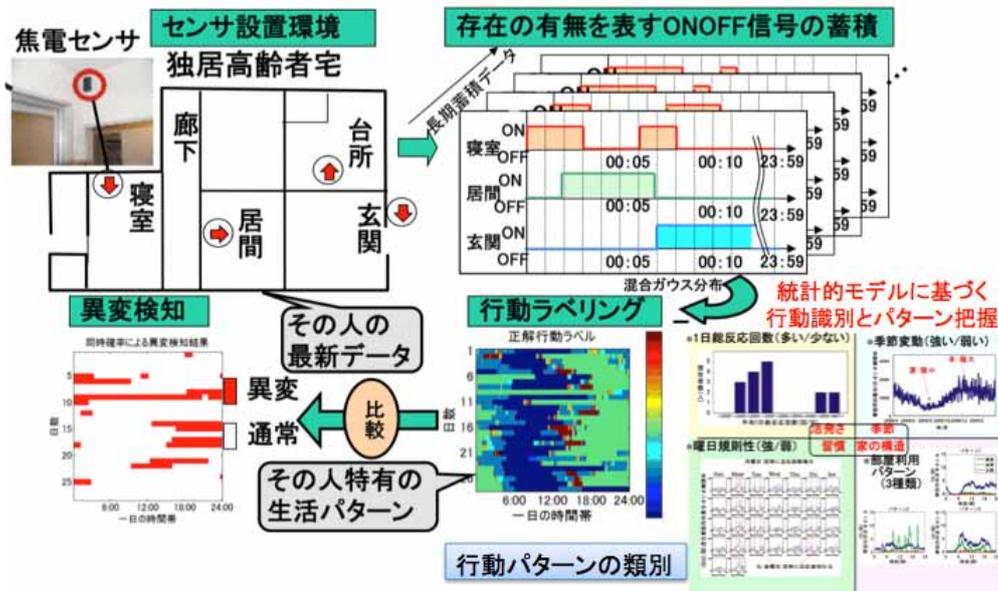


図 3.1.3-16 焦電センサデータに基づく生活パターン把握と異常検知（東京大学）

「まとめ」

人の代替を目指すロボットとそれに関連する技術についてなどまだまだ成熟にいたらない領域もこの分野では多い。一方、パロのように一定の評価を得て実際の場で少なからず間接的にであれ成果をあげつつあるものもある。高度なロボティック技術を最大限に活用した大がかりな商品によるサービスをイメージしてそこからトップダウンにひろげていくのではなく、Medi-Air やパロのような小規模のものから、スパイラルループを登るように少しずつロボット技術・センサ技術・アクチュエータ技術の介護分野における有用性をしめし、実地における安全性や安心感の提供を進め、現場における需要を展開していくのが重要であると考えられる。これにより、やがて家庭や施設で自立的・自律的に動き回る移動ロボットや、自動的に変形する家具・寝具・トイレ・バス・階段といったものが許容されていくのではないかと考える。

3.1.3.3 その他制度など産業化を阻む弊害を含む課題

介護、医療の現場では、急速に「エビデンスベース」の概念・実装が広まっている。多くの分野においてコンセンサス文書やガイドラインが整備され、疾患症状や経過の評価が可能なかぎり客観的に比較可能な形で行われるようになりつつある。介護保険制度も関連している。

例えば、とこずれについては、褥瘡対策が厚生労働省が定める基準に達していない場合には医療保険がマイナスになるいわゆる未実施減算が導入されている。医療機関や医療従事者はこれに対応するとともに、さらに定量評価可能な規範をもとに行動している。日本褥瘡学会が、DESIGN

あるいは下記のような DESIGN-R と呼ばれるガイドラインを作成し、多くのナース・医師がこれについての意識をし活用している。このように、多くの医療・介護分野でエビデンス・定量化が、工学的立場から想像する以上に進んでいる。定量化やエビデンス作成それ自体が大きな領域となっているということでもあり、センサの活用、アクチュエータによる刺激へのレスポンスのセンシングなど、人による観察を超えた客観データを得るシステムの導入は、ロボティック技術が適用できる大きなフィールドでもある。

■日本褥瘡学会編/医療・GL(09年)/ガイドライン

DESIGN-R 褥瘡経過評価用

		カルテ番号 ()		患者氏名 ()		月日	/	/	/
Depth 深さ 創内の一番深い部分で評価し、改善に伴い創底が浅くなった場合、これと対応の深さとして評価する									
d	0	皮膚損傷・発赤なし		D	3	皮下組織までの損傷			
	1	持続する発赤			4	皮下組織を越える損傷			
	2	真皮までの損傷			5	関節腔、体腔に至る損傷			
					U	深さ判定が不能の場合			
Exudate 滲出液									
e	0	なし		E	6	多量：1日2回以上のドレッシング交換を要する			
	1	少量：毎日のドレッシング交換を要しない							
	3	中等量：1日1回のドレッシング交換を要する							
Size 大きさ 皮膚損傷範囲を測定：[長径 (cm) ×長径と直交する最大径 (cm)]									
s	0	皮膚損傷なし		S	15	100以上			
	3	4未満							
	6	4以上 16未満							
	8	16以上 36未満							
	9	36以上 64未満							
	12	64以上 100未満							
Inflammation/Infection 炎症/感染 以下略									

図 3.1.3-17 日本褥瘡学界ガイドライン DESIGN-R

(執筆担当：森武俊)

3.1.4 住宅分野

3.1.4.1 社会要請

“住宅が雨風をしのぐ箱”から、“住まいを営む場”としての位置づけされ、住宅メーカーは様々な試みを行っている。そういう意味で住宅は、100年住宅として箱としての寿命を保証すると同時に、住む人のフェーズによって営みの形態を変えなければいけないという、相反する二つの要求仕様を満たさなければいけない。

ここでは、“典型的な戸建て住宅に住む家族のライフサイクル”を以下のように想定し、“住宅分野における理想的なグランドデザイン”を策定し、それに必要な“サービス”を検討する。

【典型的な戸建て住宅に住む家族のライフサイクル】

- I期 30歳：第1子誕生、新築一戸建て
- II期 40歳：第2子誕生、親と同居（同居家族5-6名）
- III期 50歳：第1子自立
- IV期 60歳：第2子自立、親と死別（同居家族2名）、第二の職場
- V期 70歳：完全リタイア

40歳台は多い時に5-6名の家族が住まうが、60歳を過ぎると一気に2名となり、当初4LDKでも狭い住環境であったものが、60歳を過ぎると通常使う部屋は限られ、使わない部屋は物置化する。さらには、70歳を過ぎると、一戸建てはメンテ等の面からも高齢者には負担となり、マンション住まいの方が気楽となる。

住宅を考える場合、必要となるのは、上記のような30年スパンでの家族の住まいをどのように設計し、箱としては100年もつものの、30年スパンでの家族の幸せな生活をどのように設計するか、という幸せな住まいをコーディネートしてサービスするという、単に箱ものとしての住宅を提供するだけではない、サービスプランナーが重要である。

また、住宅を地域の中でどのようにグランドデザインし、提供するかという観点も重要である。例えば、ニュータウン構想は日本の中でも数多くあり、高度成長期には、上記のI-II期の需要を満たすために、住宅地開発と住宅販売が非常に短期間で行われてきたが、30年を過ぎた現在では、III-IV期を経て、ニュータウンの人口は激減し、ほとんどの住宅がV期の世帯となると、働く人はなく活気はなくなり死んだ街が多く見かけられる。街が死ぬと、インフラや商店が撤退し、いわゆる陸の孤島となり、さらに街の人口が減るという悪循環が繰替えされる。

千葉のユーカリが丘を開発した山万は、長期ビジョンを持った街づくりを独自に繰り広げ、短期的なニュータウンの開発と売りきりをせず、IV-V期に入った人には、戸建住宅を買い取り、マンションへの移住を斡旋、さらには買い取った戸建をリホームし、I-II期の世代に安く提供・再利用することで、**街の持続的な発展**を実現している。さらに重要なことは、IV期の親から自立した子が、同じ街に、親の近くにI-II期として住まうことで、親への心配と、子供の育児の問題を両立させる、世代を超えた円滑な人的なコミュニケーションを実現（同居ではなく“近居”）し、第2世代、第3世代が同じ街に住みたいという理想的な環境を作り出している。この環境を実現するに当たり、山万は街に必要なインフラとして、商店だけにとどまらず、交通機関や警備会社までも、自社で提供しているという。恐らく不動産販売を、単なる土地・建物の売り買いとしてはとらえずに、“**サービス提供による顧客創出**”ととらえていることが、成功の秘訣ではないかと考える。

このようなグランドデザインを明確にし、その中で必要とされるサービスや技術要素を明確にするのが肝要かと思われる。そういう意味で、住宅分野へのグランドデザインを作るための

要求事項としては、以下のようなものとする。

【住宅分野における理想的なグランドデザイン】

- 100年住宅（耐久性）かつエコ（エネルギー自給率 100%）
- 住む人のライフサイクルに柔軟に対応できる住宅（スケルトン&インフィルなど）
- 街の持続的な発展（世代を超えてサービスを提供し続けられる街）
- 世代を跨ぎ街の中での社会への係わり（各世代で社会参加・助け合い可能な街）

3.1.4.2 どういうサービスで要請に応えるのか

- ・サービス 1：エコ・サービス
従来研究：省エネデバイス開発など
研究／技術課題：
 - 助け合いによる街全体でエコ→スマートグリッドなど
 - 街全体としてエコサービス→コンパクトシティ構想（モビリティなど）
- ・サービス 2：柔らかい住宅サービス
従来研究：リホーム・リハウス
研究／技術課題：
 - リホーム・リハウスを安心して出来る技術（住宅の電子カルテ化）
 - スケルトン&インフィル技術による住宅設計技術
- ・サービス 3：安心・見守りサービス
従来研究：警備システム
研究／技術課題：
 - 遠くの親戚より近くの他人
 - 高齢者でも警備の手助けが出来るシステム
- ・サービス 4：高齢者問題と育児問題を同時に解決サービス
従来研究：介護ホームと保育所
研究／技術課題：
 - 社会参加を手助けするシステム
 - 社会の中での気付き支援システム

3.1.4.3 その他の課題（制度など産業化を阻む弊害）

- 通信インフラなどの規格化（ECONET の失敗）
- AC/DC 電源の規格化（太陽光から LED への効率の良い電気の地産地消）
- 不動産所得税等の軽減による、世代を超えた不動産の循環
- IV、V 期の人材の働く場の提供

（執筆担当：大場光太郎）

3.1.5 環境分野

3.1.5.1 環境分野における社会要請

環境分野としては、環境事業（廃棄物などの処理）に関わる作業と環境保全に関わる作業が考えられる。環境事業に関しては、作業対象物として、様々なものが混在し、場合によっては人体に有害なものも混在する可能性がある。そのようなことから、ロボット関連技術の適用が期待おり、以下の項目があげられる。

(i) 環境プラントにおける作業

主に、混在しているものの分別作業に自動化のニーズがある。

(ii) 環境プラントのメンテナンス作業

環境関連のプラントにおいては、処理しているプロセスで有害物質を取り扱うことも多いことから、設備のメンテナンス作業の無人化ニーズがある。

(iii) 環境プラントの解体作業

主にゴミ焼却場などのスクラップアンドビルドなどにおける解体作業において、有害物質のある環境も少なくないことから、無人化解体などの技術が求められている。

また、環境のためのインフラである下水道の補修作業が今後課題となってくることから、検査・メンテナンスの自動化が求められている。

環境保全に関わる作業としては、環境のモニタリング（3.1.6 で取り上げる）と環境を改善するための作業がある。基本的なものは、屋外清掃（海岸など）、森林などの保全（林業分野）、土壌改良などがあるが、ニーズとして明確になってきているものは多くない。

3.1.5.2 環境事業に対する対応

① 環境プラントにおける作業

(i) ガラス瓶選別/プラスチック容器選別システム（事例）

リサイクル規制に伴い、ガラス瓶、ペットボトルなどのプラスチック容器の回収とリサイクルが始まり、いくつかの自治体に選別システムが導入された。求められる技術としては、高速に容器を見分けるセンシング技術と選別するメカニズムが挙げられる。選別を誤ると、再資源の価値が下がることから、確実な選別が課題である。

いくつかの導入事例があるが、分別回収に取り組むなど、問題解決方法が別の形になって、広く普及はしなかった。また、人手の作業でも、それほど危険な環境ではないので、差別化が難しい。

(ii) インバースマニュファクチャリング技術（研究）

廃棄物の再資源化に必要な分解作業に対して、様々な技術を適用するという観点で、インバースマニュファクチャリングが提唱され様々な研究が進められた。取り付けねじの認識と取り外し、分解作業の自動化などにロボット技術の適用が検討されてきた。

家電リサイクル法の制定などにより、分解・選別の作業が発生するようになったが、現状では

人手による作業にとどまっている。家電リサイクルでは、分解対象の製品が多岐にわたり、分解の手順なども様々で、現状の技術では分解作業を自動化することが難しい。

比較的、品種が少ない回収・分解のモデルとしては、OA 機器（コピー機など）が挙げられる。業務用 OA 機器は、リース、レンタルが中心で、寿命もそれほど長くないことから、自社製品の数年の範囲内での型式での回収となる傾向がある。このような好条件でも、現状では技術的な課題とコストの問題から、人手による作業にとどまっている。

今後の課題としては、様々な機器の分解作業（ねじ、かしめの解体）、部品の分別作業など、システムとして技術を構築していく必要がある。

② 環境プラントのメンテナンス技術

ごみ焼却場煙突清掃ロボット（事例）

ごみ焼却場のメンテナンス作業改善として、煙突の清掃自動化システムが実用化されている。これは、粉塵の劣悪な作業環境からの開放だけでなく、作業のための段取りである足場設置が不要になる。この結果、作業時間とコストが大幅に削減される効果が得られる。ただし、この効果は清掃作業のサービスを提供している事業者の利益となる。また、メンテナンス作業であるので、装置台数はそれほど必要とならないので、ロボットビジネスとしては大きなものとならない。

③ 環境プラントの解体技術

ごみ焼却場の解体作業の無人化（研究）

環境対策の問題から、古いごみ焼却場の解体作業が多く発生することとなった。この作業環境では、有害物質の粉塵環境であることから、無人化技術の要求が高い。しかしながら、不定形作業が多く、課題が多い。

3.1.5.3 環境インフラに対する対応

公共下水道の壁面リニューアル（事例）

大型下水管の内面補修の自動化システムが開発されている。補修のための材料とともに自動化機械が開発されている。

3.1.5.4 その他の課題（制度など産業化を阻む弊害）

環境分野は、マイナスを 0 に近づける仕事であることから、投資意欲を起すことが難しい。具体的な事業になる分野は、公共事業か法律による規制に基づくものが多い。

一方、対象とする作業は、変形したもの、不定形なもの、不特定多数とロボット技術適用の障害となる作業が多い。社会的なニーズはあるので、政策的に取り組む価値は高い。

（執筆担当：村上弘記）

3.1.6 環境モニタリング分野

3.1.6.1 社会要請

「環境モニタリング」とは、すなわち自然環境の動態を常時把握することであり、ライフ&グリーンイノベーションのスコープの中では、特にグリーンイノベーションにつながる重要なサービスの一つに位置づけられる。気候変動や資源賦存量の把握、資源開発時の環境影響評価、沿岸域の保全等の課題は、それぞれ地球温暖化やエネルギー・食糧問題に直結するものであり、これらの課題に対処するためには、適切な手段で環境モニタリングを行う必要がある。しかしながら、現在までのところ、たとえば広域にわたる気候変動把握の手段として、人工衛星等を用いたリモートセンシングが主に用いられるが、原位置でのパラメータを仔細に計測することはできていない。また、エネルギーや鉱物資源の開発においても、海底や極地といったアクセスの困難な環境・地域を対象を広げつつあり、それらの賦存量の把握はもちろん資源開発を行う際の環境影響評価の手法など、確立すべき技術は山積している。さらに、安全な食料を安定的に供給するためには、土壌や沿岸域などにおける環境の把握が必要不可欠である。こうした社会的要請を解決する手段として、フィールドに環境モニタリングのためのセンサを搭載したロボットを展開し、必要な情報を常時獲得するとともに、予想される環境条件の悪化等に対して迅速に対応するサービスを考えることができる。すなわち、ロボットを環境モニタリングのための移動プラットフォームと位置づけ、海洋や河川等の水圏環境ならびに森林や田畑等の陸圏環境の変動を様々な角度から計測することが可能となれば、気候変動把握や資源・エネルギー開発、食糧安定供給等のグリーンイノベーション分野における社会的要請に応えることができる。



図 3.1.6-1 海中移動プラットフォーム（ロボット）の具体例

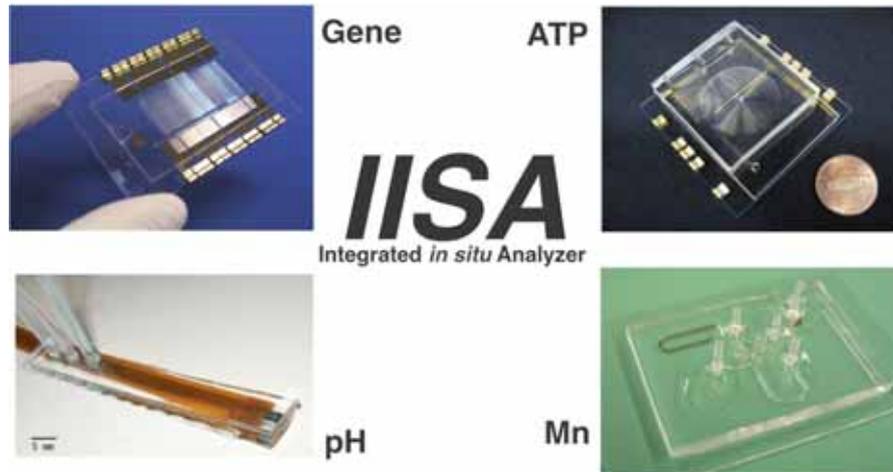


図3.1.6-2 原位置計測システム（センサ）の例

3.1.6.2 想定しうるサービス

サービス 1：マルチロボット展開による気候変動の広域計測

①従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

フィールドに展開可能なロボットは数多く開発されてきているが、科学目的でスポット的な環境計測を行うケースがほとんどである。複数のロボットすなわち移動プラットフォームを展開して、気候変動把握のために必要な環境パラメータを常時計測するサービスイメージを描くことができる。

②研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

- ・水圏・陸圏・極地等それぞれの環境に対応した移動プラットフォームの開発
- ・搭載するセンサ類の開発
- ・複数プラットフォームのコーディネーションとデータ統合技術の開発

サービス 2：資源開発のための環境モニタリング

①従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

海洋底に代表されるように、近年、資源開発の対象となる環境は拡大しており、よりアクセスの困難な場への展開が求められるようになった。すでに海洋鉱物資源等を探査するための移動プラットフォームやセンサの開発が進みつつあるが、例えばエネルギー資源や生物資源の現存量をより効率的に捉える手法の開発などへと発展させる必要がある。さらに、実際に資源開発を行う上では、資源を産出する際に環境に対してどのような影響が起こりうるかについて評価する手段を考えることも残された課題である。

②研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

- ・水圏・極地等アクセスの困難な環境に対応した移動プラットフォームの開発
- ・資源探査のための高度なセンサ類の開発
- ・移動プラットフォームを用いた環境影響評価技術の開発

-NT10-16航海- 今回発見された新たな熱水サイト

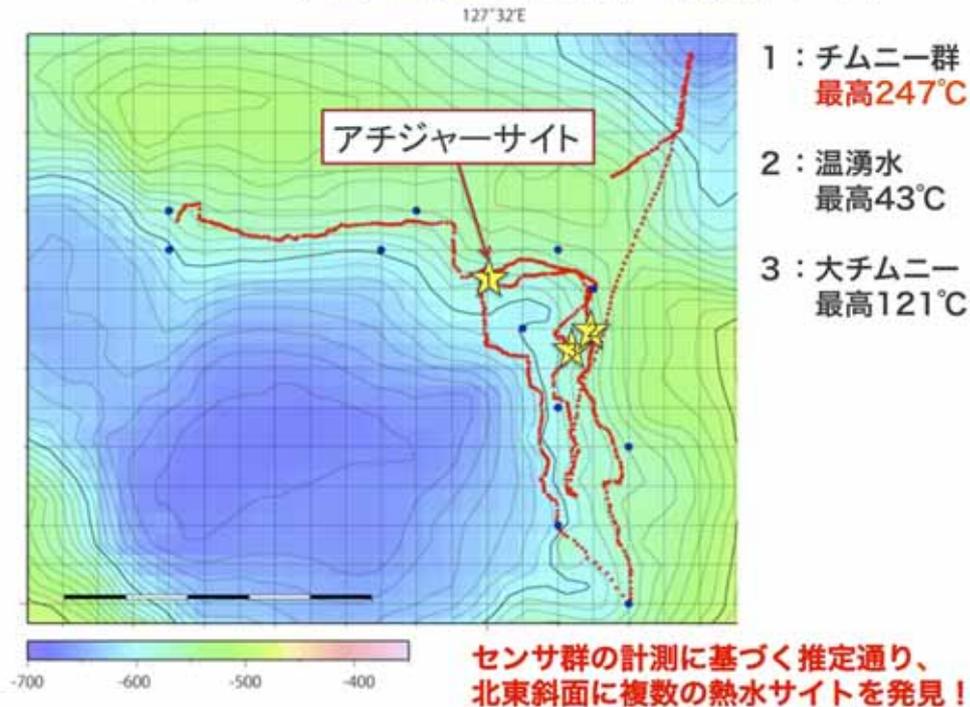


図 3.1.6-3 移動ロボットとセンサ群の組み合わせによる熱水活動の発見例

サービス 3 : 沿岸域の保全・セキュリティのための環境モニタリング

①従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

沿岸域の環境をモニタリングすることは、特に養殖漁業に代表されるような水産資源の安定的供給や、その安全性を確保する上で重要である。従来は小型船舶による定期的な計測等が行われてきたが、RT を導入することによって、これを自動化・広域化することが可能である。この技術は水圏のみならず、陸域の食糧生産現場等にも展開可能である。フィールドに展開可能な移動プラットフォーム技術を確立し、実用的なセンサ群を搭載して、たとえば赤潮発生の早期検知など、具体的な現象を対象とした計測に結びつける技術を開発することが求められる。

②研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

- ・水圏・陸域などフィールドに展開可能な移動プラットフォーム技術の開発
- ・環境動態を計測するためのセンサ類の開発
- ・センサ類の計測データから具体的な現象解析を行う技術の開発

3.1.6.3 その他の課題（制度など産業化を阻む弊害）

フィールドで用いることの可能な移動プラットフォーム技術は、その技術の特殊性から RT のメインストリームにはなっておらず、宇宙応用をのぞけば新しいロボットのコンセプトを生み出すような学術的基盤が形成されていない。より実用的な環境で実験を行うことができる機会を広くロボット技術者・研究者に拡大するような制度的、財政的サポートを考える必要がある。

（執筆担当：藤井輝夫）

3.1.7 原子力分野

3.1.7.1 原子力分野における社会要請

社会要請： 地球温暖化対策と電力の安定供給

◆原子力への期待：

「エネルギーの安定供給の観点のみならず、地球温暖化対策の観点からも原子力エネルギーに対する期待が、顕著に高まってきている。」(原子力白書 P.16)

「原子力発電システムを海外に輸出することにより、経済成長のみならず地球規模での地球温暖化対策への貢献を果たしていくことも期待できる。」(原子力白書 P.21)

◆国際展開に向けた基本戦略：

- ①国内のサイクル産業基盤強化と国際連携
- ②電力・メーカー連携促進、官民連携の促進
- ③積極的な原子力外交の推進
- ④人材、金融、精度面での環境整備
- ⑤素材・部材産業まで含めた技術力の強化

(経産省総合資源エネルギー調査会原子力部会：原子力国際戦略検討小委員会
平成 21 年度原子力白書 p.37)

◆海外受注に向けた国際原子力開発（株）の設立（2010 年 10 月 22 日）

http://www.tepco.co.jp/cc/press/betu10_j/images/101015a.pdf

産業界が求めていること

◆国内プラントの安全運転、既存プラントリプレースおよび新規プラント建設への対応

- ・安定対応のための技術力・人材の維持が課題

◆原子力産業の輸出

- ・プラント本体だけでなく、周辺産業やアフターサービスを含んだ大きな市場を創出したい

お客様から求められていること

◆安全であること

◆安価であること

- ・低建設コスト、短期建設工期
- ・プラントの長期供用、高稼働率、定期検査期間短縮
- ・低被ばく、省廃棄物

◆便利であること

- ・さまざまなニーズ（プラント立地条件、経済状態など）を抱える諸外国のお客様のニーズにワンストップで応える体制
- ・オペレーションのトレーニングなど運用にあたってのノウハウの提供
- ・メンテナンス、燃料供給（FE）および処理（BE）、（場合によってはプラント運営）、将来の機器リプレースや廃止措置まで見据えた継続サービスの提供
- ・総合的なエネルギー供給インフラの提案

これらお客様のニーズに応える国際競争のなかで、日本の強みを生かせるポイント

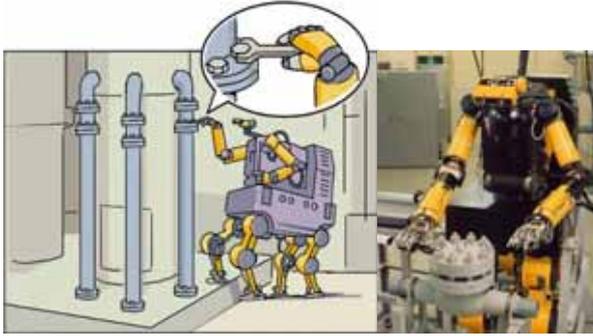
◆世界第 3 位のプラント建設・運用実績 および 廃止措置に対する技術開発の実施

(現状：原子力発電所 54 基、電力シェア 26%、さらに 15 基建設、発電設備容量で世界 3 位。原子力白書 p.94)

- ・安全運用のための基準の作成支援、ノウハウの提供・人材育成助成
 - ・将来へ向けての技術開発サポート
 - ◆ロボット技術を適用した高度なプラント保全実績
 - ・人が作業できない部位や状況（高温、水中、高放射線など）でのメンテナンス
 - ・ロボット技術適用によりメンテナンス時間を短縮し、プラントの利用率を向上させる
 - ・ロボットの正確性・再現性を生かした保守データの定量化・エビデンス化およびトレーサビリティ確保
 - ・最新情報（学会の研究成果や、他プラントでの施工情報など）を反映した保全技術の新規開発などが挙げられる。
- 以下の項では、特にロボットに関して述べる。

3.1.7.2 どういうサービスで要請に応えるのか

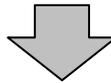
原子力プラント保全作業の低被ばく化・効率化を狙い、作業をロボット化する技術開発に対して、過去いろいろな形で国からの支援があった。（例：極限作業ロボット、知的保全システム、防災支援ロボットなど）それぞれのプロジェクトで開発したロボット技術は、原子力プラントで人に代わって保全作業を行うシステムに生かされ、被ばく低減・作業工程短縮およびプラントの安全運転に貢献しており、世界でトップレベルにある。高度なロボット技術が原子力発電プラントの保全工事で実用化されている例を示す。



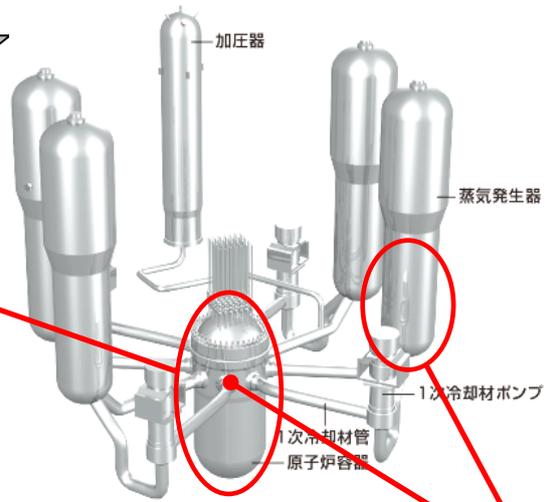
通産省「極限作業ロボット」(1983-2000年)
 繊細な作業が可能なマニピュレータを開発



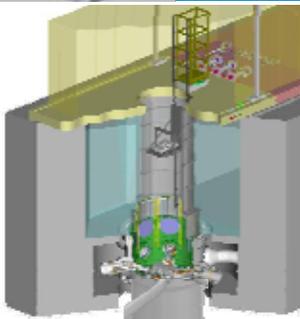
通産省「知的保全システム」
 水中の移動機構と位置標定技術を開発



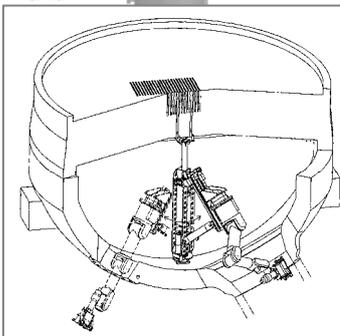
原子力発電プラント (PWR プラントの例) で
 高度なロボット技術が実用化されている状況



原子炉容器 自航式超音波探傷システム



蒸気発生器管台
 ピーニングシステム



原子炉容器管台
 溶接補修システム

図 3.1.7-1 原子力発電プラントの保全工事で実用化されているロボット技術

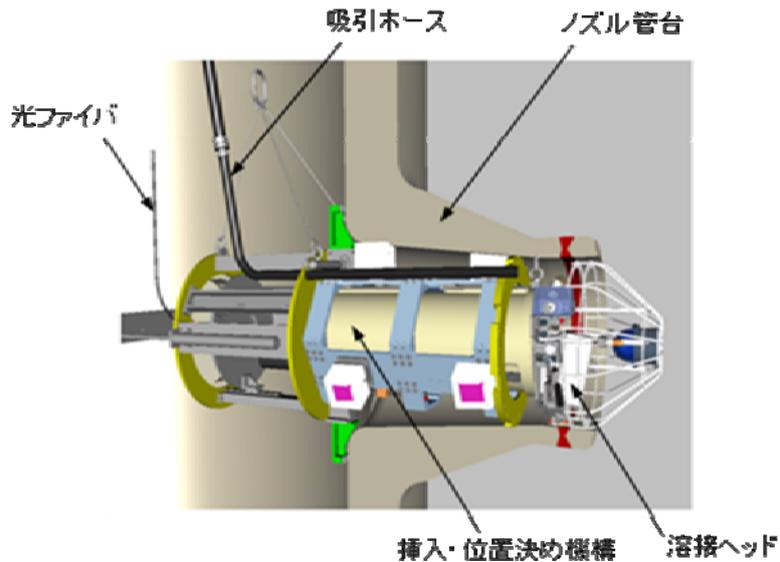


図 3.1.7-2 原子炉容器管台用水中レーザ溶接装置

原子炉内の水中環境において、施工対象の部位にシールドガスを供給することで局所的な空洞を確保し、その空洞内にレーザ光を照射しながら溶接ワイヤを供給することで溶接を行う水中レーザ溶接装置。溶接ヘッドを管台の軸方向に位置決めしながら周方向に旋回して管台内面の全周溶接が可能である。

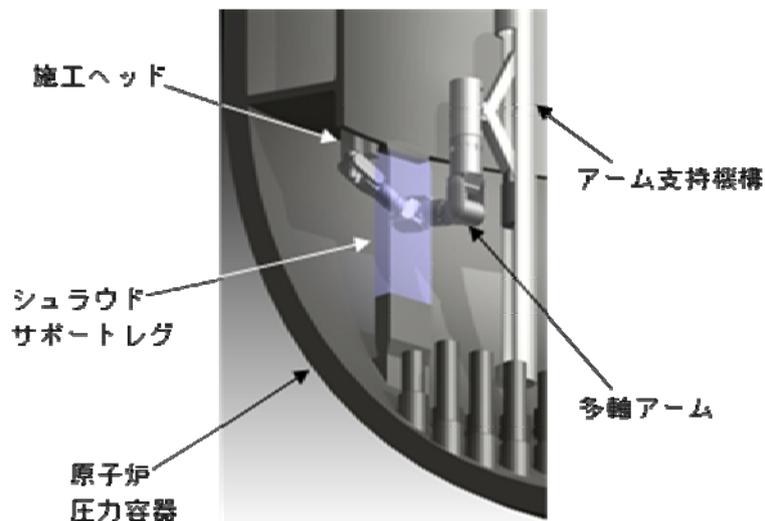


図 3.1.7-3 狭隘部作業多軸アーム

作業箇所・内容に応じて原子炉内に据え付ける為のアーム支持機構とセンサなどの作業ツールを搭載した施工ヘッドと組み合わせて利用する狭隘部作業多軸アーム。原子炉内の構造物に囲まれた狭い空間においても、冗長な自由度を利用して衝突を回避しながら作業を行うことができる。

次に、ロボット技術の運用プログラムへの取り込みと、保全のアーキテクチャを標準化し日本の競争力を向上する提案について説明する。

***** 提案 1 *****

原子力発電プラント運用の安全安心創出のために、世界的にも厳しい日本の保守基準と、それに応えてきた高度な運用ノウハウやメンテナンス技術を、プラント本体とあわせて提供していくことが望ましい。

プラント本体と保全を1つのパッケージとして、日本のロボット技術を生かした最高のメンテナンスサービスをプラント受注のための「売り」の1つとしたい。

↓

***** 課題 *****

日本の原子力プラントメンテナンス技術は優れている（“売り”になる）のか？

メンテナンスサービスをどのような形でプラントとパッケージにすることが効果的か？

↓

***** 課題を解決するためのアクション *****

- ① 現状の原子力プラントメンテナンス技術を、最新のロボット技術と照らし合わせてブラッシュアップする。
- ② メンテナンスが必要なプラント部位に対する保守方法および保守情報の標準化を運用プログラムにあらかじめ組み込んでおき、必要な保守技術を前広に開発・保有しておく。
- ③ 日本の原子力プラントメンテナンス技術が優れていることをアピールする

① メンテナンスロボット技術の棚おろし

過去 10 年、産業用を中心としたロボット技術の進歩とは対照的に、原子力プラントのメンテナンスや、万一の事故発生時などリスクに対応するためのロボット技術開発に対しては、メーカーも国もあまり積極的には知財・資財を投入せず、比較的狭い世界で従来技術を組み合わせることにより対応してきた。

今一度、プラントメンテナンス作業の棚卸しを行い、最新のロボット技術を適用することで、いままで手がつかなかった箇所のメンテナンスが可能となったり、従来メンテナンスの工程短縮・被ばく低減・プラント停止検査にかわる運転中（高温・高放射線などの環境下での）検査による稼働率向上などが達成できれば、日本のロボット技術が原子力プラント輸出のキー技術の1つとなると考える。保全技術のベンチマークを実施し、品揃えとして不足している技術があれば早急に技術開発を行い、あらゆるニーズに応えられる体制を整備しておくことが効果的である。

また、将来どの国でも直面する再処理・廃止措置をいち早く技術開発した上で商品パッ

ケージ化し、世界に日本の実力をアピールしたい。

② オープン化と囲いこみ

原子力発電プラントのなかで特に重要な部位は、主として環境（放射線、水中など）上の制限から、プラント運転開始後に現地調査が難しい箇所が多い。そのため、保全作業には、プラントの詳細情報を熟知しているプラント設計メーカーが何らかの形で携わることが多い。

メンテナンスや検査が必要なプラント部位に対応する特定の保守プログラムをプラント設計段階からあらかじめ組み込んでおき、必要な保全技術をあらかじめ開発しておくことで、メンテナンス時間を準備期間を含めて短縮でき、保全工事を安価に実施することができるため、工事の囲い込みが可能となる。

万一、原子力発電プラントが運転を停止すると、広い地域の電力が絶たれるだけでなく、世界的なエネルギー供給体制や地球環境にまで多大な影響が及ぶことになる。今後、原子力発展途上国での原子力発電プラント運転が活発になるに従い、世界的な安全安心を維持していくために、プラントの運用および保守情報を明らかにしていくことが望まれる。情報はプラント共通で判りやすいことが求められるが、定量的かつ継続的であることがなにより大切であり、人がいちいち情報を作成しシステムに入力するよりも、ロボット技術の適用により作業の効率化が図れる得意分野である。よって、日本のロボット技術を生かせる形で情報基準が策定できれば、保全工事の囲い込みも可能となる。具体的な手法については、引き続き提案2で詳述する。

③ アピール

3.1.7.3 に記述

***** 提案2 *****

専用機や自動機で各社が進めている保守は各社各様に進めているのが現状で共通性がない。国際化に向けてはさらに多様化していくことになり、プラントの品質維持が課題となる。そこで、各社の専用機や自動機のコントローラのインターフェースおよびデータ形式を標準化し、データ管理とそれらのデータを再利用可能にすることで、保守作業の効率化を図る。ここに、ロボット技術（RT）を活用したRT保全システムとそれを実現する標準アーキテクチャを提案する。これにより、保守作業のデータの一元管理と自動化、情報・専用機の共有化、作業の再現性、前回作業時との比較、保守計画の作成などが短時間で作成でき、信頼性のより高い保守が可能となる。併せて施工のリードタイム短縮、低コスト化により国際競争力を高めることができる。

また、標準のアーキテクチャとインターフェースにより、参加企業が広がり、専用機間の互換性や、機器や制御、管理、計画などの新規開発要素も増え、より良いものを選択する機会が増え、結果的に保守全体の効率や信頼性も向上すると考えられる。

さらに、このようなアーキテクチャおよび専用機などの個別機器は、原子力プラントに限らず、各種発電プラントや、産業、医療など異種機器からなるシステムに対しても適用可能であり、波及効果の高い技術である。

↓

***** 課題 *****

標準のアーキテクチャの中で日本の優位性を保つことができるか？

↓

***** 課題を解決するためのアクション *****

標準のアーキテクチャ、インターフェースでは、多様化する機会となるために一定の品質を維持する必要がある。そのために、併せて認証制度を設ける必要がある。米国ではEPRI（Electric Power Research Institute）での認証がある。日本国内で同様な制度や機関を設けることで、短期間で認証取得が可能となる。また、機器の評価基準を設けることで、高品質化も実現できる。

耐放射線デバイスについても同様で、耐放射線性は機関毎に試験評価しており、採用する際には再度、評価する必要がある。ここに評価内容、基準を設けることで、短期間で品質の維持も可能となる。

標準化はオープン化でもあるが、認定制度を設けることで、高品質の日本企業の保守技術により世界のプラントに対して優位性を強調できることになる。

① RT 保全システムを実現するアーキテクチャとデータベース活用技術の開発

- ・アーキテクチャ、インターフェース、データ形式
- ・専用機／自動機の共通インターフェース技術
- ・作業員による作業の計測技術
- ・非熟練者支援技術、遠隔操作技術
- ・メンテナンスログ／データベースの活用技術
 - －施工時に施工記録の半自動生成技術
 - －マニュアル作業／ロボット作業のプランニング技術

② 実証評価

検査から作業計画、補修作業までの一連作業などの実証、評価システムの開発

③ 国際標準提案

④ 認証制度の整備

- ・自動機／ロボットの性能認証
 - 機能、動作精度や安全対策など第3者機関による認証制度
 - 統一評価方法の策定
- ・耐放射線デバイスの認証・共通化
 - 統一評価方法の策定、共有リスト化

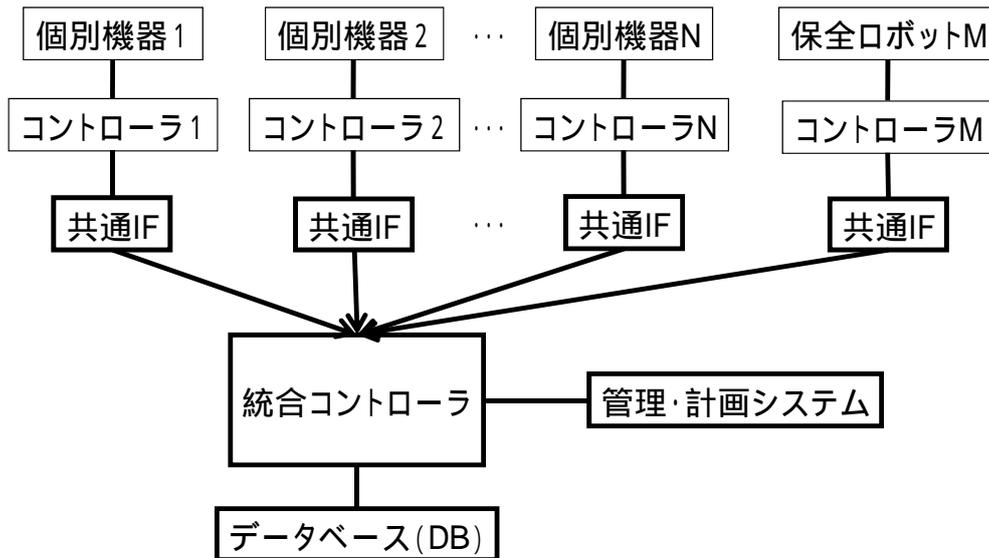


図 3.1.7-4 RT 保全システム案

検査機器などの個別機器やロボットなど、保全作業に係る機器を共通 IF で接続して統合コントローラで管理する。

3.1.7.3 その他の課題（制度など産業化を阻む弊害）

国、電力会社、メーカーが将来のビジョンを共有し、戦略的に技術開発および受注活動を実施していくことで、原子力後発国に対抗するグローバルな競争力を確保していかなければならない。

日本の原子力発電プラントの点検保守状況を実際に海外のお客様に見て感じていただくことが大切である。例えばプラントの定期検査期間中に見学者を受け入れることは、手続き上や安全上大変難しいが、国と電力会社とが一体になって、お客様の国内プラントへの招致PRによる新規プラント受注活動を展開したい。

原子力発電プラントに導入する設備に対しては、ワイヤー二重化、インターロックや耐震計算、製作施工方法などなどさまざまな規制が存在する。最新技術の導入により、同等の性能が確保できるのであれば、設備を簡素化しコスト競争力をアップすることができる。これらの規制を柔軟かつスピーディに見直せるしくみを構築したい。また、諸官庁への説明や工認資料の体裁等を簡略化することもコストダウンに寄与すると考える。

（執筆担当：大西献、松日楽信人）

3.1.8 防災分野

3.1.8.1 我が国で防災分野のロボティクスを推進する意義

現在の我が国を俯瞰するとき、下記の理由によって、我が国で防災分野のロボティクスを研究開発することの意義は大きい。

①リスクは潜在的な損失であり、リスクヘッジは潜在的な利益である。

短期的な視野に立たず、長期的に国が繁栄を継続するための施策をとることが必要である。災害によって毎年金額にして莫大な価値が失われており、そのリスクを下げることはどうしても必要である。さらには、壊滅的な損害をもたらす地震などの大規模災害に対しては、国全体が破綻しないためのリスクヘッジを行う必要がある。

②国や自治体が存在する理由は公共の利益のためである。

特に、経済活動によってまわらない公共的な安全安心は、国や自治体によって守られなければならない。国民が税金を払っている理由は、適切な公共サービスを享受するためである。安全安心は日本国民にとって最も大切な価値観であり、国のミスジャッジによって適切な投資が行われなかったという理由で、それが失われ被害を被ったときの国民の反感は、他国と比べてはるかに大きい。

③人命1名の価格はいくらか。

災害が頻発している現在、災害対応のための機器やシステムが使われる頻度は高くなってきている。災害対応ロボットが10年間使用され、1台のロボットが数名の命を救うために大きな役割を果たした場合、その価格が幾らであれば調達配備する価値があると判断されるだろうか。人命が安いのは後進国の特徴であるが、国民の総意の示すところは、日本は後進国でない。

④日本は世界の他国にとってなくてはならない国か？

GDP世界3位の平和国家、技術立国として、日本世界に対して果たすべき役割は何であるか。それを果たすことが、世界に対する義務であり、世界から高く評価されるために必要なことである。日本が国連常任理事国になれないのは、現状では世界に対して「見える」役割を果たせていないからである。世界からどうしても必要な国として大切にされるための条件を整備することが必要である。

⑤若年層にとっての若者らしい夢は何か？

若年層に対してポジティブな夢を与えることは、今後の我が国の未来を築くために最も重要である。それは長期的な国全体の発展のための必要条件である。金銭的な欲望などに代表されるような利己主義的な価値観を若年層に強く育てることは、日本人が大切にしてきた儒教的な特性を大きく損ねることとなり、国全体の安定を保つ上で適切でない。良い価値観を形成することに失敗した場合、極端な思想が流布するところとなり、国全体が長期にわたって漂流状態となる。

⑥現在の日本の科学技術研究開発の構造は産業構造の転換に向いていない。

現在の日本には先端技術を進められる独自のナンバーワンの牽引車が存在しない。米国における軍事技術や宇宙開発のような、先端技術開発に対するドライブがない。古くは家電品や自動車はその役割を果たしてきたが、現在それらは中国や発展途上国に生産の中心を移してしまっており、産業に根付いたボリュームゾーンの研究開発の中心も海外へ移っていく傾向が見られている。我が国が技術先進国の地位を保つためには、新しい産業を生むための、他国にはない、独自の、牽引車を育てる必要がある。

⑦後退期を迎えた国には、露骨な富国策を取る緊急性がある。

我が国は後退期を迎えているといわれており、国内に残る産業がどれだけあるかは、我が国が先進国としての地位を保てるかどうかの生命線である。復活のチャンスは今現在にあり、そのためには新しい産業を興すための種を、積極的に育てる必要がある。富国強兵は昔広く使われた言葉であるが、いま一度、我が国は、富国のための政策を、露骨に進めていく緊急性がある。

以上の観点から考えたとき、ロボティクスは国策として推進すべき課題であり、特に、社会的問題を解決するためのロボティクスは、我が国が再び大きな繁栄を迎えるために、最も適したテーマである。そのなかでも、防災分野のロボティクスは、上記①～⑤の理由によって、日本らしい人道的なテーマとしてプライオリティが高く、日本復活のために最もふさわしいキーテーマである。

3.1.8.2 安全・安心

安全と安心は人間が社会生活を営む上で何よりも重要である。安全なしには、人々は安心して働くことはできないし、ショッピングや飲食を楽しむこともできない。QOLや豊かさの実感は安心の大前提の上で、はじめて議論が可能であり、不安におびえながらも質が高いという生活は、本当の幸福とはほど遠い。経済活動においても同様の議論が成立する。たとえば、投資に対する収益率やリスクを評価する際に、安全は重要なポイントの一つである。

図 3.1.8-1 はミュンヘン再保険会社が保険料算定のために評価した、自然災害による都市の危険度である[1]。日本の大都市圏は世界中の都市と比べて飛び抜けて自然災害による危険性が高い、ということを示している。同レポートは、都市が直面しているリスクとして、環境問題（ヒートアイランド、換気の悪さ、集中豪雨、雷、大気汚染など）、および、潜在的なリスク（自然災害：地震、熱波、風水害など、技術・インフラ災害：工場爆発など、社会的・政治的リスク：テロなど、疫病・感染症：SARS、鳥インフルエンザなど）をあげ、生命・健康・責任義務・財産に対する甚大な影響を指摘している。この分析においては、さまざまな自然災害（地震、津波、風水害など）の危険性、都市の脆弱性（建設構造、建設基準、法令遵守状況、防災体制、建築品質、都市密度など）、経済価値（世帯の価額、GDP、経済的重要性など）を0～10の数値で表し、それら3つを掛け合

わせた値として危険度を定義している。

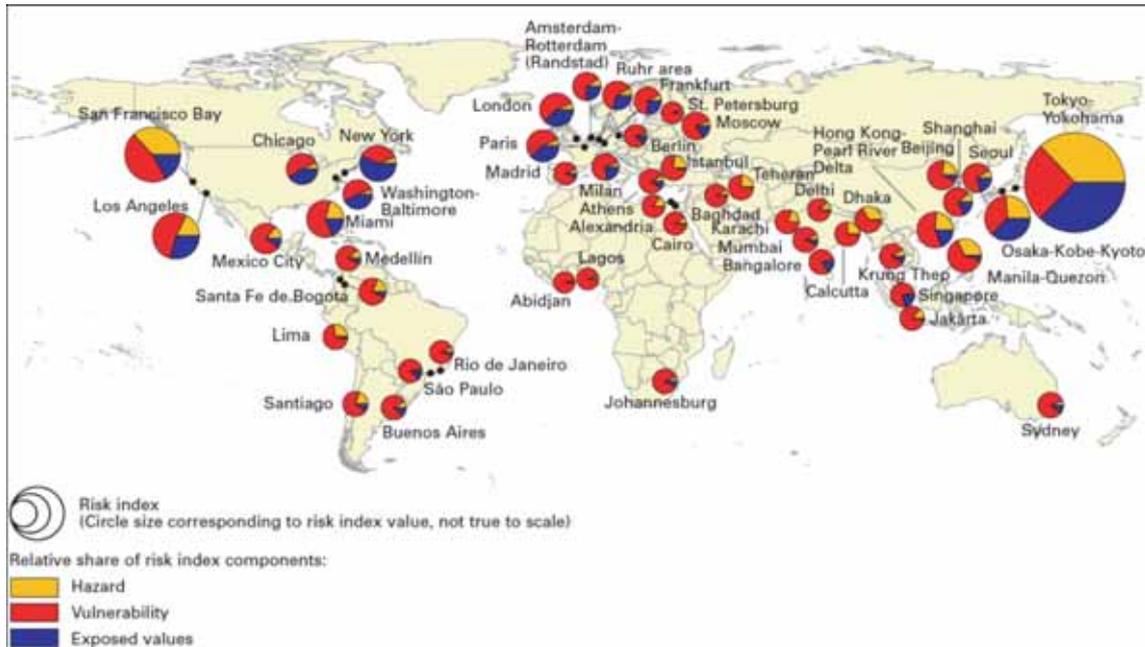


図 3.1.8-1 世界の都市の危険度

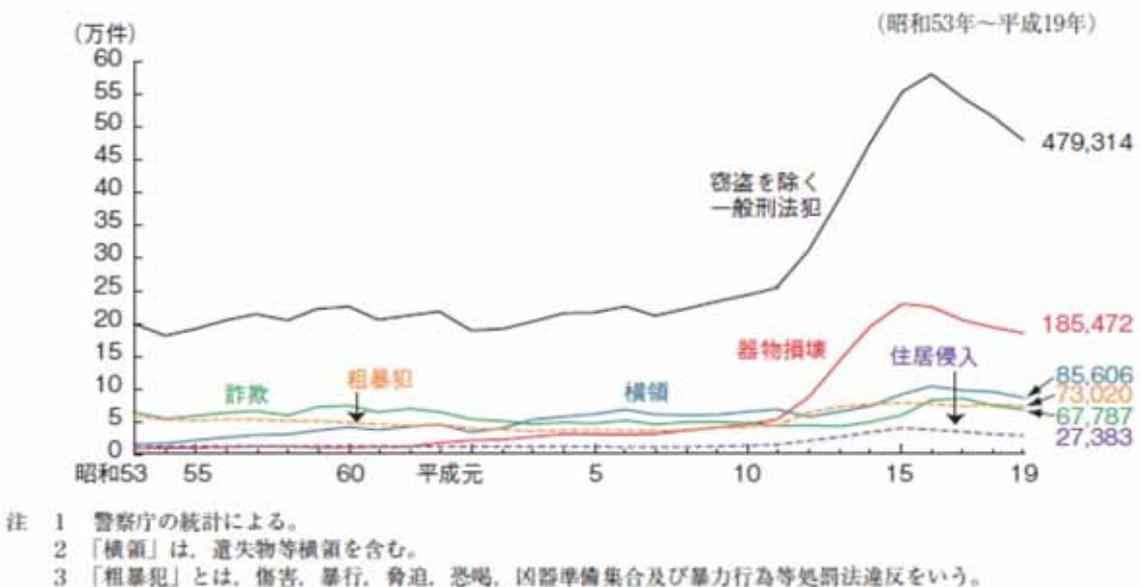


図 3.1.8-2 窃盗を除く一般刑法犯の主な罪名等別認知件数の推移（犯罪白書）

我が国の犯罪率は欧米諸国の数分の一であり、犯罪については安全な国だといわれている。しかし、図 3.1.8-2 が示すように、近年の犯罪増加は著しく、今後、収入格差問題が顕在化するにつれ、治安のさらなる悪化は避けられない、と言われている。また、政治的過激集団やカルト宗教によるテロは、いつ発生してもおかしくない状態にある、と考えられている。地下鉄サリン事件や毒入りカレー事件は世界でもまれに見る典型的なテロ事件

であり、専門家によれば、日本は世界有数のテロ被害大国である。鳥インフルエンザや SARS は満員電車などの人混みで容易に感染を拡げると予測され、人口密度が高い我が国は疫病に対してきわめて脆弱である。

安全と安心をどのようにして確保し、地域に住み働く人々の生命を守り、経済的な活性を維持していくかは、重要な課題である。災害に対するグローバルな備えは、民間の経済活動では担保することができず、国や自治体に課せられた責務である。国民はその代償として納税の義務を負っているのだとも考えられる。

安全・安心への護りを強化するための次世代ロボットが研究開発されている。その目的は、災害を未然に予防し、発災時の被害を最小限に抑え、その後の復旧や復興を支援することにある。この目的にはさまざまなロボット（警備ロボット、建設用ロボット、など）があるが、本稿では、その中でいわゆるレスキューロボットについて考えてみたい。

3.1.8.3 専門家用のレスキューロボット

ここでは、レスキューロボットの定義を「人的被害を食い止める災害対応専門家（消防、警察、自衛隊、海上保安庁、医師、看護師など）やその組織において使用されるシステム」とする。すなわち、消防用ロボット、高度救助資機材、医療用機材などがその主な例であり、主として、政府、自治体、事業体等が危機管理のために調達配備し、訓練された専門家が使用する。

このようなシステムの目的は、次の3点である。

- ・人間に不可能な災害対応活動を可能にする。
災害の場合、狭く人間が入れない場所での捜索・救助、人力では動かせない重量物の撤去などがその代表例である。
- ・人間の危険を防止し、専門家が二次災害を受けることを防ぐ。
化学剤（有毒ガス、粉体など）・放射性物質・生物剤、爆発性物質などの危険がある場合（CBRNE）、火・熱・水・暴風などがその代表例である。産業用ロボット導入の理由は、労働者の3K（きつい、きたない、きけん）からの開放、生産の効率化、品質向上、と言われてきたが、専門家用システムとの共通性が高い。
- ・災害対応活動の迅速化を図る。

総務省消防庁が全国の主要都市の消防に対して、ロボットに期待する機能に関するアンケート調査を行った。その結果を表 3.1.8-1 に示す。人間の能力を超えた情報収集・作業遂行、隊員の安全確保、が強く望まれていることがわかる。

人間のセンシング能力を補完するシステムや、人間が苦手なことを代替するシステムには、強いニーズがある。ロボットだけで機能を実現するのではなく、人間とロボットが得意な仕事を分担し、最終的に最も高い救助能力を生み出すことが望まれている。

防衛産業とは異なり、かけられるコストには限界があり、安価でないと配備まで至ることは困難である。耐久性、防塵、防水、防爆、使いやすさ、は重要である。

表 3.1.8-1 消防が期待するロボットシステム

(期待の高さは、49 の消防局のうち、期待すると答えた消防局の数)

災害の種類	期待する機能	期待の高さ
CBRNE 災害	センサによる CBRNE 物質の特定	39
	安全な場所への被災者の搬送	30
	CBRNE 物質の除去	24
火災	ビル内の消火	30
	ビル内での検索	25
	輻射熱にかかわらず消火	24
地震災害	瓦礫の上からの検索	26
	瓦礫の中での検索	22
	重量瓦礫の除去	21
水害	要救助者の検索	27
	水の中からの救助	24

3.1.8.4 地震災害への対応

地震災害の発生頻度は決して高くないが、巨大地震の被害は甚大であり、災害対応機関の能力をはるかに超える。

地震災害の救助の手順を整理すると、下記のようになる。

- 1) 要救助者がいることを覚知する
- 2) 災害状況の把握、活動の計画
- 3) 探索と情報収集
- 4) 瓦礫の掘削
- 5) 被災者の体の確保、緊急医療、搬送

阪神淡路大震災の調査では「探索と情報収集」に最も長い時間を要しており、その高度化が望まれている。そのため、大都市大震災軽減化特別プロジェクト（図 3.1.8-2）のレスキューロボット研究の主要テーマは、災害情報の収集（発災後の災害概観情報の収集、瓦礫外部からの情報収集、瓦礫内部へ潜り込んでの情報収集、情報収集のための分散センサ、収集情報の統合）であった。そこでは、情報収集のためのセンサを移動させる手段として、さまざまなロボットが開発された[2]。

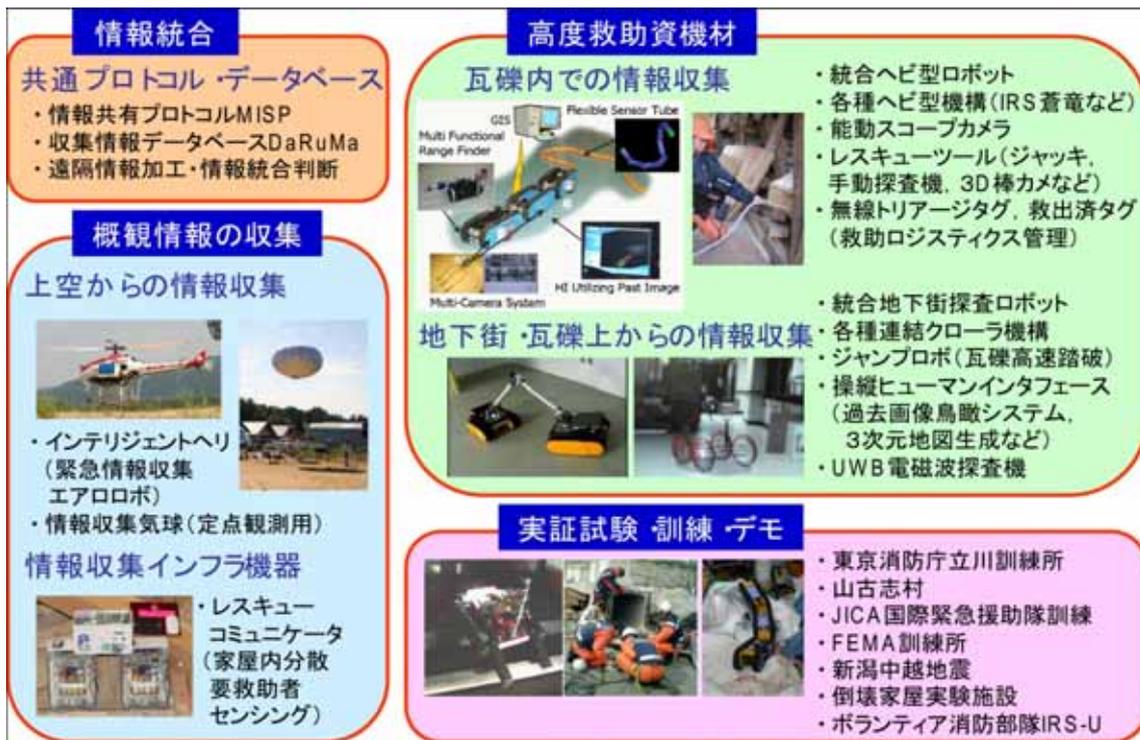


図 3.1.8-3 大都市大震災軽減化特別プロジェクトの概要

①災害対応計画のための災害状況の概観情報収集

災害の概観情報収集は災害対策のプランニングにおいて不可欠であり、災害対策本部の生命線を握っている。特に、発災直後における迅速な情報収集が重要である。このためには、上空からの情報収集、分散センサネットワークによる情報収集が有効である。

小型無人ヘリは機動的な情報収集が可能であり、実用的な技術レベルにあるが、突風、雨、鳥、電線などの影響が大きく、信頼性・耐環境性の向上に加え、収集した画像情報などを安定伝送できるための通信周波数・電波出力の割当、緊急災害時を対象とした飛行可能エリアの制限緩和など、制度や環境の整備の課題がある。

小型無人飛行機は実用的な技術レベルにあるが、ヘリコプターと同じ問題に加え、ペイロードの不足、風による影響が問題である。

無人飛行船や気球は研究レベルであり、ペイロード、移動速度、風の影響が問題である。

衛星による情報収集は、周回軌道を通して災害地上空に来たときだけしか情報収集できない、雲や天候の影響を受けやすいという問題があり、リアルタイム性に難がある。

分散センサによる情報収集は、火災報知器やセキュリティセンサの高度機能とも考えられるが、プライバシーの問題がある。

②要救助者の発見・診断、被害状況の定量的調査

地下街や屋内不整地での移動情報収集ロボットは現場適用可能なレベルにあるが、現状では移動速度、障害物の排除・回避、不整地踏破の点で人間より能力が低いいため、作業者がどうしても入れない環境（危険、劣悪環境）での活用に限られている。

地震災害に対しては、UGV の適用は研究レベルにあり、小型サイズでは急斜面や不整

地を移動する能力が不足し、遠隔操縦能力の不足のため移動体の能力を活かしきれないのが現状である。また、通信の不安定性、伝送容量、遅延、通信可能距離の問題がある。

実用的な不整地移動には半自律サポートによる遠隔操縦が不可欠であるが、現状では操縦者による周囲状況の認識が不十分であり、移動速度を上げることができず、アクシデントが発生した場合の対応が困難であるという問題点がある。映像情報（カメラ、赤外線カメラなど）は遠隔操作に有効であるものの、通信の出力・周波数の制約から明瞭性・リアルタイム性・サイズ・安定性・到達距離が不十分である。それに加えて、照明の不均一性、レンズの汚れ、死角、複数映像の情報統合、等の課題がある。3次元映像（多眼カメラ、3次元 CCD カメラ、パターン投影、LIDAR 等）は有効であるが、精度、計測できる距離、環境条件の制約、センサのサイズ、重量に長短がある。マップ情報は有効であるが、国内の屋内地図は未整備であり、精度、リアルタイム性、3次元情報が課題である。屋内や瓦礫内では GPS が使えないため、自己位置を見失うことが多く、測位は大きな問題である。複数システムの分散協働、人間との協働（ヒューマンインループ）も課題である。

CO₂・尿素・煙・有害ガスは収集すべき情報として重要であるが、センサの反応速度と小型化が問題である。センサの多くはロボットアーム等で移動できることが望ましいが、高所や入り組んだ場所への移動が困難であり、アーム搭載による重量増加が移動能力の低下をもたらすという問題がある。認知能力を高めて見落としを防ぎ、収集できる情報を増やすために、複数センサを併用することが不可欠である。音は要救助者への呼びかけの他、異常発生の検知等の状況判断にも有効である。

瓦礫内にセンサを挿入して情報収集を行うタイプの実用化技術としては、ファイバースコープやサーチカム（棒カメ）が使われているが、到達距離が短く、段差乗り越えや、上方向への挿入が困難、操作性・耐久性が低い、視野が狭く上下がわからないなど認識能力が低い、インテリジェントな認識支援機能がない、などの問題点がある。

瓦礫内に潜り込むロボットが研究開発されているが、UGV が持つ問題点に加え、狭窄地での移動能力、ケーブルのハンドリング、細径化が課題である。

③要救助者の救出、被害進展の防止

地震災害や建物倒壊においては、重量物の除去、ジャッキアップ、構造物の穴開け、切断、倒壊防止のための支持、などの要求がある。これらのいくつかは建機等（特に双腕）による作業が可能であるが、道路狭窄による運搬アクセスの問題、二次災害（作業に起因する死傷事故など）の発生リスクをヘッジし、容認する制度整備の課題がある。

3.1.8.5 NBCR災害への対応

NBCR 災害とは、核物質、生物剤、放射性物質、化学剤、による災害のことであり、それぞれの頭文字を取って NBCR と呼ばれている。これに爆発災害を加えて、CBRNE 災害と呼ばれることもある。ガス漏れ、化学プラント災害、原子力災害などはもとより、地下鉄サリン事件のようなテロなどさまざまな形態があり、我が国では比較的頻繁に発生している。この災害の問題点は、人間が危険性やその原因をリアルタイムに把握することができないことにある。特に、原因物質が拡散希釈されない閉鎖空間の危険性は高い。

NBCR 災害の救助の手順は次の通りである。

- 1) 災害の覚知
- 2) 被害状況の把握、立ち入り禁止区域の設定
- 3) 除染設備の設置
- 4) 災害原因物質の特定、被害拡大の予測
- 5) 防護服を着て危険地域へ進入
- 6) 要救助者の救出、緊急医療、搬送
- 7) 要救助者・隊員の除染
- 8) 原因物質の隔離、危険地域の除染

防護服を着た隊員は迅速に動くことが困難である上、汚染拡大を防ぐため手で壁や床などを触ることができない。活動時間は空気ボンベが続く 20 分間に限定される。除染準備が整うまで隊員は危険地域に入れない。

このように、人間の対処能力には限界があり、ロボットに対する期待は大きい。NBCR に対応するロボットには、災害被害状況の把握、計測、原因物質の種類特定、原因物質の場所特定、原因物質の隔離や除染、が望まれている。

①要救助者の発見・診断、被害状況の定量的調査

CBRNE テロ災害に対応するためのロボットとしては、遠隔操縦で汚染物質の採取を行う UGV が実用化されている。この分野の問題点は、先に述べた、遠隔操縦、通信、センシング、センサの移動、人間との協働の問題に加えて、移動の迅速性、要避難者・要救助者が滞留したり多数倒れている環境下での移動、列車ホームやレールなどの大きな段差がある場所や商品などが散乱した場所での移動、危険物質を計測する小型センサ、迅速な物質サンプリング、短時間で粒度の高い情報を収集するため多数センサを高密度に広く分散させて状態を推定する技術、作業後の除染、等の問題がある。

②要救助者の救出、被害進展の防止

CBRNE テロ災害においては、水や中和剤の散布により現場を除染する技術、特定物質を封入する技術、要避難者の避難誘導、要救助者の緊急診断・医療・運搬、などがニーズとして挙げられており、今後の研究開発が必要である。

3.1.8.6 重要な研究開発課題

以上を整理すると、次のような研究開発が重要であり、必要である。

①作業能力、移動能力

RT 化の必要条件是、人間に対して速度や経済性の点で優位性を持つ（プラス要因）、あるいは、二次災害の恐れがあり人間による作業が適切でない（リスク要因）、の 2 点である。ロボットの能力が上がらない原因は、ロボットのハードウェアの能力不足はもちろんのこと、オペレータの周囲状況認識能力の不足、不十分な遠隔操作性、位置計測の精度不

足、などにある。

②遠隔操縦と情報伝達の技術

ロボットの自律能力、認識能力は人間に比べて低いため、オペレータによる遠隔操作、遠隔判断に、作業支援のための半自律機能を組み合わせる形態が主流にならざるをえない。現状では状況把握が困難なため、人間が現場で視認しながら操作する場合に比べて、はるかに劣る性能しか出すことができない。使いやすさはきわめて重要であり、だれでもが簡単なトレーニングで使用できるようにならなければならない。そのためには、人間の操作を支援する自律機能、あるいは、半自律機能が重要であり、RTと人間の役割分担により、総合的に高い機能を実現することが重要である。

③無線通信

十分な状況把握を行い、探査作業を効率的に行えるためには、映像やレンジファインダなどの大容量データを、遠隔地にいる人間まで送る必要がある。無線LANやSS無線は周波数割り当てが狭く、最大出力が低いため、大容量データの伝送を十分な品質で行えない。第3世代携帯電話を併用する方式も、帯域幅に限界がある。

④測位と情報マッピング

収集した情報は位置情報とともに活用されるケースが多く、GISにマッピングする必要がある。GPSが使えない場所（暗闇の屋内、瓦礫内、水中など）におけるロボットの位置計測は大きな技術課題である。複数ロボットが分散的に収集した情報は、統合して災害対応の判断に活用し、ロボットの協調作業遂行に活用することが必要である。

⑤協調作業

エリアをカバーするため、複数ロボットや人間との並列作業、協調作業が必要。

⑥評価基準の明確化

災害は発生するたび毎に状況が異なるため、システムの要求仕様や評価試験の基準が曖昧なままになっている。システムの有効性を定量化することが必要である。

⑦基本性能の向上

アクチュエータの大出力化、メカニズムの高剛性化、小型軽量化、エネルギー（バッテリー、省電力など）、センサの性能向上、の問題は重要である。災害空間における信頼性、耐環境性、耐久性、耐水性、耐熱性、耐塵性、防爆性が必要である。

3.1.8.7 まとめ

本稿では、主として地震災害とNBCR災害を対象として、レスキューロボットに関する種々の問題、特に研究開発を推進すべき課題の整理を試みた。

災害は他にもさまざまな種類がある。Robin Murphy (Texas A&M 大学) は、さまざま

な災害にロボットを適用した経験や災害現場の調査に基づき、ハリケーン災害、鉱山災害等におけるロボットの必要要件を論文として発表している。

安全・安心は人間社会の根源的問題であるにもかかわらず、ロボットの技術開発の歴史は浅く、最近になって実用化が始まったばかりである。さらなる研究開発が必要である。

我が国にとって、災害対応ロボティクスの研究開発を進めることは、(1)に述べた観点から非常にメリットが大きく、我が国が復活を果たし、先進国としての確固たる地位を長期にわたって確保し、国民が安全で安心して暮らせる豊かな国を守るために、最もふさわしい施策である。

なお、本報告書作成時に、東北地方太平洋沖地震が発生し、地震および津波によって東北関東地方は、甚大な被害が発生した。特に、原子力プラントの事故に対する対策は、日本において最重要かつ喫緊の課題となっている。現時点では、高放射線環境においても多様な作業が行えるような多機能ロボットの実用機は、日本には存在しない。状況把握（情報収集）、炉内冷却、封じ込め、周辺環境整備、被災者の探索、廃炉、地域復興などのさまざまな場面で、ロボット技術が活用されることが期待されており、これまで開発したロボット技術で、環境や作業を限定すれば、利用可能なものは多く存在すると考えられるものの、想定外の事象が生じた際のリスクに対して、高放射線環境下でも何らかのセンシングや作業を行うためのロボット技術を開発し、いつでも現場で利用できるように実用化や運用環境の構築・維持を行い、非常時に備えることこそ極めて重要である。それは、凶らなくても、今回の震災・津波、それによって生じた原子力災害によって証明されたわけであるが、今後、国・自治体・電力会社などは、その重要性を十分認識した上で、非常時の備えに向けた技術開発、運用のための環境整備に早急かつ真摯に取り組む必要がある。

（参考文献）

- [1] A natural hazard index for megacities、 topics - Annual Review: Natural Catastrophes 2002、 Munich Re、 2002.
- [2] Rescue robotics: DDT Project on robots and systems for urban search and rescue、 Satoshi Tadokoro Ed.、 Springer、 2009.

（執筆担当：田所諭）

3.1.9 土木・建築分野

3.1.9.1 土木、建築分野における社会要請

土木、建築分野においては、今後工事の増加が期待される、環境保全、生物多様性などに関連した各種復活事業、循環型社会の構築に向けた廃棄物問題対応、有害物質の探索、除去作業への対応、ヒートアイランド抑制などの取り組み、次世代型の都市における基盤サービスとして防災対応、高齢労働者に対する支援、生産性の向上など RT サービスに期待される課題が多く存在する。

まず、環境保全に関しては、地球温暖化対策として、施工段階における CO₂ の排出抑制、建物運用段階における CO₂ の排出抑制がある。また、建設副産物対策として、産業廃棄物の品目別対策、建設発生土の対策がある。さらに有害物質・化学物質対策として、改修・解体工事におけるアスベスト等の処理（写真 3.1.9-1）、新築工事における化学物質対応などがある。

次に、大規模災害に対しては、発生時の救助活動への機械力を活かした協力、被災した建物の状況確認と応急処置、建物危険度判定、復旧支援、支障物撤去作業、インフラ復旧工事等への対応などが挙げられる。

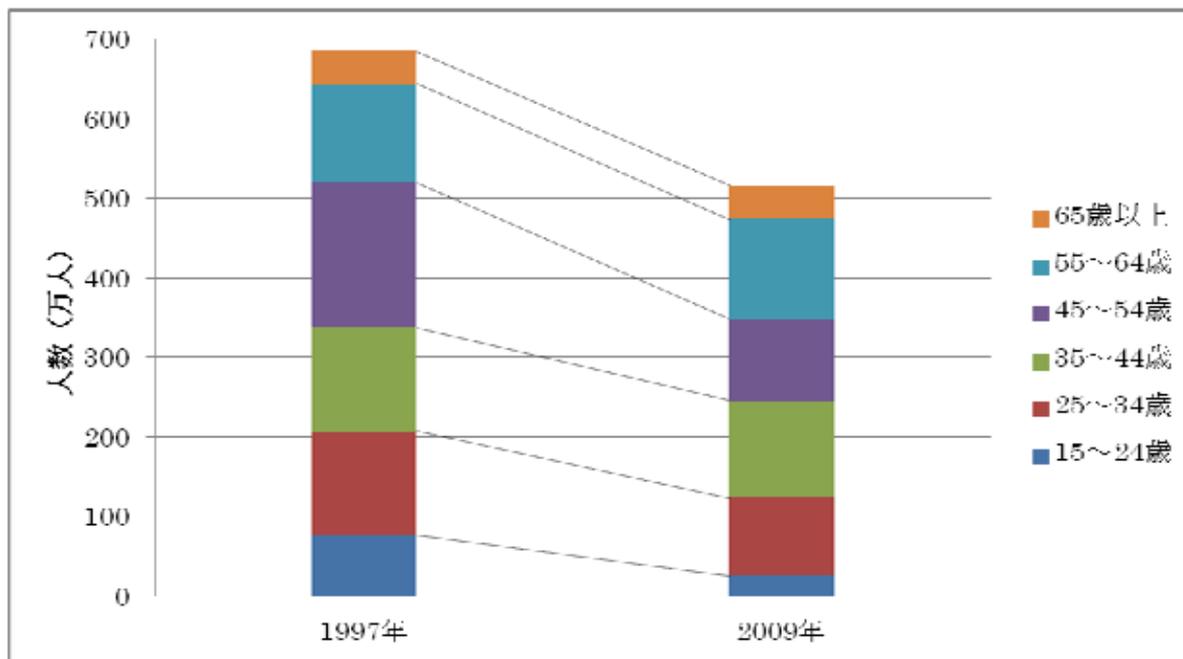


写真 3.1.9-1 アスベスト除去作業



出典：国土交通省近畿地方整備局阪神国道事務所HP

写真 3.1.9-2 阪神淡路大震災



出典：総務省

図 3.1.9-1 建設業就業者数の年齢階級別推移

最後に、建設業の年齢階層別の就業者数が若年層の減少が顕著で、相対的に高齢層の割合が高まってきており（図 3.1.9-1）、このことが建設業の労働生産性向上の阻害要因ともなっていると考えられる。

3.1.9.2 どういうサービスで要請に応えるのか

① 地球環境保全サービス

①-1 従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

従来この分野でサービスを提供するロボットシステムでは、林業を支援する枝打ちロボット、急傾斜地を移動するロボットなどが事例としてあるが、ロボットが活躍する分野としては実用化されているものに乏しいと言える。

①-2 研究／技術課題

今後、研究開発が期待されるRTシステムとして、CO₂の削減に寄与する森林再生事業支援RTシステムや砂漠の緑化作業RTシステムなどが挙げられる。いずれも、急傾斜地移動技術や砂漠の移動技術などこれまでに解決されていない実用に供する不整地移動技術が要求される。

② 循環型社会対応サービス

②-1 従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

廃棄物処理法、建設リサイクル法の制定、改定等により、最終処分される廃棄物の量は削減されてきた。

また、これまでの取り組みの事例として、NEDO「戦略的先端ロボット要素技術技術開

発プロジェクト」として、建設系産業廃棄物処理 RT システムについて研究開発が実施され、この中では、建物解体（躯体解体、内装解体）時に発生する建設系産業廃棄物を効率よく、分離、選別する RT システムとして、双腕型の解体機（写真 3.1.9-3）や、ウォータージェットを利用した切削装置、廃棄物を素材ごとくに分別する選別システム（写真 3.1.9-4）が開発された。



写真 3.1.9-3 双腕型解体機

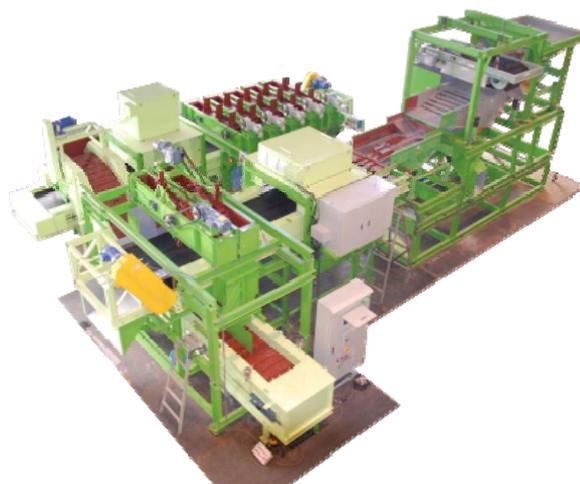


写真 3.1.9-4 廃棄物選別システム

今後は、このような廃棄物発生の上流での対応を進めるとしても、処分場の受け入れ量にも限界があり、新たな最終処分場の新設が難しいことなどから、処分場の掘り起こしや不法投棄対応など新たな対応が必要になると予想される。

②-2 研究／技術課題

循環型社会の実現に向けては、リサイクルに向けた産業廃棄物の選別を効率的にかつ材質毎に精度よく実施するシステムの実現が求められている。特に、廃棄物中に含まれる有害物質の探索、除去を可能とする RT システムの研究開発がテーマとして挙げられる。

③ 次世代型都市の基盤サービス

③-1 従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

これまで、都市で活躍するサービスロボットとして、様々な研究が行われてきた。清掃ロボット、接客ロボット、警備ロボットなどがその代表例である。また、搬送ロボットなどは、医療施設や工場などに既に普及されている例も少なくない。

③-2 研究／技術課題

今後は、都市防災の観点からも、防災対応 RT システムなどが重要視されてくると予想される。特に被災時の情報発信、避難誘導などロボットが実現できる技術は多々あると考えられる。さらに、災害復旧に当たっては、遠隔操作などによる無人化復旧工事など、二次災害対応にも活躍の場は広い。

④ 高齢作業支援サービス

④-1 従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

従来技術としては、医療、介護向けに研究開発が進むパワーアシストやパワーサポート技術があるが、土木建築作業に特化した、高出力のロボットシステムは未だ開発されているとは言えない。

図 3.1.9-1 に示した通り、土木、建築分野での就業者数の年齢階級別推移によれば、今後増々高齢者の占める割合が増大すると予想され、取り扱う単位重量に制限が出るなどさらなる生産性低下が懸念される。

④-2 研究／技術課題

生産性の低下を防止するため、作業者の筋力サポート、記憶力の低下などに対応した「作業情報提示サービス」、「作業手順の都度の確認チェックシステム」など RT システムが寄与できる技術要素が多いと考えられる。

3.1.9.3 その他の課題（制度など産業化を阻む弊害）

ロボットシステムを土木、建築の作業フィールドで活用するためには、電波等の通信環境の整備や、ロバスト性、信頼性の高いシステムの開発が欠かせないと考えられる。しかしながら、完成度の高いロボットシステムを初期の段階から導入することは容易ではなく、さらに不完全な状態での無謀な導入は、その期待の高さから「使えない」といったレッテルを貼られてしまうなど危険性もある。

行政が積極的に関与する方法としては、試験フィールドの提供や開発業務を含めた工事の発注、助成制度などが期待されている。

（執筆担当：柳原好孝）

3.1.10 農林水産業分野

3.1.10.1 農林水産業分野における社会要請

(1) 持続可能な国際社会と地域活性化

日本の人口が減少に転じて少子高齢化が深刻になる中、世界の人口は着実に増加している。また、アメリカや EU はときには深刻な農産物過剰に悩み、一方で多くの途上国は爆発的な人口増加の中で食料不足に直面し、飢えに悩まされている。国連が提唱している「持続可能な社会 (Sustainable Society)」(注 1)の実現に向けては、地球温暖化防止だけでなく、飢餓や貧困を撲滅するための食料やエネルギーなどの資源確保に向けて、国際的な連携が必要となっている。

平井[1]によると、日本は食料確保は 30%弱の「穀物自給率」(注 2)や 40%程度という「供給熱量自給率」(注 3)の現状に示されるように輸入農産物に支えられた「食料消費大国」であり、世界最大の食料輸入国である。日本という国は農業というものに向いている環境とは言い難く、農地利用率の減少、生産者の高齢化と後継者不足等の問題を抱えている。地域農業組織が主体的に大規模経営に取り組むことでまだコストカットも可能であり、高品質で安全な農産物を安価に供給していけば、まだ日本の国際競争力は高まる可能性がある。アジア諸国では、比較的高価な日本ブランドの野菜や米を富裕層が購入するケースも増えており、農林水産業の国際競争力強化への取組みが議論されている。

新成長戦略[2]の第四の戦略である「観光立国・地域活性化戦略」において、「農林水産分野の成長産業化」が挙げられ、「農林水産分野については、食の安全・安心確保、食料自給率の低下、農林水産業者の高齢化・後継者難、低収益性等、将来に向けての課題は山積しているものの、我が国の「食」の目指すべき姿や具体的方針が定まらず、消費者、生産者ともに不安に陥っているのが現状である。

こうした不安を解消し、農山漁村の潜在力が十分に発揮されるよう、意欲ある農林漁業者が安心して事業を継続できる環境整備を行い、農林水産業を再生し、食料自給率を 50%に向上させることを目指す。また、農山漁村に広く賦存するバイオマス資源の利活用を更に促進する。

また、いわゆる 6 次産業化(生産・加工・流通の一体化等)や農商工連携、縦割り型規制の見直し等により、農林水産業の川下に広がる潜在需要を発掘し、新たな産業を創出していく。」と述べている。さらに、2020 年までの目標として、『食料自給率 50%』、『木材自給率 50%以上』 『農林水産物・食品の輸出額を 2.2 倍の 1 兆円』を掲げている。

(2) 我が国の農業の現状

農林業センサスは我が国農林業の生産構造、就業構造を明らかにするとともに、農山村の実態を総合的に把握し、農林行政の企画・立案・推進のための基礎資料を作成し、提供することを目的に、5 年ごとに行う調査である。2010 年農林業センサス[3]によると、総農家数は 252 万 9 千戸で、5 年前に比べて 32 万戸 (11.2%) 減少した。このうち、販売農家数(注 4)は 163 万 2 千戸で 5 年前に比べて 33 万 2 千戸 (16.9%) 減少し、自給的農家数(注 5)は 89 万 7 千戸で 5 年前に比べて 1 万 2 千戸 (1.4%) 増加している。また、土地持ち非農家数(注 6)は 137 万 4 千戸で、5 年前に比べて 17 万 3 千戸 (14.4%) 増加した。消

費者に向けて販売される農作物のほとんどを生産する販売農家に限れば、1990年の297万1千戸から20年間で45%も減少している。

さて、農業に従事する販売農家の農業就業人口(注7)は335万3千人(2005年)から260万6千人(2010年)へと22.3%減少していることがわかる。また、2005年には60歳以上の農業人口は68.2%であったのに、2010年には73.8%となり、農家の高齢化が進んでいることがわかる。2010年から2005年の間に減少した74万7千人の販売農家のうち60歳未満が半数であり、結果として平均年齢が65.8歳まで上昇し、はじめて65歳を超えた。(図3.1.10-1参照)

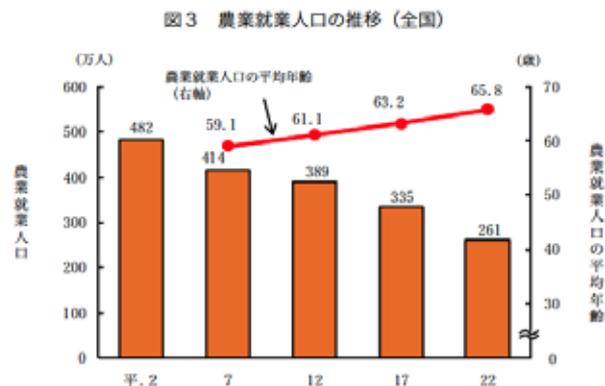


図 3.1.10-1 農業就業人口の推移(全国) [3]

農業経営体数の構成割合では、5~10haが3.1%、10~30haが2.0%、30ha以上が1.0%と大規模農家は全体の6%程度と少ないが、5年前の4.7%と比較すると農家の大規模化は徐々に進んでいる。また、経営耕地面積は363万3千haと5年前から6万ha(1.6%)減少したものの、集積割合では5a以上である面積規模が51.4%と、5年前の43.3%と比べて8.1%上昇し、耕地の集積化は大幅に進んでいる。(図3.1.10-2参照)

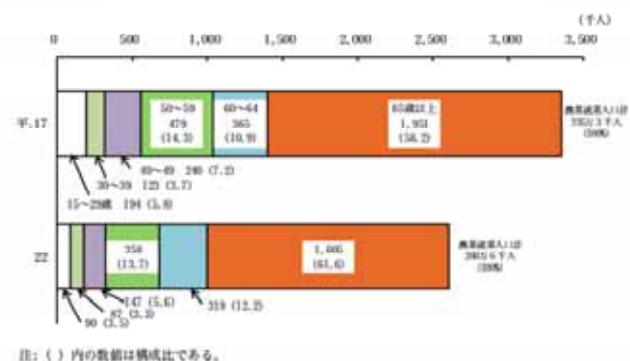


図 3.1.10-2 年齢別農業就業人口の構成(全国) [3]

さらに、農家及び土地持ち非農家の耕作放棄地面積は39万6千haとなり、全耕地面積の9.8%に相当する。本来なら食料や飼料を生産できる土地が利用されない状態になっている。(図3.1.10-3参照) このような休耕地は後述の無人化農業や家庭菜園サービスなどに利用できる可能性がある。

農業においては収穫だけの作業だけではなく、様々な作業が関わっており労働力の確保が難しくなっている。さらに、農家数が減少しているのは、収益力の低い農業における高齢化や後継者不足などの理由と考えられる。農業の主体は大規模経営型にシフトしており、今後は競争力向上のための効率化や省力化が期待される。近年は世界的に食料の価格が急騰している。農業従事者が高齢化して半減したとしても、食料自給率を維持・向上するときには、センサネットワークなどの情報通信技術(ICT)の活用に加えて、パワーアシストなどのLabor Saving Technologyとしてのロボット技術(RT)を前提に考えなくてはならない。我が国においては、農村における労働力不足を移民や研修生により補う方法もとられているが、無人化あるいは遠隔操作型のロボットなどの科学技術でこの課題を解決できれば、移民に頼らない国家戦略となる。ブルックスの著書[4]には、将来への展開のところで「遠隔存在型のロボットは、ロボット応用の決定打になりうる。仕事の世界のどこからでも行えるようになる。膨大な高齢者人口が日本の最難題である。遠隔操作が重要になる最初の国は、日本ではないだろうか。」と予想している。

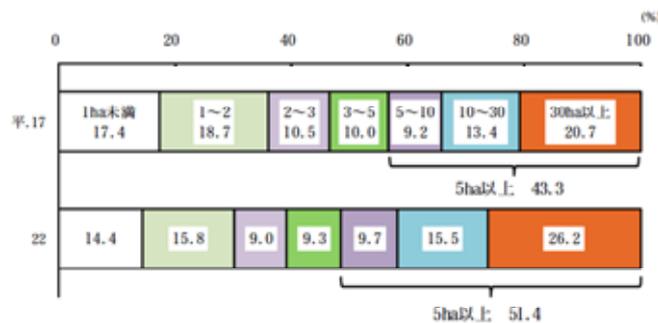
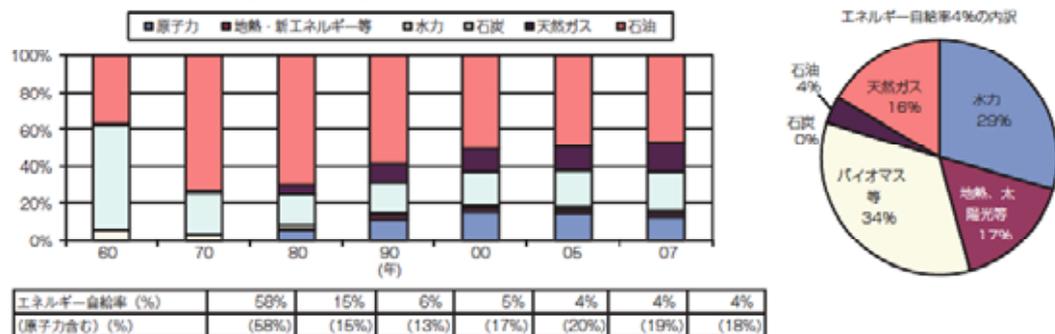


図 3.1.10-3 経営耕地面積規模別の経営耕地面積集積割合 (全国) [3]

(3) 食料とエネルギーは 21 世紀型課題

エネルギー白書 2010[5]によると、2007 年の我が国のエネルギー自給率は水力・地熱・太陽光・バイオマス等による 4%にすぎない。備蓄が容易で再利用できる原子力を「準国産エネルギー」としても日本のエネルギー自給率は 18%である。(図 3.1.10-4 参照)



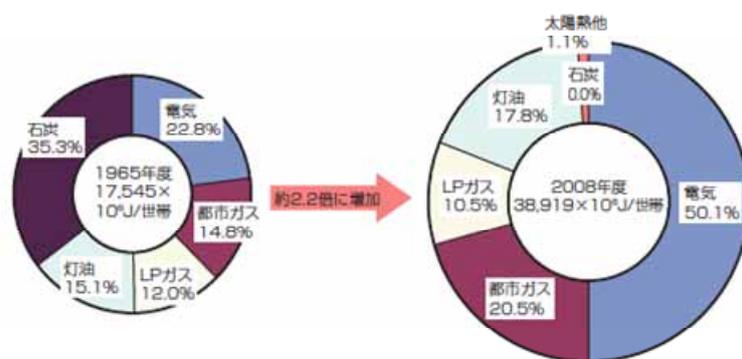
(注) 生活や経済活動に必要な一次エネルギーのうち、国内で確保できる比率をエネルギー自給率という。括弧内は原子力を含んだ値。原子力の燃料となるウランは、一度輸入すると数年間使うことができることから、原子力を準国産エネルギーと考えることができる。
 (出所) IEA, Energy Balances of OECD Countries 2009 Edition をもとに作成

図 3.1.10-4 日本エネルギー国内供給構成及び自給率の推移 (エネルギー白書 2010) [5]

また、1965年度から2008年度までの43年間における世帯あたりのエネルギー消費原単位と用途別エネルギー消費の推移によると、全体は2.2倍に増加し、電気への依存度は世帯当たり23%から50%へと4.9倍に増加している。(図3.1.10-5参照) 米国の家電ショー(CES2011)に電気自動車(EV)が出展されることがニュースで象徴的に取り上げられており、今後は家だけでなく自動車もすべてが情報家電化すれば、さらに我々の電気への依存度が高くなるであろう。

新興国である中国とインドの人口は世界の4割近くを占めているが、1人あたり年間エネルギー消費量は両国とも世界平均を下回っている。日本の人口は2007年時点で世界の2%であるが、エネルギー消費量は4%と高く、また1人あたり年間エネルギー消費量は欧州並みの水準である。また、2007年において一人あたりの電力消費量は、日本は世界第4位で、第3位の韓国とほぼ同量の8500kWh/年・人である。これは、世界平均の約3倍である。[6]世界の生活水準が上昇していく中で、エネルギー消費大国である我が国のエネルギー自給率の向上は不可避である。

電気への依存度が高まる中で、エネルギー自給率の向上の面からもバイオマス資源などバイオエネルギーの利活用の推進が期待され、市場においても盛んに取引がなされている。穀物がバイオエタノールなどのバイオエネルギーに利用されれば、飼料や食料の取引価格が向上し、これらの購入に関わる支出が増えることになる。この流れは、食料自給率の低い日本においては深刻で、輸入価格が上昇して貿易収支の支出が増えることにつながる。食料・エネルギーは、まさに21世紀型課題である。



(注) 「総合エネルギー統計」では、1990年度以降、数値の算出方法が変更されている。

(出所) 財団法人エネルギー経済研究所「エネルギー・経済統計要覧」、資源エネルギー庁「総合エネルギー統計」をもとに作成

図 3.1.10-5 家庭部門におけるエネルギー源の推移 (エネルギー白書 2010)

「-1

(4) 技術戦略マップと農商工連携について

農林水産省は、5年毎に我が国の農林水産分野の研究開発のおおよそ10年を見通した計画として、農林水産研究基本計画を策定している。平成23年度から始まる平成27年度までの農林水産研究基本計画[7]では、5つの研究領域(すなわち、「食料安定供給研究」、「地球規模課題対応研究」、「新需要創出研究」、「地域資源活用研究」、「シーズ創出研究」)に分けて農林水産研究を見直している。これらの5つの研究領域はそれぞれ以下のように説明

されている。

①「食料安定供給研究」

国民への食料の安定供給の観点から行う、戸別所得補償制度とともに食料自給率を向上させるための、省エネルギーを含めた農水産物の生産性向上・安定生産に資する研究開発、生産・流通システムの高度化に資する研究開発及び食品の安全と消費者の信頼を確保する研究開発

②「地球規模課題対応研究」

地球規模の課題への対応の観点から行う、農林水産分野における環境変動予測と温室効果ガスの排出削減・吸収機能の保全・強化及び温暖化への適応に関する研究開発、バイオマスの利活用により環境分野の技術革新をリードする研究開発並びに発展途上地域での食料の安定生産や環境の保全に関する研究開発

③「新需要創出研究」

農林水産業と関連産業との融合・連携等により新たな付加価値を生み出す農林水産業・農山漁村の6次産業化の観点から行う、高品質な農林水産物・食品の研究開発及び新分野への展開による農林水産物の潜在力の活用等に関する研究開発

④「地域資源活用研究」

農山漁村の活性化の観点から行う、農山漁村における豊かな環境形成と地域資源活用に関する研究開発及び森林整備と林業・木材産業の持続的発展に関する研究開発

⑤「シーズ創出研究」

豊富な技術シーズを生み出す観点から行う、農林水産生物に飛躍的な機能向上をもたらすための生命現象の解明・基盤技術の確立及び我が国の農林資産分野の研究基盤の強化を図る観点から行う、遺伝資源・環境資源の収集・保存・情報化と活用

これらのうち、「食料安定供給研究」において、「農業の生産玉向上と農産物の安定供給」「水産物の安定供給と持続可能な水産業の確立」「高度生産・流通管理システムの開発」「食品の安全と消費者の信頼の確保」が挙げられており、「高度生産・流通管理システムの開発」において「高度生産・流通管理システムの開発」には、ITやセンシング技術、RT・AI等の革新的技術を農林水産分野に導入することによる高度生産管理、生産・流通情報システム等の開発に期待が寄せられている。この部分では、主な達成状況と残された課題について、以下の記載がある。

「我が国の生産現場では、農業従事者が高齢化するとともに耕作放棄地が拡大しており、高齢者や中山間地等での条件不利地域においても農作業が行える、作業の軽労化・省力化が喫金の課題となっています、また、農業従事者が大幅に減少してきており、新規農業従事者の参入促進と担い手の規模拡大を支援する研究開発が求められています。

こうした中、これまで、農作業の更なる省力化を可能とする無人ロボット田植機（図3.1.10-6左）や作業の軽労化につながるロボットスーツの試作機、ほ場の情報を自動で管

理者のパソコンに伝達する技術（フィールドサーバー）（図 3.1.10-6 右）等が開発されてきたが、今後もこれらの実用化に向けて研究を加速する必要があるとしている。また、安定的に野菜等を生産できる植物工場への関心が高まっており、既に 50 以上の植物工場が稼働していますが、施設での省エネ技術の確立等に向けて工業分野と連携して取り組む必要があります。

IT や RT については、わが国が世界に誇るレベルを有しており、わが国の農林水産業の課題解決と高度化に大きく貢献するものと期待されますが、これらの技術を農林水産業に導入していくに当たっては、コスト問題の解決や利用効率を最適化する運用ソフトウェアの開発が課題となっています。」（農林水産研究基本計画[7]より抜粋）と記載されている。



図 3.1.10-6 無人ロボット田植機（左）とフィールドサーバー（右）

そこで、重点目標として、IT やセンシング技術、RT・AI 等の革新的技術を農林水産分野に導入することによる高度生産管理、生産・流通情報システム等の開発が挙げられている。具体的には、センシング技術・地理情報を利用した高度生産管理システムの開発、RT との協調作業システムによる超省力・高精度作業技術の開発、自動化技術の高度活用等による作業安全・軽労化技術の開発、次世代植物工場技術の開発及び生産・流通情報を迅速かつ双方向に収集・伝達・提供するための生産・流通情報システムの開発である。

平成 27 年度までの主要な研究達成目標としては、IT やセンシング技術、RT・AI 等の革新的技術を農林水産分野に導入することによる高度生産管理、生産・流通情報システム等の開発であり、(i)センシング技術、新エネルギー活用的人工光・閉鎖型生産システム、省エネ技術等により、植物工場における葉菜類等の生産コストを平成 20 年度比 3 割以上削減するシステムの開発、(ii)共通的な要素技術を基にロボット化したトラクター・移植機・管理機・収穫機により、慣行法に比べ作業員数を半減できる人—機械協調作業体系等の確立、(iii)各種農作業を軽労化するロボットスーツの実証試験に耐えうるプロトタイプの開発により、様々な農業場面での適応試験の実施、(iv)消費情報を生産者の経営計画へフィードバックするとともに環境影響等の情報を流通業者・消費者に提供する統合技術提供システムの開発、が挙げられている。

さて、技術戦略マップ[8]は、経済産業省が NEDO・産総研等の協力を得て、国家的に重要な産業技術のロードマップを俯瞰して 2005 年から策定・公表しているものである。全ての分野について、①導入シナリオ、②必要となる技術の俯瞰マップ、③重要技術のロ

ードマップ、の3層構造で策定され、毎年度各分野の産学官の専門家を集めた作業グループでローリング（改訂）を実施している。ロボット分野においても産業技術のロードマップがまとめられており、フィールドロボットの一種として農業用ロボットが取り上げられている。農業用ロボットとしては、GPS 技術を活用した無人コンバインや無人田植機などの屋外汎用性管理作業支援ロボットや、果実収穫支援ロボットや防除ロボットが例示されている。（図 3.1.10-7 参照）ロボットの必要機能である「A.環境構造化・標準化」「B.コミュニケーション」「C.マニピュレーション」「D.移動」「E.エネルギー源・パワーマネジメント」「F.安全技術」「G.運用技術」のうち、「B.コミュニケーション」以外の機能が農業用ロボットに必要とされている。将来の人が行ってきた「農業」という作業を代行し、さらに生産性や協調性を高めるために農業用ロボットには「B.コミュニケーション」を含めた全ての機能が必要とされる。（図 3.1.10-8 参照）

このように、農業用ロボットは、第1次産業（農業）、第2次産業（工業）、第3次産業（サービス産業）との組み合わせた産業技術であり、この分野で次世代を担う多くの人材が育成され排出されれば、後継者不足に悩む第1次産業（農業）の効率化や競争力強化につながるとともに、食料とエネルギーの自給率向上というグリーンイノベーションに向けロボット技術が貢献できることになる。さらに、農業で培ったロボット技術を他の産業へ利活用すれば、第2次産業（工業）や第3次産業（サービス産業）の更なる活性化や発展にも資すると期待できる。



図 3.1.10-7 技術戦略マップ 2009 における農業用ロボットの技術ロードマップ



図 3.1.10-8 技術戦略マップ 2009 における農業用ロボットの応用事例[8]

食料品の国際価格は、中長期的には上昇傾向にあり、今後も引き続き、国産農産物の需要は高まると見られる。農林水産省と経済産業省は、平成 19 年 11 月末に両省共同で「農商工連携促進等による 地域経済活性化のための取組みについて」[9]を公表し、これにもとづき農商工連携（注 8）に関する 各種支援施策を展開してきた。植物工場[10]は、農商工連携の象徴的な取組と考えられ、自動車、エレクトロニクス等の輸出産業を継ぐ地域活性化の一端を担う新産業育成として期待されている。

農業は、他産業と比較して所得の低さに加えて、天候にも左右されるため、若年層が就農を敬遠する傾向が強かった。また、重労働なため、高齢者による農作業には大きな負担が伴った。植物工場は、農作業の平準化が図られるとともに、夏に涼しく、冬に暖かいことから職場環境の快適性が著しく向上する。また、通常は農閑期となる冬季も含めた周年雇用が可能であるとともに、週休制の導入など定期的な休暇を取ることも可能である。このため、若年層や高齢層の就農により、地域に新たな雇用を生み出す期待が大きい。さらに、植物工場の展開は、植物工場で栽培される農産物の加工・販売に関わる飲食店、小売店、食品製造業者等の食品関連産業や植物工場向けの部材メーカー、施工業者等へと幅広い波及効果をもたらすことが予想されている。都市部と比較して、用地、人件費、水等のインフラに恵まれた

地域においては、太陽光利用型を中心とする植物工場の立地が進む潜在性が十分にあると考えられる。また、完全人工光型についても、農地以外にも立地できる長所を活かし、遊休状態となっている工業団地、公共施設、店舗、校舎、倉庫等の地域の既存のインフラをフル活用することによって、立地を推進することが可能である。植物工場において、完全人工光型、太陽光利用型のいずれの場合においても、人件費がランニングコストの2～3割を占めることを踏まえれば、ロボット技術やセンシング技術の活用を通じて、自動化、省力化を進めることも重要である。

(5) 世界の農業事情

日本はかつて工業化を選択してきたが、世界が日本をお手本にして追いついてきた状況において、工業化を目指した時代から第3の道へのシフトが期待されている。世界に貢献し、世界から尊敬される日本の将来像を実現するためには、石油など化石燃料への依存を減少し、食料自給率を向上する必要がある。農業は我が国の工業化によって見捨てられてきた産業ともいえるが、バイオエネルギーによる化石燃料への依存を減少するためあるいは世界の食料問題を解決するためのスポットライトが再び当たっている。インドや中国はアフリカ大陸で大規模な食料生産を開始している。また、米国がトウモロコシ、ブラジルがサトウキビを原料としたバイオエタノールの製造に力を入れている。バイオエネルギーの生産には、食料の生産以上に大規模化が必要であり、このような大規模化に向けた開発投資が世界的に盛んである。

現代におけるハイテク農業は他の産業と比較して採算が取れないわけではない。農林水産研究基本計画にもあるように、ITやセンシング技術、RT・AI等の革新的技術を農林水産分野に導入することによる高度生産管理、生産・流通情報システム等の開発が必要である。例えば、植物工場についてはイノベーションにつながる産業として期待されている。

参考文献 11 によると、「植物工場は 1950 年代から欧州を中心に発展した。現在、オランダや米国、カナダなどで大規模な植物工場が稼働している。（中略）

オランダはガラス温室を用いた施設園芸が盛んであり、太陽光利用型植物工場（人工光で補光するタイプ）の先進国といえる。栽培環境の調整や収穫などの作業の自動化（ロボットの利用）、温室内の温度、湿度、CO₂濃度（CO₂濃度をある程度まで高めると、植物の生育が速まることが報告されている）などの制御など関連技術の開発にいち早く取り組み、実用化させている。主な栽培品目は、トマトやパプリカなどの野菜、果実、花き、球根、観賞植物である。トマトの栽培システムなど、一部の設備や装置は日本にも輸入されている。（中略）

オランダ政府は農業分野の方針として、People、Planet、Profit の3P間のバランスを継続的に追求する必要があるとしている。施設園芸におけるイノベーションを積極的に推進することも表明している。」（参考文献 11 より抜粋）

このように、オランダでは植物工場システムが輸出産業としても成功している。また、日本においても植物工場からの野菜は栄養分が豊富なプレミアム野菜として、あるいはレストランでの店産店消や家庭菜園として、付加価値を与えることで新たな市場を創出すると期待されている。植物工場のみならず、また、GPSによる精密な位置計測により、大規模な自動化農業も世界的に普及しており、現代の農業は経営の効率化やロボット等による

省力化、それらを絡めたサービスによって発展が期待できる分野である。

(6) 農作物の被害について

農業による食料とエネルギー自給率向上への期待が集まる中、農村では農作物の被害が経営の不安となっている。干ばつや冷害など天候による被害だけでなく、害獣・害鳥・害虫による被害や、窃盗など人的な被害が深刻である。農業における鳥獣被害、窃盗、ウイルスなどによる農産物被害は様々あり、対策が遅れば農業従事者の生産意欲の減退についても配慮しなくてはならない。

鳥獣による平成21年度の農作物被害[12]については、被害金額が213億円で前年度に比べ14億円(対前年比7%)増加、被害面積が10万5千haで前年度に比べ5千ha(対前年比5%)増加、被害量が62万tで前年度に比べ12万9千t(対前年比26%)増加している。主要な獣種別の被害金額については、シカが71億円で前年度に比べ12億円(対前年比21%)増加、イノシシが56億円で前年度に比べ2億円(対前年比4%)増加、サルが16億円で前年度に比べ1億円(対前年比7%)増加している。

また、高級化する農業生産物の状況に合わせて近年農産物の盗難が全国的に発生している。[13]平成14年から15年中の農作物等の窃盗の発生件数は1,000件で前年と比べ、437件(77.6%)増加している。被害額は約9,700万円で、前年と比べ約3,300万円(52.0%)増加して社会問題となっている。被害品の品目別では野菜が最も多く、次いで米、果実の順となっている。野菜では、いちご、すいか、メロン、果実では、ぶどう、なし、かきの順に被害が多い。

都市部や住宅地でもハトやカラスなどの数が増え、糞害などに悩まされる事例も急激に増加している。カラスによるゴミステーションでの食散らしなども多発している。さらに深刻な問題は、鳥インフルエンザをはじめ乾燥糞の飛散などによるオウム病や細菌・ウイルス感染、アレルギー発症などの被害も生活の不安となっている。自然と共生することが求められる農村では、生活支援の観点からも農作物の被害を軽減する技術が期待される。

特に、渡り鳥が媒介される鳥インフルエンザや野生のシカなども感染する口蹄疫は、農家を支える収入に深刻な打撃を与える可能性が高い。このため、ウイルスを媒介する渡り鳥や動物の監視などを強化しなくてはならず、家畜以外の動物への配慮も必要となり、高齢化が進む農家の負担がますます増えている。発症エリアでは、畜産物の移動制限や殺処分する必要があるため被害額は深刻である。

3.1.10.2 どういうサービスで要請に応えるのか

上記の要請を受けたサービスの具体的内容として、「国家基盤としてのRT農業生産サービス」および、「都市型植物工場サービス」のイメージについて説明する。

・サービス1(国家基盤としてのRT農業サービス)

食糧は、人々が生きていく上に不可欠なものであり、その確保は、国家存立の基礎である。単に市場原理に基づく経済性のみでなく、国家の安全保障の観点からの、国としての支援をふくめたトータルな食糧生産プロジェクトとしてRT農業サービスプロジェクトが

求められる。その際には、a)レーバセービングテクノロジーとしてのRTが重要な役割をはたす。これまでは、農林水産研究基本計画における自動田植機、ロボットスーツなどの研究開発プロジェクトが推進されているが、人間と協調して労働性を向上させる技術が求められる。(労働力節約RT農業技術) さらに、b)高齢化と過疎化が進行した農村部(特に限界集落(注9))では、遠隔地であるがゆえに労働力の確保が困難で休耕地が増えている地域においては、高齢による農家の労働力の減少を、観光農業や都会のNPOパワーによって補う新しい農業サービス事業の立ち上げが重要となる。どのようにして、労働力を必要としている地域と、都会の労働力を結びつけるのかの情動的な側面のみではなく、実際にどのように人が移動し作業を実施するのも考慮にいたした農業支援サービス技術が求められる。(国民参加型農業サービス)、c)ロボットによる遠隔モニタリングをふくむ遠隔農業(ロボファーム)技術も必要となる。(遠隔農業サービス)

a)の労働節約技術に関しては、農業をとりまく周辺作業のデザインも不可欠であると考えられる農業においては、雑草除去、追肥、受粉交配など定常でない労働力が必要となる場合があり、このようなマンパワー不足を解消する農業周辺サービスも非常に重要である。例えば、雑草や害虫を食べてくれる合鴨や鯉による方法は、土に酸素を供給したり、糞が肥料になったりと良い面もあるが、合鴨を育てる手間や、鳥やキツネ等の天敵から合鴨を守る労力もある。このような課題に対応しても、労働力を節減するロボット技術の研究開発が必要である。

b)の国民参加型農業サービスについて補足説明しておく。農村部が労働者の確保が困難になっている一方で、人口が都市に集中して都市部には、人が存在する。労働力分布がミスマッチになっているのである。また、都市部には。国家の基盤としての食糧生産の重要性を認識した人、農業を趣味としたい人などが存在する。このような状況をふまえて、人と場所のマッチングを図ることで、農業を支えるサービス事業がおこされるべきであると考えられる。その際には。都会の人をうまく組織できるNPOが重要な役割をはたす。

c)の遠隔農業に関しては、都会の元気なアクティブシニアの活用も視野に入れた、都市部の労働力をインターネットを介して農村部に持ってくることも可能にしたい。さまざまな新しいサービス事業がここから生まれると考えている。

・サービス2(都市型植物工場サービス)

植物工場は農商工連携の象徴的な取組みと考えられる。例えば、蛍光灯や発光ダイオード(LED)を利用する完全人工光型の植物工場では、夜間電力を利用したり、時間帯をシフトしての栽培も可能になり、収益性の向上に資する。このような完全人工光型植物工場は無農薬のプレミアム野菜を生産できるだけでなく、災害時対応としても期待がある。なかんずく、最終需要者の存在する都市部における植物工場は、多様な消費者のニーズにこたえうる、多様なサービス形態を可能にし、今後も拡大すると予想できる。少子高齢化に伴い産業構造が大きく変貌する中で、初期設備投資の低減のためにもビル、工場、マンションなどの空き物件を植物工場として再利用する動きが活発になると期待される。

さらに、食の安全と趣味の両立から農家でなくても菜園を持ちたいという思いが高まっている。IT技術等と連携すれば、植物工場がこのようなニーズに対応する家庭菜園サービスとしても育つことが期待できる(図3.1.10-9参照)。

植物工場がサービスとして普及するためには、初期コストやランニングコストの低減のための、ロボット技術やセンシング技術、省力化技術、さらに照明や空調の省エネ化技術の更なる取組みが必要で、これを実現するための技術開発プロジェクトが求められる。

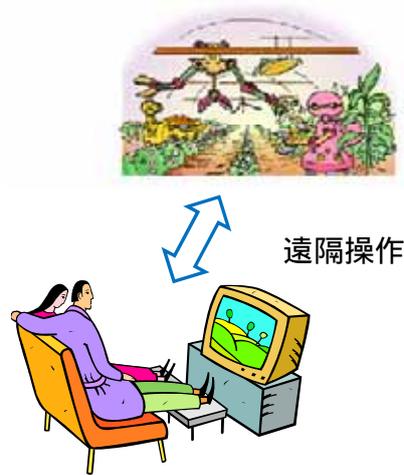


図 3.1.10-9 遠隔操作による家庭菜園サービスのイメージ

3.1.10.3 その他の課題（制度など産業化を阻む弊害）

(1) 地域活性化総合特区の活用

農業機械は、その対象が農作物あるいは畜産物であるために、人を対象とする医療機器や福祉機器と比べて規制が少ないと考えられる。近年、英米では戦場の偵察用に無人飛行機を開発している。同様の技術によって、無人飛行機による農地の監視や光ビームによる害鳥害獣の撃退の有効性も期待できる。しかしながら、このような無人機やレーザーの運用には規制があり、地方自治体が地域活性化総合特区などによる規制緩和を利用して農商工連携を実現しやすくするなど、農家の理解を得ることも重要である。

(2) 安全性の確保や近隣からの苦情への対応

無人化や遠隔操作型の農作業においてはロボットである作業機が制御不能や誤作動したりしても、危険な状況に陥らないようにフェールセーフ設計にして安全性の確保に努める必要がある。また、近隣住民への騒音被害が起こらないように配慮すべきである。

(3) ロボット技術開発への継続的な投資

無人や遠隔操作型の農業用ロボットでは、太陽電池で充電した電力でも安定して長時間運用できる軽量化技術が必要である。また、遠隔操縦や画像解析のために安定した情報通信のインフラが必要であり、ゼロにできない情報遅延を克服する姿勢制御などの自律的動作を実現する知能技術などが必要である。このためにも、諸外国のロボット技術に遅れないように継続的な研究開発投資が必要である。

また、我が国のエネルギー自給率が低いという状況の中で、ロボット技術を活用した情

報家電製品が受け入れられるためには、ロボットのエネルギーが増えすぎないようにしなくてはならない。多量の電気エネルギーを使用すればするほど、ロボットの普及が困難になる。むしろ家庭の省エネに貢献すべきである。自動車、洗濯機、冷蔵庫、掃除機、電子レンジ、テレビ、パソコン、携帯電話なども省エネ化によって更なる普及が実現していることを考えると、ロボット開発にも省エネ化に向けた技術開発が必要である。

(参考文献)

- 1] 平井、“日本の農業の実態とこれからの課題”、香川大学 経済政策研究、通巻第 2 号、p.105 (2006 年 3 月)
<http://www.ec.kagawa-u.ac.jp/~tetsuta/jeps/no2/frontpage.pdf>
<http://www.ec.kagawa-u.ac.jp/~tetsuta/jeps/no2/hirai.pdf>
- [2]“新成長戦略”、<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/>
<http://www.kantei.go.jp/jp/sinseichousenryaku/sinseichou01.pdf>
- [3]“2010 年世界農林業センサス結果の概要 (概数値)” (平成 22 年 2 月 1 日現在)
<http://www.maff.go.jp/j/press/tokei/census/100907.html>
- [4] Rodney A. Brooks 著、五味隆志訳、“ブルックスの知能ロボット論”、オーム社、p.207
- [5]“平成 22 年度 エネルギーに関する年次報告書 (エネルギー白書 2010)”
<http://www.enecho.meti.go.jp/topics/hakusho/2010/index.htm>
- [6]“でんきの情報広場、「原子力・エネルギー」図面集 2010” ;
<http://www.fepc.or.jp/index.html>
<http://www.fepc.or.jp/library/publication/pamphlet/nuclear/zumenshu/index.html>
- [7]“農林水産研究基本計画” (平成 22 年 3 月 30 日決定、農林水産技術会議)
<http://www.s.affrc.go.jp/docs/kihonkeikaku/top.htm>
- [8]“技術戦略マップ 2010”
http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str2010.html
- [9]“農商工連携促進等による 地域経済活性化のための取組みについて” (平成 19 年 11 月)
<http://www.meti.go.jp/press/20071106001/20071106001.html>
- [10]“農商工連携研究会 植物工場ワーキンググループ報告書” (平成 21 年 4 月)
<http://www.meti.go.jp/press/20090424004/20090424004-3.pdf>
- [11]“持続的成長を目指す植物工場ビジネス”、産業イノベーション 2010 年夏季号 VOL.68, pp.1-16
<http://www.dir.co.jp/souken/consulting/report/strategy/sangyo/10070701sangyo.pdf>
- [12]“全国の野生鳥獣類による農作物被害状況” (平成21年度)
<http://www.maff.go.jp/j/press/seisan/tyozyu/101224.html>
- [13]“電波利用による高度農業支援システムに関する調査会報告書” (平成17年3月、総務省東北総合通信局)
http://www.soumu.go.jp/soutsu/tohoku/houkoku/sakuranbo/02/02_02.html

(用語説明)

(注1)「持続可能な社会」: 国連が提唱する将来の世代の欲求を損ねることなく、現在の世

代の欲求も満足させる社会

(注2)「穀物自給率」：家畜などに対する飼料用の穀物をも含めた穀物類全体の国産比率を計算するもの

(注3)「供給熱量自給率」：国民に供給された食料の熱総量のうち、国内で生産された食料の熱量の割合のこと

(注4)「販売農家」：経営耕地面積が30a以上又は調査期日前1年間における農産物販売金額が50万円以上の農家

(注5)「自給的農家」：経営耕地面積が30a未満で、かつ、調査期日前1年間における農産物販売金額が50万円未満の農家

(注6)「土地持ち非農家」：農家以外で耕地及び耕作放棄地を合わせて5a以上所有している世帯

(注7)「農業就業人口」：自営農業に従事した世帯員（農業従事者）のうち、調査期日前1年間に自営農業のみに従事した者又は農業とそれ以外の仕事の両方に従事した者のうち、自営農業が主の者

(注8)「農商工連携」：地域の基幹産業である農林水産業、商業、工業等の産業間での連携

(注9)「限界集落」：過疎化などで人口の50%以上が65歳以上の高齢者になり、冠婚葬祭など社会的共同生活の維持が困難になった集落のこと

(執筆担当：村井健介)

3.1.11 製造業分野

2000年代に入り、中国が世界の工場としての確固たる地位を固め、アジア地区各国がそれに連携し、それぞれの国情に応じた役割を担う構図がはっきりしてきた。日本の製造業は、過去何度か空洞化が懸念されつつも、高い技術と現場の努力でモノづくり立国の地位を何とか維持してきたが、リーマンショックをはさんで、もはやこれまでの地位を維持できないことが明白となった。

ここでは、日本のこれからの製造業への新たな期待とそれを具現化するための課題を、ロボット技術の側面から論じる。具体的には、従来は自動化にとどまっていたロボット技術を、製造業のインフラ技術にまで展開することが主たるポイントとなる。

3.1.11.1 製造業における社会要請の変化

これからの日本の製造業は、アジアの台頭に代表されるモノづくりのグローバル化に対応し、かつモノづくり先進国として、生産効率のみではなく生産活動そのものの社会的価値の向上にチャレンジすることが望まれる。なお、言うまでも無く、モノづくりのグローバル化とは単なる輸出比率の拡大ではなく、事業の舞台そのものが国内に留まらないことを意味する。

(1) 日本の生産効率の変化

日本の製造業の発展プロセスを見てみよう。図 3.1.11-1、2 に日本の製造業の推移を示す。

付加価値総額は、何度かの短期的減少はあったものの、前後からバブル崩壊まで伸び続けてきた。しかし、バブル崩壊後は、微減ながら減少の一途をたどっており、残念ながら日本の製造業の衰退傾向を示していると言わざるを得ない。

一方、労働生産性を一人当たりの付加価値額で見ると、こちらも短期的減少はあったものの2005年までは伸びている。失われた10年においても労働生産性向上が見られる点は、流石モノづくり立国の面目躍如であった。

しかし、2002年からの好景気は良く知られるように、偏った好景気で底力としては疑問があった。実は、リーマンショックに先立つ2006年から既に、一人当たりの付加価値額が明らかな減少に入っており、リーマンショックに関わらず、国を挙げてのモノづくりの実力がもはや衰退基調であった可能性を示唆している。(全従業員の労働生産性の議論であり現場の省力化とは別物である。)

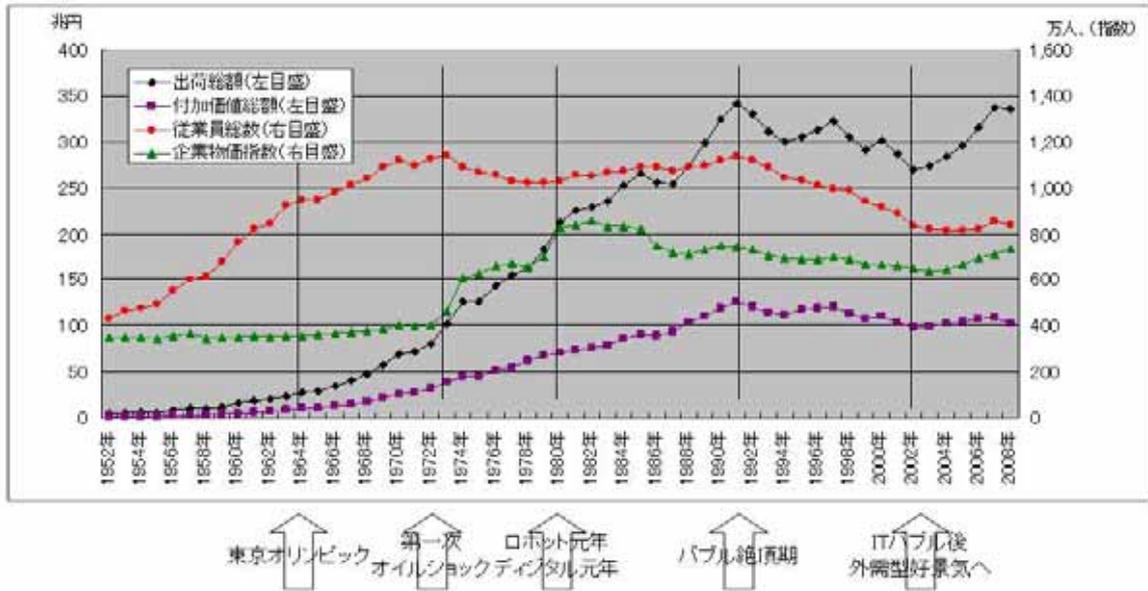


図 3.1.11-1 製造業の出荷額、付加価値額、従業員数の推移
 (出荷額、付加価値額、従業員数は、経済産業省工業統計を基に、企業物価指数は日銀調査統計局資料を基に作成)

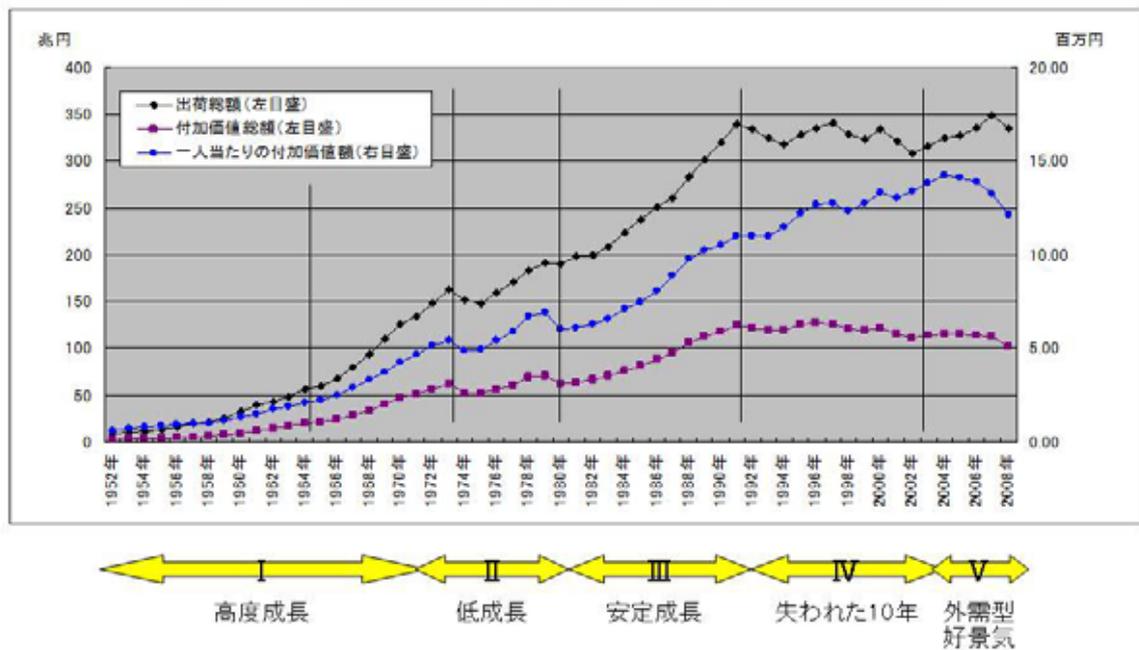


図 3.1.11-2 企業物価補正後の製造業の出荷総額、付加価値総額、
 従業員一人当たりの付加価値額の推移
 (2008年の物価を基準として補正した実質値)

図1: 基礎数値の推移

- a) 出荷総額: 従業員4人以上の製造業の出荷総計額(経産省工業統計)
- b) 付加価値総額: 同じく、付加価値総計額 = 出荷総額 - 購入部材総額
(経産省工業統計)
- c) 従業員数: 同じく、従業員の総数(現業作業員だけではない)。非正社員も含む。
(経産省工業統計)
- d) 企業物価指数: 企業の購買物価の戦前基準指数 (日銀調査統計局)

図2: 2008年を基準とした企業物価補正後の実質値の推移

- e) 出荷総額: a)及びd)より算出
- f) 付加価値総額: b)及びd)より算出
- g) 従業員一人当たりの付加価値額: f)及びc)より算出

			出荷総額 e)	付加価値 総額 f)	従業員数 c)	労働生産 性 g)	傾向
I	～1973年	高度成長期	増加	増加	増加	増加	拡大
II	～1980年	低成長期	増加	微増	減少	結果増	波乱含み停滞
III	～1992年	安定成長期	増加	増加	微増	増加	拡大
IV	～2002年	失われた10年	微減	微減	減少	増加	生産性のみ向上
V	～2008年	外需型好景気	増加	微減	微増	減少	生産性低下
VI	～現在	リーマンショック後	(激減後急増)		(減少)	(結果増)	(収束先不明)

図 3.1.11-3 図 3.1.11-1,2 の解説

(2) 日本の生産性と自動化・ロボット産業との関係

オイルショックを含む 1970 年代は、経済的にも大きな変動があった。360 円/ドルの固定相場が解消され 220 円/ドル程度まで円高へ。国内政策は、1970 年代前半の日本列島改造論と公害半減・福祉倍增計画による内需急拡大とインフレ懸念。オイルショック直後には狂乱物価に見舞われている。

オイルショック以降は政府による金融引き締めと、企業による省エネルギー型ローコストオペレーション化努力とそれに伴う労働集約から知識・技術集約型企业への移行努力が行われ、日本経済は思いのほかの適応力を見せた。企業努力の効果は 1980 年からの労働生産性向上につながった。

ロボット産業は、1980 年のロボット普及元年から成長しており、図 3.1.11-4 に日本の産業用ロボット出荷推移を示す。なお、同図中の初期成長期①とⅢ、成長停滞期②とⅣ、再成長期③とⅤは対応している。ロボットの出荷台数推移と日本の製造業出荷総額の推移は非常に一致した傾向にある。ロボット産業には、製造業の質的変化が端的に現れているようである。

1980 年からの生産性向上を担った具体的な要因としては、製品そのものがコストパフォーマンス優先型に切り替わり、経済的にも好循環であった背景もあるが、最大の功績はデジタル技術による自動化にある。1980 年はロボット普及元年でもあるが、実はデジタル制御元年でもある。各種の加工機械をはじめあらゆる制御機器のマイコン化は、おりからの製造業ローコストフレキシブルオペレーション志向と相まって、アナログ固定シーケンス型の生産現場をデジタルプログラマブル型の生産現場に変えた。

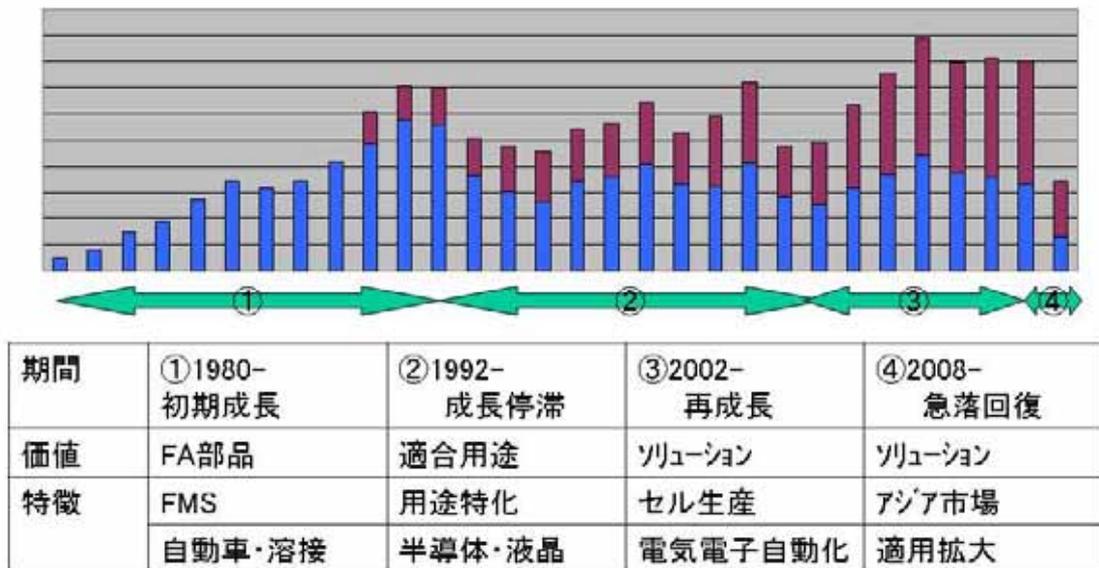
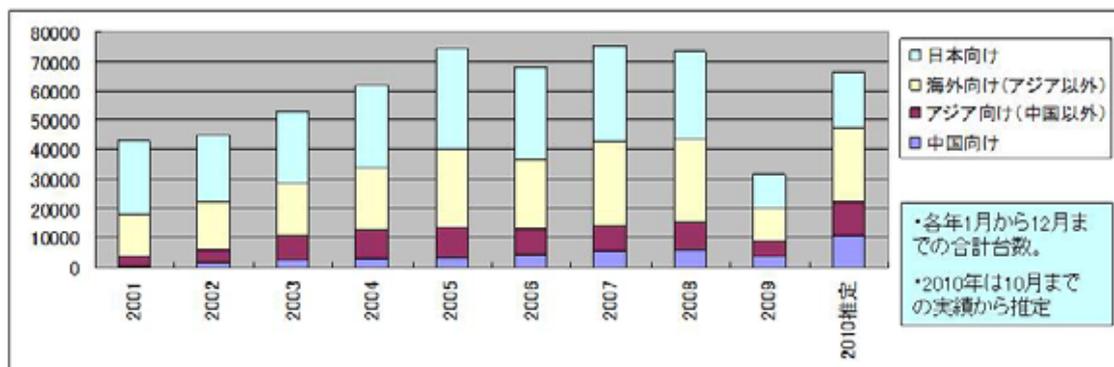


図 3.1.11-4 産業用ロボット市場の推移

続く、失われた 10 年にも生産性拡大が果たされたのはなぜだろう。数値上は、付加価値総額減少以上に従業員数が減っている点で 1980 年からバブルまでの好循環期とは様相が異なる。もともと市況は不良債権など金融システム不安に起因する不況長期化しており好材料はない。付加価値総額の減少とはそのまま第二次産業の縮退を意味している。従業員数の減少は、単に数値上の問題だけではなく実際は質的なものが含まれる。すなわちこの時期あたりから熟練工のいない製造業への変貌が始まっている。全体的な投資意欲は減退しているものの、体力のある企業で生産維持のためには特に効果がある厳選された自動化投資が行われた。製造業としては自衛的努力により何とか生産性を維持したというのが実態と思われる。

2002 年からリーマンショックまでの好景気は、特定産業に偏重した外需型のもので、中国を中心としたアジア市場の急拡大が背景にある。一方では電機電子系産業の有力企業に限定されてはいるが、変種変量生産品の国内回帰の流れも存在していた。外需偏重の傾向は、リーマンショック後に急加速されている。図 3.1.11-5 に産業用ロボットの向け先推移を示すが、他の生産財もおおよそ同等の傾向を示している。



	2001年	2002年	2003年	2004年	2005年	2006年	2007年	2008年	2009年	2010年推定
総台数	42889	44609	52774	61458	74282	67904	75221	73058	31412	65989
輸出台数	17665	22228	28421	33864	39949	36498	42544	43574	19749	47032
輸出比率	41.2%	49.8%	53.9%	55.1%	53.8%	53.7%	56.6%	59.6%	62.9%	71.3%
アジア比率	8.9%	12.9%	19.9%	20.5%	18.5%	19.2%	18.6%	21.3%	27.2%	33.8%
中国比率	1.5%	3.0%	4.3%	5.0%	4.8%	6.3%	6.8%	7.7%	11.7%	16.1%

図 3.1.11-5 日本の産業用ロボットのアジアシフト

(日本ロボット工業会統計【会員分】):

マニピュレーティングロボット区分の台数データより作成)

(3) 中国でのモノづくり

中国の最近のモノづくりの状況を図 3.1.11-6、7 に示す。1980 年代からの改革開放政策は試行錯誤を繰り返しながらも、2002 年以降の第二次産業急拡大の段階に達し、日本にも外需型好景気を現出した。しかし、労働環境や条件の整備が追いつかず、その結果として労働者数は第二次産業拡大に追いついていないため、従って既に拡大の限界に達していると思われる。中国の自動化への期待はこれまでの日本のものよりもっと切実である。

一方、中国では、2006 年の第 11 次 5 ヶ年計画で軸足を、長く続いた開放政策による海外技術や海外資本の導入促進から自主创新へ、すなわち独自技術強化に転じている。さらに、リーマンショック以後、輸出依存型から、内需拡大策強化に転じている。文化大革命以後 30 年間の「先に豊かになれるところから豊かになれる」という流れが、これまでの先鋭化地域から、全土に広がり始め、巨大消費地が形成される。

中国は巨大消費地であると同時に巨大なポテンシャルを持つサプライヤでもある。サプライヤとしてのポテンシャルは日本の製造業にとって最大の脅威である。日本製品に徹底的な競争力があれば製品輸出だけで充分であるが、もはやそんな期待はできない。

これからの日本のモノづくりは、巨大なアジア外需に対応し、強力な現地サプライヤに対抗してオンサイトの事業インフラを強化し、結果として日本の内需にいかにか結びつけるか、という命題に直面するのはもはや避けようがない。

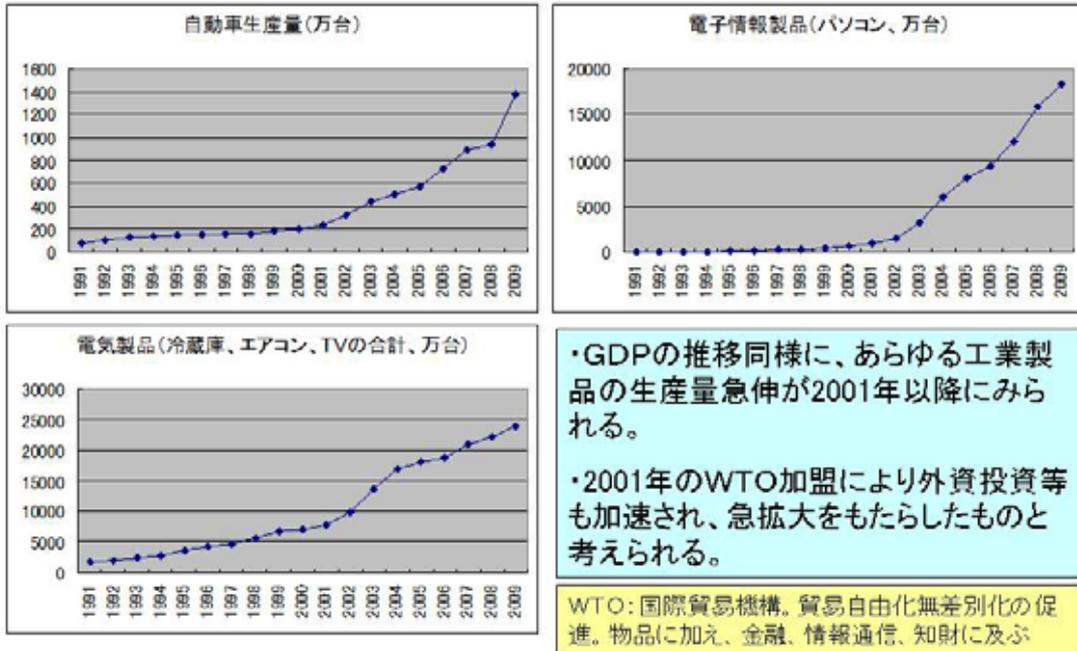


図 3.1.11-6 中国の主要工業製品の生産推移
 (中国統計年鑑 2009 のデータより作成)

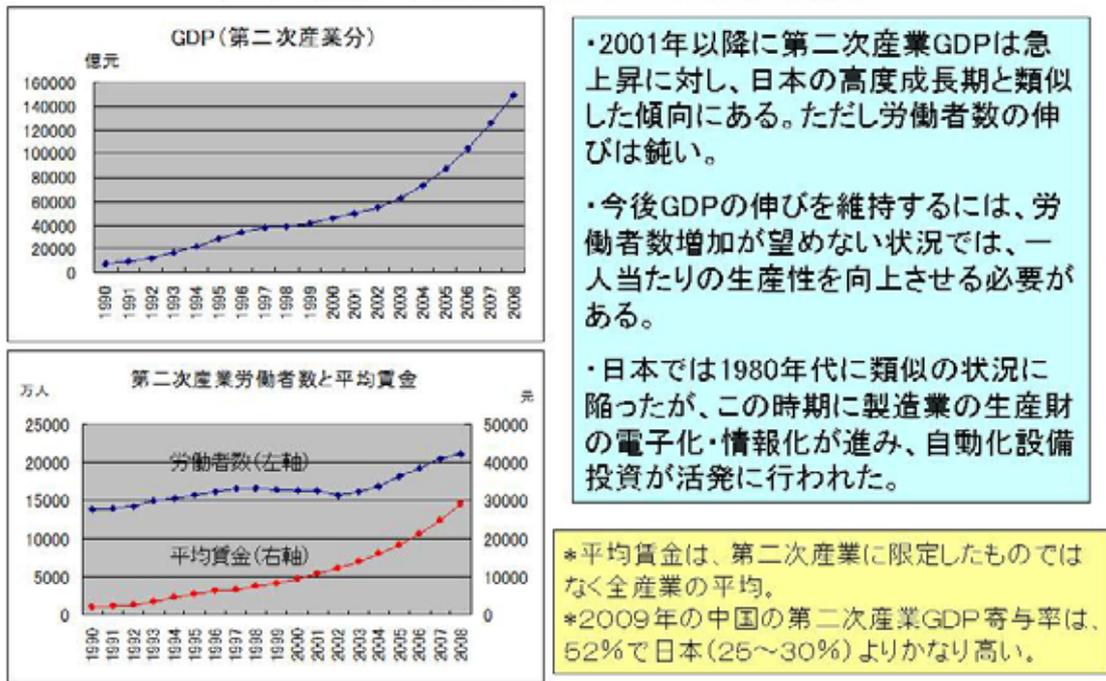


図 3.1.11-7 中国第二次産業関連値の推移
 (中国統計年鑑 2009 のデータより作成)

3.1.11.2 厳しい製造業を支えるロボット技術の適用

日本の製造業の置かれた厳しい状況下、ロボット技術を生かすべき課題には2つの側面がある。

労働代替手段としてのロボットはこれまで最大の期待でありかつロボット業界がこれに応えてきたのも事実である。今後ともロボットによる更に難しいモノづくりへのチャレンジが最大の課題であることは間違いない。しかし、これまでは、人か専用機械の代替手段として、とりあえず使えるところでロボットを使ってきたのが実態である。その実態から一步出て、これまで避けざるを得なかった難しい作業や工程への適用、生産財としての広義の使いやすさを追求し、代替手段ではない生産財としての社会的価値を確立する必要がある。(第1の側面)

生産性の低下問題は、現業の省力化問題だけではない。マニピュレータとしてのロボットだけではなく、広義のロボット技術が製造業全体の生産効率向上にどれだけ有効に活かせるかという問題である。現場を含み情報処理に至る製造業全体の広義の労働環境、グローバル市場でのシステムインテグレーションとアフターサービスの業務インフラがポイントである。いわば製造業のライフ・オブ・クオリティの追求と捉えても良い。(第2の側面)

(1) 第1の側面、生産財としてのロボットの価値強化

産業用ロボットメーカーで製品化が取り組まれ、研究開発機関でも実用開発にとりくまれている。図3.1.11-8にロボットの要素技術から社会的価値向上にいたる関連図を示す。

これまで数多く取り組まれている産業用ロボット開発では、要素技術により実現される具体的な仕様、その仕様によってもたらされる効果、その効果により得られる社会的価値、それぞれの段階で合理的定量的な目標設定ができていくかどうか、過去の活動を見直してみる必要もある。ここでは図中の数点のポイントから見た問題を列挙する。

- ① ロボット適用範囲の拡大 (目的効果から見た実現すべき仕様)
 - ・ロボットの基本的機能性能の問題：困難作業自動化へのチャレンジ
 - ・有効オプションの問題：ソリューションの幅拡大
 - ・アプリケーション技術の問題：ソリューションの技術的深化
- ② システムのインテグレーションコスト削減 (目的効果から見た実現すべき仕様)
 - ・ロボット側：インテグレーション時間を極限まで短縮化する
 - 個体差の問題、プログラミングの問題、コントローラのバリエーションの問題
 - ・アプリケーション側：カスタムな要求に応えるスタンダードシステム技術
 - エンドエフェクタの問題、ティーチングの問題
- ③ コスト耐力 (社会的価値の前提とした国際競争力として)
 - ・機械構造・基本構成部品の革新問題：根本的な機構革新
 - ・製造コスト問題：単に低コスト地域への移行ではなく製造システムの問題
 - ・トータルコスト問題：合理的で健全なコストパフォーマンスの模索
 - (時間的) 発注から廃却までのトータルコスト
 - (空間的) ロボットシステムを含む生産システムコスト

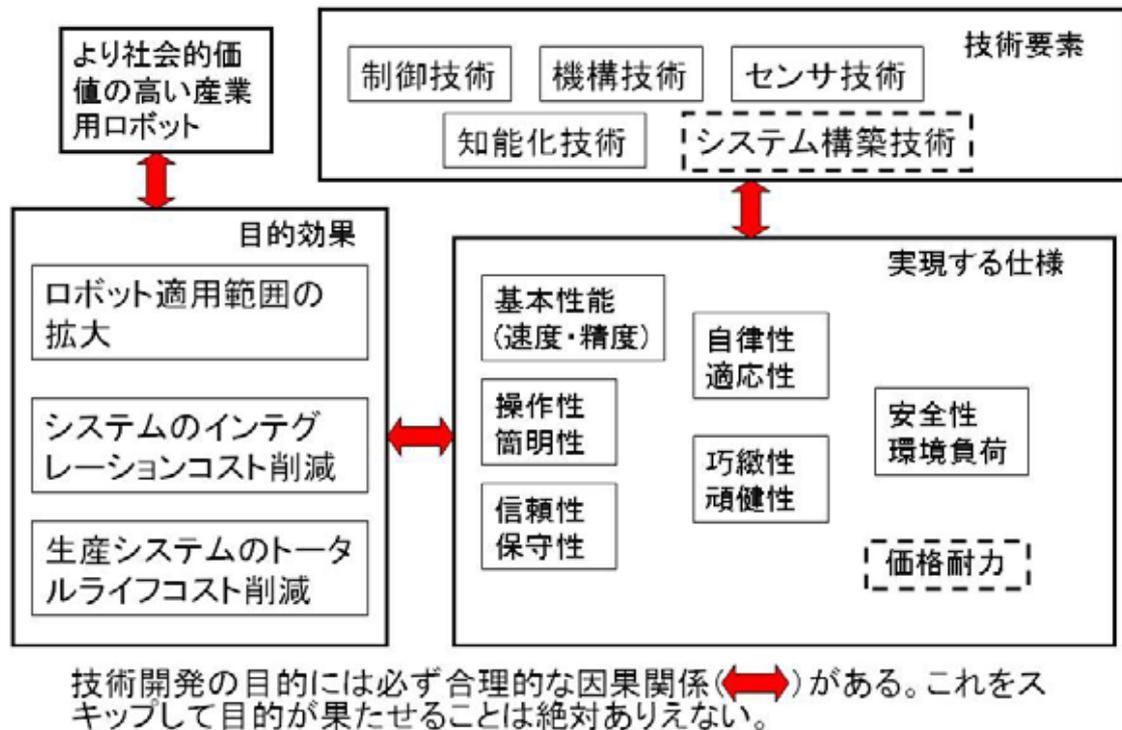


図 3.1.11-8 産業用ロボットの技術と期待される効果

(2) 第 2 の側面、広義の生産性向上

① 広義の労働環境問題

製造業におけるクオリティ・オブ・ライフを向上させるという視点で、以下代表的な実現すべきファンクションを列挙する。

a) 現場の労働環境

a1) 人が働く職場としての切り口から

- ・ 高齢化・素人化を前提とした製造現場（未熟・非力の容認）
- ・ 人と機械の合理的役割分担と安全確保
- ・ 孤立化現場のメンタルヘルスケア

a2) 効率向上の切り口から

- ・ 全ての部材・資材・製造リソースの個別識別、履歴情報蓄積、所在管理
- ・ 生産システムの習熟
- ・ 技能やノウハウの継承システム

b) 間接業務（設計・研究開発・品質保証・営業）の労働環境

b1) 就業オフィス環境の切り口から

- ・ 就業現場に居ながらにして製造現場あるいは製品稼動現場を実体感
- ・ 知的業務現場のメンタルヘルスケア

b2) 効率向上の切り口から

- ・ カスタム品を前提とした業務システム
- ・ 変更・流用等に伴う業務・製品品質の維持向上システム
- ・ 製造対象製品の動特性を含む可視化（仮想、プロトタイピング等も含む）

② グローバルビジネスインフラ問題

オンサイトのビジネスインフラとして、販売拠点だけではなく、受注前と現地立ち上げのエンジニアリング、稼働後のアフターサービスまで考慮する必要がある。単なる製品輸出の場合、多くは現地企業に委託することになるが、現地製品との競合は、この付帯サービスのパフォーマンスも含めないと勝ち残れない。

あらゆる工業製品で同様のことが言えるが、ここではグローバルロボットビジネスを例題とする。

a) エンジニアリング（システムインテグレーション）

a1) 受注前のスペックインのためのエンジニアリング

- ・シミュレーション技術をいかに現実的なツールに仕上げられるかが課題。ダイナミクスやノウハウの蓄積、流用、プログラミングとの融合など。この段階では、オンサイトかオフサイトかは、問題ではないが、即応性や様々なトライアル機能が必要。インターネット上で複数の有識者と顧客側が協議検討できる環境がベター。

a2) 受注後のシステム設計製造から現地での立ち上げまで

- ・当然オンサイトのサービスとなる立ち上げ作業で、少数の現地メンバと強力な複数のオフサイトメンバの共同作業環境が有効。

b) アフターサービス

アフターサービスは即応性や状況に応じた対応メニューの豊富さが決めてとなる。通常は現地メンバの能力や熟練度で善し悪しが決まってしまうので、充実には時間と資金がかかる。A2)で記載したような共同作業環境を引き続き活かすことで、オンサイトの広守備範囲の技術者とオフサイトの深い専門性を持った技術者によるパフォーマンスの高いアフターサービスが実現する可能性は高い。

(3) ロボット及びロボット技術を活用したグローバル製造業イメージ

グローバル競争激化の環境下で個々の製造業が生きていくためには、その会社の目指すものや成り立ちによって様々な選択肢がある。ここまで列挙した項目を複合したひとつの選択肢としてグローバル製造業モデル（グローバルなビジネスフィールドへ活動を広げるという意味とグローバル競争に強くなるという意味両方を含む）について若干のイメージ構築を行う。過去、多く行われているロボットのサービスファンクションに関わる研究開発成果を、工場まるごと適用できないか、と言うケーススタディで課題の具体化を試みることができる。

① ダイナミックファクトリイ

モノづくりの現場は生産物の変種変量傾向と、従業員の高齢化・素人化、さらに省資源志向をあわせ考えると、常に必要最小限のリソースで稼働すること、必要に応じた生産品目や生産能力の迅速な変更が可能なこと、といったダイナミックな生産システムの追求へと向かう必要がある。ダイナミックに運用できる設備として生産設備のポータビリティ、ダイナミックに運用する手段として目的に応じた実装実現を容易化するシステム、ダイナミックに運用しても生産性や品質を維持する方法として設備や人の作業結果の蓄積と改善

手段、などの切り口で工場の全体像を合理的に再構築する必要がある。ここには、従来研究されてきた、広義のロボット技術が有効に適用できる可能性は大きい。

- ・生産設備のポータビリティ

現在でも生産ラインはフレキシビリティを高めるためコンパクトに分断する傾向にある。究極はセルで完結した生産であるが、製品の特性によっては必ずしも正解とは限らない。製品の特性による生産システムの適切解については、まだまだ研究の余地がある。

ロボット技術の視点ではセル化が目的なのではなく、生産設備のポータビリティが目的である。ロボットそのものの巧緻性や知能化を高めることが基本的なアプローチであるが、空間的にはレイアウトを容易にする技術、用途的には適用ロバスト性の高いエンドエフェクタなど、ロボットに付帯する技術を含めた開発が必要である。

- ・目的に応じた実装実現を容易化するシステム

産業用ロボットの実用化には、ティチングプレイバックという現実的アプローチが非常に大きな役割を果たした。しかしこれがロボット導入の最大の期待であるフレキシビリティを阻害していることも事実である。オフラインプログラミングの問題は産業用ロボットの普及当初より取り組まれており、コンピュータアプリケーションの範囲内での発達は見られる。しかしシミュレーション技術や CAD/CAM 技術単独では解決できず、抽象化数値化されたバーチャルな空間に、いかに現場や現物の個性を反映するかという課題が解決されないと根本的な解決にはならない。

- ・設備や人の作業活動の結果の蓄積と改善手段

生産システムを迅速に稼動に持ち込み、意図しない不具合を常に排除しつつ安定して生産品を産み出し、生産品個々の情報をトレーサビリティのため確保する、というのが生産の現場サイドの基本的なミッションである。日本の現場は工夫や改善で優れた生産システムに高め維持してきた。もちろん日本の製造業は、ボトムアップに頼りきっていたわけではなく、トップダウンとボトムアップがバランス良く相互補完していた。ボトムアップ側を担ってきた世代が現場を去り、現場サイドがシステムの弱点を補完する機能が薄れてくると、システムとしての完全性がクローズアップされ、システムの完全性を追求すると、手順や情報の定型化に進まざるを得なくなる。日々実現場で起きている設備の状況や人的要因と、システムの齟齬を検出調停できる機能が必須である。要は現場で起きている具体的な情報を、レベルを問わずともかく収拾、システムの想定された規範への適合判定、不適合の場合の要因分析と改修、という機能である。

避けられない現場の素人化において、パフォーマンス低下を伴わないような生産システム実現の随所がある。

②グローバルコラボレーションシステム

サービスも含めたグローバルビジネスに、遠隔地同士での知恵や知識のコラボレーション（同時臨場）システムについて、ロボットを応用した生産システムを海外から受注する事例を多少イメージしてみる。

活用される局面は、物理的なモノとは関係なく図面や仕様書レベルの情報交換レベルのコラボレーションは随所にあるが、ここでは特に物理的な実現場の局面を想定する。

- ・顧客の現場：a)現地状況初期調査、b)立ち上げ調整検収、c)保守・メンテナンス

・メーカー側の現場：d)納入前立会い

在場者が気づかないところや知識の及ばないところを、非在場者がカバーできるような知識を活かす同時臨場機能、あるがままの現場状況に何らかの想定状況を仮に重ね合わせてみるようなスタディ機能などの機能面の検討、ティーチングペンダントの情報端末化や携帯電話などの既存情報端末の応用方法、セキュリティの確保などの道具面の検討など、実際の現場の問題を十分に把握した上での実装検討が必要である。

グローバルコラボレーションにおいては、情報や知識を共有するという基本的機能に加え、目の前に居ない共同作業者のメンタル的な要素を共有化する技術的工夫も必要である。何かに気づいていたり、注意力が低下していたり、・・・時差や文化の違いを抱えたまま作業を進める現場には大切な情報である。

3.1.11.3 技術解決以外の課題

(1) ロボット業界のグローバルフォーメーションについて

ロボット産業は、ロボットメーカーはロボット本体やオプションを供給し、分野ごと、地域ごとに存在するシステムインテグレータや生産設備メーカーがそのロボットを使って生産システムを構築する、という構造である（図 3.1.11-9）。

過去国内向けに年間出荷されてきた数万台は日本国内のシステムインテグレータの手でシステムに構成されてきたはずであるが、国内需要の減退とともに、国内で鍛え上げられたシステムインテグレータの活躍の場が失われ、日本のモノづくりの縮退に拍車がかかる。

一方ロボットメーカーにとっても今回の市場のグローバル化は、製品輸出の強化だけで応じられるほど楽観的ではないことは前にも述べた。中国の巨大な市場と技術のポテンシャルには、機能性能に優れた日本製ロボットを、あっさりとして現地製に置き換える勢いがある。

いずれにせよ現在のアジアグローバルマーケット化は、システムインテグレータ、ロボットメーカーともにロボット産業に生き残れなくなる危険性をはらんでいる。機械としての付加価値を高めるロボットメーカーとシステムとして付加価値を高めるシステムインテグレータ両者が協調して現地に有効な生産財をもたらすことができる、というグローバルビジネスフォーメーションを早急に追求する必要がある。

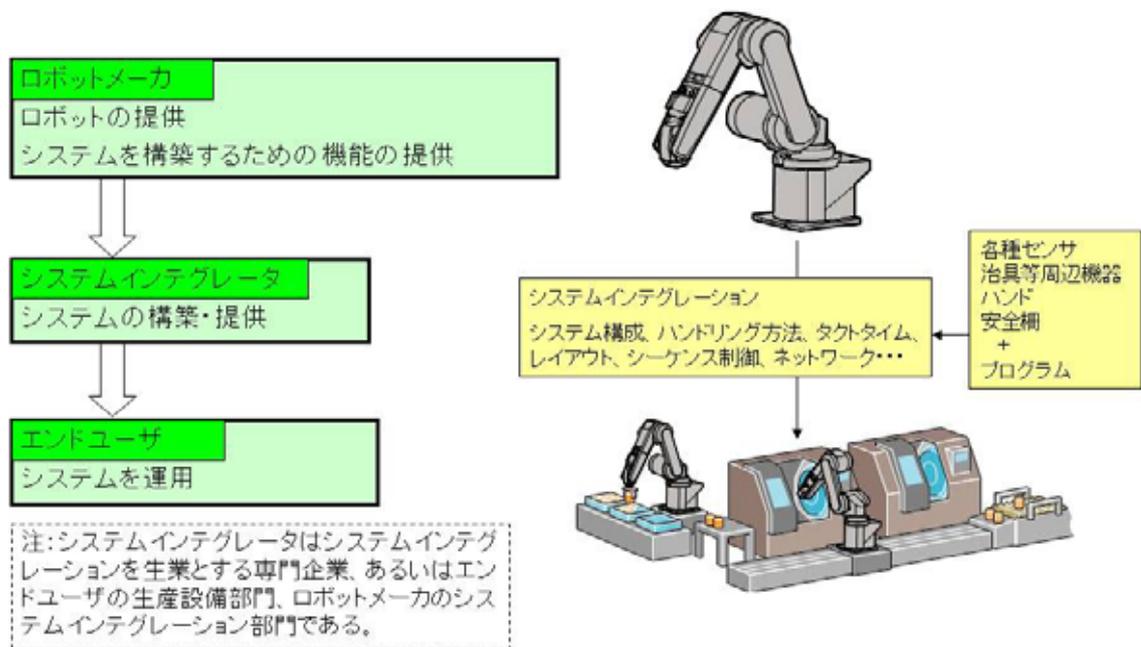


図 3.1.11-9 ロボットシステムにおける、ロボットメーカー、システムインテグレータ、エンドユーザの関係

(2) システムインテグレータのグローバル化について

内需縮退外需拡大環境下では、深いオンリーワン技術を持つシステムインテグレータや装置メーカーは、それを武器に輸出強化に向かえる。現地の営業チャンネル、導入技術支援、保守などのグローバルインフラ強化も大変な課題であるが、ビジネスモデルは描きやすい。

しかし、過去、日本のモノづくりを支えてきた中小のシステムインテグレータの大多数は、有能で小回りの利く便利な設備メーカーとしてロボット産業を支えてきた。この手の企業は、システムインテグレーションの有為なノウハウは保有するものの、そのまま外需に対応するビジネスモデルは描けない。

便利な設備メーカーの場合、オンリーワンやベストワンが理想であるが少なくともコンパクトなベターワンを獲得することがグローバル化の第一歩である。さらに関連するコンパクトなベターワン同士が共有できるグローバルインフラを構築するのが第二歩である。

コンパクトなベターワンというのは、過去の経験の中から生産に不可欠な要素装置を抽出し、あまりスコープを広げずに絞り込むことが望まれる。あるいは、特定の技術の深さを追求する方法もあるが、この場合は妥協せず国際レベルの深さにチャレンジする必要がある。この場合は広がりよりピンポイントの技術で狙ったほうが良い。

ベターワン同士が共有できるグローバルインフラの構築では、国や地方公共団体、各工業界の支援が不可欠である。「中国の現地サプライヤに伍して、中国顧客対応のシステムインテグレーションビジネスが展開できるような団体戦体制を、グローバルビジネスインフラとともに実現する施策が必要」、ということである。

(執筆担当：小平紀生)

3.1.12 運輸分野

3.1.12.1 21世紀におけるモビリティの課題

3.1.12.1.1 持続可能なモビリティ

人あるいは物をいかにして動かすかは、人間の長い歴史の中で絶えず重要な課題であり、技術革新と標準化が必要な分野であった。その成果は日常生活から経済、さらには政治や周辺国家との関係に大きな影響を及ぼしてきた。

21世紀における移動、モビリティは人間の歴史が始まって以来、初めて直面する課題を解決する必要に迫られている。この新たな課題を一言で表現すれば、持続可能性とモビリティの共生は可能かということである。あるいは、現在の運輸・交通システムがこのまま存続あるいは今後50年間システムとして存続可能なのかということである。[1]、[2]

各種の社会統計によれば、モビリティに関する需要は以下のような理由により世界的に増加する傾向にあると考えられている。[1]、[2]

- ・所得の増加 → 乗用車の需要増加
- ・余暇の増加 → 旅行の増加
- ・経済活動のグローバル化 → 生産、物流市場の地域的拡大
- ・家族構成の変化、女性の社会進出 → 移動の増加

このような変化による社会的、環境的影響を挙げるとすれば以下のようになる。[1]、[2]

- ・都市への人口集中による渋滞の増加、駐車車両の増加が、歩行者、サイクリスト、身障者にとって移動の障害となる。
- ・排ガスの増加による健康への悪影響
- ・交通騒音の増大
- ・交通事故の増大、特に高齢者に関係した事故の増大

これらの影響を最小限にするには、立地計画、都市計画から始まって、社会・経済・政治も含めた総合的なアプローチが必要となる。具体的には、自動車の利用に対する需要が増大する状況で、いかに自動車あるいは、内燃機関の利用を削減するかということになる。

このための方法論は活発に議論されているが、一つ特色を挙げるとすれば、ICTの積極的な利用と、これを前提とした技術開発ばかりでなく、広範囲にわたる制度の再設計が議論の対象となっていることである。本論においても後で述べる超小型モビリティにおけるICTの利活用を中心に議論をすすめ、これを活かすための制度設計にも言及したい。

3.1.12.1.2 自動車によるモビリティとその限界

自動車によるモビリティは、個人の利便性、移動に伴う選択の自由度から、まさに理想であった。自動車の開発段階では、動力として蒸気、電気（電池）が候補に挙がっていたものの、燃料補給の容易性等から、内燃機関を搭載した車両が主流となった。

例えば米国では1900年に4,192台の自動車が製造され、そのうち1,575台が電気、1,681台が蒸気、936台が内燃機関を動力としていた。これがT型フォードの生産が1908年に始まってから逆転し、1912年には944,000台の自動車が登録されているが、この時点で

も 35 の企業が 37,000 台の電気自動車を製造したとされているが、これ以降は減少している。[3]

車両 1 台についていえば、技術的にもコスト的にも、当時としては合理的な理由があって、社会が内燃機関を選択したことになる。しかし、世帯に 1 台、2 台ということが普通になると、渋滞による大気汚染の問題ばかりでなく、走行することによる CO₂ 排出自体も削減の対象になってきた。これは、自動車交通にとって、全く新しい課題である。

一方、自動車の普及に伴い交通事故が社会的に重要な問題となった。事故に対処するために様々な技術的工夫が、車にも道路にも実装されるようになった。電子部品が車に搭載されるようになって、事故のための対策が小型・軽量化、かつ高度化することが容易になってきた。この他、快適性や利便性を向上させるために、電子化が急激に進んでいるが、その結果、車重が増加傾向にある。

例えば、車載の電子部品をつなぐ電線（ハーネス）は 2000cc 以上の車両では 50Kg を超すと言われている。このことは、重量増による出力の低下、燃費の低下と、安全性の確保の間には、実はバランスを取る必要があることを示している。

一方、今の自動車の性能と、その価格を考えると、多量生産によるコストダウンがないかぎり、とても商品として実現できないものである。その点は充分認めたとしても、今は常識となっている多量生産によって失ったものも考えてみる必要がある。

多量生産の前提は、ある車両を欲している人が何万人から何百万人も存在しているということである。例えば、年齢、収入、職業や嗜好等を詳細に調査し、購買層を想定して、車両仕様を決めている。当然のことながら、人間の生活は多様であるから、ある個人の移動に関する要求とまったく同じ要求を持つ人間が、他に何万人も存在するとは考えにくい。従って、どちらかと言えば、車に人が合わせて生活を行ってきたと言えなくもない。あるいは、車の能力のごく一部しか利用していないことに、だれも疑問を持っていない。

その良い例が最高速度の設定である。車両が法定速度よりも速い速度を出せることは、危機回避のために必要という主張はよく知られているが、ほとんど高速道路を使わない人にとって、今の車両の最高速度の設定は無駄ばかりでなく、環境に負担をかけているのである。単に最高速度時のエネルギー消費のことだけではなく、エンジンが大型化し、最高速度での安全性を確保するためにタイヤやブレーキが大型化することによって重量増となっている。従って、この車両で自宅の周囲を走る際には、まさに死加重となっているのである。しかしながら、車両の利用形態に合わせて最高速度を設定するのは技術的には可能であるが、社会的には合意が得られないであろう。

以上のように、多くの人や物が自動車によってまさに自由に動けるようになったものの、多量生産ということから、ユーザが気が付いているかどうかは別として、必ずしもニーズに合致した乗り物が供給されているとは限らない。各人のニーズに合わせた乗り物を生産すれば高価になることは自明なことであるが、ニーズとコストのバランスを設計によって工学的に解決する必要がある。

3.1.12.2 日本のモビリティの課題

3.1.12.2.1 高齢化モビリティ

よく知られているように、日本は高齢化が世界で最も速く進行している社会である。また一方で、少子化も顕著になってきている。このことと、日本の都市構造、産業構成、地理条件が、21世紀における日本のモビリティの課題をより一層複雑にしていると考えられる。

モビリティが具現すべき性質を考えると、まず交通ネットワークによって地球上の“任意”の場所に到達可能なことである。任意といっても文明から取り残された所が目的地でない限り、飛行機、船舶、鉄道、自動車等を使い継いで到達出来るはずである。最少コストや最小時間ということも、パスやルートが確保されていれば選択の基準になるが、より社会的に重要な問題は、目的地までの移動手段はあるものの、現実には利用できないケースが存在することである。すなわち、移動のための個人的、社会的負担が大きいため、現実には利用できない事態が発生していることである。渋滞による予期せぬ時間損失及びこれに伴う経済損失、公共交通機関の衰退による利用機会の喪失等により交通機関へのアクセスが困難となる事象や、そのような事態が恒常的な地域や集団が存在するということである。すなわちモビリティにおける課題の一つが、持続可能性とアクセシビリティをどのように両立させるかということである。

次にモビリティの実態とその背景や、モビリティに対するニーズ、特に高齢者のニーズに関する統計データをまとめておく。

日本で高齢化率が20%に達したのは2005年で、2050年には高齢化率40%に達するとされている。(図3.1.12-1)これに伴い、65歳以上の高齢ドライバーも今後急速に増加し、2010年の1,250万人から2030年には2,620万人に達する見込みである。(図3.1.12-2)一方、65歳以上の女性の中にはそもそも運転免許を保有していない、あるいは取得の機会を逸してしまった方がかなりの数になるとされている。これらの人は家族が近くに住んでいない限り、交通機関へのアクセスが非常に困難である。

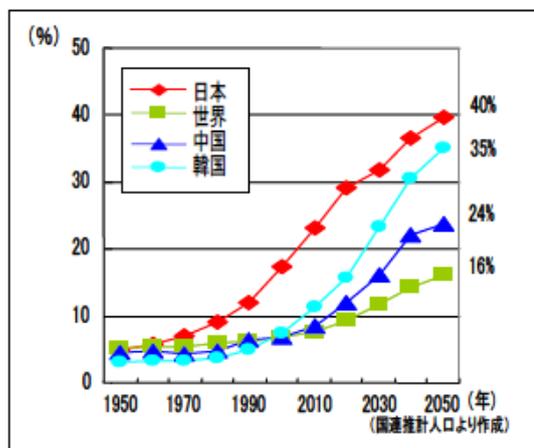


図 3.1.12-1 65歳以上の人口割合の推計

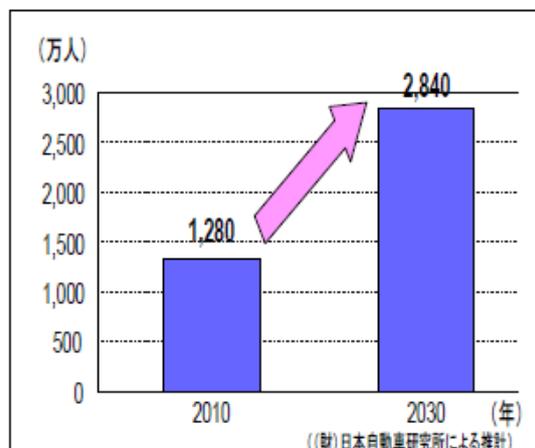


図 3.1.12-2 65歳以上の運転免許保有者の推計

高齢ドライバーの瞬間的な判断力や認知能力が加齢とともに低下することは知られている。このことが事故に直結するわけではないが、統計の上では高齢ドライバーによる交通事故は 1999 年の約 6 万件から、2009 年には約 10 万件への年々増加している。(図 3.1.12-3)

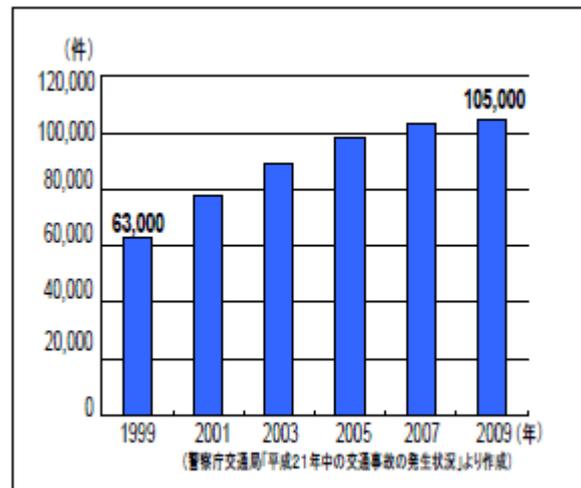


図 3.1.12-3 高齢ドライバーによる交通事故件数の推移

さらに高齢ドライバーの事故は重大事故につながる事が多く、高齢者が死亡事故を引き起こす確率は、非高齢者に比べ 1.4 倍高くなっている。

このような状況の中で、1998 年に創設された運転免許返納制度による高齢ドライバーの免許返納はここ 5 年間で約 13 万人に達している。(図 3.1.12-4) この中には家族が世間体を気にして本人の意志に反して返納しているケースもあると考えられる。さらに損害保険大手各社が高齢ドライバーの保険料率を引き上げる方針を固めていることなどから、事実上、高齢ドライバーを運転から遠ざけようとする風潮が見受けられる。(図 3.1.12-5 朝日新聞 1 月 7 日朝刊記事)

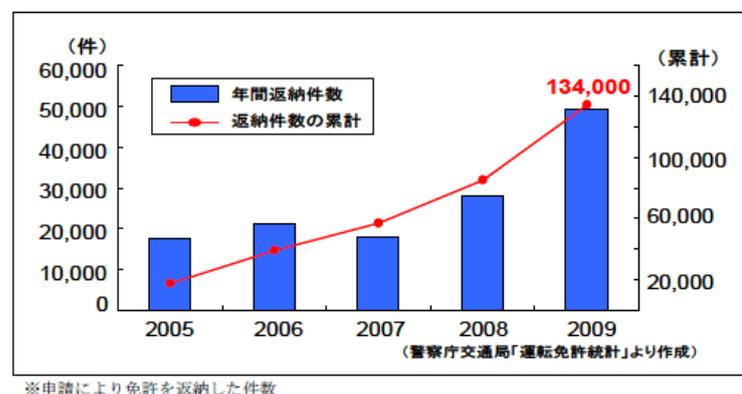


図 3.1.12-4 高齢ドライバーの運転免許返納件数の推移



図 3.1.12-5 朝日新聞 2011年1月7日 朝刊記事

以上のような状況のため地方では公共交通機関が充分発達していないので、唯一のモビリティとして自動車の必要性は年々増加している。特に高齢者にとって、日用品の買い物や病院への通院など、自動車がなければ生活が成り立たない状況にある。この状況はなにも中山間地域、限界集落等の過疎地だけでなく、大都会周辺の住宅地、団地でも程度の差こそあれ散見することができる。

関連する統計資料を図 3.1.12-6、図 3.1.12-7 に示す。

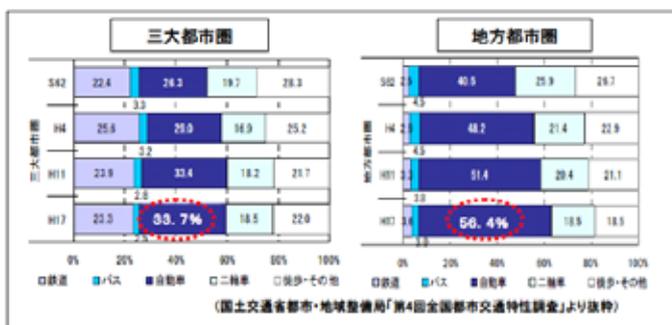


図 3.1.12-6

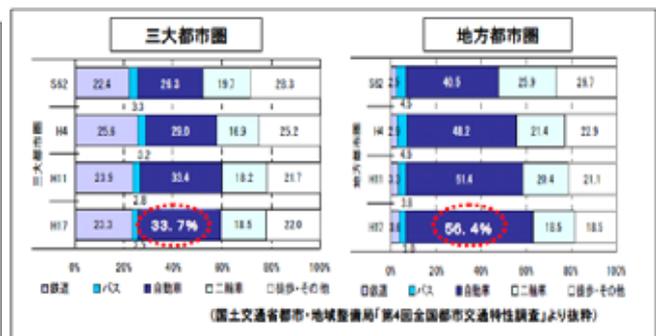


図 3.1.12-7

三大都市圏と地方都市圏での代表的交通手段の比較

高齢ドライバーの車の利用目的（複数選択）

地方での公共交通の脆弱さが、CO₂排出量低減を考える際に解決しなければならない課題であることは世界共通の認識であるが、日本では国内事情がさらに問題を複雑にしている。バス事業については、最近では自治体や NGO の努力によってサービスが復活している例も多いが、鉄道ばかりでなくバス路線も次々に廃止されているのが現状である。このような経緯があるため、バス事業者の経営体質は弱く、技術開発の余力や意欲もないように見受けられる。低床バスにしる、LRT(Light Rail Transit)にしる、技術的先進性は少ないと思われるが、新しいシステムを提案し、開発し実用化する力がしなわれてしまっている。その結果 LRT は輸入するしか方法がなく、また低床バスの製造が欧州に比べて 10 年近く遅れてしまうことになる。

以上要するに、日本のバス事業関連分野においてはイノベーションと、それによる技術的波及効果がほとんど期待できないことを意味している。さらに言えば、従来型の産業構造だけを前提としていても解決方法はなく、Life Robot 等の新しい発想の産業が参入していく必要がある。

欧州では、絶えず公共交通における政府の役割が議論されているが、日本では欧州に比べてこの種の議論が少ない。本来、公共交通に対する政府の役割は時代と共に変化すべきであるが、この種の議論が活性化する期待が持てるのは交通基本法の制定が議論されているからで、早期の成立を望みたい。(図 3.1.13-8 参照)

「交通基本法の制定と関連施策の充実に向けた基本的な考え方(案)」のポイント	
1. 移動権の保障と支援措置の充実…成熟社会にふさわしい持続可能な新しい交通体系の構築	
1) 移動権保障による活力のある社会の実現 <ul style="list-style-type: none"> 健康で文化的な最低限度の生活を営むために必要な移動権を保障。このため、都市、地方、離島を問わず、バス、タクシー、鉄道、旅客船等の多様な交通手段による地域公共交通を維持・再生し、活性化。自家用と公共の交通手段の最適な組み合わせ(ベストミックス)を再構築。 道半ばにある交通施設や乗り物のバリアフリー化を徹底。 人々の知恵と新しい技術を活用し、効率的な方法で地域の交通手段を確保することが必要。例えば、情報通信技術(ICT)を活用したデマンド型の交通サービスなど新しい交通手段を活用。 	2) 地域の協働会を通じた地域公共交通の維持、再生、活性化 <ul style="list-style-type: none"> 住民、自治体、交通企業などの地域の関係者が望ましい姿を共有し、その実現に向けた持続可能な方策を構築することが基本。「計画-実施-評価-改善(PDCA)」を通じて不断に見直し。 国の支援措置は地域の自主性を尊重することを基本に充実・再構築が必要。 国の補助制度を充実するとともに、可能な限り地域の協働会の自主的な取組みに対して一括交付する仕組みへ。 交通分野において、健康者が移動困難者を支え合う「共助」の視点を加え、国も地方も「公助」の内容を大幅に充実すべき。
2. 交通体系、まちづくり及び乗り物…三位一体の低炭素化の推進	
1) 世界の一步先を行く環境負荷の少ない交通体系、まちなみの形成 <ul style="list-style-type: none"> 自転車、バス、路面電車、鉄道などが充実した「歩いて暮らせるまち」にしていくため、経済的誘因、まちづくり政策、燃費規制などを総動員。 地球温暖化対策税や自動車関係諸税の見直しにあたって、環境負荷の少ない交通機関や自動車に配慮。 長期的には、コンパクトシティの推進、環境負荷の少ない都市・国土構造の形成、新たな市場の創出、経済成長へ。 全就業者の4割にも達するマイカー通勤から公共交通を利用した通勤へ誘導し、3,000万トンに及ぶマイカー通勤からのCO₂排出量を削減。 都市部の渋滞対策にインフラ整備だけでなく経済的誘因や交通規制を活用。 荷主と運送事業者が連携し、短距離輸送は自家用トラックから営業用へ、長距離輸送はトラックから鉄道や海運への誘導(モーダルシフト)を推進。 	2) 電気自動車的大量普及と周辺環境の整備 <ul style="list-style-type: none"> 電気自動車的大量普及に向けて技術革新と充電施設の整備を一体的に推進。 電気を動力源とする新しい個人向け乗り物(パーソナル・モビリティ)を含め、多様な乗り物の道路空間に共存させるという新しい課題に向き合うことが必要。
3. 地域の活力を引き出す交通網の充実…賑わいのあるまちなみと幹線交通網の連携	
<ul style="list-style-type: none"> 交通網の充実により、人々がたくさん集まり、「賑わい」のある、「住んでよし、訪れてよし」の魅力的なまちづくり、地域おこしへ。 路面電車の導入、自転車の利用のルール徹底等の「合意形成」に当たっては、住民参加のもとでの交通ルールの徹底を含めた総合的手法の導入を目指す。 あらゆる角度から「幹線交通網の総点検」を行い、総合的な交通体系の視点に立って政策を推進。 都市内、都市間の交通網は、日本で暮らしている人のみならず、わが国を訪れるすべての人々を各地に案内できる基盤であり、アジア、そして世界の公共財。来訪者の増加は日本発の新しい交通技術を海外に普及させていくきっかけに。国土交通省交通基本法検討会 2010年 	

図 3.1.12-8 「交通基本法の制定と関連施策の充実に向けた基本的な考え方(案)」のポイント

3.1.12.2.2 自治体からの具体的な提案

高齢化社会におけるモビリティは上記にあるように地方で特に大きな問題である。また少子化による学校の再編成は、結果として児童の通学距離を延長することになる。

他方、都市部においては、公共交通機関が発達しているところが多いので、過疎地ほどこの問題は深刻でない。

地方自治体の立場からモビリティの問題を考えると、市民のニーズは充分把握していたとしても、何をどう考えても従来のモビリティでは採算が合わないのである。従って自治体にとってモビリティの問題を解決するには、産業振興等、他の部門とのインテグレーションを図り、税収と雇用の創出が明確化しない限り事業化に踏み込むことは出来ない。従って、どのような解決策があっても、まず当該自治体での合意形成が必要である。

このためには、まず住民のモビリティに対するニーズを明確にする必要がある。これに関連して従来とは異なる発想で車両の提案を行ったの例があるので、これを簡単に紹介する。

2009年5月に福岡県の提唱により、「高齢者にやさしい自動車開発推進知事連合」が結成された。知事連合では高齢者が颯爽と運転する安全な自動車の開発を推進するために、高齢者にやさしい自動車のコンセプトを自動車メーカー等に提案し、開発・実用化を促すことを目指している。

このための準備として、知事連合の下部機関である自動車開発委員会が、以下のような大規模な調査を行った。

- 調査概要

- a) 調査実施道府県

知事連合 35 道府県

北海道 青森県 岩手県 山形県 宮城県 福島県 栃木県 茨城県
埼玉県 千葉県 神奈川県 山梨県 静岡県 富山県 石川県 岐阜県
愛知県 三重県 福井県 京都府 和歌山県 鳥取県 岡山県 広島県
山口県 徳島県 高知県 福岡県 佐賀県 長崎県 大分県 熊本県
宮崎県 鹿児島県 沖縄県

(北海道、東北、北陸の各県では、積雪寒冷地向けの質問を追加したアンケートを実施)

- b) 調査期間

2009年11月～2010年1月

- c) 調査票の回収数

10,856 件

- d) 回答者の属性

- 年齢

65歳未満	1,037名
65～74歳	4,580名
75歳以上	4,658名

(このうち高齢者講習受講者 918名)

- 性別
 - 男性 8,201 名
 - 女性 2,074 名
- 居住地域等
 - 都市部 3,090 名
 - 地方都市部 3,193 名
 - 農村部 3,074 名

知事連合 35 道府県が分担したので、このような大規模な調査が実施できたわけだが、詳細は報告書[4]を見ていただくことにして、ここでは以後の議論に必要な部分を紹介する。

図 3.1.13-9 は車の必要性についての質問に対する回答で、自動車への依存が大きいことが判る。一方、自動車の利用頻度についての質問に対する回答を図 3.1.13-10 に示すが、積極的に自動車を活用していることがうかがえる。

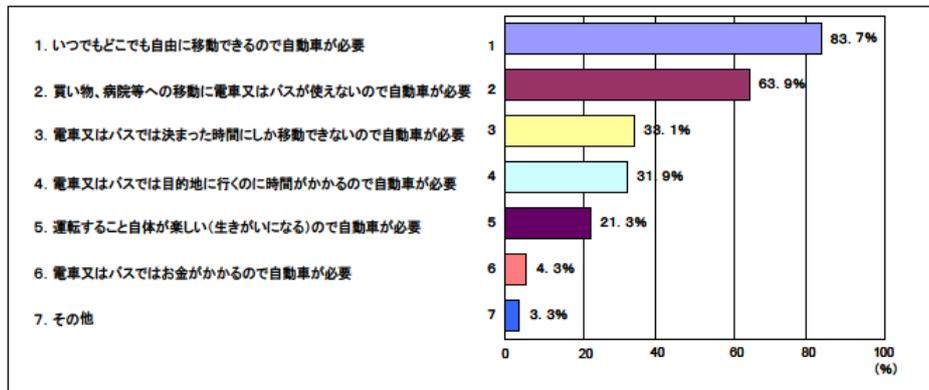


図 3.1.12-9 車の必要性（複数選択）[4]

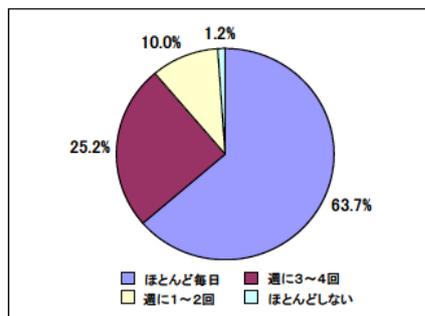


図 3.1.12-10 車を運転する頻度[4]

その一方で、高齢ドライバーの中には、近距離しか運転しないケースが多く、図 3.1.12-11 に示すように、過去1年の間に、1日の最大運転距離が 30Km に満たないドライバーが 37% にもぼることがわかった。さらに、80%のドライバーが普段に運転する距離は 20Km 以下であり、半数の者が高速道路を利用しないことが判った。（図 3.1.12-12）

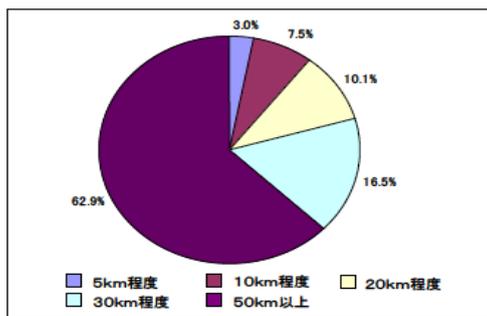


図 3.1.12-11

1日の最大運転距離（過去1年間）[4]

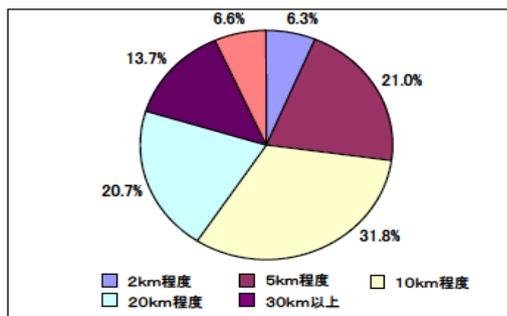


図 3.1.12-12

普段の運転距離[4]

乗車人数に関しては、普段はほとんど2人以下であることが、図 3.1.12-13 からうかがえる。

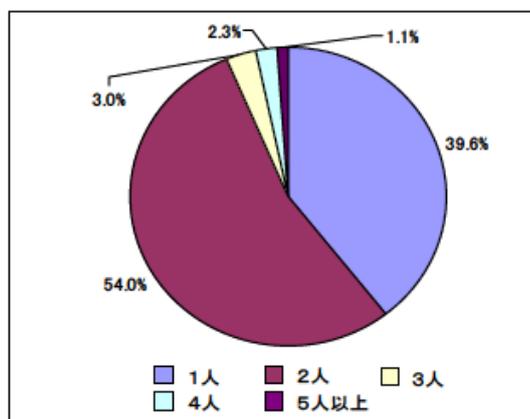


図 3.1.12-13 普段の乗車人員[4]

以上のような調査結果に基づき知事連合では2011年2月に図 3.1.12-14～16のような提案を行った。要点は2人乗りで高速道路を走らない“超小型モビリティ”の車両規格を新たに整備すべきであるというものである。また高齢者の運転機能低下に鑑み、様々な事故防止機能や運転能力向上機能を搭載することを提案している。これを受けた形で国土交通省自動車交通局が検討作業に入っていることが報道されている。（関連記事は図 3.1.12-17）

1 高齢者にやさしい自動車のコンセプト構成

開発委員会は、高齢者にやさしい自動車のコンセプトとして、高齢者のための「支援機能」と、使用実態に適した「車両」を提案する。

(1) 支援機能

高齢者が颯爽と運転できる安全な自動車の機能として、「事故を防止するための機能」、「運転能力を向上させる機能」、「積雪寒冷地向けのオプション」機能を提案する。

(2) 車両

近距離の運転しか行わず高速道路を利用しない高齢者のために新しい車両として、小回りが利いて運転しやすい2人乗り小型車を提案する。

なお、長距離、高速道路の運転を行う高齢者には、現在の軽・小型・普通自動車に適するが、これらについては、既に様々な仕様の車が市場に存在するため、具体的な車両の仕様は提案しない。

(参考) 高齢者にやさしい自動車の例

高齢者にやさしい自動車は、軽・小型・普通自動車又は今回提案している新しい車両に、高齢者のための支援機能を装備した自動車である。

どのような車両に、どのような支援機能を組みあわせ、いくらで販売するかは自動車メーカーの販売戦略の分野であるが、高齢者が具体的にイメージできるように、今回提案している2人乗り小型車の車両と、コンセプトの支援機能の中で高齢者の要望が高い機能を組み合わせた高齢者にやさしい自動車の例を提示する。

図 3.1.12-14 高齢者にやさしい自動車：超小型モビリティ[4]

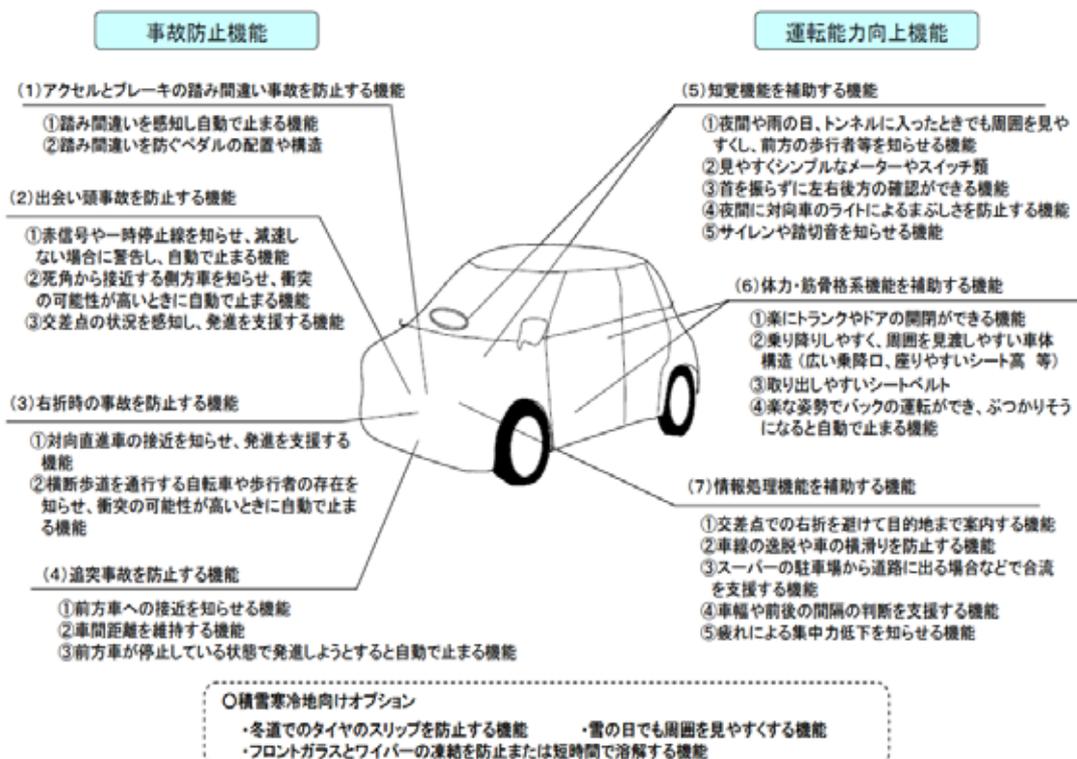
2 支援機能

○事故防止機能

高齢ドライバーに特徴的な「アクセルとブレーキの踏み間違い事故」及び、特に発生件数の多い「出会い頭事故」「右折時の事故」「追突事故」を防止する機能

○運転能力向上機能

自動車に対する不満や運転で気になること（「知覚機能」「体力・筋骨格系機能」「情報処理機能」）に対応する機能



※ 支援機能の中には、実用化に至っていないものも含まれる

図 3.1.12-15 超小型モビリティ支援機能の例[4]

3.1.12.2.3 超小型モビリティと自動運転

この提案に対して関係省庁がどのように対応するかは、ここの話題ではないので省略するが、図 3.1.12-15 にある事故防止機能や運転能力向上機能は自動運転に極めて近い技術である。

高速走行を前提にしなければ、センサやアクチュエータに関する選択の幅が広がる上に、EV を前提とすれば制御が楽なので超小型モビリティは自動運転を導入する対象として、現在のところ最適な車種と考えられる。

EV を従来の自動車の代替とのみ考えるのではなく、社会の変化に適応した新しいモビリティ実現の手段と考えると、車両の自動運転、ロボット化が一つの研究開発の方向である。

しかしながら、車両である以上、安全性に関して十分な検証が必要である。従来の車両の安全性に関しては、衝突安全に関する検証が主であり、その他にも様々な保安基準が定められている。これらの基準を満足することは当然ではあるが、一方で、ユーザビリティに関する検証がなされなければ、特に高齢者に使いやすいかどうかの判断が出来ない。ところがユーザビリティに関する評価方法は現在のところまだ開発されていない。

例えば、知事連合で提案されている事故防止機能、特に運転能力向上機能が、超小型モビリティに搭載された場合の安全性はともかくとして、本当に高齢者が望む機能が実現できているか、すなわちユーザビリティを評価する方法は現在のところ確定していない。従って、製造してみてマーケットの反応を観察するしかないのである。これではリスクが高すぎるので、大メーカーといえども市場参入を躊躇することになる。

リスクを可能な限り低くするには実証実験、社会実験を通じてデータを蓄積し、評価方法の開発を含めた研究開発が必要である。また、このような研究開発を通じて社会的なリスクを軽減し、関係省庁の理解を深め、その上で技術の有効性を示していく必要がある。このような実証的なアプローチを採用しないかぎり、場合によっては必要な法改正のための合意形成が達成できない。実証実験や社会実験は合意形成を図るための場として重要であることは明らかであろう。

そこで、ここでは超小型モビリティを例にとって、これを自動運転システムとして活用するにはどのような準備が必要と思われるかについて議論したい。地域・地方の課題ごとに課題を解決するための準備方法が異なると考えられるので、ケースごとのベンチマークとなるようなアプローチで整理を試みた。

その前に、自動運転技術の概要について簡単にまとめた。

3.1.12.3 自動車自動運転技術の概要

自動車の自動運転は自動車のロボット化のように見えるかもしれないが、超小型モビリティの自動運転はそもそも人間が乗る場合を想定している。

例えば、すでに実用化されている例もある農業分野の田植えロボットや、倉庫や工場内での自動搬送車、あるいは軍用の無人移動兵器等は、人に替わって作業をし、無人運転を行うというものである。しかし、いずれも人を乗せることを前提としていない。従

って、人を乗せる移動体の自動運転は、要素技術としては関連はあるが、別のジャンルの研究と捉えられている。

1950年代から現在まで様々な方法を用いて自動運転の研究開発が行われてきた。簡単な歴史を図 3.1.12-18 にまとめてある。ここでは、現在経済産業省が中心となって推進している“エネルギーITS”の自動運転技術について紹介し、超小型モビリティの自動運転に必要と思われる要素技術の比較を行いたい。

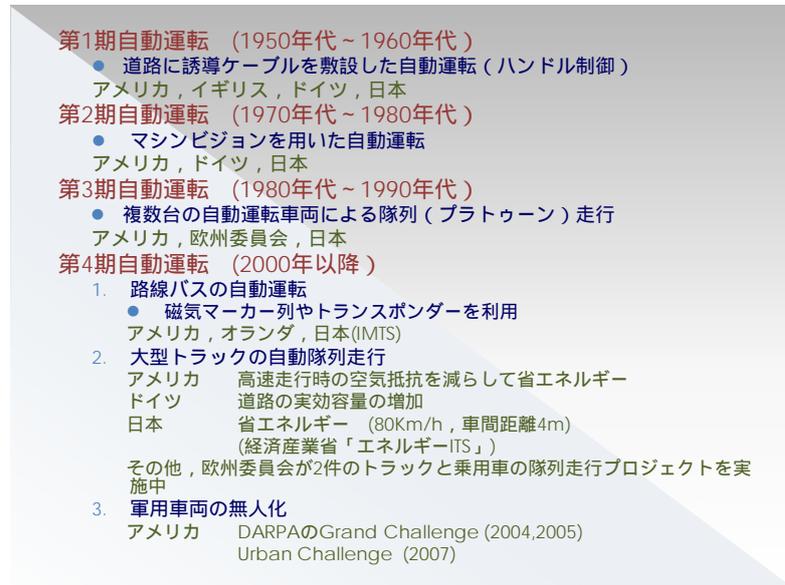
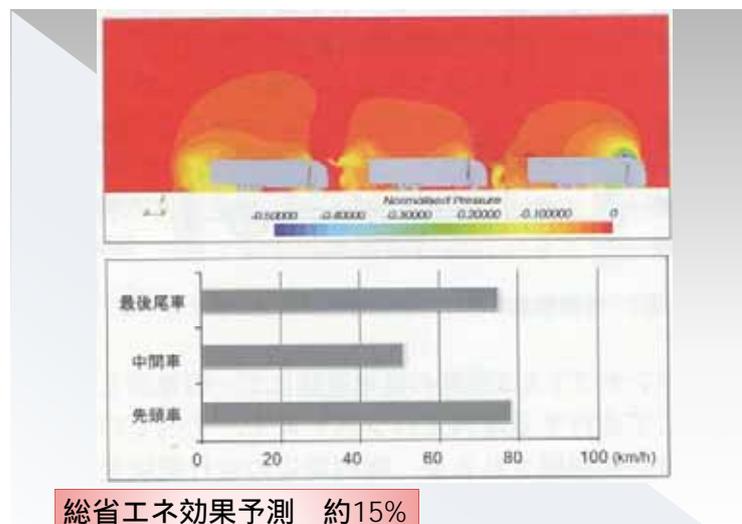


図 3.1.12-18 自動運転の歴史(文献[5]をもとに著者が編集)

“エネルギーITS”の基本的なアイデアは、トラックの場合車間距離を詰めることによって、2台目以降の空気抵抗が減少することが省エネにつながることに着目したものである。コンピュータシミュレーションの結果によれば、トラック3台のプラトーン走行を4mの車間距離で実現できれば、3台合計した総省エネ効果は約15%になるという予測値を出している。先頭車と最後尾車は、ほぼ同じような空気抵抗となるが、中間の車両の空気抵抗が減少するので、このような結果となる。



出典: (財)自動車研究所, 自動車研究, Vol.31, No.10, p.9 43

図 3.1.12-19 シミュレーションによる隊列走行の空気抵抗計算結果[6]

2011年1月現在、車間距離10mまでの実験は成功しているが、2011年3月中には車間距離4mのプラトーン走行を達成することを目標としている。(図3.1.12-20参照)

このシステムでの自動運転は、2台目、3台目の車両について考えられている。先頭車両の自動運転の実現は、技術もさることながら、社会的な合意形成がすぐには得られないため、まだ先のことと考えられる。一方、2台目、3台目は自動運転であっても無人とは限らない。すなわち、ドライバーの労働軽減のための自動運転システムというシナリオもあり得るからである。これはトラック輸送の中でどのようなビジネスモデルのもとで自動運転を捉えるかによって決まることである。しかし残念ながらビジネスモデルについては議論が活発でない。

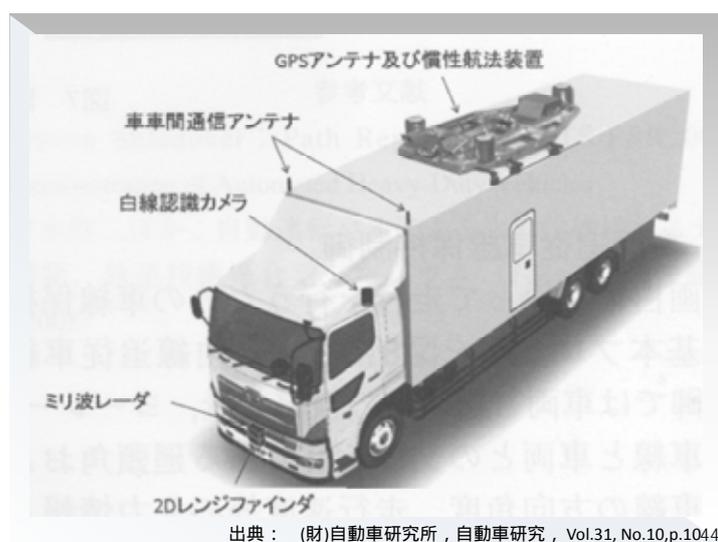


図 3.1.12-20 隊列実験車のシステム構成

いずれにしても、CO₂排出削減の方策の一つとして出てきたアイデアで、結果として自動運転技術が必要になったわけで、始めから自動運転の技術開発を目指したプロジェクトではないはずであるが、どうしても自動運転輸送システムよりも自動運転技術の方に関心が集まることになる。注目を集めている技術は、4mの車間距離を保持し、ブレーキングを同期する技術である。人間が運転したとしても、この条件で運転するためには何らかの支援システムが無ければ不可能である。実際、10mの車間距離を保ったまま、3台が同時に急ブレーキを作動する実験を観察すれば、4mで同様なことが可能になるなら、まさに人間技では出来ないことと納得するはずである。

“エネルギーITS”で開発されているシステムの基本的な技術は、GPSによる位置評定、白線認識による横方向制御、ミリ波レーダー、レンジファインダーによる車間制御、車々間通信による運転やブレーキングの調整、同期化である。車々間通信にはITS用の5.8GHz帯の通信システムが利用されている。

超小型モビリティへの技術移転を考えると、おそらくは大部分の技術が利用可能と思われる。ただし、利用するメディアやデバイスは、超小型モビリティの性能や車両スペースの制約に合致させる必要がある。

超小型モビリティで使うことが困難な要素技術の一つが白線認識である。“エネルギー

ITS”では高速道路での使用を考えているので、白線が整備されていることを前提としている。しかしながら、超小型モビリティの利用場面は過疎地や中山間地域等なので、白線が整備されていることを前提に出来ない。走行地域を限定し、そこでは白線を整備する考え方もあるが、利用場面が限定されることと、整備のための時間がかかると考えられる。いずれにしても、白線はインフラストラクチャであり、これを認識することによる車両制御は完全な自律型システムではないことを明記したい。

超小型モビリティで考えている自動運転については人間の判断がほとんど入らない Automated Mobility と車両をモニターし、遠隔操縦による運転、Remote Mobility も検討の対象である。Remote Mobility を考えているのは、一つにはすぐには自動運転には移行出来ないで、その前段階のプロセスとして必要と考えられることと、また何らかの異常が発生した時に、車両の挙動をモニターし、制御するシステムを安全対策の一環としてあらかじめ内包しておく必要があるからである。この考え方に基づくシステムを利用すれば、搭乗者を遠隔操縦で出迎えに行き、あとは自分でマニュアル運転しても良いし、遠隔操縦でも自動運転でも都合によって選択可能なサービスが考えられることになる。

3.1.12.4 超小型モビリティを利用した具体的なサービスの例

ここでは、一部の区間やいくつかのケースで超小型モビリティを用いた自動運転、遠隔操縦による自動運転等のシステムを地域社会が抱えている課題を解決するための一つのツールとして活用可能な場面を想定し、必要と思われる機能をまとめた。

① 通学用パークアンドライドシステム

多くの自治体で、少子化による児童の減少が原因で、適正な規模のクラスが編成出来なくなり、教育効果が問題となっている。教育コストの削減もあって、多くの教育委員会は学校の統廃合を決めている。その結果、児童の通学距離が延長することになる。

他方、様々な事情で、特殊学級への通学が課せられている児童の場合、該当する施設の絶対数が少ないため、結果としてこの場合も通学距離が長くなることになる。

これらの問題を一举に解決できないが、バスや鉄道までの比較的短距離で、交通量の少ない通学路に超小型モビリティの導入が考えられる。児童の安全性を確保するために、“みまもり”システムも併用することになると思われるので、Remote Mobility からスタートすることになる。

② 観光用超小型モビリティ

上高地や飛騨高山等、自動車で周辺まで行けるにしても、観光地の中心部が自動車進入禁止になっている所は多いし、またそのような施策の実施を検討している自治体は多い。このような施策は、若い人にとっては恰好の散歩道の出現となるが、高齢者にとっては必ずしも歓迎されることではない。特に、神社、仏閣では高齢者のために、敷地内のモビリティを検討する必要がある。

限定された地域に限定したコースを設定できるので、超小型モビリティの自動運転を導入する場として適している。また要所ごとに ICT ネットワークから歴史的、宗教的なトピックスを車載の端末に提供することも自動運転システムに併せて導入することが

可能である。

③ 通院用超小型モビリティ

過疎地での日常的な健康管理は、遠隔診療で行うことにしても、通院の必要性がある場合には超小型モビリティによる **Remote Mobility** の導入が考えられる。大病院は市内にあるので、超小型モビリティと普通車両の混合交通となるため、すぐには実現できない。しかし交通量の少ない地域社会の病院や、時間帯によっては市内での導入の可能性はある。

この場合の車両は、遠隔診療で活用している血圧、心拍等のセンサーがそのまま使える工夫がされているものとする。その他、医師が必要とする情報が、現在の法律で許される範囲で搭載されているものと考えれば、簡易救急車のような仕様となる。当然個人での所有は考えられないので、コミュニティで共有することになる。また利用にあたっては、緊急度に合わせてスケジューリングを行う機能と、これを運営する組織が必要となるであろう。

④ 宅配用の自動運転

一部のコンビニやスーパーで食料品等を宅配するサービスが有料で行われているが、これも人口密度が高く、コンビニが設置される場所の周辺地域でしか可能とならないサービスである。

日常の醤油、酒、米、飲料水等の運搬は高齢者には重荷である。食料品全般となると、食品衛生上の問題が発生しないとも限らないので、食品の種類を限定した上で、自動運搬を考える必要がある。さらに、人が運搬する場合でも苦勞する状況、例えば雨や雪、風が強い時にこそ運搬できるようなロバストなシステムが必要である。ロボット工学の知見が役立つ分野と思われる。

一方、物品の売買を行うことになるので、物品の在庫管理と料金決済に関する情報システムと、ICT ネットワークと連結した個人認証システムを充実させる必要がある。

3.1.12.5 社会的合意形成試論 ー社会的合意形成を図るためには？

地域社会のニーズから掘り起こして新しい自動車、あるいは移動手段を考えることは、現在の EV の技術体系を概観すれば、容易ではないが、不可能ではない。しかし、これを普及させ、低コストで生産するとなると、従来の生産システムとは異なる考え方を導入する必要があるかもしれない。

超小型モビリティを例にとれば、現在地方の企業も含めて多くの企業がすでに製造を開始あるいは企画を練っている。しかし公道を走るためには、現在の保安基準に合わせる必要があるため、必ずしも将来のニーズに合うものではない。例えば知事連合の提案する車両は軽自動車とミニカーの中間の車両規格を設定する等、新たな対応を政府がしない限り実現できない。現在国土交通省自動車交通局ではこのための検討がすでに始まっている。(図 3.1.12-14)

しかし、現在の法律では、また将来にわたっても、おそらく車両の利用を共有する、

あるいはシェアするシステム（すなわち **Mobility as a Service**）の枠組の中での安全対策や、運転支援機能を決めることは困難であろう。従って、従来の法律の部分的な改訂や読み替えによって運用していくことになるが、現在のところその際の判断基準となるデータと、社会的合意形成のための座標軸があるわけではない。当面考えられる制度面での関連領域は以下のとおりである。

- ・ 車両規格・保安基準の検討（国土交通省自動車交通局）
（衝突試験、対歩行者安全対策）
- ・ 道路交通法の検討（警察庁）
（走行地域制限、車速制限、免許等）
- ・ 道路構造令の検討（国土交通省道路局）
（車線区分、標識等）
- ・ 駐車場施工令の検討（国土交通省都市・地域整備局）
（駐車空間の仕様、種別、幅員、縦断勾配等）

超小型モビリティのために道路インフラの改良が必要であれば、さらに都市・地域整備の関連法との整合性を図る必要が出てくる。

さらに、最初は部分的であるとしても、運転支援から自動運転に移行するとなると、モビリティに関する地域のニーズに根ざした強力なアピールを関係機関に対して行い、了解を取り付ける必要がある。しかし単にコンセプトを提示するだけではなく、データに基づく実証的なエビデンスが無い限り、社会システムとしてのモビリティの確保は不可能である。従って、ベンチマークシステムを導入した上で、エビデンスが明確となるような実証実験、社会実験を地域のニーズを反映させながら、住民と共に行い、考え、解決方法を見出す必要がある。

先に例として挙げたサービスに共通であるが、自動運転の実証実験の場合には段階的な実験の実施が考えられる。安全性の確保と関係機関の了解を取りながら、機能拡大、実験地域、サービスの拡大を図ることが現実的である。以下に例として仮想モデルを示す。

a. 車両・サービスに関する段階的実証実験

人を乗せた自動運転の実験はすぐには実施できないので例えば以下のようなステップを踏むことが考えられる。b で述べる場所の選定と併せて考える必要があるため。いくつかのバリエーションが出現するが、考え方としてはステップ・バイ・ステップで個々の問題を抽出し、改良・改善をしていく。全体については品質管理の分野で提唱されている PDCA（Plan, Do, Check, Action）のサイクルを繰り返すことになる。

a.1 宅配用物流車両の自動運転

人の代わりに物を載せた上で自動運転を行い、センサーの性能評価、荷重によるセンサー特性の変化、移動体・路車間通信の特性等をこの車両をベンチマークとしてテストを行う。その際、地域の地形・起伏、道路状況、交通状況と車両のスピード、運転支援システムの動作確認等、要求事項に合わせてチューニングを行う必要がある。この車両を用いて、人間が乗車した場合を想定したモニターシステムを ICT ネットワークを利用して構築する。EV の場合はこのネットワークを用いてバッテリー残量のモニタリング

をすることになる。

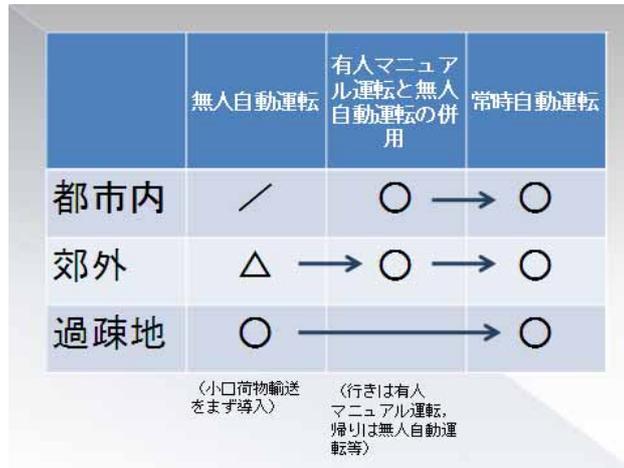


図 3.1.12-20 自動運転超小型モビリティの要求事項 — 導入のステップ

a.2 一部自動運転による人の移動

人が乗車している時は、その人が運転するが、到着した後は自動運転で車両デポに帰る、あるいは人を迎えに行く時は、デポから自動運転を行い、人が乗って帰路につく場合は、その人がマニュアル運転を行うシステムである。このようなシステムは **Mobility as a Service (MaaS)** の代表的なサービスと考えられる。

この段階では他の一般車両とのインタラクションが発生するので、道路インフラの改良案や、安全確保のための車両の改良、道路への各種マーカーや無線タグの設置案等の検討と実証が必要である。

この場合も ICT ネットワークの利用によって車両をモニターするシステムが必要である。MaaS としてのサービスに関するスケジューリング、料金の精算の他に、EV の場合はバッテリー残量のモニタリング、給電施設への経路誘導、電欠（バッテリーの残量が基準以下で正常に走行できない場合）に対応した対策等はすべてこのネットワークを利用して行うことになる。

一方、この車両の運転支援システムが作動した時のドライバーの反応や、何らかのトラブル、あるいはドライバーが想定していなかった事態になった時のドライバーの反応をこのネットワークを用いてデータを蓄積しておいて、人が乗車時の自動運転設計のための基礎データとする必要がある。次章で述べるが、自動運転時の **HMI** は従来とは異なる枠組で問題を捉え解決する必要があるからである。

b. 地域限定からの段階展開

超小型モビリティの自動運転は、住民の希望の強いケースについて、限定された場所で、場合によっては限定された時間帯でまず導入されると考えられる。従って、始めから全国、あるいは世界中どこでも使えるシステムを考えているわけではない。まずは地域社会のニーズに合う、ユーザビリティの高い車に関する基本データを実証実験で収集することが大事である。交通状況を考慮すれば、以下のような地域に関する段階的アプ

ローチが一例として考えられる。

b.1 過疎地での導入

一般車両との混在交通を考える必要のない場所や時間帯において、ルートを限定した上で、必要なインフラを設置して自動運転のテストを行い、日常の買い物、通院等、生活の場面におけるユーザビリティ、安全性等のチェックを行う。インフラとしては、移動体通信が主となるが、どのようなメディアを選択するべきかも検討の対象となる。

また、インフラとして、RFID や磁気マーカも考えられるが、工事のためのコストとともに、雨、特に雪に対するロバストネスを充分検討する必要がある。白線が引かれていない道路がこの地域では普通であるが、改めて白線が引けるのであれば、これも自動運転に利用することも可能である。

	無線	白線	RFID 磁気マーカ
都市内	○	○	×
郊外	○	△	△?
過疎地	△	×	△

〈無線LAN等〉 〈既存のものを利用〉 〈新たに設置〉

図 3.1.12-21 自動運転超小型モビリティの要求事項 ー必要なインフラ

さらに、過疎地ということから、車両及びドライバーをモニターするシステムを充実する必要がある。ドライバーが不安を感じるようではシステム設計は失敗ということになる。

b.2 郊外やニュータウン等での導入

道路が整備され、信号交差点や歩道がある場合の対応はより複雑になる。例えば超小型モビリティのこの地域での速度制限が 20~30Km/h に設定されたとすれば、自転車と同様の対応が考えられる。例えば歩道の走行や、自転車レーンの走行を許可する対応策が考えられる。道路空間に余裕があれば超小型モビリティ専用レーンも考えられるが現実的ではないであろう。

例えば歩道を走ることが出来たととしても、交差点での縁石を乗り越える場合の乗り心地等の配慮が必要である。特に歩行者に対しては、たとえ速度制限があったとしても、自転車よりも重量があるので、安全対策は特別な配慮が必要であろう。

一方、SA・PA 等、道路ではないが、広い限定されたスペースでの自動運転導入のニーズは高い。SA・PA では大部分の車両が駐車しているとはいえ、普通車・トラックが散在する中で、少数の超小型モビリティが動くことになると、一つの解決方法として白線の導入が考えられる。ただし、複雑な車両の動きを許容することになると、白線自体も複雑となり、結局は無線による誘導になると思われる。いずれにしても広い空間での

展開のためには別の技術開発が必要である。

	専用レーン	ルート	地域限定
都市内			
郊外			
過疎地	×		

(物理的可能性)(ナビゲーションの応用(SA,PAも含む))

図 3.1.12-22 自動運転超小型モビリティの要求事項 — 導入可能な交通の場面

観光地での自動運転の導入は b1 と b2 の組み合わせたような場면을想定することができるが、観光の形態に合わせた展開が必要である。

もう一つこのカテゴリに属すると思われる例が空港等の大スペースでの移動である。航空機が巨大化し、便数の増加によってハブ空港はますます巨大化する傾向にある。このためターミナルからターミナルまでの移動に時間がかかる上に、道案内が必要となる複雑な移動を必要とする空港も多い。社会の高齢化に伴い、旅行者も高齢化しているので、自動運転車両の導入についてはあまり異論がないかもしれない。他の旅行者、つまり歩行者とのインタラクションだけを考えれば良いので一般の道路よりも簡単なシステムで実現出来るかもしれない。

b.3 都市内の自動運転の導入

都市部では公共交通が発達しているのでラスト・ワンマイルでの超小型モビリティの潜在需要はあると考えられる。しかし、交通量も歩行者の数も多いので、実現性は今から推測することはできない。過疎地や郊外等での実証実験等の経験や知見を踏まえた上で対策を考えることになると思われる。

3.1.12.6 技術的課題

自動運転技術は、自動車工学ばかりでなく、情報通信、ロボット工学、土木工学等広範囲の領域にまたがる総合システム技術である。このことは、それぞれの分野での進展が、直接自動運転技術に影響を及ぼすことになることを意味している。そこでここでは関連する分野の進展がどのように影響を与えるかについて簡単に述べることにする。

- 自動運転を支える通信インフラ

前に述べたように、自動運転技術開発の初期の段階では移動体通信が存在しなかった

ため、誘導ケーブル等の手段を利用して横方向の制御を行っていた。その後移動体通信は発展したものの **Latency**（実際に通信を行うための準備期間）が長いために、高速で走行する自動車の走行制御に利用するのは困難であると思われていた。

ところが、超小型モビリティのように高速走行（70Km/h 以上としておく）が出来ない車両であれば、**Latency** が多少長くても利用することが可能かも知れないと考えられるが、それでも 100msec 以上の **Latency** では安全確保は無理であろうというのがこの分野の方々のいわば常識であった。ところが最近出てきた **LTE(Long Term Evolution)** は 20msec 程度の **Latency** と言われており、安全運転支援はもとより超小型モビリティの車両運動制御も可能と考えられる。

隊列走行用には“エネルギーITS”で述べたように、5.8GHz の **DSRC** が使われているが、**Wi-Fi** や **WiMAX** 等利用可能な移動通信も含めて改めて、自動運転や運転支援にどのようなメディアが最適かを吟味する必要がある。

自動運転のためだけに移動体通信インフラを要求することは出来ないので、他の公共的なサービスやいわゆる **Public Safety** に関するアプリケーションを含めて検討し、**White Space** がないような、電波の有効利用を図る必要がある。

- センサと通信の役割分担

レーダー、画像センサ等、様々な機器が車両間の距離、障害物、歩行者の検知に使われている。しかしながら、これらの機器は見通しのよい所では有効であるが、ブラインド・カーブや、ビルや建物が林立している交差点では用をなさないので、移動体通信が必要となる。移動体通信用機器のうち、測距が可能な端末も開発されているが、移動体通信だけですべてを賄うわけにはいかないため、超小型モビリティの場合の各種センサと各種移動体通信の組合せと、その場合の役割分担を検討する必要がある。

一方、モニタ用、あるいは **Remote Mobility** 用に画像センサの利用は必要であることも考慮に入れておく必要がある。単に映像を伝送するだけではなく、画像処理によってシーンの理解、モニタリングの補助や、場合によってはセンターのオペレータへ搭乗者の異常を伝えるための警報を出すようなシステムも考えられる。

- 超小型モビリティの製造技術

超小型モビリティはカスタムメイドの **EV** となることが考えられるので、従来のアセンブリラインによる多量生産とは異なる製造プロセスが必要と思われるが、ここではこの話題には深入りしない。

超小型モビリティに対する要求事項をみればすぐわかるように、多様な情報処理システムを狭いスペースに押し込むことになる。ハーネスや **CAN** のもとで動くソフトウェアは、一つの **OS** で動くような簡素化が必要である。その上で、モジュール化しなければ、現代的な意味でのカスタムメイドにはならない。

- ドライバー行動を吟味した自動運転

自動運転を想定すると人間は何もしないでも良いから楽なはずであるというのが通説である。しかしながらコ・モビリティ社会研究センターで行った実験によれば、超小

型モビリティ故に怖いと感じる場面があることが判明している。坂道などで、通常の車両とは異なる傾きになる場合に顕著に表れている。サスペンションの設計の問題もあるが、車幅とホイールベースが短いことに由来する超小型モビリティの本質的な問題と思われる。

さらに、車両に慣れたとしても、ドライバーとして経験した挙動と異なる挙動があった場合は非常に不安に思うようである。高齢者によって使われる場面を想定すると、何十年もドライブした道を自動運転車両で移動することになる。従って、無意識かもしれないが、地形や環境の変化と、それに対する自分の車の挙動は体に染み込んでいるため、これから大きく離れると不安になるようである。

以上のような事情から普通の車の場合以上にドライバー行動のデータを収集した上で、設計に活かす必要がある。まさにカスタムメイドということになる。すなわち、ユニバーサルに設計された自動運転システムが有効な場合もあるが、地域の地形やこれに対応したドライバーの癖を充分反映した設計になっていないと、高齢者に使われなくなる可能性は高い。

- MaaS(Mobility as a Service)のためのルールづくり

ハードウェアの技術ではないが、社会システムを構築する上でのツールであることは確かである。MaaS の場合、個人のプライバシーがどの程度システム設計に関係してくるかを見極める必要がある。Aさんがいつどこに行くかをBさんに伝えることによって、はじめてAさんとBさんが一台の超小型モビリティ車両の利用をシェアすることが出来る。これらの情報はセンターで蓄積して、利用効率向上に使われることがあるが、その場合には情報通信システムばかりでなく、センターの情報保存に関するセキュリティシステムも検討する必要がある。

さらには、利用料金の設定やセンターの運営形態、事故となった場合の処置等々、多くのルールを決めなければならないのは明らかであろう。

コミュニティ活動が活発で、ソーシャルキャピタルが高い地域社会では、細部にわたるルールを設定し、これを遵守するためのコストを下げるのが期待できるはずである。従って、MaaS のルールは地域社会ごとに異なっていることは自然なことで、どんなルールであれ、広く利用されているかどうかのポイントとなる。

ルールよりも規制に近いかもしれないが、最高速度をケースによって変えられるようにする工夫もある。例えば物を運搬する時の自動運転と人が載っている場合の自動運転、Remote Mobility で遠隔操縦をしている場合、そして人がマニュアル運転している場合の最高速度を同じ車両であっても変更し、安全性を確保することも一つの工夫であり、ルールづくりとなる。ただ他の車両のドライバーにも認識してもらう必要があるので、他のドライバーが認識できるような表示方法も含めて新たな規制が必要かもしれない。

	個人所有	数人で共有	自治体、第3セクターや民間機関で所有
都市内			
郊外			
過疎地	×		

(緊急時対応が可能)

図 3.1.12-23 自動運転超小型モビリティの要求事項 – 車両の所有形態

- ロボット技術 (RT) との関連

本論では超小型モビリティの自動運転を例にとって、どんなシナリオが考えられるかを述べた。この考え方は様々な分野で行われているが、“自動化”という側面から見れば RT で開発され利用されている「環境構造化」の議論と類似点があると思われる。本論では対象を限定しているが、より具体的にするには詳細な分析が必要であり、そのための概念モデルとして RT で開発された考え方が役に立つと思われる。[7]

特に概念モデルと密接に関係のある RT 用ソフトウェアの構造化モデルと標準化は、自動車の自動運転分野で大いに参考になると思われる。

もう一つ、RT と共通の課題というか、悩は製造コストの問題である。RT はもとより超小型モビリティの存在意義はユーザのニーズに密着したシステムを品質や信頼性を保ちながらいかに安く製造するかということになる。どうしてもカスタムメイドのようになるため現状では高コストにならざるを得ない。

自動車の製造について言えば、フォードシステムやトヨタシステムにしる、多量生産によってコストの低減を図っている。多品種になったとは言え、共通部分については多量生産である。このような状況が EV や超小型モビリティで実現できるかどうか、今後の普及のキーになると思われる。モジュール化するところ、プラットフォームとして共通化するところ、そして最後にカスタマイズできる余地をいかに残すかという枠組は、自動車の製造工程や自動車産業の産業構造も考慮して構築する必要がある。これはいわゆる「製品アーキテクチャ」の議論であり、ICT 産業では盛んに議論されていることである。[8]いずれ自動車産業にもこの議論が及ぶと考えられるが、EV や超小型モビリティが実用化に向かえば、加速されることになるであろう。

RT の方ではまだ製造プロセスや製品アーキテクチャの議論は数が少ないようであるが、コストダウンのためのモジュール化やプラットフォーム化にはコンセプトとして類似の部分が多いと思われる。特に移動体通信を利用した RT と同じくこれを利用した自動運転車両との差は、要素技術の範囲では少ないと思われる。従って、今後両分野の間で様々な形での連携を期待したい。

(執筆担当：川嶋宏尚)

3.1.13 教育分野

3.1.13.1 教育分野における社会要請

(1) 人材育成とイノベーション

第2章にも記載されている通り、ロボットの社会実装によるイノベーションのためには、これに不可欠とされるビジネスプロデューザー（あるいはビジネスアーキテクト）となる産業界の人材開発（発掘や育成）にも力を入れていかなければいけない。現代は著しく技術進歩の速い時代であり、新成長戦略[1]でも成長を支えるプラットフォームとしての「科学・技術・情報通信立国戦略」と「雇用・人材戦略」を挙げている。効果的・効率的な技術開発を促進するための規制改革や支援体制の見直しを進め、我が国の未来を担う若者が夢を抱いて科学の道を選べるような教育環境を整備するとともに、世界中から優れた研究者を惹きつける研究環境の整備を進め、我が国が培ってきた科学・技術力を増強するとしている。

世界中で最も少子高齢化が進んでいる日本では、世界に先駆けてライフイノベーションを目指したロボット開発を推進している。統合技術であるロボット技術は、日本の製造業を支えてきた「ものづくり」の原点であるといえる。電気を利用し始めて150年余の現代では様々な電気製品が生活に入り込み、自動車も機械からエレクトロニクス製品へと変貌し、従来の電化製品だけでなく自動車までも情報技術と組み合わさって知能化（ロボット化）していくであろう。

世界的にも、ロボットは様々な形で導入が始まっている。例えば、米国では、戦場における作業を支援するロボットが多数導入されている。また、韓国では「R-Learning（ロボット基盤教育）」のもと保育園や小学校にロボットを導入する政策が推進されている。

平成17年度からの10年先を見通した5年間の計画である第3期科学技術基本計画の分野別推進戦略[2]において、ロボット領域は情報通信分野における戦略重点科学技術に位置付けられていた。2025年の日本の姿を描いた「イノベーション25」[3]には、様々なロボットが社会に活躍するビジョンが描かれている。また、科学技術が世界の諸課題を解決できると期待する日本国民が多いという世論調査の結果[4]もあり、依然として科学技術への期待は高い。第3期科学技術基本計画でも課題解決のための科学・技術の重要性が指摘されたものの、個々の研究開発の目標が課題の解決と離れており、科学・技術の発展が課題の解決に必ずしもつながっていなかった反省に立ち、平成22年度からの10年先を見通した5年間の計画である第4期科学技術基本計画骨子[5]では、知的・文化的価値を尊重する日本の歴史や伝統に根ざし、経済成長に主眼を置く新興国に先んじて、人類共通の科学的価値を創出し、「ソフトパワー」を強めていくという視点から、育成する「人材」を「人財」として、基礎体力強化のための科学・技術を担う人財の強化が重要としている。科学・技術・イノベーションを促進するため、イノベーションの効率的な創出・展開を図る新たな仕組みを構築し、研究開発のシステム改革を行うとともに、社会とつながりの強化と次世代人財の育成を推進するとしている。また、第4期科学技術基本計画のもととなる『総合科学技術会議に対する諮問第11号「科学技術に関する基本政策について」に対する答申」[6]では、成長の柱としてのライフ&グリーンの2大イノベーションの推進とともに、基礎研究及び人材育成の強化について多く記述されており、人材育成への政策的重要性が答申されている。

(2) 理科教育と科学技術リテラシーについて

現代においては科学技術と社会が密接につながっており、人々は環境問題や人口問題、情報技術などに関して科学技術の在り方についての判断を迫られることが多い。現代社会は科学技術の恩恵とリスクの中にあり、客観的で合理的な評価ができることが重要で、科学・技術はこれまで以上に重要な「教養」になっており、科学技術リテラシー（あるいは後述の科学的リテラシーや技術リテラシー）が世界的に話題となっている。科学技術が及ぼす社会への貢献についても認識を深めることがますます重要になってきている。しかし、残念ながら、教育現場では理科離れが起こっており、理科離れの児童・学生が増加すれば、結果として将来の技術者不足となって、課題解決型国家を目指す日本の国益を損なう恐れがある。

技術革新が進展し、知識社会へと向かう先進諸国において、ICT（情報通信技術）は一般家庭や学校、オフィスから工場まで様々な環境に浸透してきている。労働という側面に限定しても、仕事の中で要求されるスキルの変化はICTの進展に応じて速まってきており、スキルを磨き続けていなければ、たちまちのうちに陳腐化してしまう。そのような技術変化に対応できる労働者の慢性的な不足が、労働市場でのスキル・ミスマッチを生むと考えられている。

「国際教育到達度評価学会（IEA）」（注 1）による「国際比較調査（TIMSS）」（注 2）では、世界の児童・生徒の理科に対する興味の推移を追跡調査している。2007年の調査によると、日本は学年の進行とともに理科（自然科学）に対する興味が低下していることが明らかになった。理科についての自信は、日本の小学4年生と中学2年生ではそれぞれ8ポイントと28ポイント国際平均値より下回っている。また、「理科を勉強すると日常生活に役に立つ」「他教科を勉強するために理科が必要だ」「自分が行きたい大学に行くために理科でよい成績をとる必要がある」「将来、自分が望む仕事に就くために、理科でよい成績をとる必要がある」という設問に対し、肯定的な回答をした中学2年生の割合が20～30ポイント国際平均値より下回っていた。[7]

科学的リテラシーとしては、「経済協力開発機構（OECD）」（注 3）では、世界の15歳を対象にした「国際学習到達度調査（PISA）」（注 4）のPISA2006[8,9]において、「30歳の時点で自分が科学に関係する仕事に就いている」と予測する日本の15歳生徒はわずか8%であり、OECD平均の25%を大きく下回る結果となった。日本の15歳生徒はPISA調査のテストでは成績が良かったにもかかわらず、自らの科学的能力に対する自信は、OECD加盟国の中で一番低かった。この結果が「PISAショック」とも呼ばれる議論となり、思考力・表現力など社会的実践力を育む活用型学力（PISA型学力）に向けた授業モデルの開発が関心を集めている。

科学技術白書(平成21年度版)[10]では、中国やインドなどの台頭や少子高齢化による労働力の急減などが指摘されている。国際競争力を高めるため、基礎科学力の強化や、大学・研究機関が出した成果の積極的な活用などを求める一方で、「国際的な研究者のネットワークから取り残されつつある」と警鐘を鳴らしている。教育再生懇談会[11]でも英会話力や理数教育について議論され、科学技術・学術活動の基盤となる人材をいかに養成し、確保していくかが極めて重要であると報告している。

また、技術リテラシーについては、「日本工学アカデミー（EAJ）」（注 5）の「技術リテ

2009年3月25日に報告されたロボット産業政策研究会の報告書[15]において、「我が国は少子高齢化・人口減少という大きな課題に直面しており、介護・福祉分野などでのロボットの活用ニーズが高まっている中、我が国の国内に、ロボットに必要なものづくりやIT分野の研究開発、設計、製造の現場を維持・発展させていくためには、それにふさわしい人材の育成が不可欠であり、教育の役割が極めて重要である。小学校・中学校においては、平成21年度から新しい学習指導要領[16]への移行が始まり、新しい中学校学習指導要領の解説には、中学校技術・家庭科の「エネルギー変換に関する技術」と「情報に関する技術」における製作品の例としてロボットが挙げられ、ロボットを題材としたメカトロの設計などが産業界での即戦力となる人材の育成事業として実施されている。また、初等中等教育においては、実際に動きがあるため実物教育に適していることや課題設定の自由度の高さといったロボットの教材としての長が活かされ、理科離れが議論される中でも、生徒を惹きつけている。高等教育においても、ロボットが機械やITといった様々な分野の技術で構成されており、それらの技術及びその統合技術について学ぶことが利点となっている。将来的には、こうした各教育段階での取組が連携し、産業界などで求められる人材に応じて体系化されていくことで、より効果的な教育が可能になると考えられる。このように、ロボットそれ自身が教材として用いられ成果が上がっていることである」と報告され、理科離れが懸念される中、ロボットの教材としての有効性が強調されている。また、ロボットを題材とした教育を小学校から大学まで各段階で進展させ、産業人材育成に向けて関係者が連携し、体系化していくことが重要であるとしている。(図3.1.13-2参照)



図 3.1.13-2 ロボット産業政策研究会報告書の概要（経済産業省）

(4) ロボット活用教育への期待と課題

ロボットを活用した教育は、多岐にわたる分野を総合的に身につけることに役立ち、バランスのとれた学習が可能である。ロボットは、初等教育からの理科教育用の実物教材として最適である。日本工学アカデミーが提言するように、初等教育からの技術リテラシー教育を導入すれば、様々な技術について知見を深めながら、将来の課題解決型国家を担う人材が育成できることになる。図3.1.13-3は、ロボットによる感動から、好奇心・興味を

発生し、必要感・信念を高め、科学技術リテラシーを向上するとともに、人材の育成・確保を達成し、我が国や国際社会の諸課題の解決に向けた様々な貢献ができると同時に、ロボット技術も発展するというポジティブフィードバックの概念を示している。

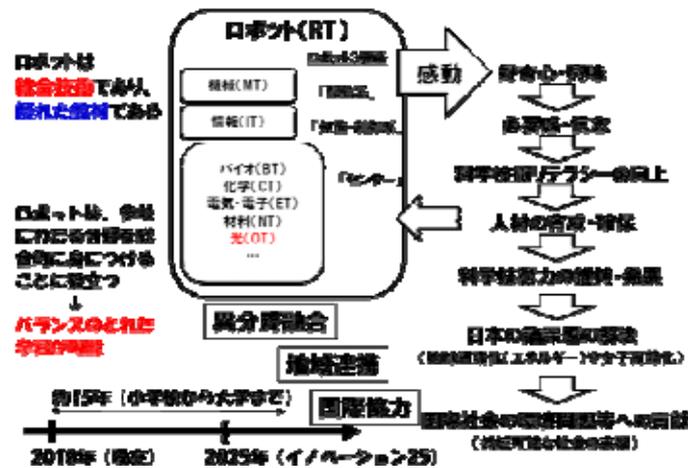


図 3.1.13-3 ロボット感動教育のポジティブフィードバックの概念図

日本ロボット学会のロボット教育研究専門委員会[17]は、ロボット教育に関して、まず現況把握調査を実施し、その理想的なあり方とカリキュラムを考察し、それらを踏まえた教育認定のありかたを検討するとともに、最終的には日本ロボット学会のロボット教育へのかかわり方を提言としてとりまとめることと目的として活動している。2010年5月にまとめられた第一期の報告書において、第2章に教育現場の現状と課題について、教育現場で理科教育が敬遠される原因には、費用（コスト）がかかる上、準備などに時間や人手（マンパワー）もとられる、危険が伴う（リスク）などの課題があると抽出している。しかしながら、ロボット教育は、“ハードとしてのほんものの説得力（無限の深さ）”をもつが故に、生徒の心に火をつけることができる、初等中等教育から高等教育までに次世代を担う人財を育成するためには、生徒にロボットづくりの極限追求体験をもちたいと思うような火をつけることが重要である。教員は、生徒の心に火をつける手段として、材料の整理、刺激のしかたを工夫しなければならない。科学技術人材（あるいは産業技術人材）の育成のため、さらには技術リテラシーの向上のために、ロボットを活用すべきである。ロボットは感動を与えるだけでなく優れた教材であることが認識されているものの、このような教育現場の課題（コスト・マンパワー・リスク）があるために、教育現場がロボットを活用しているわけではない。このような課題認識のもと、教育現場に向けて教育する側の人材の教育能力向上と理科回帰に資する、安全で効果的な体感型学習コンテンツの開発が期待されている。

ロボット教育で有名な「ロボコン」といえばNHKロボコン[18]であり、1988年に始まり20年以上の歴史がある。全国の高等専門学校を対象にスタートしたロボコンは、国内の大学、そして、アジア、太平洋の国や地域の大学にまでその対象を大きく広げている。最近では、“技能五輪国際大会（World Skills Competition）”[19]でも、“移動式ロボット（Mobile Robotics）”が種目のひとつとなっている。欧米でも、ロボット技術を普及・導

入させるべくロボットに関与するプログラムが、米国 NASA の“Robotics Alliance Project”[20]、英国の“Walking with Robots (WWR)”[21]など多数実施され、特に独国 Fraunhofer IAIS が中心の Roberta プロジェクトは EU に波及しており、特に女性の技術者確保に効果があると報告している。[22]また、前述の韓国では「R-Learning (ロボット基盤教育)」政策[23]のもと、2013 年度までに国内のすべての保育園にコミュニケーションロボットを配置するなど、小学校にも英語教育支援のロボットの導入が始まっている。このように、ロボット教育 (ロボットを対象とした教育、ロボットを用いた教育) が世界的に認知されており、若い人材の育成や理科回帰、ソフトとハードを融合できる人材教育、先端的なメカトロニクスやものづくり教育、また、教育を通じた国際貢献という意味で重要な分野である。日本において発祥したロボコンは世界中の教育に火をつけたといってもよいが、残念ながら日本においては教育が理科系でなく文化系にとらえられて、ロボコンの効果が限定的になってしまい、全体としては理科離れという皮肉な状況になっている。

また、ロボットは、技術のみならず科学の宝庫でもある。ロボット開発を支える基盤技術については、機械技術 (MT) や情報技術 (IT) だけでなく、他の技術要素に含まれる科学技術にも注目すべきである。ロボットを構成する要素について紹介すれば、数多くの科学技術についての知識が獲得できる。例えば、ロボットの基盤要素であるバッテリーや光センサなどについて、簡単な実習で科学的な原理まで展開することができ、関連している「化学」「物理」および「生物」への興味や理解にもつなげることができる。低コストで安全で簡単であれば、理科離れの課題を抱える全ての教育現場に向けて科学技術関連の人材育成カリキュラムとして提供できるはずである。

3.1.13.2 どういうサービスで要請に応えるのか

上記の要請を受けたサービスの具体的内容として、理科離れの問題を解消するための「教員研修サービス」と「ロボット社会実装インターン教育サービス」のイメージについて説明する。

・教員研修サービス

従来のロボット教育はロボット教材を製作し動かしたりしてきたが、予算的な制約下での教材選定が課題であった。本格的なロボット教材ではプログラミングなどスキルが必要となうえに、教材価格も高いため、全ての教育現場が取り入れるにはハードルが高い。予算の少ない初等中等教育において、ロボット教育を推進していくためには、インターネットを介したデジタル教材の活用が不可避である。例えば、デジタル教材としては、JST 理科教育支援センターの「理科ねっとわーく」[24]や「JST バーチャル科学館」[25]などがある。「理科ねっとわーく」では、大学・研究機関などの最先端の研究成果を活用した科学技術・理科教育用デジタル教材を全国の教育現場に提供している。例えば、「ロボットを通して見た物理の世界」[26] (図 3.1.11-4 参照) では、「眼」「手」「足」という部位を成り立たせている物理について学習することができるようになっており、ロボットを構成する要素に関連する科学技術についての知識が獲得できるねらいがある。これ以外にも、様々な理科教育テーマにデジタル教材としてまとめられている。



図 3.1.13-4 理科ねっとわーく「ロボットを通して見た物理の世界」のタイトル画面 [26]

デジタル教材に加えて科学あるいは技術を学習できるように、簡単な実習を組み合わせた体系的な理科あるいは技術・家庭の教育コンテンツとして整備し、科学技術リテラシー教育に適切な教材として教育現場に向けて情報提供することは意義が高い。今後も理科離れ防止や科学技術リテラシーの向上が十分配慮された人材育成予算を期待すると同時に、教員の資質も向上する機会の提供が必要である。そこで、これらの教育コンテンツを教員研修に利用する研修サービスが考えられる。また、この教員研修サービスをきっかけとして、教育サービスのビジネスプロデューサー（あるいはビジネスアーキテクト）の人材開発にもつながる期待がある。このサービスにより、事業仕分けによって廃止と判定された「理科支援員等配置事業」（注 6）に頼らず、教育現場の教員自らが科学技術関連の人材育成の実践が可能となる。ロボットを活用した教育プロジェクトは、ロボット教材やコンテンツ産業を進歩させ、教育現場における理科離れ防止のみならず日本の科学技術の向上に寄与するといえる。

・ロボット社会実証インターン教育サービス

ロボットコンテストは、形と動きを有するロボットという実物のもつ本質的な力によって、学生の心に火をつけることができる。また、コンテストという疑似社会における競争を通じたユニークな教育手法として、座学では教えられないかけひきや、チームワークといった人間関係の学習をふくむ工学教育手法として、広く大学、高専において普及している。しかしながらロボコンには、これまで“単に、楽しいだけではないか”、“本当に役に立つ人材教育になっているのか”という批判がつきまとっていた。これを打破するサービスが、ロボット社会実証インターン教育サービスである。ここでは、従来ロボットコンテストで行われてきたような、メカトロニクスに関する人材育成に留まらず、メカトロニクスを社会に根付くサービスにまで昇華させるために必要な取り組み、メカトロサービスを実際に、社会で実証してみることを課している点が、特徴である。いいかえるとロボットサービス社会実装ロボコンとでもよべるサービスであるが、ここでは、コンテストという側面より、

サービスをも理解した人材を育成するという意味で、ロボットサービス社会実装インターン教育サービスと呼称する。以下の例のようなサービスの実現を課題とし、より社会影響・経済効果の高いビジネスモデルまでふくめた人材育成をはかる。

メカトロサービス社会実装インターン事業の対象とする課題例

【福祉サービス課題】

- ・会話ロボット応用サービス
- ・癒しロボットによる看まもりサービス
- ・移動ロボット応用サービス
- ・作業ロボット応用サービス
- ・センサ応用サービス

一般的なビジネスコンテストと比較すると、本事業は、メカトロニクスの知識のみではなく、様々な業種の企業との連携をとりつつ、そのサービスの実社会での仮運用まで行うし、さらに、そのビジネスについても学ぶことが可能となる。このようなサービスの社会実装を教育の材料として資料し。評価の対象としている点が、革新的である。実際の運用を重視するために。評価期間として最低でも3ヶ月～半年程度の評価期間のメカトロサービスの社会への適用期間を課すものとする。また、ものづくりに終始しないために。サービスとその実運用を重視することを保証するために、サービス基盤となるメカトロニクスプラットフォームはコンテスト主催者側からレンタルもしくは支給することとする。

具体的に対象となるプラットフォームとしては、カーシェアリングサービス用 E-Vehicle、高齢者外出支援用具、Web デジタルデータアクセス支援デバイス、などが考えられる。

3.1.13.3 その他の課題（制度など産業化を阻む弊害）

(1) インターネット環境について

教育現場での理科回帰に向けて、教育現場での理科教育の共通課題（コスト・マンパワー・リスク）を配慮した安価で安全で再利用できるデジタル教材や実習教材の開発が求められている。インターネットを介したデジタルコンテンツは、配信側のコスト低減やユーザー側の利便性の向上の意義をもっており、コストパフォーマンスの高い教育コンテンツである。しかしながら、これを利用するためのインフラが十分であるとはいえないので、インターネット環境などの整備が必要である。インターネット環境が整備されれば、前述のビジネスプロデューサーによって教育現場のモニタリングなど新しい展開にも発展すると期待できる。

(2) カリキュラムの柔軟性について

遠隔操縦ロボットなどのインタラクティブなロボット教材は、製作コストを集中でき、教育現場における維持管理の課題もないため開発への期待があるといえる。このようなロボット教材が普及するためには、従来の教育現場の制約を超えた柔軟性も必要である。例

えば、授業時間の制約を緩和するなど、カリキュラムに柔軟的な対応も必要である。また、従来の授業形態ではない新しい教育手法（協調教育など）の導入や、これに向けた教材や教育コンテンツの技術開発も必要である。

（用語説明）

（注 1）「IEA」：International Association for the Evaluation of Educational Achievement

（注 2）「TIMSS」：Trends in International Mathematics and Science Study

（注 3）「OECD」：Organisation for Economic Co-operation and Development

（注 4）「PISA」：Programme for International Student Assessment

（注 5）「EAJ」：The Engineering Academy of Japan

（注 6）「理科支援員等配置事業」：大学（院）生や退職教員等の有用な外部人材を、理科支援員として小学校 5、6 年生の理科の授業に配置し活用することで、理科の授業における観察・実験活動の充実及び教員の資質向上を図ることを目的とする文部科学省の事業

（参考文献）

- [1] “新成長戦略（閣議決定版）”、
http://www.npu.go.jp/policy/policy04/pdf/04/06/20100618_shinseityousenryaku_honbun.pdf
- [2] “第 3 期科学技術基本計画”(2006 年 3 月 28 日)、
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihonkeikaku/kihon3.html>;
“第 3 期科学技術基本計画分野別推進戦略”(2006 年 3 月 22 日)、
<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihon3/index2.html>
- [3] “イノベーション 25”(2006 年 6 月 1 日)、
http://www.cao.go.jp/innovation/action/conference/minutes/minute_cabinet/kakugi1.pdf
- [4] “科学技術と社会に関する世論調査”(平成 22 年 1 月)
<http://www8.cao.go.jp/survey/h21/h21-kagaku/index.html>
- [5] “第 4 期科学技術基本計画骨子”
<http://www8.cao.go.jp/cstp/tyousakai/seisaku/haihu05/siryo3.pdf>
- [6] “総合科学技術会議に対する諮問第 11 号「科学技術に関する基本政策について」に対する答申”
<http://www8.cao.go.jp/cstp/output/toushin11.pdf>
- [7] “国際数学・理科教育動向調査の 2007 年調査 (TIMSS2007) ”、
<http://www.nier.go.jp/timss/2007/gaiyou2007.pdf>
- [8] “PISA 2006 年調査第 1 回結果発表”、
http://www.oecdtokyo2.org/pdf/theme_pdf/education/20071204pubilc_release.pdf
- [9] “OECD 生徒の学習到達度調査 (PISA) 2006 年調査国際結果の要約”、
http://www.mext.go.jp/a_menu/shotou/gakuryoku-chousa/sonota/071205/001.pdf
- [10] “科学技術白書 (平成 21 年度版) ” (文部科学省)、

http://www.mext.go.jp/b_menu/hakusho/html/hpaa200901/1268148.htm.

[11] “教育再生懇談会－第四次報告－”(2009年5月28日)、

http://www.kantei.go.jp/jp/singi/kyouiku_kondan/houkoku/singi-matome4.pdf

[12] “技術リテラシーと市民教育”：EAJ Information No.122 (2005. 5)、日本工学アカデミー (EAJ; En-gineering Academy of Japan)

[13] “科学技術関係人材総合プラン 2010” (文部科学省)、

http://www.mext.go.jp/b_menu/shingi/gijyutu/gijyutu10/siryu/_icsFiles/afieldfile/2010/01/18/1287968_3.pdf

[14] “ロボット政策研究会 報告書” (2006年5月)、

<http://www.meti.go.jp/press/20060516002/robot-houkokusho-set.pdf>

[15] “ロボット産業政策研究会 報告書 ～少子高齢化時代を見据え、ロボットと共存する安全・安心な社会システムの構築に向けて～” (2009年3月25日)、

<http://www.meti.go.jp/press/20090325002/20090325002-3.pdf>

[16] “学習指導要領” (平成20年3月28日公示)

<http://fish.miracle.ne.jp/adaken/newcul/newcul.htm>

[17] “ロボット教育研究専門委員会”、<http://robot-education.sakura.ne.jp/>

[18] “ロボコン”、<http://www.nhk.or.jp/robocon/index.html>

[19] “技能五輪国際大会 (World Skills Competition)”、<http://www.worldskills.org/>

<http://www.javada.or.jp/jigyuu/gino/kokusai/index.html>

[20] “NASA Robotics Alliance Project”、

http://robotics.arc.nasa.gov/events/2008_sponsorship.php

[21] “Walking With Robots (WWR) Project”、<http://www.walkingwithrobots.org/>

[22] “Roberta Project”、<http://www.roberta-home.eu/de/>

[23] “R-Learning”、<http://www.r-learning.or.kr/gnuboard4/main.html>

[24] “理科ねっとわーく”、<http://www.rikanet.jst.go.jp/>

[25] “JST バーチャル科学館”、<http://jvsc.jst.go.jp/>

[26] “ロボットを通して見た物理の世界”(JST 理科教育支援センター「理科ねっとわーく」)、

<http://rikanet2.jst.go.jp/contents/cp0270a/start.html>

(執筆担当：村井健介)

3.1.14 研究開発分野

(1) 科学研究支援分野における社会要請

温暖化をはじめとする環境問題、高齢化、食料問題、安全など、我々はさまざまな社会的な問題に直面している。吉川は、これらの問題の多くは、我々の技術によってもたらされたものであると指摘し、それを「現代の邪悪なるもの」と呼んでいる[1]。我々の技術によってもたらされた社会環境の変化は、人々の健康面にも大きな影響を及ぼしており、気分障害などの精神的疾患による社会的適応機能不全もその一つである。厚生労働省によれば、2009年の自殺・うつなどによる経済損失の推定額は、2.7兆円に及ぶと試算されており[2]、これらの社会的問題の解決が急務となっている。

それには、まずどのような社会的な問題が生じているかを把握するとともに、それがどのようなメカニズムで発生したのかを解明し、それに対する解決手段を提示、講じる必要がある。ここでは、生体としての人間、その個人、あるいは集団としての活動と、さまざまな物理的現象が複雑に絡み合っており、その因果関係のメカニズムを解明することだけでも、極めて困難な問題である。その解明において科学技術の果たすべき役割は極めて大きい。

工学では、要求に対し、これまでに実現されていない機能を実現することが目的となるが、サイエンスにおいては、これまで明らかにならなかったことを解明することが目的となる。サイエンスの研究においては、分析的なアプローチが主流である。そこでは、最先端技術を応用した高機能な計測装置や分析システムの開発・利用が重要な鍵となる。たとえば、脳科学などの医学・生物学研究は、神経生理学、神経行動学、生化学、分子生物学などを基礎としているが、こういったライフサイエンス研究は、最先端技術から生まれた装置なくしては、あり得ない。すなわち、最先端技術の開発は、サイエンスに発展にとって、必要不可欠なツールなのである。

いわゆる経済産業省の定義に基づき、ロボットを「センサ、知能・制御系、駆動系の3つの技術要素を有する知能化した機械システム」と定義すると、科学研究のための計測装置や分析システムを開発する際にも、ロボット技術が多く用いられている。前述のライフサイエンス研究に関しても、それを支えているのは、いわゆるバイオテクノロジーや遺伝子工学だけでなく、計測、制御、情報処理などのロボット技術が多なる貢献を果たしている。科研費特定領域研究「マルチスケール操作によるシステム細胞工学(略称:細胞操作)」[3]でも、ナノメートルからセンチまでにわたるマイクロ、ナノ領域のマルチスケール操作技術の工学的技術を基盤としており、まさにロボット技術が応用されている。

一方、これまでの分析的なアプローチとは異なる、新たな科学研究の手法が注目されている。科研費特定領域研究「身体・脳・環境の相互作用による適応的運動機能の発現—移動知の構成論的理解—(略称:移動知)」では、生物の適応的運動・行動を生成するメカニズムの解明を目的としているが、従来の分析的アプローチでは、その解明には限界があることから、生工融合による構成論的・システム論的アプローチがとられている[3]。具体的には、生物学的知見に基づき、生体システムモデルをダイナミカルシステム技術、ロボティクス・メカトロニクス技術などを活用し、シミュレータやロボット上に構成し、あるいはブレイン・マシン統合システム(サイボーグ)を構築することで、生物の適応的運動・

行動を生成するメカニズムの理解を図っている。ここでも、ロボット技術の貢献は極めて大きい。

また、ロボティクスを、いわゆる「知的動作機能」の生成メカニズムを理解するサイエンスと捕らえると、ここで開発される知的動作を可能とするロボット技術開発は、まさに科学研究のためのものとも考えることもできる。たとえば、ERATO 浅田共創知能プロジェクト[5]は、まさに人の発達に注目し、バイオミメティックなアプローチによって、新しい知的機能実現を目指そうという、ロボットサイエンスプロジェクトである。

(2) ロボット技術が応えるべきサービス・要請

農学、医学、生物学など、ライフサイエンス系の学問だけでなく、工学、あるいは社会学、心理学にいたるまで、広いサイエンスの分野で、計測、分析、予測、評価などのための装置・システムや、シミュレーション技術が求められており、そこでは、これまでもロボット技術が大きな貢献を果たしてきたし、今後もロボット技術に対する要請はさらに増加するであろう。いわゆるビッグサイエンスでは、世界でもっとも優れた機能を有する装置開発が鍵となる。ここでは、生産技術のためのみならず、研究開発のためのロボット技術応用、装置やシステムとしてのニーズ、マーケットについて考察する。

・ 分析のための装置・システム

分析においては、まず現象を観測することが重要であり、そのための装置・システムが求められている。いわばそれは、センシング技術であるが、単なる「センサ」、すなわち素子やデバイス技術だけではない。求めるべき対象となるデータを抽出するには、システム化や情報処理が必要となる。アクティブセンシングとは、対象に対して何らかの能動的（アクティブ）な働きかけを行い、その反応を計測することによって目的とする情報を得ることを指すが、科学研究において用いられる装置などにおいても、単なる受動的（パッシブ）センシングだけでは取得できる情報に限界があり、能動的なセンシングを行うものが多くなっている。そこには、当然ながら計測・制御といった、ロボット技術が応用される。

・ 操作のための機器・装置

何らかの対象物をマニピュレーションする際、人が直接操作することが困難、あるいは不可能である場合、機器や装置を用いて操作をすることになる。機器や装置は人の操作を支援する場合もあれば、自動的操作に用いられることもある。マニピュレーションは、まさにロボット技術そのものである。科学研究においても、医学研究などでの動物実験における操作にはじまり、農芸化学やバイオテクノロジーでの細胞操作や遺伝子操作など、非常に小さいスケールでの操作技術なども求められる。遺伝子工学なども、まさに操作技術があってはじめて成立した技術分野である。ここでも計測・制御といったロボット技術が応用されるが、最近では特に、マイクロ・ナノといった、小さいスケールでの操作技術が、科学研究に大きな貢献を果たしている。

・ モデル化・シミュレーション技術

一方、科学研究においては、解明する対象に関する仮説の生成とその検証というプロセスを繰り返す。そこでは、それを効率的に行うためのツールが求められる。

現象を計算機上に再現することが有効であり、モデル化やシミュレーション技術が重要となる。計測、制御、情報処理だけでなく、モデル化やシミュレーションも、ロボット技術の一つの重要な要素である。ダイナミカルシステムやマルチエージェントシステムなどもロボット技術との係わり合いが深い。システムの挙動をモデル化し、その上で解析することが可能になれば、シミュレーションによって、生成された仮説を検証したり、パラメータを変化させながらシミュレーションを行うことで、さまざまな予測や評価を行ったり、新たな仮説を生成することが可能になる。

(3) 今後解決すべき課題

科学研究において求められるロボット技術は多様であり、用いられる場面ごとに異なる機能や性能が要求される。これまでは、主に汎用性のある装置、システム、プラットフォームなどの開発が行われてきたが、それだけでは、現在の、あるいは今後の多様な科学研究のニーズに十分応えることができない。個別のニーズに対応した技術開発が必要であり、そのためには、ロボット技術を組み込むシステムインテグレーション技術、モデル化・シミュレーション技術の開発と、それを利用する科学研究者と一体となった技術開発が重要となる。前述のように、より高機能、高精度、高信頼で、極限的な技術開発が、科学研究を発展させる鍵であり、科学研究のために求められている技術と最先端のロボット技術シーズを、いかに効率的にマッチングさせるかが今後解決すべき課題である。

参考文献

- [1] 吉川弘之：人工物工学の提唱、ILLUME、Vol.4 No.1、 1992.
- [2] <http://www.mhlw.go.jp/stf/houdou/2r9852000000qvsvy.html>
- [3] <http://www.biorobotics.mech.nagoya-u.ac.jp/Bio-manipulation/index-j.html>
- [4] <http://www.robot.t.u-tokyo.ac.jp/mobiligence/>
- [5] http://www.jst.go.jp/erato/project/akc_P/akc_P-j.html

(執筆担当：浅間一)

3.2 ライフ&グリーンイノベーションロボット技術

3.2.1 ライフログ技術(生活データベース技術)

3.2.1.1 はじめに

かつて産業革命と呼ばれた産業化の波が我々の生活を一変させた。そして、いま情報化があらゆる生活場面に浸透していく第三の波[1]の必然としてライフログがあり、我々の生活を大きく変えつつある。ライフログの出現は、生活や人生そのものが、はじめて観察可能になりつつあることを意味している。観察は、制御や設計の基本である。ライフログという観察技術の出現は、これに基づく生活の設計や、より望ましい生活への制御が、今後の科学技術そして産業の新たなターゲットになりつつあることを示唆している。

一方、ロボットの分野では、知能メカトロニクス技術(IRT)の応用として、例えば、図3.2.1-1に示すような将来像が提案されている[2]。図3.2.1-1は、知能メカトロニクスのコンポーネントが生活のあらゆる場面に浸透していく姿を描いている。様々な日常生活空間領域、サイボーグのような身体領域、そして人と人とをつなぐコミュニケーション領域に浸透した生活支援技術のあり方を示している。しかし、ロボット技術者であれば、図3.2.1-1に示したようなIRTを具現化すること、すなわち、真に生活に役立つ支援技術を開発することが実際には難しいことをよく知っている。真に役立つ生活支援技術開発のためには、技術シーズを開拓する方向に加え、日常生活の理解や真のニーズ理解に立脚して、望ましい生活をデザインできる設計技術が不可欠であるが、そのような方法論が確立されていないためである。

アルビン・トフラーは、産業革命を可能にした工作機械(機械を作る装置)と対比して、情報社会における知識を作る装置を「知識工作機械」と呼んだが[3]、生活デザイン産業と呼びうる新たな産業のためには、生活知識工作機械が是非とも必要である。現在、出現しているライフログや検索エンジンなどは、生活知識工作機械の重要部品には違いないが、知識工作機械と呼びうるシステムには、なお隔たりがあるように見える。

本稿では、知能メカトロニクスという物理的・情動的に生活を支援する技術と、ライフログという人間の生活理解技術との融合によって、生活デザインとでも呼べる新たな科学技術と、それをベースとした生活デザインイノベーションが可能になりつつあるという観点から、生活デザインに必要な技術体系、社会体系を議論する。また、生活デザインの要素技術、生活デザインに向けた研究事例などを示し、今後の課題を整理する。

エクト[9]などのライフログ関連のプロジェクトが数多く立ち上がった。(DARPAのライフログプロジェクトはプライバシーの観点から大論争となり、中止され、この種の研究の難しさも露呈した。)最近では、薬の飲み間違い防止サービスや、マルチメディアの分野における食事ログサービス[10]の提案などもなされている。コーヒーメーカーなどの生活財をうまくセンサ化することで認知症などの予兆を検出しようとするEmbedded assessment[11]の取り組みが始まっている。また、最近では、画像認識技術が発展しており、街角カメラと画像認識技術を統合し生活環境の状況をテキスト情報として記録していく取り組み[12]も始まっている。

- 生活現象を時空間現象として計測するためのGPS技術や、これらの情報を蓄積し、検索したり可視化したりするGIS技術などの学際的な研究推進や技術開発を支援するツール群も利用可能になっている。各種ナビゲーションサービス、広告サービスなど商業的にも広く利用される技術として定着している。最近では、3Dスキャナーが利用可能になっており、実生活空間の詳細な3次元形状のデータも取得可能になりつつある。
- ライフログ技術や記録技術を利用し収集され蓄積された大規模生活データから、機械学習アルゴリズムや統計数理技術を用いて、データ駆動型で計算モデルを作成し、生活シミュレーションや生活のリスク評価を行うことが可能になりつつある。例えば、豊かな国の主要な死亡原因は、マラリアやHIVなどの感染症によるものではなく、生活習慣病や日常生活で起こる事故であり、いずれも、生活に関わるものであることが知られている。これらは、大きな健康問題であり、今後、様々な予防科学の開発が不可欠の領域である。例えば、生活の重要な一断面である生活環境で起こる日常的な傷害を取り上げ、医療機関と協力することで大規模な傷害データベースを開発し、これにモデリング技術を応用することで、定量的な生活リスクアセスメント技術を開発する研究が行われている[13]。(データマイニング技術)
- 最近では、クラウドコンピューティングと呼ばれる低コストで計算機資源を利用する分散計算機環境も利用可能になっている。(クラウドコンピューティング技術)
- 個々の環境で集められた生活データを再利用可能なデータベースとするための標準化を行うツールとして国際生活機能分類(ICF)といったコード体系も存在している[14][15]。GISが空間情報を正準化させる方法だったのに対し、これらの技術はそこで記述される意味情報を正準化させる方法に相当する技術として活用できる可能性がある。国際生活機能分類については、xx章にて述べる。

上述したライフログ技術、GPS/GIS技術、データマイニング技術、生活現象正準化技術の存在は、人間の生活機能と計算機や人工物による生活支援機能とを有機的に組み合わせ再構成可能にする技術体系(生活機能構成学 図3.2.1-2参照)の開発が可能になりつつあることを示唆している。

生活デザインを可能とする体系は、技術体系だけに留まらない。データの収集から生活デザインや評価までを実際に行うには、それを可能とする社会体系(社会システム)が不可欠である。社会全体に散らばった生活データの収集、多様な生活行動によって生じる

現象の解明やモデルの開発は、ある一企業や一研究機関だけで実施するにはコストがかかりすぎて実現不可能であるからである。生活デザインは工学者だけの手に負えるものではなく、あらゆる分野の知識を総動員する必要がある。高齢者医学、リハビリテーション医学、人間工学、機械工学、バイオメカニクス、心理学、認知科学・脳科学などの知見が要求されるし、これを社会還元させるには、経済学、法学の力も必要となろう。そのような多機関連携やオープンイノベーションを促進する社会的な仕組みを構築することで、問題解決する体制（社会体系）の構築が重要である。



図3.2.1-2：生活機能デザインの技術体系

3.2.1.3 国際生活機能分類とその応用

国際機能分類（ICF: International Classification of Functioning、 Disability and Health）とは、WHOによって2001年に提案されたもので、1) 人の生きることの全体像を記述可能すること、2) それに基づくQOL評価や研究を促進すること、3) 健康に関わる多様なステイクホルダー間で共通言語として利用すること、などを目的に開発されたものである[16]。ICFでは、人の生活を図3.2.1-3に示すような考えに沿って記述する。図3.2.1-3は、生活機能が、心身機能・身体構造、活動機能、社会参加機能からなっており、それらの機能が環境因子や個人因子の影響を受けていることを示している。心身機能とは、例えば、聴覚機能や呼吸機能などの身体的、生理的な機能を記述するための体系である。身体構造は、文字通り、身体が脳や眼球などの臓器から構成されていることを記述するための体系である。活動および社会参加機能は、歩行・移乗・物を持ち上げること・運ぶこと・排泄などのマイクロな活動レベルから、これらのマイクロな活動が組み合わせられて可能となる、スポーツ・レジャー・結婚式への出席などの社会活動レベルまで幅広いものを記述する体系である。

と蓄積が可能になり、新たな技術体系であるゲノミクスが生まれたように、生活を記述する表現方法が得られることで、これまで科学的取り組みが困難であった生活デザインの分野で新たな方法論を確立することが可能になると考えられる。

3.2.1.4 国際生活機能分類を用いた生活構造理解の事例

生活支援、すなわち、社会参加に重点を置いた生活機能向上に資する支援機器を開発するにあたり、真に生活を支援するためには、何を支援したらいいのかを開発時点で正しく理解することが不可欠である。一方で、必要以上に支援し過ぎることで廃用症候群[17]を招いてしまう危険性も指摘されていることから、「生活を営むために人は何を目的とし、そのために何を行うのか」（効果・効用）や、「何を行わないべきか」（禁忌）を明らかにする必要がある。

この問題を解決するためには、まず、基本データとして、日常生活がどのような人間の機能から構成されているかを理解する必要がある。こうした理解があれば、その理解に基づいた適切な支援機器を開発に一步近づくことが可能となる。本節では、そのような試みを紹介する。具体的には、日常生活行動データ（生活プロトコルデータ）を収集し、3章で述べた国際生活機能分類(ICF)に準拠した分類法に基づいて、生活機能の構造を分析する手法とその研究事例[18]について述べる。

この事例では、日常生活行動データとして日常生活プロトコルデータを用いた。日常生活プロトコルデータとは、生活の中で発生する行動や目的を発話により記録したものである。発話記録という手法を用いたのは、行動者の目的を記録するためである。"何のためにどんな行動を行ったのか"という目的と行動との関係を知ることは生活機能構造を知る上で重要である。通常的生活空間で実現可能で、かつ行動目的情報の収集も可能であるという二点を考慮し、行動の目的を含めた記録方法として発話記録を用いた。現在合計で23日間、2,4378行動の日常生活プロトコルデータを収集した。

分類作業例を表1以下に示す。例えば、"冷蔵庫から卵を取り出す"という行動の場合、日常生活プロトコルデータでは表3.2.1-1の(1)のように記述されている。しかしこれらは自由記述のため"取り出す"が"出す"や"出すー置く"など記述方法が統一されていない場合が多い。表3.2.1-1の(2)はICFにより分類したデータである。例えば、目的の"昼食の準備"は"p6301 手の込んだ食事の調理"、動詞の"(冷蔵庫の扉を)開く"は"a4450 引くこと"のように分類される。このようにICFでは既に記述のための分類が用意されているため、過不足なく生活の記述が可能である。

表3.2.1-1 日常生活プロトコルデータと I C F 分類の具体例

(1)日常生活プロトコルデータ			
番号	目的	目的語	動詞
1	昼食の準備	冷蔵庫	開ける
2	昼食の準備	卵	取り出す
3	昼食の準備	冷蔵庫	閉める

(2)ICF			
番号	活動目的	目的語	活動
1	p6301 手の込んだ食事の調理	冷蔵庫	a4450 引くこと
2	p6301 手の込んだ食事の調理	卵	a4300 持ち上げる
			a4301 手にとって運ぶ
			a4305 物を置く
3	p6301 手の込んだ食事の調理	冷蔵庫	a4451 押すこと

図 3.2.1-5 は活動と活動目的すべてを対象とした頻度分析(5 日間)の結果である。図 3.2.1-5 から、”持ち上げる(1986 回)・物を置く(1594 回)”の二つの発生数が多いことがわかる。とくに持ち上げるに関しては、発生した活動の約 30 %を占めていることがわかる。ロボット技術の分野でも重要とされている Pick & Place は、人間の日常生活においても重要であることが示されている。また、図 3.2.1-5 より "手の込んだ食事の調理"の発生数が三番目に多いことが分かる。

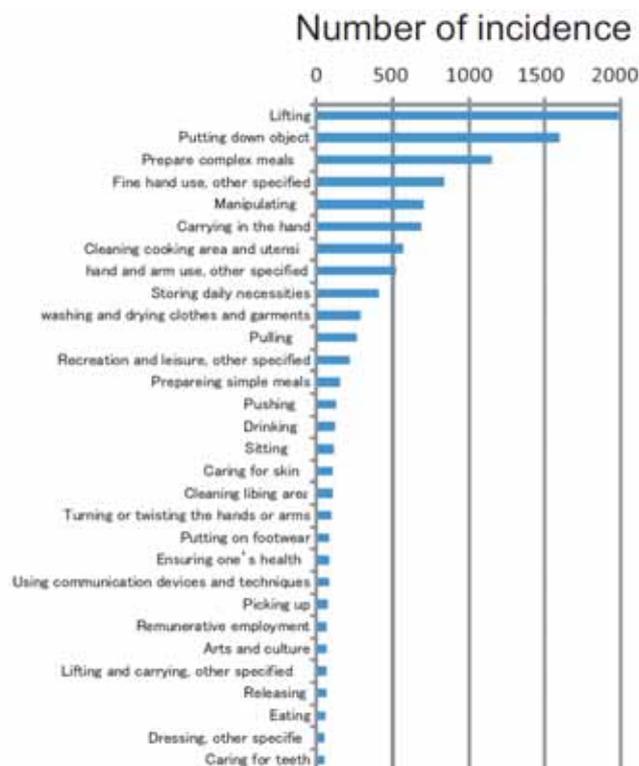


図 3.2.1-5 活動・活動目的の頻度分析

図 3.2.1-6 より"持ち上げる・物を置く"の二つが、やはり、調理においても主な活動であることがわかる。しかし調理はその二つの活動だけでは成り立っておらず、"a110 注意し

てみること（焼き加減を見る）"や"a4453 手や腕を回しひねる（ガスの火を調節する）"など様々な活動によって"手の込んだ食事の調理"が構成されていることがわかる。このような生活機能構造分析は、ロボットを設計する際に必要な機能のリストとして見ることも可能である。ある生活機能が低下した場合の影響分析や、同じ生活機能を実現するための代替手段分析など様々な分析が可能になる。

社会参加や行動の目的を達成するためには、必ずしも失われた機能を他の支援機器で代替するだけが唯一の支援策ではなく、実際にはさまざま代替、補完策があることがリハビリテーションの分野では知られている[17]。今後、様々な生活者に対して、本研究で検討した生活機能構造理解手法を適用することで、その人の生活機能構造を把握すること、失われた機能の代替機能として行っている行動や利用している支援機器が実際に提供する生活機能を明らかにすることなどを進め、生活機能構造データベースを蓄積することで、必要な支援とは何か？、可能な支援とは何か？の体系化を進めていくことが重要な課題である。

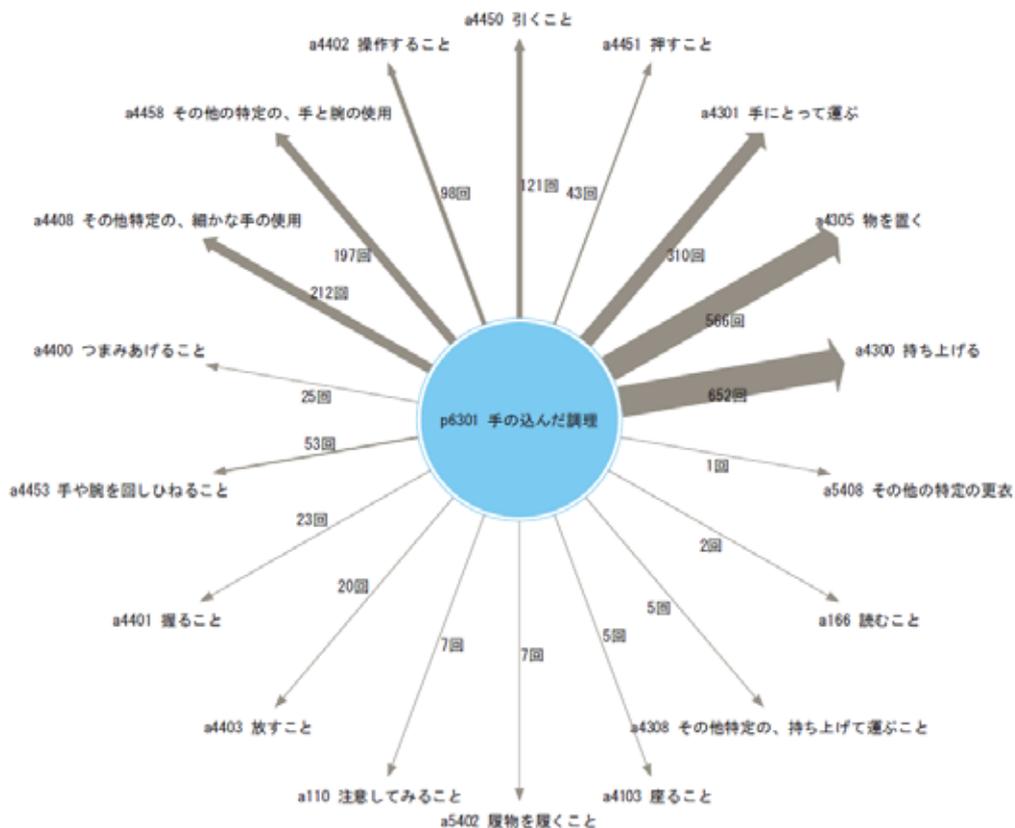


図 3.2.1-6 手の込んだ料理に必要な要素行動

3.2.1.5 生活デザインのための社会体系

生活支援システム/サービスを現実社会で機能させるためには、このような生活機能デザインの技術体系だけでなく、社会体系の構築も不可欠であることは既に述べた。図 3.2.1-7に生活デザインのための社会体系の一つとして、生活知識循環システムを示す。右

型のループは、生活デザインに関係する企業内での知識循環を示しており、左型のループは、これらの生活デザイン産業を支えるための生活データベースを扱う企業（データベース産業）を表している。これらの2種類の産業が連携しあうことで、下で述べるような様々な効果が創出されると考えられる。例えば、一般に、企業のカスタマーセンターなどで受け取る情報には限りがあるが、共通データとしての生活データや生活不具合データにアクセスすることで、その限界を補い、自社の製品やそれに類する製品が関連した不具合などを調査することが可能となる（図3.2.1-7①）。また、生活データベースには、生活実態やユーザによる製品の使われ方情報が含まれており、これを適切に抽出することで、ユーザビリティを向上させるヒントが得られることがある（図3.2.1-7②）。さらに、自社の規準を見直すだけでなく、業界全体にも広げ、業界全体でクオリティを高めたり、日本製品のブランド化を図る活動にも役立つと考えられる（図3.2.1-7③）。

オープンイノベーションという観点から、社会と企業の知識循環について考えてみる。オープンイノベーションとは、自社の技術・データ・アイデアだけで革新的な技術を作り出すクローズドイノベーションではなく、他者の技術・データ・アイデアと自社のものを組み合わせる技術革新の方法を指す[19]。薄く社会に広がった事故情報を、一企業や一業界団体だけで収集することは困難である。上述した社会システムは、個別企業だけでは手にすることができない膨大な生活データへのアクセスを可能にしたり、これらのデータに基づいた多様な研究者による高度な分析を可能にしたりするものである。生活デザイン産業とでも呼べる新たな産業のためのオープンイノベーションを促進させる社会システムの構築は、産業力や日本の国力の強化に繋がると考える。

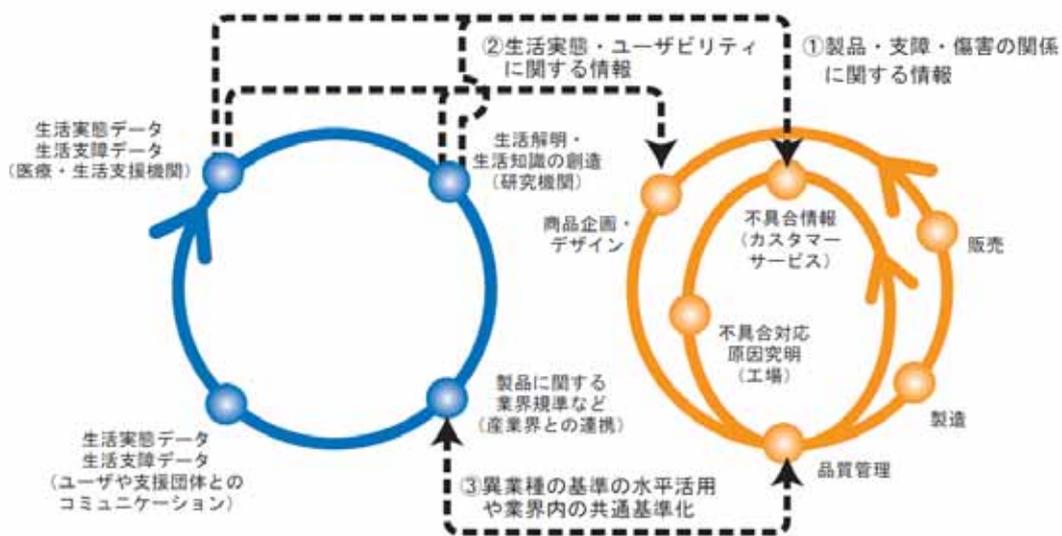


図3.2.1-7 生活機能デザインの社会体系（生活知識循環システム）

3.2.1.6 プロジェクト提案の例

3.2.1.6.1 生活機能データ蓄積による科学的な生活機能低下予防サービス（新たな自治体サービスとしての地域スマート制御）

生活不活発を原因とする生活機能低下や不慮の事故による傷害による生活機能低下は、極めて巨額の介護費用や医療費の原因となっており、これらの生活機能低下予防は、大きな健康問題のみならず、大きな経済問題である。現在、自治体では、生活機能低下の日常的なチェック機能を持っておらず、事後的な対策に重点が置かれている。ライフログ技術を用いた生活機能評価技術と、生活機能低下を予防するための様々な介入デザインとを組み合わせることができれば、生活機能予防のためのフィードバックシステムを作ることが可能となる。

こうした個人に適合した生活機能制御システムの研究課題として以下のものが考えられる。1) 生活機能評価のための生活機能データベースの開発、2) さらに、地域全体で実施することによる疫学的な生活機能データベースの開発、3) 生活環境に存在している認知的、身体的ストレスの理解に基づいた環境センサ化による持続的な生活機能評価技術、4) 個人の生活機能状態に適合させて様々な社会参加を促進する情報の提供サービスとその効果評価、5) 個人の生活機能状態に基づく傷害や生活機能低下リスク評価技術や環境安全化技術、6) 多様な生活機能（高度なスキルを含む）を持つ高齢者をマッシュアップすることで高度な職能コミュニティの形成を支援するソーシャルネットワーク技術、7) 生活機能低下によるコスト低減に有用な活動をポイント化し、地域の経済システムに組み込む仕組みづくり、8) 自宅で行う生活機能維持活動のエッセンスをゲーム化（脳の報酬系を意識した楽しさの演出[20]）することで、モチベーションを維持させる技術など。

3.2.1.6.2 住宅・生活財企業群連携による生活データ蓄積・共有サービス（科学的な生活デザインサービス）

現在、住宅メーカー、電気機器メーカー、什器メーカー、掃除用品メーカー、自動車メーカー、トイレ・浴室メーカー、情報誌を提供する雑誌社など、独自に、膨大なコスト（大手電気メーカーで数億円/年）をかけてライフスタイル調査や生活実態調査を実施している。また、こうした調査を企業から委託し、専門としている会社も非常に数多く存在しており、中には、カリスマ的な存在もある。しかしながら、メーカーが入手できる情報は、生活場面のごく一部であることが多く、生活の全体像の把握や、生活全体の中に位置づけて商品の使われ方を調査するという事はコストがかかり過ぎて実施困難である。また、過去に行われた調査も、蓄積がなされず、散逸される傾向がある。

今後、ますますライフスタイルが多様化し、非マス化された商品を生み出す必要性が高まる状況下では、ターゲットとする生活者像、生活像を的確に体系的に把握することは、すぐさま製品・サービス企画力に直結する極めて重要なものであると言えよう。この生活理解の分野に、情報共有の考え方を導入し、調査データを標準化させ、蓄積し、再利用可能にする仕組みを開発できれば、そのインパクトは大きい。その際、商品企画のための基礎データを共有してしまっただけでは、商品の差別化に繋がらないという反論も考えられるが、

基礎となる生活データを実際に製品・サービス企画につなげるためには、企業独自の哲学・ノウハウ・視点などが不可欠であり、生活データがあっても、なお、高度に競争的な状況は変わらないと考えるのが妥当である。むしろ、そのような仕組みを世界に先駆けていち早く作り上げることで、生活者像・生活像のより深い理解に基づく、より気の利いた製品・サービス設計へと時代を進めることが可能になると考える。

生活データ蓄積・共有サービスの研究課題として以下のものが考えられる。1) 時空間生活データの記録・検索技術（3D スキャナー、画像処理技術、3D GIS 技術など）、2) 個別性のある生活データを再利用可能にするための正準化技術（生活財などの環境的側面の正準化、生活機能的側面の正準化、時空間データの正準化）、3) そのままでは守秘性のある環境情報・個人情報・事故情報などをモデリングを介すことで、共有可能にする技術、4) 個別性のある生活環境で収集されたデータを、他の生活環境にリターゲットする技術、5) センサールーム技術を応用した生活現象の（条件付）確率分布データベースの整備（座り方・立ち上がり方の確率分布、転倒姿勢の確率分布）など。

3.2.1.7 生活デザインのための共通課題の整理

以下に、生活デザインのための共通課題を整理する。

- 生活機能データベースと生活機能生態学：生活デザイン（製品づくりやサービスデザイン）において、生活実態を反映させるためには、日常生活のデータベースの整備が求められている。例えば、日常空間に存在している製品のデータベース、日常空間を構成している間取りや様々な施設要素のデータベース、人間が一日どんな行動をとっているかの生活機能データベースの整備が必要である。また、これらのデータの異分野や将来に渡る再利用性を高めるための表現法の開発も重要である。また、人にサービスを提供する機器の開発のためには、特に、人が人に対して行っているサービスの機能構造を明らかにする必要がある。生活機能低下者が支援機器を使用して行っている「自助」の構造のほか、「互助」や「共助」における生活機能の構造を明らかにする必要がある。すなわち、生活機能構成学（工学）のためには、助け・助けられることの全体像を把握する生活機能生態学（科学）が必要である。
- 生活機能の統合原理と生活機能構成学：生活デザインを可能とするためには、生活実態を把握するためのデータベースだけでなく、様々な人的・社会的・物的リソースを統合し、個人の生活の一つのシステムとして、設計・評価する技術が必要である。そのような設計をサポートする生活CADのようなものを実現するためには、生活機能データベースに基づいて、個人の生活機能低下を予防したり、他人に助けってもらって外出したりするなどの様々な生活機能の統合のシミュレーション技術が必要となる。さらに、個人の様々な価値感に基づいて、その個人や家族によって望ましい生活を、複数の選択肢を提示した上で、デザインしたり、評価したりすることをデータとして蓄積していくことで、全人間的な生活デザインのための生活機能の統合原理を明らかにしていく必要がある。
- 生活機能の貯蓄・流通メカニズムの開発と生活機能経済学：各種経済指標で観察可能

な金銭経済を成り立たせているのは、計量が難しく目に見えない非金銭経済であり、これらが両輪となって経済活動が営まれている[3]。これまでは、自宅で家族が行う介護、食事、教育などは全て非金銭経済であり、これらを外注でもしない限り、計量できなかった。ライフログやその周辺技術によって、もし、生活機能の生産・消費活動が記録可能になれば、新しい経済が可能になるかもしれない。そのためには、生活機能の貯蓄、流通、交換、贈与、換金を可能とするメカニズムの考案が必要である。その一步は、何らかのポイント制を導入し、生活機能を見える化することであろう。その上で、例えば、生活機能の活性度（ポイント）が、何らかの医療費削減効果や地域の経済活動促進効果と関連付けられれば、これらのポイントの様々な意義付けが可能になる。さらに、そのような意義付けは、これをマネジメントすることの必要性へとつながり、経営や経済の考え方が必要となろう。

- 目的志向の生活状況記述技術：生活は、何を目的としてどのように記述されるべきかに答える理論や、目的志向的な記述を支援する技術が皆無である。そのため、収集したデータが、非常にマクロな記述統計にしか役立たず、実際の傷害予防や商品企画につながらないという問題が数多く生じている。筆者らが具体的に問題を把握している医療施設、商業施設、学校環境など以外にも、あらゆる分野、あらゆる環境で同じ問題にぶつかっていると考えられる。生活を目的指向的に記述するための一つの観点は、次で述べる可制御性である。
- 日常生活を可制御化するためのモデリング技術：超多自由度現象制御問題のための技術が求められている。例えば、日常現象に関して、全体的・集合的な特徴を捉えたデータ（グローバルに集められた大規模データ。（例）統計データ）と、ある場所において物理的なセンサを用いた生活・行動データ（ローカルで収集されたある環境の特徴を捉えた個性の高いデータ。（例）センサデータ、ライフログデータ）とを、数理・物理シミュレーション技術を用いて融合させ、グローバル現象とローカル現象までの階層的な構造全体を説明するモデルを構築したり、ローカルな操作変数を用いてグローバル現象を可制御化したり、グローバルな現象に基づく知見をある環境に適合させたりする技術が求められている。例えば、日常生活環境下での傷害再現シミュレーションのためには、生理学・解剖学レベルでの傷害のモデル、日常生活行動レベルでの傷害発生のモデル、社会現象レベルでの疫学的モデルを一貫できるマルチ・スケールなモデリング/シミュレーション技術、保護者・複数の子ども・複数の製品間のインタラクションを扱えるマルチ・エージェント・ベースのモデリング/シミュレーション技術、質点系・剛体系・有限要素系などのマルチ・ダイミナクスを扱えるモデリング/シミュレーション技術の開発も必要である。
- 生活データの対話的正準化に基づく同一問題構造化技術：個別の施設や現場では発生頻度が少なく、薄く広がった現象をうまく処理する技術が必要であり、単純な検索機能だけでは実現できない。そのためには、現象を正準化させて記述することで、統計処理可能なデータへと加工し、再利用性を高める技術の開発が必要となる。ここでの正準化とは、そのまま統合できない複数のデータを適当な状態空間に写像し、標準化することでデータを統合し、統計分析が行えるデータ構造にすることを意味する。時空間的、意味・機能的な正準化がある。世の中には、学校、駅、道路、病院、公園、

マンションなど、基本的な施設の構成要素が極めて似ているが、厳密には同じではない施設群が膨大に存在しており、それらを同型化するための表現手法、モデリング手法が開発できれば、再利用性の高いデータやモデルを開発する上で有用である。そのような正準化やモデリング作業は、完全自働的になされるというよりも、人間の知的能力を積極的に活用し、対話的に行う必要がある場合がほとんどであると考えられるので、その作業支援のための正準化表現の対話的開発支援技術、対話的正規化モデリング技術が求められている。

- 多様なステイクホルダー間での知識循環を可能とする技術：ある製品やサービスを設計する際に、使用状況、製品の機能、想定されるユーザなどの情報と、厳密には同じ製品によるものではない過去のデータを関連付けて、使われ方を予見させてくれるリンケージ技術が求められている。
- ステイクホルダー社会システム分析と社会機能デザインの技術：新しい社会サービスやあるべき社会の姿を実現する上での、複数の組織（ステイクホルダー）のバリア分析や組織の心理的・経済的の社会構造分析に基づく社会システムデザイン技術が求められる。

参考文献

- [1] アルビン・トフラー、第三の波、中公文庫、1982
- [2] 経済産業省 平成 19 年度技術戦略マップローリング委託事業 ロボット分野に関するアカデミック・ロードマップ、2008
http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/19fy-pj/r_1.pdf
- [3] アルビン・トフラー、ハイジ・トフラー、富の未来、講談社、2006
- [4] 音葉哲、iPhoneでライフログ、辰巳出版、2010
- [5] 寺田眞治、ライフログビジネス、インプレスR&D、2009
- [6] 佐藤 知正、森 武俊、“人と機械の知的協調システム-行動蓄積機能に基づいた人間行動適合型機械システム-” 計測と制御、38(6)、357-362、1999
- [7] My Life Bits Project (<http://research.microsoft.com/en-us/projects/mylifebits/>)
- [8] ゴードン・ベル&ジム・ゲメル(飯泉恵美子訳)、ライフログのすすめ、ハヤカワ新書、2010
- [9] DARPA、Lifelog Project (http://en.wikipedia.org/wiki/DARPA_LifeLog)
- [10] 相澤清晴、ライフログの実践的活用：食事ログからの展望、情報処理、Vol. 50、No. 7、2009
- [11] CMU、Embedded Assessment of Elder Activities for Augmenting PHRs
http://www.projecthealthdesign.org/projects/current_projects/cmu
- [12] The Mind's Eye Project、[http://en.wikipedia.org/wiki/Mind's_Eye_\(US_Military\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Mind's_Eye_(US_Military))
- [13] 西田佳史、本村陽一、北村光司、山中龍宏、“子どもの傷害予防工学 ー日常生活を科学し、傷害を制御する工学的アプローチ、” 国民生活研究、Vol. 50、No. 3、pp. 84-126、2010
- [14] 障害者福祉研究会、“ICF 国際生活機能分類 ー国際障害分類改訂版ー”、中央法規出

版、 2002

- [15] 上田敏、”ICF(国際生活機能分類) の理解と活用、” きょうされん、 2005
- [16] 大川弥生、 生活機能とは何か、 東京大学出版会、 2007
- [17] 大川弥生、「良くする介護」を实践するための I C F の理解と活用、中央法規出版、
2009
- [18] 白石康星、西田佳史、本村陽一、大川弥生、溝口博、“国際生活機能分類を用いた日常生活プロトコルデータの正規化に基づく生活機能構造のモデル化と理解”、電子情報通信学会 技術研究報告 (ニューロコンピューティング、pp.431-436、2010
- [19] ヘンリー・チェスブロウ、 大前恵一朗 (翻訳)、OPEN INNOVATION—ハーバード流イノベーション戦略のすべて、産業能率大学出版部、2004
- [20] ゲームで活力パワーアップ、 日経サイエンス 2011 年 3 月号、 pp. 102-103

(執筆担当：西田佳史)

3.2.2 クラウドネットワークサービス技術

3.2.2.1 社会要請

情報通信分野の世界では、Web サービスが、農業分野に限らず、生活、交通、自治体、科学技術、医療・介護、教育エンタテインメントなどの分野でも幅広く浸透して、ビジネスも順調に推移している。一方、実世界では、この 10 年で、ユビキタスコンピューティング技術が進展し、人間の位置・行動センシング、環境状況センシング、コンテキストウェアネスなどに関するセンシング技術が進歩し、「あなただけ、今だけサービス」に基づくアフィリエイト、レコメンデーションなどの Web サービスが実用化されている。これらの流れに加えて、クラウドサービスについても現在の企業向けクラウドサービスから、実世界から収集されるデータを対象にする消費者向けクラウドサービスへ発展し始めている。クラウドサービスも現在のパソコンやスマートフォン、タブレット端末などのコミュニケーションメディアだけでなく、今後は対話できる人型ロボットやアンドロイド、車イス、EV 車などの実世界で動くロボティックな機器（センシング機能、アクチュエーション機能、それらの制御機能を持つ機器）が登場していくことが予想される。

ロボティックな機器を開発する場合に、従来の未来予測は、①ありうる未来（技術の未来）、②あるべき未来（有識者の考える未来）という観点が中心にシーズとニーズを検討している場合が多かった。ありうる未来では、研究開発者が興味を持っている技術をシーズとして取り上げ、その線上にみえてくる技術ロードマップから未来イメージを予測していた。あるべき未来については各分野の有識者が技術だけでなく法制度、国や地方の立場、国際競争力などの社会システムの視点から未来のニーズとそのためのシーズを議論していた。しかしながら、我々が最も知らなければならない点は、生活者視点を生かした、③ありたい未来（生活者の願う未来）の部分[1]である。ユーザ（消費者ではなく生活者）が何を欲しがっているか（ウォンツ）を知ることが重要であり、関経連でも次世代ロボット推進会議の中で、5 年前に、これらの 3 視点に立って、同様の検討を行っている[2]。

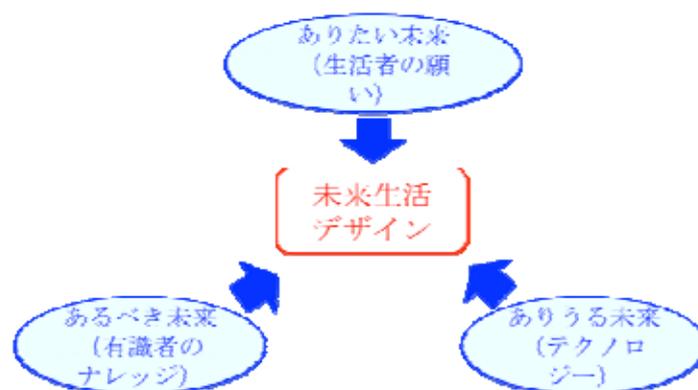


図 3.2.2-1 未来生活デザインの 3 つの視点

内閣府の調査でも、平成 21～22 年度にかけて、高齢化社会のありたい未来について検討され、「高齢者の生活実態に関する調査」が報告されている[3]。それによれば、独居高齢者、家族は居るが日中だけ独居の「日中独居高齢者」などの実態を述べられ、男女問わ

ずに、独居高齢者のコミュニケーション機会が不足している実態があり、これらに対する活性化策として、元気な高齢者を孤立した高齢者の「支え手」に、人との「つながり」を持てる機会づくりを、民と官の「協働」によるネットワークづくりを、という3点が挙げられ、人手によって体制を構築することが考えられている。しかしながら、人手を確保することが難しい地域や、高齢者本人が人手を借りずに、自分のペースで行動したいという自立要望が強いことも指摘されている。そこで、自立要望に応えるために、高齢者のコミュニケーション活性化と介護者の負担軽減に役立つクラウドネットワーク技術、ユビキタスネットワークロボット技術に関するサービスの可能性について2つのサービス実証実験を紹介する。

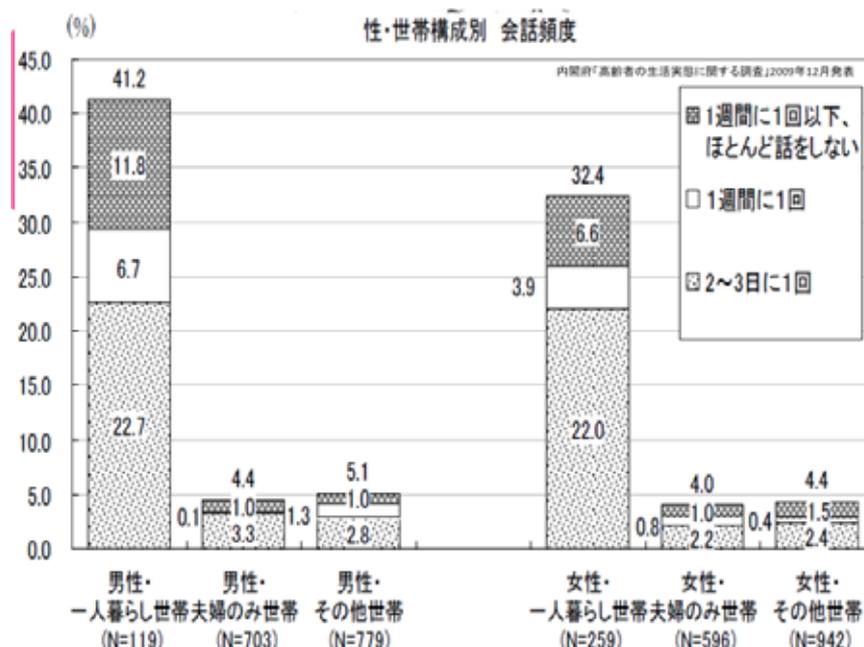


図 3.2.2-2 性・世帯構成別 会話頻度 (内閣府「高齢者の生活実態に関する調査」(2009年12月発表より抜粋))

3.2.2.2 要請に答えるサービス

独居高齢者、軽度脳障害者に対する社会参加を促進するためのロボットサービスに焦点を当てる。多地点にわたって複数のロボット、スマートフォン、環境に埋め込まれたセンサ群が連携・協調するネットワークロボット技術(ユビキタスネットワークロボットと呼ぶ)をベースにしているが、情報世界(サイバー世界)で実績のあるアフィリエイトやレコメンデーションサービスに近いコンセプトとサービス形態をとるためにビジネス化の可能性も高い。様々なユビキタスネットワークロボット技術の中で、一人ひとりの高齢者の自立要望を満たすという視点から多地点に渡ってサービス連携を行うロボット連携買物支援サービス実験と、介護者の負担軽減の視点からロボットが高齢者(チャレンジドを含む)同士のテレビ電話による対話を支援する遠隔対話支援サービス実験について紹介する。

① ロボット連携買物支援サービス実験

○ねらい

高齢者(特に独居の方)にとって買い物は重要な生活行動の1つである。しかしながら、値札が見えづらい、店舗の騒音下で音声聞き取りにくい、欲しい商品がどこにあるかわからないなどの煩わしさが重なると、買い物に行くことが億劫になり、自宅に引きこもりがちになってしまうという。地域のボランティアやインターネットによる買物代行サービスなども実施されているが、日常的に不可欠な買い物を何度も他人にお願いしなければならないという精神的な負担があることも指摘されている。家族のようにもっと気軽に話せる相手と楽しく対話しながら買い物ができたらという高齢者の意見も強い。

○実験概要

図 3.2.2-3 に示すように、家、店舗入口、店舗内の 3 地点で、それぞれ、「買物リスト作成」、「出迎え」、「買い物支援」の各サービスを連携させる実験を京都府のアピタ精華台店で 2009 年 12 月から行っている。現実のネットワーク環境はいつでもどこでもリッチなセンサ環境を実現できるわけではない。そこで、環境センサがない場所においても、このサービスを実行できるように、オペレータによる遠隔対話と 3 地点で異なるセンサ粒度を設定した。

まず、「家」(地点 1) で、スマートフォンを使って、高齢者(モニタ)は遠隔オペレータと一緒に買物リストを作る。次に、モニタが店舗に来店すると、「店舗入口」(地点 2) で、環境センサ(レーザーレンジファインダ 11 台と無線 LAN アクセスポイントからなる)が、来店者の位置(人の腰高上の 2 次元平面位置座標)を 5cm の精度で正確に計測する。システムが携帯端末の個人 ID(携帯端末の MAC アドレス)を検出することによってモニタがだれであるかを特定できる。この後に、ビジブル型ロボット(Robovie II)がターゲットとなるモニタに近づいて、「〇〇さん、お待ちしております」などと言って、お出迎えをする。このエリアには、特売品などの日替わりで商品陳列が変更するエリアやエスカレータなどのエリアがある。これらのエリアは本来、ロボットが進入すべきではない領域であり、予めネットワークロボットプラットフォームの「空間台帳」(サービスエリア内でロボットが走破する床面の状態や、ロボットの進入禁止領域などを記述したデータベース)を参照して移動する、環境に埋め込まれたセンサ群と連携して、予期せぬ移動物体(ショッピングカートなど)や人々を認識して、衝突を回避するなどの安全性確保も同時に実験している。

その後、「店舗内」(地点 3) では、家で決めた買物リストに従って、人型ロボットや買い物カートロボットが順に商品棚まで付き添い、モニタの買い物を支援する。センサ環境は設置せず Robovie II 自体のカメラとマイクフォンだけの情報でオペレータが対話する。たとえば、モニタが買い忘れそうになった商品があれば、ロボットが「あ、〇〇を買うのを忘れてるよ」というように、一緒に買い物している感覚で買い物のアドバイスをを行う。本実験では、遠隔オペレータが各地点のモニタと遠隔対話・操作を行う(図 3.2.2-3)。

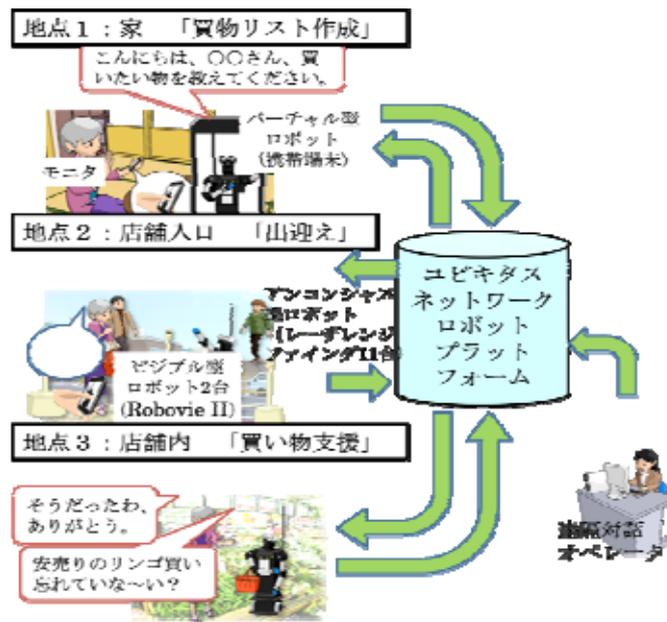


図 3.2.2-3 自宅・店舗入口・店舗内の3地点をロボットが連携・協調する
ロボット連携買物支援サービス実験

② 遠隔対話支援サービス実験

○ねらい

2006年に、高齢者と傾聴ボランティアをテレビ電話で結ぶ遠隔傾聴実験を実施し、家族（介助者）の負担軽減と高齢者のコミュニケーションの注意持続に有効であった[4]が、資格を持った傾聴ボランティアの数そのものが桁違いに少ないという問題が残されている。そこで、この喫緊の課題を解消するために、介助者の代わりにぬいぐるみ型ロボットとカメラを導入して、かつ高齢者同士が対話する遠隔対話支援サービス実験を行っている。

○実験概要

他者との関わりが少なくなりがちな高齢者にネットワークを介した対話機会を提供することで、コミュニケーション意欲を高め孤立感の解消など情緒面でのサポートを行えるかを実験した。予備検討として、認知症者を含む高齢者から二人同士によるテレビ会議システムを利用した遠隔対話の観察を実施し、ユーザの注意低下により対話の持続が困難になること、ユーザに付き添う対話介助者によってユーザの注意を対話し相手に引き付けることができること、一方で対話介助者の過度の介入により高齢者同士の対話が阻害される場合があることなどの知見を得た。この結果に基づいて、実験評価システムでは、対話介助者の役割をぬいぐるみ型ロボットにより代替するため、マイクとカメラによるユーザの対話態度（顔向き・発話の有無）の検出、頷き・手振り等のジェスチャ表出、ルールベースの発話による相槌・話題提供等の機能を実装した（図 3.2.2-4）。同システムを用いた機能評価のために精華町社会福祉協議会デイサービスセンターにおいて2009年12月に実施した実証実験では、同センターに通所する高齢者12名の参加を得てシステムの基本機能の動作を検証するとともに、ぬいぐるみ型ロボットによる対話支援機能により初めて参加する高齢者同士でもテレビ会議システムによる遠隔対話が成立することを確認できた。



図 3.2.2-4 遠隔対話支援サービス実験

3.2.2.3 その他の課題(制度など産業化を阻む弊害)

ここに述べたサービス例以外にも、高齢者、障害者のためのロボティクスサービスは、ヘルスケア、コミュニティ形成、見守り支援、スケジュール支援、学習支援など様々なアプリケーションが検討されている。これらサービス・アプリケーションのデータがクラウドネットワーク上で情報共有されていくことで、今後、ネットワークロボットのためのクラウド型データ連携の研究開発が盛んになることが予想できる。具体的には、ユビキタスセンサが収集した環境データやヘルスケアなどのユーザ行動情報データが各クラウド型データベースに収集され、様々なデータベース間を連携させるビジネスや異種分野間でのデータマイニング・アプリケーションや生活に密着したタイムリーな知識提供サービスなどが多数生まれてくる。これらのビジネスを興すためには、ネットワークロボットプラットフォームに関するアプリケーションレベルの標準化活動が不可欠となると同時に、クラウドネットワーク技術を前提としたデータ活用策についても今後議論がなされていく予定である。これらの研究開発について、学会として、電子情報通信学会でも情報システムソサイエティに 2011 年度からクラウドネットワークロボット研究専門委員会を立ち上げ、ネットワーク技術、ヒューマンインターフェース技術、ネットワークロボット技術、ロボット工学、認知科学などの幅広い分野の研究者が議論を開始する予定になっている。

【参考文献】

- [1] 博報堂生活総合研究所 新しく「未来生活研究室」を発足、9/24、2003.
www.hakuhodo.co.jp/pdf/2003/20030924.pdf
- [2] ユビキタスシティの実現に向けて、2006年6月(社)関西経済連合会情報通信委員会
 ユビキタスシティ検討WG.
www.soumu.go.jp/soutsu/kinki/studygroup/2006/wireless/08.pdf
- [3] 平成22年版高齢社会白書の検討状況について、内閣府、平成22年4月5日。
www5.cao.go.jp/seisakukaigi/shiryoku/0023-100406/pdf/item08.pdf
- [4] 桑原教彰、安部伸治、安田清、田村俊世、桑原和広、“TV電話とコンテンツ共有を用いた高齢者の遠隔からの対話や回想法を可能とするシステムの実現と評価、”ヒューマンインターフェース学会論文誌、vol.9、no.2、pp.41-52、2007.

(執筆担当：萩田紀博)

3.2.3 サービスコンテンツ技術

3.2.3.1 社会的要請

「コンテンツ」とは、「内容」という意味であって、たとえばテレビ放送を例にとれば、「番組」がそれにあたる。放送網や、テレビ受信器などはテレビ放送の基盤技術であり、コンテンツに対して「プラットフォーム」と呼ばれる。すなわち、コンテンツとは、技術の上部構造の存在である。通常技術は意味論において中立的であると言われるが、それに「価値」のような意味論を与えるのがコンテンツと言ってよいだろう。

従って、コンテンツ技術とはやや矛盾的な言い方であり、戸惑う読者もいるのではないかと思われるが、上記の2つの構造の境界を構成する技術とでも考えればよいのではないだろうか。技術の成熟化に伴い、下部構造より上部構造の方が重要になってくる。実際、IT産業の分野では、ネットワークの次はコンテンツの時代が到来すると言われている。(図3.2.3-1) Google や Amazon などの企業はコンテンツ産業的色彩の濃い産業である。

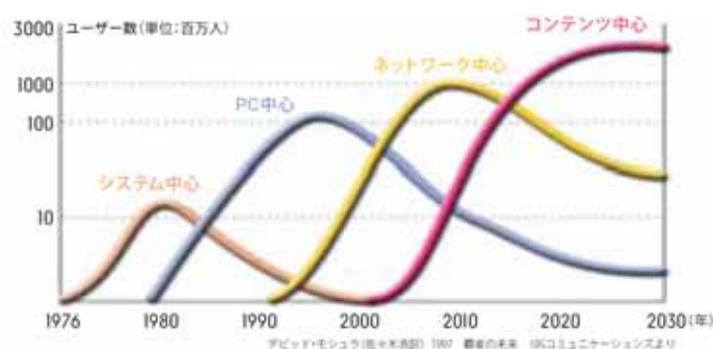


図 3.2.3-1 IT 業界のパラダイムシフト

コンテンツをアプリケーションとかサービスなどと同義に扱う人もいるが、著者はもう少し固有名詞的価値が含まれる概念だと考えている。アプリケーションやサービスでは、それによって実現される機能が重要であるが、コンテンツの議論においてはさらにその上部構造が含まれる。「ブランド」は、商品から物的な要素をすべて取り去ったときになお存在する価値と定義されるが、コンテンツの価値はそれに近い。

ロボットの実用化に際し、ロボット単体のコストの低廉化を論じる人は多い。しかし、たとえばロボットと 3D ディスプレイの価格を同列に論じることはできない。ディスプレイの後ろには NHK や TBS などのテレビ局というコンテンツ供給者が存在している。ユーザはディスプレイというハードウェアにお金を使うわけではなく、番組にお金を使うのである。

コンテンツに関する議論は始まったばかりで、その体系はまだ確固たるものが存在するわけではない。コンテンツ技術には、与えられた技術の枠の中で、それを最も効果的に使用するための知識であったり、逆にある表現を可能にする技術などが含まれる。

今後わが国が追求すべき先端技術を活用した製品群は、コンテンツによる高付加価値化まで含めない限り、経済的にペイしないであろう。一般的に先端技術は知識集約型であり、その原価を回収するのに必要なコストはそれ以前のローテク製品に比べて格段に大きい

ずだからである。

ここ数年間、経産省が中心になって推進している感性価値創造などの施策は、工業製品におけるコンテンツの重要性を示している。製品に優れたデザインが付加価値を与えるように、コンテンツによって、素材が素材や機能を越えた価値を持つようになるのである。

3.2.3.2 具体的サービス

ここでは、一例として、高齢化社会対応という課題をコンテンツ技術の立場から眺めてみよう。高齢化というキーワードは今後のIRTにとって重要な領域のひとつである。これに価値を与えるのがコンテンツ技術の役割である。高齢化社会において生じるであろう様々な諸問題の解決に機械力を使っていこうという作業仮説は、多くの人々の賛同を得ることができるであろう。特に、軍事というキラーコンテンツを持たないわが国にとって、極めて大きな大義名分を技術に与えることが期待される。

図 3.2.3-2 に、2005 年と 2055 年のわが国の人口ピラミッドを示す。2005 年時点でも顕著な若年層人口の減少が認められるが、2055 年にいたると 65 歳以上の高齢者人口が全人口の 40%に達する。こういう状況で、若年層が高齢者を支えるという従来 of 社会の仕組みが破綻するであろうことは目に見えている。こういう状況を打破するためには、社会システムの大胆な組み換えが必要である。こうした社会的要請を文脈として、IRT の可能性を語ることにする。

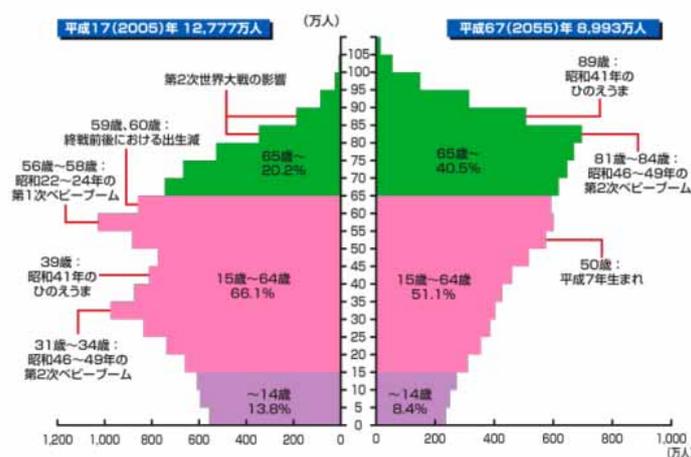


図 3.2.3-2 2005 年と 2055 年の人口ピラミッド

コンテンツ技術的なアプローチに際して必要なのは、新たな技術開発を短絡的に考えることでなく、要求に対してどういう技術要素を組み合わせるべきかを考えることである。そして、現状技術の組み合わせでどうしても限界が生じたところに技術開発の努力を集中しようというシステム設計的方法論である。ちょうど A 地点から B 地点まで鉄道を引こうというとき、色々なルートを選定し、トンネル掘削や橋梁建設の労力を最小化する努力と似ている。

したがって、コンテンツ技術の観点から、中心的技術の構造をあらかじめ定義することはできない。どういう技術開発が必要かについては、ニーズ側の特性が優越するからであ

る。これまでシーズ主導で進められてきた技術開発プロジェクトにとって、この研究開発の構造自体が最大のプロジェクト計画上の問題であるということになるであろう。

さて、高齢化社会について、ひとつの可能性として、元気高齢者を IRT で支援して高齢者を福祉の対象、社会のペイロードとしてではなく、高齢者の潜在的能力を積極的に活用することによって社会のエンジンへと転換することが考えられる。

現在、リタイアした高齢者がブログ等書き込んでいる情報量はかなりなものと推定される。しかしながら、そのほとんどは趣味的なものであり、経済活動とは無関係である。これを経済化することにより、高齢者問題を福祉的視点と経済的視点の両方から論じることができるというわけである。

こうしたアイデアを、IRT、とりわけ電子メディアで支援する枠組みについて示したのが図 3.2.3-3 である。

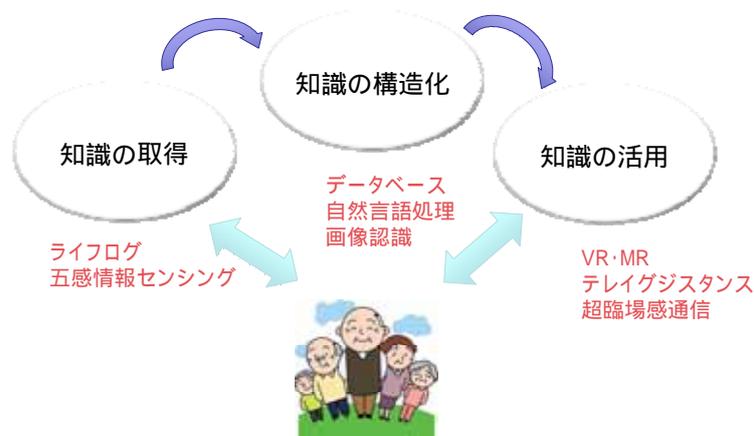


図 3.2.3-3 IRT による元気高齢者支援

すなわち、(1)高齢者の知恵を電子メディアに取り込み、(2)社会で利用可能な知識ベースとして構造化し、(3)伝えたい人々にわかりやすくその情報を伝達する技術によって構成されるシステムである。

こうしたサービスは、要は高齢者が若年層にとって圧倒的に多く持つ「経験知」を商品化し、高齢者が中心となる経済活動を活性化し、必要があればそれを他の世代にも拡大していこうというものである。

サブシステム(1)の実装において大きな期待を集めるのが、いわゆるライフログ技術である。体験や知識が個人の頭の中にあるだけでは、社会において活用することができないため、それを電子メディア等の外部装置に固定化する必要があるわけである。

いわゆるデジタルオーラルヒストリーとでも呼ばれる技術が活用できよう。

電子メディア化するという事は、客観化するという事である。熟練者は、自分の技術について、往々にしてその内容や重要性を現顔かできないものである。たとえば、図 3.2.3-4 は、きり金のような繊細な金箔細工技術を動作、力の入れ具合、視点など、あらゆる項目について細大漏らさず記録し、熟練者と初心者の違いを分析しているところである。



図 3.2.3-4 金箔細工動作の記録

こうしたインテンシブなログのとり方もある一方、ウェアラブルコンピュータを活用して、自動的に行動情報を採集するという方法論も考えられるだろう。

いずれにしても、こうしたライフログによって、電子メディアの中に生み出される大量の情報は膨大であり、それをデータベースとして構造化し、利用可能にしなければならない。これがサブシステム(2)である。こうした知識群を吸収するためには、現在のクラウド技術が大きな役割を果たすことになるだろう。

そして、こうして作られたデータベースを利活用するために、VRをはじめとする先端的可視化技術が利用したサブシステムが必要である。ここで作られる環境は一種のタイムマシンであり、高齢者を過去の文脈におくことによって、よりいっそう円滑なオーラルヒストリーの収集が可能という効果も持つ。つまり、知識収集のフェーズへと再結合されるわけである。もちろん、身体的能力を失ったが、精神的能力については十分な高齢者が社会参加するためのトレイグジスタンス技術などもここに含まれる。

こうして集積された知識を利用することによって、若年層は過去に学び、より賢い行動をとることができる。ここで重要なことは、電子メディアを介在させることによって、若年層と高齢者との距離をいかようにもデザインすることができるということである。

高齢者が直接的に若年層の職場に介入する場合、若者の自立を妨げる、勤労機会を奪うなど、様々な問題をはらむことがある。IRTの重要な点は両者の接続の自由度を担保する点にあるといえる。

3.2.3.3 その他の課題

このシステムは個人の体験を集積するために、プライバシーに関する十分な配慮が必要なことを強調しておく。さらに、それらが統合化され、集合知として運用するための権利処理が必要になるだろう。この種の問題解決は高齢者コミュニティの経済化にとって不可欠の課題である。

(執筆担当：廣瀬通孝)

3.2.4 パーソナルモビリティ技術

副題：アクティブシニア層が牽引するモビリティ社会の創生

パーソナルモビリティ技術は、ライフイノベーションを実現するための重要な技術である。本稿では、パーソナルモビリティを社会に普及させて、新しい文化を作る為の指針を示す。

パーソナルモビリティのターゲットユーザは、少子高齢化社会の新しい担い手として期待されるアクティブシニア層を想定している。そして、パーソナルモビリティを、従来のシニアカーとは異なる乗物として区別している。図 3.2.4-1 にパーソナルモビリティの方向性を示す。図では、従来のシニアカーを従来型パーソナルモビリティ、目指すべき姿を次世代型パーソナルモビリティとして区別した。

これまでも、経済産業省や科学技術振興機構（略称 JST）で、パーソナルモビリティをテーマにしたプロジェクトが立案されている。しかし、これらは大抵高齢者用を想定しており、ここでの定義によれば、従来のシニアカーに位置付けられる。しかし、未来社会におけるライフイノベーションを目指すのであれば、アクティブシニアをターゲットにした新しい設計を行うべきである。すなわち、「仕方がなく乗る」のではなく、「乗りたくなる」パーソナルモビリティを志向する。アクティブシニア向けパーソナルモビリティは、体の延長、もしくは体の一部を目指す。

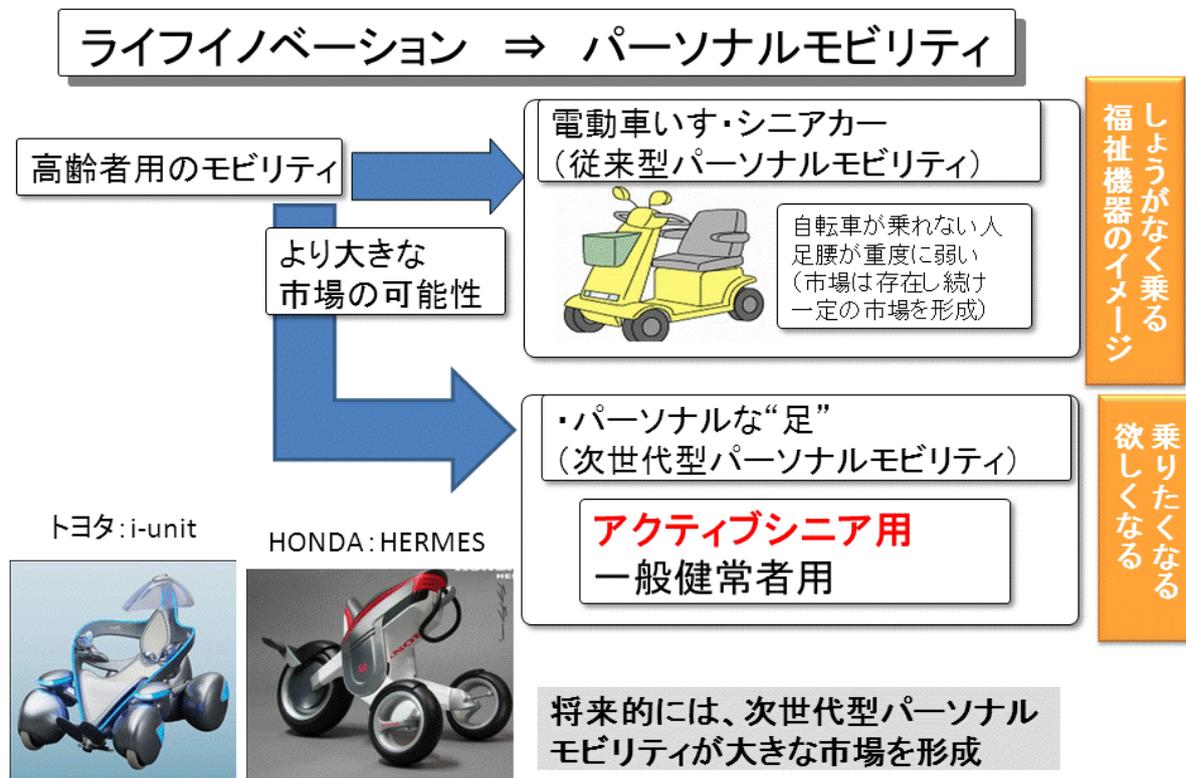


図 3.2.4-1 パーソナルモビリティの方向性

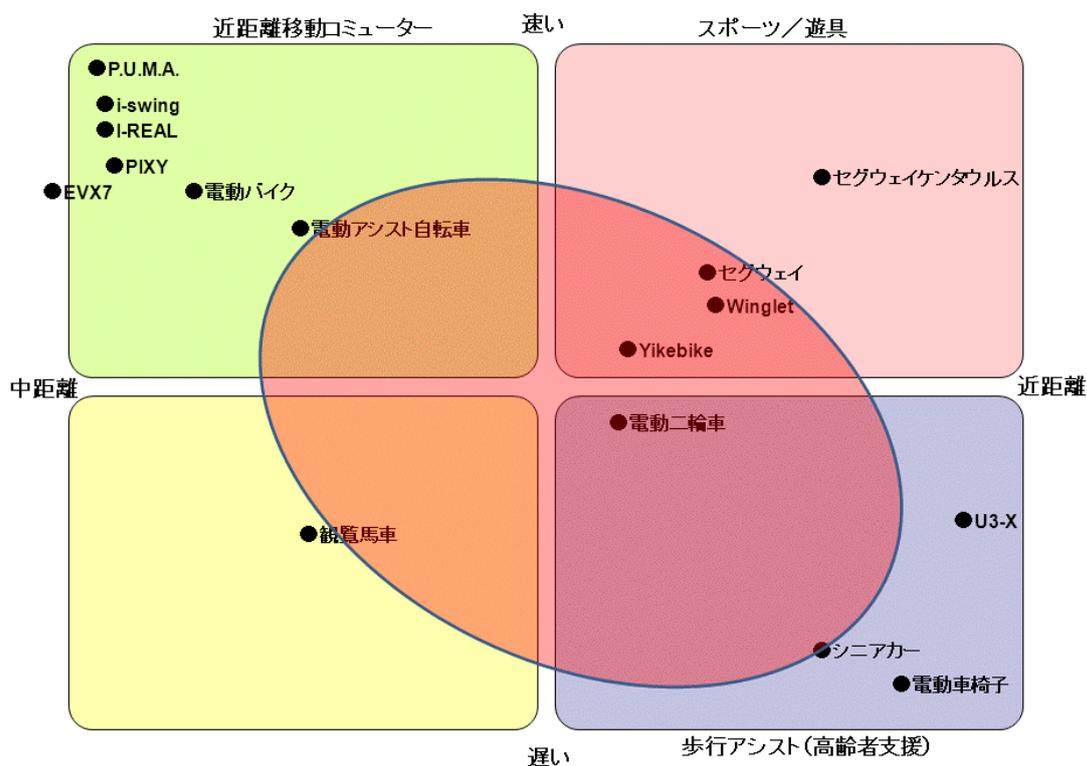


図 3.2.4-2 パーソナルモビリティマップ

なおかつ、乗ってみると格好良く、スタイリッシュな乗物を目指す。この乗物の利用シーンは、例えば、Park & Ride における大都市圏内の新しい移動手段として、ちょっと先まで買い物に行く時、手軽に乗れる自転車に近い乗物を目指す。図 3.2.4-2 にパーソナルモビリティの利用用途と速度および移動距離の関係を図示し、この上に我々が目指すパーソナルモビリティ像をマッピングしてみた（楕円領域）。

図の縦軸はスピードを表し、横軸は移動距離を表す。第 1 象限は、スポーツ用途に適した領域である。この領域の期待仕様は、動きやすい姿勢で乗ることができて、機動性があり、熟練により上級ユーザへの道が開けることなどがあげられる。第 2 象限は、中／近距離移動通勤ターにに適した領域である。この領域の期待仕様は、長く乗っていても疲れない姿勢で乗ることができて、天候に依存することなく利用でき、操作性の良さなどがあげられる。第 3 象限にマッピングすべき乗物が見当たらない為省略する。第 4 象限は、高齢者支援に適した領域である。この領域の期待仕様は、歩く程度の速度でもよいが、高齢者の足代わりとして、階段や段差の乗り越えが可能で、持ち運び易く、簡単操作で安全性が高いことなどがあげられる。

図 3.2.4-3 に、パーソナルモビリティの姿勢と自由度を示す。目指すパーソナルモビリティの期待仕様は、図の中央近辺（バランスが良く、上半身が自由）になる。

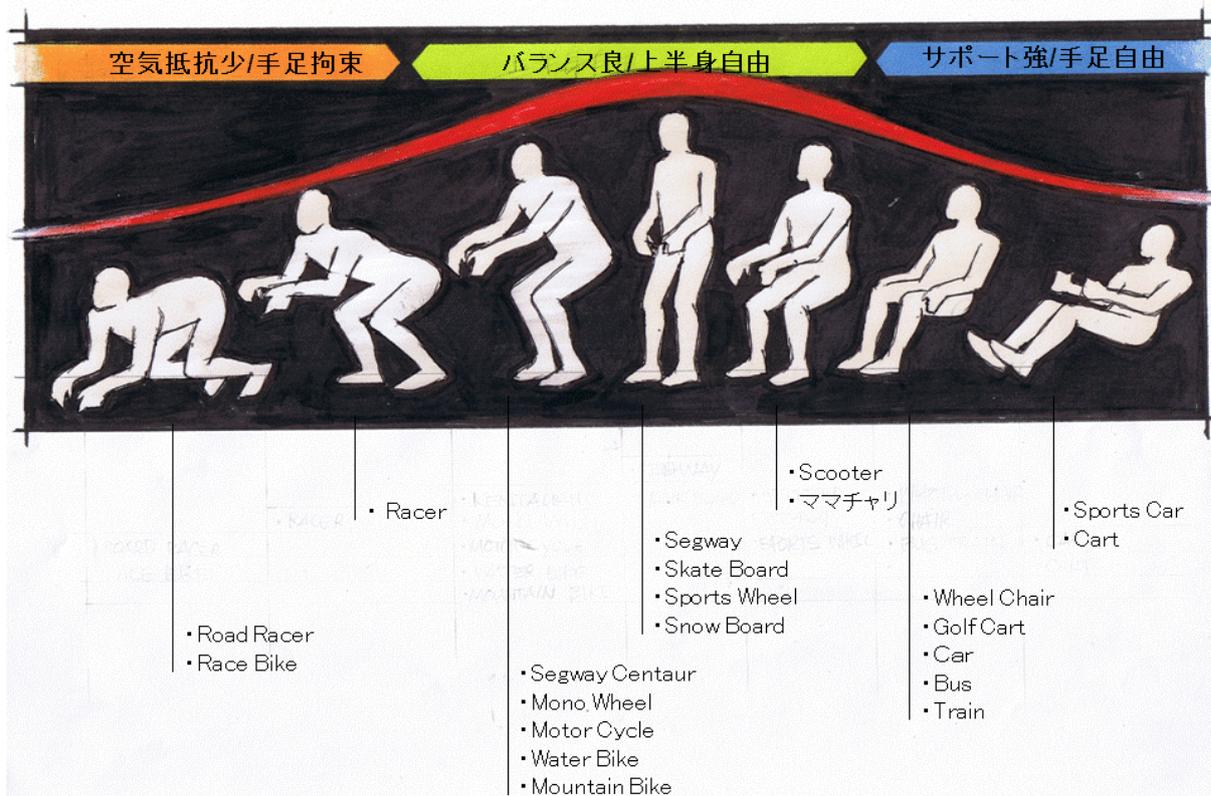


図 3.2.4-3 パーソナルモビリティの姿勢と自由度

社会文化への波及効果の観点では、この乗物が世に出て普及していくにつれて、新しいライフスタイルが派生する「ものごと作り」を目指す。そして、普及戦略としてアップル社の iPod に学ぶ。競合メーカーのソニーのウォークマンは、ハードウェア面で勝っていたが、iTunes Store 等のサービスを利用して視聴する社会文化を構築するところで負けている。すなわち、「モノ作り」では勝ち、「ものごと作り」で負けたと見ることができる。これが、日本の現状のような気がする。

再びパーソナルモビリティに目を転じてみると、これまでなら、知能化技術を実装し、最先端の技術でハードウェアを完成させた後、ビジネスモデルやサービスモデルを考えるというプロセスとなる。これでは後手に回ることになるのではないか。

普及実現の為には、短期、中期、長期のマイルストーンを置いて、実現可能な所から段階的に攻めていくプロセスをとるべきである。

我々が目指すハードウェア仕様の概略は、最高速度 20km/h、重量 20kg 未満で持ち運び可能、4 輪駆動、色々な知能系を実装、さらに乗った時の目の高さは歩行者と同じとなる。しかし、この仕様の実現には、法規制のハードルがある。法規制のハードルを越えるには時間がかかる。

そこで、短期ゴールと中期ゴールは、現行の法規制の中でやれるところからやる。例えば、最高速度については、6km/h からスタートして、認知されてきたら 20km/h へ進化させる。

まず、短期ゴールでは、早期製品化とユーザ認知度の向上を目指す。認知度を上げてユーザを確保するのである。例えば大阪特区における Park & Ride のようなサービスの実証試験等々の取り組みが重要となる。この段階では、若者やアクティブシニアが乗りたくなるような乗物を形にする。

次に、中期ゴールでは、知能化技術を実装したフラグシップモデルを頂点とする製品ラインナップで市場形成を目指す。知能化技術の例としては、人やモノにぶつかりそうな時にアラートを出し緊急停止する機能安全技術の他、例えば、遠隔医療ネットのような街のインフラと連動したサービスを行う為の技術がある。

そして、長期ゴールでは、パーソナルモビリティ関連法規の改正による交通システムと社会システムの改革を目指す。この段階では、認知度が上がり、世論の後押しも期待でき、安全性を説明するエビデンスが整い、法律を所轄する関係府省との協力関係をつくれると思われる。

最後に、内閣府の調査データでは、高齢者の 72% くらいが健康に不安を持ち、そのうち 58% くらいがそれゆえ一人で外出できないと答えている。高齢者が安心して外出できるように遠隔医療のサービスと連動し、外出中に具合が悪くなったら助けに来てくれるようなサービスが必要ではないかと考えている。

(執筆担当：古田貴之)

3.2.5 エコロジー技術

3.2.5.1 エコロジーRT（グリーンRT&メカトロニクス技術）

ウィキペディアによれば、エコロジーは以下のように表現されている。

エコロジーは、狭義には生物学の一分野としての生態学のことを指すが、広義には生態学的な知見を反映しようとする文化的・社会的・経済的な思想や活動の一部または全部を指す言葉として使われる。後者は英語の **Ecology movement** や **Political ecology** などに相当する（中略）。後者の内容は、「環境に配慮していそう」なファッションなどから、「地球に優しい」と称する最先端技術や企業活動、市民活動、自然保護運動、「自然に帰れ」という現代文明否定論まで、きわめて広範囲にわたる。

すなわち、エコロジーに係わる RT も広範にわたり、また、見方によれば、すべての RT がエコロジーに係わることになる。ここでは、これからの社会を維持可能とする観点、および、産業競争力の維持強化に強く関連する分野に着目する。その要となるのが自立したエネルギーシステムと省エネルギーと考えられる。したがって、エコロジーRT 技術を、RT が基幹となる省エネルギー技術と環境を保全しながら自立したエネルギーシステムを構築する技術に焦点化する。その意味では、エコロジーRT と従来の RT は異なるものではなく、その活用の視点が、省エネルギーシステムに向けられたものと言える。以下では、RT が省エネルギー化や自立したエネルギーシステムの基幹となることによって、これまでと違った画期的省エネルギー化が実現できるような、RT の活用技術を俯瞰する。

3.2.5.2 産業競争力確保と省エネルギー

① 産業競争力確保の課題

近年、省エネルギー技術は、産業競争力確保のもっとも重要な分野の一つとなっている。そのために、省エネルギーに関する多くの研究が推進されており、その成果も著しいものがある。一方で、ロボットや RT と省エネルギーの関係は希薄である。その要因は、省エネルギー研究が機器レベルの省エネルギー化（高効率化）にあり、システム全体としての効率化に至っていないことにある。また、RT システム設計者の関心が、省エネルギー分野に向いていなかったことによる。しかし、機器単体のみでの取り組みでは、憂慮すべき課題の顕在化を解決できていない実情もある。

② ものづくりは部品づくりか

図 3.2.5-1 は、iPad の製造分担の概略を示したものである。iPad は米国で商品概念作りとシステム設計がなされ、ハードウェアの全製造が中国で行われている。しかし、その部品の 30%は日本製だと言われている。このような、製造形態を見て、iPad を支えているのは日本の最先端技術であり、ものづくり技術は安泰であるとの見方があり、マスコミ等で紹介されている。しかし、一方で、日本は部品しか作れないとの危機感を持つべきとの考えもある。

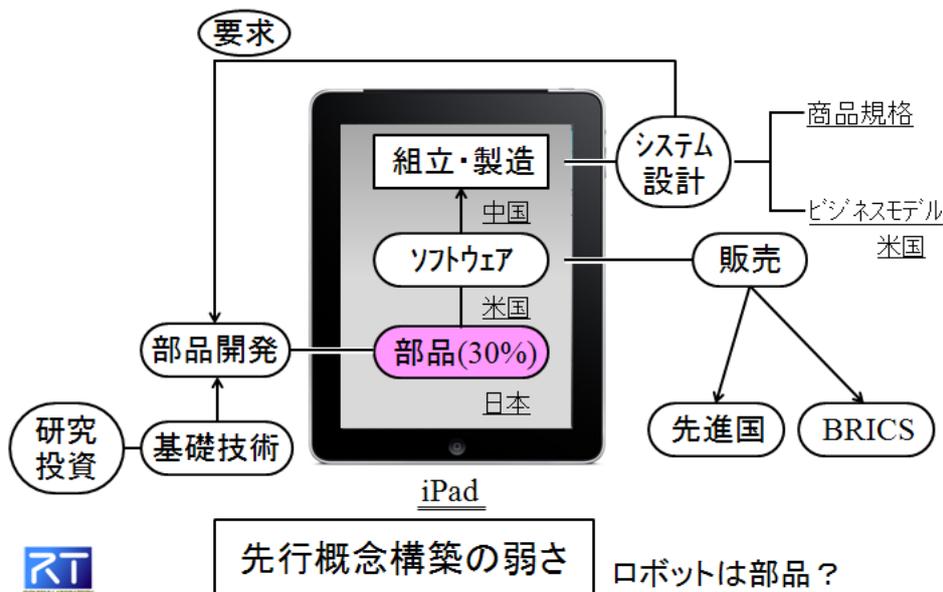


図 3.2.5-1 iPad の製造形態

iPad と対照的なのが自動車産業である。自動車産業は、製品概念を導入したとはいえ、車の国産化を目指した企業が、日本の車産業を牽引してきた。そして、より良い車をより安く作るために、多くの日本の部品企業が切磋琢磨して(図 3.2.5-2)、一瞬ではあったが、世界最大の車産業を作りあげてきた。近年は大消費地の変遷から、組立工場の国外シフトが起こっているが、部品産業は、未だ、顕在とも言われている。

本例で注目すべきは、部品は組立産業からの要求から始まるが、前者においては、国内における電卓戦争、マイコン競争、PC 競争等を背景にした研究開発投資を抜きに語ることはできない。後者は、日本の自動車産業が後発であったが故に、国内産業が国内部品産業を育てたという側面がある。いずれにしても、ものづくりの産業の競争力の原点は、システム構築産業のニーズであることを忘れてはならない。したがって、研究開発投資においても、この観点を踏みはずさないことが肝要である。

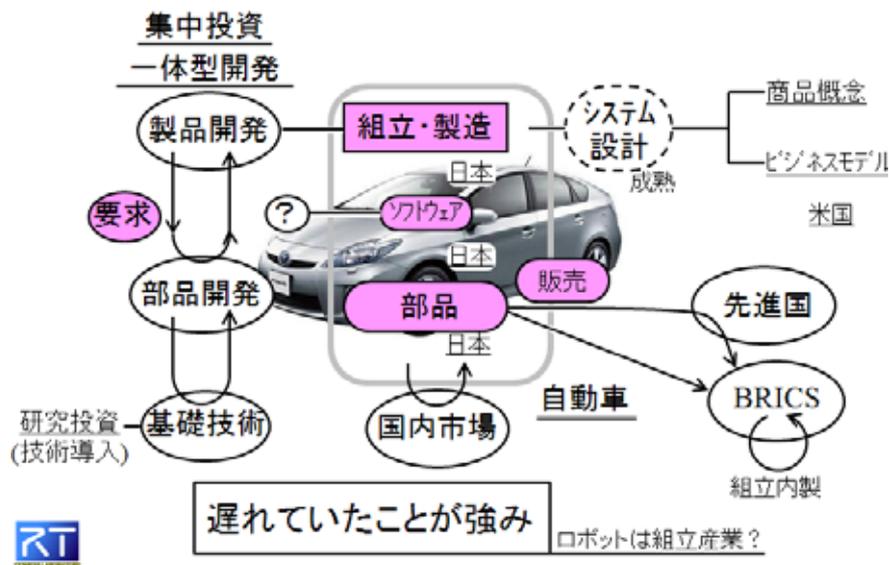


図 3.2.5-2 自動車産業の製造形態

③ 次世代のものづくり

上記に、2つの代表的なものづくり産業の形態、すなわち、

- ・ 部品深化型（既存技術の転用）
- ・ 既存システム深化型（必要技術の底上げ・進化）

を例示した。残念ながら、日本では機械システムのみで戦ってきた産業はほとんどないと言って良い。したがって、日本産業競争力を維持するためには、機械システム産業やその組立産業が一体となったものづくりの方法を継続していかざるを得ないと言える。そして、言い古されたことではあるが、今後は、国内産業が一体となった

- ・ 新概念システム先行型（新しい概念の機械・機械システム創出）

による産業競争力の確保が重要といえる。この新概念システムが、なかなか顕在化しないことが問題であるが、幸い、省エネルギー分野については、機械システム産業の黎明期にあり、新しい概念の機械の登場が期待されている（図 3.2.5-3）。

一方、グローバル化の時代に、国内産業のみを意識する必要はないという意見もある。しかし、新しい概念の機械システムを世界に普及させるには、日本の国内で実証・改善する方法は捨てがたい方法である。特に、

- ・ 日本が先行する少子・超高齢化社会
- ・ 超省エネルギー化社会

は、今のところ世界に大きな市場があるとは言えない。しかし、早ければ5年、遅くても15年後には、中国を筆頭に巨大市場が出現すると予測できる。特に、本質的省エネルギー化は、経済的にも有利であり、大きな投資に値すると判断できる。インドでは、経済の発展で、農業所得の増加、農村人口の減少と人件費の上昇から、田植え機の商品すらなかった農村に巨大市場が立ち上がりつつあるといわれている。この状況は、まさに、高度成長時代に、日本が経験したことである。高度成長は、当時、日本の特殊事情であり、田植え機の市場も日本のみのものであった。重要なのは、田植え機が日本のユーザの厳しい要求

に 대응するべく、その後、30 数年にわたって改良が実施された結果、インドの過酷な水田でも信頼性高く機能するレベルに至ったことであろう。

超省エネルギー化も、人口減少の中、世界一厳しい要求をクリアしていく必要があり、新概念の機械システム構築とその実現のための部品を磨くことは、近未来の世界的人口減少社会に適合した機械システム市場を享受できる有効な手段と考えられる。

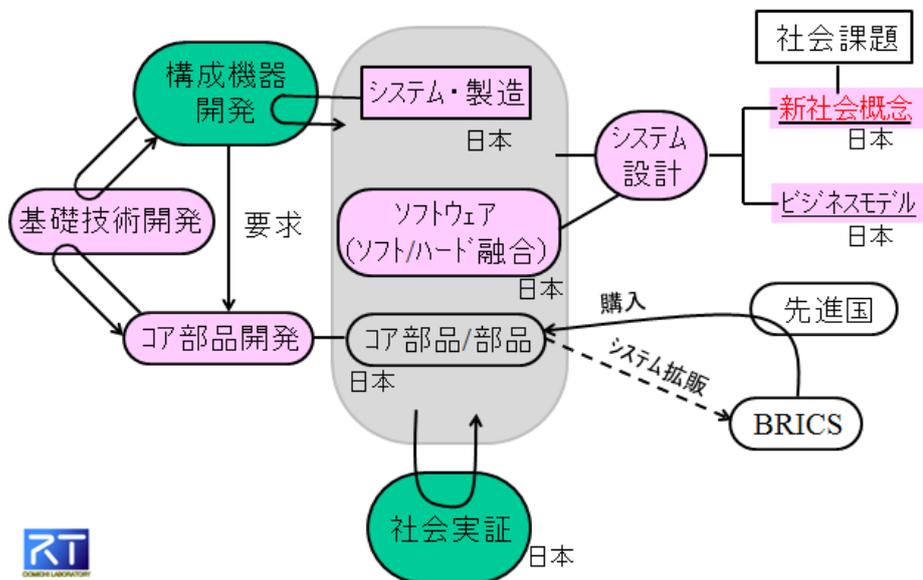


図 3.2.5-3 新概念機械システムの製造モデル

3.2.5.3 グリーンRT・メカトロニクス

(a) 技術の焦点化

環境保全問題は緊急性を有する全地球的課題であり、様々な研究が実施されている。しかし、開発に時間を要するもの、適用コストが障害になるもの、効果が薄い等、未だ実用に長い時間を要するものが多い。また、これらの取り組みは、機器や材料開発と言った要素個別の取り組みであり、省エネルギーをシステムとして取り上げた研究はほとんどなされていない。この要因は省エネルギー化システムの体系性と具体的実現手法が示されていないことにある。また、リアルタイム挙動下での省エネルギーについての研究に興味を示されておらず、産業界で取り組むにはリスクが大きいことに起因している。RT・メカトロニクス技術は、このシステム化技術やリアルタイム制御技術を根幹とするものであり、この未踏分野に大きく寄与できると考えられる。したがって、省エネルギー化システムの学問体系と具体的システムを例題的に明示し、従来分野にない画期的なエネルギー消費低減策を示していくことが求められている(図 3.2.5-4)。

以下に、グリーン RT・メカトロニクスとその適用概念を示す。

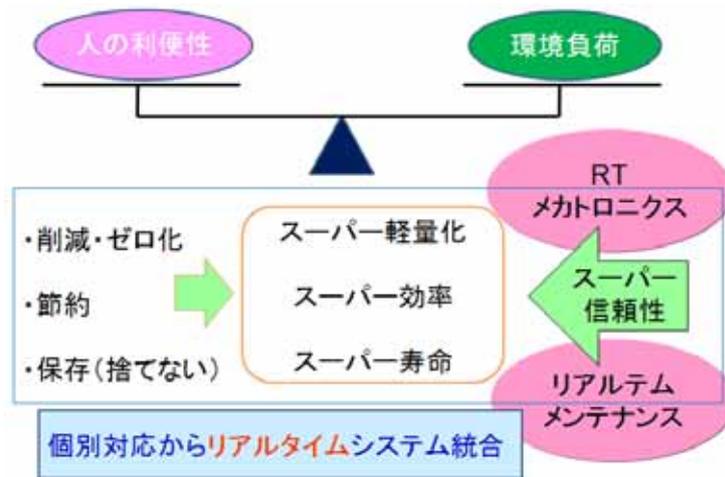


図 3.2.5-4 省エネルギー手法の分類

(b) 技術の定義と応用

① グリーン RT・メカトロニクス：

グリーン RT・メカトロニクスでは、新しいシステムとリアルタイムな最適運用制御によって、消費エネルギーの画期的低減を目指す。要点は以下の 4 点である。

- +革新的省エネルギーを可能とする新しいシステムを構築する。
- +最小エネルギーでシステムを運転するリアルタイム省エネルギー化制御を行う。
- +構築システムの運用を最適化する新概念の機械システムを開発する。
- +必要な要素技術開発するが、既存要素技術の深化活用を重要視する。

このアプローチ手法をグリーン RT・メカトロニクスと定義する。また、グリーン RT・メカトロニクスでは、省エネルギー化手法を図 3.2.5-4 のように整理分類し、システム全体としてのエネルギー消費低減化達成手法を明確化する。

特に、省エネルギー化のための速度、加速度制御は未踏分野でありグリーン RT・メカトロニクスの重要視点である。

以下、グリーン RT・メカトロニクスの適用例を紹介する。

② エネルギー削減：

超軽量化とその派生課題の材料強度分野と RT・メカトロニクス技術の連携による解決、および、新構造機械の開発（しなるアームロボット等）。

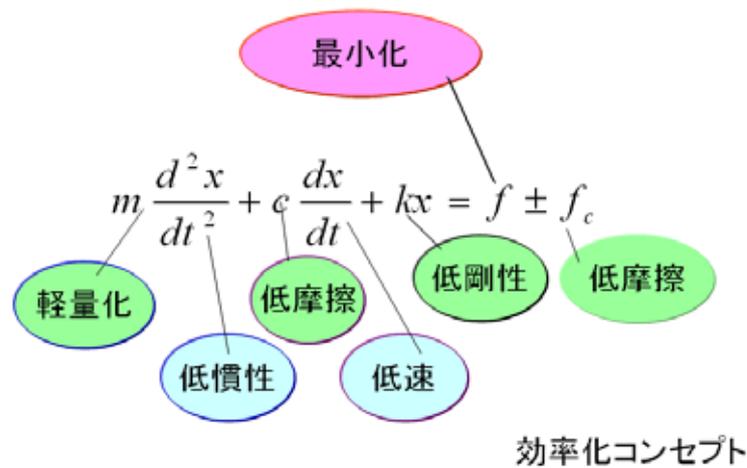


図 3.2.5-5 エネルギー消費のパラメータ

機械におけるエネルギー消費は力（トルク）の大きさを表現できる。図 3.2.5-5 に示すニュートンの運動方程式において、運動部材の質量（慣性モーメント）、粘性、変形、摩擦が大きいかほどエネルギー消費は大きくなる。これまでも軽量化（質量低減）や小型化（慣性モーメント低減）は、有用なエネルギー削減手段として積極的にとりくまれてきた。しかし、さらなる軽量化は構造部材剛性の低下から、振動の発生を伴い大幅な信頼性の劣化をもたらす。また、多くの取り組みがあるものの高周波で変形する部材の制御は実現できていない。そこで、高周波振動成分を機械的に吸収する部材を開発し、低周波振動は制御的に減衰させる。あわせて、対象物を超高速で目視する制御手法等を導入することが有効と考えられる。

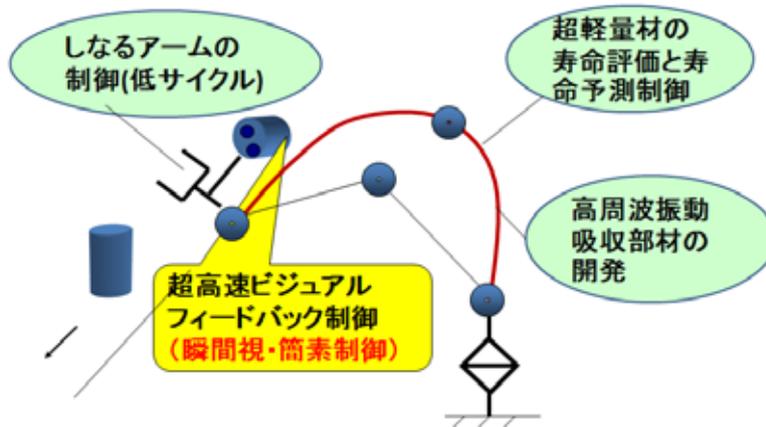


図 3.2.5-6 超軽量化部材の信頼性確保手法

しかしながら、多くの減衰材は複合材料化されており、その強度評価は確立されていない。また、しなる構造体への超高速運動目視制御は実現されていない。グリーン RT・メカトロニクスでは、まず、既研究における材料のマイクロ挙動解析や寿命評価手法を高度化する。同時に部材に作用する力をリアルタイムに検知し、部材の破壊時期を推定した運転を行うことで、超軽量部材の高い信頼性を確保する手法を導入する。また、しなる部材をロボット等の運動部材にも活用可能とするために、超高速カメラを用

いた目視制御（超高速ビジュアルフィードバック制御）手法を確立し、導入される超軽量部材の実用性を加速する。

③ エネルギー節約：

熱、流体工学分野とメカトロニクス技術を駆使したリアルタイムな効率向上システム、および、新概念機械システムの開発（自立型マイクロ内燃発電システム、省エネ屋外走行ロボット等）

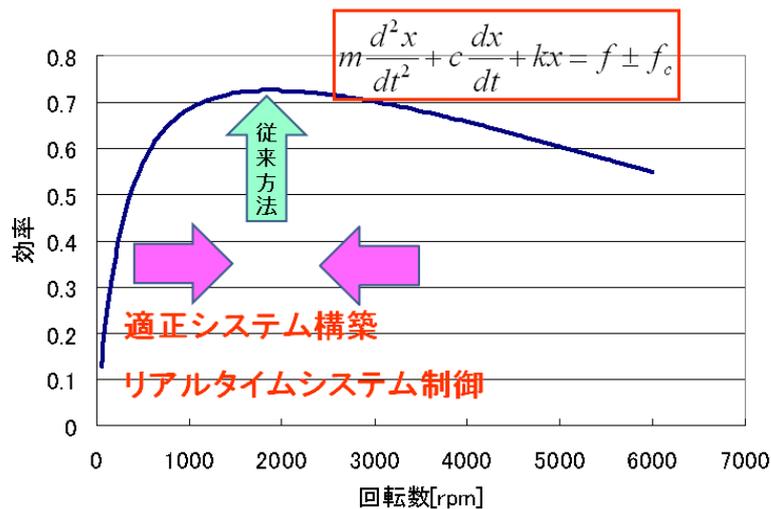


図 3.2.5-7 最大効率点運転制御の概念

図 3.2.5-7 に示すように、従来の効率化は着目する固定運転点の効率化にあった。しかし、大半の機械は停止時で効率がゼロとなり、ある点における効率を高くしても、運転領域が低速領域に偏るとシステム全体では省エネルギー化を行うことができない。グリーン RT・メカトロニクスでは、要求負荷の如何によらず運転領域を最大効率領域に近くなるように制御可能なシステム構築と、リアルタイム運転方法を考える。

このような手法は、広く活用可能であるが、本例では、手法の有効性を明確化するために、自立型マイクロ内燃発電システム、および、移動ロボットの省エネルギーシステム開発を通じてグリーン RT・メカトロニクス有効性を紹介する。

(a) 自立型マイクロ発電システム

これまでの家庭用発電システムとして、太陽光発電や燃料電池とコジェレーションシステム等が開発されているが、その最適運用については未着手の状況にある。特に、家庭での運用条件の違い（場所、季節変動、1日の時間変動、熱と電気の使用割合等）に対する最適制御についてはほとんど考慮されていない。グリーン RT・メカトロニクスでは、エネルギー消費に応じた省エネルギーシステムの構築（図 3.2.5-8）と、制御手法を考える。その要点は、以下とそれを統合するそのシステム制御手法である。

- ・ 燃焼効率を最大化するガス内燃機関エンジン（最大効率点運転、カセット交換式）
- ・ 短時間蓄電システム（3時間程度）と最適運転制御

- ・あらゆる負荷に対応できる高効率蓄放電システム
- ・夏場の冷房用マイクロ太陽光発電システム

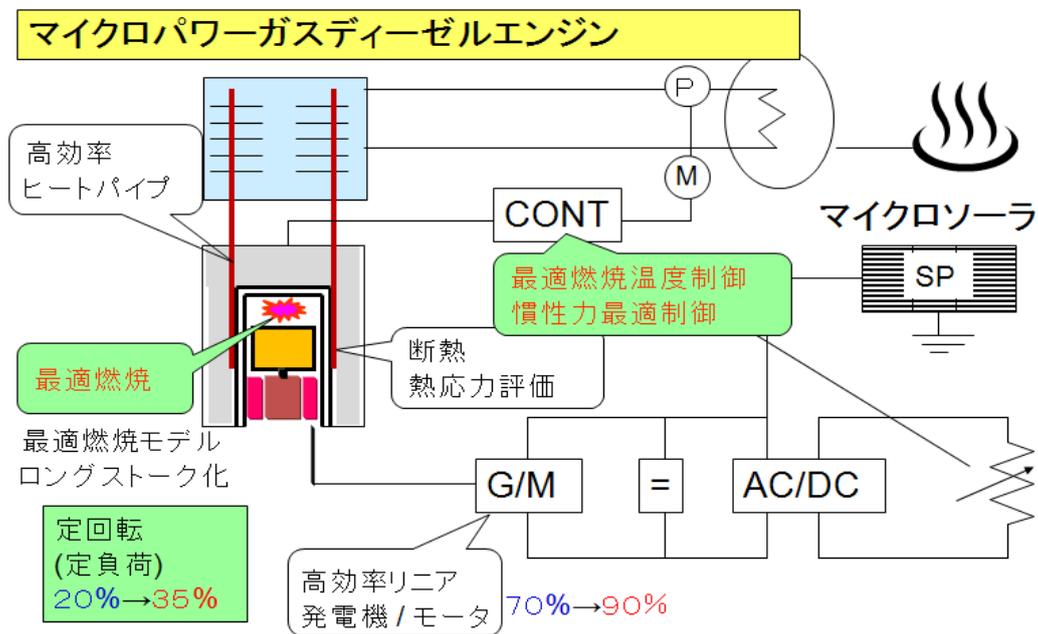


図 3.2.5-8 自立型超小型マイクロ発電システム概念

(b) 移動ロボットの省エネルギー走行システム

移動ロボットの電池寿命を延長するためには、走行状況に応じたリアルタイムな走行方法が必要である。本研究では、移動に必要な様々な運動（加減速、姿勢変更、登り下り、負荷等）に応じた、エネルギー最小走行方法と制御方法を考える。その要点は、

- ・急負荷変動の緩和と高効率蓄放電（キャパシタと電池の有効活用、高効率充放電）
- ・回転数に依存しにくいモータの導入
- ・並進と回転移動の最適化（全方位置動機構の最適制御）。図 3.2.5-9
- ・回生を想定した加速と減速（スリップのない走行、メカブレーキレスモータ発電機）。

図 3.2.5-10

等である。当然ながら、本手法はロボットだけでなく、フォークリフトなどの機械や電気自動車にも広く応用可能である。

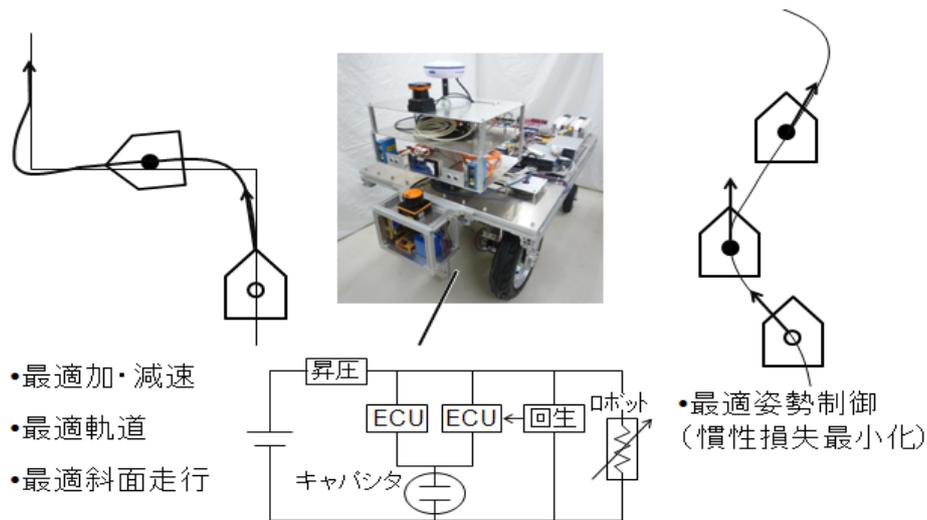


図 3.2.5-9 移動ロボットの省エネルギー運転

$$\eta = 1 - \frac{1}{1 + \frac{K_v \omega}{iR_m}}$$

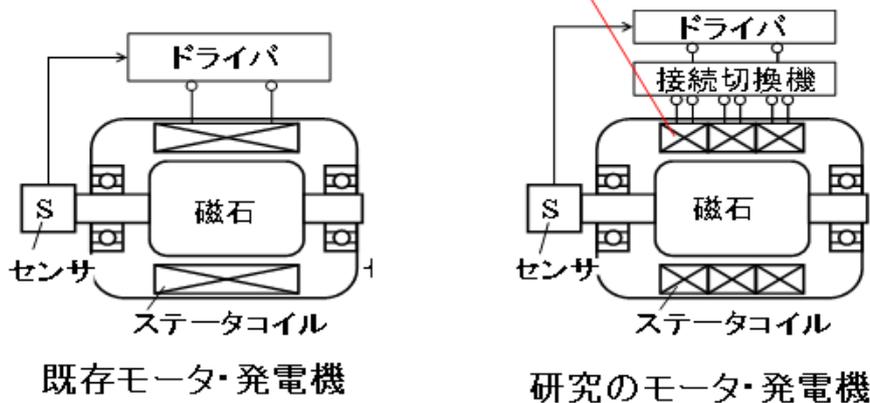


図 3.2.5-10 回転数非依存効率のモータ

④ エネルギー保存：RT・メカトロニクス技術を駆使した運転保全と長寿命化

エネルギー保存は、機械や設備製作設置に要したエネルギーを有効に使いきることで、すなわち、機械の長寿命化ととらえられる。これまで、設備の保全は実施されてきているが、そのほとんどは人手によるものである。その理由は、これまでの機械が生産効率優先であり、長寿命化のための仕組みを設計時に組み込まれていないことによる。したがって、保全のための機械内部情報を知ることができず、壊れて後の処置とならざるを得ない。グリーン RT・メカトロニクスでは、エネルギー削減と節約のため機械内部情報を有効活用することに着目する。

また、センサー情報の知的処理による保全の自動化は長年取り組まれているが、必ずしも成功しているとは言えない。その原因は、人の五感能力をセンサー化しようとしたことにあると考えられる、グリーン RT・メカトロニクスでは、機械の内部情報と人の感性およ

び行動性（人間工学的知見）を統合したリアルタイム保全システム構築手法をめざす。

3.2.5.4 グリーンRTは絶対条件へ

上記のように、グリーン RT・メカトロニクスによれば、エネルギーの削減、節約、保存をシステム全体で実施する。この方法の導入は、新たなシステムを導入することのようにみえるが、これからの機械システムが、省エネルギー化なくして生き残っていくことはできないことを考えると、グリーン RT・メカトロニクスの導入は必須のものと言える。すなわち、グリーンイノベーション RT は、これからの機械を支える不可欠な技術となると判断される。

3.2.5.5 グリーンRT・メカトロニクスのプロジェクト提案

① プロジェクトの意義

省エネルギーに対するこれまでの取り組みは、機器や材料開発と言った要素個別の取り組みであり、省エネルギーをシステムとして取り上げた研究はほとんどなされていない。この要因は省エネルギー化システムの体系性と具体的実現手法が示されていないこと、また、リアルタイム挙動下での省エネルギーについての研究に興味を示されておらず、産業界で取り組むにはリスクが大きいことに起因している。したがって、国がエネルギー消費低減化システムの技術体系と具体的システム構築法を明示し、従来分野にない画期的なエネルギー消費低減策を明示することで、省エネルギー手法の新分野を開拓する。

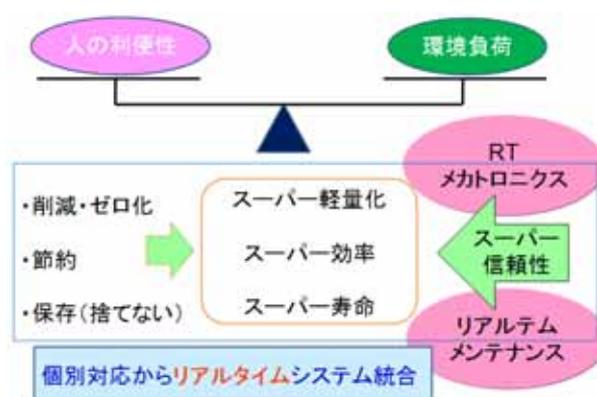


図 3.2.5-11 グリーン RT・メカトロニクスの概念

② 技術の定義と応用

グリーン RT・メカトロニクスでは、RT を基本とした新しいシステムとリアルタイムな最適運用制御によって、消費エネルギーの画期的低減を目指す。要点は以下の 4 点である。

- +革新的省エネルギーを可能とする新しいシステム。
- +最小エネルギーでシステムを運転するリアルタイム省エネルギー化制御手法。
- +構築システムの運用を最適化する新概念の機械システム。

+ 必要な要素技術を開発するが、既存要素技術の深化活用を重要視する。

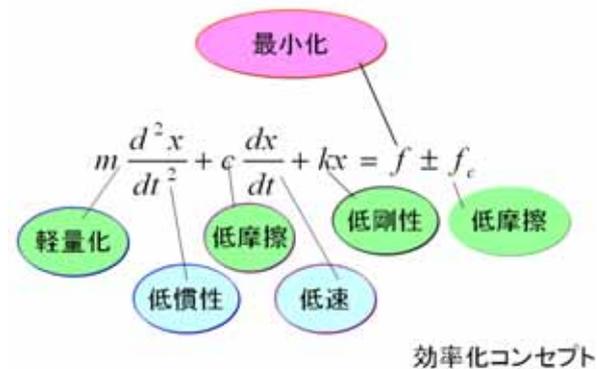


図 3.2.5-12 エネルギー消費のパラメータ

③ プロジェクト実施内容

プロジェクトでは、2 項の指針に基づいたシステム開発を実施し、その有効性を例証する。提案条件は以下とする（公募提案）。

3.2.5.6 例証プロジェクトテーマの構成要件

- + 画期的省エネルギー化を達成すること（現状比 50%以上の省エネルギー化等）
- + RT を根幹技術として活用していること
- + 産業化への道筋が明確なこと

可能ならば、以下の条件を含むことが望ましい。

- + 新しい省エネルギーシステムの概念提示
- + システム最適化のための新しい機器（ロボットを含む）の開発

3.2.5.7 例証課題のイメージ（本文参照）

① エネルギー削減・ゼロ化

- + ハイパー軽量ロボット（本文参照）
- + ハイパー軽量移動ロボット

② エネルギーの節約

- + 自立型超小型マイクロ発電システム（本文参照）
- + 省エネルギー移動ロボット（本文参照）
- + 人・ロボット共用電気自動車の省エネルギー運転システム
- + ハイパー省エネルギー建設機械と運転制御手法
 - 水圧駆動、ハイブリッド、負荷予測運転等
- + 回転数非依存型発電機システム（本文参照）

+エネルギー自立型作物搬送システム

③ エネルギー保存（長寿命化）

+寿命管理・予測システム

電気自動車、建設機械、搬送機械

3.2.5.8 少子高齢化社会の持続可能なシステムの構築と社会実験

グリーン RT・メカトロニクス PJ は、技術分野の明示化によって、画期的省エネルギー化システムを加速的に誘発するという意味では、単独開発の立場もあるが、社会実験と並行することで、効果が重畳すると判断できる。その 1 例として、少子高齢化時代の社会構造の代表である、限界集落での社会実験の中に位置づけた構想を記述する。

① 何故限界集落なのか

(a) 未来問題の縮図

限界集落は、人口の 50%が 65 歳を超えた地域の総称であり、地方の過疎地域を想像するが、決してそうではなく、地域を限れば、既に大都会にも存在している。すなわち、日本の近未来を先行的に暗示している地域であり、どこにでも起こり得る問題を顕在化した代表的社会とも言える。したがって、

・限界集落的社会において、安心・安全で快適な“持続可能な社会”

を実現できれば、日本の近未来課題の多くを解決できる手法を提示できるはずで、限界集落から手を付けることは、きわめて効果的アプローチと言える。

② 世界的ビジネスモデルの源泉

図 3.2.5-13 は、日本で開発さら、長い間改良された機械が、途上国に展開されていくモデルを示したものである。すなわち、途上国の経済発展の形態が過去の日本と類似となった時、日本製の高品質機械の市場が途上国で形成されることを指名している。この歴史の成功例を教訓とすれば、以下の産業化プロセスを踏むことが有効である。

+日本で発信

+日本で検証

+日本で深化・機能向上 (Made in Japan ブランド化)

+繰り返す歴史の中でのビジネス

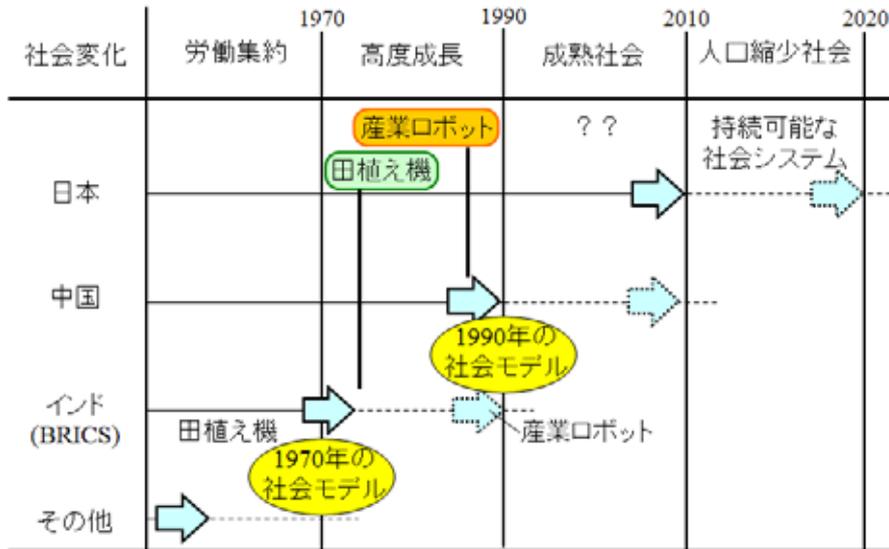


図 3.2.5-13 50年サイクルビジネスモデル

③ 基本指針

(a) 社会システム

具備される社会システムとして以下を設定する。

+ 持続可能な社会システムを構築する

+ 安心・安全・快適性を維持する

病院、福祉施設、ショッピングの統合システム化等

+ 経済的に自立できるシステム、機器である

- ・ 従来の延長戦での集落維持コストは、社会負担
- ・ 生活コストの低減と生産性向上による実質収入増

+ エネルギーの地域内での自立を可能とする

+ 地域内の物流の自立を可能とする

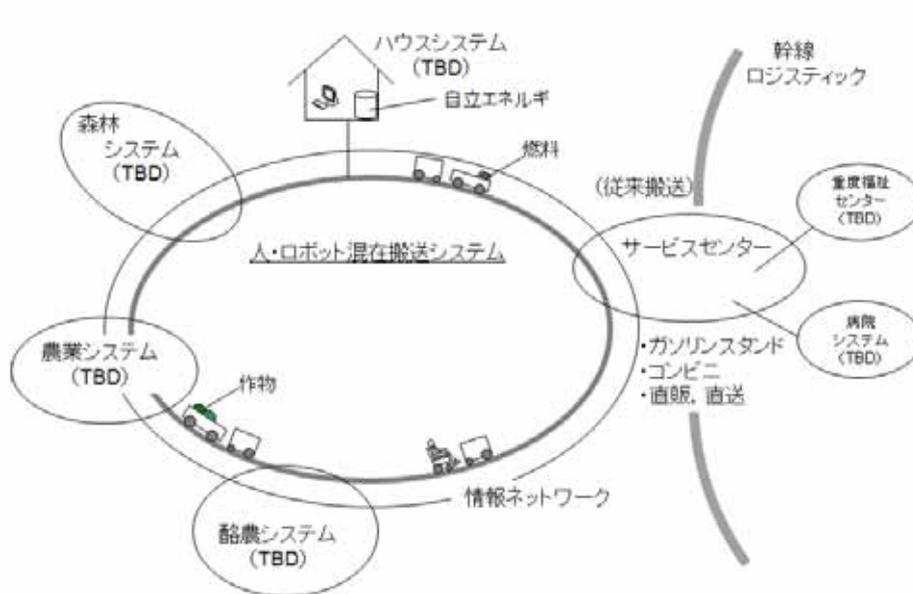


図 3.2.5-14 持続可能な自立した超少子高齢化社会システムイメージ

(b) 技術

- +上記を実現する体系的システムの構築
- +システム最適化を可能とするための、構成機器の開発
- +構成要素に不透明な要素技術を含まないシステム構成.
- +既存の RT・メカトロニクス技術を深化させる.
- +実生活を支援しながら逐次的改良が可能である.

④ 限界集落のライフ&グリーンイノベーション

グリーン RT・メカトロニクスは、時間とともに高度化していく社会の社会実験を構築可能である。

(a) システムの開発

(b) 安心・安全システム

(c) エネルギーシステム

- +地域内マイクロスマートグリッド
- +家庭内マイクロスマートグリッド
 - ・自立型超小型マイクロ発電システム (本文参照)
 - ・回転数非依存型発電システム (本文参照)

(d) 人・ロボット混在の自立物流システム

- +人・ロボット共用電気自動車の省エネルギー運転システム
- +ハイパー軽量移動ロボット

(e) 集落コアシステム

- +病院システム
- +福祉システム
 - ・ハイパー軽量ロボット (本文参照)
- +地域購買・搬送センター
- +森林システム
 - ・ハイパー省エネルギー建設機械と運転制御手法
- +農業システム
 - ・エネルギー自立型作物搬送システム (収穫物の応用等)

+その他

(執筆担当：大道武生)

3.2.6 マイクロ・ナノロボット関連技術

3.2.6.1 それぞれの分野における社会要請

・マイクロ・ナノデバイス技術は、ロボットのセンサ、アクチュエータなどにおいて重要な要素技術として利用・研究開発が進んでおり、マイクロ・ナノメカトロニクス技術として発展している（図 3.2.6-1）。

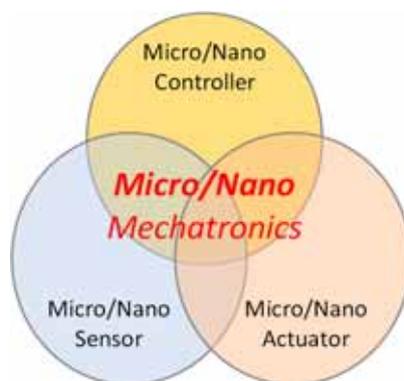


図 3.2.6-1 マイクロ・ナノメカトロニクス

・マイクロ・ナノデバイスを用いることにより、低コスト化・省エネルギー化・高機能化・多機能化・高集積化を図ることができるため、このような MEMS/NEMS (Micro/Nano-Electro-Mechanical-System) は、ロボットをはじめとして生活に密着した様々な用途に対して用いられている。したがって、図 3.2.6-2 に示すように、ライフ&グリーンイノベーションに多大な貢献をしており、例えば、ライフイノベーション関係(表 3.2.6-1)では、天然資源利用、環境汚染除去、エネルギー開発、食品・農業分野、グリーンイノベーション関係(表 3.2.6-2)では、生命医療、バイオ解析・創製分野といったように、幅広い分野でのイノベーションが期待されている。

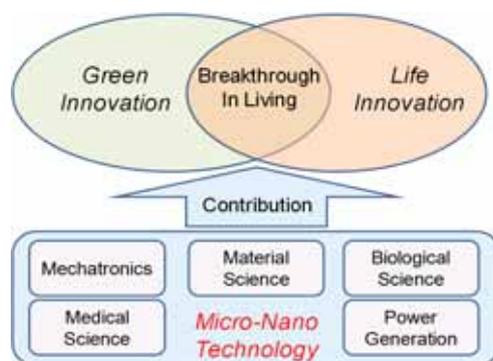


図 3.2.6-2 マイクロ・ナノ技術によるライフ&グリーンイノベーションへの貢献

表 3.2.6-1 グリーンイノベーションの分野と課題

Green innovation	Technological Challenges
Natural Resources	Micro/nano devices for Discovery of oil resource, Management of water resources, Prevention of forest destruction, etc.
Environmental Pollution	Monitor, control and management of Environment, Distributed sensing & control, Pollution control, Green vehicle, etc.
Energy Development	Energy saving, harvesting and alternatives , Energy grid and management, Power control and green electronics, etc.
Food and Agriculture	Safety, testing and tracing, Efficient harvesting, nutritious products, genetically-modified products, etc.

表 3.2.6-2 グリーンイノベーションの分野と課題

Life innovation	Technological Challenges
Medicine for life	Inspection and diagnosis , Re-generative medicine, Gene therapy and life science, monitoring diseases, Neuro Science, In-situ diagnostics, Cell diagnosis and surgery, New drug and medicine, DDS, Minimally invasive surgery, Rehabilitation, Techno-care, Wearable robots, Cyborg, QoL, etc.
Biology – Analysis and Synthesis	Sensing , manipulation and automation, New species, DNA diagnosis & manipulation, Cell screening, transport, cultivation, and function and differentiation control, Artificial cell, Life in chip, Cloning of stem cells, etc.

・現在、マイクロ・ナノロボティクスは、生命科学・医学をはじめとした多様な分野と工学分野の分野融合化の先駆けとして、新しい学術領域の開拓が進展している。このためにロボティクス工が多大な貢献をしている。したがって、マイクロ・ナノロボティクスは、「日本の展望」提言にあるように、知の統合を推進し、従来領域型分野を横断的に切り開く新しい科学・技術の発展にさらなる寄与が期待されている。

3.2.6.2 どういうサービスで要請に応えるのか

(上記の要請を受けたサービスの具体的内容あるいはサービスイメージ)

・マイクロ・ナノデバイス技術 1

従来研究 (上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題)

MEMS/NEMS は、シリコン材料をはじめとしたリソグラフィー技術 (トップダウン技術) の進展に伴って発展してきており、現在も更なる改良の基、微細化・高精度化・高集積化が進んでいる。

研究/技術課題 (これから研究したり、解決しなければならない課題)

近年は、自己組織化技術 (ボトムアップ技術) に作製されたマイクロ・ナノ構造物、例えばフラーレンやカーボンナノチューブなど、を直接利用した新しいマイクロ・ナノデバイスの研究・開発が進められている。したがって、トップダウン技術・ボトムアップ技術の融合化に向けた研究開発が重要となる。

・マイクロ・ナノデバイス技術 2

従来研究 (上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題)

マイクロ・ナノスケールの微小なロボットを実現し、バイオ・医療分野などへの応用を目指した研究・開発が期待されている。現在では、例えば医療応用に関して、エンドスコープやカテーテルなどの分野において、マイクロ・ナノデバイス技術に基づいた小型化・高機能化・多機能化が進められている。

研究/技術課題 (これから研究したり、解決しなければならない課題)

例えば、人工細胞モデルと呼ばれるように、リポソームと呼ばれる脂質 2 分子膜とタンパク質などから構成される小胞内で、細胞を模した生体反応が観察されており、将来的には細胞と同等の機能を発揮することが期待されており、マイクロ・ナノスケールのロボットとして機能する可能性がある。

・マイクロ・ナノスケールの微小なロボット 1

従来研究 (上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題)

細胞やバクテリアなどのマイクロ・ナノスケールの微小な生物を直接デバイスとして利用することにより、マイクロ・ナノスケールの微小な物体を制御したり、センサデバイスを作製するなどの新たな試みがなされている。

研究/技術課題 (これから研究したり、解決しなければならない課題)

例えば、バクテリアや心筋細胞などを用いてマイクロ構造物を駆動させるなどの、新たな研究・開発が進められている。生物を直接利用することにより、高エネルギー効率化、耐環境性、デバイス全体のコンパクト化など様々な発展が期待されている。

・マイクロ・ナノスケールの微小なロボット 2

従来研究 (上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題)

マイクロ・ナノアクチュエータ技術及びマイクロ・ナノセンサ技術を統合化し、システムとして利用するための要素技術の開発が進んでいる。例えば、多層カーボンナノチューブの層構造を直接的に利用したテレスコピングナノチューブによるナノリニアスライダやナノアクチュエータなどの試作・研究開発が活発に行われている。

研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

マイクロ・ナノデバイスの構造のうち、ある一部のみを微細化するのではなく、例えば制御装置など、全体としての小型化・パッケージ化が課題である。このため、マイクロ・ナノ加工・計測・組立てといったプロセス技術をシームレス化することが求められる。

・マイクロ・ナノスケールの微小なロボット 2

従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

細胞は、既に、DNA やタンパク質といったマイクロ・ナノ構造体から成っている。このため、例えば、高エネルギー効率や自己修復機能など、様々な優れた特性を有している。したがって、ロボット化・機械化技術においても、これらの生物が有するマイクロ・ナノ構造体を利用して、生物が有する機能を模倣して実現する、バイオミメティクス技術が注目される。

研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

バイオミメティクスと呼ぶには、単にバイオ材料を利用したタンパクの生成などの生体反応をマイクロスケールで実現するのみではなく、生体反応を連続的に実現するための設計技術などが必要であり、生体反応プロセスを理解し制御するための新たな展開が求められる。また、将来的には、バイオミメティクスに基づいた人工物を主体としたマイクロ・ナノロボットが実現されることが期待される。

・マイクロ・ナノスケールの微小な対象物を扱うためのロボット 1

従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

近年、顕微観察技術や操作技術の進歩により、核移植や DNA 抽出などの操作のためのロボット技術が研究・開発されており、生物学、医学分野を中心に実用化が進んでいる。このような顕微鏡下にマニピュレータを用いて対象物をコントロールする技術は、「顕微操作」と呼ばれている。

研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

例えば、マイクロ・ナノデバイスを「顕微操作」によりコントロールし、マイクロスケールの微小な細胞に応用することで、より詳細な単一細胞を計測・評価する技術に応用する研究がなされている。今後は、このような技術を発展・応用し、組織構築のための3次元細胞創製技術や、単一細胞同士のインタラクション動的計測など、医療・バイオの発展に寄与するための様々な発展が期待される。

・マイクロ・ナノスケールの微小な対象物を扱うためのロボット 2

従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

操作環境（水中・大気中・真空中など）に応じて各種顕微鏡下でのマイクロ・ナノマニピュレーションは分類でき、接触型・非接触型のマイクロ・ナノマニピュレーションの手法が展開されている。接触型マイクロマニピュレータとして、空気圧・水圧・ピエゾ・超音波リニアモータなどによる多自由度機構が研究・開発されてきた。

研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

例えば近年、細胞のナノスケールの操作を実現するために、含水試料及び絶縁性試料に対して直接的に観察することができる特殊な環境制御型電子顕微鏡内ナノマニピュレーションシステムや、カーボンナノチューブへの評価・組立て・デバイス応用などのための

透過型電子顕微鏡ナノマニピュレータを走査型電子顕微鏡用ナノマニピュレータに組み込むことを可能としたハイブリッド型ナノマニピュレーションシステムが研究されている。このような様々な操作環境に柔軟に応じたロボット技術が必要である。

・マイクロ・ナノスケールの微小な対象物を扱うためのロボット 3
従来研究（上記サービスに対する従来の研究事例や、残された課題）

細胞や DNA などの壊れやすく微小な対象を操作するには、接触型マイクロマニピュレータでは器用な操作が困難な場合がある。そこで、非接触型マイクロマニピュレーション技術としてレーザートラッピング技術や電場・磁場・流体操作などによる操作技術が進展している。

研究／技術課題（これから研究したり、解決しなければならない課題）

マイクロ・ナノスケールの光、電場、磁場、流体といった非接触操作技術を器用に操り、局所的な環境を制御・計測するための多自由度な非接触型技術が期待される。また、お互いの長所を生かした接触操作と非接触操作の融合化が求められる。

3.2.6.3 その他の課題（制度など産業化を阻む弊害）

具体的な社会的問題点としては、以下のものが挙げられる。

- ・ロボティクスと異分野との交流の促進
- ・ロボティクス要素技術の発展
- ・人間協調型の次世代ロボット産業の世界的なリーダーシップ
- ・ロボティクス・ベンチャー企業の支援
- ・ロボティクスの利用技術の推進と開拓
- ・ロボティクスの標準化・規格化などの基盤技術の革新
- ・ロボティクスの若手研究者の育成と支援

この為には以下に挙げる解決策が考えられる。

- [1] 産官学の連携を通じた利用技術促進のための次世代ロボット研究開発推進センターの創設
- [2] 次世代ロボット研究開発を実証試験するためのロボット研究開発特区の創設
- [3] 労働人口減少問題を解決するための作業補助・作業支援のための次世代ロボットの実用環境の整備
- [4] 各義務教育機関にロボットを設置し、子供たちがロボットに親しみを覚え、活躍する姿を実感できる教育現場の実現
- [5] 次世代モノづくりを実現するための実習形式の教育カリキュラムの開発
- [6] ハード面とソフト面の統合化・システム化に基づいた次世代モノづくりのためのリーダー人材育成
- [7] 次世代ロボット産業のための新しいチャレンジを推進する財政支援・研究開発支援、ベンチャー支援

（執筆担当：福田敏男、中島正博）

3.2.7 RTミドルウェア

3.2.7.1 社会的要請

市場主導型の地道なソリューションビジネスが期待されているが、問題を解決するソリューションはひとつではない。費用対効果が高く顧客の購入意欲が湧く RT システム製品が生み出されるまで、いくつかの設計案を示し、製品試作を行い、実際の使用を通して調整するなど丹念な顧客とのコミュニケーションを行うという社会実装を経たシステム改善プロセスが不可欠である。

しかし、このようなオーダーメイド型の多品種少量生産製品では、開発コストがそのまま製品コストに跳ね返る。市場競争力のある製品を提供するためには開発コストの削減が重要課題であり、効率的なシステム開発を可能にするシステムインテグレーション技術の確立が求められている。

また、持続的な社会を実現するためには、システムを育てるコンセプトが重要となる。事前に完璧な設計をすることは、顧客毎に利用環境が異なるために実現不可能である。実際のシステム運用中に、不具合修正や新機能追加を可能にしつつ、信頼性を担保する仕組みが求められている。

3.1.7.2 システム設計支援ツール

複雑化が進むシステム設計には、経験に基づく個人の能力に依存しては対応できない。機械設計が CAD を活用した設計に移行したように、ソフトウェア開発においても、IT を活用したシステム設計支援ツールが重要であり、それらの設計支援ツールを構築可能な枠組みを基盤技術として確立することが肝要である。

現在は、ソフトウェアのモジュール化の枠組みを提案し、その参照実装として RT ミドルウェアを開発し、NEDO「次世代ロボット知能化技術開発プロジェクト」の中で各種の機能モジュールの蓄積、及び、共通基盤となる設計支援ツールの開発が進められているところである。

今後、システム統合に向けて普及している標準技術との相互運用性を高めるとともに、共通基盤的な設計支援ツールだけではなく、社会実装プロセスを通して得られたノウハウを蓄積して組み込んだ応用分野依存の設計支援ツール開発が鍵となる。この技術を押さえることで、付加価値競争力の源泉となることが期待される。

まず第一歩は、社会実装による検証を通して実績を積み上げることである。そのためにも、システム運用を通して事故情報やヒヤリハット情報を強制的に収集してデータベース化するような制度を施策として実現し、安全や品質に関する情報を自動収集して設計支援ツールや実際の稼働システムにそれらの重要情報の共有が可能な枠組みを提供することが喫緊の課題である。

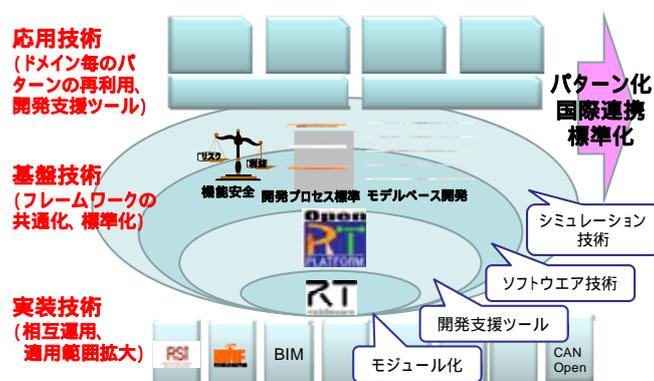


図 3.2.7 システム設計支援ツールによる開発の効率化とシステムの高信頼化
(執筆担当 神徳徹雄)

3.3 ニーズ分野に基づく今後のライフ&グリーンイノベーションロボット技術開発

以上、ニーズに基づき、ライフ&グリーンイノベーションロボット技術という観点から、各課題分野において求められている社会的要請、具現化するサービスイメージ、今後解決すべき課題などについて述べるとともに、今後重要になると考えられる、ライフ&グリーンイノベーションロボットに関連する最新の基盤的技術を取り上げ、それをライフ&グリーンイノベーションロボット技術として適用し、社会実装していく課題等についてまとめた。

ここで明確となったのは、ロボット技術は、半導体技術などと異なり、材料、デバイス、部品といった中核となるハードウェア要素が存在するわけではなく、ニーズや、要求される機能に対し、それを解決するためのアルゴリズムやシステムインテグレーション技術こそが中核をなしているということである。ロボット工学の体系に関しても、いわゆる運動学・動力学などを除けば、固有のディシプリンが存在するわけではない。それは、機械工学、制御工学、情報処理といった一般的なディシプリンを総合的に活用し、非常に自由度の高いシステムをうまく設計・構築し、計測・制御・運用するという、システムティックな問題解決技術なのである。

すなわち、これまでのロボット開発は、図 3.3-1 に示すように、漠然としたロボット技術というものが存在し、それを様々な分野に応用するというイメージが強かった。しかし、事業化や社会実装を前提に考えると、今後は、図 3.3-2 に示すように、さまざまな分野のニーズに基づき RT システムを設計・開発することが求められるし、その中の共通基盤技術としてのシステムインテグレーション技術こそが、ロボット技術であると位置づけた方が適切であろう。

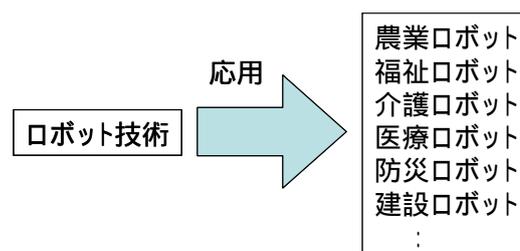


図 3.3-1 これまでのイメージ（ロボット技術の応用）

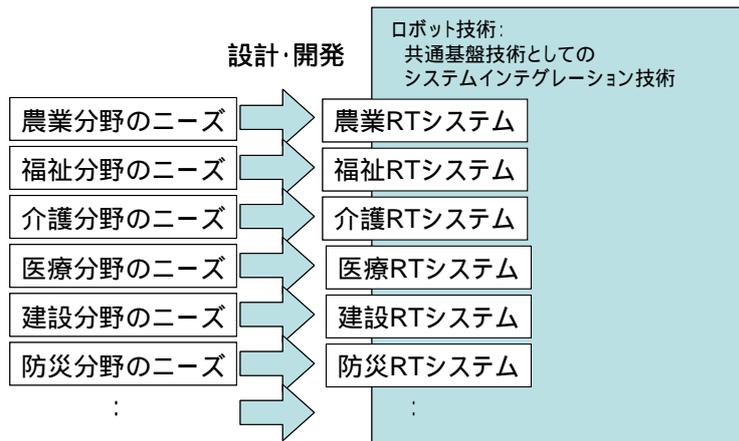


図 3.3-2 これからのイメージ

(ロボット技術＝共通基盤技術としてのシステムインテグレーション技術)

このように考えると、今後、ライフ&グリーンイノベーションロボット技術の事業化を進め、社会に普及させるためには、要素技術開発やシステム設計・インテグレーションを行うロボット技術者とニーズ分野ごとの利用者が一体となった各種プロジェクトと、システムインテグレーションを容易にするような基盤技術開発、環境構築、人材育成を行うプロジェクトを並行して実施することが肝要である。

前者のプロジェクトは、プロジェクトデザイン自体が極めて重要となる。ニーズに基づき、サービスを定義し、そこで必要となる機能を明確化した上で、プロジェクトをデザインする必要がある。ロボット技術の担当官庁が経済産業省であっても、課題分野ごとに担当官庁が異なることから、省庁連携が重要な鍵となる。一方、後者のプロジェクトも、前者のプロジェクトと連携をとりながら行うことが重要となる。システムインテグレーションを容易にするようなアーキテクチャや、モジュール、それを統合するミドルウェア、過去のデータやソフトウェアの利活用を可能とするデータベースなどの環境を構築したり、エネルギー消費低減化を含む、基盤技術開発を行うプロジェクトをさらに推進する必要がある。

また、プロジェクトなどによって開発したシステム技術や知識を保持し続けることが、今後の日本のロボット技術力を維持する上で極めて重要である。そのためには、システム開発、もしくはその実証試験のみでプロジェクトを終了させることなく、ユーザがプロジェクトの成果を継続的に利用し、その結果得られた評価や技術的課題を、開発に対して継続的にフィードバックするような仕組みやシステムを構築することが重要であり、その運用に対しても国が投資を惜しまないことが極めて重要となる。

以上の議論に基づき、今後推進すべき社会ニーズ駆動型ロボット関連プロジェクトの具体例を挙げる。

医療分野、福祉分野、介護分野、住宅分野、環境分野（社会資本の維持・メンテナンスなどを含む）、環境モニタリング分野（資源探査、有害物質の探索・処理などを含む）、原子力分野、防災分野（屋外移動・作業技術などを含む）、建築・土木分野、農林水産業分野、製造業分野（新生産システム）、運輸分野、教育分野（人材育成・数学・物理などの理系

科目教育用ロボット開発プロジェクト：ロボットキットの開発や競技会運用などを含む)、研究開発分野 (分析・解析などの研究用ツール開発プロジェクト：多自由度システムの動力学モデリングおよびシミュレーションを含む)、などの各分野におけるユーザー一体型RTシステム開発プロジェクト (分野ごとに異なる社会ニーズが存在する。省庁連携プロジェクトが望ましい)

システムインテグレーションを容易にするための基盤技術開発プロジェクト (アーキテクチャ、モジュール、RTミドルウェア、データベースなどを含む)

ライフ&グリーンイノベーションロボットの関連基盤技術活用プロジェクト (ライフログ技術、クラウドネットワークサービス技術、サービスコンテンツ技術、パーソナルモビリティ技術、エコロジー技術 (エネルギー消費低減化システム)、マイクロ・ナノ技術) 以上のプロジェクトに関連して、利用者の顧客価値をモニタするようなプロジェクトや、利用対象を地域 (街、都市) に拡大し、自治体やディベロッパーなど一体となったプロジェクトの推進も、ライフ&グリーンイノベーションロボット技術の社会実装を考える上で、極めて重要になると考えられる。

また、これからの高齢社会において、日本の生産性をいかに維持するかも一つの重要な社会的課題であり、この課題の解決を図る一つの有効な手段として、ライフ&グリーンイノベーションロボット技術を活用し、高齢者や身体障害者の労働を可能にするような労働支援システム (物理的支援・情動的支援を含む) を開発するプロジェクトなども検討すべきであると考えられる。

(執筆担当：浅間一)

第4章 結論

4.1 まとめ

本報告は、ライフ&グリーンイノベーションロボットについて、その実用化、産業化の観点から調査研究した結果をとりまとめたものである。第1章では、我が国の成長戦略、第4期科学技術基本計画に提示されているライフ&グリーンイノベーションロボットを概観し、本調査研究のドメインを明確にした。ロボットの実用化においては、実現したロボットを社会に組み込んで持続性のある運用をしてみることで、これを育てることが重要である。本調査研究では、このような観点から、報告書の第2章を、ロボットの社会実装とし、社会実装にあたって考えねばならないこと、その実際例を提示した。第3章は、そのような社会実装すべきロボットの課題分野と、解決デザイン、それに求められる機能と要素、そしてその実現技術を示した。第4章はまとめで、課題領域において、ロボットを社会実装してみせ、これを持続的に利用することを通じて育て上げてゆくことが、ロボットを実用化するうえにおいて重要であり、このような持続性のあるロボット活用コミュニティによる社会実装プロジェクトを新しく立ち上げることと、具体的プロジェクトを提案してその結論としている。

4.2 成果

4.2.1 問題意識と社会システム設計

本調査研究の根底にあった問題意識は、なぜロボットの研究開発は盛んなのに、その成果がほとんど実用化されないのか、人間活動の現場に導入されないのか、まして社会で利用されないのかということであった。我々はその理由として、貧乏問題、パトロン不在問題などを指摘した。これらはもはや単に技術だけでは解決できず、社会的な視点の必要性を論じた。つまりロボットおよびロボット技術の成果をいかに社会で活用していくかというシーズ側からの発想にとどまらず、我々の生活、社会のためにロボット技術がどのように使えるのかというニーズ側からの視点、それも真の需要者を取り込んだ社会サービスとして実装していく、新たな社会システムを設計、構築するところから始めないとならないという発想が必要なのである。

4.2.2 調査対象：ライフ&グリーンイノベーションロボット

今回の調査では、このような方針のもと、ライフイノベーションについては、医療・介護・福祉サービスや、次世代のモビリティシステムなど長寿社会、高齢社会を背景に社会的な広がりがある必然となっているサービスシステムなどを、グリーンイノベーションについては低炭素エネルギーシステムとして重要と考えられてきたエコシステムや次世代原子力発電システムなどを具体的事例としてとりあげた。次世代のモビリティシステムはグリーンイノベーションにおいても重要な役割を果たす。

4.2.3 完成品としての製品

前述したように、本調査研究では、ロボットの実用化を問題意識の原点としている。そこで、本調査研究で対象としているライフ&グリーンイノベーションロボットが実用化された場合の商品、製品の形態について考察してみる。商品の形態という意味では、自動車という商品は、わかりやすい。移動する機能をもった商品をメーカーが製造し、これを消費者に売る。消費者は、これを購入し、移動手段として利用する。移動機能という基本機能は、販売時も、利用時も変化しない。異常が発生した時ときのみ、メーカーあるいはメンテナンス会社に戻される。運転における全責任は、運転免許をもつドライバにゆだねられている。

ロボットの実用化を議論する時、長い間我々はこのような自動車のような商品としてのロボットを思い描き、追求してきたのではないだろうか？

4.2.4 単機能性を活かしたロボット

ロボットの特徴は、その汎用性にある。汎用性ゆえに、多様な期待がロボットに寄せられるが、その汎用性ゆえに、ロボットはそのキラーアプリケーションに悩んできた。模索が続けられてきた。これからも模索は続けられるであろう。しかしながら、これまで実用されてきたロボットは、単機能のものであった。産業用ロボット分野では、同じ作業を高精度に繰り返せる能力を活かした溶接ロボット、塗装ロボット、インサータマシン、組み立てロボットが実用されている。家庭の中で掃除しつづけるロボットとしてルンバが、オフィスビルまるとの業務の中で活かされる掃除ロボット、医療分野における前立腺手術ロボットなどがその成功例の代表である。人にできない特定の作業能力を活かした単機能に特化したロボットであることがこれらのロボットの特徴である。このように機能を決めて、完成品を売買するロボットは、こらからも追求されよう。

4.2.5 汎用性（多機能性）を活かしたロボット

その一方で、例えば生活支援ロボットの実用化を考える時、その使われ方は、人によって異なるし、同じ人でも時期によって異なる。このような多様な機能を、最初から定義し、それらの機能をあらかじめ備えたロボット商品を市場に投入し、多様な人に役立つロボット、あるいは同一人物にでも変化するその人にあわせて役に立ちつづけるロボットとして、活用してゆくことは、完成品を商品として販売する形態で、実現可能であろうか？このような利用形態では、むしろ、半完成品を販売し、完成品としての機能をユーザと共に創ってゆく商品形態のロボットが有効なのではないだろうか？商品の発売段階では、機能の基本部分を購入し、その商品の購入後に、ユーザとなんらかも形で企業が一緒になって、多様な要求にこたえられるようにロボットを利育てながら利用するアプローチである。

4.2.6 実用ロボット：機能をユーザとともにつくる商品、半完成品としての製品

機能をユーザとともに創ってゆく商品でこれまで成功した典型例が、iPodである。ユーザは、音楽再生機能をもつ機器と、ダウンロードできる仕組みを購入し、自分で、好みの曲をダウンロードすることによって、自分好みの音楽ライブラリをもった音楽再生機をつくりあげ、これを楽しむ。音楽を鑑賞したいユーザからみれば、音楽の入っていない iPod と、ダウンロードのしかけという半完成品を購入し、それを完成品にするのは、ユーザなのである。

生活支援ロボットの実用化においても、このような半完成品としてのロボットという商品形態が、重要な役割を果たすと考えている。生活において支援してもらいたい要求をもっているユーザ、例えば歩行に困難を有するユーザを例にとって説明する。ユーザは、歩行支援ロボットのプラットフォームと、それを自分にフィッティングしてくれるサービスを、ロボットサービスプロバイダから購入する。ロボットサービスプロバイダは、その人の固有の要求を勘案し、ある場合には、そのロボットのオプションのハードウェアやソフトウェアを利用して、プラットフォームロボットを、そのユーザに適合するようにフィッティングする。ハードウェアについては、機械の改造が必要になる場合もあろう。このようなフィッティングサービスを受けながら、ユーザは、このロボットを活用して生活する。ロボットサービスプロバイダは、どのようなフィッティングが必要であったのか、どのようにカスタマイズされたロボットがどのように使われているのかの報告を、ロボットプラットフォームメーカーやオプションメーカーに伝え、プラットフォームやオプション作りにフィードバックをかける。なお、iPod の場合は、情報の扱いが対象となっているので、自分ライブラリの構築というフィッティング作業が、自分自身で可能であるが、ロボットの場合は、ハードウェアが関係することが多く、その場合は、フィッティングがユーザによって完結することはなく、ロボットサービスプロバイダが必須となることに、ロボットならではの特征がある。このフィッティング、あるいは、カスタマイズを、いかに一般的にできるようにするのが、このような商品を可能にする鍵を握る。ソフトウェアライブラリの充実、データベースの共用利用などがソフトウェア的に重要であるが、個々人にカスタマイズできるロボットプラットフォームやオプションの準備のしかたがロボットハードウェアの観点から重要である。

4.2.7 ロボット活用育成コミュニティ

前述した半完成品としてのロボット商品は、ロボット活用育成コミュニティといった人の集団が形成されて始めて可能になると考えている。そのようなロボット活用育成コミュニティの構成員は、次のようになると考えている。それらは、半完成品としてのロボットを製作するメーカ、そのロボットを利用するユーザ、そのユーザからの利用状況を聞きながらロボットをその人にフィッティングするロボットサービスプロバイダ、さらに、ロボットの製作やそのフィッティングの技術を研究開発する大学や国研、このようなコミュニティの維持に協力する地方自治体、それらを支援する国、などの幅広い人々から構成される。銀行や商社、保険業界の人も参画することが求められよう。ロボット活用育成コミュニティは、とりもなおさず、このようなロボットが産業として育った場合に、構築されるバリューチェーンの構成員であると考えている。このような、バリューチェーンを構成

するコミュニティによって、永続性をもった形でロボットを製作し、育成し、活用してゆくことが、新しいロボットの実用化に不可欠ではないだろうか。

4.2.8 サービスとロボットの一体化商品

このようなロボットに特徴的なことは、ハードウェアとしてのロボットとともに、そのロボットを使いこなしてユーザにサービスを提供することが重要であることが指摘される。ロボットとサービスの一体化が重要である。一方、フィッティングという作業は、ハードウェア的には、ロボット機構の使いこなし知識なしには実現されないし、ソフトウェア的には、ロボットをいかに働かせるのかの知識なしには実現されない。このフィッティング作業も、サービスの一種と考えると。これからのロボットにおいては、サービスとロボットが統合されたシステム、“サービス・ロボット統合システム”というのが重要になると考えている。

4.2.9 ロボット活用育成コミュニティによるサービス・ロボット統合システムプロジェクト

このようなロボット活用育成コミュニティを形作ることによって実用されるサービス・ロボット統合システムの分野は、ひとり、生活支援分野のみではなく、医療分野、農業林業分野、原子力分野など、多分野にわたっている。このような分野にロボットを適用してみて、実用化をはかるプロジェクト“ロボット活用育成コミュニティによるサービス・ロボット統合システムプロジェクト”が立ち上がり、ロボットの実用化がはかれ、ロボット産業が大きく成長することを祈念したい。実は、このようなロボット活用育成コミュニティは、これまでも自然発生的に存在していた。産業用ロボットにおいては、ロボットの能力に着目した自動車会社がロボットメーカにこのようなロボットが欲しいと発注し、できてきたロボットに注文をつけることでそのロボットを改良していった。このように産業用ロボットでは、自動車会社とロボットメーカにより構成されるコミュニティにおいて、ロボットは完成品に近付いていったといえる。今後、ロボットの実用化をはかる際には、このようなロボット活用育成コミュニティを意識的に構成されることが重要になると考えている。

4.2.10 社会システムデザイン

ロボットを実用化する際には、単に技術的な視点の議論だけでなく、社会システムとして実装していく上でのさまざまな課題に取り組んで行かねばならない。まず、課題の設定にあたっては、その課題をひきおこしている要因を、社会全体の動きをふまえて体系的に分析し、その中で最も根源的な課題をえぐり出さねばならない。さらに、その課題を解決する手段を講じる場合には、その講じた手段が、単にその課題に対して与える効果のみでなく、派生して引き起こす派生効果も考えておかないと、かえって逆効果になる。このようにして導き出された効果を引き起こす仕組みや仕掛けを十分に考察し、それを実現する新しい技術や、その成果を利用するに当たっての規制の見直し、場合によっては規制の強

化も考慮しなければならない。その際には、日本全体といった一般論にせず、地域ごとの特色、産業構造、地理、歴史など社会的な要件を考えた設計が求められる。多様な技術分野、多様なビジネス等を取り入れたシステムの構想が求められており、これを可能とするような人材の育成もその永続性の観点から必須の要件である。

4.2.11 社会システムを考慮したプロジェクト

社会システムの観点から、プロジェクトの立ち上げを考える場合には、第2章で石黒が指摘しているように、単に技術の研究開発を考えるのでは不十分である。ランドデザイン、ビジネスモデル、技術開発、インテグレーション、実証テスト、市場展開、社会システムといったプロジェクト推進要素を、並列的に研究・推進しなければならない。ランドデザインでは、どのようなシステムや生活や社会をめざすのかの全体像が示されねばならない。でないと、プロジェクトに関係する人の中での方向性を持続的に共有することができないし、プロジェクトを構成する人、もの、資金の真の統合が実現されない。ビジネスモデルにおいて、だれがお金を出すのかが明確になっていないと、プロジェクト成果が経済的合理性をもった永続性のある社会に実装されることができなくなる。これまでトライされてうまくいかなかった課題を、トライするプロジェクトで成功させるためには、少なくとも、これまでになかった技術開発が研究開発されねばならない。インテグレーションは、本結論の冒頭の部分で述べたようなロボットの実用化を、ロボットのユーザ、ロボットのメーカ、ロボットサービス事業者、ロボットインフラ会社や、技術の研究開発を担当する大学や研究機関などのロボット活用育成コミュニティによって実現するうえで、不可欠のことである。ロボットの実用化は、社会にそのロボットサービスが実際にアプライされてある時間をかけて運用、評価されなければならない。それが社会実験であり、それを通じて市場の拡大が求められる。これまでになかったロボットを実用化する際には、規制や法規、税制改革の果たす役割は大きい。特区などのトライアルが欠かせない。

4.2.12 新規プロジェクト構想

今回の調査が行われたのは平成23年3月11日の東日本大震災の前であり、この未曾有の震災がもたらした社会システムへの影響については議論に含まれていない。四半世紀といった長期的な視点においては、大震災から復興し、影響が薄らいだ状況を仮定した議論もできるであろうが、その場合は、今回の大震災から、従来の社会の問題点を体系的に深く分析し、その克服を視野にいれた社会像のもとでRT活用の将来像を考えるのが適切であろう。しかしながら、ライフ&グリーンイノベーションロボットの観点からは、生活の安全・安心の確保の観点、社会インフラシステムの安全性について、たとえコストをかけても、より高度なものが求められるであろうし、産業から家庭生活まであらゆる場面でエネルギー消費を抑えることが必須の課題となることは自明なことであろう。このような観点をふまえて、以下では、可能な新規プロジェクトをいくつか提案したい。

4.2.12.1 地域に根差した新規プロジェクト

- (1) 少子高齢化の流れのなかで、医療・介護・福祉サービス分野への RT 応用は重要であろう。一方、プロジェクトの実施に際しては、単なるロボットづくりに終わらないようによくよく留意する必要がある。ICF のような、人の生きることの全体像をふまえたサービスの実現を念頭に、生きる人間として、個々の人が真に必要としているカスタムメイドで、かつ真に有効なサービスが RT で実現されなければならない。厳密に言うと、RT ありきでなく、サービス実現をつきつめてゆくと、結果として RT にいきつくと考えている。さらに当該分野における RT の社会実装においては、自治体、地域の研究機関、地元の企業との連携をとり入れた持続発展可能なフォーメーションを考える必要がある。看まもり医、遠隔医療システム、病院への移動や病院周辺をふくめたファシリティ作りなどを含めた新しい街づくり、社会制度づくりも取り入れるべきであろう。このようなことは、今述べた医療の観点のみでなく、介護や福祉の観点からも同様なことがいえる。グランドデザインにおいては、医療、介護、福祉を別個に考えるのではなくトータルに考え、最重要課題に焦点を絞ってプロジェクトを起こさねばならない。当然ながら RT 機器の利用においては、対人安全性への要求は今後ますます高くなってゆくであろう。その際、実用性を無視した安全基準や安全を要求したのでは RT 機器の利用が進まなくなる。リスクとベネフィットのバランスを取り入れた体系を作り上げていく努力がもとめられる。この観点からも RT 機器の活用性を高める基礎づくりとして、体系だてた安全 RT 部品技術の研究開発は依然重要である。
- (2) モビリティはライフイノベーションにおいてもグリーンイノベーションにおいても重要である。ただし単にモビリティハードウェアだけを考えるのではなく、社会の中での使われ方、利用者の社会参加の姿と一体化したサービスをハードウェアとともに勘案してプロジェクトを立案する必要がある。利用者については、年齢層、職業などの違いによる利用形態の違いを視野にいれつつ、その違いを吸収しながら、オプションなどの手段で拡張的に対応できるモビリティシステムの基盤とそれに基づくサービスを開発することが本質的であると思う。この観点からは、モビリティ本体だけでなく、道路や市街、ショッピングセンターなど環境の側についても、ネットワークや通信のハードウェアからサービスコンテンツにいたるまで一貫して考慮にいたれた、地域特性を踏まえたプロジェクト立案が重要であろう。

4.2.12.2 ロボットインフラプロジェクト

- (1) 原子力発電システムについては、東日本大震災に端を発する福島第一原子力発電施設の事故を経験した現在、まず、これまでと現状を曇りのない目で見据えることが重要である。つまり、地震に起因した福島原子力発電所災害対策にかかわる事項に関して、今回の原子力災害対策における短期から長期にわたるロボット技術活用について、国と学界は、産業界と協力して国内外のロボット学専門家の総力を結集し、状況即応的な助言、知識、技術の提供を行う体制を急速に整え、動かねばならない。また、今回

の対策においてロボット技術投入の初動が遅れていた要因を解明し、今後に向けて早急に改善する必要がある。特に、その要因の一つとして、現場運用と開発、研究を最先端で一体化した体制の不足が指摘されるが、これをふまえ、中長期の対策に向けて、産学官は協力して早急に有効なロボット活用体制を構築することが求められる。さらに、その先の課題としては、人類社会の中での、エネルギーの全ライフサイクルを見据えた議論、社会システムとしての時間と空間、双方の軸において十分な長さ、広さを視野に入れたさらなる議論が必要と考える、工学的な安全性の強化に係る設計だけでなく、事故のあらゆる可能性について十分な分析と対応策を、単に工学技術だけでなく近隣の住民避難や環境汚染への対応策も視野にいたした社会システムとして考える必要がある。かつて JCO 事故の時に急遽開発した防災ロボットは、結局つくただけで終わり、利用可能な状態で維持されていない。このようなロボットシステムは、事故がないときでも常にメンテナンスし、操作訓練をかかさず行っていて、始めていざというときに役にたつものである。そのためにも欧州の Group Intra のような恒久的運用組織を設立し、防災ロボットの維持と改良、オペレータの養成と訓練を定常的に行っていくように社会実装する必要がある。これが、本報告書の結論としている、ユーザ、メーカ、事業者、国、国研、大学から構成されるロボット活用・育成コミュニティとしてのとりくみそのものである。

- (2) 次世代製造システムについては、大量生産低価格指向から、少量個人適合指向、すなわちユーザとともに価値をつくるものづくりサービスへと転換を図るべきであろう。低付加価値、低技能、単純作業による大量生産商品は、NIES や BRICS 諸国にまかせ、そこで将来的に必要な製品をつぎつぎと打ち出してゆけるような、迅速な試作品実現サービスによって先導され、それを社会的インフラもふくめて大企業が支え展開してゆく産業構造が、重要であり、この構造が国内に製造技術と工場を維持するキーであると考え。高技能ものづくりサービス産業、日本でないと作れないサービスものに結びついた産業育成のためには、RT システムを従来の単純な人手置き換えでなく、それをカスタムメイドなユーザとともに機能をつくりだす製品サービスをつくりだすノウハウの蓄積装置（産業情報収集手段）として活用することが重要であり、このような新しい産業の持続的発展基盤に基づいた、新規産業を展開する必要がある。

本報告の最後に、以上に述べたライフ&グリーンイノベーションロボット実用化とそれを支える研究を推進する体制として、日本ロボット総合研究所の構想を述べておきたい。この研究所の目標は、21 世紀をロボットの世紀とする事にある。ライフ&グリーンイノベーションロボットの実用化とそれを支える基礎・基盤研究は、その第一歩である。日本ロボット総合研究所は、ロボットの社会実装を促進しロボットの実用化をおし進める “RT システム社会実装推進機構”と、長期的展望にたつて次世代ロボットの研究をすすめる “スーパーロボット研究機構”とから構成されるべきであると考えている。

RT システム社会実装推進機構では、比較的近い将来のロボットの実用化を念頭にロボットを選定し、それとサービスを統合し、事業化できるビジネスモデルに基づいて、その社会実装を推進する。つまり、地域ごとに、その地域の特色を活かしたロボットとサービス事業を選定し、ロボットの実用化、事業化をはかる。本章で述べた、4.2.11.1 の地域に

根差した新規プロジェクトはここで推進されるべき研究課題である。具体的には、製品開発プランを受け付け、技術的実現可能性、安全性、サービスビジネス事業化計画等を精査し、有望なものについてブラッシュアップを行い、それを推進するベンチャービジネスインキュベーション事業、さまざまな地域でのトライアルの比較を可能とする標準的な生活環境などの社会フィールドプラットフォームの提供事業や、社会実験テストフィールドの提供を通じた社会実装の推進事業、さらに様々な社会実装プロジェクト情報の知見の蓄積・共有をはかる事業などを推進すべきである。

これに対して、もう一方のスーパーロボット研究機構では、上のロボットの事業化、実用化を支える基礎、基盤研究とともに、中、長期視点にたった次世代ロボットを可能とする研究を推進する。4.2.11.2 であげたロボットインフラ研究は、このうち中期的レンジの研究と位置付けられる。さらにこれまでのロボットの地平を一新するようなロボットイノベーションをひきおこす先端研究が、長期的点展望にたって実施されるべきである。具体的な研究テーマとしては、構成論的科学に関して、1) 人間の統合シミュレーションと総合理解（生理学、医学、情報学、脳神経科学、心理学、発達科学、言語学、社会学を含む人の生きることの全体像をみすえた統合モデル化、シミュレーションとそれによる人間の理解）、2) ヒューマンロボットインタラクション科学（社会における集合知をふくむ人と物の流れをとまなうロボットシステムと人間のインタラクション科学、BMI、分身リアリティ、生活・社会機能構成論、言語・社会進化論、アート・インスタレーション、バイオロボットなど）、3) 先端ロボット創成に関しては、人に限りなく近づくロボットや、人と異なり人を超える特性を追求するロボットなどがあげられる。さらに、高度基盤技術としての人の動作の確実な検出センサ、力制御アクチュエータ。ロボット用 VLSI、オープン知能モジュール、エネルギー源なども、新に革新的なロボットを可能にするために、取り上げるべきである。また、科学技術リテラシーとしてのロボット教育に関する教育手法の研究、体験参加型の先端科学教育にも、中、長期的展望をもって取り組むべきである。最後に、科学と文化の融合、ロボットアートとその上演などの文化的側面も将来のロボットには、欠かせない側面であることも指摘しておきたい。これらの多方面にわたる研究課題に、並列的に、21 世紀を通して、何回でもスパイラル状に挑戦し続けて知見を積み上げてゆくことが重要である。

（執筆担当：佐藤知正、平井成興）

非 売 品

禁無断転載

平 成 2 2 年 度

農業用ロボット等の技術ロードマップ構築に向けた
調査研究報告書

発 行 平成23年3月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会
〒105-0011

東京都港区芝公園三丁目5番8号

電 話 03-3434-5384

財団法人 製造科学技術センター
〒105-0001

東京都港区虎ノ門一丁目17番1号

電 話 03-3500-4891