

平成19年度 調査研究報告書

平成19年度
インバース・マニュファクチャリング
フォーラム調査研究報告書

平成20年3月

財団法人 製造科学技術センター

目次

■ 活動概要

1. 平成19年度活動概況1
2. 活動体制2
3. 委員会活動3
4. 普及・啓発活動9

■ フォーラム委員会の活動

I. 企画委員会

I-1 サステナブル・マニュファクチャリング技術マップWG

1. 背景および目的13
2. 技術マップの導出方法および構成16
3. 技術戦略マップ27
4. 技術マップの全体像47
5. まとめと今後の展開49
- 資料 A-1 ものづくり技術戦略マップ作成の経緯と報告書の構成 52
- 資料 A-2.1 設計、製造、加工分野の技術戦略マップ 56
- 資料 A-2.2 持続可能なものづくり分野の技術戦略マップ77

I-2 持続可能社会シミュレータ開発提案TF

1. 持続可能社会シミュレータの概念121
2. 業界団体ヒアリング127

II. 板ガラスリサイクルシステム調査委員会

- 板ガラスリサイクルシステム161
- Before Shedder を基本とした高度リサイクルの取り組み166
- 板ガラス再資源化の現状と課題183

III. インバース情報調査広報委員会

1. 総会併設講演会 191
2. サステナブル・マニュファクチャリングシンポジウム191
3. 見学会 193
4. ホームページの改訂193
5. メールマガジン試行194

- サステナブル・マニュファクチャリングシンポジウム(2008年3月12日)の講演から
持続可能社会におけるものづくり (吉川弘之)196
- 2050年の日本経済と地球温暖化問題 (室田泰弘)212

活動概要

1. 平成19年度活動概要

最近、地球の温暖化の防止や、資源を有効活用することが大きく取り上げられるようになり、社会全体として持続可能性を意識した社会活動が強く求められるようになってきている。インバース・マニュファクチャリングフォーラムでは平成8年12月の発足以来、循環型社会における製造業のあるべき姿(サステナブル・マニュファクチャリング)を追求する活動を続けてきた。インバース・マニュファクチャリングフォーラムの活動が、人類や製造業の持続性を維持するために有効なものであり、社会的に認められることも多くなって来ている。また、(財)製造科学技術センターのアクティビティのひとつとして、IMS センターでは、サステナブル・マニュファクチャリング技術に関する日欧検討会議をすでに数回実施している。

このような持続可能性(サステナビリティ)への関心の高まりを受けて、インバース・マニュファクチャリングフォーラムでは、平成19年度に、経済産業省、NEDO(独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構)から受託して、サステナブル・マニュファクチャリング WG が設計・製造・加工分野(システム・新製造)、の技術戦略マップを作成した。

この成果は、持続可能なものづくり技術分野の技術戦略マップにも反映された。

また、持続可能社会シミュレータ開発の提案活動を進めて、概念の整理を行って、サステナブル・マニュファクチャリングシンポジウム(2008年3月12日)において関連する成果の発表を行った。さらに、持続可能社会構築に大きく寄与するヒートポンプ給湯器、電球型蛍光灯などの主要な環境に配慮した工業製品の将来見通しなどにつき、業界団体のヒアリングを行った。昨年度から始めた板ガラスのリサイクルシステムに関して、NEDO のエネルギー使用合理化技術戦略的開発(FS事業)を受託し、板ガラスのリサイクルによる原油の削減量を算定する調査研究も進めている。

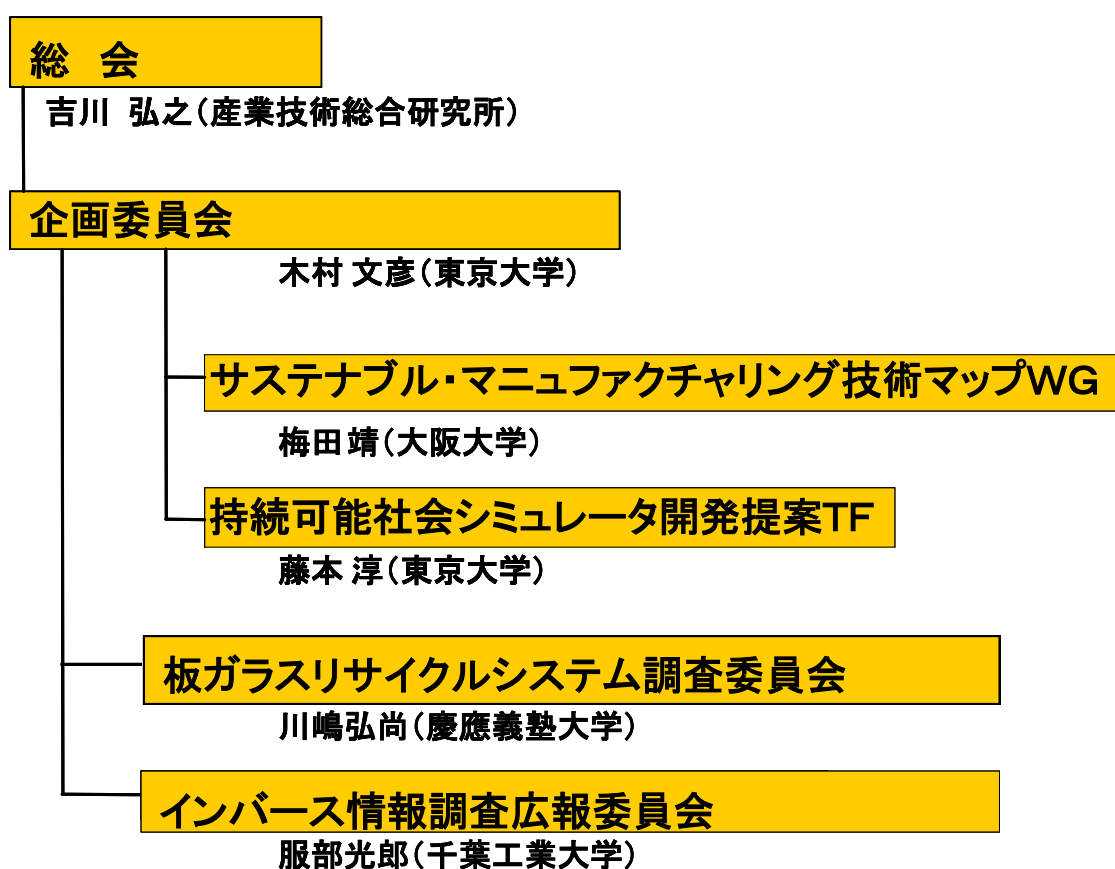
一方、会員への情報提供や、普及啓発活動を担う情報調査広報委員会では、東京エコリサイクル(株)の工場見学や総会併設の講演会、サステナブル・マニュファクチャリングシンポジウムの開催を行うとともに、会員へのメールマガジンの発行やホームページの改訂作業を実施した。

このような盛りだくさんの活動や、持続可能性についての社会的関心の高まりにも関わらず、企業会員の減少が続いている。このことは、フォーラム当初から活動している企業メンバーが停年等で退職するのに伴い、フォーラム会員であることの必要性やメリットを、企業内で後継者にうまく伝達できていないことにも起因していると思われる。インバース・マニュファクチャリングの重要性を広く世間にアピールするとともに、社内への普及啓蒙を支援することにより、企業会員を確保・維持することもフォーラム活動の重要な課題である。

2. 活動体制

平成19年度は、個別テーマとして、新たに「サステナブル・マニュファクチャリング技術マップWG」、「持続可能社会シミュレータ開発提案TF」が発足した。また、教育表彰委員会が廃止され、その活動は「インバース情報調査広報委員会」に引き継がれた。

インバース・マニュファクチャリングフォーラム H19年度活動体制



3. 委員会活動

3. 1 委員名簿

企画委員会

(順不同)

委員長

木村 文彦 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授

委員

服部 光郎 千葉工業大学 社会システム科学部 プロジェクトマネジメント学科
教授

増井慶次郎 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

梅田 靖 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授

須賀 唯知 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授

馬場 靖憲 東京大学 先端科学技術研究センター 教授

藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授

永田 勝也 早稲田大学 理工学術院 教授

富田 康信 (株)IHI 技術開発本部 技師長

米澤 公敏 新日本製鐵(株) 技術総括部 部長代理

愛澤 政仁 特定非営利活動法人 水産衛生管理システム協会 副理事長

石森 義雄 (株)東芝 研究開発センター 先端機能材料ラボラトリー 研究主幹

塚田 哲夫 トヨタ自動車(株) 生技管理部 事務統括室 総括G

寺田 暁彦 日産自動車(株) リサイクル推進室 リサイクル総括グループ 主担

石田 智利 (株)日立製作所 生産技術研究所 生産システム第一研究部 主任研究員

渡辺 富夫 富士ゼロックス(株) 生産本部付参事 兼 アセット・リカバリー・
マネージメント部 シニアマネージャー

オブザーバ

岡橋 寛明 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

加賀 義弘 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

企画委員会

サステナブル・マニュファクチャリング技術マップWG

(順不同)

主査

梅田 靖 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授

幹事

三島 望 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ グループ長

委員

明渡 純 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
集積加工研究グループ グループ長

尾崎 浩一 独立行政法人 産業技術総合研究所 デジタルものづくり研究センター
加工基盤技術研究チーム チーム長

上野 潔 国際連合大学 プログラム・アドバイザー

藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授

松野 泰也 東京大学大学院 工学系研究科 マテリアル工学専攻 准教授

山際 康之 東京造形大学 造形学部 デザイン学科 サステナブルプロジェクト専攻
准教授

中野 冠 (株)豊田中央研究所 シンクタンク室 主席研究員

石田 智利 (株)日立製作所 生産技術研究所 生産システム第一研究部 主任研究員

オブザーバ

岡橋 寛明 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

加賀 義弘 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

企画委員会
持続可能社会シミュレータ開発提案TS

(順不同)

主査

藤本 淳 東京大学 先端科学技術研究センター 特任教授

委員

梅田 靖 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授

木村 文彦 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授

増井慶次郎 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

近藤 伸亮 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 主任研究員

松本 光崇 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 研究員

石田 智利 (株)日立製作所 生産技術研究所 生産システム第一研究部 主任研究員

オブザーバ

岡橋 寛明 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

加賀 義弘 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

板ガラスリサイクルシステム調査委員会

(順不同)

委員長

川嶋 弘尚 慶應義塾大学大学院 理工学研究科 開放環境科学専攻 教授

委員

中村慎一郎 早稲田大学 政治経済学術院 教授(計量経済学)

松野 泰也 東京大学大学院 工学系研究科 マテリアル工学専攻 准教授

野村 昇 独立行政法人 産業技術総合研究所 ライフサイクルアセスメント研究
センター エネルギー評価研究チーム 主任研究員

原 潤一 板硝子協会 調査役

鈴木 道哉 清水建設(株) 技術研究所 建築設備システムグループ グループ長

鶴岡 正顕 (株)ツルオカ 代表取締役社長

オブザーバ

国領 一人 日本板硝子(株) フラットガラス事業部門 Auto事業本部
テクニカルセンター 主席技師

猪子 兼行 日本板硝子(株) 舞鶴事業所 Auto事業本部 舞鶴製造部 技術課
特命担当 主幹技師

吉田 正明 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
省エネルギー技術開発部 研究開発グループ 主査

加賀 義弘 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

情報調査広報委員会

(順不同)

委員長

服部 光郎 千葉工業大学 社会システム科学部 プロジェクトマネジメント学科 教授

委員

松本 光崇 独立行政法人 産業技術総合研究所 先進製造プロセス研究部門
エコ設計生産研究グループ 研究員

朝倉 紘治 (財)エンジニアリング振興協会 研究理事

愛澤 政仁 特定非営利活動法人 水産衛生管理システム協会 研究理事

小池 勉 (社)日本自動認識システム協会 事務局長

市野 修一 富士フイルム(株) 神奈川工場 事務部 担当課長

オブザーバ

岡橋 寛明 経済産業省 製造産業局 産業機械課 課長補佐

加賀 義弘 経済産業省 製造産業局 産業機械課 技術係長

3. 2 委員会開催状況（回数は平成19年度として表示）

（1）総会（第12回）

平成19年 6月18日

（2）企画委員会

第1回 平成19年 5月11日

第2回 平成19年10月16日

第3回 平成19年12月13日

（3）サステナブル・マニュファクチャリング技術マップWG

第1回 平成19年 9月21日

第2回 平成19年11月 5日

第3回 平成19年12月13日

第4回 平成20年 1月11日～12日

第5回 平成20年 2月 8日

第6回 平成20年 3月 3日

（4）持続可能社会シミュレータ開発提案TS

第1回 平成19年 9月21日

（5）板ガラスリサイクルシステム調査委員会

第1回 平成20年 1月11日

第2回 平成20年 3月11日 インバース・教育・表彰調査委員会

（6）インバース・情報調査広報委員会

第1回 平成19年 5月29日

第2回 平成19年 7月25日

第3回 平成19年 9月26日

第4回 平成19年11月28日

第5回 平成20年 1月30日

第6回 平成20年 3月12日

（7）見学会・セミナー等

平成19年11月28日 東京エコリサイクル(株)見学会

平成20年 3月12日 サステナブル・マニュファクチャリングシンポジウム

4. 普及・啓発活動

平成19年度は以下のような活動を行った。

1. 総会併設講演会

日時：平成19年6月18日（金）10：00～11：00

場所：虎ノ門パストラル新館6階 ロゼ

参加者：25名

講演：「東芝の環境戦略」 実平喜好 （株）東芝 環境推進部長

2. サステナブル・マニュファクチャリングシンポジウム

日時：平成20年3月12日（水）13：30～18：00

場所：東京大学本郷キャンパス工学部11号館講堂

参加者：120名

- ・持続可能社会におけるものづくり

産総研 理事長（フォーラム会長） 吉川 弘之

- ・技術戦略マップとサステナブル・マニュファクチャリング

経済産業省 渡邊 政嘉

- ・2050年の日本経済と温暖化問題

湘南エコノメトリクス 室田 泰弘

- ・企業のものづくり戦略

- （1）松下電工におけるサステナブル・マニュファクチャリング

松下電工(株) 小畑 外嗣

- （2）キヤノンにおける環境への取り組み

キヤノン(株) 古田 清人

- ・設計・製造・加工におけるサステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップ

大阪大学 梅田 靖

- ・持続可能社会シミュレータの概念

東京大学 藤本 淳

- ・インバース・マニュファクチャリングの今後の展開

東京大学 木村 文彦

3. 見学会

- ・東京エコリサイクル(株)

家電、OA 危機の分離・解体処理工場

日時：平成19年11月28日（水）13：30～15：30

場所：東京エコリサイクル株式会社

東京都江東区若洲 38 番

参加者：17名

4. ニュースレターの発行

第19号（平成19年6月25日発行）

5. メールマガジンの発行

第1号（平成19年2月25日発行）

フォーラム委員会の活動

I. 企画委員会

I-1 サステナブル・マニュファクチャリング 技術マップWG

本委員会の活動は、一部を除いて NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）からの受託「設計・製造・加工分野におけるサステナブル・マニュファクチャリングに関する技術マップ調査」として実施したものである。

1. 背景および目的

7月に開催される洞爺湖サミットにおいて気候変動が主要議題に取り上げられる例を持ち出すまでもなく、地球環境問題解決の重要性は広く認識されつつある。また、地球環境問題を解決し、サステナビリティを獲得するためには、従来の大量生産・大量消費・大量廃棄パラダイムから脱却し、まさに持続可能なものづくりを実現する必要があることも広く認識されつつあると言って良い。現在は、気候変動などのマクロなレベルの問題認識段階、つまり、「何が」問題かを認識する段階が一段落し、これらの問題を解決し、持続可能性を「どのように」獲得するかという実行段階に入りつつあると考えられる。

我が国の「ものづくり国家戦略ビジョン」[1]においても、環境制約、資源制約、人口制約の三つの制約が明確に述べられており、その中で、ライフサイクルを通じた収益化など製造業パラダイムからものづくりパラダイムへの転換が謳われている。まさにこれが、サステナブル・マニュファクチャリングが目指すべき最終形態である。サステナブル・マニュファクチャリングが提唱されてきた背景には、「このような環境・資源・エネルギー制約を逆手にとり、イノベーションによって、今後20年、30年後も経済成長が維持されるためのサステナブルな産業・社会を実現することが必要。そのためには、環境・資源・エネルギーの「消費」ではなく「創出」する21世紀型の産業構造・技術体系を構築することが求められる。」[1]という認識があり、この中で「サステナブル・マニュファクチャリング技術」は、「環境と調和した持続的な経済の発展と生活の質の向上を実現することを目指すものづくりのことである。その基本的な要件は、資源や原材料の調達、開発・製造とその使用、及び再利用・リサイクル・処分の一連の製品ライフサイクルプロセス全体を通して、「エネルギー利用ミニマム」、「資源の採取・投入ミニマム」、「環境負荷ミニマム」を実現することであり、これら3つの制約条件を逆手にとって、グローバルな経済的競争力の向上、社会的な安心・安全、さらに、生活の質向上に資する新しい意義や付加価値を生み出す技術分野である」[2]と定義されている。

これはまさに、1996年からインバース・マニュファクチャリングフォーラムが提唱している「インバース・マニュファクチャリング」の定義、すなわち、「地球環境問題に対する製造業の在り方の再検討を目的とした、資源・エネルギー使用量、廃棄物、および、環境負荷を製品ライフサイクル全体を通じて最少化するような循環型製品ライフサイクル・システムの実現」[3]の、持続可能性(サステナビリティ)の文脈における再解釈に他ならない。「持続可能性(サステナビリティ)」が具体的にどのような状態を指し示すのかについては科学的にコンセンサスが得られてはいないが、少なくとも、資源・エネルギーを含めた環境面、経済面、社会的公平性を含む社会面の三側面(いわゆる、トリプルボトムライン)を含むこと世界的に合意されていると見て良い。すなわち、サステナブル・マニュファクチャリングのロードマップ策定というミッションは、個別要素技術の開発指針の策定もさることながら、これら三側面を中心に長期視点から我が国のものづくりの在り方を再検討するという極めて大きな課題なのである。

以上の背景の下、本WGは、サステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップの一分野である、設計・製造・加工分野において技術戦略マップを作成することを目的として活動を行った(図1.1参

照)。本 WG では、設計・生産・加工分野のサステナブル・マニュファクチャリングを、「我が国の持続可能社会実現に貢献し、同時に、産業競争力のある製造業(主として組立産業)を実現すること」として、広義の設計・生産・加工分野を対象とすることとした。なお、本年度は初年度ということで、導入シナリオ、技術マップ、ロードマップの三点セットについて詳細で完璧なものを作成できるとは考えておらず、対象範囲の確定を含めて基本的なフレームワークは確定し、詳細部分は次年度以降逐次、具体化、修正更新することとした。

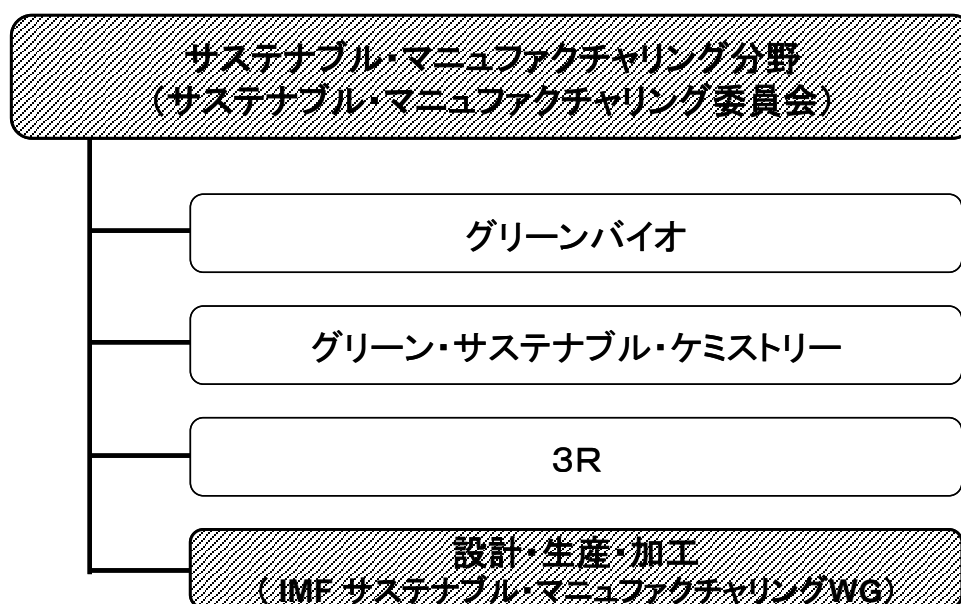


図 1.1 サステナブル・マニュファクチャリング 技術戦略マップ開発体制

設計・生産・加工分野の技術戦略マップを作成するにあたり、本 WG では以下のような方針を取ることにした。

1. 1 シーズ指向ではなく、ビジョン主導

半導体のロードマップに代表されるように、技術戦略マップは一般に、シーズ技術の発展、展開を描くものであり、実際、シーズ技術を中心に描く方がロードマップを描きやすい。しかし、本報告書で述べる広義の設計・生産・加工分野では、幾つかのシーズ技術の発展、展開によって「サステナブル・マニュファクチャリング」が実現できるわけではない。むしろ、「サステナブル・マニュファクチャリング」が何を意味するのか、社会、法制度、経済、国際関係との関係性の中でその具体像とニーズを明確にした上で、種々のシーズ技術を特定、体系化し、ロードマップに展開する必要がある。そこで本 WG では、まず設計・生産・加工分野に関わるサステナブル・マニュファクチャリングの将来シナリオを作成し、そこからロードマップを展開することとした。このアプローチは、一般化出来れば、シーズ指向のロードマップよりもむしろ、将来ビジョンから必要な技術、非技術的課題を明確化し、ロードマップを作成する必要性が高い 3R 分野、ロボット分野などでも活用可能になると考えられる。

1. 2 2025年サステナブル・マニュファクチャリングシナリオの作成

上記の考え方に基づく、サステナブル・マニュファクチャリングの将来シナリオの時間設定として、本年度は2025年を設定した。サステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップの時間尺度は2050年までであるが、長期シナリオは往々にして「夢」技術を含む不確実なものになるため、ここでは、中間点として、現在から20年弱であり、ある程度確実性を持って見通せるという意味で2025年を設定した。ここでは、2025年までは、大変革(例えば、バイオエネルギーによって我が国のエネルギーが全て賄える)は起きず、現状からの連続的な変化によって到達するであろう社会を想定した。

1. 3 メゾレベルの技術開発戦略

1.1節にも関連するが、ものづくりの在り方自体の変革を指向するサステナブル・マニュファクチャリングにおいては、図1.2の「Meso」レベルの技術が鍵を握っている。従来のシーズ指向の発想は、気候変動への対応といったマクロレベルの課題に対して、マイクロレベルのシーズ技術(例えば、燃料電池技術)によって問題解決できると想定していたが、実はそうではなく、個々の要素技術を組合せて、社会システムの中でこれらの要素技術を展開し、問題を解決するメゾレベルの技術、別の言い方をすればシステム化技術こそが鍵を握っているのである。燃料電池の例で言えば、水素製造技術、水素を安全に輸送する技術、燃料電池のメンテナンス技術、オペレーション技術、廃棄・リサイクル技術、多数の燃料電池をグリッドに接続したときの電力安定供給技術、化石燃料中心の現状の社会システムから水素社会へのスムーズな転換などが相当する。

これらメゾ技術は、シーズ技術に比べて具体的に見えにくい、直接的な効果が見えにくいという課題がある。また、技術と非技術領域の境界が極めて不明確であり、両者を総合化して問題解決を図る必要がある。このために、本WGではシナリオを作成することにより効果を明示した上で、ロードマップに展開するアプローチを取ったのであるが、この点については、技術戦略マップであるので、「技術」課題を中心に取り上げ、極力、具体的な技術課題に展開するように努めることにする。

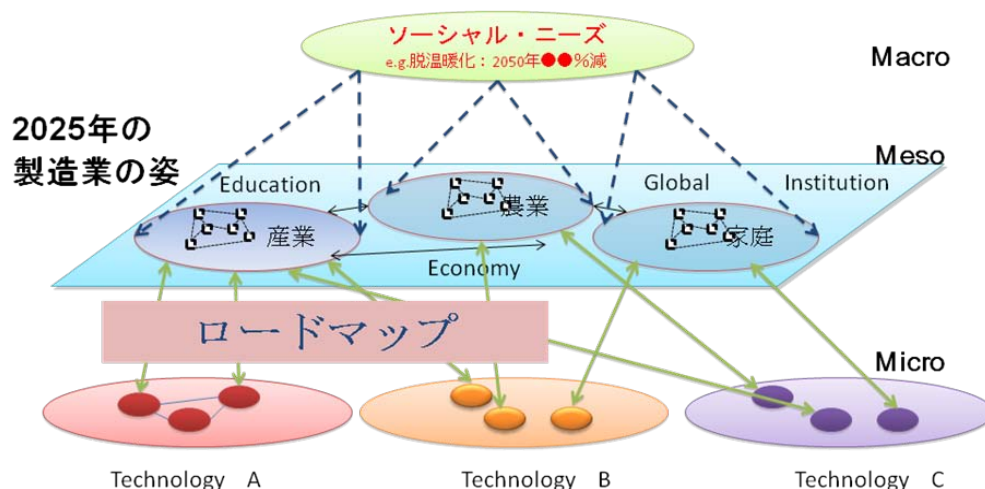


図1.2 サステナブル・マニュファクチャリングの基本構造

2. 技術戦略マップの導出方法と構成

2. 1 作成の基本方針

第1章に述べたように、WGでは次のような考え方にに基づき技術マップの作成作業を行った。

- ① シナリオ主導の技術マップとしたい。
- ② NEDO 委託のサステナブル・マニュファクチャリング委員会（図 1.1 参照）とものづくり戦略技術マップ委員会【資料A-1】には、ある程度具体的な要素技術レベルのマップを報告すべきである。
- ③ そのためにはシナリオを最初に考えつつも、要素技術とシナリオを繋ぐものとして、一般的な分類項目ではなく、中長期的な観点で、どのようなアプローチに基づき、シナリオに描かれた社会を実現するかを考え、技術課題を構造化する。

上記の考え方にに基づき、技術戦略マップの検討を進めた結果、サステナブル・マニュファクチャリング技術はいくつかのカテゴリーに大別できると考えるにいたった。その経緯は以下のとおりである。

先ず昨年度のものづくり戦略技術マップ委員会の検討結果として、サステナブル・マニュファクチャリングが、ものづくりのサステナビリティを高める技術群と、社会のサステナビリティを高める技術群とに大別できるとの考え方が提示された。これについては異論を差し挟むものではない。

前者の「ものづくりのサステナビリティを高める技術群」を詳細に検討すると、その中には、製造における環境負荷、エネルギー消費などを削減する様々な技術、つまり省エネ技術としての長い研究開発の歴史を持った技術が含まれる。これらは、環境負荷の低減、エネルギー消費の削減、資源使用量の削減のいずれかまたは複数に貢献することが明らかな技術群である。一方で、直接的に環境負荷の低減、エネルギー消費の削減、資源使用量の削減に貢献するというよりも、製品のライフサイクル戦略を最適化することで、全体系として上記の効果を得るための技術群がある。

一方、後者の「社会のサステナビリティを高める技術群」には、一般にはマニュファクチャリングという言葉の範疇でない様々な技術が含まれると考えられる。例えば、製品においてメンテナンスなどのサービスと一体で提供したり、レンタルという形態をとったりすることは適切に行えば、サステナビリティに資する。こういった技術はこれまでのロードマップ作りではあまり深く検討されてこなかったが、製品設計という要素を含むことから、サステナブル・マニュファクチャリング（設計、製造、加工分野）で取り扱うことが不自然でない。さらに、社会そのものが長期間持続し得るかという観点では、技能の体系化、見える化、安全・安心に係る一連の技術も忘れることはできない。

検討に当たってWGでは、これまでシナリオ主導である旨を強調してきたとおり、最初に2025年を想定したサステナブル・マニュファクチャリングシナリオを策定し、その後シナリオ実現のためにマニュファクチャリングに必要な機能を抽出した。次に、抽出した機能を、「も

のづくりのサステナビリティを高める技術群」か「社会のサステナビリティを高める技術群」か、という2つの観点で大別した。また、前者では個別的か全体戦略的かの観点、後者では社会の長期的持続という観点を別立てにし、4つの基本的な方向性（技術の目的と呼ぶ）を定めて、これを技術マップの大分類とした。さらに、これらの方向性を実現するために必要な方法論の観点から、9つの技術分類を定めて、この技術分類をマップにおける中分類とした。最後に、通常の技術マップの小分類と要素技術に相当するものをリストアップし、当てはまる大分類（技術の目的）、中分類（技術分類）に分類した。技術戦略マップの全体構成について次の2. 2節、技術マップを作成するにあたっての手順、分類などの方針について2. 3節に記載する。また、2. 4節に技術ロードマップの作成方針を記載する。ロードマップの導入シナリオ及びロードマップ本体は、4つの技術の方向性別に第3章に記述する。

なお、本技術戦略マップは、設計・製造・加工に関するサステナブル・マニュファクチャリングということもあって、3R分野の技術戦略マップと重複する部分が多い。要素技術としての、具体的なリサイクル技術、処理、分離技術などは既に3R分野において検討されているため、ここでは敢えて取り上げないこととした。これらの技術については3R分野の技術戦略マップを参照していただきたい。

2. 2 技術マップの基本構成

(1) 全体構成

前節に記したとおり、今回作成した技術マップは、2025年のサステナブル・マニュファクチャリングシナリオの策定、技術の目的・機能を抽出して4つの方向に大別、9つの技術分類の検討、要素技術の抽出と分類という順番で行った。4つの方向、9つの技術分類についての説明は次節以降に記載するが、ここでは検討の流れを含む技術マップの全体構成を図2. 1に示す。

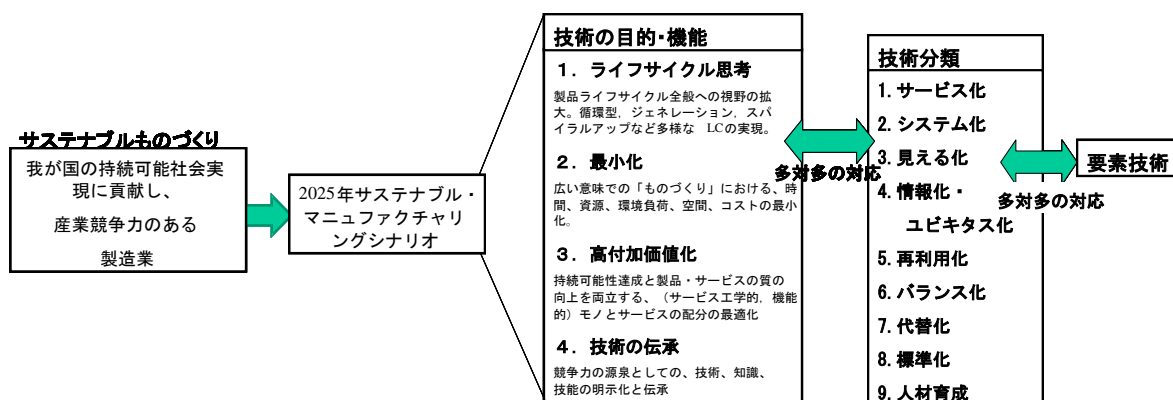


図2. 1 サステナブル・マニュファクチャリングロードマップの全体構成

(2) 2025 年のサステナブル・マニュファクチャリングシナリオ

①シナリオの実現に重要な影響を持つと考えられるファクター

まず、シナリオを作成するにあたり、サステナブル・マニュファクチャリングに重要な影響を持つと考えられる要因を抽出し、これらを以下のように、ほぼ確からしい要因と動向が不明でシナリオの行方を左右する要因に分類した。

a. 2025 年まではほぼ確からしい要因：

- 日本の人口減少、高齢化の急速な進展
- 人材の質の低下
- 情報化社会の爆発的進展（非常に多くの工業製品が IT 化）
- グローバル化の進展（アジア循環経済圏へ完全に組み込まれる。資源確保）
- 地球の持続可能性を脅かす課題の増大
- 低成長経済
- 経済規模では、中国、インドに抜かれる
- 国境の壁（人、資源、資本、・・・）は徐々に下がって行く

b. シナリオの行方を左右する要因：

- 持続可能性達成に向けて必要なアクションと経済性のベクトルをどの程度揃えることができるか？（外部経済の内部化の進展、例：より安い製品がより環境調和性が高い）
- 消費者行動が環境調和性をどこまで加味したものとなるか？（総論賛成各論反対から生活にとけ込んだ環境調和行動へ）
- 所有から利用への拡大（サービス化）がどこまで進展するか？
- 産業構造の変化
- 省エネ技術等の先進技術の外国への輸出は競争力になるのか？（競争力につなげられるのか？）
- エネルギー資源の動向。例えば、再生可能エネルギーがどの程度一般化するか？

②2025 年シナリオ

a. 全般的な状況

地球温暖化問題に伴う化石エネルギー使用抑制の努力にも関わらず、中国、インドなどの経済発展に伴い、世界の一次エネルギー需要は 2000 年の 1.4 倍に達している。これらのエネルギー供給の一部を担うと期待される再生可能エネルギーについては、技術開発も進み、着実にその比率を高めているが、劇的に増加するまでには至らない。2050 年に向けた CO2 削減の数値目標は主要排出国を含んで合意されている。これに伴い、日本の排出量削減目標も設定される。（2000 年比 60～70%減）。2000 年比 4 倍の環境効率（生産物の価値／環境負荷）

を可能とする製品設計、生産技術がすでに実現しているが、全産業分野に普及するには至っていないため、日本における CO2 排出量の削減目標は、人口減少、産業の海外流出、製造業を中心とした各産業のリーン化、製品のリデュース・省エネ化、排出権取引、炭素税、CO2 貯蔵の組み合わせにより達成される。しかし、この頃には資源の枯渇の問題が緊急性を増しており、2050 年の低炭素社会を目指して、技術の積み上げでない新たな生活様式の確立も含めたパラダイムシフトが求められている。

b. 設計開発に関して

例えば、自動車、電機電子機器などでは、製品同士はネットワーク化され、故障診断、メンテナンス・修理要求の自動発信、故障時の相互機能補完などを可能とする製品が登場する。

設計段階からの部品／製品リデュースが大きく進むとともに、寿命・品質管理技術、検査技術、リサイクル技術などの要素技術が進展し、ライフサイクル設計において合理的なライフサイクル・オプションが選択され、実施されるようになる。製造、メンテナンス、修理、End of Life を含めたライフサイクル設計技術が実用化され、これを可能とする製品ライフサイクルの可視化技術が進展する。持続可能社会シミュレーションが研究、実践面で定着しており、国内的には高度なライフサイクル設計+評価+マネジメントシステムが確立されるが、対アジアへの普及推進、国境を越えた高度なライフサイクル設計+評価+マネジメントシステムの確立の点で課題を残している。

国際市場・国際競争に関して日本では 2015-2025 の間の低成長経済が続いた結果、経済規模では、中国、インドに抜かれ GDP 比で世界の 4%程度になる。中国の製造業の技術力は飛躍的に向上し、潤沢な資金を元に、最新の研究開発、生産設備を投入し、中国全土だけでなく、北米、欧州マーケットへと次々と新製品を投入する。電気電子製品のなかでも成熟したカテゴリーでは、北米での中国ブランドは不動のものとなる。日本の電気電子製品製造業においては特化した分野をもたない企業は中国との競争のもと再編の波にのまれるが、いくつかの製品に関しては、環境関連コア技術を持つ日本企業も生き残る。こうした企業は、世界的なブランドを更に強固のものとし、メイドインジャパンの強さを見せている。また、省エネ技術、CO2 削減技術、CO2 貯蔵技術、再生可能エネルギー技術では依然として日本が優位に立つ。また日本の製造業の海外進出については 2025 年頃をピークに飽和し、国内回帰の動きが強くなる。

新規開発される製品のうちハイエンド品については、部品の製造履歴、使用履歴などを可視化する技術が導入され、トレーサビリティが確保されている。ただし、旧製品、ローエンド品なども含めて全ての製品で安全・安心が確保されるにはいたっていない。

c. 生産

生産においては、需要に応じて柔軟に再構成可能な生産システムが開発、一部実用化が始まり、エネルギー制約、環境制約の打破に貢献し始める。また、最小（エネルギー、設備、

資源、コスト)での生産の考え方は多くの生産現場で導入が検討されている。ただしシステムとして導入済みの分野は限られる。

また、リサイクル材料の価格がバージン材料に比べて相対的に下がり、マテリアルリサイクル技術そのものも高度化されたため、バージン材料由来に遜色の無いリサイクル材料を利用した生産が増加することになる。経済的なリーン化のみならず、資源的、エネルギー的な面でもリーン化のための要素技術、システム化技術が進展し、この分野では我が国の製造業が依然として優位に立っている。また、工作機械などの生産財の生産に関しては、引き続き日本の製造業が優位を保っている。

世界における位置づけとして、素材産業については一般的な素材では中国、インドなどの価格競争に勝てないが、高度な回収技術、特殊な物性を持つ材料製造、リサイクル材料からの高品質な素材製造などに注力した結果、現状程度の産業規模を維持する。

生産時における REACH 等の化学物質の環境リスク課題は一段落しており、ライフサイクルマネジメントの一部として粛々と運用されている。

d. 使用（物流・流通、生活）

輸送業者によるアSEMBルによる製造・輸送の統合化、ロジスティックとリサイクル/リユースビジネスの融合が起こる。大規模物流に関しては、風力などを併用した新型船の利用が盛んになり、空輸は限定されたものとなる。

このころになると、持続可能性達成に向けて必要なアクションと経済性のベクトルはある程度揃ってくる。製品の品質、作り方などを含めた広義の環境配慮性を最優先の購買要件とする層がすでに増えている。外部経済の内部化の進展（例えば、より環境調和性が高い製品がより低価格になる）が進んでいることにもよる。オフィスユース製品では、所有から利用への拡大が大きく進展する。

リユース、リサイクルが経済的にも有利になる社会の到来に伴い、社会インフラにおいても100年もつことは常識で、200年以上も活用し続けることができるものが競争力を持つストック型社会へと転換する。この傾向はインフラから一般の製品にも徐々に拡大しつつあり、国内の工場は、高度なカスタマーサービス（オンデマンドな製品の修理、メンテナンス）に活路を見出す。

日本の人口減少が進むとともに高齢化が急速に進展している。この点を補完するためノウハウの体系化、ソフトウェア化に支援された自動化ブームがおきるが、全ての作業が置き換えられるわけではなく、サービス業、ソフトウェア産業を中心により多くの労働力が海外から導入される。この動きは単純労働力のみでなく、企画、開発、設計などの中核人材にも及ぶ。また、労働人口減少に関連した人材やアクティブシニア産業、所得二極化によるコンシェルジュ産業、個人主義台頭に関連したライフデザイン産業等が新しい産業として拡大する。

データセンターの移転、分散、調達先の分散などリスクマネージメントの一環としての地震対策が進んでおり、201X年に発生した大地震に対してもある程度の対応が可能であった。

一方、災害復興を契機として、コンパクトシティ構想パイロットPJが実行に移されることとなった。また、地震以外にも、地球温暖化に関係すると言われる大規模台風による災害、広範囲の感染症などに対するリスクマネジメントも完全とは言えないが進みつつある。街中では自動販売機にセンサをつけて、子供が通ったかなどを見守るなど、メディアの延長線上として「シティメディア」が成立している。このような技術の進展で、日本の社会生活における安全・安心は順調に進展している。それが吸引力となって、アジア富裕層、高学歴層の日本への投資、移住が増加をみせている。ただし、国内における格差の拡大傾向はあまり改善されず、こうした生活上の安全・安心を享受できない層への対策が問題として顕在化している。

e. 使用後

石油価格の高騰から、メーカによるリユース、リサイクルなどのライフサイクル思考が経済のメカニズムに組み込まれ経営戦略となるとともに、より広範な循環型ビジネスモデルが成立し得るようになってきている。リサイクル原材料については地域ベースでのサードパーティによるマテリアルリサイクル、輸出、輸入、など様々な選択肢が登場し、解体された部品、回収された材料などは都市鉱山として争奪戦の対象となる。ただし、基本的には自国で利用した廃電子電気機器を戦略的に自国内でリサイクルする方針が採られるようになる。一旦は製品としての再利用を含めたグローバル循環が進んだが、発展途上国における再利用需要の減少とレアアース、レアメタルの確保戦略もあり、国外でのリユース需要については2015年頃をピークに減少に転じた。またリサイクル用途としての輸出も2020年ごろをピークに減少傾向にある。

枯渇資源、レアメタル、レアアースについては、依然として代替材料開発競争が続けられている。開発の結果、技術的には解決される素材もあるが、新素材の開発とともに、新たなレアアース、レアメタルが必要となる状況は変わらず、地球上における物質分布の偏在も変わらないため、基本的にはモグラ叩き競争となる。

③2050年シナリオのためのキーワード

- 80%削減には到達しないが、CO₂を数十%削減した「準低炭素社会」は実現する。
- 環境調和性に関して外部経済の内部化が進み、ものの値段はその環境負荷に比例したものとなる。
- 日本のGDPは2025年頃をピークに減少に転じる。エネルギーのオンサイト生産、食料等の自給自足化、ヒューマノイドによるサービスなどが進展し、モノやサービスなどの流通量が激減するからである。
- エネルギー資源を除く資源については、資源循環システムが機能し、生産に必要な資源を確保する目処がついた。
- 石油資源は高価となり、その使用は、エネルギー源、プラスチックの原料ともに特殊用

途に限られる。再生可能エネルギーの使用が伸び、原子力発電の規模は現状+ α となる一方で、エネルギー消費量は2000年比で30%削減された。

- 地方都市においては中心部の便利な地区に、適当な密度で超長寿命住宅が整備された。これにより、生活が便利で物流なども効率的に行えるコンパクトシティが完成された。
- 大都市では、農業や林業などの一次産業は、都市から少し離れた郊外に新しくできた田園都市において行われるようになった。このように中央の都市、田園都市、地方都市とは役割分担が明確に分けられることとなった。
- 自然な人口減で2050年の日本の人口は8000万人まで減少し、主要食料に関しては自給自足ができるような規模まで縮小した。
- 製造業だけでなくサービス業でもロボットが人間の労働を代替できるようになった。
- 日本の住宅の1/3は分散型のオンサイト発電を用いたゼロエネルギーハウスになり、大規模発電はバックアップ用になり、地域分散型で電力を融通するようになる。
- 電力会社は、家庭や事業所で余っている電気をかき集めて、小売をすることがメインのビジネスになる。
- 中国が技術でほぼ日本に追いつき、一部の産業では日本は追い越されてしまった。日本の産業は空洞化し市場だけになるかと思われたが、しかし、折からの鉱物資源とエネルギーの超高騰により、製造業の国際的な分業は2025年頃をピークに減少に転じミニマムに押さえられるように逆戻りした。
- これにより、日本においても自国内で消費するためのモノは基本的に自国内で作るスタイルが復活した。
- センシングと通信の組み合わせできわめて信頼性が高く、また精密な交通管制システムが実現する。
- 表面的には20世紀初頭のようなどかな景色が部分的に復活する。
- 上記の生活環境を好むアジア富裕層などの移住が盛んになり、人口減少を一部補填することとなる。
- 富裕層を中心にヒューマノイド型ロボットが普及するとともに、ロボット向けクリニック、葬式などを含む擬似市民としての扱いがなされるようになる。

(3) 技術の目的・機能

“何を目的とし、サステナブル・マニュファクチャリングにおけるどのような機能が実現されるべきか”をシナリオから抜き書きして記述し、その結果から以下の4つの基本的な技術の方向性を抽出した。この4つの方向性はサステナブル・マニュファクチャリングの目的を示しており、要素技術をリストアップして技術マップを作成する際に大分類に相当する項目となる。これら4つの方向性は目的に重きをおいたもの、すなわち、高付加価値化、最小化、と、実現方策に重きをおいたもの、すなわち、ライフサイクル思考、技術の伝承、に分類することができ、これらの技術をバランス良く進展させることにより、設計・製造・加工分野

のサステナブル・マニュファクチャリングが実現できると考えている。

① ライフサイクル思考（製品ライフサイクル全般への視野の拡大。循環型、ジェネレーション、スパイラルアップなど多様な LC の実現）

- ・ 設計段階からの部品／製品リデュース
- ・ ライフサイクル設計における合理的なライフサイクル・オプション選択
- ・ 持続可能社会シミュレーション
- ・ 国内的に高度なライフサイクル設計＋評価＋マネジメントシステム
- ・ 化学物質などの環境リスクのライフサイクルマネジメント
- ・ リユース、リサイクルなどの LC 思考に基づく経営戦略
- ・ 自国で利用した廃電子電気機器の戦略的自国内でのリサイクル
- ・ グローバルリユースの適正化（2015）、グローバルリサイクルの適正化（2020）

② 最小化，ミニマル化（広い意味での「ものづくり」における、時間、資源、環境負荷、空間、コストの最小化）

- ・ 製品における 2000 年比 4 倍以上の環境効率（製品価値／環境負荷）
- ・ 柔軟に再構成可能な生産システム
- ・ 最小（エネルギー、設備、資源、コスト）での生産の考え方
- ・ 各産業のリーン化、製品のリデュース・省エネ化
- ・ 高度な回収技術、特殊な物性を持つ材料製造、リサイクル材料からの高品質な素材製造
- ・ 高度なカスタマーサービス（製品の修理、メンテナンス）
- ・ レアメタル、レアアースの代替材料開発

③ 高付加価値化（持続可能性達成と製品・サービスの質の向上を両立する、モノとサービスの配分の最適化）

- ・ 製品における故障診断、メンテナンス・修理要求の自動発信、故障時の相互機能補完
- ・ 日本メーカーにおける（環境技術に関連した）コア技術、強いブランド力
- ・ 部品／製品の製造履歴、使用履歴などを可視化する技術
- ・ 物流加工・組立の集中化による製造・輸送の統合化、ロジスティックとリサイクル／リユースビジネスの統合化
- ・ コンシェルジュ産業、ライフデザイン産業等の新しい産業
- ・ 移転、分散、調達先の分散などリスクマネジメントの一環としての地震対策
- ・ コンパクトシティ構想
- ・ メディアの延長線上として「シティメディア」

- ・ 循環型ビジネスモデル
- ・ オフィスユース製品における所有から利用への拡大

④ 技術の伝承（競争力の源泉としての、技術、知識、技能の明示化と伝承）

- ・ ノウハウの体系化、ソフトウェア化に支援された自動化
- ・ サービス業、ソフトウェア産業を中心としたより多くの労働力の海外からの導入
- ・ 労働人口減少に関連した人材産業、アクティブシニア産業

（４）技術分野

各要素技術を、“どのようなアプローチからサステナブル・マニュファクチャリングに貢献するか”という観点から、以下の技術分野で分類した。その上で、これら技術分野を中分類として、リストアップした要素技術に関する技術マップの作成を行った。ただし、中分類に相当する技術分類は、大分類に相当する技術の目的・機能の４つの方向性のいずれかに単純に分類されるものではないことを付記しておく。

①システム化

メゾレベルのより広い視点から、要素技術の総合化、統合化を行うことによってサステナビリティを実現しようとするもの。

②サービス化

もので実現してきた機能をソフトウェアや IT 技術、人手を用いて実現することにより、よりきめ細かなサービスを提供すると同時に、サステナビリティを実現しようとするもの。

③見える化

ライフサイクル、製品、プロセス、材料などの技術情報を獲得、明示することで、システム化、最適化、改善の対象とすることにより、サステナビリティを実現しようとするもの。

④情報化

ライフサイクル、製品、プロセス、材料などを明示化、定量化して伝達可能な情報とすることにより、サステナブル・マニュファクチャリング実現のためのキーファクターを明らかにし、サステナビリティを実現しようとするもの。

⑤再利用化

使用済みの材料、製品などを再利用することにより、サステナビリティを実現しようとするもの。

⑥代替化

材料、プロセスをより環境配慮性の高いもので置き換えることによりサステナビリティを実現しようとするもの。

⑦バランス化

エネルギーや資源の使用などを、空間的、時間的に適切に配分することにより全体系としてのサステナビリティを実現しようとするもの。

⑧標準化

主として規格を定めたり、部品などを共通化し、間接的に上記の再利用化、バランス化に寄与することでサステナビリティを実現しようとするもの。

⑨人材育成

他の項目とは性質が異なるが、質の高い人材を育成したり、少子化、高齢化に起因する労働力の不足を緩和し、生活の質を維持、向上しようとするもの。

(5) 重点化評価項目

技術マップにおいて抽出された各技術項目はいずれも不可欠であり、官民の一体的取組みまたは民間の主体的な取組みによって積極的な開発が望まれるが、いくつかの観点から重要技術として評価されるものを抽出する作業を行った。その際、本分野における重点化評価項目としてあげたものは次の6項目である。

① 直接的に地球環境問題に貢献しうるかどうかの観点

エネルギー（制約の打破に寄与）

資源（制約の打破に寄与）

環境（制約の打破に寄与）

② 競争力強化や生活の質の向上に貢献しうるかどうかの観点

高付加価値化（に貢献）

生活の質（の向上に貢献）

③ 社会そのものの持続可能性に貢献しうるかどうかの観点

技術の伝承（に貢献）

2. 3 サステナブル・マニュファクチャリング技術マップの作成方針

技術マップの作成に当たって、その基本構成は固まり、前節までに作成の経緯を記述した。次の作業として、小分類となる要素技術と、可能なものについてはその先の個別技術の例を抽出する必要がある。抽出にあたっては、本技術マップに先行するものづくり戦略技術マップ委員会において「サステナブル・マニュファクチャリング」に属するものとして抽出された要素技術、産業技術総合研究所など比較的詳細に中長期計画を策定している研究機関の将来ビジョン、既存の技術ロードマップ、などから抽出し、さらに各委員が重要と考える要素技術を分類に囚われずに加えて行った。その上で、各要素技術に、4つの技術の方向性（大分類）、9つの技術分類（中分類）をラベリングした。この時点ではラベルは一つに限定しなかったため、一つの要素技術が複数の技術の方向性、技術分類に重複して出現することとなった。このことは実は本WGで主張したいことでもあり、多くの技術の方向性に共通する基

盤的技術を洗い出す意図があった。しかしながら、時間的な制約もあり、これらの多対多対応を一つの技術マップに表現することは出来なかった。この点について次年度以降の課題としたい。

抽出した要素技術を実際に技術マップとして表現するに当たっては、各要素技術に貼ったラベルのうち、技術の方向性、技術分類ともに、もっともふさわしいと考えられる一つを残し、それに基づいて再度分類をした。これにより、各要素技術は1つの技術の方向性、一つの技術分類に分類されることになる。以上に基づいてマップ素案を作成した後、要素技術の粒度を揃えるため、小分類として抽出した技術（群）、要素技術例として抽出した技術を一旦同一平面に並べた後、小分類と要素技術例にレベル分けし直した。

2. 4 サステナブル・マニュファクチャリング技術ロードマップの作成方針

技術マップに示した重要技術ごとに、研究開発により達成されるべき事項を時間軸に示した。サステナブル・マニュファクチャリングの設計、製造、加工分野においては、分野の性質上（例えば半導体分野のように）開発スペックを時間軸上に数値で表すことは難しい。むしろ、そのようなスペックの向上ではなく、様々なトレードオフを考慮した横断的、総合的取組みが必要という主張である。従って開発目標のマイルストーンを定量的に示すことは行わず、定性的な開発目標を時間軸上に示している。

ロードマップの作成にあたっては、事前調査、基礎開発の期間、本格開発の期間、実用化に向けての技術移転の期間、をそれぞれ図示することを試みた。当然、技術の性質、内容により、これらの立ち上がり、継続、立ち下がり部分の形状は異なり、技術によっては既に本格開発が開始されているものもあるが、本格開発の開始がかなり先になるものもあろう。また、この分野ではシーズ指向で技術の抽出を行っていないため、現在ないし近未来には重要でも、2025年には実用化が終了し、開発の重要性が無くなる技術、逆に将来的に重要だが、現段階でのプロジェクト化は時期尚早である技術などをロードマップ中に表現することを試みている。また、長期にわたり継続的に開発を続けることが必要な基盤技術もあり、これらもリストアップした。

3. 技術戦略マップ

本章では、作成した設計・製造・加工分野の技術戦略マップを示す。まず、3. 1で導入シナリオを示し、3. 2～3. 5で4つの基本的な方向性、すなわち、ライフサイクル思考、最小化、高付加価値化、技術の伝承、ごとに技術マップとロードマップを示す。最後に、3. 6で技術課題を評価することにより抽出した重要課題を示す。

3. 1 導入シナリオ

(1) 設計、製造、加工分野の目標と将来実現する社会像

現在、設計、製造、加工分野においてもサステナビリティが求められていることは言うまでも無い。サステナブル・マニュファクチャリングという技術体系において特徴的なことは、現状の技術の単純かつ無批判な進展のみでは社会的な要請に対応できず、サステナビリティが達成できそうもないという点である。従って、サステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップ策定作業とは目標となる未来像を定めた後に、そこへ至る道筋を描く作業となる。

いまサステナブルな設計、製造、加工（サステナブルマニュファクチャリング）を考えたときに、その進展は、2015年頃を境にそれ以前の近未来とそれ以降の将来とで二つに分けられるものと考えた。

2015年までの近未来では各個別研究主体（大学、公的研究機関、企業等）による要素技術の研究開発と成果の実用化を既存の枠組みのなかで進めることでサステナブル・マニュファクチャリングの進展を図ることができよう。

その後、2025年ないし2030年を見据えたサステナブル・マニュファクチャリングの一層の発展には、要素技術の個別開発での限界が明らかになり、大規模な社会実装、システム構築、データベース活用などの必要性が高まり、要素技術の更なる技術開発に加えて、主として社会科学的な開発プロジェクト導入などが効果を発揮するものと思われる。

その結果として、2025年ないし2030年に実現する社会の全体像としてはすでに2. 2節(2)2025年サステナブル・マニュファクチャリングシナリオに示したとおりである。シナリオに描かれた社会や産業状況の実現に向けて、設計、製造、加工分野では「ライフサイクル思考」、「最小化」、「高付加価値化」、「技術の伝承」の4つの方向性を重点的に追求して行く必要があるのはこれまで述べてきたとおりであるが、この方向性を具体的な研究開発の取組みとしてどのように時間展開して行くべきかを考えなくてはならない。この時間展開を含むものが技術戦略マップであるが、各方向性に関する詳細な技術戦略マップ本体に先立って、おおまかな研究開発の取組みや、研究開発を促進するための関連施策をどのように展開して行くかを含む導入シナリオの作成を試みた。

(2) 研究開発の取組み

前項のとおり設計、製造、加工分野におけるサステナブル・マニュファクチャリング実現

には、以下の視点での研究開発が必要とされる。

① ライフサイクル思考

製品ライフサイクル全般に視野を拡大し、様々なタイプの循環生産を実現するのに必要な要素技術と全体システムを評価／構築するのに必要な事項として、ライフサイクル設計関連の技術とプロダクトモデリングによるシミュレーションや将来社会の実現可能性評価ツールとしての持続可能社会シナリオシミュレータの開発が必要である。

② 最小化

ものづくりにおいて、時間、空間、資源、コスト、環境負荷などの最小化などに関して、リサイクル材の利用体制や需要に合わせたオンデマンド生産などに関する技術開発が必要である。高付加価値化

③ 高付加価値化

持続可能性達成と製品・サービスの質的向上とを両立するモノとサービスの配分の最適化として、製品価値、サービス価値の可視化とトレーサビリティの確保のための技術開発を行う。

④ 技術の伝承

競争力の源泉としての技術、知識、技能などの明示化と伝承のために、技能・知識のデジタル化、形式知化を進める必要がある。

(3) 関連施策の取組み

近未来（～2015）においては、既存の枠組みを有効に活用することでサステナブル・マニュファクチャリングの進展を支えることができる。しかし、その先 2025～30 年、さらには 2050 年のサステナブルな社会の実現に向けては、製品ライフサイクルデータベースの活用や企業や業界団体の自主行動計画の拡大、商業ベースでのグローバル循環システムの構築／運用などだけでなく、法整備、規制などの外部条件の整備による方向付けも必要となろう。それぞれのカテゴリーにおいて以下の施策、取組みが必要となる可能性が高い。

〔規制・制度改革〕

2015 年頃まで

- ・環境基本法、循環型社会形成基本法をはじめとする現行の法体系の下でグリーン購入法、家電リサイクル法などの政令、省令等で定める事項の見直しを図る。また排出権取引や環境税制などに関連する制度の可能性の検討をする。
- ・業界別自主行動計画を早急に策定し、法規制などが効果をあげはじめるまで、また革新的な新技術が実用化されるまでの「つなぎ」を行う必要がある。
- ・国内排出権取引は業界別自主行動計画同様、2012 年ないしその後の温室効果ガス削減の中間目標達成のために有効に活用される。

2025（30）年頃まで

- ・環境関係の法規制が本格的に効果をあげはじめる。法規制と、資源枯渇などに伴い、

環境コストなどの外部経済の内部化が進展する（環境に優しい製品が経済的に有利になる。）

- ・上記に伴い、環境に配慮した消費行動が誘導されるようになる。

〔規準／標準化〕

- ・環境 JIS の策定促進アクションプログラム（H17 年 3 月改訂）を推進し、次期計画の策定、実施を行う。

〔国際標準化〕

- ・環境関連国際規格の策定を促進する。環境適合設計（ISO）、環境会計（ISO）、電気電子機器の環境配慮設計（IEC）、「生産システムにおける環境負荷評価法」（ISO/TC184/SC5）などにおいて、部品共通化／交換容易化設計、製品解体手法、リサイクルマークなどの国際標準化を進める。

〔広報・啓発〕

2015 年頃まで

- ・「家庭」からの温暖化ガス排出が増えている状況も鑑み、環境に優しい消費行動の誘導が重要な要素となる。そのために、省エネマーク、環境ラベルにおいては定量的な評価結果に基づくラベリング（所謂 Type3 のエコラベル）を普及推進する必要がある。
- ・2015 年ごろまでエコラベルなどに含まれる環境関連情報を素早く、簡単に、消費者に提供する技術の普及が望まれる。
- ・自然災害対策、情報漏えい対策などの社会の安全安心を確保する技術の本格的な実用化が進められる一方、消費者側で可能な対策が十分に周知される必要がある。

2025 年ごろまで

- ・持続可能社会評価技術を実用化し、“社会がこのまま推移すると（地球環境は）どうなるのか”という情報を広範に普及させる必要がある。
- ・製品の所有と利用とに関する環境アセスメントを可能とし、製品の様々な利用形態をオプションとして提供する必要がある。

〔人材育成〕

2015 年ごろまで

- ・2007 年問題（大量退職問題）を克服すべく、これまでに蓄積した製造に係る知識、技能のデジタル化を完了させる必要がある。
- ・2025（30）年ないしそれ以降の労働人口減少の対策として、海外とのものづくり人材の交流シナリオについて社会的な合意形成を行う必要がある。

2025（30）年頃まで

- ・（上記で合意がなされた場合）設計製造加工における中核人材の海外との相互交流を進めるとともに、体系化された知識の伝達を可能とする必要がある。
- ・また、外部からの人材も含めた環境行動の誘導、広報、普及が必要となる。

〔国際協力〕

2015 年ごろまで

- ・グローバルな製品循環ループの構築に向けて、中古品、破碎材料の輸出入に関する 2 国間、多国間の合意を形成する必要がある。
- ・2007 年現在問題となっている不適切な循環ループ解消のための社会システム整備が行われる必要がある。
- ・化学物質規制などを中心に、地域別に異なるルールではない国際的に共通の枠組みが導入される必要がある。
- ・IMS (Intelligent Manufacturing System) の枠組みで日本 EU 間でサステナブル・マニュファクチャリング等に関し 3 回の会議を実施し、全地域が参加する IMS/MTP (Manufacturing Technology Platform) プログラムへ発展した。今後具体的な関連プロジェクトの推進が期待される。

2025 年頃まで

- ・グローバルな環境を考えた資源の“地産地消”戦略への転換が進む可能性がある。(資源としてのリサイクル材料の確保など) これに対応した国内の社会システム(再)整備と国際合意の形成が必要となる。

以上をまとめると、図 3. 1 のように整理することができる。

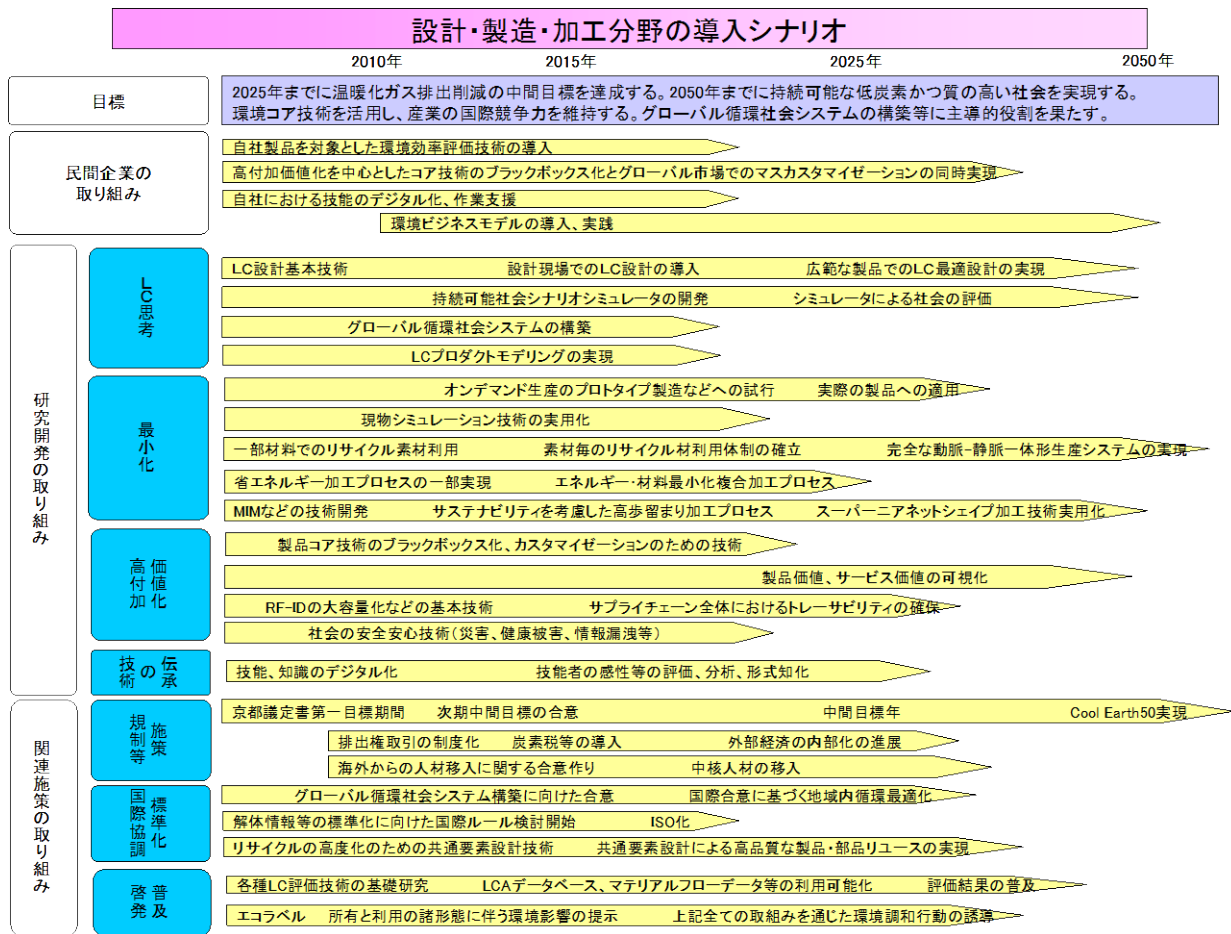


図3.1 サステナブル・マニュファクチャリング(設計・製造・加工分野)の導入シナリオ

3.2 ライフサイクル思考の技術戦略マップ

(1) 背景、考え方

「ライフサイクル思考」とは、「従来の狭義の設計・製造の視野から製品ライフサイクル全般に視野を拡大し、ライフサイクル全体での三つの制約の解決と最適性の獲得を目的とするものであり、単一のライフサイクルだけでなく、循環型、多世代間、スパイラルアップなど多様なライフサイクルの実現を含む」と定義できる。これは、第1章に述べられた「サステナブル・マニュファクチャリング」の定義の中で主要な部分を占めており、目的系(高付加価値化、最小化)と実現系(ライフサイクル思考、技術の伝承)に分けたとき、サステナブル・マニュファクチャリングの実現系の最も基本的な視点である。

「ライフサイクル思考」の基本的な課題は、製品ライフサイクル全体を対象として、設計、可視化、管理、評価が可能になることであり、これらに関連する技術を技術マップ、ロードマップとして整理した。

(2) 技術マップ

「ライフサイクル思考」の基本的な課題である、製品ライフサイクル全体の設計、可視化、管理、評価を可能にする技術を、以下の6種類にリストアップした。

「サービス化」は、製品ライフサイクルにまつわる付加サービス、ビジネスチャンスを高める技術である。ここでは、メンテナンス技術と環境調和ビジネスを設計する技術を挙げた。

「システム化」は、ライフサイクル思考のまさに中核となる技術であり、現状でバラバラとなっている製品ライフサイクルを一つのシステムとして構築するための技術である。ここでは、ライフサイクル設計、ライフサイクル管理に関連する技術を挙げた。

「見える化」も、ライフサイクル思考の中核技術であり、製品ライフサイクルを可視化し、評価するための技術を挙げた。評価としては、ライフサイクルアセスメントや環境効率だけでなく、第1章の図1. 2のメゾレベルをモデル化、評価するための持続可能社会評価技術や、サステナブル・マニュファクチャリングならではの評価技術として、品質や寿命の評価技術を挙げた。

「再利用化」は、資源を再利用して活用する技術であるが、材料リサイクル技術や廃棄物処理技術は、3R分野のロードマップで既に取り上げられているため、ここでは重複を避けるために取り上げなかった。

「標準化」は、技術開発と同時に、広く普及させ標準的に使用されることが望ましい技術である。具体的には、ライフサイクル設計を実施する際に必要な種々の要素設計技術、リデュースと長寿命化に関連する技術を挙げた。

「情報化」は、ライフサイクル全体を情報化するための技術である。ここでは、ライフサイクル全体の製品に関連する情報を一元的にモデリングするライフサイクルプロダクトモデリングに関する技術と、ライフサイクルの各プロセス（製造、使用など）において起こりうる現象、挙動をシミュレーションにより評価、予測することにより、試作を削減し、ライフサイクル全体の最適化を目指す試作最小化技術を挙げた。

(3) 技術ロードマップ

上記技術マップに示した各技術について、技術ロードマップを示す。時間軸への展開方法については、シナリオに沿った形で、2025年までに開発されている技術とそれ以降になる技術に大まかに分類した上で、ロードマップを作成した。なお、左三角形、右三角形がついておらず、全期間にわたって棒が伸びている技術（例えば、「LCA データベース、マテリアルフローデータ等の評価基礎データの収集、利用可能化」）は、技術開発を継続し続ける必要のある基礎的な重要技術を示している。

サステナブルマニュファクチャリング(設計、製造、加工分野)技術マップ:ライフサイクル思考

No.	大分類	中分類	小分類	要素技術(例)	抽出の評価軸*	サステナビリティ確保のため克服すべき制約項目					サブライチェーンの該当フェーズ又は全体最適化の区分			市場投入時期				
						エネルギー	資源	環境	生活の質	高付加価値化	技術の伝承	原料調達・原料製造	製品開発・製造・使用	再利用・リサイクル・処分	循環系のシステム化	2020年	2030年	2050年
1101	LC思考	サービス化	メンテナンス技術	余寿命診断 非破壊検査 診断修復技術 リスクベア保金技術 使用履歴管理技術 メンテナンスビジネス化	RS-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
1102			環境調和ビジネス戦略設計支援技術	環境調和ビジネス設計支援ソフトウェア技術	OT-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
1201	システム化	システム化	LC設計技術	LC戦略設計技術	OT-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○		
				ライフサイクル・シミュレーション 代替案比較分析手法	OT-2	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	
				易リサイクル設計技術	RS-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
				易リユース設計技術	RS-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
1202		リデュース設計技術	構造最適設計技術 高機能材料利用技術 再生材・再生部品利用技術															
1203		LC管理技術	ライフサイクル情報管理技術 使用履歴管理技術 現物・情報融合技術															
1204		グローバル循環設計・管理技術	グローバル循環のための設計技術	RS-3		○		○					○	○	○	○		
			グローバル循環に関わる社会システム整備	RS-3		○		○						○	○	○		
1301	LCの情報化	見える化	プロダクトのモデリング技術	新しい形状モデルの表現形式 形状モデルの属性の付加と抽出 形状モデルのデータ交換		○	○	○	○	○								
1302			現物融合技術	リバースエンジニアリング技術			○	○	○	○	○							
1401		持続可能社会評価技術	持続可能社会シナリオシミュレータ	OT全て	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○		
1402		各種ライフサイクル評価技術	LCA ライフサイクル・シミュレーション マテリアルフロー分析 安全性評価技術	OT-2	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○		
1403		環境効率評価技術	環境効率指標開発	OT-1	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○		
1404		寿命管理技術	寿命予測技術 寿命診断技術 寿命設計技術	RS-3	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○		
1405		品質保証技術	余寿命診断技術 劣化診断技術 非破壊検査技術 遠隔検査技術	OT-2	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○		
1501	再利用化	再利用化	リユースのための循環マネジメント技術	リユース部品発生予測 リユース部品在庫管理技術 リユース部品を含む生産計画技術	RS-3	○	○	○	○	○			○	○	○	○		
1502			リユースのための生産技術	部品再生・補修技術 検査技術 洗浄技術	RS-3	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	
1503			その他のリユース関連技術	詰め替えビジネス促進技術	RS-3	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○	
				詰め替えビジネス阻止技術	RS-3	○	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○
1601	標準化	標準化	共通要素設計技術	部品交換容易化設計技術 部品共通化設計技術 多世代共通化設計技術 部品長寿命化設計技術 検査容易化設計技術 洗浄容易化設計技術 易分解設計技術 モジュール化設計技術 診断容易化設計技術 メンテナンス容易化設計技術 自己診断設計技術 自己修復設計技術	OT-2	○	○	○	○	○			○	○	○	○		
1602				長寿命化技術	機能変更可能化設計技術 性能向上可能化設計技術 モジュール化設計技術 ソフトウェア更新設計 材料技術・構造技術 メンテナンス技術	RS-3	○	○	○	○	○	○			○	○	○	○

* 抽出の評価軸

- EG-1: エネルギー節約型(省エネ)の材料、生産技術
- EG-2: 大型プラント、ファクトリーからの脱却
- EG-3: 異種産業間の連携による利用最適化
- EG-4: 軽量化等利用段階のエネルギー節約型の製品開発技術
- RS-1: 希少資源の使用を減らし、ありふれた豊富な資源への代替
- RS-2: 長寿命化、材料・原料の削減等による資源利用効率の向上

- EV-1: 化石資源・燃料の効率的利用
- EV-2: 工場排出のクリーン化、有害物質排出の削減・吸収・回収
- EV-3: 自然が持つ物質生産、環境修復・再生の機能の活用
- OT-1: (異業種産業間の連携以外の)利用最適化
- OT-2: EG-1, EG-3, EG-4, RS-1, RS-2, RS-3, OT-1の同時達成
- OT-P: 生産人口の減少に対処するための生産人材・技術の高度化
- OT-S: 生活における安心・安全の確保、満足度の向上
- OT-U: ユーザー意識向上

サステナブル・マニファクチャリング(設計、製造、加工分野)技術ロードマップ:ライフサイクル(LC)思考

No.	大分類	中分類	小分類	主要技術(例)	2007	2010	2020	2030	2050
1101	LC思考	サービス	メンテナンス技術	余寿命診断 非破壊検査 診断技術 寿命技術 使用履歴管理技術 メンテナンスサービス化	非破壊検査技術・故障診断技術 メンテナンスのサービス化技術	非破壊検査技術・故障診断技術 メンテナンスのサービス化技術	ほぼ全ての社会インフラ、製品で適切な故障診断が可能 メンテナンス産業の高付加価値サービス産業化の進展 使用履歴が適切に管理され、メンテナンスに使用履歴情報が活用される		
1102									
1201					ライフサイクル設計基本技術	ライフサイクル設計基本技術	多くの製品で、最適化された新しいライフサイクルの実現 製品構造的なライフサイクル設計技術		
1202					ライフサイクル設計基本技術	ライフサイクル設計基本技術	多くの製品で、最適化された新しいライフサイクルの実現 製品構造的なライフサイクル設計技術		
1203					ライフサイクル情報管理技術	ライフサイクル情報管理技術	ライフサイクル全体の価値と適切な管理の実現 持続可能なグローバルレベルの実現		
1204					グローバル循環設計・管理技術	グローバル循環設計・管理技術	持続可能なグローバルレベルの実現		
1301					プロダクトのモジュール化技術	形状モデルの属性の付加、抽出が実用化			
1302					情報統合技術	新しい形状モデル表現の基礎が固まる。開発システムとして適用が始まる			
1401					持続可能な評価技術	持続可能な社会シナリオ作成技術			
1402					各種ライフサイクル評価技術	LCA ライフサイクル・シミュレーション リスク分析 安全評価技術 環境効果評価開発	製品の持続可能な社会像とそのシナリオの明確化 持続可能な社会への到達度評価技術		
1403					環境効果評価技術	環境効果評価技術			
1404					寿命管理技術	寿命予測技術 寿命診断技術 寿命設計技術	劣化・余寿命診断技術		
1405					品質保証技術	品質保証技術	品質保証のための基礎技術 ライフサイクルを駆動させた品質保証		
1501					リユースのための循環マネジメント技術	リユースのための循環マネジメント技術	リユースのための循環マネジメント技術		
1502					リユースのための生産技術	リユースのための生産技術	リユースのための生産技術		
1503					その他のリユース関連技術	洗浄技術	リユースのための基礎技術 リユースのための基礎技術		
1601					循環化	共通要素設計技術	設計による、材料リサイクルの容易化 ライフサイクルの適切なマネジメントのための要素設計技術		
1602					長寿命化技術	物理寿命の長寿命化・制御技術 価値寿命の長寿命化・制御技術	設計による、材料リサイクルの容易化 ライフサイクルの適切なマネジメントのための要素設計技術 リユースのための要素設計技術		

3. 3 最小化の技術戦略マップ

(1) 背景、考え方

最小化技術ロードマップでは、資源、製造（生産）、使用、再生、廃棄という製品ライフサイクルにおいて、環境負荷やエネルギー・資源の無駄を省き、サステナビリティの確保とともに、これらの技術を製造面での効率化・高度化につなげ、国際社会での製造競争力の確保につながる技術体系を検討した。すなわち上記ライフサイクルのすべての場において、「資源消費、エネルギー消費、環境負荷が最小化することが効率的な製造となる」という捕らえ方を推し進め、より競争力確保につながる方向性を目指す。

今年度マップは未だスタート状態であり、上記検討が十分と言えないが、将来的な技術課題を展開するきっかけとなるような技術要素を抽出している。特に省資源国日本では、リサイクルは資源の一つであり、リユース・リデュース技術と併せ重要である。このようなリサイクル素材の再利用技術は希少金属等では極一部しか進んでおらず、今後多様な材料での有効利用が必要となる。そのためには、廃棄時にリサイクルもしくはリユースへ進むための評価技術や素材の情報化、また再生のための製造プロセス技術などの開発が重要となる。また、製造時に環境負荷物質や資源を削減するための技術開発、特に大きく削減が期待できる代替化技術開発、製造時に排出される素材を即再生用資源と捕らえ、再生のためにエネルギー・資源・環境負荷を最小にできる製造手法やシステムの開発が求められる。一歩進んでサプライチェーンマネジメント（SCM）やライフサイクルマネジメント（LCM）をローカル規模、グローバル規模で実現し、その主要な部分を担う製造技術の課題は大きい。グローバルユースではリサイクル・リユースのため、生産国に限らず作業者に必要な情報が手に入る仕組み等も検討が必要である。

次世代生産では、「いつ」「だれが」「どこで」「なにをつかって（原料）」「なにを（製品）」「どのように（製法）」作るか、という視点の重要性が高まる。特に時間と場所については、輸送や保管による負荷を削減するために重要となる。リユースなどによる製品寿命の長期化に対応できる部品・部材の供給技術や地産地消型製造での多様な製品種への対応製造技術としても、また、先述の素材や製造時負荷における材料の取り扱いも含め、サステナビリティに対応できる即時性がありかつ効率的な製品の開発製造システムなどの展開も重要な課題である。

(2) 技術マップ

最小化に関する技術を中分類として、次の4種類でリストアップする。

「標準化」では、資源の再利用の観点から情報の共有化を示している。リサイクルマークに代表されるように、製品の構成材料の表記や解体手法などを共通化・標準化することは、資源の再利用・再循環を促す。また、製品が世界規模で動くことから国際的に共通化すること、製造情報である図面などについても標記方法等の標準化が果たす役割は大きい。

「サービス化」では、最小化に関わる技術のうち特に系統的に全体俯瞰での技術の効果という点で、サプライチェーンマネジメント（SCM）やライフサイクルマネジメント（LCM）、製造装置の自律化、また多品種少量型、長寿命型製品の必要に応じた製造、ニーズに応じた製造を実現

する製造システム開発を挙げた。

「再利用化」は、リユース・リサイクル技術を普及させる技術として展開している。

「代替化」は、負の資源・材料に対して、製造時・使用時・廃棄時において削減し、不使用とするかについての技術である。

「バランス化」は、製造設備・装置、プロセス・工程でのエネルギー消費の削減や結果として最小化を進める歩留まり向上技術である。

(3) 技術ロードマップ

上記技術マップに示した各技術について、技術ロードマップを示す。2020年から30年ころの大きな普及を目指したいところである。

サステナブルマニュファクチャリング(設計、製造、加工分野)技術マップ:最小化

No.	大分類	中分類	小分類	要素技術 (例)	抽出の評価軸*	サステナビリティ確保のため克服すべき制約項目					サプライチェーンの該当フェーズ又は全体最適化の区分				市場投入時期			
						エネルギー	資源	環境	生活の質	高付加価値化	技術の伝承	原料調達・原料製造	製品開発製造・使用	再利用・リサイクル・処分	循環系のシステム化	2020年	2030年	2050年
4101	最小化	標準化	図面情報の共通化技術	解体手法の国際化 リサイクルマークの共通化	RS-3													
4201		サービス化	SCM・LGMを取り込んだ製造	図面付記情報の共通化 企画 計画 運営 可視化 リバーシロジスティクス サプライヤーパーク 垂直立ち上げ デリバリーの維持	RS-3	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○
4202			製造装置の自律化技術	装置機能の検査・評価技術 分割を容易にする設計(デザイン) 製造 マニュアルレス分割(分割ガイドシステム)	RS-3			○	○				○					○
4203			高効率的多品種変量生産	オンデマンド生産システム 半導体ミニアップ 局所環境制御加工技術	EG-1 EV-2	○	○	○	○	○	○	○	○					○
4204			試作最小化技術	構想設計から使える形状モデルの方式 CAD/CAE間のデータ受け渡し簡便化技術 運成解析・最適化解析などの技術 現物シミュレーション技術 過去のノウハウ活用技術		○	○	○	○	○								
4301		再利用化	リユースのためのプロセス技術	洗浄技術 検査技術 リユースのための修理・メンテナンス・アップグレード	RS-3 RS-3 RS-3	○	○	○	○			○						○
4302			動脈静脈一体型生産システム技術	成分分析・素材分離技術	RS-3	○	○						○					
4303			動脈静脈一体型加工プロセス技術	再生マグネシウムからの素材製造 変種変量逆生産技術 洗浄技術 素材判別技術 再生素材品質検査 素材再生技術	RS-3	○	○	○				○						○
4304			マテリアルリサイクルの高度化技術	高度自動材料選別技術 テラオペレーション応用技術 焼却技術の高度化 再生材料の再精錬・高品質化技術 再生プラスチックの高品質化技術 廃棄物再利用技術 製造・廃棄時の有用物質(レアアース・レアメタル)回収技術の高度化	RS-3 EV-2 RS-3 RS-2 RS-3	○	○					○	○					○
4401		代替化	使用における有害物質削減、不使用技術	RoHS(REACH)規制対応技術 形状・構造設計 素材選択 加工選択(塗装等) 有害物質含有物の代替技術 超機能環境適合性トライボロジー技術	EV-3			○				○	○					○
4402			製造における有害物質削減、不使用技術	エコトライボロジー 製造時の有害物質回収技術の高度化 加工液等削減 製造時の廃棄物削減技術 レジスト等補助材料の削減技術	EQ-4 RS-3 EV-2 RA-2	○	○	○				○	○					○
4403			廃棄における有害物質削減、不使用技術	廃棄材料からの元素分離技術	RS-3	○	○											○
4501		バランス化	製造プロセスの省エネ、省資源技術	小型複合生産機械 省エネルギープロセス設計技術 セラミックス等の製造プロセス合理化技術 材料・エネルギー最小化加工技術	EG-1 EG-1 EG-1					○		○						○
4502			製造設備の省エネ技術	生産システムの効率的運用技術 生産機械のエネルギー使用合理化技術 コンパクト生産システム	EG-4 EG-4 EG-2	○	○	○				○	○					○
4503			材料高歩留まり製造プロセス	セル生産 フリーフォーム鍛造 MIM テクノモールドイング スーパージアネットシェーブ加工	EV-2 RS-2	○	○	○	○			○						○

* 抽出の評価軸
 EG-1: エネルギー節約型(省エネ)の材料、生産技術
 EG-2: 大型プラント、ファクトリーからの脱却
 EG-3: 異種産業間の連携による利用最適化
 EG-4: 軽量化等利用段階のエネルギー節約型の製品開発技術
 RS-1: 希少資源の使用を減らし、ありふれた豊富な資源への代替
 RS-2: 長寿命化、材料・原料の削減等による資源利用効率の向上

EV-1: 化石資源・燃料の効率的利用
 EV-2: 工場排出のクリーン化、有害物質排出の削減・吸収・回収
 EV-3: 自然が持つ物質生産、環境修復・再生の機能の活用
 OT-1: (異種産業間の連携以外の)利用最適化
 OT-2: EG-1, EG-3, EG-4, RS-1, RS-2, RS-3, OT-1の同時達成
 OT-P: 生産人口の減少に対処するための生産人材・技術の高度化
 OT-S: 生活における安心・安全の確保、満足度の向上
 OT-U: ユーザー意識向上

サステナブル・マニュアル・エンジニアリング (設計、製造、加工分野) 技術ロードマップ: 最小化 (1)

No.	大分類	中分類	小分類	主要技術 (例)	開発フェーズ				2030	2050
					2007	2010	2020	本格開発		
4101	最小化	標準化	図面情報の共通化技術	図面情報の共通化 P-CAD/PLMの共通化 図面付記情報の共通化	2007	2010	2020	2030	2050	
4201			カーボン化	SGM-LiM製造プロセス	2007	2010	2020	2030	2050	
4202			製造装置の自律化技術	製造装置の自律化技術	2007	2010	2020	2030	2050	
4203			高効率部品種数生産	高効率部品種数生産	2007	2010	2020	2030	2050	
4204			筐体軽量化技術	筐体軽量化技術	2007	2010	2020	2030	2050	
4301	再利用化	再利用化	リユースのためのプロセス技術	検査技術 リユースのための修理・メンテナンス スニアップレード	2007	2010	2020	2030	2050	
4302			動脈静脈一体型生産システム技術	成分分離・素材分離技術	2007	2010	2020	2030	2050	
4303			動脈静脈一体型加工プロセス技術	再生マグネシウムからの素材製造 金属製造技術 金属製造技術 素材判別技術 再生素材品質検査 再生再生技術	2007	2010	2020	2030	2050	
4304			マルチアリアルリサイクルの高度化技術	高度自動車材料判別技術 テラヘルトツェン波応用技術 燃焼炉の高度化 燃焼炉の高度化 再生プラスチックの高度化技術 廃棄物再利用技術 製造・廃棄時の有用物質(レアアース・レアメタル)回収技術の高度化	2007	2010	2020	2030	2050	
4401	代替化	代替化	使用における有害物質削減、不使用技術	RoHS2など 材料選択 加工選択 (溶接等) 有害物質含有物の代替技術 超絶微細加工 EFP/コロラー技術	2007	2010	2020	2030	2050	
4402			製造における有害物質削減、不使用技術	製造時の有害物質回収技術の高度化 Eコマンドロージャー	2007	2010	2020	2030	2050	
4403			廃業における有害物質削減、不使用技術	製造時の有害物質削減技術 製造時の有害物質回収技術 廃棄材料からの元素分離技術	2007	2010	2020	2030	2050	

サステナブル・マニュファクチャリング（設計、製造、加工分野）技術ロードマップ：最小化（2）

No.	大分類	中分類	小分類	主要技術（例）	開発フェーズ			
					2007	2010	2020	2030
4501 最小化	ハバロシ化		製造プロセスの省エネ、省資源技術	小型確立生産線概 造玉立平二プロセス設計技術 たも、加工等の製造プロセス管理 技術、 材料・エネルギー最小化加工技術	一部生産現場での試行	プロセスの省エネ化 設計技術開発進む エネルギー・材料最小化複合加工プロセス	一部産業でのプロセスの省エネ化・低環境負荷への移行が進む	
				生産システムの効率的運用技術 生産設備のエネルギー平一使用管理化 エネルギー・材料最小化複合加工プロセス	エネルギー・材料最小化複合加工プロセス エネルギー・材料最小化複合加工プロセス			
				セル生産 エネルギー・材料最小化のための加工プロセス統合化技術、モテリングシステムの構築 エネルギー・材料最小化複合加工プロセス	エネルギー・材料最小化複合加工プロセス エネルギー・材料最小化複合加工プロセス			
4502			製造設備の省エネ技術	生産システムの効率的運用技術 生産設備のエネルギー平一使用管理化 エネルギー・材料最小化複合加工プロセス	生産システムの効率的な運用技術 開発進む（コンバクト生産など含め） エネルギー・材料最小化複合加工プロセス			
				セル生産 エネルギー・材料最小化のための加工プロセス統合化技術、モテリングシステムの構築 エネルギー・材料最小化複合加工プロセス	エネルギー・材料最小化複合加工プロセス エネルギー・材料最小化複合加工プロセス			
4503			材料高歩留まり製造プロセス	フリーフォーム製造 MIM ナックルモールディング	サステナブルな材料 高歩留まり製造 プロセスの開発進む			
				フリーフォーム製造 MIM ナックルモールディング	サステナブルな材料 高歩留まり製造 プロセスの開発進む			
2050				スーパーニアネットエーブ加工	スーパーニアネットエーブ対応の形状・組織・特性一様型金属高形状加工予測技術の確立 スーパーニアネットエーブ対応の形状・組織・特性一様型金属高形状加工技術の確立 スーパーニアネットエーブ対応の形状・組織・特性一様型金属高形状加工技術の確立 スーパーニアネットエーブ対応の形状・組織・特性一様型金属高形状加工技術の確立			
				スーパーニアネットエーブ加工	スーパーニアネットエーブ対応の形状・組織・特性一様型金属高形状加工予測技術の確立 スーパーニアネットエーブ対応の形状・組織・特性一様型金属高形状加工技術の確立 スーパーニアネットエーブ対応の形状・組織・特性一様型金属高形状加工技術の確立 スーパーニアネットエーブ対応の形状・組織・特性一様型金属高形状加工技術の確立			

3. 4 高付加価値化の技術戦略マップ

(1) 背景、考え方

サステナブル社会の実現を一義に目指して環境負荷削減を進めようとする、製品の高性能化、高機能化をせずに基本機能に限定した標準品を使うとか、便利な製品を使わずに我慢するとかを短絡的に目指しがちである。しかしこの方向に進むと、平均的な製品価格が下がり、市場規模が小さくなって、経済活動が縮小することになる。

経済活動規模の維持拡大はサステナブル社会実現に必須の条件であり、この実現には、環境負荷削減を進めつつも、ビジネス規模拡大することが不可欠である。

本項では、環境負荷を増大させずに、顧客にとっての魅力度を向上させる製品の企画開発、また顧客にとっての魅力度を向上させるサービス化の達成を実現するための技術を提示する。

(2) 技術マップ

高付加価値化に関する技術を、中分類として以下の3種類でリストアップする。

「サービス化」は、従来ハードウェア自体の価値を顧客に提供していたのに対して、顧客へサービスの価値を提供することによって、エネルギー・物質消費を増大させずに、付加価値を増大するための技術である。ビジネス構造設計支援技術は、ハードウェア製品と比較して複雑になることが多い提供者と顧客の関係、対価の流れ、情報やサービスの提供の流れなどをモデル化して扱う技術である。ユーザーズ把握技術は、真に顧客の付加価値につながるニーズを把握するための技術である。人間状態計測技術は、顧客の身体およびメンタルに適合する商品を企画するための技術である。マスカスタマイゼーション実現技術は、顧客ごとの個別仕様や顧客利用地域差への対応のための技術である。

「見える化」は、商品の本来機能ではない情報を顧客に提供することによって、顧客に利便性、安心感などの付加価値を提供するための技術である。現状商品のトレースに関する顧客の期待が大きいため、その技術により付加価値を向上できる。

「システム化」は、個別の製品や機能を組み合わせることによって生まれる付加価値を顧客に提供するための技術である。安全設計支援技術は、製品の主機能と安全対応を組合せて高付加価値化する技術である。機械と人間の協調技術は、機械と人間の関係を見直し、真に人間に対応した機械の使い方を実現する技術である。

(3) 技術ロードマップ

上記技術マップに示した各技術について、技術ロードマップを示す。多くの技術の開発は現状既に始まっている。

サステナブルマニュファクチャリング(設計、製造、加工分野)技術マップ:高付加価値化

No.	大分類	中分類	小分類	要素技術(例)	抽出の評価軸*	サステナビリティ確保のため克服すべき制約項目					サブライテーションの該当フェーズ又は全体最適化の			市場投入時期					
						エネルギー	資源	環境	生活の質	高付加価値化	技術の伝承	原料調達・原料製造	製品開発・製造・使用	再利用・リサイクル・処分	循環系のシステム化	2020年	2030年	2050年	
2101	高付加価値化	サービス化	ビジネス構造設計支援技術	ビジネス構造のモデル化技術	EG-3	○	○	○		○									
				ビジネス構造可視化技術	EG-3	○	○	○											
2102			ユーザーニーズ把握技術	ユーザーニーズの収集技術	OT							○							
				ユーザーニーズ構造分析技術	OT								○						
				顧客価値評価技術	OT									○					
2103			人間状態計測技術	人間のメンタルモデル構築技術	OT							○							
				物理的状態計測技術	OT-S				○				○						
2104			製造における製品/サービス適正化技術	メンタルな状態計測技術	OT-S						△	○	○	△					
				カスタマイズ容易化設計技術	OT								○						
2105			製品/サービス融合化技術	ローカライズ対応カスタム設計技術	OT								○						
				コア技術のブラックボックス化	OT								○						
				製品価値・サービス価値の可視化技術															
2106			社会の安全・安心技術	健康被害対策技術	OT-S							○		○					
				自然災害対策技術	OT-S									○		○			
				テロ等非正常時対策技術	OT-S										○		○		
				不正アクセス、ウィルス対策	OT-S									○		○			
				情報漏洩対策技術	OT-S										○		○		
2201	見える化		トレーサビリティ確保のための技術(トータルトレーサビリティ技術)	商品の調達品に関するトレース(輸出入を含む)	OT-S							○	△	○	○				
				商品の輸送、配送に関するトレース(輸出入を含む)	OT-S									○		○			
				商品の利用、保守状況の把握	OT-S									○		○			
				商品のリサイクル状況の顧客への提示	OT-S										○		○		
				RFIDの小型化・大容量化技術															
				読取/書込の高度化技術															
2301	システム化	安全設計支援技術	安全設計支援技術	本質安全設計	OT-S							○							
				失敗学	OT-S									○	△				
2302			機械と人間の協調技術	FMEA支援技術	OT-S							○	△						
				人に優しいロボット技術	OT-S									○	△				
2303			無停止化技術	BC/DR(Business Continuity & Disaster Recovery)対策	OT-S							○	○	○					

* 抽出の評価軸
 EG-1:エネルギー節約型(省エネ)の材料、生産技術
 EG-2:大型プラント、ファクトリーからの脱却
 EG-3:異種産業間の連携による利用最適化
 EG-4:軽量化等利用段階のエネルギー節約型の製品開発技術
 RS-1:希少資源の使用を減らし、ありふれた豊富な資源への代替
 RS-2:長寿命化、材料・原料の削減等による資源利用効率の向上

EV-1:化石資源・燃料の効率的利用
 EV-2:工場排出のクリーン化、有害物質排出の削減・吸収・回収
 EV-3:自然が持つ物質生産、環境修復・再生の機能の活用
 OT-1:異種産業間の連携(以外の)利用最適化
 OT-2:EG-1, EG-3, EG-4, RS-1, RS-2, RS-3, OT-1の同時達成
 OT-P:生産人口の減少に対処するための生産人材・技術の高度化
 OT-S:生活における安心・安全の確保、満足度の向上
 OT-U:ユーザー意識向上

サステナブル・マニュファチャリング(設計、製造、加工分野)技術ロードマップ:高付加価値化

大分類	中分類	小分類	事業技術(例)	事業開発				2030	2050	
				2007	2010	2020	実用化時期			
高付加価値化	サービス化	ビジネス構造設計支援技術	ビジネス構造のモデル化技術	複雑なビジネスの構造の表現	WEB自動構築、アンケートなどによる収集	表現方法の標準化	新ビジネス設計で従来事例を参考に			
			ビジネス構造可視化技術	各種視点でのビジネス構造モデルの可視化	標準形式に基づいて蓄積					
			ビジネス事例データベースと検索技術	ユーザーニーズの収集技術	取集精度の向上					
			ユーザーニーズ把握技術	ユーザーニーズ構造分析技術	相互関係による関連ニーズの構築化	チーム協力のメカニズム分析およびシミュレーション				
				顧客価値評価技術	商品、付帯サービスなどを含めた総合的な顧客価値の評価	顧客価値の拡大要因の計画				
				人間のメンタルモデル構築技術	人間への知覚的負荷などの状態の計画	商品やサービスから人が受ける影響を表すモデル				
				人間状態計測技術	物理的状態計測技術	負荷によって人体の各部に与える影響の計画				
					メンタルな状態計測技術	外部刺激によってヒトへ与えられるメンタルな影響の計画				
					製造における製品/サービス適正化技術	カスタマイズ容易化設計技術				
						ローカライズ対応カスタム設計技術				
			製品/サービス適合化技術	コア技術のプラットフォーム化	製品の標準化とコア技術のプラットフォーム化を両立させる設計手法					
				製品/サービス適合化技術	製品/サービス適合モデルのシミュレーション技術					
					製品/サービス適合化技術	製品/サービス適合化技術				
						製品/サービス適合化技術				
						製品/サービス適合化技術				
						製品/サービス適合化技術				
						製品/サービス適合化技術				
						製品/サービス適合化技術				
						製品/サービス適合化技術				
						製品/サービス適合化技術				
			顧客被害対策技術	ユーザーに対する物理的、メンタル的な影響を評価し、適正な設計を行う技術						
				自然災害の予測、防制技術						
				リスクを考慮した生産計画の技術						
				不正アクセス、ウイルスなどによる商品の異常動作を防止する技術						
				情報漏洩対策技術	情報漏洩などの商品に発生された情報の漏洩防止と漏洩の追跡を図る技術					
					製造チェーン全体に渡って材料、部品、ユニット部品などそれぞれ独立な単位のロットの別は関係管理し、必要に応じて換装する技術					
					商品の出荷、輸送、在庫、配送などをトレースする技術					
					商品の利用状況を測定、把握し、再使用した部品についてもその利用履歴を把握する技術					
					使用後の部品について、その分解、修理、部品再使用を行った後まで換装を廃棄する技術					
			安全設計支援技術	本質安全性の判定、確保の地点などを行う設計支援技術						
				失敗学	製品不良を起す設計上、製造上のメカニズムのモデル化し、そのモデルに基づき評価技術					
				FMEA支援技術	FMEAの効率的かつ高信頼な実施の支援技術					
				人と働けるロボットの技術	人の物理的な特性に合わせたロボットの表現技術					
				パワーアシスト	人の意図に合わせた動作の制御方法と駆動アクチュエータ					
					BC/DRシステム	BC/DRシステムの設計支援技術				
					BC/DR(Business Continuity & Disaster Recovery)対策	BC/DRの評価技術および改善提案技術				

3. 5 技術の伝承の技術戦略マップ

(1) 背景、考え方

日本の製造業の強みは、製造現場で働く熟練技術者の高度な経験技術と組織的な新技術開発力が調和して高度なものづくりを展開してきたところにある。特に大型輸出産業の川下企業を支える多くの中小製造業において、技能者と呼ばれる熟練技術者の存在が強みの根幹であった。しかし“2007年問題”という表現に代表されるように、多くの製造業において技能者の高齢化に伴う技能の喪失が問題になっている。“2007年問題”は必要な人材を雇用延長する等の雇用形態上の融通でしのいでいるが、近い将来、それができなくなる時が来る。また、日本は世界的に見ても少子高齢化社会が急速に進展しており、今後高齢者の増加と労働生産人口の急速な減少は明らかで、社会を維持していくためには労働生産性において世界平均以上の向上が必要不可欠な状況である。

以上を鑑みると、現在の製造現場で活躍している熟練技術者の高度な経験技術を製造現場で効率的に継承していく技術の開発が、今後のわが国の産業競争力を維持していく上で不可欠である。

(2) 技術マップ

技術の継承のための技術マップは、熟練技術者の個人に属人的にもつ高度な経験技術を製造現場で効率的に継承していくための技術を確立するための技術マップである。そのための開発技術を「情報化」、「標準化」、「人材育成」の3つの中分類で整理した。

「情報化」は、高度な属人的技術が技能と呼ばれるように暗黙的な知識であったり知識が偏在していたりして、原理が共通な理解にいたっていない知識を、製造現場で活用できる技術として形式知化することを目指す。このため、加工現象と技能を計測・分析し、製造現象の解明を通して、作業者の持つ暗黙的な知識と形式的な知識の構造の解明に取り組む。さらにこれらの知識の集積化と体系化を進める手法を開発する。

「標準化」は、上記の「情報化」で形式化された知識体系を、現場の加工従事者の作業の高度化、企業全体としての生産技術・工程の高度化に活用するための技術開発を行う。特に加工従事者が作業実施中に遭遇する問題に的確かつ迅速に対応できるようになる技術の確立をめざす。また、必ずしもITリテラシーが高度でない中小製造業でも活用可能な技術の構築を目指す。

「人材育成」は、「情報化」で形式化された知識体系と、「標準化」で開発される活用技術を、就労者が製造現場に入る前、あるいは製造現場において、その活用法を自己の知識として効率的に身につけることを可能にするための技術開発である。また、今後の製造現場の特徴として、生産拠点が海外になる、あるいは国内生産現場で海外からの労働力依存が増えるという生産のグローバル化が進展する。そこにおいて、わが国の貴重な製造に関する貴重な知財を保護しつつ、グローバル化への効率的対応を図る手法技術の開発を目指す。

(3) 技術ロードマップ

上記技術マップに示した各技術について技術ロードマップを示す。

サステナブルマニュファクチャリング(設計、製造、加工分野)技術マップ:技術の伝承

No.	大分類	中分類	小分類	要素技術(例)	抽出の評価軸*	サステナビリティ確保のため克服すべき制約項目					サプライチェーンの該当フェーズ又は全体最適化の区分			市場投入時期			
						エネルギー	資源	環境	生活の質	高付加価値化	技術の伝承	原料調達・原料製造	製品開発製造・使用	再利用・リサイクル・処分	循環系のシステム化	2020年	2030年
3101	技術の伝承	情報化	技能・技術の形式知化技術	加工現象の計測・分析技術、CAE	OT-P						○	△	○		○	○	
				技能の計測・分析技術	OT-P							○	○	△		○	○
				加工技能における暗黙知の形式知化	OT-P								○	○	○		○
3102	標準化	技能・知識のデジタル化技術	デジタル化支援ソフトウェア	OT-P						○	○	△		○			
加工作業支援技術			OT-P							○	○	○		○			
問題解決支援技術			OT-P								○	○	○		○		
3201	標準化	加工作業支援技術	作業中支援技術	OT-P						○	○	○		○			
生産工程の自動化			OT-P							○	○	○		○			
生産支援技術			OT-P								○	○	△		○	○	
3202	標準化	生産支援技術	生産技術、工程のIT活用技術	OT-P						○	○	△		○	○		
OJT伝承、技能継承マニュアル			OT-P							○	○	△		○	○		
技術伝承のためのVR技術			OT-P	○	○		○				○	○	△		○	○	
3301	人材育成	技能の伝承関連技術	技術伝承のためのIT活用技術	OT-P						○	○	△		○	○		
			eラーニング	OT-P							○	○	△		○	○	
3302			生産のグローバル化に対応する人材育成技術	高品質生産対応作業指示技術	OT-P	○	○	○			○	○		○	○		

* 抽出の評価軸

- EG-1: エネルギー節約型(省エネ)の材料、生産技術
- EG-2: 大型プラント、ファクトリーからの脱却
- EG-3: 異種産業間の連携による利用最適化
- EG-4: 軽量化等利用段階のエネルギー節約型の製品開発技術
- RS-1: 希少資源の使用を減らし、ありふれた豊富な資源への代替
- RS-2: 長寿命化、材料・原料の削減等による資源利用効率の向上

- EV-1: 化石資源・燃料の効率的利用
- EV-2: 工場排出のクリーン化、有害物質排出の削減・吸収・回収
- EV-3: 自然が持つ物質生産、環境修復・再生の機能の活用
- OT-1: (異種産業間の連携以外の)利用最適化
- OT-2: EG-1, EG-3, EG-4, RS-1, RS-2, RS-3, OT-1の同時達成
- OT-P: 生産人口の減少に対処するための生産人材・技術の高度化
- OT-S: 生活における安心・安全の確保、満足度の向上
- OT-U: ユーザー意識向上

サステナブル・コミュニティチャレンジ(設計、製造、加工分野)技術ロードマップ:技術の伝承

No.	大分類	中分類	小分類	2007	2010	2020	2030	2050
				事前調査、基礎開発	本格開発	実用化時期		
3101	技術の伝承	構造化	技術:技術の形式知化技術	加工現象の計画・分析技術、CAE 加工現象の主因/アルゴリズム計測技術 物体内部や不可視領域など観察困難対象の計測技術 加工現象の計測とCAE技術 再利用までを通じたCAE技術	技術の計画/分析技術 加工現象の主因/アルゴリズム計測技術 物体内部や不可視領域など観察困難対象の計測技術 加工現象の計測とCAE技術 再利用までを通じたCAE技術	技術の計画/分析技術 加工現象の主因/アルゴリズム計測技術 物体内部や不可視領域など観察困難対象の計測技術 加工現象の計測とCAE技術 再利用までを通じたCAE技術	技術の計画/分析技術 加工現象の主因/アルゴリズム計測技術 物体内部や不可視領域など観察困難対象の計測技術 加工現象の計測とCAE技術 再利用までを通じたCAE技術	技術の計画/分析技術 加工現象の主因/アルゴリズム計測技術 物体内部や不可視領域など観察困難対象の計測技術 加工現象の計測とCAE技術 再利用までを通じたCAE技術
3101			技術:知識のデジタル化技術	技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術 技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術	技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術 技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術	技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術 技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術	技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術 技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術	技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術 技術者の作業の記録とデータベース化 技術者の判断基準のデータベース化 技術者の感性計測、評価技術
3201		構造化	加工作業支援技術	デジタル化支援ソフトウェア 問題解決支援技術	デジタル化支援ソフトウェア 問題解決支援技術	デジタル化支援ソフトウェア 問題解決支援技術	デジタル化支援ソフトウェア 問題解決支援技術	デジタル化支援ソフトウェア 問題解決支援技術
3202			生産支援技術	生産工程の自動化 作業中支援技術	生産工程の自動化 作業中支援技術	生産工程の自動化 作業中支援技術	生産工程の自動化 作業中支援技術	生産工程の自動化 作業中支援技術
3301	人材育成		技術の伝承関連技術	業務用アプリケーション 開発支援ソフトウェア 開発支援ソフトウェア 業務用アプリケーションの開発 マルチメディア利用 各加工法、工程の特色を考慮した効率的な人材育成手法・ツールの開発 等、各企業で個別に取組む サードパーティが提供する五感情報関連のための要素技術開発 システムの低コスト化の追求 地域、業種ごとの普及と、普及体制の構築 種族作業等の特殊作業工程管理への利用技術 学校教育への導入 種族作業等の五感情報を元にした習得への活用技術 加工現象理解に基づくVR空間の構築技術	業務用アプリケーション 開発支援ソフトウェア 開発支援ソフトウェア 業務用アプリケーションの開発 マルチメディア利用 各加工法、工程の特色を考慮した効率的な人材育成手法・ツールの開発 等、各企業で個別に取組む サードパーティが提供する五感情報関連のための要素技術開発 システムの低コスト化の追求 地域、業種ごとの普及と、普及体制の構築 種族作業等の特殊作業工程管理への利用技術 学校教育への導入 種族作業等の五感情報を元にした習得への活用技術 加工現象理解に基づくVR空間の構築技術	業務用アプリケーション 開発支援ソフトウェア 開発支援ソフトウェア 業務用アプリケーションの開発 マルチメディア利用 各加工法、工程の特色を考慮した効率的な人材育成手法・ツールの開発 等、各企業で個別に取組む サードパーティが提供する五感情報関連のための要素技術開発 システムの低コスト化の追求 地域、業種ごとの普及と、普及体制の構築 種族作業等の特殊作業工程管理への利用技術 学校教育への導入 種族作業等の五感情報を元にした習得への活用技術 加工現象理解に基づくVR空間の構築技術	業務用アプリケーション 開発支援ソフトウェア 開発支援ソフトウェア 業務用アプリケーションの開発 マルチメディア利用 各加工法、工程の特色を考慮した効率的な人材育成手法・ツールの開発 等、各企業で個別に取組む サードパーティが提供する五感情報関連のための要素技術開発 システムの低コスト化の追求 地域、業種ごとの普及と、普及体制の構築 種族作業等の特殊作業工程管理への利用技術 学校教育への導入 種族作業等の五感情報を元にした習得への活用技術 加工現象理解に基づくVR空間の構築技術	業務用アプリケーション 開発支援ソフトウェア 開発支援ソフトウェア 業務用アプリケーションの開発 マルチメディア利用 各加工法、工程の特色を考慮した効率的な人材育成手法・ツールの開発 等、各企業で個別に取組む サードパーティが提供する五感情報関連のための要素技術開発 システムの低コスト化の追求 地域、業種ごとの普及と、普及体制の構築 種族作業等の特殊作業工程管理への利用技術 学校教育への導入 種族作業等の五感情報を元にした習得への活用技術 加工現象理解に基づくVR空間の構築技術
3302		技術	生産のグローバル化に対応する人材育成技術 高品質生産対応作業指示技術	生産のグローバル化に対応する人材育成技術 高品質生産対応作業指示技術	生産のグローバル化に対応する人材育成技術 高品質生産対応作業指示技術	生産のグローバル化に対応する人材育成技術 高品質生産対応作業指示技術	生産のグローバル化に対応する人材育成技術 高品質生産対応作業指示技術	生産のグローバル化に対応する人材育成技術 高品質生産対応作業指示技術

3. 6 重要課題の抽出

本WGで作成した技術マップにおいては、抽出した要素技術リストが前節の重点化評価項目のいずれに相当するかを○印を付けて示した。また、重点化評価の結果、特に重要と考えられる技術（小分類レベル）を技術マップ中に網掛けで示した。これに基づき、抽出した要素技術の中でも特に重要な技術の絞込みを行った。ただし、絞込みの観点は、単純に「多くの項目に○が着く」ことでは無く、各項目への貢献の度合い、技術としての発展性、波及効果、なども考慮した結果である。重点化評価の結果、抽出された重要技術（小分類レベル）は次の13項目であった。

- * LC (Life Cycle)設計技術
- * 持続可能社会評価技術
- * グローバル循環設計管理技術
- * プロダクトのモデリング技術
- * 現物融合技術
- * トレーサビリティ確保のための技術（トータルトレーサビリティ技術）
- * 製造における製品／サービス適正化技術
- * 製品／サービス融合化技術
- * 試作最小化技術
- * 高効率的多品種変量生産
- * 動脈静脈一体型生産システム技術
- * 製造プロセスの省エネ、省資源技術
- * 材料高歩留まり製造プロセス

4. 技術戦略マップの全体像

経済産業省では、2005年3月に（独）新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）と協力して、国家的に重要な産業分野における中核技術のロードマップを俯瞰した「技術戦略マップ」を作成した。その後毎年、内容の改訂作業を行っている。2007年版では、25分野であったが、2008年版では、サステナブル・マニュファクチャリング分野など4分野が新たに加わり、全体で29分野になった。ここでは、2008年版の技術戦略マップに記述された説明にもとづき、その背景、目的、構成等について紹介しておく。[4]

4. 1 背景

経済産業省では、市場ニーズに応じて科学に遡った研究開発や異分野の融合、研究開発プロジェクトに制度改革・国際標準化をビルトインするなどの施策を展開し、研究開発成果を素早く市場化に繋げる仕組みを構築していく方針を示している。これら構想を着実に実現するためには、ナショナル・イノベーション・システムを構成する各主体である政府、産業界、学界等の研究者が政府研究開発投資の判断の基盤となる戦略を共有し、関係機関が連携しながら、ひとつひとつの実績を積み重ねることが必要となる。そのような観点から技術ロードマッピングを研究開発マネジメント・ツールの方法論として積極的に取り入れている。

4. 2 目的

以下の3点を実現することを主な目的としている。

（1）産業技術政策の研究開発マネジメント・ツール整備

主要産業技術分野にかかる技術動向、市場動向を把握するとともに、国または民間において取り組まれるべき重要度が高いと考えられる技術（重要技術）の絞り込みを行い、経済産業省が研究開発プロジェクトを立案するための政策インフラを整備すること

（2）民間企業等研究開発者に対する重要技術に関する情報提供

将来の社会を見据えた産官学の「研究開発の共有シナリオ」として、技術開発の方向性を提示し、産官学の連携。異分野・異業種の連携を促進すること

（3）国民理解の増進

経済産業省が行っている研究開発投資に関し、その考え方、内容、成果等について国民に説明を行い、理解を深めること。

4. 3 構成

従来、基本的な考え方と、導入シナリオ、技術マップ、ロードマップの構成であったが、2008年版から、基本的な考え方と名付けて記述していた部分を分野の説明という位置づけにして、分野のあとに、基本的な考え方という名称を付けずに、直接説明を記述する形になっている。ここには、どのような分野なのか、また、なぜその範囲を扱うのかなどを記述することになっている。

（1）導入シナリオ

研究開発とともにその成果を製品、サービス等として社会、国民に提供していくために取り組むべき関連施策を含めて記載したもの

(2) 技術マップ

市場ニーズ・社会ニーズを実現するために必要な技術的課題、要素技術、求められる機能等を俯瞰するとともに、その中で重要技術を選定して記載したもの

(3) ロードマップ

研究開発への取り組みによる要素技術、求められる機能等の向上、進展を時間軸上にマイルストーンとして記載したもの

このような技術戦略マップ作成に役立てるため、当WGで検討したそれぞれの構成項目に関する資料を提出した。なお、本報告書で取り扱っている設計・製造・加工分野のサステナブル・マニュファクチャリングについては、2008年版から新たに加わった、「設計・製造・加工」【資料A-2.1】ならびに「持続可能なものづくり技術」【資料A-2.2】の内容に反映されている。2008年版には、他に グリーン・サステナブル・ケミストリー、サービス工学、コンテンツの3分野も新たに加わっている。[4]

5. まとめと今後の展開

以上、本 WG の成果として、設計・生産・加工分野のサステナブル・マニュファクチャリングの技術戦略マップについて述べた。検討を重ね、技術戦略マップを作成できたという意味で本 WG は所期の目的を達成することが出来た。特に、特徴として以下の点が挙げられる。

1. ビジョン主導のアプローチによる本分野の技術戦略マップの基本的なフレームワークを明確にすることができ、これを今後ローリングすることにより、より質が高く、技術課題を網羅的に収集した技術戦略マップを作成できると考える。
2. 「ライフサイクル思考」、「最小化」、「高付加価値化」、「技術の伝承」という 4 つの基本的な技術開発の方向性を抽出することができ、また、これを技術課題に展開することができた。
3. 技術戦略マップを作成することが、「持続可能社会に向けたものづくり」を繰り返し考え続けるための有効なツールであることを再確認できた。

また、今後の展開に向けた課題として、以下の点が挙げられる。これらの点は来年度からのローリングの際に検討を進めて行く必要がある。

1. フレームワークが出来たが、抽出した要素技術の網羅性、重要技術の絞り込み、ロードマップと導入シナリオの作り込み、サステナブル・マニュファクチャリングシナリオ 2025 へのフィードバックなどは、ローリングが必要である。特に、重要技術の絞り込みは、製品領域、産業セクターによって重み付けが異なるため難しさが残った。
2. 技術戦略マップ、特にロードマップの読者が、このロードマップから読み取るメッセージを明確にする必要がある。
3. サステナブル・マニュファクチャリング全体の技術戦略マップについては、各分野の統合化の方法をもう一度工夫する必要がある。プロセス横断的、目的横断的なので統合化が困難であった。併せて、既存の技術戦略マップ、例えば、3R 分野の技術戦略マップとの整合性を高める必要性が明らかになった。
4. 今回の技術戦略マップは製造者の視点から作成したので、今後は、生活者、消費者の視点を導入する必要がある。
5. シナリオ 2025 の作り込み、イラスト化が必要である。また、2050 年のシナリオを作成する必要がある。
6. 本技術戦略マップの特徴として、メゾレベルの技術課題を中心に検討を行ったが、二つの課題を再認識した。一つは、技術と非技術的課題の関連づけの重要性であり、これは、導入シナリオとロードマップの有機的な関係づけにより実現するために更なる検討が必要である。もう一つは、シナリオ主導で技術課題を抽出すると、技術課題がどうしても「〇〇ができる技術」といった形のニーズ指向の表現になってしまう点である。例えば、「ライフサイクル管理技術」は、特定の要素技術を示しているわけではなく、ライフサイクル管理に必要な技術の総称を示しており、具体的には、モニタリング技術、サプライチェーンマネジメント技術、電子マニフェスト技術などを利用したシステム化技術を指し示している。これは第 1 章で述

べたように、メゾレベルの技術課題に不可避免的に発生する課題ではあるが、今後の更なる検討が望まれる。

最後に、本報告書の作成を担当した委員ならびにご指導、ご支援、アドバイスをいただいた関係各位に紙上を借りてお礼を申し上げます。

参考文献

- [1] 経 済 産 業 省 : も の づ く り 国 家 戦 略 ビ ジ ョ ン , <http://www.meti.go.jp/report/data/g51128aj.html>, 2005
- [2] 渡邊政嘉: 「技術戦略マップとサステナブル・マニュファクチャリング」, サステナブル・マニュファクチャリングシンポジウム資料集, (財)製造科学技術センター, 2008
- [3] 木村文彦, 梅田靖, インバースマニュファクチャリング フォーラムほか: インバース・マニュファクチャリング ハンドブック, 丸善, 2004
- [4] 経 済 産 業 省 : 技 術 戦 略 マ ッ プ 2 0 0 8 年 , http://www.meti.go.jp/policy/economy/gijutsu_kakushin/kenkyu_kaihatu/str2008.html

【資料A-1】ものづくり技術戦略マップ作成の経緯と報

告書の構成

平成19年度次世代社会構造対応型製造技術の体系・統計調査報告書（平成20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

I. 平成18年度の活動

財団法人製造科学技術センターでは、平成18年度にこれから10年、20年先におけるわが国製造業の競争力を確保するために必要な技術課題を明らかにし、その導入シナリオを示すための製造技術ロードマップの策定作業に着手した。当初は事務局による会員ヒアリングを通じた製造技術の実態把握からスタートしたが、その後社団法人日本機械工業連合会の委託を得て、東京大学大学院工学系研究科の新井民夫教授を委員長とする委員会を組織して検討を行い、「次世代社会構造対応型製造技術の体系化調査報告書」としてとりまとめた。具体的な検討体制としては委員会の下に生産システムワーキンググループ（WG：竹内芳美主査）及び設計技術WG（大和裕幸主査）を設置して製造技術（設計及び生産プロセス技術を含むものづくり技術）について過去からの技術及び将来出現が予想される技術を体系化した技術マップ及びそれら技術の導入、実用化時期を予測した技術ロードマップを策定した。設計技術については、対象とする技術については機械設計を中心とするということであまり問題はなかったが、生産システムについては当初から加工技術をどう扱うかという議論があり、平成18年度は加工技術についてはあまり詳細な分析は行わず、項目として簡単に取り上げることとした。また、生産システムWGにおける議論の中で生産プロセスや情報化といった課題に加え、環境や社会を考慮した生産システムが今後重要であるという指摘があり、持続可能な製造技術を目指すということで、サステナブル・マニュファクチャリングという概念を提示した。その結果、平成18年度の生産システムに関するロードマップは、

1. 生産プロセス技術（加工技術を含む）
2. 生産管理・情報技術
3. 環境を考慮したサステナブル・マニュファクチャリング技術
4. 社会を考慮したサステナブル・マニュファクチャリング技術

の4大項目について技術マップおよびロードマップを作成した。

平成18年度の成果については製造技術分野についてこれほど幅広く分析を行ったものは最近にないということで大きな評価を得たが、個々の技術についての分析やタイムスケールの設定等まだまだ不十分であり、また今後産業界として力を入れるべき重点技術とその導入シナリオについては時間的制約もあって、ほとんど検討されなかったため、平成19年度引き続きフォローアップを行うこととした。平成18年度の成果については、7月末に東京大学武田先端知ビル講堂において公開の報告会を行い、好評を得た。

II. 平成19年度の活動

平成19年度は、前年度の結果を踏まえて活動を再開したが、いくつかの点につき前年度とやり方および範囲を変更した。第一はロードマップの名称を「製造技術ロードマップ」から「ものづくり技術戦略マップ」に変更したことである。経済産業省では平成18年度までに25の技術分野について「技術戦略マップ」を策定しているが、その内容は技術項目を示す「技術マップ」、その実現・実用化時期を示す「ロードマップ」および重要技術課題について実現方策を提案する「導入シナリオ」から構成されている。このマップについてもそれにあわせて策定することとした。また「ものづくり技術」という言葉が科学技術基本計画などでも「製造技術」に代わって用いられるようになっていくことから名称を「ものづくり技術戦略マップ」に変更することにした。

第2の変更点はサステナブル・マニュファクチャリングに関することである。経済産業省では平成19年度からサステナブル・マニュファクチャリングに関する技術戦略マップの策定に着手した。これは設計・製造・加工のものづくり分野に加え、グリーン・サステナブル・ケミストリー、グリーンバイオ、3Rを含む広い概念のサステナブル・マニュファクチャリング技術を対象にしたものである。平成18年度は生産システムWGで検討を行ったが、平成19年度はものづくりに関するサステナブル・マニュファクチャリング技術は直接の検討対象からははずすこととした。実際にはサステナブル・マニュファクチャリング技術マップWG（梅田靖委員長）を組織して検討を行い、12月にNEDO技術開発機構から調査研究を受託したのでそこで報告をまとめることとした。しかし、ものづくりに関する重要技術課題にはサステナブル・マニュファクチャリングに関係するテーマも多くそれらについては設計・製造・加工のものづくり分野に関するサステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップに取り上げられている。付録2に設計・製造・加工のものづくり分野に関するサステナブル・マニュファクチャ

リング技術戦略マップの概要を示す。

第3の変更点は、加工技術について新たにWGを組織して検討を行ったことである。加工技術はものづくりにおける大きな柱の一つであるが、昨年度は諸制約のため生産システムWGで検討を行った。その経緯もあり、加工技術サブWGと位置づけたが実質的には独立のWGである。WGの主査は東京大学生産技術研究所の帯川利之教授にお願いし、大変精力的に検討が行われ、その結果は第5章に詳述されている。

平成18年度の報告の中で取り上げられたレーザー技術については、財団法人機械システム振興協会の調査研究予算をいただくことができたのでファイバーレーザーを中心としたレーザー技術及びそれを応用した加工技術について次世代レーザー技術活用調査委員会（中井貞雄委員長）を組織して詳細な検討を行い、ロードマップ及び研究開発計画を策定した。その概要を付録3に示す。

また、この技術戦略マップで取り上げた10～20年後より先のものづくり技術等の方向について経済産業省の委託により特定非営利活動法人横断型期間科学技術研究団体連合（横幹連合）でアカデミックロードマップ（ARM）を策定することとなり、新井民夫教授がものづくり分野に関する技術を担当するWG4の委員長となって検討を行った。その結果の概要を付録4に示す。

また、日本のものづくりに関する基礎データをまとめ、日本のものづくりの強さを分析するため市場・統計整備WG（後藤康浩主査）を組織して検討を行った。その結果を付録1に示す。

このように今年度は、ものづくり技術に関するロードマップに関連した活動が重層的に実施されたが、新井委員長の指揮の下、情報交換を密に行いつつ作業を行ったので、お互いに補完され、より充実したものとなったと考えている。報告書全体の構成と委員会/WGの関係を以下に示す。

平成19年度

次世代社会構造対応型製造技術の体系・統計調査報告書

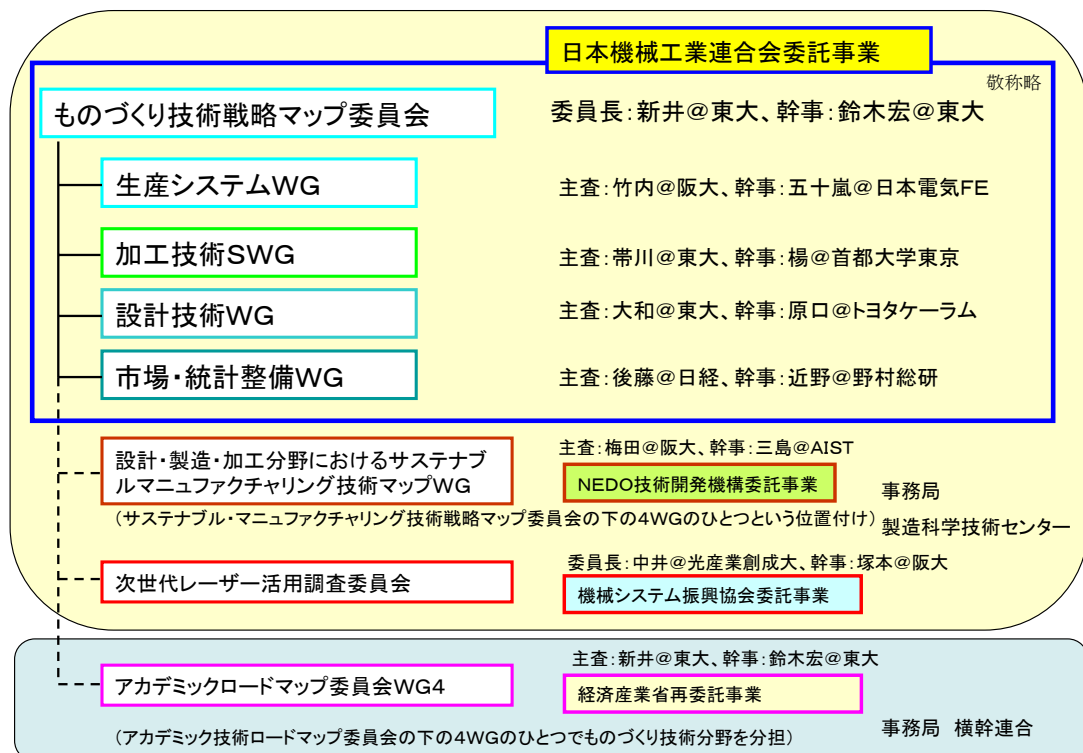
事業運営組織

- 第1章 はじめに
- 第2章 経緯および構成
- 第3章 生産システムWGの報告－20年後のものづくりシステム
- 第4章 設計WGの報告－次世代開発システムを目指して
- 第5章 加工技術SWGの報告－ものづくり力を支える先端加工技術
- 第6章 ものづくり技術の評価と推進
- 第7章 おわりに

付録

- 1. 日本の製造業の強み分析（製造技術体系化 市場・統計WG報告）
- 2. サステナブル・マニュファクチャリングWGの報告概要
- 3. 次世代レーザー技術活用調査委員会の報告概要
- 4. アカデミックロードマップ委員会WG4の報告概要

平成19年度 ものづくり技術戦略ロードマップ検討体制



平成19年度次世代社会構造対応型製造技術の体系・統計調査報告書（平成20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より

【資料A-2.1】設計、製造、加工分野の技術戦略マップ

技術戦略マップ2008:経済産業省

設計、製造、加工分野

地球環境問題を解決するためには、大量生産、大量廃棄型の生産システムから脱却して、安定した循環システムを有する持続可能な社会を構築していく必要がある。また、持続可能な社会において、競争力ある製造業では、単に設計、製造だけを行うだけでなく、製品企画、設計、生産、販売から使用サポート、回収、再利用/廃棄という製品ライフサイクル全体を視野に入れ、環境との調和を計りながら経済性を追求する事業活動(サステナブル・マニュファクチャリング)が要求される。ここでは主に、設計と加工、組立てなどの製造分野に着目して、製品ライフサイクル全体を視野に入れ、サステナブル・マニュファクチャリングの重要技術を取上げる。

当該分野は、現在、日本の製造業として高い技術力のもとに国際展開している機械、電機、輸送機器、精密機械工業などの事業活動と密接に関係しており、新規の技術開発と技術の継承とを通じて将来にわたって発展していくことが望まれている。今後のこれらの産業の発展を考えると、従来からの機能・性能重視に加えて、環境重視・人間重視の技術革新・社会革新としてのイノベーション(エコイノベーション)が求められている。

技術戦略マップの策定に関しては、現在進行中の技術の発展、延長や社会活動の継続を前提にして、未来社会をイメージして技術要素を抽出してマップを作る方法と、将来の理想的なサステナブル社会像を描き出し、その中から技術要素を抜き出す方法の両方法の長所を生かして技術戦略マップの作成作業を行った。

今回の作業は、サステナブル・マニュファクチャリングの進展に資するための技術戦略マップ策定の第一歩であり、今後内容の一層の充実を図って行けば、活用場面の更なる広がりが期待できる。

設計、製造、加工分野の技術戦略マップ

．導入シナリオ

(1) 設計、製造、加工分野の目標と将来実現する社会像

現在、設計、製造、加工分野においてもサステナビリティが求められていることは言うまでも無い。サステナブル・マニュファクチャリングという技術体系において特徴的なことは、現状の技術の単純かつ無批判な進展のみでは社会的な要請に対応できないという点である。従って、サステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップ策定作業とは目標となる未来像を定めた後に、そこへ至る道筋を描く作業となる。

いまサステナブルな設計、製造、加工（サステナブル・マニュファクチャリング）を考えたときに、その進展は、2015年頃を境にそれ以前の近未来とそれ以降の将来とで二つに区分できるものと考えた。

2015年までの近未来では各個別研究主体（大学、公的研究機関、企業等）による要素技術の研究開発と成果の実用化を既存の枠組みのなかで進めることでサステナブル・マニュファクチャリングの進展を図ることができよう。

その後、2025年ないし2030年を見据えたサステナブル・マニュファクチャリングの一層の発展には、要素技術の個別開発での限界が明らかになり、大規模な実証実験、システム構築、データベース活用などの必要性が高まり、要素技術の更なる技術開発に加えて、新たな開発プロジェクト導入などが効果を発揮するものと思われる。

その結果として、2025年ないし2030年に実現する社会の全体像としては以下を想定している。【参考資料：サステナブル・マニュファクチャリング2025年シナリオ】

- ・ 地球温暖化問題に伴う化石エネルギー使用抑制の努力にも関わらず、中国、インドなどの経済発展に伴い、世界の一次エネルギー需要は2000年の1.4倍に達している。
- ・ 国際市場・国際競争に関して日本では2015～2025の間の低成長経済が続いた結果、経済規模では、中国、インドに抜かれGDP比で世界の4%程度になる。
- ・ これらのエネルギー供給の一部を担うと期待される再生可能エネルギーについては、技術開発も進み、着実にその比率を高めているが、劇的に増加するまでには至らない。
- ・ 2050年に向けた温室効果ガス削減の数値目標は主要排出国を含んで合意されている。これに伴い、日本の排出量削減目標も設定される。（2000年比60～70%減）。
- ・ 2000年比4倍の環境効率（生産物の価値／環境負荷）を可能とする製品設計、生産技術がすでに実現しているが、全産業分野に普及するには至っていない。
- ・ 日本における温室効果ガス排出量の削減目標は、人口減少、産業の海外流出、製造業を中心とした各産業のリーン化、製品のリデュース・省エネ化、排出権取引、炭素税、CO₂貯蔵の組み合わせにより達成される。

- ・ この頃には資源の枯渇の問題が緊急性を増しており、2050年の低炭素社会を目指して、技術の積み上げでない新たな生活様式の確立も含めたパラダイムシフトが求められている。

また、上記の実現すべき社会状況に対応して、設計、製造、加工分野で具体的にどのような産業状況が実現しているべきかのシナリオとして策定した。以下にその要点を記す。

設計開発段階に関しては、設計段階からの部品/製品リデュースが大きく進み、寿命・品質管理技術、検査技術、リサイクル技術などの要素技術が進展し、ライフサイクル設計において合理的なライフサイクル・オプションが選択され、実施されるようになる。また、持続可能社会シミュレーションが研究、実践面で定着しており、国内的には高度なライフサイクル設計+評価+マネジメントシステムが確立される。

製造段階については、需要に応じて再構成可能な真の Reconfigurable な生産システムが開発、一部実用化が始まり、最小（エネルギー、設備、資源、コスト）での生産の考え方は多くの生産現場で導入が検討されている。ただしシステムとして導入済みの分野は限られる。（MEMS、半導体ファブリケーション、薬剤製造など）資源、エネルギーでのリーン化のための要素技術、システム化技術が進展し、この分野では我が国の製造業が依然として優位に立つ。

使用（物流・流通、生活）については、物流加工・組立の集中化による製造・輸送の統合化、ロジスティックとリサイクル/リユースビジネスの融合が起こる。また、社会インフラにおいても長期間活用し続けることができるものが競争力を持つストック型社会へと転換する。また、地震、台風などの大規模な災害、広範囲の感染症などに対するリスクマネジメントが進みつつある。

使用後（end-of-pipe）について、石油価格の高騰から、メーカーによるリユース、リサイクルなどのライフサイクル思考が経済のメカニズムに組み込まれ経営戦略となる。また、リサイクル原材料については地域ベースでのリサイクルのサードパーティ、輸出、輸入、など様々な選択肢が登場し、解体された部品、回収された材料なども供給より需要が大きくなる。

以上の社会や産業状況の実現に向けて、設計、製造、加工分野では「高付加価値化（サービス工学的）」、「ライフサイクル思考（インバース・マニファクチャリング、ライフサイクル工学的）」、「最小化（ミニマルマニファクチャリング）」、「技術の伝承（技術の見える化、技能のデジタル化など）」の4つの方向性を重点的に追求して行く必要があると考えている。

（2）研究開発の取組み

前項に記したとおり設計、製造、加工分野におけるサステナブル・マニファクチャリング実現には、以下の視点での研究開発が必要とされる。

ライフサイクル思考

製品ライフサイクル全般に視野を拡大し、様々なタイプの循環生産を実現するのに必要な要素技術と全体システムを評価／構築するのに必要な事項として、ライフサイクル設計関連の技術とプロダクトモデリングによるシミュレーションや将来社会の実現可能性評価ツールとしての持続可能社会シナリオシミュレータの開発が必要である。

高付加価値化

持続可能性達成と製品・サービスの質的向上とを両立するモノとサービスの配分の最適化として、製品価値、サービス価値の可視化とトレーサビリティの確保のための技術開発を行う。

最小化

ものづくりにおいて、時間、空間、資源、コスト、環境負荷などの最小化などに関して、リサイクル材の利用体制や需要に合わせたオンデマンド生産などに関する技術開発が必要である。

技術の伝承

競争力の源泉としての技術、知識、技能などの明示化と伝承のために、技能・知識のデジタル化、形式知化を進める必要がある。

(3) 関連施策の取組み

近未来(～2015)においては、既存の枠組みを有効に活用することでサステナブル・マニュファクチャリングの進展を支えることができる。しかし、その先 2025～30年、さらには2050年のサステナブルな社会の実現に向けては、製品ライフサイクルデータベースの活用や企業や業界団体の自主行動計画の拡大、商業ベースでのグローバル循環システムの構築／運用などだけでなく、法整備、規制などの外部条件の整備による方向付けも必要となろう。それぞれのカテゴリーにおいて以下の施策、取組みが必要となる可能性が高い。

[規制・制度改革]

2015年頃まで

- ・環境基本法、循環型社会形成基本法をはじめとする現行の法体系の下でグリーン購入法、家電リサイクル法などの政令、省令等で定める事項の見直しを図る。また排出権取引や環境税制などに関連する制度の可能性の検討をする。
- ・業界別自主行動計画を早急に策定し、法規制などが効果をあげはじめるまで、また革新的な新技術が実用化されるまでの「つなぎ」を行う必要がある。
- ・国内排出権取引は業界別自主行動計画同様、2012年ないしその後の温室効果ガス削減の中間目標達成のために有効に活用される。

2025(30)年頃まで

- ・環境関係の法規制が本格的に効果をあげはじめる。法規制と、資源枯渇などに伴い、環境コストなどの外部経済の内部化が進展する(環境に優しい製品が経済的に有利

になる。)

- ・上記に伴い、環境に配慮した消費行動が誘導されるようになる。

〔基準・標準化〕

- ・環境 JIS の策定促進アクションプログラム（2005 年 3 月改訂）を推進し、次期計画の策定、実施を行う。

〔国際標準化〕

- ・環境関連国際規格の策定を促進する。環境適合設計（ISO）、環境会計（ISO）、電気電子機器の環境配慮設計（IEC）、「生産システムにおける環境負荷評価法」（ISO/TC184/SC5）などにおいて、部品共通化／交換容易化設計、製品解体手法、リサイクルマークなどの国際標準化を進める。

〔広報・啓発〕

2015 年頃まで

- ・「家庭」からの温暖化ガス排出が増えている状況も鑑み、環境に優しい消費行動の誘導が重要な要素となる。そのために、省エネマーク、環境ラベルにおいては定量的な評価結果に基づくラベリング（所謂 Type3 のエコラベル）が普及推進する必要がある。
- ・2015 年ごろまでエコラベルなどに含まれる環境関連情報を素早く、簡単に、消費者に提供する技術の普及が望まれる。（開発される。）
- ・自然災害対策、情報漏えい対策などの社会の安全安心を確保する技術の本格的な実用化が進められる一方、消費者側で可能な対策が十分に周知される必要がある。

2025 年ごろまで

- ・持続可能社会評価技術を実用化し、“社会がこのまま推移すると（地球環境は）どうなるのか”という情報を広範に普及させる必要がある。
- ・製品の所有と利用とに関する環境アセスメントを可能とし、製品の様々な利用形態をオプションとして提供する必要がある。

〔人材育成〕

2015 年ごろまで

- ・2007 年問題（大量退職問題）を克服すべく、これまでに蓄積した製造に係る知識、技能のデジタル化を完了させる必要がある。
- ・2025（30）年ないしそれ以降の労働人口減少の対策として、海外とのものづくり人材の交流シナリオについて社会的な合意形成を行う必要がある。

2025（30）年頃まで

- ・（上記で合意がなされた場合）設計製造加工における中核人材の海外との相互交流を進めるとともに、体系化された知識の伝達を可能とする必要がある。
- ・また、外部からの人材も含めた環境行動の誘導、広報、普及が必要となる。

〔国際連携・協力〕

2015 年ごろまで

- ・グローバルな製品循環ループの構築に向けて、中古品、破碎材料の輸出入に関する 2 国間、多国間の合意を形成する必要がある。
- ・2007 年現在問題となっている不適切な循環ループ解消のための社会システム整備が行われる必要がある。
- ・化学物質規制などを中心に、地域別に異なるルールではない国際的に共通の枠組みが導入される必要がある。
- ・IMS (Intelligent Manufacturing System) の枠組みで日本 EU 間でサステナブル・マニュファクチャリング等に関し 3 回の会議を実施し、全地域が参加する IMS/MTP (Manufacturing Technology Platform) プログラムへ発展した。今後具体的な関連プロジェクトの推進が期待される。

2025 (30) 年頃まで

- ・グローバルな環境を考えた資源の“地産地消”戦略への転換が進む可能性がある。(資源としてのリサイクル材料の確保など)これに対応した国内の社会システム(再)整備と国際合意の形成が必要となる。

・技術マップ

(1) 技術マップ

設計、製造、加工分野の技術マップにおいては、前述の通り、あるべきサステナブル社会を実現するために重要な 4 つの方向性 (LC 思考、高付加価値化、最小化、技術の伝承) を定めた。これらのベクトルを実現するために必要な方法論の観点から、9 つの技術分類を定めて、この技術分類をマップにおける中分類に代わるものとして用いることとした。最後に、通常の技術マップ的な小分類と要素技術をリストアップし、当てはまる大分類 (技術の目的)、中分類 (技術分類) に分類している。ここでいう 9 つの技術分類とは以下のとおりである。

システム化

異業種、異種の技術を横断的、統合的に考えることによってサステナビリティを実現しようとするもの。

サービス化

技術を実施する時期、どのような対象に対して実施するか、どのようなソフトウェア技術とともに提供するかなど、所謂サービス面を高度化することにより、サステナビリティを実現しようとするもの。

見える化

製品、プロセス、材料などの技術情報を明示することにより環境配慮的な行動を誘発し、サステナビリティを実現しようとするもの。

情報化・ユビキタス化

製品、プロセス、材料などの技術情報を明文化、定量化して伝達可能な情報とすることにより、サステナブル・マニュファクチャリング実現のためのキーファクターを明らかにし、技術や消費行動の環境配慮性を誘導するもの。

再利用化

第一次のライフサイクルが終了した材料、製品などを再利用することにより、中長期的に見てサステナビリティを実現しようとするもの。

代替化

材料、プロセスをより環境配慮性の高いもので置き換えることによりサステナビリティを実現しようとするもの。

バランス化

エネルギーや資源の使用などを、空間的、時間的に適切に配分することにより全体系としてのサステナビリティを実現しようとするもの。

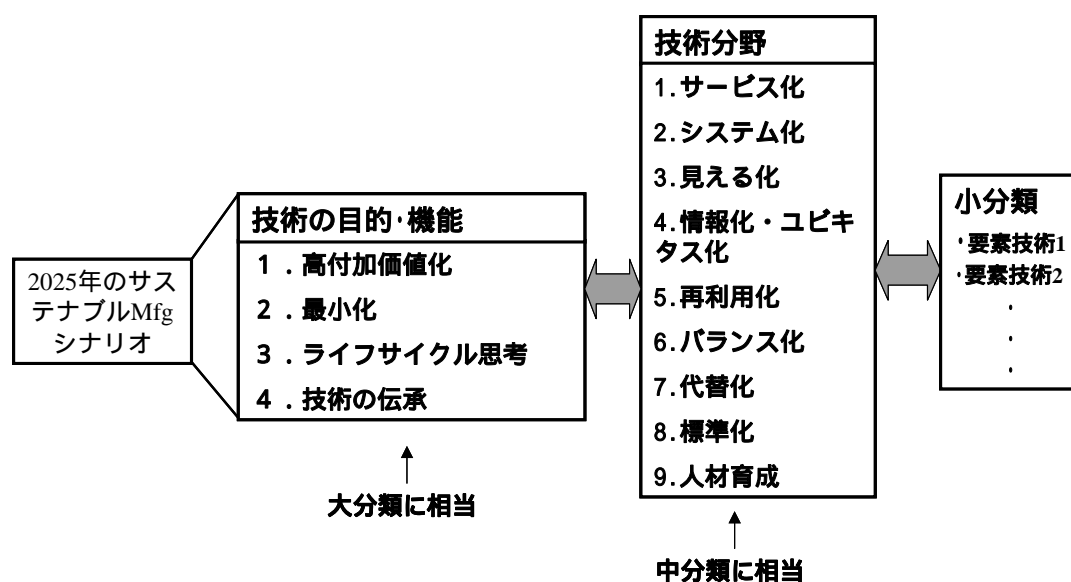
標準化

主として規格を定めたり、部品などを共通化し、間接的に上記の再利用化、リノベーションに寄与することでサステナビリティを実現しようとするもの。

人材育成

他の項目とは性質が異なるが、質の高い人材を育成したり、少子化、高齢化に起因する労働力の不足を緩和し、生活の質を維持、向上しようとするもの。

以上をまとめると、本分野における技術マップは次の図で示される階層構造となっている。



(2) 重要技術の考え方

技術マップにおいて抽出された各技術項目はいずれも不可欠であり、官民の一体的

取組みまたは民間の主体的な取組みによって積極的な開発が望まれるが、いくつかの観点から重要技術として評価されるものを抽出する作業を行った。その際、本分野における重点化評価項目としてあげたものは次の通りである。

我が国の技術的優位性、国際競争力を維持、向上させたり、生活の質を顕著に向上させることが可能かどうかの観点

- ・日本の技術競争力優位
- ・共通基盤性
- ・ブレークスルー技術
- ・市場へのインパクト
- ・基礎技術の開発が必要

直接的に地球環境問題に貢献しうるかどうかの観点

- ・エネルギー制約の打破に寄与
- ・資源制約の打破に寄与
- ・環境制約の打破に寄与

社会そのものの持続可能性に貢献しうるかどうかの観点




- ・人口制約の打破に寄与

技術マップにおいては、抽出した要素技術リストが上記の重点化評価項目のどこに相当するかを丸付けして示している。ただし、今回作成した技術マップにおいては にあげた5項目を、“高付加価値化”、“生活の質”の2項目に集約している。

以上の重点化評価の結果、特に重要と考えられる技術(小分類レベル)をマップ中に色づけして(赤で)示している。ただし、絞込みの観点は、単純に「多くの項目に が着く」ことでは無く、貢献の度合い、技術としての発展性、波及効果、なども考慮した結果である。

・技術ロードマップ

技術マップに示した重要技術ごとに、研究開発により達成されるべき事項を時間軸に示した。サステナブル・マニュファクチャリングの設計、製造、加工分野においては、分野の性質上(例えば半導体分野のように)開発スペックを時間軸上に数値で表すことは難しい。むしろ、そのようなスペックの向上ではなく、様々なトレードオフを考慮した横断的、総合的取り組みが必要という主張であることを理解されたい。従って開発目標のマイルストーンを定量的に示すことは行わず、定性的な開発目標を時間軸上に示している。

右の欄の開発の時間経過における矢印については、“”の部分の部分が事前調査、基礎開発の期間、“”の部分部分が本格開発の期間、“”の部分部分が実用化に向けての時期を表す。当然、技術の性質、内容により、これらの立ち上がり、継続、立ち下がり、部分の形状は異なり、技術によっては既に本格開発が開始されているものもあるが、本格開発の開始がかなり先になるものもある。

また、この分野ではシーズ指向で技術の抽出を行っていないため、現在ないし近未来には重要でも、2025（30）年には実用化が終了し、開発の重要性が無くなる技術、逆に将来的に重要だが、現段階でのプロジェクト化は時期尚早である技術などをロードマップ中に表現することを試みている。

上記の矢印図形の配置にはその意図も込められている。

設計・製造・加工分野の導入シナリオ

2010年

2015年

2025年

2050年

目標

2025年までに温室効果ガス排出削減の中間目標を達成する。2050年までに持続可能な低炭素かつ質の高い社会を実現する。環境コア技術を活用し、産業の国際競争力を維持する。グローバル循環社会システムの構築等に主導的役割を果たす。

民間企業の
取り組み

自社製品を対象とした環境効率評価技術の導入
高付加価値化を中心としたコア技術のブロックボックス化とグローバル市場でのマスカスタマイゼーションの同時実現
自社における技能のデジタル化、作業支援
環境ビジネスモデルの導入、実践

研究開発の取り組み

と思考

LC設計基本技術 設計現場でのLC設計の導入 広範な製品でのLC最適設計の実現
持続可能社会シナリオシミュレータの開発 シミュレータによる社会の評価

高付加価値

グローバル循環社会システムの構築 LCプロダクトモデリングの実現
製品コア技術のブロックボックス化、カスタマイゼーションのための技術 製品価値、サービス価値の可視化
RF-IDの大容量化などの基本技術 サプライチェーン全体におけるトレーサビリティの確保
社会の安全安心技術(災害、健康被害、情報漏洩等)

最小化

現物シミュレーション技術の実用化 オンデマンド生産のプロトタイプ製造などへの試行 実際の製品への適用
一部材料でのリサイクル素材利用 素材毎のリサイクル材利用体制の確立 完全な動脈-静脈一体形生産システムの実現
省エネルギー加工プロセスの一部実現 エネルギー・材料最小化複合加工プロセス

技術の伝承

MIMなどの技術開発 サステナビリティを考慮した高歩留まり加工プロセス スーパーニアネットシエイプ加工技術実用化
技能、知識のデジタル化 技能者の感性等の評価、分析、形式知化

規制等
施策

京都議定書第一目標期間 次中間目標の合意 中間目標年 Cool Earth50実現
排出権取引、環境税制などの検討 外部経済の内部化の進展
海外とのものづくり人材交流に関するシナリオ作り 中核人材の相互交流

国際協調
標準化

グローバル循環社会システム構築に向けた合意 国際合意に基づく地域内循環最適化
解体情報等の標準化に向けた国際ルール検討開始 標準化
リサイクルの高度化のための共通要素設計技術 共通要素設計による高品質な製品・部品リユースの実現

普及
啓発

各種LC評価技術の基礎研究 LCAデータベース、マテリアルフロワーデータ等の利用可能化 評価結果の普及
エコラベル 所有と利用の諸形態に伴う環境影響の提示 上記全ての取組みを通じた環境調和行動の誘導

関連施策の取り組み

設計、製造、加工分野の技術マップ(1/3)

No.	大分類	中分類	小分類	要素技術 (例)	サステナビリティ確保のため克服すべき制約項目					サプライチェーンの該当フェーズ又は全体最適化の				市場投入時期						
					エネルギー	資源	環境	生活の質	高付加価値化	技術の伝承	原料調達・原料製造	製品開発製造・使用	再利用・リサイクル・処分	循環系のシステム化	2020年	2030年	2050年			
1101	LC思考	サービス化	メンテナンス技術	余寿命診断 非破壊検査 診断修復技術 リスクベアト保全技術 使用履歴管理技術 メンテナンスビジネス化																
1102			環境調和ビジネス戦略設計支援技術	環境調和ビジネス設計支援ソフトウェア技術																
1201	システム化	LC設計技術	LC戦略設計技術	LC戦略設計技術																
			ライフサイクル・シミュレーション 代替案比較分析手法																	
			易リサイクル設計技術																	
			易リユース設計技術																	
1202		リデュース設計技術	構造最適設計技術 高機能材料利用技術 再生材・再生部品利用技術																	
1203		LC管理技術	ライフサイクル情報管理技術 使用履歴管理技術 現物・情報融合技術																	
1204	グローバル循環設計・管理技術	グローバル循環のための設計技術 トレーサビリティ確保技術 グローバル循環に関わる社会システム整備																		
1301	LCの情報化	プロダクトのモデリング技術	新しい形状モデルの表現形式 形状モデルの属性の付加と抽出 形状モデルのデータ交換																	
1302			現物融合技術	リバースエンジニアリング技術																
1401	見える化	持続可能社会評価技術	持続可能社会シナリオシミュレータ																	
1402			各種ライフサイクル評価技術	LCA ライフサイクル・シミュレーション マテリアルフロー分析 安全性評価技術																
1403			環境効率評価技術	環境効率指標開発																
1404			寿命管理技術	寿命予測技術 寿命診断技術 寿命設計技術																
1405	品質保証技術	余寿命診断技術 劣化診断技術 非破壊検査技術 遠隔検査技術																		
1501	再利用化	リユースのための循環マネジメント技術	リユース部品発生予測 リユース部品在庫管理技術 リユース部品を含む生産計画技術																	
1502		リユースのための生産技術	部品再生・補修技術 検査技術 洗浄技術																	
1503		その他のリユース関連技術	詰め替えビジネス促進技術 詰め替えビジネス阻止技術 中古部品の市場整備																	
1601	標準化	共通要素設計技術	部品交換容易化設計技術 部品共通化設計技術 多世代共通化設計技術 部品長寿命化設計技術 検査容易化設計技術 洗浄容易化設計技術 易分解設計技術 モジュール化設計技術 診断容易化設計技術 メンテナンス容易化設計技術 自己診断設計技術 自己修復設計技術																	
1602			長寿命化技術	機能変更可能化設計技術 性能向上可能化設計技術 モジュール化設計技術 ソフトウェア更新設計 材料技術・構造技術 メンテナンス技術																

設計、製造、加工分野の技術マップ(2/3)

No.	大分類	中分類	小分類	要素技術 (例)	サステナビリティ確保のため克服すべき制約項目							サブライチェーンの該当フェーズ又は全体最適化の			市場投入時期				
					エネルギー	資源	環境	生活の質	高付加価値化	技術の伝承	原料調達・原料製造	製品開発製造・使用	再利用・リサイクル・処分	循環系のシステム化	2020年	2030年	2050年		
2101	高付加価値化	サービス化	ビジネス構造設計支援技術	ビジネス構造のモデル化技術															
2102				ビジネス構造可視化技術															
			ビジネス事例データベースと検索技術																
			ユーザニーズ把握技術	ユーザニーズの収集技術															
			ユーザニーズ構造分析技術																
			顧客価値評価技術																
2103			人間状態計測技術	人間のメンタルモデル構築技術															
2104			製造における製品 / サービス適正化技術	物理的状态計測技術															
				メンタルな状態計測技術															
2105			製品 / サービス融合化技術	カスタマイズ容易化設計技術															
				ローカライズ対応カスタム設計技															
				コア技術のブラックボックス化															
2106			製品の価値・サービス価値の可視化技術	製品・サービスの統合設計方法論															
				製品・サービス複合モデルのシミュレーション技術															
			社会の安全・安心技術	製品・サービスの統合設計方法論															
				健康被害対策技術															
				自然災害対策技術															
				テロ等非常時対策技術															
				不正アクセス、ウィルス対策															
				情報漏洩対策技術															
2201		見える化	トレーサビリティ確保のための技術(トータルトレーサビリティ技術)	商品の調達品に関するトレース(輸出入を含む)															
				商品の輸送、配送に関するトレース(輸出入を含む)															
				商品の利用、保守状況の把握															
				商品のリサイクル状況の顧客への提示															
				RFIDの小型化・大容量化技術															
				読取 / 書込の高度化技術															
				大規模データベースの活用技術															
2301		システム化	安全設計支援技術	本質安全設計															
				失敗学															
2302			機械と人間の協調技術	FMEA支援技術															
				人に優しいロボット技術															
2303			無停止化技術	パワーアシスト															
				BC/DR(Business Continuity & Disaster Recovery)対策															
3101	技術の伝承	情報化	技能・技術の形式知化技術	加工現象の計測・分析技術、CAE															
3102				技能の計測・分析技術															
3201				加工技能における暗黙知の形式知化															
		標準化	加工作業支援技術	デジタル化支援ソフトウェア															
3202				問題解決支援技術															
3301				作業中支援技術															
	人材育成	技能の伝承関連技術	生産支援技術	生産工程の自動化															
			生産技術、工程のIT活用技術																
3302			技能の伝承関連技術	OJT伝承、技能継承マニュアル															
			技術伝承のためのVR技術																
			技術伝承のためのIT活用技術																
			e-ラーニング																
			生産のグローバル化に対応する人材育成技	高品質生産対応作業指示技術															

設計、製造、加工分野の技術マップ(3/3)

No.	大分類	中分類	小分類	要素技術 (例)	サステナビリティ確保のため克服すべき制約項目					サプライチェーンの該当フェーズ又は全体最適化の			市場投入時期						
					エネルギー	資源	環境	生活の質	高付加価値化	技術の伝承	原料調達・原料製造	製品開発製造・使用	再利用・リサイクル・処分	循環系のシステム化	2020年	2030年	2050年		
4101	最小化	標準化	図面情報の共通化技術	解体手法の国際化 リサイクルマークの共通化 図面付記情報の共通化															
4201			サービス化	SCM・LCMを取り込んだ製造	企画 計画 運営 可視化 リバースロジスティクス サプライヤーパーク 垂直立ち上げ デリバリーの維持														
4202		製造装置の自律化技術		装置機能の検査・評価技術 分割を容易にする設計(デザイン)製造 マニュアルレス分割(分割ガイダンスマーク)															
4203		高効率的多品種変量生産		オンデマンド生産システム 半導体ミニファブ 局所環境制御加工技術															
4204		試作最小化技術		構想設計から使える形状モデルの方式 CAD/CAE間のデータ受け渡し簡便化技術 連成解析、最適化解析などの技術 現物シミュレーション技術 過去のノウハウ活用技術															
4301		再利用化	リユースのためのプロセス技術	洗浄技術 検査技術 リユースのための修理・メンテナンス・アップグレード															
4302			動脈静脈一体型生産システム技術	成分分析・素材分離技術															
4303				動脈静脈一体型加工プロセス技術	再生マグネシウムからの素材製造 変種変量逆生産技術 洗浄技術 素材判別技術 再生素材品質検査 素材再生技術														
4304			マテリアルリサイクルの高度化技術	高度自動材料選別技術 テレオペレーション応用技術 焼却技術の高度化 再生材料の再精錬・高品質化技術 再生プラスチックの高品質化技術 廃棄物再利用技術 製造・廃棄時の有用物質(レアアース・レアメタル)回収技術の高度化															
4401		代替化	使用における有害物質削減、不使用技術	RoHS (REACH)規制対応技術 形状・構造設計 素材選択 加工選択(塗装等) 有害物質含有物の代替技術 超機能環境適合性トライボロジー技術 エコトライボロジー															
4402	製造における有害物質削減、不使用技術		製造時の有害物質回収技術の高度化 加工液等削減 製造時の廃棄物削減技術 レジスト等補助材料の削減技術																
4403	廃棄における有害物質削減、不使用技術		廃棄材料からの元素分離技術																
4501	バランス化	製造プロセスの省エネ、省資源技術	小型複合生産機械 省エネルギープロセス設計技術 セラミックス等の製造プロセス合理化技術 材料・エネルギー最小化加工技術																
4502		製造設備の省エネ技術	生産システムの効率的運用技術 生産機械のエネルギー使用合理化技術 コンパクト生産システム セル生産																
4503		材料高歩留まり製造プロセス	フリーフォーム鍛造 MIM チクソモールディング スーパーニアネットシェーブ加工																

設計、製造、加工分野の技術ロードマップ(1/5)

大分類	中分類	No.	小分類	開発フェーズ				実用化時期			
				2007	2010	2020	2030		2050		
LC思考	サービス化	1101	メンテナンス技術	<p>寿命診断 非破壊検査 診断修繕技術 リスクアセスメント保全技術 使用履歴管理技術 メンテナンスビジネス化</p>	<p>非破壊検査技術・故障診断技術 メンテナンスのサービス化技術 使用履歴管理技術</p>	<p>ほぼ全ての社会インフラ、製品で適切な故障診断が可能 メンテナンス産業の高付加価値サービス産業化の進展</p>	<p>使用履歴が適切に管理され、メンテナンスに使用履歴情報が活用される</p>				
			1102	環境調和ビジネス戦略設計・支援ソフトウェア技術	<p>環境調和ビジネス設計・支援ソフトウェア技術</p>	<p>環境調和ビジネスの合理的設計が可能 多様な事業形態とビジネスが世の中で展開</p>	<p>多くの製品で、最適化された革新的なライフサイクルが実現</p>	<p>脱物質化が進み、複数製品を組み合わせた循環型LCが実現</p>			
			1201	システム化	<p>LC戦略設計技術 ライフサイクル・シミュレーション 代替案比較分析手法 易リユース設計技術 構造最適設計技術 高機能材料利用技術 再生材・再生部品利用技術</p>	<p>ライフサイクル設計基本技術 リデュース設計基礎技術</p>	<p>ライフサイクルの最適化設計技術</p>	<p>製品横断的なライフサイクル設計技術</p>			
			1202	リデュース設計技術		<p>脱物質化設計技術</p>	<p>HW/SWサービスの最適化による製品サービスシステムの重畳</p>				
			1203	LC管理技術	<p>ライフサイクル情報管理技術 使用履歴追加管理技術 環境・情報統合技術</p>	<p>ライフサイクル管理技術</p>	<p>ライフサイクル全体の把握と適切な管理の実現</p>				
			1204	グローバル循環設計・管理技術	<p>グローバル循環のための設計技術 グローバル標準・規格技術 グローバル循環に関わる社会システム整備</p>	<p>グローバル循環設計・管理技術</p>	<p>持続可能なグローバル循環の実現</p>				
			LCの情報化	見える化	1301	プログラムのモニタリング技術	<p>新しい形状モデルの表現形式 形状モデルの属性の付加と抽出 形状モデルのデータ交換</p>	<p>形状モデルの属性の付加、抽出が実用化</p>			
						1302	現物融合技術	<p>新しい形状モデル表現の基礎が固まる</p>	<p>開発システムとして適用が始まる</p>		
						1401	持続可能社会評価技術	<p>リパースエンジニアリング技術 持続可能社会シナリオシミュレーター</p>	<p>持続可能社会シナリオ作成技術</p>	<p>我が国の持続可能社会像とそのシナリオの明確化</p>	<p>持続可能社会への到達度評価技術</p>
						1402	各種ライフサイクル評価技術	<p>LCA ライフサイクル・シミュレーション マテリアルフロー分析 安全性評価開発</p>	<p>LCVデータベース、マテリアルフロー等の評価基礎データの収集、利用可能化</p>	<p>価値の定量化を含む環境影響評価の確立、多くの製品が評価可能になる</p>	<p>多くの社会インフラ、製品で劣化診断、寿命診断が可能に</p>
再利用化	1501	リユースのための循環マネジメント技術	リユース部品生産技術	<p>リユース部品生産・評価技術 リユース部品を含む生産計画技術</p>	<p>リユースのための循環マネジメント技術</p>	<p>ライフサイクルを見据えた品質保証技術</p>	<p>ライフサイクルを見据えた品質保証証が多量の製品で実用化</p>				
			1502	リユースのための生産技術	<p>部品生産・補修技術 検査技術 洗浄技術 詰め替え・ビジネス促進技術 詰め替え・ビジネス阻止技術</p>	<p>リユースのための生産技術</p>	<p>リユース交換技術</p>	<p>製品・部品リユースの商品 高品質な製品・部品リユースの運用 リユースビジネス構築準備</p>			
			1503	その他のリユース関連技術	<p>中古部品の市場整備</p>	<p>リユースのための循環マネジメント技術</p>	<p>設計による、ライフサイクル管理の高度化</p>	<p>設計による高品質な製品・部品リユースの実</p>			
			1601	共通要素設計技術	<p>部品交換容易化設計技術 部品共通化設計技術 多世代共通化設計技術 共通要素設計技術 洗浄容易化設計技術 洗浄容易化設計技術 モジュール化設計技術 診断容易化設計技術 メンテナンス容易化設計技術 自己修復設計技術</p>	<p>設計による、材料リサイクルの容易化</p>	<p>リユースのための要素設計技術</p>	<p>社会インフラ、製品で寿命を長期化し、寿命を制御可能となる</p>			
			1602	長寿命化技術	<p>環境変動可能化設計技術 性能向上可能化設計技術 モジュール化設計技術 ソフトウェア更新設計 材料技術・製造技術 メンテナンス技術</p>	<p>物理寿命の長寿命化、制御技術</p>	<p>価値寿命の長寿命化、制御技術</p>	<p>使用段階で機能や性能の追加・改良、更が自由に行える製品の普及</p>			
							<p>価値寿命の長寿命化、制御技術</p>	<p>価値寿命の長寿命化、制御技術</p>			

設計、製造、加工分野の技術ロードマップ(2/5)

大分類	中分類	No.	小分類	要素技術 (例)	事前調査、基礎開発				本格開発			実用化時期				
					2007	2010	2020	2030	2050							
高付加価値 サービス化	サービス化	2101	ビジネス構造設計支援技術	ビジネス構造のモデル化技術	複雑なビジネスの構造の表現	表現方法の標準化	各種視点でのビジネス構造モデルの可視化	標準形式に基づいて蓄積	新ビジネス設計で従来事例を参考に							
				ビジネス構造可視化技術												
				ビジネス事前データベース構築技術												
				ユーザーニーズの収集技術	WEB自動検索、アンケートなどによる収集	収集精度の向上										
				ユーザーニーズ構造分析技術	相関関係による関連ニーズの構造化	チーム拡大のメカニズム分析およびシミュレーション										
				顧客価値評価技術	商品、付帯サービスなどを含めた総合的な顧客価値の評価	顧客価値の拡大要因の評価										
				人間のメンタルモデル構築技術												
				物理的状態計測技術												
				メンタルな状態計測技術												
				カスタマイズ容易化設計技術												
見える化	製造における製品/サービス適正化技術	2104	顧客ごとの仕様に対応する商品の設計手法	ローカライズ対応カスタム設計技術	顧客ごとの異なる仕様へ対応する商品の設計手法											
				コア技術のブラックボックス化	顧客文化、地域特性などによって異なる仕様へ対応する商品の設計手法											
				製品価値・サービス価値の可視化技術	商品の標準化とコア技術のブラックボックス化を両立させる設計手法											
				製品・サービス複合モデルのシミュレーション技術												
				製品・サービスの統合設計方法論												
				健康被害対策技術												
				自然災害対策技術												
				予知等非常時対策技術												
				不正アクセス、ウイルス対策												
				情報漏洩対策技術												
システム化	安全設計支援技術	2301	安全設計支援技術	商品の調達品に関するトレース(輸出入を含む)	情報機器などの商品に保存された情報の漏洩防止と機能の孤立を図る技術											
				商品の輸送、配送に関するトレース(輸出入を含む)	調達チェーン全体に渡って材料、個別部品、ユニット部品などそれぞれ独立な単位のロットの対応関係を管理し、必要に応じて検索する技術											
				商品の利用、保守状況の把握	商品の出荷・輸送、在庫、配送などをトレースする技術											
				RFDの小型化・大容量化技術	商品の利用状況を測定、把握し、再使用した部品についてもその利用履歴を把握する技術											
				読取/書き込みの高度化技術	使用後の商品について、その分解、処理、部品再使用を行った後まで結果を検索する技術											
				大規模データベースの活用技術												
				本質安全設計												
				失敗学	本質安全性の判定、確率論の提示などを行う設計支援技術											
				FMEA支援技術	製品不良を記す設計上、製造上のメカニズムのモデル化と、そのモデルに基づく評価技術											
				人に優しいロボット技術	FMEAの効率的かつ高信頼な実施の支援技術											
無停止化技術	無停止化技術	2303	無停止化技術	人の物理的な特性に合致したロボットの実現技術	人の物理的な特性に合致したロボットの実現技術											
				人の意図に合致した動作の制御方法と駆動アクチュエータ	人のメンタル的な特性に合致したロボットの実現技術											
				BC/DR(Business Continuity & Disaster Recovery)対策	BC/DRの計画策定と実施											

設計、製造、加工分野の技術ロードマップ(3/5)

大分類	中分類	No.	小分類	事前調査、基礎開発				本格開発				実用化時期				
				2007	2010	2020	2030	2050								
技術の伝承	情報化	3101	技能・技術の形式知化技術	加工現象の計測・分析技術、CAE	加工現象の主因リアルタイム計測技術 加工現象の計測とCAE技術による加工原理の解明	製品企画から製造、利用、環境影響、廃棄、再利用までを通じたCAE技術										
				技能の計測・分析技術	技能者の作業の記録とデータベース化 技能者の判断基準のデータベース化 技能の抽出・分析、再現手法の開発	技能者の感性計測、評価技術 技能者の作業中に技能データを自動抽出する技術										
				加工技能における暗黙知の形式知化	標準型技能データベース構築 技能の加工現象理論による分析、解明	人の感性と加工現象理論による分析、解明	総減価償却技術の保存と再活用のためのシステム									
標準化	3101	技能・知識のデジタル化技術	デジタル化支援ソフトウェア	自社データベース構築と活用技術 自社データベース活用支援技術	自社技術の適用拡大支援技術											
			問題解決支援技術	トラブル要因分析技術 知識分類・関連づけの自動化技術	トラブル要因自動分析技術 知識分類・関連づけの自動化技術											
			作業中支援技術	不具合自動検出技術 技術情報を提示するモバイル型システムの開発	作業中の人の行動、ストレス反応を計測するモバイル型システムの開発											
標準化	3201	生産支援技術	生産工程の自動化	生産ラインの自動化技術確立 検査工程の自動化技術	技能作業を再現、拡張する生産機械技術 量産ラインにおいて人と共存可能な汎用作業ロボット技術 セル生産支援ロボット技術											
			生産技術、工程のIT活用技術	業務用アプリケーション 開発支援ソフトウェア プラットフォーム構築	標準型、自社得意数のデータベースと連携して最適な生産条件を示す作業設計技術 業務用アプリケーションの自動開発技術											
			技術の伝承、技能継承マニュアル	マルチメディア利用、加工手法、工程の特性を考慮した効率的人材育成手法・ツールの開発 地域、業種ごとの普及と拠点、普及体制の構築	システムの低コスト化の追求 学校教育への導入 加工現象理論に基づいたVR空間の構築技術											
人材育成	3301	技能の伝承関連技術	技術伝承のためのVR技術	サードパーティ先導する五感情報再現のための要素技術開発 種別作業等の特殊作業工程習得への利用技術 技能作業の五感情報を元にした習得への利用技術	システムの低コスト化の追求 学校教育への導入 加工現象理論に基づいたVR空間の構築技術											
			技術伝承のためのIT活用技術	マルチメディア活用技術 VR技術活用技術 インターネットによる公開型データベース活用技術 技術情報、技能情報の集積、分析、体系化とデータベース構築技術	技能の分析と形式知化技術 人的技能の拡張技術 知識分類・関連づけの自動化技術 技術情報、技能情報の集積、分析、体系化とデータベース構築技術											
			e-ラーニング	学会、教育機関単位での人材育成プログラム構築 企業単位での独自人材育成プログラム構築	VR技術と自然言語による対話的なオーダーメイドシステムの構築											
技術の伝承	3302	生産のグローバル化に対応する人材育成技術	高品質生産対応作業指示技術	技術・知識における普及範囲と守秘範囲の明確化 図面、工場内各種指示の共通シンボлизация、e-ラーニング、各種データベースの多言語化												

技能(暗黙知)の形式知化により技術継承促進による新たな技能の発生、この繰り返しによる技術のスパイラルアップ

設計、製造、加工分野の技術ロードマップ(4/5)

大分類	中分類	No.	小分類	専門調査、基礎開発			本格開発			実用化時期			
				2007	2010	2020	2030	2050					
最小化	標準化	4101	図面情報の共通化技術	製法手続の国際化 リサイクルマークの共通化 図面付記情報の共通化	図面・製品情報・解体情報・再利用化情報などの標準化・表示等の国際ルール化検討開始	ISO標準準備							
		4201	SCM・LCMを取り込んだ製造	企業 計画 可視化 リバーシブルなプロセス 生産 モノの追跡 モノの追跡	資源・製品供給・製集中型製造と物流・流通・消費・輸送を考慮製造・モデル検証開始 製造技術の計手法の検討	再資源化プロセス・システムの実現 最小環境負荷での供給システム開発						部分的にISO化はまる	
		4202	製造装置の自動化技術	装置稼働の後置・評価技術 内外を容易にする設計(アジア)	多品種製品対応製造技術の試行 部品供給ジャンル等への応用開始								
		4203	高効率的多品種変量生産	オンデマンド生産システム	パーソナル技術による 超高温材料の局所選 増加工技術の確立								
再利用化	標準化	4204	試作最小化技術	構想設計から使える形状モデルの方式 CAD/CAE間のデータ受け渡し簡便化技術 成形・脱脂・脱油・脱脂などの技術 脱脂・脱油・脱脂などの技術 過去のノウハウ活用技術	新しい形状モデルの試用が始まる								
		4301	リユースのためのプロセス技術	洗浄技術 検査技術 リユースのための修理・メンテナンス・アップグレード	製品の寿命診断技術開発開始 修理容易設計	リペア技術の開発・部品供給体制(臨時生産)技術開発 リユースのための共通化・情報管理検討開始							
		4302	動脈静脈一体型生産システム技術	成分選・素材分離技術									
		4303	動脈静脈一体型加工プロセス技術	再生マグネシウムからの素材製造 洗浄技術 素材別技術 再生素材品質検査 素材再生技術	リサイクル材料の判別技術 再生材料リサイクル 再生材料リサイクル 再生材料リサイクル 再生材料リサイクル 再生材料リサイクル								
代替化	標準化	4304	マテリアルリサイクルの高効率化技術	高効率原料調達技術 リネオベレーション活用技術 低価格技術の高効率化 再生材料の高品質化技術 再生プラスチックの高品質化技術 廃棄物再利用技術 製造・廃棄時の有用物質(レアアース・レアメタル)回収技術の高効率化 R・O・H・S・REACH対応技術 形状・構造設計 素材選択 加工選択(塗装等) 加工選択(塗装等) 超機能環境適合性トライバルコーティング	材料の動電圧測定技術開発・分析・自動選別技術の開発 再生材料の特性評価 再生材料の特性評価	材料選別技術の高効率化・分解と精錬の同時化技術の開発・再利用コストの大幅削減							
		4401	使用における有害物質削減、不使用技術	形状・構造設計 素材選択 加工選択(塗装等) 加工選択(塗装等) 超機能環境適合性トライバルコーティング	軽元素(C, N, B等)による代替化製法の開発 タイマモノ(0.1μm)による代替化製法の開発 ナイライド(CN, BN等)による代替化製法の開発 新軽元素コーティングによる代替化製法の開発 製品群の使用時有害物質削減のための素材開発 設計技術、代替材料の開発	軽元素(C, N, B等)による代替化製法の開発 タイマモノ(0.1μm)による代替化製法の開発 ナイライド(CN, BN等)による代替化製法の開発 新軽元素コーティングによる代替化製法の開発 製品群の使用時有害物質削減のための素材開発 設計技術、代替材料の開発							
		4402	製造における有害物質削減、不使用技術	製造時の有害物質回収技術 加工液等削減 製造時の廃棄物削減技術 樹脂等削減 樹脂等削減	低レベルの有害物質も回収技術 樹脂等削減 樹脂等削減	加工液の回収技術 樹脂等削減 樹脂等削減							
		4403	廃棄における有害物質削減、不使用技術	廃棄材料からの元素分離技術	一部軽元素も回収開始	廃棄物の分別技術開発(材料ごと)・材料の動電圧測定技術開発 軽元素分離技術開発	軽元素の分別技術開発(材料ごと)・材料の動電圧測定技術開発 軽元素分離技術開発						

設計、製造、加工分野の技術ロードマップ(5/5)

		事前調査、基礎開発		本格開発		実用化時期	
		2010	2020	2030	2050		
大分類	微小化						
中分類	ハランズ化						
No.	4501	製造プロセスの省エネ、省資源技術					
小分類							
要素技術	<p>小型複合生産機械</p> <p>省エネルギープロセス設計技術</p> <p>セパレーション等の製造プロセス合理化技術</p> <p>材料・エネルギー最小化加工技術</p>	<p>一部生産現場での試行</p> <p>プロセスの省エネ化設計技術開発進む</p> <p>エネルギー・材料最小化複合加工プロセス</p>	<p>プロセスの省エネ化設計技術開発進む</p> <p>エネルギー・材料最小化複合加工プロセス</p>	<p>一部産業でのプロセスの省エネ化・低環境負荷への移行が進む</p>			
No.	4502	製造設備の省エネ技術					
小分類							
要素技術	<p>生産システムの効率的運用技術</p> <p>生産機械のエネルギー使用合理化技術</p> <p>ゼロ生産</p> <p>ゼロエネルギー生産システム</p> <p>ゼロエミッション製造</p> <p>ゼロエミッション製造</p> <p>ゼロエミッション製造</p> <p>ゼロエミッション製造</p>	<p>一部実用化開始</p> <p>生産システムの効率的な運用技術開発進む(コソバノ生産など含む)</p> <p>エネルギー最小化複合加工プロセス</p>	<p>生産システムの効率的な運用技術開発進む(コソバノ生産など含む)</p> <p>エネルギー最小化複合加工プロセス</p>	<p>多様な生産現場への導入が進む。</p>			
No.	4503	材料高歩留まり製造プロセス					
小分類							
要素技術	<p>IMなどの技術開発進む</p> <p>スーパーニアネットシェーブ加工</p>	<p>サステナビリティを考慮した高歩留まり製造プロセスの開発進む</p> <p>スーパーニアネットシェーブ加工の形状・組織・特性・体積率・成形加工予測技術の確立</p> <p>スプリングバック・プレス加工</p> <p>スーパーニアネットシェーブ加工の形状・組織・特性・体積率・成形加工予測技術の確立</p> <p>スーパーニアネットシェーブ加工の形状・組織・特性・体積率・成形加工予測技術の確立</p> <p>スーパーニアネットシェーブ加工の形状・組織・特性・体積率・成形加工予測技術の確立</p>	<p>サステナビリティを考慮した高歩留まり製造プロセスの開発進む</p> <p>スーパーニアネットシェーブ加工の形状・組織・特性・体積率・成形加工予測技術の確立</p> <p>スプリングバック・プレス加工</p> <p>スーパーニアネットシェーブ加工の形状・組織・特性・体積率・成形加工予測技術の確立</p> <p>スーパーニアネットシェーブ加工の形状・組織・特性・体積率・成形加工予測技術の確立</p>	<p>実用的導入が開始・多様な製造に適合</p>			

【参考資料】

サステナブル・マニュファクチャリング 2025 年シナリオ

2008.1.17

サステナブル・マニュファクチャリング技術マップ WG

(0) 全般的な状況

地球温暖化問題に伴う化石エネルギー使用抑制の努力にも関わらず、中国、インドなどの経済発展に伴い、世界の一次エネルギー需要は 2000 年の 1.4 倍に達している。これらのエネルギー供給の一部を担うと期待される再生可能エネルギーについては、技術開発も進み、着実にその比率を高めているが、劇的に増加するまでには至らない。2050 年に向けた削減の数値目標は主要排出国を含んで合意されている。これに伴い、日本の排出量削減目標も設定される。(2000 年比 60~70% 減)。2000 年比 4 倍の環境効率(生産物の価値 / 環境負荷)を可能とする製品設計、生産技術がすでに実現しているが、全産業分野に普及するには至っていないため、日本における CO2 排出量の削減目標は、人口減少、産業の海外流出、製造業を中心とした各産業のリーン化、製品のリデュース・省エネ化、排出権取引、炭素税、CO2 貯蔵の組み合わせにより達成される。しかし、この頃には資源の枯渇の問題が緊急性を増しており、2050 年の低炭素社会を目指して、技術の積み上げでない新たな生活様式の確立も含めたパラダイムシフトが求められている。

(1) 設計開発に関して

例えば家電製品、オフィス機器などでは、製品同士はネットワーク化され、故障診断、メンテナンス・修理要求の自動発信、故障時の相互機能補完などを可能とする製品が登場する。

設計段階からの部品 / 製品リデュースが大きく進むとともに、寿命・品質管理技術、検査技術、リサイクル技術などの要素技術が進展し、ライフサイクル設計において合理的なライフサイクル・オプションが選択され、実施されるようになる。製造、メンテナンス、修理、EOL を含めたトータルシステム設計技術が実用化され、これを可能とする製品ライフサイクルの可視化技術が進展する。持続可能社会シミュレーションが研究、実践面で定着しており、国内的には高度なライフサイクル設計 + 評価 + マネジメントシステムが確立されるが、対アジアへの普及推進、国際的な高度なライフサイクル設計 + 評価 + マネジメントシステムの確立の点で課題を残している。

国際市場・国際競争に関して日本では 2015-2025 の間の低成長経済が続いた結果、経済規模では、中国、インドに抜かれ GDP 比で世界の 4% 程度になる。中国メーカーの技術力は飛躍的に向上し、潤沢な資金を元に、最新の研究開発、生産設備を投入し、中国全土だけでなく、北米、

赤：主として高付加価値化に関連する機能

黄土：主として最小化に関連する機能

青：主としてライフサイクル思考に関連する機能

緑：主として技能の伝承に関連する機能

欧州マーケットへと次々と新製品を投入する。家電製品のなかでも成熟したカテゴリーでは、北米での中国ブランドは不動のものとなる。日本の家電メーカーでは特化した分野をもたない家電メーカーは中国との競争のもと再編の波にのまれるが、いくつかの製品に関しては、環境関連コア技術を持つ日本メーカーも生き残る。こうしたメーカーは、世界的なブランドを更に強固のものとし、メイドインジャパンの強さを見せている。また、省エネ技術、CO2削減技術、CO2貯蔵技術、再生可能エネルギー技術では依然として日本が優位に立つ。また日本メーカーの海外進出については2025年頃をピークに飽和し、国内回帰の動きが強くなる。

新規開発される製品のうちハイエンド品については、部品の製造履歴、使用履歴などを可視化する技術が導入され、トレーサビリティが確保されている。ただし、旧製品、ローエンド品なども含めて全ての製品で安全・安心が確保されるにはいたっていない。

(2) 生産

生産においては、需要に応じて再構成可能な真の Reconfigurable な生産システムが開発、一部実用化が始まり、エネルギー制約、環境制約の打破に貢献し始める。また、最小(エネルギー、設備、資源、コスト)での生産の考え方は多くの生産現場で導入が検討されている。ただしシステムとして導入済みの分野は限られる。(MEMS、半導体ファブ리케이션、薬剤などの製造、)

また、リサイクル材料の価格がバージン材料に比べて相対的に下がり、マテリアルリサイクル技術そのものも高度化されたため、リサイクル材料からのバージン材料由来に遜色の無い生産が増加することになる。経済的なリーン化のみならず、資源的、エネルギー的な面でもリーン化のための要素技術、システム化技術が進展し、この分野では我が国の製造業が依然として優位に立っている。

世界における位置づけとして、素材産業については一般的な素材では中国、インドなどとの価格競争に勝てないが、高度な回収技術、特殊な物性を持つ材料製造、リサイクル材料からの高品質な素材製造などに注力した結果、現状程度の産業規模を維持する。

生産時における REACH 等の化学物質の環境リスク課題は一段落しており、ライフサイクルマネジメントの一部として粛々と運用されている。

(3) 使用(物流・流通、生活)

物流加工・組立の集中化(輸送業者によるアSEMBル)による製造・輸送の統合化、ロジスティックとリサイクル/リユースビジネスの融合が起こる。大規模物流に関しては、風力などを併用した新型船の利用が盛んになり、空輸は限定されたものとなる。

このころになると、持続可能性達成に向けて必要なアクションと経済性のベクトルはある程度揃ってくる。製品の品質、作り方などを含めた広義の環境配慮性を最優先の購買要件とする層がすでに増えている。外部経済の内部化の進展(例:より安い製品がより環境調和性が高い)が進んでいることにもよる。オフィスユース製品では、所有から利用への拡大が大きく進展する。

リユース、リサイクルが経済的に有利になる社会の到来に伴い、社会インフラにおいても100年もつことは常識で、200年以上も活用し続けることができるものが競争力を持つストック型社会へと転換する。この傾向はインフラから一般の製品にも徐々に拡大しつつあり、国内の工

場は、高度なカスタマーサービス（オンデマンドな製品の修理、メンテナンス）に活路を見出す。

日本の人口減少が進むとともに高齢化が急速に進展している。この点を補完するためノウハウの体系化、ソフトウェア化に支援された自動化ブームがおきるが、全ての作業が置き換えられるわけではなく、サービス業、ソフトウェア産業を中心により多くの労働力が海外から導入される。この動きは単純労働力のみでなく、企画、開発、設計などの中核人材にも及ぶ。また、労働人口減少に関連した人材やアクティブシニア産業、所得二極化でのコンシェルジュ産業、個人主義台頭に関連したライフデザイン産業等が新しい産業として拡大する。

データセンターの移転、分散、調達先の分散などリスクマネジメントの一環としての地震対策が進んでおり、201X年に発生した大地震に対してもある程度の対応が可能であった。一方、災害復興を契機として、コンパクトシティ構想パイロットP」が実行に移されることとなった。また、地震以外にも、地球温暖化に関係すると言われる大規模台風による災害、広範囲の感染症などに対するリスクマネジメントも完全とは言えないが進みつつある。街中では自動販売機にセンサをつけて、子供が通ったかなどを見守るなど、メディアの延長線上として「シティメディア」が成立している。このような技術の進展で、日本の社会生活における安全・安心は順調に進展している。それが吸引力となって、アジア富裕層、高学歴層の日本への投資、移住が増加をみせている。ただし、国内における格差の拡大傾向はあまり改善されず、こうした生活上の安全・安心を享受できない層への対策が問題として顕在化している。

（４）使用後

石油価格の高騰から、メーカによるリユース、リサイクルなどの LC 思考が経済のメカニズムに組み込まれ経営戦略となるとともに、より広範な循環型ビジネスモデルが成立し得るようになってきている。リサイクル原材料については地域ベースでのリサイクルのサードパーティ、輸出、輸入、など様々な選択肢が登場し、解体された部品、回収された材料などは都市鉱山として争奪戦の対象となる。ただし、基本的には自国で利用した廃電子電気機器を戦略的に自国内でリサイクルする方針が採られるようになる。一旦は製品としての再利用を含めたグローバル循環が進んだが、発展途上国における再利用需要の減少とレアアース、レアメタルの確保戦略もあり、リユース需要については 2015 年頃をピークに減少に転じた。またリサイクル用途としての輸出も 2020 年ごろをピークに減少傾向にある。

枯渇資源、レアメタル、レアアースについては、依然として代替材料開発競争が続けられている。開発の結果、技術的には解決される素材もあるが、新素材の開発とともに、新たなレアアース、レアメタルが必要となる状況は変わらず、地球上における物質分布の偏在も変わらないため、基本的にはモグラ叩き競争となる。

赤：主として高付加価値化に関連する機能

黄土：主として最小化に関連する機能

青：主としてライフサイクル思考に関連する機能

緑：主として技能の伝承に関連する機能

【資料A-2.2】持続可能なものづくり技術分野の技術戦略マップ 技術戦略マップ2008:経済産業省

持続可能なものづくり技術分野

環境・資源・エネルギーは、今後の世界の経済成長の大きな制約要因となっており、機能重視から環境重視・人間重視の技術革新・社会革新としてのイノベーション（エコイノベーション）が求められている。すなわち、環境保全と経済成長が両立する21世紀型の持続発展可能な産業・社会への転換を図るためには、エネルギーや地球環境と人間社会の持続性を確保しつつ成長も同時に確保することが必要不可欠となっている。ものづくり国家戦略ビジョン（2005年11月）【参考資料1：ものづくり国家戦略ビジョンの概要】においても、今後求められる国家像を脱資源発展国家として位置づけ、そのためには従来型の製造業から環境・資源・人口制約を乗り越えるものづくりへとパラダイムシフトを果たすことが必要である旨述べられている。

このような状況の下、これまでの既存の技術分野ごとに策定されてきた技術戦略マップとは異なり、各分野・業種を超えた横断的な観点かつ部分最適から全体最適へと視野を広げる観点から技術を俯瞰し、エネルギーや環境制約等を逆手にとる将来の持続可能な産業・社会像を念頭に置き、その実現に向けて、既存技術の枠組みを超えた分野横断型ロードマップ（持続可能なものづくり技術分野）を策定した。

具体的には、設計・製造・加工、グリーン・サステイナブルケミストリー、生物機能活用技術、3Rの4分野から、持続可能なものづくり技術の視点から必要となる技術の抽出を図り、これら技術を俯瞰しうる技術開発の道筋を示す技術戦略マップを策定する検討作業を行った。

本分野は、このようにエコイノベーションの進展に資するためのものづくり技術を上記の4つの分野を対象に分野横断的な「持続可能なものづくり技術分野」としたものである。また、様々な角度から本分野の分析を行うことが可能な体系を有しており、かつ技術の効果や技術相互の関連性・類似性が分かり易い体系をとっている。今後、分野横断的な見地から、異分野協調的なエコイノベーション技術の研究開発課題の創出が期待されるところである。

持続可能なものづくり技術分野の技術戦略マップ

．導入シナリオ

(1) 持続可能なものづくり技術の実現する将来社会像と目標

日本の将来像を様々な予測データから俯瞰してみると、以下のような課題が課せられている。

日本における将来の人口や高齢化は不可避であり、これに伴う形で経済活動の規模も大きな伸びが望めないこと。

エネルギーに関して我が国は最貧国であることに加え、CO₂排出の2050年半減という長期目標を掲げていること。

資源に関しても我が国は最貧国であることに加え、RoHS、REACHや各種リサイクル法等の規制が今後一層厳しくなること。

その一方で、日本はこれまでもものづくりにおいて非常に多くの先端的な技術や製品を開発してきており、これらのものづくり技術の基盤を活用して、将来の人類にとって必要不可欠な数多くのイノベーションの実現に資する研究開発が今後期待されている。なお、導入シナリオには、既存の将来社会像として、「イノベーション25」中間とりまとめ(2007年2月)に描かれている2025年に目指すべき将来の社会イメージと、それぞれの社会イメージを実現するために必要な技術を整理した。

このような状況の下で、克服すべき課題について社会的必要性和経済的必要性に集約・大別し、具体的に目標を示すと次のとおりと考えられる。

生活の質 (社会的必要性)

安全安心 (社会的必要性)

高付加価値 (社会的必要性和経済的必要性の両方)

国際競争力強化 (経済的必要性)

技術伝承 ((広い意味で) 経済的必要性)

こうした課題に対応し、社会・経済を持続的に発展させていく目標を実現させるためには、次の4つの視点が重要である。

持続可能な産業構造

持続可能な社会インフラ

持続可能な生活

持続可能な街づくり

このうち、「持続可能な産業構造」について、製造業を中心に置いてライフサイクル全般に着目するのが、「持続可能なものづくり技術」である。【参考資料2：持続可能なものづくり技術の実現する将来社会像と目標及び技術マップの位置づけ】

本分野の検討に際して、持続可能なものづくり技術とは、より具体的には、“環境と調和した持続的な経済の発展と生活の質の向上を目指すものづくり技術”である。その

基本的な要件は、資源や原材料の調達、開発・製造とその使用及び再利用・リサイクル・処分の一連の製品ライフサイクル全体を通じて、「エネルギー利用最小化」、「資源の採取・投入最小化」、「環境負荷最小化」を実現することであり、これら3つの制約条件を逆手にとって、グローバルな経済的競争力の向上、社会的な安心・安全、さらに生活の質の向上に資する新しい意義や付加価値を生み出す技術である。”と定義した。

(2) 研究開発の取組み

持続可能なものづくり技術分野は、これまでの技術戦略マップにおいて策定されてきた分野の多くと比較して、下記の点で様相を異にしている。

既存分野の多くが、初めに“技術”や“製品”ありきで、これを現時点から将来へ発展させていくような技術戦略マップの構築思想であるのに対し、特定の分野に縛られない横断的な視点が必要な持続可能なものづくり技術分野は、まず将来社会像の予測やシナリオが先に描かれ、これに伴う“悲観的要素を除くため”あるいは“望ましい要素を実現に導くため”現時点からどのような技術開発に取り組んでいくべきか、といった視点がこれまでの既存分野の技術戦略マップ以上に必要となる。

持続可能なものづくり技術分野は、その定義や技術の整理方針においても述べたように、“ものづくり”におけるライフサイクルプロセス全般を網羅し、“ものづくり”における制約条件及び実現目標の1つ1つについて俯瞰していくものであり、分野を特定せず包括的・横断的な捉え方をしなければならない。

今回の検討に際しては、技術戦略マップの既存分野で持続可能なものづくり技術と関連の深い生物機能活用技術分野及び3R分野と、同じく関連が深い分野として新規に策定を行うグリーン・サステナブルケミストリー分野及び設計・製造・加工分野の、併せて4分野を俯瞰することにより、研究開発課題を抽出・融合し、本分野において取り組むべき本分野の研究開発課題を設定した。

(3) 関連施策の取組み

持続可能なものづくり技術分野は、ある“技術”や“製品”を特定の示すものではなく、予測される将来社会像に鑑みて現時点の“ものづくり”のシステムを革新していこうとするものである。その意味で、イノベーション政策として採られている様々な方策が、本分野にも適合するものと考えられる。

このことを踏まえつつ、本分野に係る関連施策・環境整備としては、本分野の検討の基盤となった次の分野での関連施策・環境整備が持続可能なものづくり技術の主要な構成要素になるものと想定される、

- グリーン・サステナブルケミストリー分野
- 生物機能活用技術分野
- 3R分野
- 設計・製造・加工分野

したがって、これらの4分野において検討、取り組まれる関連施策・環境整備が、本分野においてもそのまま適用されるものとした。

. 技術マップ

(1) 技術マップ

本分野においては、上記で定義した持続可能なものづくり技術の概念について、次の考え方に基づいて技術テーマを分野横断的に可視化・整理し、技術マップ検討の際のフレームワークとした。

「持続可能」の観点から、製品(モノ)のライフサイクルプロセスに着目し、「原料調達・原料製造」/「製品開発・製造・使用」/「処理・処分」の3フェーズに区分し、1つの整理軸として設定する。その重なり部分にも技術相互の関連性や融合性等の新たな発見を促すための意味がある。

「ものづくり技術」は、「環境」「資源」「エネルギー」「人口」といった制約条件及び社会・経済の維持・向上に密接に関連しているものと考えられるため、「エネルギー制約の克服」、「資源制約の克服」、「環境制約の克服」、「将来における社会・経済の維持・向上」の4つの克服制約及び実現目標をもう1つの技術の整理軸として設定している。

4つの克服制約および実現目標項目毎に技術テーマの機能・効用を明らかにするため、持続可能性による技術分類を2分類設けることにより、合計で8分類のフレームによる技術マップ及び技術ロードマップの体系化を行っている。【参考資料3：持続可能性の特性による技術分類】さらに、製品ライフサイクルなどを含むトータルな最適性を目標とした技術テーマを明示できるように、「全体最適化」のフレームを8分類とは別に設けた。

技術マップを作成するに際し、本分野で対象とする全技術テーマ数が500を超えており、全ての技術テーマを1枚のスペースの技術マップに収めることが出来ないため、「エネルギー制約の克服」、「資源制約の克服」、「環境制約の克服」、「将来における社会・経済の維持・向上」の4つに分けて技術マップの作成を行った。しかし、このように作成した技術マップも複数枚になるため、技術テーマの関連性、類似性および特定の注目技術のポジションが分かりづらい。そこで、技術テーマを簡略表記し、4つの克服制約及び実現目標毎に1枚に収まるような技術マップの俯瞰図を作成し、さらに、それら4つの俯瞰図から骨格となる技術テーマを選択することで、技術マップの俯瞰図全体の見取り図となるような技術マップ俯瞰見取り図を作成している。

また、上記の2軸を用いて、技術テーマの相互の関連性を把握するため、多次元的なマトリクス形式でとらえることが可能になる。例えば、「エネルギー制約の克服」(横軸)と「資源制約の克服」(縦軸)を選び、項目ごとに2分類した技術項

目を用いて構成される4象限のフレームに該当する技術テーマをプロットすることで、技術テーマの持つ意味や関係性をより深く分析することができる。この考え方により作成した技術マップを技術テーマ分析用マップと名づけて、2組の分析軸を組み合わせるにより6種類の技術テーマ分析用マップを作成した。

(2) 重要技術の考え方

本分野においては、日本の競争力、共通基盤性、他分野への波及効果、市場へのインパクト等を指標として絞り込むことが重要であると考えられる。一方、4分野においてもそれぞれ評価項目を設定し、重要技術が選定されている。

これら4分野の重要技術の絞り込みの考え方について、暗黙の前提を加味して推測をすると、本分野の絞り込みの考え方と概ね一致することから、今回の検討に当たっては、4分野それぞれで重要技術と選定された技術を、本分野においても重要技術とすることとした。

なお、4分野それぞれの重要技術の絞り込みの考え方については、それぞれの技術戦略マップを参照されたい。

. 技術ロードマップ

技術ロードマップについては、俯瞰性を持たせる観点から、4分野の技術ロードマップから重要技術の骨格を成す技術テーマを引用し、本技術戦略マップで検討した2軸を用いて、分野横断的に比較できるような1つの統一的な検討の枠組みを示す形式とした。1つ1つの技術テーマのロードマップは、各分野で何年先まで見通すかが異なっているが、検討されたロードマップを統一的なフォーマットに転記する方式をとっている。

したがって、本分野における1つ1つの技術テーマは、個々の4分野における技術ロードマップの詳細は分野毎の技術戦略マップを参照する方式を前提としている。

今後、技術の分類を活かした技術マップの有効なあり方を検討していくことの出発点となる枠組み(フレーム)を用いた整理を行っている。様々な角度から分類軸を設定することにより、技術融合のための技術テーマの分析可能性が見えてきた。これらの分析方法を活用することにより、分野横断による融合的な研究開発課題の発見が容易になることが期待される。

持続可能なものづくり技術分野の技術戦略マップの構成

導入シナリオ	持続可能なものづくり技術分野の導入シナリオ
技術マップ	持続可能なものづくり技術分野の技術マップ俯瞰見取り図 持続可能なものづくり技術分野の技術マップ俯瞰図 ・ エネルギー制約克服技術マップ俯瞰図 ・ 資源制約克服技術マップ俯瞰図 ・ 環境負荷制約克服技術マップ俯瞰図 ・ 将来における社会・経済の維持・向上技術マップ俯瞰図 持続可能なものづくり技術分野の技術マップ 技術テーマ相互関連性分析マップ
技術ロードマップ	持続可能なものづくり技術分野の技術ロードマップ
参考資料 1	ものづくり国家戦略ビジョンの概要
参考資料 2	持続可能なものづくり技術の実現する将来社会像と目標および技術マップの位置づけ
参考資料 3	持続可能性の特性による技術分類

持続可能なものづくり技術分野の導入シナリオ

目標	環境・人間重視の豊かで質の高い持続可能な社会を目指した循環型ものづくりシステムの創造
将来の潮流	【エネルギー制約】省エネルギー、エネルギー効率改善、未利用エネルギー
克服すべき制約	【資源制約】枯渇資源(可採埋蔵量・年数の限界)、資源地域の偏在
	【環境制約】地球温暖化防止、大気汚染防止、水質汚濁防止、土壌汚染防止
	【人口制約】少子・高齢化の進展、熟練労働者の急激な減少、労働人口の減少、GDPの鈍化

目指すべき将来社会像
イノベーション25戦略会議
「イノベーション25中間とりまとめ」
(2007年11月)より引用

世界のモデルとなるような日本の姿 生涯健康な社会 安全・安心な社会 多様な人生を送れる社会 世界的課題解決に貢献できる社会 世界に開かれた社会	健康	家庭における健康診断システム 介護ロボット	超小型健康管理デバイス	
	医療	広域医療情報システム 生体用センサ	がん治療法 遠隔医療 遺伝子治療法 ロボットによる義肢制御 ロボットによる病根治療 神経幹細胞移植	
	環境・水・エネルギー	海水淡水化 クリーン燃料 汚染水浄化	砂漠における植生再生・緑化 燃料電池交通機関 人工光合成技術	
	生活	折り畳み型ディスプレイ 多機能電子カード	遠隔鑑賞システム 身体装着型自動翻訳装置 お手伝いロボット	
	産業	生産履歴履歴情報システム	知能ロボット 非アレルギー・食品製造	
	地域社会	所在確認支援 自動監視システム	リアモーターカー商業運転 自動運転システム 気象予測技術	地震予測技術

ここに記載された技術例は、イノベーション25において例示としてあげられた要素技術であり、今般抽出した要素技術との直接的な因果関係の分析を必ずしも行っていません。しかしながら、これら技術例を実現するためにも、今般とりまとめた本技術分野の要素技術が必要となる。

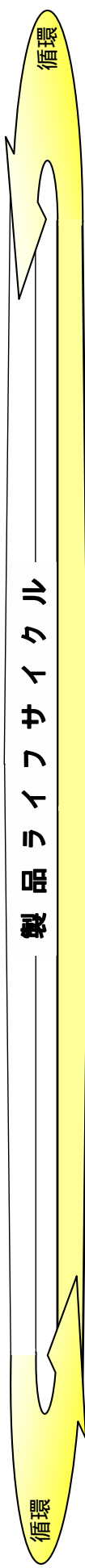
研究開発の取組

グリーンサステイナブル ケミストリー分野	プロセス開発	分離プロセス、エネルギー-併産プロセス、触媒利用プロセス、水処理プロセス、ノンフロンプロセス、臨界流体利用プロセス、廃棄物削減合成プロセス
	機能材料開発	軽量・高強度材料、低摩擦材料、電子材料、複合材料、微細構造・精密構造形成、省電力材料、二次電池材料、燃料電池用材料、太陽電池材料、フッ素化学
	用途材料開発	ライフサイクル設計向け材料、生活環境材料、アムニティ増進
	環境保全	排ガス処理、水環境の保全
	資源開発	海洋開発、元素資源の確保
	エネルギー開発	水素エネルギー
	新しい利用	新しい反応場の利用、未利用エネルギー変換・活用、バイオマス利用
生物機能活用 技術分野	生物機能を活用した物質生産	微生物、植物、動物細胞、バイオマス利用
	生物機能を活用したエネルギー生産	植物、バイオ燃料、廃棄物有効利用
	生物機能を活用した環境維持修復	排出源、環境放出後、モニタリング
	共通基盤の整備	生物遺伝資源の収集保存、各種DBの整備
3R分野	最終処分量削減	最終処分量削減技術開発 新たな用途開拓 発生抑制・変換技術開発 最終処分場の再生
	建設ストック	再生利用用途開発 長寿命化のメンテナンス、設計技術開発
	金属資源3R	分離回収、高効率化、不純物混入防止(有用資源回収促進化) 代替品開発(再生品の高付加価値化)
	3Rエコデザイン/再生生産	共通要素設計 生産・管理、ライフサイクル設計(全体最適化)
設計製造加工 分野	ライフサイクル思考	LC設計技術 設計現場でのLC設計の導入 広範な製品でのLC最適設計の実現
	高付加価値化	製品コア技術のブラックボックス化、カスタマイゼーションのための技術 RF-IDの大容量化等の基本技術 サブチェーン全体のトレーサビリティの確保
	最小化	製造プロセスの省エネ、省資源技術 高効率的多品種変量生産
	技術の伝承	サステナビリティを考慮した高歩留まり加工プロセス スナバーニアネット仕上げ加工技術実用化 技術、知識のデジタル化 技能者の感性等の評価、分析、形式知化

関連施策
環境整備

グリーンサステイナブル ケミストリー分野	社会基盤整備	国民認知度の促進(GSC賞の充実、NPO育成) 異分野の学問・技術領域を統合した学術体系の創出	社会、産業、行政間のコミュニケーション拡大(GSCセッション、GSCフォーラムの設置) 教育プログラムの体系化(初等教育-高等教育)
	国内施策・国内の取り組み	社会性、経済性を含めたGSC評価手法の確立 GSC基盤技術開発	異産業間のイコールパートナーシップ構築と連携 税法制度、グリーン調達等による素材の導入支援策
	国際的取り組み (OECD)	国際標準化とそれに基づく規制強化 国際資源総合ネットワークの構築	ODA等による開発途上国への技術移転 国際シンポジウムの支援とネットワークの構築
	国外の制度的枠組みの動き (EU)	RoHS指令 REACH規制	(中国)
生物機能活用 技術分野	社会基盤整備	法的基盤整備(カルパ法の適切な施行等) 研究開発支援人材の確保・育成	遺伝子組換え体に対する国民理解の促進 国内外におけるバイオマス原料確保 バイオマスへの原料転換を促す促進策の導入
	知的基盤整備	各種DB(遺伝子情報等)の運営 生物遺伝資源の収集、保存、提供、ゲム解析、等	
	国際標準化等の推進	生分解性ポリマー測定法、環境中免疫化学測定法、等の標準化	
	国際社会との協調	海外生物遺伝資源へのアクセス方法の確立 微生物資源の保存と利用に関する多国間協力体制の構築	
3R分野	国内施策(法体系整備)	循環型社会形成基本計画 資源有効利用促進法	容器包装リサイクル法 家電リサイクル法 食品リサイクル法 自動車リサイクル法 建設リサイクル法
	国内施策(ガイドライン、人材育成)	品目別・業種別リサイクルガイドライン 人材育成、教育支援、普及啓発	
	国内施策(導入普及促進策、標準化施策)	3R実用化補助 グリーン購入法	環境JISの策定 環境配慮設計の国際規格化
	国際的取組み	3Rインシアティブ	
	国外の制度的枠組の動き (EU)	WEEE指令 RoHS規制	(米国) 電子廃棄物リサイクル法 (中国) 中国版WEEE 中国版RoHS
設計製造加工 分野	規制・制度改革	京都議定書第一目標期間 排出権取引、環境税制等の検討	次期中間目標の合意 中間目標年 外部経済の内面化の進展 Cool Earth 5.0実現
	標準化	解体情報等の標準化に向けた国際ルール検討開始 リサイクルの高度化のための共通設計技術	標準化 共通要素設計による高品質な製品・部品リユースの実現
	国際協調	海外とのものづくり人材交流に関するシナリオ グローバル循環型社会システム構築に向けた合意	中核人材の相互交流 国際合意に基づく地域内循環最適化
	広報・啓発	各種LC評価技術の基礎研究 エコラベル 所有と利用の諸形態に伴う環境影響の提示	LCAデータベース、マテリアルフローデータ等の利用可能化 評価結果の普及 止記全ての取組みを通じた環境調和行動の誘導

持続可能なものづくり技術分野の技術マップ俯瞰見取り図



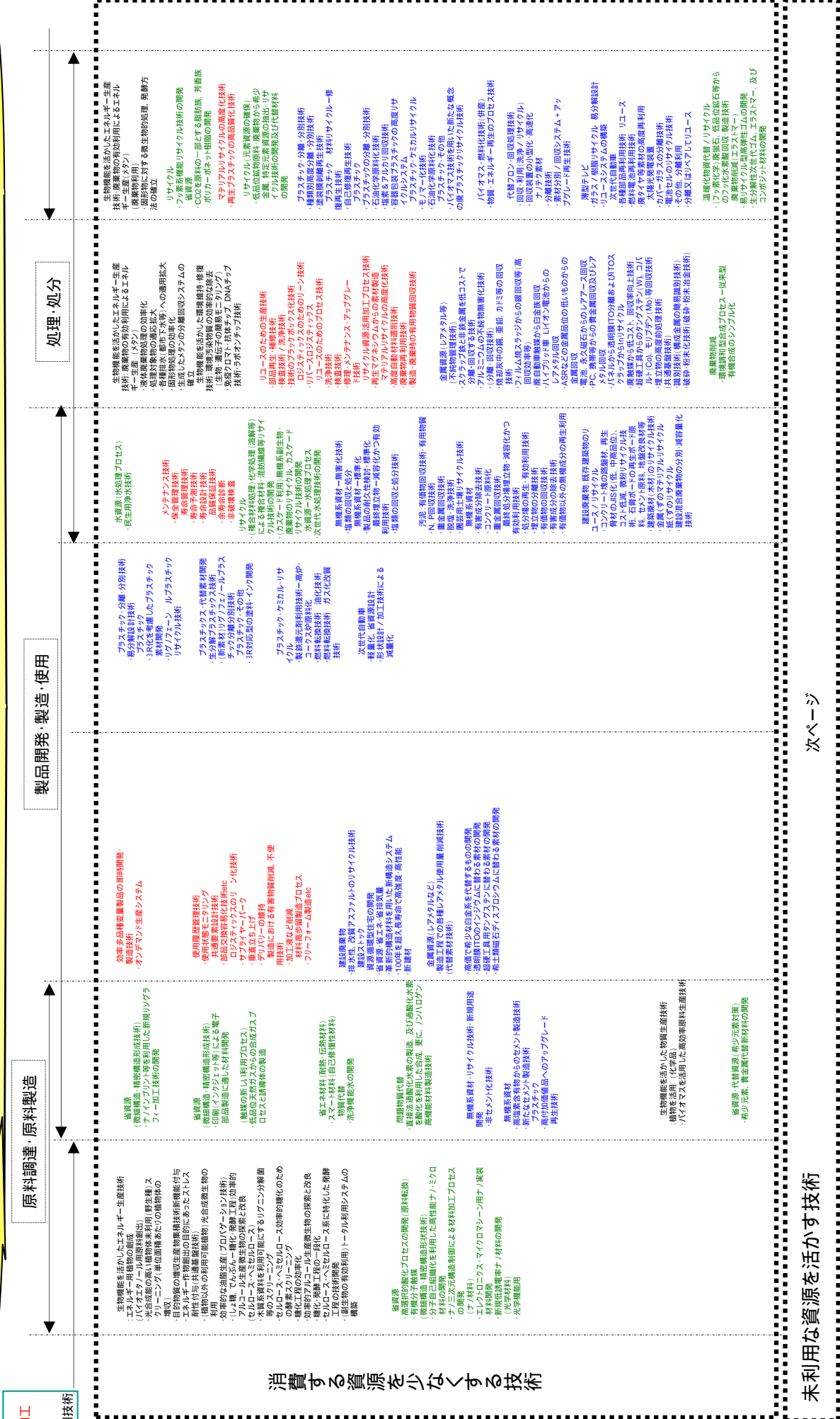
技術分野	原料調達・原料製造	製品開発・製造・使用	処理・処分
未来半導体	消費するエネルギーを少なくする 分離プロセス 新しい反応場の利用 エネルギー併産プロセス 生物機能を活かしたエネルギー生産 技術・エネルギー用植物の創成 バイオ燃料生産 バイオエタノール用原料	3RECOデザイン 再生生産技術 未利用エネルギーの変換・活用 製造プロセスの省エネ技術 生物機能を活かしたエネルギー生産技術 次世代型バイオマスからのエネルギー生産(電池) 高機能微生物・酵素の探索・改良 電極界面設計 太陽電池材料	生物機能を活かしたエネルギー生産 廃棄物の有効利用による生産 排出源での処理 最終処分量削減(エネルギー回収)
	消費する資源を少なくする 微細構造・精密構造形成技術 元素資源の確保技術 触媒利用プロセス 最終処分量削減(資源化技術)	ビジネス戦略支援技術 LC設計技術 設計要素技術 LC管理技術/LC評価技術 3RECOデザイン 再生生産技術 金属資源3R(リデュース・代替素材) 素材・製品(リデュース・代替素材)	最終処分量削減 建設ストック(リサイクル) 金属資源(分離・回収) 素材・製品の資源回収技術
資源	未利用な資源を活かす 生物機能を活かした物質生産技術 微生物を活用/植物を活用/動物細胞を活用 生物遺伝資源の収集・保存/DB化	触媒利用プロセス バイオマス利用 海洋資源開発	
	環境負荷を少なくする フッ素化学 ノンハロゲンプロセス・材料 廃棄物削減合成プロセス	3RECOデザイン 再生生産技術 建設ストック(最終処分対策) 素材・製品の有害物質削減技術 製品/サービスマニファクチャリング 製品/サービスマニファクチャリング	生物機能を活かした環境維持・修復 排出源での処理/環境中放出後の処理 バイオテクノロジーを用いた環境モニタリング 最終処分量削減(環境対策)
環境	環境をより良くする 生物機能を活かした物質生産技術 植物工場 生物機能を活かした環境維持・修復 バイオテクノロジーを用いた環境モニタリング	水処理プロセス/水環境保全 アミニティ増進 生活環境材料 水処理プロセス/水環境保全 アミニティ増進 生活環境材料	生物機能を活かした環境維持・修復 排出源での処理/環境中放出後の処理
	生活の質を高める 技術・技術の形式知化技術 技術・知識のデジタル化 技術の伝承関連技術/伝承のための活用技術 建設ストック(アズベスト処理技術)	技能・技術の形式知化技術 技術・知識のデジタル化 技術の伝承関連技術/伝承のための活用技術 建設ストック(アズベスト処理技術)	
将来における社会経済の維持向上	全体循環・最適化 法制度・基盤	ビジネス戦略支援技術 LC設計技術 設計要素技術 LC管理技術/LC評価技術	環境効率評価技術 環境効率指標技術

【凡例】
赤:設計・製造・加工
緑:GSC
青:3R
黒:生物機能活用技術

ライフサイクル設計向け
材料

ライフサイクル評価
安全性評価基準
3RECOデザイン・再生生産技術
建設ストック(ライフサイクル設計技術)

資源制約克服技術マップ俯瞰図(1/2)



次ページ

次ページ

次ページ

未利用な資源を活かす技術

全体最適化

法制度・基盤技術

(凡例)
 赤: 設計・製造・加工
 緑: GSC
 青: 3R
 黒: 生物機能活用技術

資源制約克服技術マップ俯瞰図(2 / 2)

[凡例]
赤:設計・製造・加工
緑:GSC
青:3R
黒:生物機能活用技術

原料調達・原料製造

消費する資源を少なくする技術

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用した物質生産技術
次世代型遺伝子工学技術 / 酵素モナリツング シミュレーション
微生物機能を活かした反応制御 (酸化還元反応)
工業技術を活用した反応制御 (酸化還元反応)
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ検討)
(蛋白質)
高精度な蛋白質製法技術
7-折型蛋白質製法技術
微生物機能活用型蛋白質製造
ヒト細胞物質生産技術
新時期物質及びその生合成系の探索
(蛋白質)
遺伝子発現技術
菌体培養技術
高純度蛋白質製造
高純度蛋白質製造技術
高純度蛋白質製造技術
7-折型蛋白質製法技術
微生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用した物質生産技術
次世代型遺伝子工学技術 / 酵素モナリツング シミュレーション

製品開発・製造・使用

前ページ

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用した物質生産技術
(次世代型遺伝子工学技術 / 酵素モナリツング シミュレーション)
微生物機能を活かした物質生産技術
次世代型遺伝子工学技術 / 酵素モナリツング シミュレーション
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ検討)
(蛋白質)
高精度な蛋白質製法技術
7-折型蛋白質製法技術
微生物機能活用型蛋白質製造
ヒト細胞物質生産技術
新時期物質及びその生合成系の探索
(蛋白質)
遺伝子発現技術
菌体培養技術
高純度蛋白質製造
高純度蛋白質製造技術
7-折型蛋白質製法技術
微生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用した物質生産技術
次世代型遺伝子工学技術 / 酵素モナリツング シミュレーション

処理・処分

生物機能を活かした環境維持・修復技術 / 環境汚染物質の効率的な除去
有機物質 (植物) による重金属回収
微生物製剤化技術 (排出源での処理)
微生物機能を活かした物質生産
植物を適用した物質生産
次世代型遺伝子工学技術 (リビオン)
除去技術 / 遺伝子ノックアウト技術
微生物機能を活かした環境維持・修復
DNA超伝導磁気共鳴技術 (共通技術)

未利用な資源を活かす技術

生物機能を活かしたエネルギー生産技術
消費電圧の低減
効率的な燃焼用エネルギー供給システム開発 (シミュレーション / 最適化)
糖化・発酵工程の一体化 (ゼロエミッション / 低炭素)
低エネルギー / 低炭素原料供給技術の開発

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用 (化学的)
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ)
設計に基いた化学とバイオの融合プロセス技術
工業現場での配布 (IT技術利用)
建設ストック / 今後建設物
手法 / 評価
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値
シミュレーション / ジェネレーション方法
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用 (化学的)
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ)
設計に基いた化学とバイオの融合プロセス技術
工業現場での配布 (IT技術利用)
建設ストック / 今後建設物
手法 / 評価
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値
シミュレーション / ジェネレーション方法
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用 (化学的)
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ)
設計に基いた化学とバイオの融合プロセス技術
工業現場での配布 (IT技術利用)
建設ストック / 今後建設物
手法 / 評価
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値
シミュレーション / ジェネレーション方法
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用 (化学的)
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ)
設計に基いた化学とバイオの融合プロセス技術
工業現場での配布 (IT技術利用)
建設ストック / 今後建設物
手法 / 評価
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値
シミュレーション / ジェネレーション方法
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値

法制度・基盤技術

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用 (化学的)
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ)
設計に基いた化学とバイオの融合プロセス技術
工業現場での配布 (IT技術利用)
建設ストック / 今後建設物
手法 / 評価
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値
シミュレーション / ジェネレーション方法
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用 (化学的)
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ)
設計に基いた化学とバイオの融合プロセス技術
工業現場での配布 (IT技術利用)
建設ストック / 今後建設物
手法 / 評価
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値
シミュレーション / ジェネレーション方法
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値

全体最適化

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用 (化学的)
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ)
設計に基いた化学とバイオの融合プロセス技術
工業現場での配布 (IT技術利用)
建設ストック / 今後建設物
手法 / 評価
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値
シミュレーション / ジェネレーション方法
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値

生物機能を活かした物質生産技術
微生物を活用 (化学的)
マシ、コモディティに開く技術開発 (スケールアップ)
設計に基いた化学とバイオの融合プロセス技術
工業現場での配布 (IT技術利用)
建設ストック / 今後建設物
手法 / 評価
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値
シミュレーション / ジェネレーション方法
LCA手法
シミュレーション / ジェネレーション方法
リサイクル / 評価価値

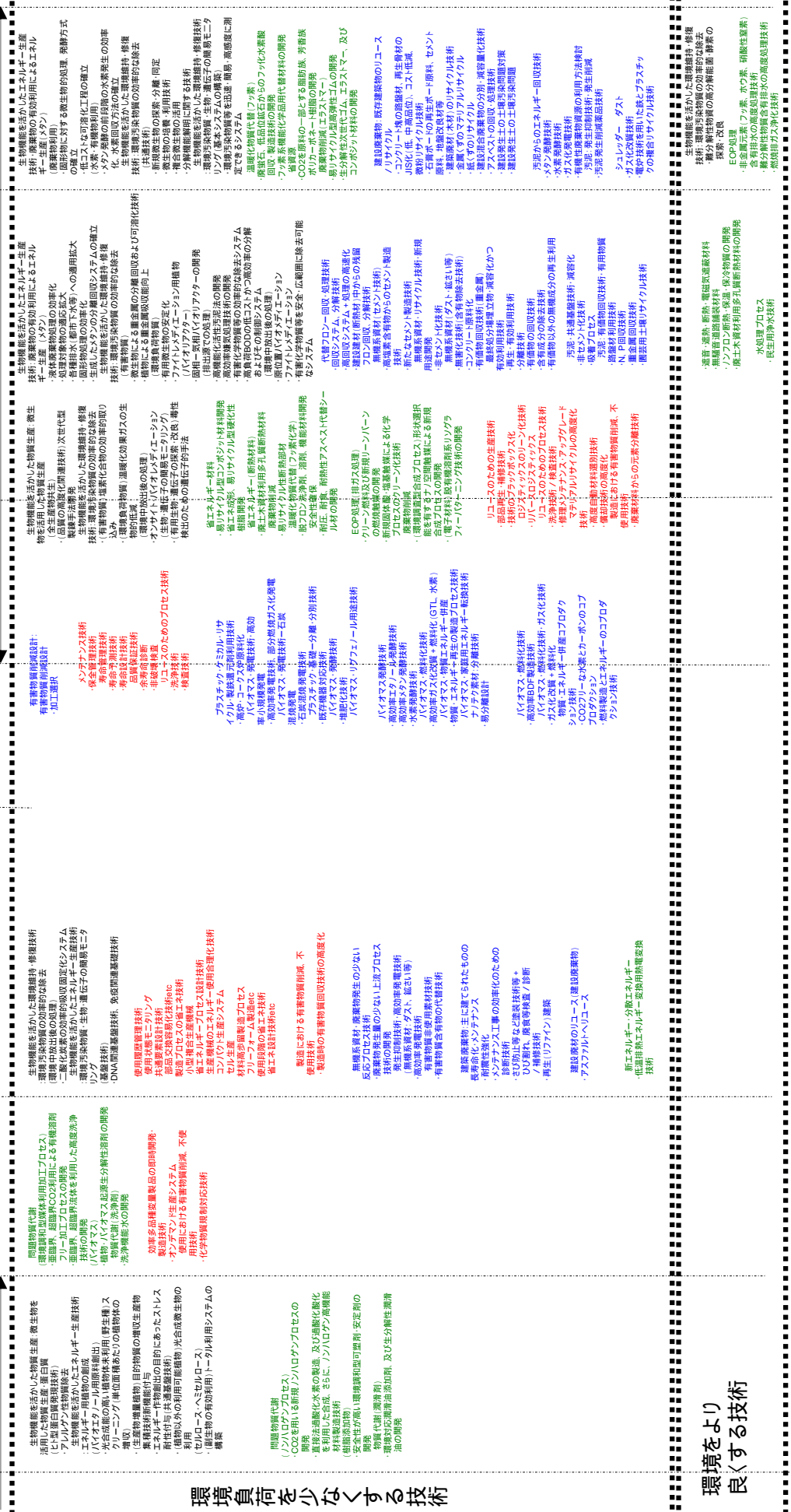
環境負荷制約克服技術マップ俯瞰図

[凡例]
赤:設計・製造・加工
緑:GSC
青:3R
黒:生物機能活用技術

原料調達・原料製造

製品開発・製造・使用

処理処分



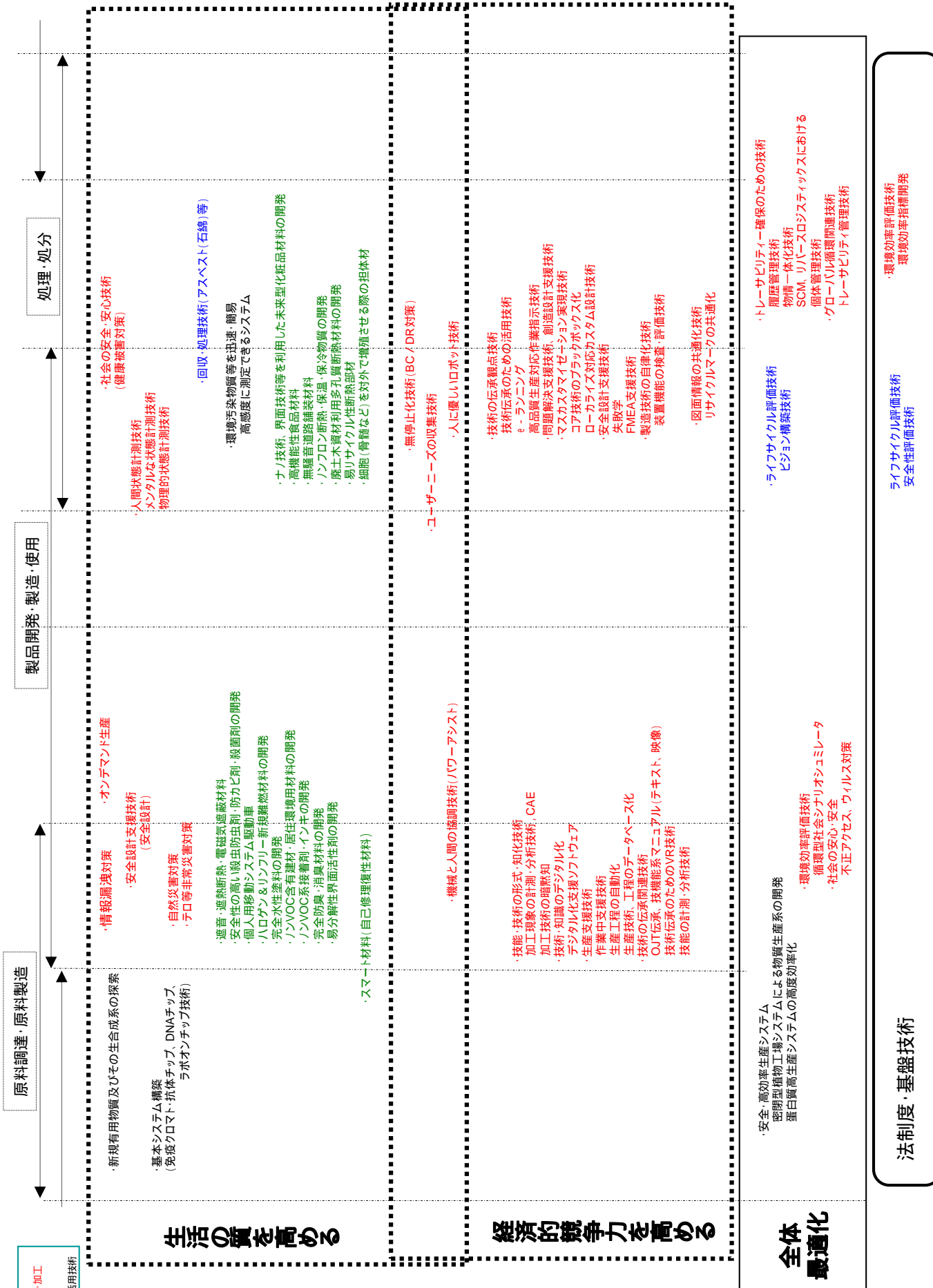
環境負荷を少なくする技術

環境をより良くする技術

全体最適化

法制度・基盤

将来における社会・経済の維持・向上技術マップ俯瞰図



[凡例]
 赤: 設計・製造・加工
 緑: GSC
 青: 3R
 黒: 生物機能活用技術

新規有用物質及びその生合成系の探索
 基本システム構築
 (免疫クロマト、抗体チップ、DNAチップ、ラポオンチップ技術)

情報漏洩対策
 安全設計支援技術
 (安全設計)
 自然災害対策
 テロ等非非常災害対策

遮音・遮熱断熱・電磁気遮蔽材料
 安全性の高い殺菌防虫剤・防カビ剤・殺菌剤の開発
 個人用移動システム駆動車
 ハロゲン&リンフリー新規難燃材料の開発
 完全水性塗料の開発
 ノンVOC含有建材・居住環境用材料の開発
 ノンVOC系接着剤・インキの開発
 完全防臭・消臭材料の開発
 易分解性界面活性剤の開発

・スマート材料(自己修復復元性材料)

・オンデマンド生産

・人間状態計測技術
 メンタルな状態計測技術
 物理的状态計測技術

・社会の安全・安心技術
 (健康被害対策)

・回収・処理技術(アスベスト(石綿)等)
 ・環境汚染物質等を迅速・簡易
 高感度に測定できるシステム

・ナノ技術、界面技術等を利用した未来型化粧品材料の開発
 ・高機能性食品材料
 ・無騒音道路舗装材料
 ・ノンフロン断熱・保温・保冷物質の開発
 ・廃土木資材利用多孔質断熱材料の開発
 ・易リサイクル性断熱材
 ・細胞(骨髄など)を対外で増殖させる際の担体材

・無停止化技術(BC, IDR対策)

・ユーザーニーズの収集技術
 ・人に優しいロボット技術

・機械と人間の協調技術(ハローアシスト)
 技能・技術の形式・知化技術
 加工現象の計測・分析技術, CAE
 技術・知識のデジタル化
 デジタル化支援ソフトウェア
 生産支援技術
 作業中支援技術
 生産工程の自動化
 生産技術の伝承関連技術
 OJT伝承 技能継承マニキュアル(テキスト、映像)
 技術伝承のためのVR技術
 技能の計測・分析技術

・技術の伝承観点技術
 技術伝承のための活用技術
 e-ラーニング
 高品質生産対応作業指示技術
 問題解決支援技術、創造設計支援技術
 マスカスタマイゼーション実装技術
 コア技術のプラットフォーム化
 ローカライズ対応カスタム設計技術
 安全設計支援技術
 失敗学
 FMEA支援技術
 製造技術の自律化技術
 装置機能の検査・評価技術
 ・図面情報の共通化技術
 リサイクルマークの共通化

・安全・高効率生産システム
 密閉型植物工場システムによる物質生産系の開発
 蛋白質高生産システムの高効率化

・環境効率評価技術
 循環型社会シナリオシミュレーター
 ・社会の安心・安全
 不正アクセス、ウイルス対策

・ライフサイクル評価技術
 ビジョン構築技術

・トレーサビリティ確保のための技術
 履歴管理技術
 物流一体化技術
 SCM, リバーシロジスティックスにおける
 個体管理技術
 グローバル循環関連技術
 トレーサビリティ管理技術

・環境効率評価技術
 環境効率指標開発

ライフサイクル評価技術
 安全性評価技術

法制度・基盤技術

持続可能なものづくり技術分野の技術マップ(B:資源制約の克服)

Table with columns: 大項目 (Major Project), 中項目 (Sub-project), テーマ名 (Theme Name), テーマ内容 (Theme Content), 大項目 (Major Project), 中項目 (Sub-project), テーマ名 (Theme Name), テーマ内容 (Theme Content), 大項目 (Major Project), 中項目 (Sub-project), テーマ名 (Theme Name), テーマ内容 (Theme Content). The table is divided into '原料調達・原料製造' and '製品開発・製造・使用' sections.

B 1 消費する資源を少なくする技術

凡例: (緑)GSC (白)GB (青)3R

持続可能なものづくり技術分野の技術マップ(C:環境制約の克服)

Table with 10 columns: 技術マップ, 原料調達・原料製造, 製造加工, 製品開発・製造・使用, 処理・処分, 中項目, 大項目, 中項目, 大項目, 中項目, 大項目. The table lists various technologies and processes across different stages of production, categorized by environmental impact (GSC, GB, 3R).

凡例: (緑)GSC (赤)設計・製造加工 (青)3R

持続可能なものづくり技術分野の技術マップ(C:環境制約の克服)

技術マップ		原料調達・原料製造				製品開発・製造・使用				処理・処分						
大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目			
大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目			
大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目			
なくする技術	C10	低炭素エネルギー二重炭酸水素ナトリウム	C10	そのほかの原料調達効率	3R0239	リサイクル率向上技術	4301	廃棄物削減技術	3R1002	4301	廃棄物削減技術	3R1002	3R1002	3R1002		
				シミュレーション	3R0240	ガス化炉技術	3R0240	1500	高圧縮縮小技術	3R0240	1500	高圧縮縮小技術	3R0240	1500	高圧縮縮小技術	
				電力消費削減	3R0241	電力消費削減技術	3R0241	電力消費削減技術	3R0241	電力消費削減技術	3R0241	電力消費削減技術	3R0241	電力消費削減技術	3R0241	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0242	電力消費削減技術	3R0242	電力消費削減技術	3R0242	電力消費削減技術	3R0242	電力消費削減技術	3R0242	電力消費削減技術	3R0242	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0243	電力消費削減技術	3R0243	電力消費削減技術	3R0243	電力消費削減技術	3R0243	電力消費削減技術	3R0243	電力消費削減技術	3R0243	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0244	電力消費削減技術	3R0244	電力消費削減技術	3R0244	電力消費削減技術	3R0244	電力消費削減技術	3R0244	電力消費削減技術	3R0244	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0245	電力消費削減技術	3R0245	電力消費削減技術	3R0245	電力消費削減技術	3R0245	電力消費削減技術	3R0245	電力消費削減技術	3R0245	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0246	電力消費削減技術	3R0246	電力消費削減技術	3R0246	電力消費削減技術	3R0246	電力消費削減技術	3R0246	電力消費削減技術	3R0246	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0247	電力消費削減技術	3R0247	電力消費削減技術	3R0247	電力消費削減技術	3R0247	電力消費削減技術	3R0247	電力消費削減技術	3R0247	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0248	電力消費削減技術	3R0248	電力消費削減技術	3R0248	電力消費削減技術	3R0248	電力消費削減技術	3R0248	電力消費削減技術	3R0248	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0249	電力消費削減技術	3R0249	電力消費削減技術	3R0249	電力消費削減技術	3R0249	電力消費削減技術	3R0249	電力消費削減技術	3R0249	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0250	電力消費削減技術	3R0250	電力消費削減技術	3R0250	電力消費削減技術	3R0250	電力消費削減技術	3R0250	電力消費削減技術	3R0250	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0251	電力消費削減技術	3R0251	電力消費削減技術	3R0251	電力消費削減技術	3R0251	電力消費削減技術	3R0251	電力消費削減技術	3R0251	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0252	電力消費削減技術	3R0252	電力消費削減技術	3R0252	電力消費削減技術	3R0252	電力消費削減技術	3R0252	電力消費削減技術	3R0252	電力消費削減技術
				電力消費削減	3R0253	電力消費削減技術	3R0253	電力消費削減技術	3R0253	電力消費削減技術	3R0253	電力消費削減技術	3R0253	電力消費削減技術	3R0253	電力消費削減技術

凡例: (緑)GSC (赤)設計・製造加工 (青)3R

持続可能なものづくり技術分野の技術マップ(C:環境制約の克服)

技術マップ			原料調達・原料製造			製造・使用			処理・処分		
大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目
コード	テーマ名	コード	テーマ名	コード	テーマ名	コード	テーマ名	コード	テーマ名	コード	テーマ名
C 1	環境負荷を小さくする技術	6B2101	効率的な燃料利用の向上	6B2101	効率的な燃料利用の向上	6B2101	効率的な燃料利用の向上	6B2101	効率的な燃料利用の向上	6B2101	効率的な燃料利用の向上
		6B2105	低エネルギー・省エネルギー	6B2105	低エネルギー・省エネルギー	6B2105	低エネルギー・省エネルギー	6B2105	低エネルギー・省エネルギー	6B2105	低エネルギー・省エネルギー
		6B2107	効率的な燃料利用の向上	6B2107	効率的な燃料利用の向上	6B2107	効率的な燃料利用の向上	6B2107	効率的な燃料利用の向上	6B2107	効率的な燃料利用の向上
		6B2108	効率的な燃料利用の向上	6B2108	効率的な燃料利用の向上	6B2108	効率的な燃料利用の向上	6B2108	効率的な燃料利用の向上	6B2108	効率的な燃料利用の向上
		6B2109	効率的な燃料利用の向上	6B2109	効率的な燃料利用の向上	6B2109	効率的な燃料利用の向上	6B2109	効率的な燃料利用の向上	6B2109	効率的な燃料利用の向上
		6B2110	効率的な燃料利用の向上	6B2110	効率的な燃料利用の向上	6B2110	効率的な燃料利用の向上	6B2110	効率的な燃料利用の向上	6B2110	効率的な燃料利用の向上
		6B2111	効率的な燃料利用の向上	6B2111	効率的な燃料利用の向上	6B2111	効率的な燃料利用の向上	6B2111	効率的な燃料利用の向上	6B2111	効率的な燃料利用の向上
		6B2112	効率的な燃料利用の向上	6B2112	効率的な燃料利用の向上	6B2112	効率的な燃料利用の向上	6B2112	効率的な燃料利用の向上	6B2112	効率的な燃料利用の向上
		6B2113	効率的な燃料利用の向上	6B2113	効率的な燃料利用の向上	6B2113	効率的な燃料利用の向上	6B2113	効率的な燃料利用の向上	6B2113	効率的な燃料利用の向上
		6B2114	効率的な燃料利用の向上	6B2114	効率的な燃料利用の向上	6B2114	効率的な燃料利用の向上	6B2114	効率的な燃料利用の向上	6B2114	効率的な燃料利用の向上
C 2	環境をより良くする技術	6B3001	安全・高効率な生産	6B3001	安全・高効率な生産	6B3001	安全・高効率な生産	6B3001	安全・高効率な生産	6B3001	安全・高効率な生産
		6B3002	安全・高効率な生産	6B3002	安全・高効率な生産	6B3002	安全・高効率な生産	6B3002	安全・高効率な生産	6B3002	安全・高効率な生産
		6B3003	安全・高効率な生産	6B3003	安全・高効率な生産	6B3003	安全・高効率な生産	6B3003	安全・高効率な生産	6B3003	安全・高効率な生産
		6B3004	安全・高効率な生産	6B3004	安全・高効率な生産	6B3004	安全・高効率な生産	6B3004	安全・高効率な生産	6B3004	安全・高効率な生産
		6B3005	安全・高効率な生産	6B3005	安全・高効率な生産	6B3005	安全・高効率な生産	6B3005	安全・高効率な生産	6B3005	安全・高効率な生産
		6B3006	安全・高効率な生産	6B3006	安全・高効率な生産	6B3006	安全・高効率な生産	6B3006	安全・高効率な生産	6B3006	安全・高効率な生産
		6B3007	安全・高効率な生産	6B3007	安全・高効率な生産	6B3007	安全・高効率な生産	6B3007	安全・高効率な生産	6B3007	安全・高効率な生産
		6B3008	安全・高効率な生産	6B3008	安全・高効率な生産	6B3008	安全・高効率な生産	6B3008	安全・高効率な生産	6B3008	安全・高効率な生産
		6B3009	安全・高効率な生産	6B3009	安全・高効率な生産	6B3009	安全・高効率な生産	6B3009	安全・高効率な生産	6B3009	安全・高効率な生産
		6B3010	安全・高効率な生産	6B3010	安全・高効率な生産	6B3010	安全・高効率な生産	6B3010	安全・高効率な生産	6B3010	安全・高効率な生産
全体最適化											

凡例: (緑)GSC (赤)設計・製造加工 (白)GB (青)3R

持続可能なものづくり技術分野の技術マップ(C:環境制約の克服)

技術マップ

原料調達・原料製造			製品開発・製造・使用			処理・処分		
大項目	中項目	コード	大項目	中項目	コード	大項目	中項目	コード
全体最適化	共通製造技術	3R4004	SCM・CO2を取り込むための最適化	4201 企画/計画/実行/可視化	4201	SCM・CO2を取り込むための最適化	4201 企画/計画/実行/可視化	4201
	共通製造技術	3R4005	製造における省エネルギー削減	4422 製造時の廃棄物削減	4422	製造における省エネルギー削減	4422 製造時の廃棄物削減	4422
	共通製造技術	3R4005	省資源・省エネルギー	3R4012 省資源・省エネルギー	3R4012	省資源・省エネルギー	3R4012 省資源・省エネルギー	3R4012
	共通製造技術	3R4005	省資源・省エネルギー	3R4012	3R4012	省資源・省エネルギー	3R4012	3R4012
製法規制技術	共通製造技術	3R4007	安全評価技術(製品・メタリなど)	3R3024 今後期待される新たな技術の導入	3R3024	安全評価技術(製品・メタリなど)	3R3024 今後期待される新たな技術の導入	3R3024
	共通製造技術	3R4007	省資源・省エネルギー	3R3024	3R3024	省資源・省エネルギー	3R3024	3R3024

凡例: (緑)GSC (赤)設計・製造・加工 (白)GBR (青)3R

持続可能なものづくり技術分野の技術マップ(D: 将来における社会・経済の維持・向上)

技術マップ		原料調達・原料製造			製品開発・製造・使用			処理・処分			
大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目
大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目
大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目	大項目	中項目
全体最適化	安全・高効率な生産プロセスの構築	安全・高効率な生産プロセスの構築	安全・安心・安心な社会の提供	2106 不正アクセス、ウイルス、マルウェア、詐欺	2106 不正アクセス、ウイルス、マルウェア、詐欺	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化
	安全・高効率な生産プロセスの構築	安全・高効率な生産プロセスの構築	安全・安心・安心な社会の提供	2106 不正アクセス、ウイルス、マルウェア、詐欺	2106 不正アクセス、ウイルス、マルウェア、詐欺	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化
製法・製剤・投与技術	安全・高効率な生産プロセスの構築	安全・高効率な生産プロセスの構築	安全・安心・安心な社会の提供	2106 不正アクセス、ウイルス、マルウェア、詐欺	2106 不正アクセス、ウイルス、マルウェア、詐欺	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化
	安全・高効率な生産プロセスの構築	安全・高効率な生産プロセスの構築	安全・安心・安心な社会の提供	2106 不正アクセス、ウイルス、マルウェア、詐欺	2106 不正アクセス、ウイルス、マルウェア、詐欺	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化	2201 製造現場に閉じるためのセキュリティ強化

持続可能なものづくり技術分野の技術テーマ相互関連性分析マップ(1 / 6)

エネルギー制約克服技術(A) × 資源制約克服技術(B)

<p>B2 未利用な資源を活かす技術</p>		<div data-bbox="1262 421 1437 524" style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p>【凡例】 赤:設計・製造・加工 緑:GSC 青:3R 黒:生物機能活用技術</p> </div> <p>生物機能を活用したエネルギー生産技術 エネルギー用植物 ・植物以外の利用可能生物 電池 ・高機能な微生物 / 酵素の探索</p>
<p>B1 消費する資源を少なくする技術</p>	<p>循環ビジネス戦略設計 支援技術 LC設計技術 グローバル循環関連技術 LC管理技術 循環型社会評価技術 使用履歴管理技術 寿命管理技術 品質保証技術 各種LCA技術 ビジネス構造のモデル化技術</p> <p>ライフサイクル設計技術 戦略策定技術 ライフサイクル計画技術 輸送・回収システム設計 共通基盤技術 情報流通・管理技術 ライフサイクル評価技術</p> <p>リデュース設計技術 リユースのための循環 マネジメント技術 リユースのための生産技術 ロジスティックスのリーン化技術 効率的な多品種変量製品の即時 開発・製造技術 オンデマンド生産システム リサイクル資源活用のための 生産技術 製造整備の省エネ技術 コンパクト生産システム セル生産 製造プロセスの省エネ / 省支援技術 小型複合生産技術 材料高歩留まり製造プロセス</p> <p>プラスチック エネルギー回収/利用技術 セメント利用</p>	<p>生物機能を活用したエネルギー生産技術 エネルギー用植物 ・単位あたりの植物体の増収 ・生産物増量植物 ・植物以外の利用可能生物 ・油やしなどを利用した油脂生産 基本システム構築 汎用エネルギー創出(バイオ燃料 生産) ・セルロース・ヘミセルロース 前処理工程、糖化工程、発酵工程、副 生物の有効利用 廃棄物の有効利用によるエネルギー 生産 ・メタン(廃棄物利用、液体廃棄物、固形 物を含む液体廃棄物) ・水素(有機物利用、自然物利用) 電池 ・有機物、廃棄物</p> <p>プラスチック 高効率発電 ケミカルリサイクル 油化技術 ガス化改質技術 家庭用エネルギー転換 技術 バイオマス 燃料化技術-物質・エネル ギー併産 物質・エネルギー再生の 製造プロセス技術</p>
	<p>A1:消費するエネルギーを少なくする技術</p>	<p>A2:エネルギーを生み出す技術</p>

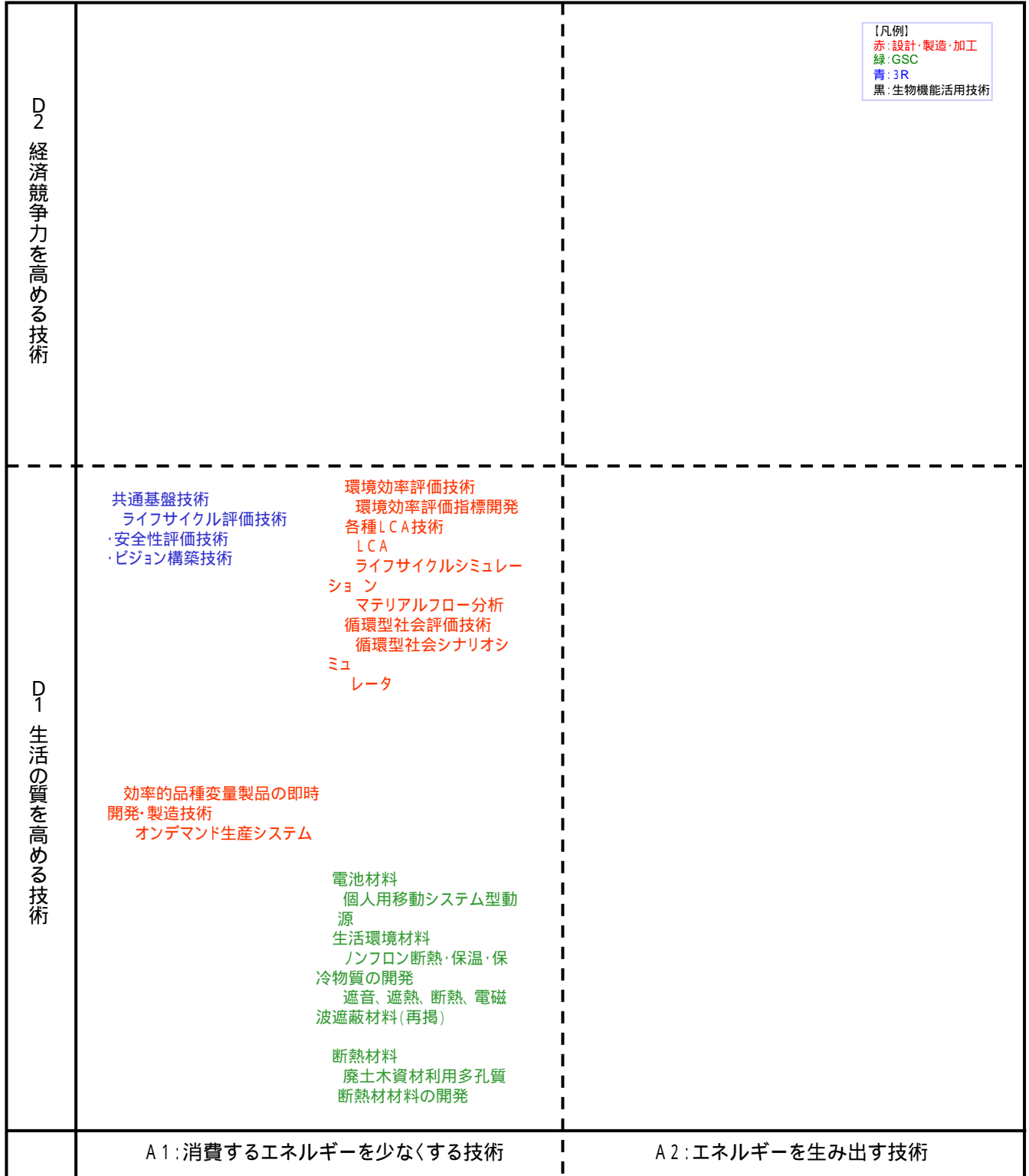
持続可能なものづくり技術分野の技術テーマ相互関連性分析マップ(2 / 6)

エネルギー制約克服技術(A) × 環境制約克服技術(C)

<p>C2 環境を寄り良くする技術</p>		<p>[凡例] 赤:設計・製造・加工 緑:GSC 青:3R 黒:生物機能活用技術</p>
<p>C1 環境負荷を少なくする技術</p>	<p>循環ビジネス戦略設計支援技術 LC設計技術 グローバル循環関連技術 LC管理技術 リデュース設計技術 循環型社会評価技術 環境効率評価技術 使用履歴管理技術 寿命管理技術 品質保証技術 各種LCA技術 共通要素設計技術 ビジネス構造のモデル化技術</p> <p>ライフサイクル設計技術 戦略策定技術 ライフサイクル計画技術 輸送・回収システム設計 共通基盤技術 情報流通・管理技術 ライフサイクル評価技術</p> <p>易リサイクル型コンポジット材料の開発 省エネ成形、易リサイクル型硬化性樹脂の開発 断熱材料 廃土木資材利用多孔質断熱材料の開発 生活環境材料 易リサイクル断熱材料</p> <p>ロジスティックスのリーン化技術 効率的多品種変量製品の即時開発 製造技術 オンデマンド生産システム リサイクル資源活用のための生産技術 変種変量逆生産技術 素材判別技術 製造設備の省エネ技術 セル生産 リユースのための循環マネジメント技術 リユースのための生産技術</p>	<p>生物機能を活用したエネルギー生産技術 エネルギー用植物 ・単位あたりの植物体の増収 ・生産物増量植物 ・植物以外の利用可能生物 ・油やしなどを利用した油脂生産 基本システム構築 汎用エネルギー創出(バイオ燃料生産) ・セルロース・ヘミセルロース 前処理工程、糖化工程、発酵工程、副生物の有効利用 廃棄物の有効利用によるエネルギー生産 ・メタン(廃棄物利用、液体廃棄物、固形物を含む液体廃棄物) ・水素(有機物利用、自然物利用) 電池 ・有機物、廃棄物</p> <p>低温排熱エネルギー変換 用熱電変換材料の開発</p> <p>汚泥 有価物回収技術-エネルギー回収 無機系資材(ダスト・鉱さい等) 高効率発電技術(IGCC等) バイオマス・発電技術 効率的な小規模発電 石炭混焼発電 エタノール発酵 メタン発酵 水素発酵 バイオマス・燃料化技術 高効率BDF製造 ガス化技術 物質・エネルギー 併産コプロダクション技術 ・CO2フリーな水素とカーボン 燃料製造とエネルギー 物質・エネルギー再生の製造プロセス技術 家庭用エネルギー転換 シュレッダーダスト ガス化改質技術</p>
	<p>A1:消費するエネルギーを少なくする技術</p>	<p>A2:エネルギーを生み出す技術</p>

持続可能なものづくり技術分野の技術テーマ相互関連性分析マップ(3 / 6)

エネルギー制約克服技術(A) × 将来における社会・経済の維持向上(D)



持続可能なものづくり技術分野の技術テーマ相互関連性分析マップ(4 / 6)

資源制約克服技術(B) × 環境制約克服技術(C)

<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">C2 環境負荷をより良くする技術</p>	<p>水処理プロセス 民生用浄水技術</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; margin-bottom: 10px;"> <p>[凡例] 赤:設計・製造・加工 緑:GSC 青:3R 黒:生物機能活用技術</p> </div> <p>微生物を活用した物質生産 バイオマスの効率的利用にかかる技術 ・廃棄物系の微生物による資化 可能物質への変換技術</p>
<p style="writing-mode: vertical-rl; text-orientation: upright;">C1 環境負荷を少なくする技術</p>	<p>メンテナンス技術 循環ビジネス戦略設計支援技術 LC設計技術 グローバル循環関連技術 LC管理技術 リデュース設計技術 循環型社会評価技術 環境効率評価技術 使用履歴管理技術 寿命管理技術 品質保証技術 各種 LCA 技術</p> <p>ライフサイクル設計技術 ライフサイクル戦略策定技術 ライフサイクル計画技術 輸送・回収システム設計 共通基盤技術 情報流通・管理技術 ライフサイクル評価技術</p> <p>リユースのための循環マネジメント技術 リユースのための生産技術 共通要素設計技術 ビジネス構造のモデル化技術 ロジスティックスのリーニ化技術 効率的多品種変量製品の即時開発・製造技術 リユースのためのプロセス技術 リサイクル資源活用のための生産技術 マテリアルリサイクルの高度化技術 製造における有害物質削減、不使用技術 廃棄における有害物質削減、不使用技術</p> <p>複合材料処理 化学処理による複合材料 混紡繊維等リサイクル技術 カスケード利用 無機系副生物・廃棄物のリサイクル、及びカスケードリサイクル技術 水処理プロセス 次世代水処理技術の開発(工業用) CO2の利用 CO2を原料の一部とする 脂肪酸、芳香族ポリカーボネート樹脂の開発</p> <p>無機系資材(ダスト・鉱さい等) 基盤技術-無害化技術 リサイクル技術-セメント製造技術 リサイクル技術-コンクリート原料化 リサイクル技術-有価物回収技術 最終処分場埋立物 減容化かつ有効利用技術-減容化かつ有効利用技術 ・埋立物の分離技術 ・有価物の回収技術 ・有害成分の除去・回収技術 ・有価物以外の無機成分の再生利用 建設廃棄物 路盤材・再生骨材のJIS化 建設廃材 既存マテリアル紙くず(現状の60%以上) 再生ボード原料、セメント原料 回収・処理技術 建設ストック 建設廃棄物削減・抑制・省資源・省エネ・省廃棄量 ・資源循環型住宅の開発 手法・評価ツール 有害物質削減設計 有害物質非使用素材技術 プラスチック 基盤技術-分離・分別技術 高炉、コークス炉原料化 バイオマス 発酵技術-堆肥化 燃料化技術-物質・エネルギー併産 プロダクション技術 その他-リグノフェノール用途開発 シュレッダーダスト 電炉利用の鉄とプラスチック複合リサイクル 代替フロン 回収・処理-冷媒回収・分離技術(燃焼、熱分解、化学処理) 回収・処理-洗浄溶剤回収利用 ナノテク素材 分離技術 回収技術 汚泥 有価物回収技術-有用物質回収</p>	<p>微生物を活用した物質生産 品質の高度化関連技術 ・次世代型製錬手法の開発 ・不純物分離・除去 植物を活用した物質生産 密閉系植物工場システムによる物質生産系の開発 環境汚染物質の効率的な除去 微生物による重金属の分離・回収および可溶化技術の開発 植物による重金属吸収能の向上</p> <p>生物機能を活用したエネルギー生産技術 エネルギー用植物 ・単位あたりの植物体の増収 ・生産物増量植物 ・植物以外の利用可能生物 ・油やしなどを利用した油脂生産 基本システム構築 汎用エネルギー創出(バイオ燃料生産) ・セルロース・ヘミセルロース 前処理工程、糖化工程、発酵工程、副生物の有効利用 廃棄物の有効利用によるエネルギー生産 ・メタン(廃棄物利用、液体廃棄物、固形物を含む液体廃棄物) ・水素(有機物利用、自然物利用) 電池 ・有機物、廃棄物</p> <p>潤滑剤 環境対応潤滑油添加剤、生分解性潤滑油の開発 洗浄剤 洗浄機能水の開発 エラストマー 易リサイクル型高弾性ゴム開発 生分解性次世代ゴム、エラストマー及びコンポジット材料</p> <p>フッ素化学 廃蛍石、低品位鉱石等からフッ化水素酸回収・製造技術 ノンハロゲンプロセス 直説法過酸化水素の製造、及び過酸化水素酸化を利用した合成、更に、ノンハロゲン高機能材料製造技術の開発 排ガス処理 クリーン燃焼技術及び新規リーンバーン燃焼触媒の開発</p> <p>無機系資材(ダスト・鉱さい等) リサイクル技術 ・新たなセメント製造技術 リサイクル技術-新規用途開発 ・非セメント化技術</p>
	<p>B1:消費する資源を少なくする技術</p>	<p>B2:未利用な資源を活かす技術</p>

持続可能なものづくり技術分野の技術テーマ相互関連性分析マップ(5 / 6)

資源制約克服技術(B) × 将来における社会・経済の維持向上(D)

<p>D2 経済競争力を高める技術</p>	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; width: fit-content; margin-left: auto; margin-right: auto;"> <p>【凡例】</p> <p>赤:設計・製造・加工</p> <p>緑:GSC</p> <p>青:3R</p> <p>黒:生物機能活用技術</p> </div>	
<p>D1 生活の質を高める技術</p>	<p>グローバル循環関連技術 トレーサビリティ管理技術 循環型社会評価技術 循環社会シナリオシミュレータ 環境効率評価技術 環境効率指標開発 各種LCA技術 LCA ライフサイクルシミュレーション マテリアルフロー分析 製品/サービス融合技術</p> <p>トレーサビリティ確保のための技術 履歴管理技術 物情一体化技術 SCM 個体管理技術 効率的な多品種変量製品の即時開発・製造技術 オンデマンド生産システム</p> <p>建設廃棄物(建設ストック) 建設廃材のリユース/リサイクル ・回収・処理技術(アスベスト) 建設ストック 資源循環型住宅の開発(省エネ、省資源、省廃棄物) 共通基盤技術 ライフサイクル評価技術 ・安全性評価技術 ・ビジョン構築技術</p> <p>環境汚染物質・生物・遺伝子の簡易モニタリング 免疫クロマト・抗体チップ DNAチップ技術・ラボオンチップ技術</p>	<p>耐熱・伝熱材料 スマート材料<自己修復性材料></p> <p>新規有用物質およびその生成系の探索 新規有用物質及びその生成系の探索 安全・高効率生産システム 密閉系植物工場システムによる物質生産系の開発</p>
	<p>B1:消費する資源を少なくする技術</p>	<p>B2:未利用な資源を活かす技術</p>

持続可能なものづくり技術分野の技術テーマ相互関連性分析マップ(6 / 6)

環境制約克服技術(C) × 将来における社会・経済の維持・向上(D)

<p>D2 経済競争力を高める技術</p>		<p>[凡例] 赤:設計・製造・加工 緑:GSC 青:3R 黒:生物機能活用技術</p>
<p>D1 生活の質を高める技術</p>	<p>効率的な多品種変量製品の即時開発・製造技術 オンデマンド生産システム</p> <p>建設廃棄物(建設ストック) 建設廃材のリユース/リサイクル ・回収・処理技術(アスベスト) 建設ストック 資源循環型住宅の開発(省エネ、省資源、省廃棄物) 共通基盤技術 ライフサイクル評価技術 ・安全性評価技術 ・ビジョン構築技術</p> <p>植物を活用した物質生産ー蛋白質 安全・高効率生産システム ・密閉系植物工場システムによる物質生産系の開発</p> <p>環境汚染物質・生物・遺伝子の簡易モニタリング 環境汚染物質等を迅速・簡易・高感度で測定できるシステム</p> <p>グローバル循環関連技術 トレーサビリティ管理技術 循環型社会評価技術 循環社会シナリオシミュレータ 環境効率評価技術 環境効率指標開発 各種LCA技術 LCA ライフサイクルシミュレーション マテリアルフロー分析 製品/サービス融合技術</p>	<p>環境汚染物質の効率的な除去 有害物質 ・難分解性物質の高分解機能菌・酵素の探索・改良</p>
	<p>C1:環境負荷を少なくする技術</p>	<p>C2:環境をより良くする技術</p>

持続可能なものづくり技術分野の技術ロードマップ(1/7)

分野凡例: (緑)GSC (白)GB (赤)設計・製造・加工 (青)3R

技術ロードマップ: 2010年 2020年 2030年 2050年

技術分類	技術	短期課題	中期課題	長期課題
消費するエネルギーを少なくする技術 (A1)	分離プロセス	<ul style="list-style-type: none"> 選択的透過膜を用いた非平衡分離・省エネ化と反応分離同時処理技術 化学分離プロセス(蒸留、抽出、濾過等)の省エネ化 		
	新しい反応場の利用	<ul style="list-style-type: none"> 外場加熱エネルギー利用による高選択合成 マイクロリアクターによる反応プロセスのシンプル化・高速化 		
	エネルギー併産プロセス	<ul style="list-style-type: none"> 化学品、電力、熱のトライジェネレーション 石炭ガス化発電(IGCC)と化学品の併産 		
	軽量・高強度材料	<ul style="list-style-type: none"> 超耐熱性、強度等を有する新規ポリオレフィン 高強度・軽量新規コンポジット樹脂材料 有機・無機ハイブリッド材料 軽量・高機能透明材料 		
	低摩擦材料	<ul style="list-style-type: none"> 低摩擦表面素材/潤滑剤 		
	省電力材料	<ul style="list-style-type: none"> 半導体照明材料 		
	燃料電池用材料	<ul style="list-style-type: none"> PEFC、SOFC用新規材料 		
	触媒利用プロセス(化石資源)	<ul style="list-style-type: none"> 接触法ナフサ分解によるオレフィン、芳香族等製造 		
	LC設計技術	<ul style="list-style-type: none"> シミュレーション・代替案比較分析 リデュース設計技術・脱物質化設計技術 製品横断的なライフサイクル設計技術 		
	持続可能社会評価技術	<ul style="list-style-type: none"> 持続可能社会シナリオ作成技術 到達度評価技術 		
	製造プロセスの省エネ・省資源技術	<ul style="list-style-type: none"> 小型複合生産方式 プロセスの省エネ化設計技術 複合化加工プロセス 現場一部普及 材料・エネルギー最小化加工技術 加工プロセス複合化評価・モデリングシステム エネルギー使用合理化技術 		
	3Rエコデザイン/再生生産技術	<ul style="list-style-type: none"> 3R共通要素設計技術 メンテナンス及び3Rのための生産・管理技術 ライフサイクル設計技術 		

持続可能なものづくり技術分野の技術ロードマップ(2/7)

分野凡例: (緑)GSC (白)GB (赤)設計・製造・加工 (青)3R

技術ロードマップ: 2010年 2020年 2030年 2050年

技術分類	技術	短期課題	中期課題	長期課題
エネルギーを生み出す技術 (A2)	エネルギー用植物の創成	エネルギー用植物創成共通基盤技術の開発	目的生産物増収技術の開発	実用可能エネルギー用植物の栽培技術の開発
	汎用エネルギー創出(バイオ燃料生産)	探検育種による高速発芽の創 効率的プロセス開発 もろみ・ペ・ハミもろみの選別・改良 糖化プロセスの確立 前処理システムの開発 担子菌の育種・培養技術 アルコール発酵を含む木質等の総合利用システム開発		
	廃棄物の有効利用によるエネルギー生産	有用菌の発酵への導入技術の開発	効率的なメタン、水素製造のシステム確立	
	排出源での処理	風/強体利用技術 活性汚泥法 微生物群のデフラグ/効率的空間配置 排出源での高効率処理システムの確立		
	未利用エネルギー変換・活用	低品位排熱の蓄熱・輸送・回収システムによる有効利用 排熱エネルギー回収用熱電変換材料 デシカント空調用高性能湿度吸着材料		
	二次電池材料	高性能リチウムイオン電池材料 新しい電池材料		
	水素エネルギー	安価な水素製造技術(水蒸気改質、水電気分解等) 安全な水素の貯蔵・輸送供給(オンサイト発生)技術		
	太陽電池材料	色素増感型太陽電池材料 薄膜シリコン系太陽電池材料 有機半導体型太陽電池材料		
	電子材料	高性能有機半導体材料		

持続可能なものづくり技術分野の技術ロードマップ(3/7)

分野凡例: (緑)GSC (白)GB (赤)設計・製造・加工 (青)3R

技術ロードマップ: 2010年 2020年 2030年 2050年

技術分類	技術	短期課題	中期課題	長期課題
消費する資源を少なくする技術 (B1)	微細構造・精密構造形成技術	印刷(インクジェット等)技術による電子部品製造に適した材料	ナノ・マイクロ構造体の新しい製造技術	
	元素資源の確保	希少元素、貴金属代替新材料	低品位原料/廃棄物からの特定元素高効率抽出・精製	
	触媒利用プロセス	選択的酸化プロセス	有機分子触媒	
	水処理プロセス	次世代水処理技術	民生用浄水技術	
	LC設計技術	シミュレーション・代替案比較分析	リデュース設計技術・脱物質化設計技術	製品横断的なライフサイクル設計技術
	持続可能社会評価技術	持続可能社会シナリオ作成技術	到達度評価技術	
	グローバル循環技術	グローバル循環設計・管理技術		
	製造プロセスの省エネ・省資源技術	小型複合生産方式	プロセスの省エネ化設計技術	複合化加工プロセス 現場一部普及
		材料・エネルギー最小化加工技術	加工プロセス複合化評価・モデリングシステム	
		エネルギー使用合理化技術		
	最終処分量削減	新たな用途、素材等での利用技術	有用物質の回収も含めた最終処分場の再生技術	
	建設ストック	解体廃棄物の再生利用用途拡大技術	長寿命建設物の設計・建築技術	
金属資源3R	分離回収技術	高効率化、不純物混入防止技術	代替品開発	
3Rイテザイン/再生生産技術	3R共通要素設計技術	メンテナンス及び3Rのための生産・管理技術	ライフサイクル設計技術	

持続可能なものづくり技術分野の技術ロードマップ(4/7)

分野凡例: (緑)GSC (白)GB (赤)設計・製造・加工 (青)3R

技術ロードマップ: 2010年 2020年 2030年 2050年

技術分類	技術	短期課題	中期課題	長期課題
未 利 用 な 資 源 を 活 か す 技 術 (B2)	微生物を活用した物質生産	国内バイオマスからの糖蜜回収とその活用 物質生産方式の確立 バイオマスからの化学品等生産技術の実用化(バイオフィリ-技術)	代謝酵素特性の改変技術の開発 精密な遺伝子発現制御技術の開発 産業用汎用宿主微生物の創出	特殊条件耐性機構の解明 特殊条件耐性酵素の設計技術の開発 複合酵素反応系の構築技術の実用化
	植物を活用した物質生産	効率的な遺伝子導入技術の開発 高効率の代謝系遺伝子の導入発現技術の開発 実用作物の物質生産に特化した組換え植物開発技術の確立	蛋白質ミミクソン 新規機能蛋白質・最適構造有用蛋白質の生産	閉鎖型植物工場システムによる物質生産系の開発 閉鎖型植物工場による有用物質生産の汎用化への推進
	動物細胞を活用した物質生産	高効率な高発現組換え細胞選別法の開発 高生産性宿主バクテ-系との増殖の構築		
	生物遺伝資源の収集と保存	微生物遺伝資源ライブラ-の構築及びメタゲノム情報等有用情報の付加		
	各種DBの整備・管理	バイオインフォマティクス技術 データベースユーザービリティの向上		
	触媒利用プロセス(化石資源)	接触法ナフサ分解によるオレフィン、芳香族等製造 (低品位の)天然ガスからの合成ガスプロセスと誘導体の製造 低利用石油関連資源からのナフサ留分、オレフィン等の製造		
	バイオマス利用	機能性化学原料製造技術 非食糧資源からのバイオプラスチック製造		
	海洋開発	化学技術による海洋開発		
	複合材料	複層フィルムの代替・易リサイクル化		
	ライフサイクル設計向け材料	易リサイクル、易分解性粘着剤及び自己剥離材料		

持続可能なものづくり技術分野の技術ロードマップ(5/7)

分野凡例: (緑)GSC (白)GB (赤)設計・製造・加工 (青)3R

技術ロードマップ: 2010年 2020年 2030年 2050年

技術分類	技術	短期課題	中期課題	長期課題
環境負荷を少なくする技術 (C1)	排出源での処理	膜/担体利用技術・活性汚濁法 微生物群のデザイン化/知率的空間配置 排出源での高効率処理システムの確立		
	植物を活用した物質生産	閉鎖型植物工場システムによる物質生産系の開発 閉鎖型植物工場による有用物質生産の汎用化へ到達		
	環境中放出後の処理	高分解微生物の遺伝子解析 植物・微生物を組合わせた環境放出後の処理システムの確立 (ハイブリッドバイオレメディエーションシステム)		
	バイオテクノロジーを用いた環境モニタリング	酵素免疫測定法による有害化学物質の測定 多項目同時ハイストレープ測定装置の開発 酵素中の微量DNAの測定 ラボ・オン・チップの開発 オンサイト・簡易・迅速高感度微生物測定装置の開発		
	軽量・高強度材料	超耐熱性、強度等を有する新規ポリオレフィン 高強度・軽量新規コンポジット樹脂材料 有機・無機ハイブリッド材料 軽量・高機能透明材料		
	フッ素化学	フッ素系機能化学品		
	触媒利用プロセス	選択的酸化プロセス		
	触媒利用プロセス	有機分子触媒		
	ノンハロゲンプロセス・材料	CO ₂ 、CO ₂ を用いる新規ノンハロゲンプロセス (ポリカーボネート樹脂、ウレタン、ファイバーグラス等の製法) 過酸化水素等の酸化剤を利用したノンハロゲン材料の製造		
	臨界媒体利用加工プロセス	亜臨界、超臨界CO ₂ 利用による有機溶剤フリー加工プロセス 亜臨界、超臨界流体を利用した高度洗浄技術		
	廃棄物削減合成プロセス	新規固体酸・塩基触媒による化学プロセスのクリーン化技術 従来型有機合成のシンプル化技術		
	資源利用効率の高い電子材料	脱有機溶剤系リソグラフィパターンニング材料		
	排ガス処理	クリーン燃焼技術		
	LC設計技術	シミュレーション・代替案比較分析 リデュース設計技術・脱物質化設計技術 製品横断的なライフサイクル設計技術		
	動脈静脈一体型生産システム	成分分析、素材分離技術 材料の簡易な同定技術、分解、自動選別 材料選別技術		
持続可能社会評価技術	持続可能社会シナリオ作成技術 到達度評価技術			

持続可能なものづくり技術分野の技術ロードマップ(6/7)

分野凡例: (緑)GSC (白)GB (赤)設計・製造・加工 (青)3R

技術ロードマップ: 2010年 2020年 2030年 2050年

技術分類	技術	短期課題	中期課題	長期課題
	最終処分量削減	発生量、最終処分量の多いものを中心とした短期的最終処分削減技術	発生抑制、変換技術など的高度化技術	有用物質の回収も含めた最終処分場の再生技術
	建設ストック	解体廃棄物の再生利用用途拡大技術	長寿命化のためのメンテナンス技術	
	3Rコデザイン/再生生産技術	3R共通要素設計技術	メンテナンス及び3Rのための生産・管理技術	ライフサイクル設計技術
環境をより良くする技術(②)	環境中放出後の処理	高分解微生物の遺伝子解析	植物・微生物を組合わせた環境放出後の処理システムの確立 (ハイブリッドバイオメディアーションシステム)	
	環境との調和技術	民間用浄水技術	環境中で分解しやすい洗剤	クリーン燃焼技術
	製品/サービス融合技術	環境効率化指標開発	製品価値・サービス価値の可視化	製品・サービスの複合モデルシミュレーション、製品・サービスの統合設計方法論
	最終処分量削減	発生量、最終処分量の多いものを中心とした短期的最終処分削減技術	発生抑制、変換技術など的高度化技術	

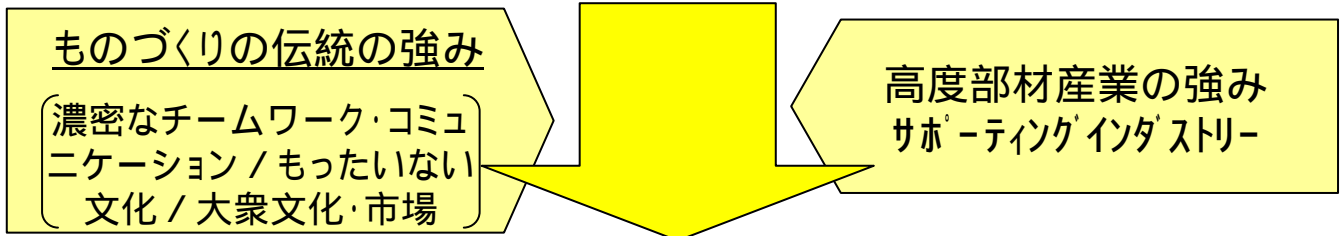
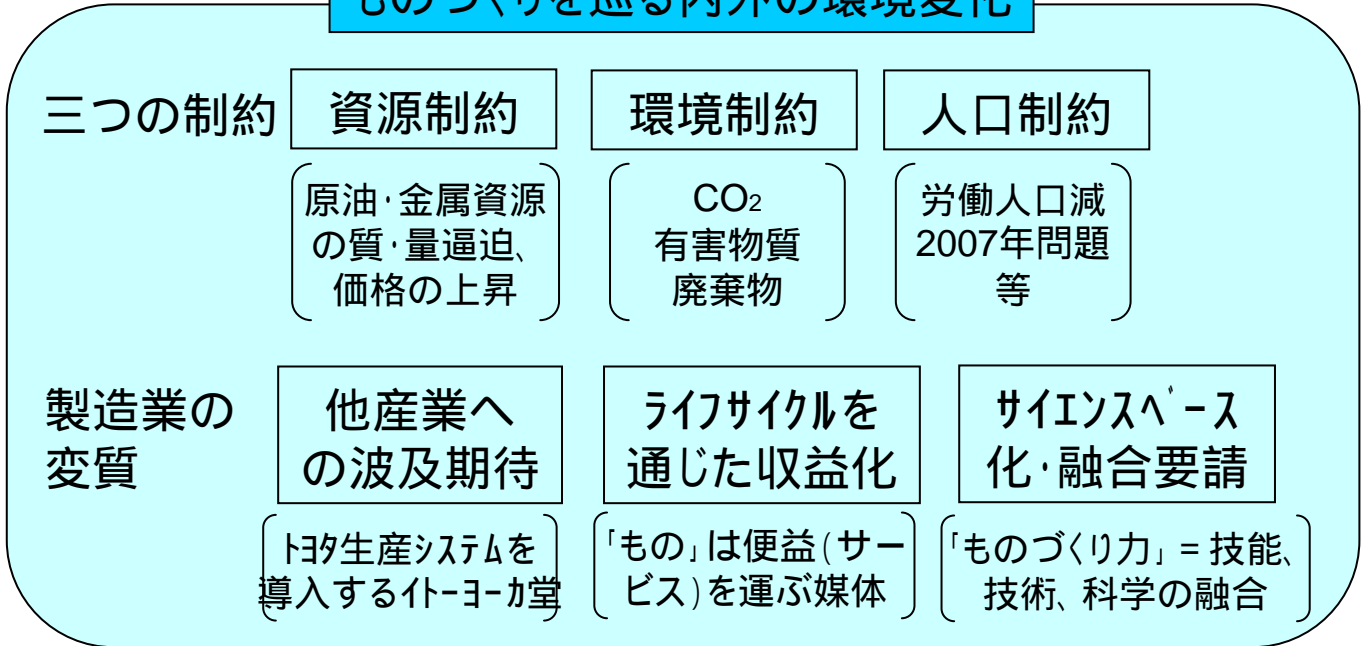
持続可能なものづくり技術分野の技術ロードマップ(7/7)

分野凡例: (緑)GSC (白)GB (赤)設計・製造・加工 (青)3R

技術ロードマップ: 2010年 2020年 2030年 2050年

技術分類	技術	短期課題	中期課題	長期課題
生活の質を高める技術 (D1)	植物を活用した物質生産	閉鎖型植物工場システムによる物質生産系の開発	閉鎖型植物工場による有用物質生産の汎用化へ到達	
	バイオ/ロジックを用いた環境モニタリング	酵素免疫測定法による有害化学物質の測定	多項目同時ハイストリット測定装置の開発	
		酵素中の微量DNAの測定	ラボ・オン・チップの開発	オンサイト・簡易・迅速高感度微生物測定装置の開発
	水処理プロセス	次世代水処理技術		
		民生用浄水技術		
	排ガス処理	クリーン燃焼技術		
	生活環境材料	ハロゲン・リンを用いない新規難燃プラスチック材料		
		各種材料の非有機溶剤系化・安全性強化		
		安全性の高い殺虫防虫剤・防かび剤・除菌剤		
		高性能消臭・防臭剤		
水環境の保全	環境中で分解しやすい洗剤			
アメニティ増進	アンチエージング機能等をふまえた未来型化粧品素材			
	高機能性食品包材			
	個人行動支援・次世代自動車・ロボット・介護装置向け材料 (スマート材料、センサ、アクチュエータ等)			
	遮音、遮熱、断熱、電磁波遮蔽材料			
グローバル循環技術	グローバル循環設計・管理技術			
トレーサビリティ確保	RFIDの小型化/大容量化			
	商品の出荷、輸送、在庫、配送のトレース			
	個別部品、ユニット部品単位のトレース、利用状況、再使用部品の履歴トレース等			
経済競争力を高める技術 (D2)	形式知化	内部・不可視部分計測/加工現象のリアルタイム計測	CAE技術による加工現象分析	CAE技術の活用
		技能の計測・分析	技能者の感性計測、評価	
	標準型工場データベース		データベース活用	
デジタル化	データベース構築/活用支援			
		自社技能データベース構築と活用支援技術		

ものづくりを巡る内外の環境変化



目指すべき国家像 = 「脱資源発展国家」

ものづくり力を活かして資源制約、環境制約、人口制約の中で成長を果たす。それをMade in Japan製品、Japan Inside製品の競争力・ブランド力とする。

ものづくりパラダイムへの転換

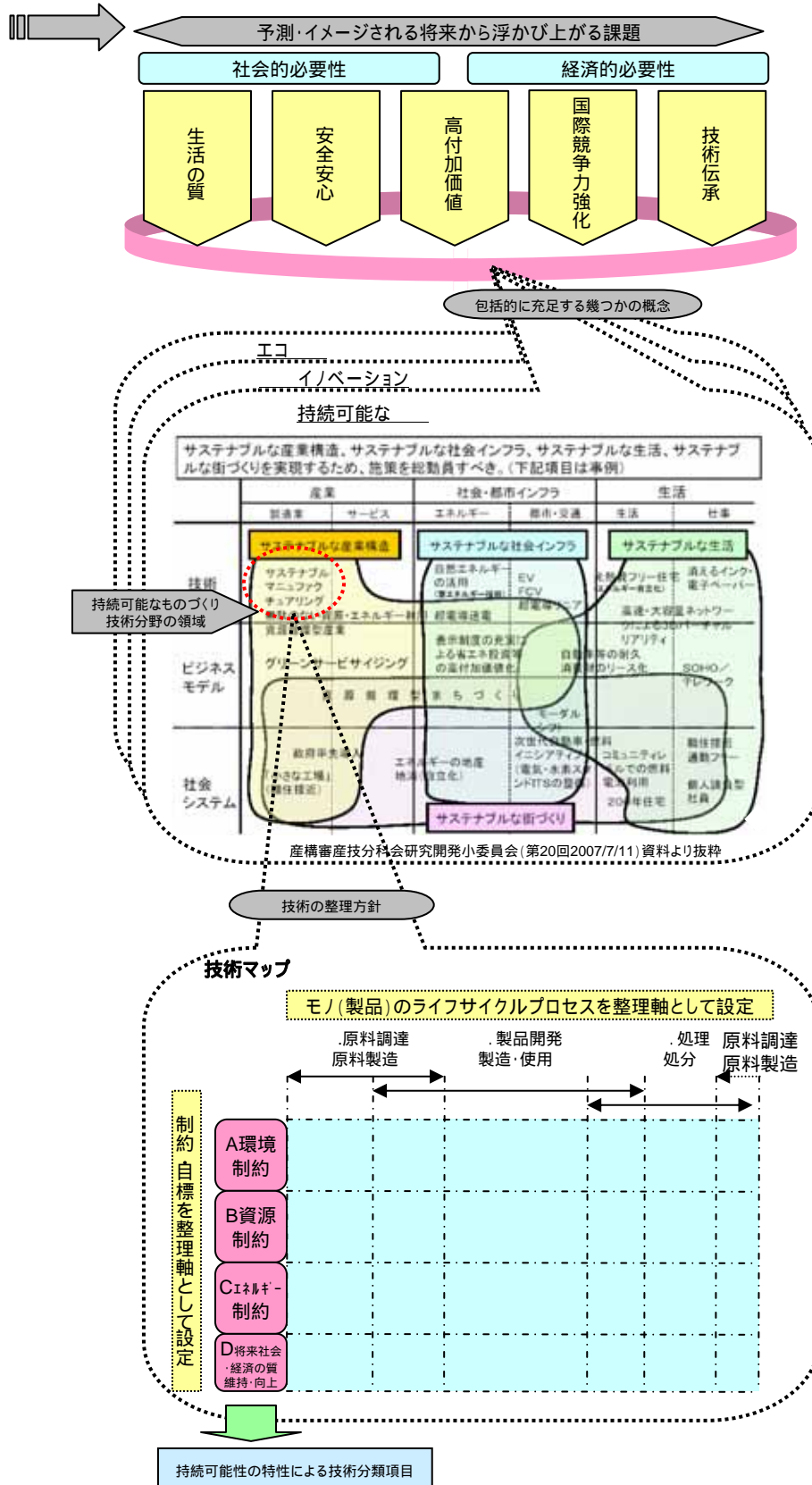
製造業パラダイム	ものづくりパラダイム
物質・労働負荷増大	物質・労働負荷低減
大量生産・大量廃棄	他品種変量・循環型
画一性(同質重視)	多様性(異質の活用)
物的資源	人的資源(知識・情報)

ものづくりパラダイムにおける新たな価値創造 = 「物質負荷・人間負荷をかけずに顧客・消費者の満足を高める」

パラダイム転換に必要な社会システムの変革

企業内部……………価値創造の場
 企業間・組織間……………企業の境界を越えたオープンな連携・ネットワーク
 地域・国家・世界……………アジア・ユーラシアとの最適機能分業(グローバル)、魅力ある地域間(ローカル)の競争

持続可能なものづくり技術の実現する将来社会像と 目標および技術マップの位置づけ



持続可能性の特性による技術分類

A エネルギー制約の克服	
A1	消費するエネルギーを少なくする技術
	・必要な資源の採取や素材、部品、製品の生産、及び製品の使用時、使用後の処理・処分におけるエネルギー消費量を削減するための技術。個々の削減技術だけでなく、全体としてエネルギー消費を最小化するための最適化の視点を含む。
A2	エネルギーを生み出す技術
	・必要な資源の採取や素材、部品、製品の生産、及び製品の使用に要するエネルギーを、再生可能な資源や循環資源から生み出したり代替したりする技術。
B 資源制約の克服	
B1	消費する資源を少なくする技術
	・原材料となる資源の採取量や、素材、部品、製品の生産に用いる資源の消費量を削減したり、生産・製造時および使用後の処理・処分時に枯渇性、希少性資源を回収・代替する技術。個々の削減技術だけでなく、全体として資源消費量を最小化するための最適化の視点を含む。
B2	未利用な資源を活かす技術
	・再生可能な生物(植物、微生物)資源や未利用資源を活用する技術や製品の生産に必要な新たな資源を作り出す技術。
C 環境制約の克服	
C1	環境負荷を少なくする技術
	・資源採取による環境負荷を抑制したり、生産活動、使用、廃棄・リサイクルの過程における大気、土壌、水などへの排出ゼロを目指す技術。個々の削減技術だけでなく、全体として環境への負荷を削減するための最適化の視点を含む。
C2	環境をより良くする技術
	・生物など環境の構成者が有する環境修復・再生機能を活用することによって、環境をよりよくするための技術。
D 将来における社会・経済の維持・向上	
D1	生活の質を高める技術
	・革新的な技術開発に基づいた付加価値の高い製品づくり、安心・安全で快適で利便性に富んだ製品づくり及び高度な社会資本維持保全を通じて、生活の質を高めるための技術
D2	経済的競争力を高める技術
	・生産人口が減少する時代に対応し、生産性の向上、熟練技術の継承、労働者の安全な労働環境づくりや福祉向上などに資する技術。

I . 企画委員会

I — 2 持続可能社会シミュレータ開発提案 TF

持続可能社会シミュレータ開発提案 TF

本タスクフォースの H19 年度の活動を以下に記載する。

- (1) 従来から提案されていた持続可能社会シミュレータにつき、基本イメージを描き、概念やツールの整理を進めた。
- (2) 持続可能社会構築に大きく寄与するヒートポンプ給湯器、電球型蛍光灯などの主要な環境に配慮した工業製品の将来見通しなどにつき、業界団体のヒアリングを行い、持続可能社会シミュレータのモデル作りに有用な素材を収集した。
- (3) サステナブル・マニュファクチャリングシンポジウムにおいて関連する成果の発表を行い、参加者との意見交換等により情報の共有化を進めた。シンポジウムの講演内容の一部を本報告書の巻末に掲載した。

1. 持続可能社会シミュレータの概念

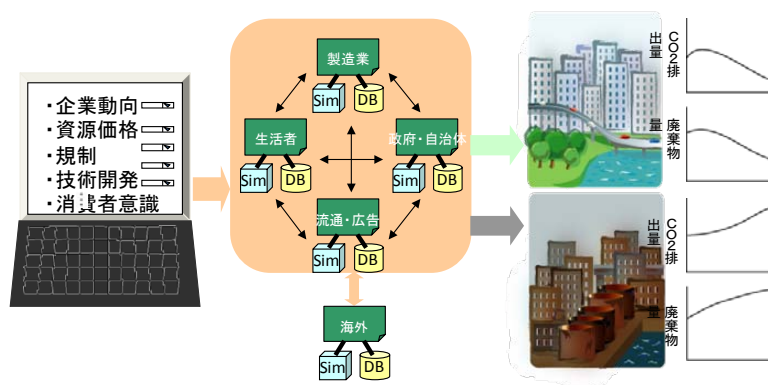
京都議定書の削減目標 6% (1990 年比) の達成に向けて、温暖化対策が盛んに行われている中で、ポスト京都議定書を視野に入れた中長期的な温室効果ガス削減目標策定や、将来の脱温暖化社会に関する議論が活発化している。経済的観点から地球温暖化対策の重要性を説く「スターン・レビュー」は、英国の気候変動・開発における経済担当政府の特別顧問であるニコラス・スターン博士が、ブレア首相とブラウン財務大臣の依頼を受けまとめたものである。これを受け、英国政府は 2007 年 3 月に気候変動法案を発表した。温室効果ガスを削減に法的拘束力を持たせ、二酸化炭素排出量を 2050 年までに 1990 年比 60% 削減するという目標と気候変動戦略を打ち出し、低炭素経済に移行する強い姿勢を示している。環境省では、既に英国研究チームと低炭素化実現に向けたワークショップも立ち上げており、2007 年 2 月には「わが国で、2050 年までに主要な温室効果ガスである CO₂ を 70% 削減し、豊かで質の高い低炭素社会を構築することは可能である」との研究成果を発表した。2007 年 5 月には、首相が、「世界全体の温室効果ガス排出量を 2050 年までに半減 (現状比)」、「京都議定書で定められた日本の目標達成：オフィスや家庭を中心の対策を強化、1 kg/人・日の温室効果ガス削減 (国民運動)」を言明した。自治体においても、東京都の「カーボンマイナス東京 10 年プロジェクト」や京都市の「京都気候変動防止宣言」など、中長期ではあるが大幅な“温室効果ガスの削減目標”を掲げるところが出始めている。

しかし、これらの“目標値”は温暖化の抑制から必要だと考えられる数値であり、実現可能性が担保されているわけではない。目標実現へ向けての議論をみると、“現状の経済社会が連続的に変化”していくことを前提とした“個々の対策の積み上げ”により、低炭素化社会を実現しようとしているように思えるが、“今”現に生じている中国やインドの急激な経済成長を見ると、現状の延長線で社会が変化していくとは考えられない。わが国が“経済的”な持続可能性を維持していくためには、ビジネススタイルや社会システムを大きく変革しなければならないのは必然であり、このような連続的な変化に基づく予測や対策は、

とくに中長期的な対策を議論する場合において著しく妥当性を欠くのである。

加えて、京都議定書の削減目標 6%（1990 年比）の達成に窮している現状から明らかなように、個々の対策を大きな社会イノベーションに結びつけることは容易ではない。それは、i) 需要側のメインプレイヤーである市民技術（商品）選択とその活用方法が明らかでないこと（市民行動の不確実性）、ii) 個々の技術開発が、どのように相互作用しあい、新しい技術を生み出したり、あるいは、他の技術の必要性を低下させたりするかがわからないこと（技術開発の不確実性）、iii) 社会の“あるべき姿”をベースに、技術や社会面での今後の変化・発展予測をふまえ、技術開発・政策オプションを検討する方法論が存在しない、等の課題があるためである。

以上をふまえると、微視的な、“市民行動”や“技術開発の影響”をモデル化し、これら微視的な挙動と、巨視的・グローバルな社会変化との関係を科学的に明らかにすることは、中長期的に温室効果ガスの大幅な削減への貢献が求められるわが国にとって、また循環型社会のような持続可能社会を実現する上で、挑戦すべき重要な課題である。この課題を解決するためには、環境技術の開発と普及、市民の意識、政策、およびグローバル化によって、社会生活や環境負荷が時間とともにどのように変化していくかを、的確に、かつその社会像を具体的に表現する「持続可能社会シミュレータ」の実現が望まれる（図 1）



■既存の種々のビジョン、シナリオ、データ、個別シミュレータの集積に基づき、持続可能社会像を描く支援を行うシステム。

図 1：持続可能社会シミュレータのイメージ

1.1 持続可能社会シミュレータの要求機能と基本イメージ

個々の要素技術開発による対策（マイクロ視点）では、社会として求められる目標値（温室効果ガス削減量など）を、要素技術が「所望の特性を満たし」さらに「社会に受容される」ことを前提としている（図 2）。例えば、「燃料電池車が実用化され、社会全体にゆきわたれば」、「容量の大きな小型電池が開発され、プラグイン・ハイブリット車が主流にな

れば」などである。企業がこれらの技術を主要なビジネスにするか、あるいは市民がこれら技術を選択し適切に活用するか否かは、不透明である。また、石油価格高騰や他国のエネルギー戦略などグローバルなダイナミズムが、これら技術の普及に大きく影響する可能性もある。さらに、異分野の活動、例えば、コンパクトシティやSOHOの普及が、乗用車による移動を削減し、燃料電池車等が期待どおり普及したとしても、所望の削減効果を実現できない場合も考えられる。つまり、個別要素技術がソーシャル・ニーズに対してどのように影響するのか（図2の矢印に対応）が判断できないのである。技術プッシュ型の対応では、現在われわれが直面する社会的課題を効率的に解決できない。

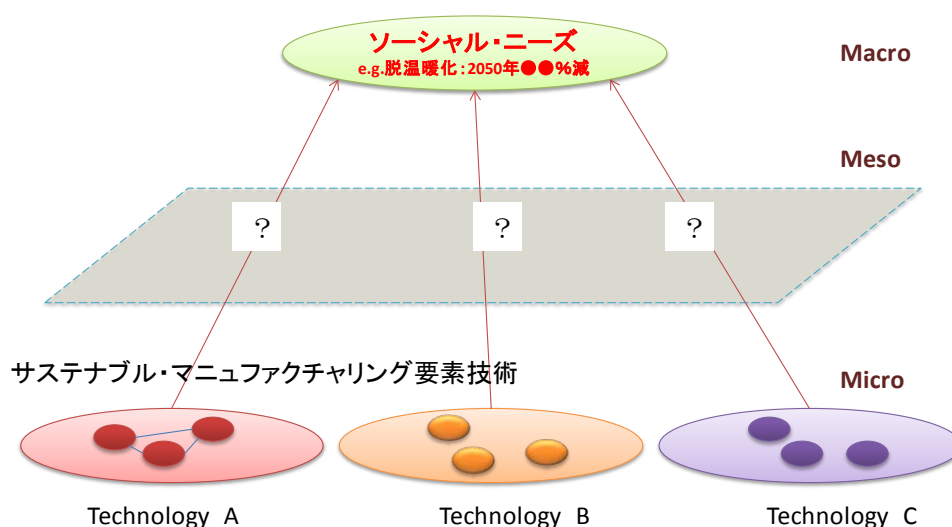


図2：社会ニーズに対するテクノロジープッシュ型の対応

一方、社会ニーズから、あるべき姿を描く対応には、マクロ的視点でのシミュレーション・シナリオの作成がある。IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change) のシナリオ、World Energy Outlook、わが国では国立環境研究所のAIM (Asia-Pacific Integrate Model) による低炭素化社会シナリオ等がその例である。これらのアプローチでは、問題が長期にわたり、また、地球環境という極めて大きな対象を持つだけに、図3に示すように、ソーシャル・ニーズを産業界や家計部門などの抽象化された Meso レベルに関連づけるのみで、個々の技術開発や消費者行動などの微視的挙動と Meso レベルとの因果関係を殆ど明らかにしてはいない。加えて、問題の過度の単純化、単純な線形的外挿、さまざまな暗黙的仮定、Meso レベル内での因果関係の軽視（例えば、産業構造と農業構造の変化を独立に評価するなど）、一般均衡モデル (CGM) のようなダイナミズムの欠如、市民生活や価値観の欠如、マクロ問題とマイクロ問題の不整合など様々な問題を抱えている。例えば、2050年わが国の温室効果ガスを1990年比80%削減の目標に対して、様々な前提をおき、目指すべき社会構造を提示することはできるが、その妥当性の判断は難しく、さらに、それら社会

を、どのような政策や技術普及により実現するかに対して、具体的な解を得ることはできないのである。

持続可能な社会（とそこにおける製造業）のあるべき姿を議論し、社会的な合意形成と世界に向けたコンセプトを発信するためには、これら既存のアプローチがもつ根本的な欠点を補うことが必要である。それらは、大きく以下の2つに分けられる（図.3）。本研究では、この二つを実現する方法論、および、これを実装したソフトウェアを「持続可能社会シミュレータ」と呼ぶ。

1) マクロとミクロの視点を整合する中間層（Meso レベル）の設計

新たな政策や技術開発が社会にどのように影響するか、技術が社会受容される条件とはなにか、など“社会のダイナミズム”を表現するためには、ミクロレベルからマクロレベルの全てのレベルを通じての因果関係や相互作用をモデル化することが必要である。しかし、ミクロレベルの技術開発活動や個人の消費行動およびそれらの相互作用や因果関係をモデル化するだけでは、如何なる要因が社会変化の主要因として振舞っているのかを理解することはできず、社会のあるべき姿に至るための産業・社会システム像、ライフスタイルのあり方などをイメージすることはできない。したがって、あるべき姿を実現するための産業・社会システム像を表現する Meso レベルを設定し、マクロレベルの目的を達成するために Meso レベルをどのように設計すればよいかを明らかにすることが不可欠である。

2) マクロ視点での様々なシミュレーション／シナリオの適切な活用

Meso レベルの産業・社会システム像を設計するためには、これらの目的を実現する解（たとえば、技術開発・政策オプションのセットなど）を導出する必要がある。それは、一般の設計問題と同様に論理的に導出出来るものではなく、演繹的推論を必要とする。この設計段階を支援するためには、「シナリオ」という形で様々なソーシャル・ニーズ（CO₂削減、貧困の撲滅など）に対する設計案を整理・収集し、それらを用いて what-if 分析を行うことで探索的に設計解を導出することが有効である。マクロ視点のシナリオは、それぞれの目的（エネルギー需要、温室効果ガス削減）にそって単純化され、作成されている。このため、主として文章として記述されているこれらシナリオを、そのまま利用することはできず、仮定、事実、因果関係、論理的飛躍関係などを用いて論理的に構造化し、様々なシナリオの比較、結合、分割、感度分析、what-if 分析などの演算を可能にし、実現方法の有効性を検証する仕組みを開発する必要がある。

i) Macro/Microとを整合するMesoレベルの設計方法
 ii) Macro視点のシミュレーション/シナリオの効果的活用

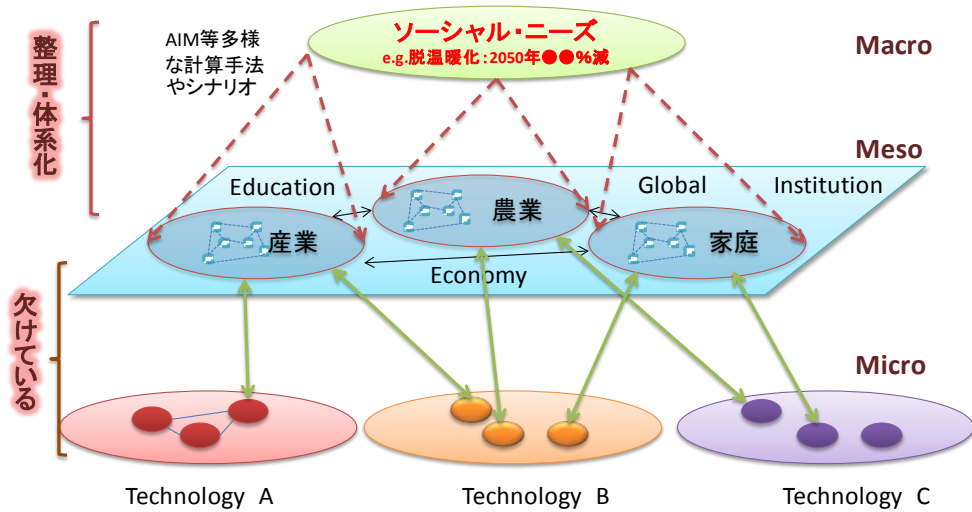


図3：従来アプローチの根本的問題

1.2 温暖化対策の技術選択（普及予測ツール）からみた Meso レベルの設計

家庭からのCO₂排出量削減対策を、「住まいそのもの」、「住まいの中」、および「住まいの外」の3つの視点から考える¹ (図4)。「住まいそのもの」の対策としては、高断熱住宅、高効率給湯器、太陽光発電システム、昨年度対象としたエアコン、および家庭用エネルギー管理システムがこれに相当する。これらの導入には、住居の形態が大きな影響を与える。「住まいの中」では、照明、暖房機器、冷蔵庫、テレビなどの電気製品類や厨房器具の省エネ製品の導入がその対策となる。「住まいの外」については、ハイブリット車などの低燃費車の選択がこれにあたる。

温暖化技術の選択では（普及予測）、消費者を一つの集団として考えたが、住居の形態を中心に消費者を分類することで、より妥当な予測が可能となると考える。それらは、戸建て/集合、持家/借家、世帯数、世帯人数、居住面積（土地を含む）、地域等のパラメータであり、これに年収を加えて消費者を分類する。高断熱住宅、高効率給湯器、太陽光発電システムなどの普及では、戸建て/集合、持家/借家、居住面積、地域、年収のパラメータにより、その最終的な普及台数が決定されるであろう²。省エネ家電の普及では、世帯数、世帯人数および年収を考慮する必要がある。例えば、単身世帯が増加すれば、省エネ化が進む300L以上冷蔵庫の需要は小さなものとなり、省エネタイプの小型の冷蔵庫の実現と

¹ 東京市町村自治調査会、省CO₂型社会の実現をめざして～多摩地域における生活からはじめる地球温暖化対策～、平成19年3月

² 平成19年度 地球温暖化問題対策調査委託費「温暖化対策の技術選択モデル及び関連政策に関する調査事業」報告書、平成20年3月31日、4.1節参照。

普及が温暖化対策の重要な鍵となる。住まいの外からの低燃費車の普及においては、地域や年収が普及に大きく影響している可能性がある。

戸建て/集合、持家/借家、世帯数、世帯人数、居住面積（土地を含む）、地域および年収に関する長期的見通しと、これらのパラメータでカテゴライズした各消費者の選好データベースが、消費者選好モデルの基礎となろう。

技術開発の視点からは、技術ロードマップ³に記載された家庭からのCO₂排出削減に資する技術を選択し、「住まいそのもの」、「住まいの中」および「住まいの外」に分類する。これにより各分類の中での、“技術の競合⁴”が明らかとなる。さらに各技術が目指している実用化時期やその普及数を、前述の消費者選好のデータベースや、本調査研究で開発した普及予測ツールにより精査し、修正する。

以上の消費者選好モデルと技術開発ロードマップとの2つを融合することで、超長期的目標達成のための支援ツールの一部となる“消費者選好を中心とした”温暖化対策技術の技術選択モデルのプロトタイプは完成する。ただし、消費者の環境意識の変化が、これら選択にどのような影響を与えるかは、課題として残る。環境意識の消費者選択に与える影響のモデル化が重要となろう。

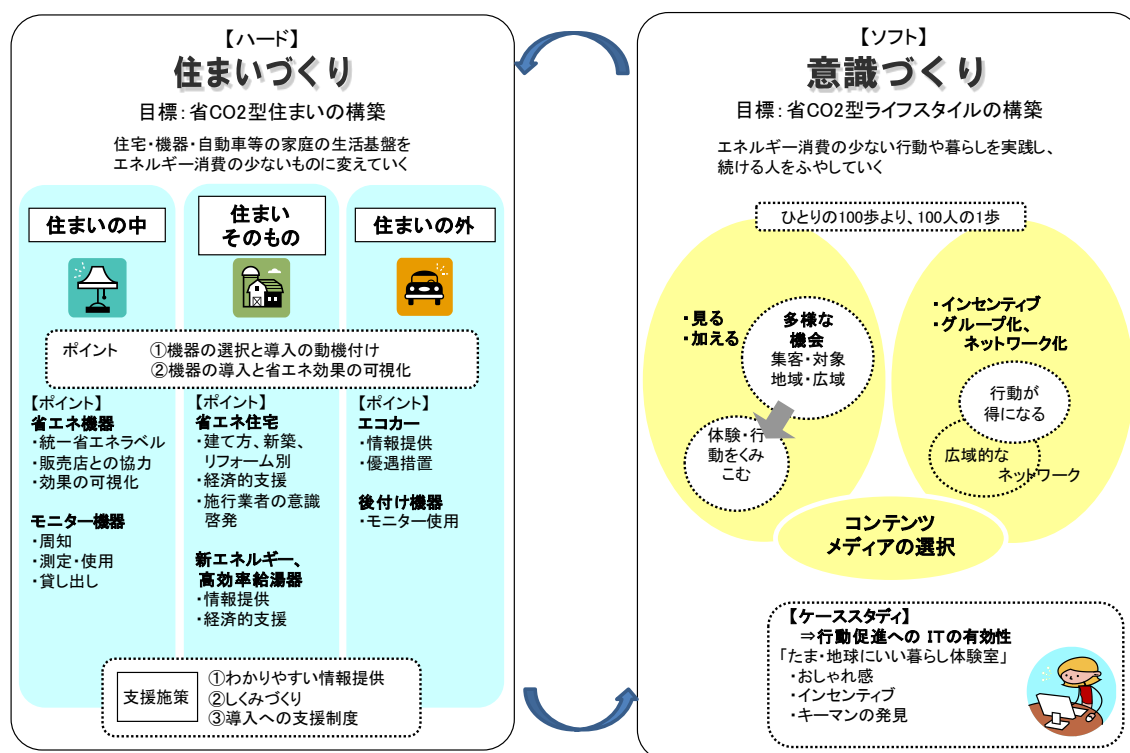


図4：家庭からの温暖化対策の体系

³ <http://www.nedo.go.jp/nenryo/gijutsu/pefc.pdf>

⁴ 異分野の技術開発が、同じ効用を目指していて、両立しないもの。

2. 業界団体ヒアリング

持続可能社会構築に大きく寄与すると思われる給湯器、電球型蛍光灯など、主要な環境に配慮した工業製品の動向、将来見通しなどにつき、業界団体のヒアリングを行い、持続可能社会シミュレータのモデル作りに有用な素材を収集した。

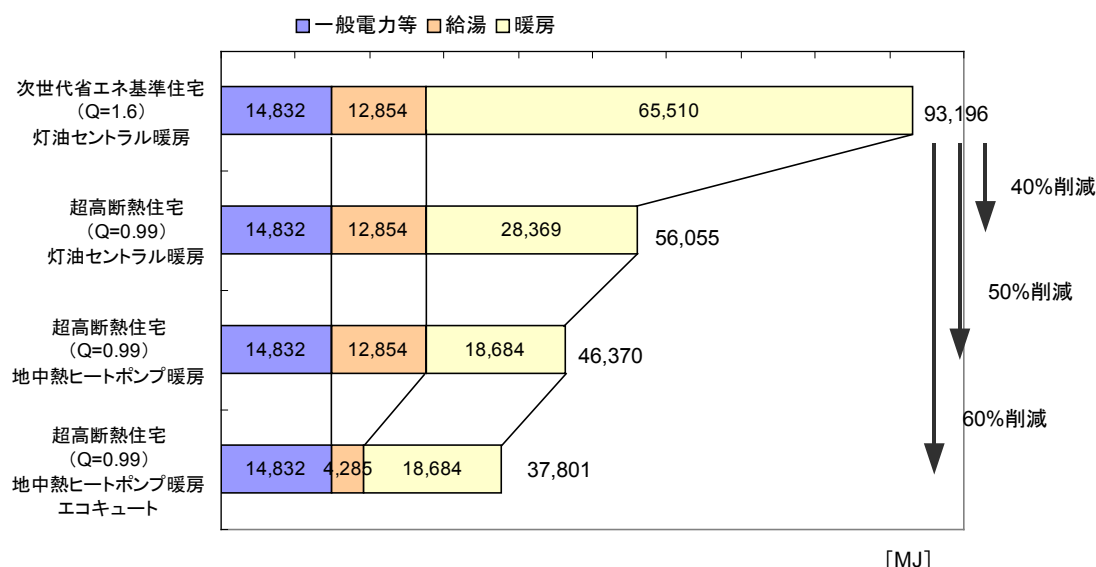
以下に、省エネ住宅、家庭用冷蔵庫、電球型蛍光灯、太陽光発電、高効率給湯器（電気式）、高効率給湯器（ガス式）についてそれぞれの業界団体にヒアリングした内容を掲載する。

省エネ住宅に関するヒアリング（１）

日時	2008年1月7日（月）13:00～14:45
提供資料	[1] 超高断熱・高効率設備の総合評価 [2] 住宅の長寿命化、長期耐用住宅に関する資料 [3] 住宅・建築物「省CO ₂ 推進モデル事業」の創設に関する資料 [4] JPA ニュース 国土交通省建築着工統計

■ 住宅の省エネ

- 住宅のエネルギー消費は、京都議定書の基準（1990年）から3割くらい増加している。これは電化製品やパソコンの普及などによる。給湯で1/3、電気機器の使用で1/3、暖房・炊事で1/3である。
- 北海道の超高断熱住宅の総合評価は以下のとおりである（モデルプラン 149.78 m²）。



- Q 値：m²あたりの熱透過量で、小さいほど断熱性が高い。
- 北海道：暖房のエネルギーが占める割合が大きいため、断熱による省エネ効果が大きい。
- 本州：北海道に比べてもともと暖房費用が小さいため、断熱、暖房のヒートポンプ化の効果よりも、給湯へのエコキュートなどの導入効果が大きいと考えられる。
- 光熱費ゼロ住宅
 - 高断熱、ヒートポンプ、エコキュートに、さらに太陽光発電装置を入れると、一般電力による光熱費を削減できる。光熱費をゼロにするには、140 m² クラスで 5 kW の太陽光発電装置が必要である。
- エアコンは家庭のエネルギー消費の 8% 程度である。暖房のほうが影響が大きく、25%～50%。断熱工事や二重サッシは断熱性を上げ、冷暖房費を下げる効果はあるが、500 万円使うならソーラーのほうが総合的には省エネ効果が得られるだろう。
- 次世代省エネ基準の Q 値は 1.6 で、ほぼ達成されている。

- 公庫の補助を受けるには Q 値 1.6 を達成していなくてはならない。
- 明るさを確保するために開口部が大きくなると、Q 値が大きくなる。ペアガラスを使わなくても壁の断熱を上げるなどで Q 値が確保できればよい。
- ペアガラスも大きな窓にのみ使う、全体で使うなどの方法がある。使用率も商品タイプによって異なる。
- 北海道などで Q 値が 1 に近いものも商品化されつつある。Q 値を 1.6 から 0.99 にするには断熱材を倍の厚さにする。500 万円程度かかるだろう。寒冷地だけでなく、暑いところでも断熱による省エネ効果がある可能性がある。
- 集合住宅では Q 値 1.6 を満たしていないのではないか。
- 太陽光発電の普及率
 - セキスイハイムでは新築で 60%普及している（12,000 棟のうち 7,000 棟程度）。積水ハウスでは 8%、パナホームでは 12%である。
 - セキスイハイムは屋根がフラットで大きな太陽光発電システムを載せることができると、建物の価格が他社よりも低く抑えており、それをセールスポイントにしているためにお普及率が高い。（セキスイハイムは太陽光発電を含んだ住宅の平均価格が他社の住宅だけの平均価格とほぼ同じレベルにある）。
 - 太陽光発電システムの価格は 1 kW あたり 100 万円程度であり、建て替えの際に 300 万円から 500 万円の上積みが必要になるのは厳しい。4 人家族、140 m² では 5 kW で売電・買電含めて光熱費をゼロにできる。
 - 住宅の価格は 3,000 万円くらい（平均売上単価）。（→ タマホームなどでは 1,800 万円くらいの住宅もあるが、これは工業化住宅とは異なる。）
- ヒートポンプの価格は、ガスボイラの価格が 30 万円であるのに対し、60～70 万円ではほぼ倍になる。
- 断熱材は以前より厚くなっている。
 - 壁：50 mm → 70～80 mm → 100 mm
 - 屋根：70 mm → 80 mm → 120～150 mm
- 断熱性能については、鉄筋コンクリートのマンションがよいが、コンクリートが蓄熱し、その輻射熱があるため、暖房よりも冷房でエネルギーを使う。戸建とマンションでエネルギーの構成が異なるだろう。

■ 住宅着工に関する統計

- 国土交通省から「住宅着工統計」が公開されている。
→ <http://www.mlit.go.jp/toukeijouhou/chojou/kencha.htm>
- 今年度の着工件数（マンション、集合住宅含む）は 108 万戸であり、着工件数は落ちている。最終的に 100 万戸を割り込む可能性がある。うち、戸建は 30 万～36 万戸だろう。
- 全着工新設住宅に占めるプレハブ住宅の割合は 12.5% [H17 年度]、12.4% [H18 年度] である（戸数）。
- 統計が「戸数」であることに注意。アパートなどでは 1 棟あたり複数の戸数がある。プレハブでも集合住宅がある。

- 統計中、給与住宅は官舎や社宅、分譲住宅はモデルハウスなどで土地と建物を売るもの、貸家はアパートである。
- 貸家の方が省エネ基準を満たしていないことが多い。
- 各社の規模はおおよそ以下とおりである。
 - 積水ハウス：2万棟
 - セキスイハイム（積水化学の商品名）：1.1万棟
 - ダイワハウス：1.1万棟
 - ミサワホーム：1.1万棟
 - 旭化成：7,000棟
 - パナホーム：5,000～6,000棟
 - トヨタホーム：6,000棟

■ 200年住宅

- 200年住宅の推進が図られている。
- 長寿命化にかかる費用（アップ分）の2/3を国費（135億円）から助成する。オープンにする必要がある。
- 税制改正に対する要望も出されている。長期耐用住宅では不動産取得税、固定資産税を有利にする。
- メーカー、業者が長く保証できるとは限らないので、国で200年住宅の認定基準を作っていく。200年住宅の対象は工業化住宅に限定されるものではない。

■ 省エネ改修促進税制

- 既存住宅に対し、省エネ改修のための特例措置を創設する。
- 窓の改修、床の断熱工事、天井の断熱工事、壁の断熱工事が対象になる。

■ 住宅・建築物「省CO₂推進モデル事業」

- 平成20年度に予算化される。
- 設計事務所などが申請して、モデル住宅を作る際に1/2の補助が出る。成果をオープンにする必要はある（見学の受け入れ等）。

■ リフォーム

- 長期耐用住宅の整備の促進のための認定については、「長期耐用住宅の建築・維持保全をしようとする者」が対象になる。維持・保全、改修（リフォーム）にも参加資格を持たせた。
- 住宅は5,200万～5,500万戸あり、世帯数4,700万戸であるため、空き家もある。
- リフォームの件数は統計データがない。リフォーム専門業者はないだろう。大手メーカーはリフォームの子会社を持ち、囲い込みをしようとしている。自社で建てた住宅の90%のリフォームを請け負うが、ストックの50%は他のメーカーに流れている。
- 工業化住宅が一番古いものでもまだ50年経っておらず、初期のものはメーカーの囲い込みの対象の中に入っていない。くらいである。200年持つかどうかは実績がない。

- リフォームでの省エネの追加
 - 太陽光発電：リフォームで3,000棟/年導入されている
 - ヒートポンプ給湯器：ボイラの交換の際に推薦している。
 - 断熱リフォーム：壁や天井・屋根をはずす必要があり、新築よりはかからないがリーズナブルな価格で提供できない。また、改善効果をユーザーに示しにくいために断熱リフォームを薦めにくい。エネルギー設計の個別リフォームができるようになれば、補助金を使って取り組みやすいだろう。
- 冷暖房の期間が限定されており、断熱によるランニングコスト削減とリフォームの費用を比べたときにメリットが出ない。
- 二重サッシへの改修が補助金で認められれば導入が進み、効果があるかもしれない。
- 断熱材はきっちり詰めること、気密性を上げることが重要である。

■ 業界団体

- 社団法人 住宅生産団体連合会（住団連）が上位団体であり、住団連は社団法人 プレハブ建築協会、社団法人 日本木造住宅産業協会、社団法人 日本ツーバイフォー建築協会（ミツイホームが会長、年間3,000棟くらい）などが構成団体となっている。住団連では詳細な状況はつかめていないのではないかな。
- 大工さん、職人さんの労働者組合のようなところもある。
- 工務店系の情報はつかめない。
- リフォームについてはリフォーム推進協議会、ベターリビングなどがある。

■ 太陽光発電の導入の促進

- 安くなってきているが、回収に7年～8年かかる。もう少し補助があってもよいかもしれない。
- 200～300万円のローンを組んで、月2～3万円の電気代の代わりにローンの返済を行うと考えると、8年後からは電気代がかからない分、全てプラスになるという案内をして導入を薦めている。
- 税制控除、補助金、補助金＋ローンなどの組合せで導入が進むのではないかな。

■ その他

- 国土交通省が長寿命や省エネ住宅に対して補助をつけるのは初めてだろう。
- 経済産業省が補助をすれば、部品、機械が対象になるだろう。エコキュート、ソーラー発電は経済産業省になる。（国土交通省は建物を対象に補助する。）
- 日照時間や冷暖房などの違いがあるので、住宅の評価については地域ごとの特性を考慮する必要がある。
- タマホームのような木造でありながら設計のコンピュータ化、工場での加工など、工業化住宅のようにする工法で建てるところもある。増えてきている。工務店はそういったところの傘下に入っているところもあるのではないかな。

(以上)

省エネ住宅に関するヒアリング(2)

日時	2008年1月23日(木) 16:30~17:50
提供資料	

■ 戸数の統計、シェア

- 戸建の建築は 50 万戸（アパート含む、マンション別）
 - 持ち家より賃貸のほうが戸数が多い。賃貸はプレハブが多い。
 - 木住協（木造建築）では戸建比率が高い。
- 建築タイプ別
 - 2×4 年間 9.5～10 万戸
 - プレハブ 大手メーカーのため、正確な統計データを取ることができる
 - 木造 大きくても年間数千棟～1 万棟のメーカーで、3～4 棟の工務店も多い。
統計データはつかみにくい
- 建築工法タイプ別のシェアの比率（戸建、アパート含む）
 - 2×4 8%前後
 - プレハブ 17～18%
- 今後のプレハブ住宅の普及率の推移の予測
 - 2020 年に 80 万戸（うち戸建は 35～40 万戸）と予想されている。
 - 世襲される工務店が減っていること、プレハブメーカーが地方へ進出していることから、プレハブが増えるのではないかと考えられるが、一方で、地方で勢力のあるビルダー（木造）も出てきているため、どちらが増えるか読めない。
 - 技術力・営業力が低い工務店は淘汰されていくだろう。地方で有名なビルダー、技術力のあるところが残っていくだろう。
- 住宅着工数は減少する傾向である。

■ 広さ、価格

- プレハブ住宅の戸建は、平均 40 坪で 2,400～3,000 万円（cf. タマホームなどでは 1,800 万円）
- 木造の広さ、坪単価
 - 大きなものから小さなものまで様々であるが、正規分布している。
 - 平均で 45～50 万円/坪（下限は 35 万円）
 - 大手では 55～60 万円/坪。品質も安定している。
 - プレハブ住宅が一般的な木造住宅よりも価格が高い理由としては、経費率、クオリティ、保証などがある。

■ 性能

- プレハブ住宅が売れる理由としては以下のようなものがあるだろう。
 - 大手メーカーとしての信用力

- 設計面での制約もあるが、認定を受けているなど品質が安定している。
- 施主の中には、工務店と付き合うよりも企業に依頼してドライに進めたいと考える人もいる。
- 性能面ではプレハブでも木造でもきちんと作れば違いはないが、木造では工務店次第という面があり、差が出やすい。(耐震性能や寿命は木造が劣るというわけではない。木造でもよいものは建てられる。)
- 次世代省エネ基準の達成
 - 木造住宅でも次世代省エネ基準をクリアすることはできる。
 - 次世代省エネ基準には強制力はない。断熱・気密性能をどれだけ達成するかはメーカー、設計者、施主の考え方による。一品生産的な住宅(商品企画に基づいた標準仕様が無い住宅)は、施主とのやり取りでどちらにも振れやすい。
 - 新省エネ基準と比べて、次世代省エネ基準を達成するには4~5万円/坪のコストがかかる。(断熱性、気密性など)
- 次世代省エネ基準をプレハブ住宅では80%達成しているが、着工戸数全体での達成率は低い(住宅性能表示制度の設計性能評価を受けた中で30%)。
 - 性能表示制度：設計審査を受けなくてはならない。審査を受けるために10万円くらいかかる。意識の高い住宅生産者・施主のみ受けている状況だろう。
- 施主が住宅を選ぶ判断のパラメータとしては、断熱性、耐震性、デザイン、保証、コストである。(注：この記載順番は優先度順ではない)
- 一般的には戸建よりもマンションのほうが断熱性、気密性が高い。

■ 省エネ(太陽光発電)

- 太陽光発電は導入に数百万円かかるためエコキュートやエコジョーズほど導入が増えているわけではないが、徐々に増加している。(圧倒的にエコキュート、エコジョーズの導入が多い。)
- 太陽光発電の導入、次世代省エネ基準の達成はプレハブのほうが圧倒的に多い。
- 太陽光発電は入れたい人は最初からプレハブを選択する傾向がある。太陽光発電の普及率はプレハブで1割未満と思われる。(プレハブのシェアは戸建の18~20%で推移している。)
- 木造+太陽光発電も増加すると思われる。燃料電池の普及もあるだろう。

■ 省エネ(エコキュート)

- エコキュートの導入では、プレハブ、木造で差はない。着工棟数に比例すると考えてよいだろう。
- エコキュートの普及率がエコジョーズに比べて高いのは、オール電化等の料金割引も影響しているだろう。

■ 省エネ住宅の普及のための方策

- 今後は省エネ住宅の普及に関し、法規制もかかってくるのではないかと。
- 省エネ住宅の定義も明確にする必要がある。
 - 次世代省エネ基準は建物のみ基準であり、設備機器を含んでいない。建物、設備機器を

合わせて総合的に判断する基準となっていくと思われる。

- 日本は地域差がある。
 - 北：断熱性が高いほうがよい
 - 南：日射の遮蔽の効果が大きい
 - 東京～大阪：次世代省エネ基準を達成すればよい（ボリュームゾーンはこの地域である）
- 次世代省エネ基準は、現在は自主的取組であるが、報告義務が課されるようになると普及が進むだろう。建築基準法の確認申請も環境関連の項目を取り込むのは難しいようだ。
 - 確認申請では耐震性など公共性に影響するものがチェックされる。
 - 省エネ基準を入れると、数寄屋、茶室など、省エネ基準を満たせない建築物が建てられ
 - なくなるものが出てくる可能性がある。
- 補助金：小型の補助金は事務コストがかかりすぎる。2,000 m²以上などの条件をつけると集合住宅になる。
- 省エネ住宅の普及・促進は、CO₂削減にも効果があるが、より快適で、健康的な生活にもつながる。
 - 断熱性、気密性が高い → 結露を防げる → カビの発生↓、住宅寿命↑
 - 省エネ住宅には初期コストはかかる（4～5 万円/坪コストアップする）が、消費エネルギーが減るので、20～30 年でペイするので、快適な生活ができるほうがトータルでプラスである。
 - 省エネ住宅のためのコストアップ分はローン減税が有効だろう。
 - 省エネ改修促進税制（断熱改修で 20 万円）は金額が小さく、インセンティブとして弱いのではないか。
- 省エネ住宅の普及は間違いないと思われる。断熱性、気密性がよく、快適性は圧倒的に良い。

■ リフォーム

- 小規模なリフォームは、確認申請が不要なため、統計データが得られない。
- リフォームの範囲、定義も明確には定まっていない。クロスの張り替えのみというのものもあるし、大がかりな改修もあり、さまざまである。
- 断熱性能向上のための改修はほとんどない。リフォームの目的は台所や浴室が老朽化で支障が出てきたからというものが多い。防犯のための改修もほとんどないだろう。
- 新築の市場 20 兆円/年に対し、リフォームの市場は 6 兆円/年（推測値）である。
 - リフォームの絶対数はプレハブよりも木造のほうが大きい。ただ、業者がさまざまであり、比率は正確にはつかめていない。
 - プレハブメーカーが関与するリフォームはある程度つかめる可能性はある。プレハブ住宅はクローズド工法であり、建てたメーカーにリフォームも依頼するケースが多い。
- 省エネに加えて住宅の長寿命化を推進しており、将来は新築よりもリフォームの割合が大きくなるだろう。
- 長寿命住宅としてスケルトン、インフィルのコンセプトがある。
 - 建築を構造体（スケルトン）部分と内装・設備（インフィル）に分ける。
 - プレハブ：これから取り組む。

- 2×4：外壁廻りだけで耐震基準を満たせば S&I は、可能だろう。(枠組み壁工法、オープン工法)

■ 統計データについて

- 住宅産業新聞社の「住宅経済データ集」から使うのがよい。
- マンションについては社団法人新都市ハウジング協会 (<http://www.anuht.or.jp/>) が取りまとめている。環境・CO₂ 関連は住団連がマンションも統括しているが、住団連は主として戸建を扱っており、マンション関係は社団法人新都市ハウジング協会に問い合わせをして欲しい。

(以上)

家庭用冷蔵庫の省エネ対策に関するヒアリング

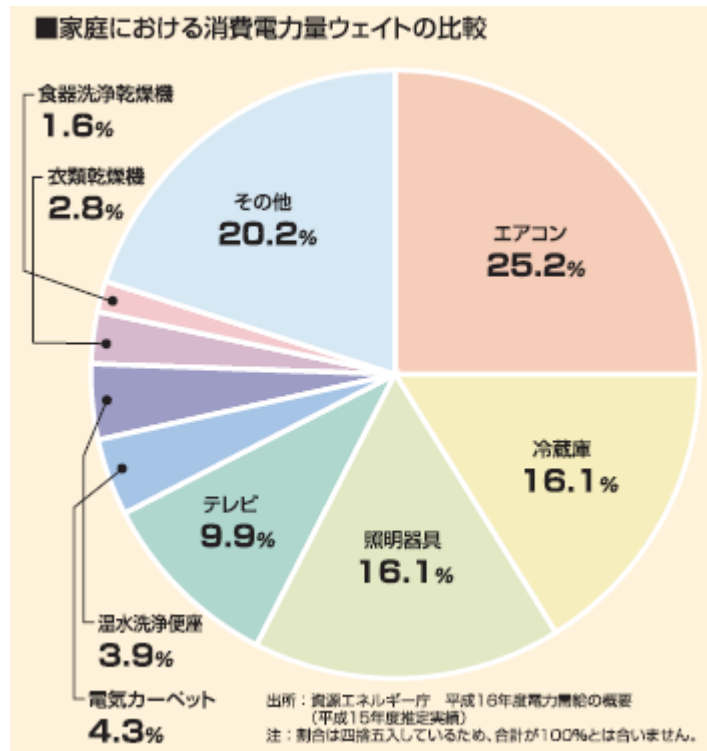
日時	2007年12月27日(木) 16:00~17:30
提供資料	[1] 民生家庭部門における地球温暖化防止 家庭部門の省エネ促進に向けた提案 (2006年12月26日、電機・電子温暖化対策連絡会) [2] 電機・電子業界における地球温暖化対策の取組み 自主行動計画 進捗報告 (2007年10月17日、電機・電子温暖化対策連絡会) [3] エアコン・冷蔵庫等の政策的置換え [4] 2010年までの白物家電の世界需要予測 (ニュースリリース) (2007年12月13日、社団法人 日本電機工業会) http://www.jema-net.or.jp/Japanese/news/pdf/yosoku.pdf 冷蔵庫に関するデータ [5] 省エネ性能カタログ 2007年冬版

■ 冷蔵庫のサイズの区分

- 一般的に冷蔵庫の場合、小型(～200リットル)、中型(200～400リットル)、大型(400リットル)で分けており、大型が主力帯となっている。

■ 冷蔵庫の電力消費

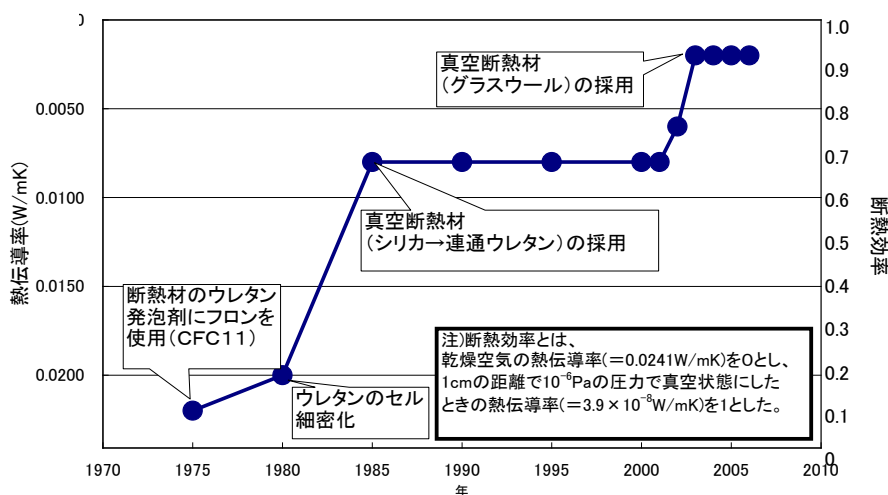
- 冷蔵庫は家庭の電力消費量の大きな割合を占める。
 - かつては冷蔵庫が家庭の電力消費量の1/4～1/3を占めていた。
 - 最近では冷蔵庫の占める割合は、ECCJの省エネカタログやインベントリオフィスのデータでは、16.1%となっている。(エアコン、冷蔵庫、照明が大きな割合を占めている。)



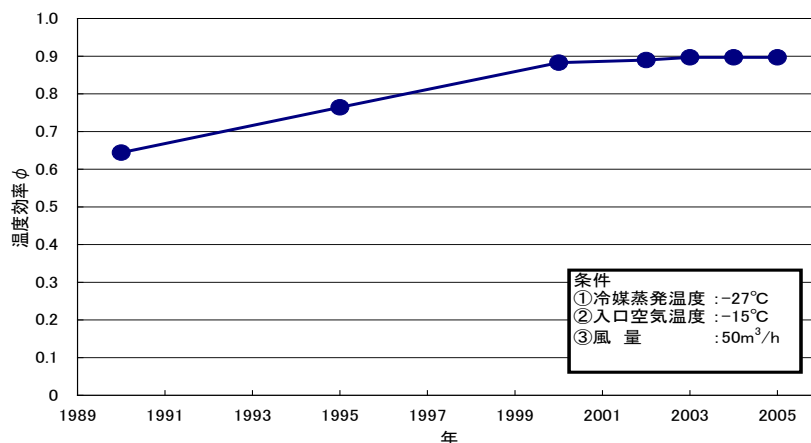
((財) 省エネルギーセンター 省エネ性能カタログ (家電製品) 2007年12月版 4ページより)

■ 冷蔵庫の省エネ技術

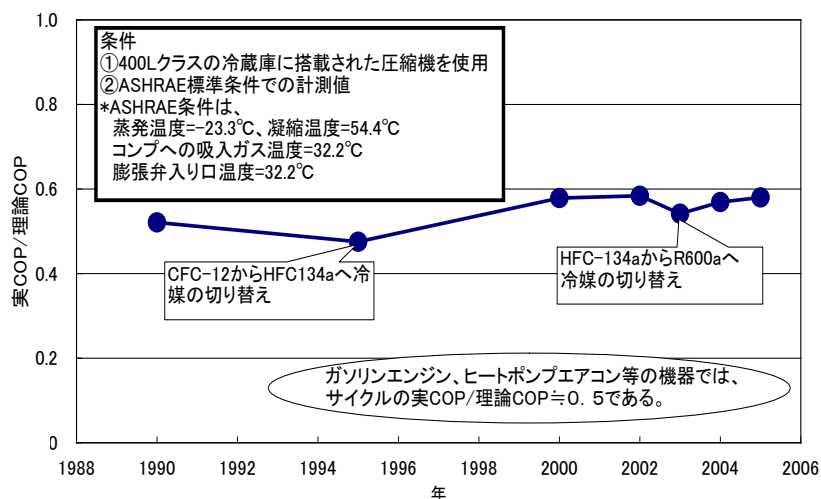
- 省エネ技術としては、制御技術（インバータ制御の導入）、冷熱サイクルの効率、断熱効率（真空断熱パネルの導入）がある。
- これらの現在の技術（効率改善）による省エネ効果は頭打ちになりつつある。(以下の図は2006年12月26日開催の中央環境審議会地球環境部会・産業構造審議会環境部会地球環境小委員会合同会合（第5回）産業構造審議会・総合資源エネルギー調査会 自主行動計画フォローアップ合同小委員会 第6回流通ワーキンググループ 合同会議 資料1 電機・電子温暖化対策連絡会資料「民生家庭部門における地球温暖化防止」(2-5 今後の省エネ製品開発に向けての課題①)より)



<断熱材>



<熱交換器>



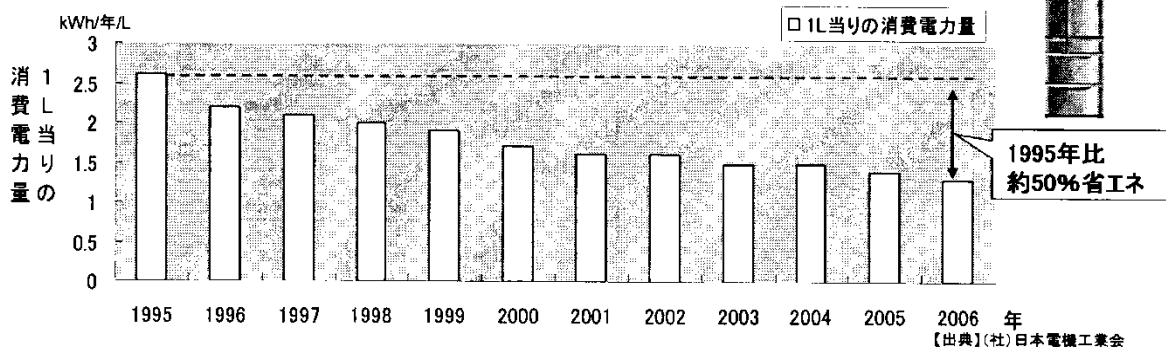
<圧縮機>

- 各社が主力商品として販売している機種（450リットルクラス）に対して、最高の省エネ技術を導入している。
 - インバータ制御は300リットル以上の機種に導入されている。
 - 断熱パネルは400リットル以上の機種に導入されている。
- 冷蔵庫は、1998年に、省エネ法の指定機器となり、第一次省エネ基準達成の目標年度である2004年度に向け、省エネ対策がなされてきた。更に現在は、第二次省エネ目標達成年度である2010年の省エネ目標値に向けて省エネ改善を進めているが、今後、省エネ基準達成のグリーンマークのものが増えていくはずである。

■ 省エネによるCO₂削減効果のトレンド

- 家電製品に関する省エネによるCO₂削減効果のトレンドのデータとして公開されているものは[2]のp.21~p.22しかない。

■家庭用冷蔵庫の1L当りの消費電力量推移 1L当りの消費電力量推移は、400Lクラス冷凍冷蔵庫の例



- 冷蔵庫の消費電力量低減の改善は年々進んではいるが、2005年5月から、冷蔵庫の年間消費電力量試験方法を変えたので、それ以前の製品の消費電力量との数値的なトレンドを示すのが難しい状態にある。

- 野菜室がつくようになり、野菜室が冷えすぎないようにヒーターで温めるような形態や機能の変化もあり、従来のJISのエネルギー消費量の測定方法による表示と、実際の使用時のエネルギー消費とがずれるようになった。
- コンプレッサの位置変更により、コンプレッサの熱影響防止による高性能の工夫等もされている。各社カタログを見ればよく分かる。
- 2003年から消費電力量測定法の規格を見直し、2006年5月にJIS C 9801が改正された。これにより、実際の使用条件での消費電力に近い値が得られるようになった。

(新規格の特徴)

- 冷蔵庫の形態や構造の違いを反映
- 周囲温度を25°Cのみから15°C、30°Cに振る
- 扉の開閉の増加と投入負荷を追加
- 壁との距離を30 cmから5 cmに変更

- 大型のものでは新旧の測定方法で最大で4倍程度の違いがあり、機種によりその程度の違いがあり、一律に10年前の製品との消費電力量比較ができない。
- 過去の製品(代表機種のみ、各社1台ずつ)の性能データから、追加負荷や設置条件などを考慮して、現在の測定方法でどのくらいの値になるかを推定し、平均して業界としてのトレンドを把握しようとしている。
- 400リットル以上の機種(5年位前の製品)について、市場から引き上げ、現在の規格で測定し、推定値を検証する。小型、中型のものに対しても行う。
- 450リットル以上の製品については、現在トレンドを検討しており、現時点でのデータはない。
- 省エネのトレンドはサイズによって異なる。300リットルで分けて分けして設定するのがよいのではないか。

<その他の参考資料>

産業構造審議会環境部会廃棄物・リサイクル小委員会基本政策ワーキンググループ(第3回)(平成19年4月5日)配布資料

■ 小型冷蔵庫について

- 小型冷蔵庫のシェアは 40%程度ある。
- 小型冷蔵庫は売価が低すぎるため、大型の主力製品のような省エネ技術の導入は難しいが、コンプレッサや制御に関してもベースの技術がレベルアップしており、10 年前に比べると性能はよくなっている。
- 小型冷蔵庫への省エネ技術の導入については、価格がネックである。断熱パネルを入れれば省エネ効果があることはわかっているが、断熱パネルを入れることで、コストアップとなり、販売価格が高くなると海外メーカーの製品との価格競争力がなくなる。
- 大型では新旧の測定方法で 3 倍から 4 倍の違いがあるが、小型冷蔵庫でも 2 倍程度の違いが出るかもしれない。
- コンプレッサは小型のものはもともと大型のものに比べて効率が悪い。コスト的にもコンプレッサの製品価格に占める割合も大きく、小型冷蔵庫で高性能のコンプレッサを入れることは難しい。

■ 普及・販売

- 普及予測については予測専門委員会で議論している。

日本国内の動向（資料 [4] より）

2006 年実績：買替需要が伸び悩み、前年比 96.9%の 425 万台となった。

2007 年～2010 年予測：普及率が高く、買替需要を中心にほぼ横ばいで推移すると見込み、2010 年の需要は 425 万台と予測した。

- 冷蔵庫では、日本で生産して海外へ輸出するものはほとんどない。
- 海外の販売は、海外で現地仕様で生産して海外で販売するもののみ。国内では主力の高付加価値製品を生産する。
- 世界市場で見ると、日本メーカーのシェアは小さく、日本メーカー全部あわせて 10%程度である。

■ 製品の寿命、買替サイクル

- 徐々に長期化しているようであるが、10 年から 11 年と見るのが妥当であろう。（調査データの出典は公表可能である。）
 - 家電リサイクルプラントに戻ってきたものの製造年度調査（ビンテージ調査と呼んでいる）によれば 14 年程度となっているが、内閣府の消費動向調査や家電製品協会の従来からの調査では、10～11 年となっている。
 - 商品のカテゴリによってもサイクルが異なる。小型のものは入れ替わりが早い、リユースもされているだろう。カテゴリ別の調査が必要である。
- 家電リサイクル法の施行前に購入された製品の買替もそろそろ増えてくるだろう。

■ 省エネ促進のためのシナリオ、政策

- 2006年12月26日の国の審議会では、新しい省エネ製品に買い換えたことによるCO₂低減量を、国がCO₂排出低減量として買い上げる制度なども業界から提案した。省エネ性能の良い製品に買い換えて頂くためには、消費者に直接インセンティブを与える政策措置が必要であると提案してきたが、まだ制度として実現はしていない。シミュレーションでこうした観点を入れて評価してみたい。
- LCA的な観点からすれば、使用時のエネルギー消費量が95%以上であり、省エネにより電気代がお得になることを実体験し、イニシャルコスト、ランニングコストについて考えてもらえば、省エネ製品の普及が更に進むのではないだろうか。
- 長期的には環境家計簿や教育などを進めていくのがよいのではないかと。

(以上)

電球形蛍光ランプに関するヒアリング

日時	2008年1月16日(水) 10:00~11:45
提供資料	<p>[1] 照明における省エネ提案(社団法人 日本電球工業会、2006年12月)、冊子</p> <p>[2] 人工光源の省エネ施策の提案(社団法人 日本電球工業会、2007年)、Power Point 資料</p> <p>[3] あかりの省エネ(社団法人 日本電球工業会、2007年3月)、一般配布用小冊子</p> <p>[4] 電球工業会のプロモーションに関する資料、Power Point (英語)</p> <p>[5] ロンドンの白熱電球と電球形蛍光ランプの交換のニュース</p>

- 照明に関連する工業会として、(社)日本電球工業会(JELMA、<http://www.jelma.or.jp/>)と(社)日本照明器具工業会(JLA、<http://www.jlassn.or.jp/>)がある。
- 電球の口金にはE26とE17などがある。
 - E26の6~7割は家庭用であり、E17では家庭用の割合はもう少し少ないと推測される。
 - E17はミニクリプトン電球用で、口金径が小さく、この口金を備えた電球形蛍光ランプは一部商品化されているが、まだランプサイズが大きく使用できる器具は限られている。
 - ミニクリプトン電球はシャンデリアや小型のダウンライトで用いられており、年間4,000万~5,000万個製造されている。60W相当(54W)が多い。他に40W相当、75W相当などがある。
- 電球形蛍光ランプについて
 - 色の再現性や点光源性は白熱電球にまだ及ばない。
 - 以前は白熱電球に比較し大きく重く、立ち上がりが遅い、点滅に弱いという欠点があったが、最近では改善されてきており、更にコンパクト化、高効率化も進んでいる。
 - 以前はトイレなど点滅を繰り返す場所で使用すると寿命が短くなり、実用性に劣る場合があったが、最近では改善され実用性も向上している。
 - 定格寿命は6,000時間だが、最近では、定格寿命10,000時間のものへの移行も進んでいる。

■ ランプの分類と用途

	ランプの仲間	主用途	長所	短所
蛍光ランプ	<p>環形蛍光ランプ 直管形蛍光ランプ 電球形蛍光ランプ 高気圧点灯専用二重環形蛍光ランプ コンパクト形蛍光ランプ 高気圧点灯専用環形蛍光ランプ</p>	住宅 事務所 工場 商業施設	寿命が長い (3,000~12,000時間) 効率が高い (電球に対する明るさが多い) さまざまな光色が作れる	寒さに弱い
白熱・ハロゲン電球	<p>一般照明用電球 ボール電球 反射鏡付ハロゲン電球 シャンデリア電球 ハロゲン電球 反射形電球</p>	住宅 商業施設 アミューズメント施設	安価で使いやすい 光の方向をいろいろ変化できる 色の見え方が良い やすらぎ感が強い	寿命が短い (1,000時間~2,000時間) 効率が低い 熱が多くなる
HIDランプ	<p>一般水銀ランプ セラミックメタルハライドランプ メタルハライドランプ パラストレス水銀ランプ 低圧ナトリウムランプ 反射形高圧ナトリウムランプ 高圧ナトリウムランプ 両口壺形メタルハライドランプ</p>	スポーツ施設 道路・トンネル 商業施設	寿命が長い (6,000~12,000時間) 効率が高い 小さくて明るいものもある (電球と同じくらいで数倍の明るさ)	高価 すぐ明るくならない (約10分)

図1：ランプの用途と種類

ランプの種類	用途	比率の推計方法
(蛍光ランプ)		
環形蛍光ランプ	ほぼ家庭用のみ	
直管形蛍光ランプ (大：40W~)	ほぼ業務用のみ	
直管形蛍光ランプ (小：~20W)	家庭用・業務用 (家庭用が約70%)	器具出荷比率から
コンパクト形蛍光ランプ	ほとんどが業務用	販売ルートから
電球形蛍光ランプ	家庭用・業務用 (家庭用が約75%)	販売ルートから
(白熱・ハロゲン電球)		
一般照明用電球、ボール電球	家庭用・業務用 (家庭用が約70%)	販売ルートから
他	ほぼ業務用のみ	
(HIDランプ)	業務用のみ	

- 家庭用・業務用の比率は統計データがあるわけではない。ランプは照明器具の部品であるため、用途を追跡することは困難である。ランプの種類によっては家庭用、業務用が明確に区分されるものもある。
- JELMAでも家庭用のシミュレーションのため、器具の出荷数量比率からの推定を検討する場があるが、器具による推定も難しい。販売ルート（市販ルート、電材、etc.）から推定する場合もある。


■ 日本電球工業会の省エネに関する取組み

- 2006年12月に「照明における省エネ提案 ～地球温暖化防止のために～」という提案を冊子にまとめた。
- 上記提案を一般向けに「あかりの省エネ」というカラー小冊子にまとめ（2007年3月）、イベントなどで配布している。
- 省エネに関する4つの提案は図2のとおり。4つの施策の実施で2010年に1990年比7%弱のCO₂削減が可能である。何もしなければ2010年には総消費電力が3%増加すると予測している。
- 家庭向けの提案は施策1（白熱電球の2分の1を電球形蛍光ランプに切替え）である。
 - 色の再現性や点光源性など白熱電球の特長が求められる使い方や、調光器のついた器具で電球形蛍光ランプは使えないなどの制約があるため、白熱電球の切替えは2分の1程度が限界と考えている。
 - 口金がE26のランプの切替えだけで電力消費を21億kWh削減可能である。（E17は含まない。当面E17は除外して考える。）
 - 2010年での2分の1の切替えは何からの普及策がないと実現は難しい。
- 施策2～4は、器具の交換も必要になる。施策の推進には経済産業省だけでなく、国土交通省の協力も必要であろう。

2010年までに採用すべきランプ交換による省エネ施策（日本電球工業会案）

省エネ施策	用途	省エネ効果
施策1 白熱電球の2分の1を電球形蛍光ランプに切替え	家庭・事務所など	21億kWh
施策2 ハロゲン電球の2分の1をHfコンパクト形蛍光ランプとセラミックメタルハライドランプに切替え	商業施設など	10億kWh
施策3 直管形(40形)蛍光ランプを全てHf蛍光ランプに切替え	事務所など	69億kWh
施策4 水銀ランプを全てメタルハライドランプに切替え	屋外施設用 (道路照明など)	27億kWh
合計		127億kWh

この提案が実現すると
国民一人あたり
年間で、約2000円の電気代が
節約できます！

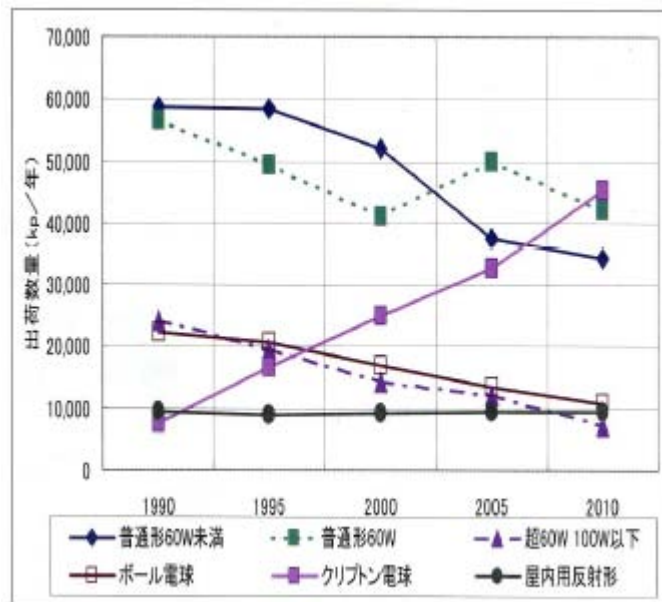


※1. Hf蛍光ランプとは(Hf)表示のされている専用器具と組み合わせて使用することにより従来のスターク形・ラビッドスターク形蛍光ランプより高効率で消費電力を大幅に抑えることができる蛍光ランプです。
※2. 日本の総人口を約1億2700万人(2005年)として計算し、一人あたり約100kWhの削減に相当します。

図2：日本電球工業会が提案する4つの省エネ施策

- 2007年10月18日に発足した省エネ家電普及促進フォーラムに加盟している。
- JEMA、JEITA などによる電機・電子温暖化対策連絡会にも参画している。

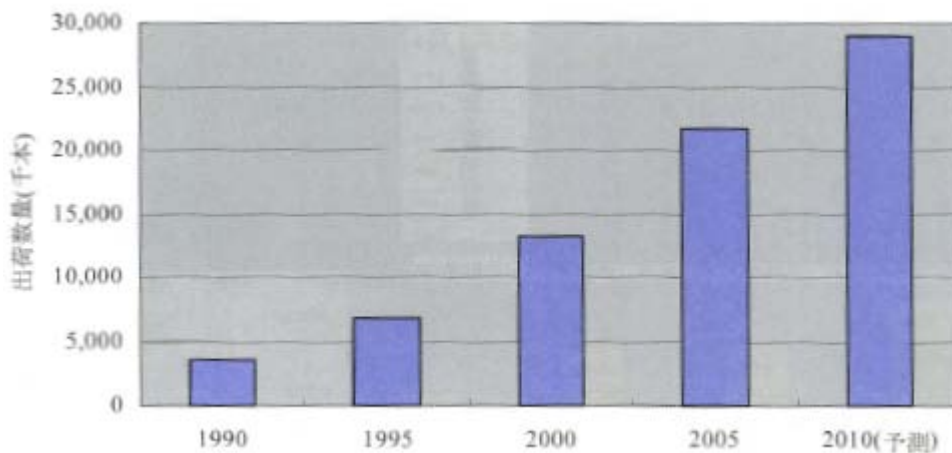
■ 白熱電球類タイプ別の出荷数量の推移（国内）



図：白熱電球類タイプ別の出荷数量（国内）

- 普通形 60W 未満、普通形 60W、超 60W～100W 以下、ボール電球、屋内用反射形は E26 口金、ミニクリプトン電球は E17 口金である。
- 屋内用反射形は電球形蛍光ランプの代替品がない。
- ミニクリプトン電球は出荷量が伸びている。これは器具のデザインの際に使いやすく、インテリア的に好まれているためと考えられる。新築で多く用いられるようになっている。

■ 電球形蛍光ランプの出荷数量の推移（国内）



図：電球形蛍光ランプの出荷数量（国内）

■ 白熱電球と電球形蛍光ランプの価格、寿命についての比較

	白熱電球	電球形蛍光ランプ
価格（カタログ）	168 円	オープン
実勢価格	～100 円	～1,000 円
寿命	1,000 時間	6,000 時間

- 電球形蛍光ランプの価格が今後大きく下がることはないだろう。
- 蛍光体に希土類が用いられているが、中国の資源政策で価格が上がるのが懸念される。
- 電球形蛍光ランプは中国で 10 億個生産されており、中国が世界の工場となっている。

■ 電球形蛍光ランプの普及状況

- どれだけの白熱電球が電球形蛍光ランプに切り替わっているかは、まだ推定の域を出ない。
- E26 の電球の出荷量が 1 億個、電球形蛍光ランプの出荷量が 2,200 万個であり、これらが既存の電球と交換されていると考えるが、普及を考えるときには寿命が電球で 1,000 時間、電球形蛍光ランプで 6,000 時間であることを考慮する必要がある。
- 長時間使用するところ（リビングなど）と短時間使用するところ（階段、トイレなど）とでは、白熱電球、蛍光ランプの採用のされ方が違う、寿命で取り替える頻度も異なる。（あまり長時間使われないところは白熱電球のまま）
- 電球形蛍光ランプはストックとしてはかなり普及していると推定される。
- ヨーロッパやアメリカでは、現在も日本と比べて蛍光ランプの普及率が低く、白熱電球から電球形蛍光ランプへの切替えによる省エネ効果が大きい。
- 賃貸マンションなどでは、共用スペースには電球形蛍光ランプが用いられているが、賃貸の部分では管理者の初期費用を抑えるために白熱電球が入れられる場合が多いようだ。（共有部分の電気料金は管理者の負担となるが、各戸の電気料金は入居者の負担になる。）

■ 消費電力の推定

- 市場が飽和していることから、年間交換数が年間出荷数とほぼ同じであると考え、ソケット設置数（口金）、年間の点灯時間はわからなくても、出荷数、平均寿命など（カタログ値）から電力消費量を求めることができる。

$$\begin{aligned} \text{ソケット設置数 (SK)} &= \text{年間交換数} \times \text{平均寿命 (L)} / \text{年間点灯時間} \\ &= \text{年間出荷数} \times L / \text{年間点灯時間} \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{総消費電力量} &= \Sigma (\text{SK} \times \text{Wt} \times \text{年間点灯時間}) \\ &= \Sigma \{ (\text{年間出荷数} \times L / \text{年間点灯時間}) \times \text{SK} \times \text{Wt} \times \text{年間点灯時間} \} \\ &= \Sigma (\text{年間出荷数} \times L \times \text{Wt}) \dots\dots\dots (2) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{総全光束量} &= \Sigma (\text{SK} \times \phi \times \text{年間点灯時間}) \\ &= \Sigma (\text{年間出荷数} \times L \times \phi) \dots\dots\dots (3) \end{aligned}$$

■ 家庭内のソケット数

- 平均的な家庭でソケットがいくつあるかは把握できていない。アンケートによっても異なるデータが出てくるようだ。
- 器具の出荷データはあるが、どこに入ったかは追跡できていない。

■ 電球形蛍光ランプ普及促進に向けての方策

- 量販店でのポイント付加（販売店が促進に協力するもの）などがある。
- 東京都、神奈川県の実践
 - 白熱電球の禁止、白熱電球撲滅キャンペーン
 - 事務所の蛍光ランプを Hf タイプに
- 政府・行政の支援を期待したいが、数量が多く、単価が小さいためにインセンティブをつけるような方策が難しい。膨大な事務処理が発生してしまう。また、1 個あたりの削減効果は大きいですが、全体としての削減量は比較的小さい。
- 消費者への説明が不足している。通常売り場に置くだけで販売される商品であるが、購入費用は高くても、寿命、電力消費を考えるとコスト的に有利になることを理解してもらえれば、切替えが進むだろう。
- ロンドン市：白熱電球を電球形蛍光ランプに無償交換する取り組みがある。1 戸あたり 2 個まで交換できる。
- ベトナムの電力会社：1,000 円の電球形蛍光ランプを 100 円で購入してもらい、差額は電気代で徴収するサービスを提供している。ランプの差額は消費電力量が下がることで吸収される。
- 白熱電球から電球形蛍光ランプへの切替えを促進するにはインセンティブ、罰則規定が必要ではないか。通常の省エネ法のトップランナーの考え方と異なるが、白熱電球から電球形蛍光ランプへの切替えをトップランナーの対象に取り上げようという動きもある。

■ その他の省エネに向けての考え方

- 高効率ランプへの交換だけでなく、器具の交換（高周波点灯専用形（Hf 形）、人感センサー）や使い方の改善でも省エネが期待できる。
- 蛍光ランプの光量は寿命中に徐々に低下する。建築における照明設計は、寿命末期の明るさをもとに照度を満足するように設定するので、蛍光灯を交換した最初のころは明るすぎる。センサーと組み合わせて調光し、一定の明るさにできれば省エネにつながる。
- LED の効率が蛍光ランプを越えることは当然ないだろう。LED 照明によるスポットの導入などによって、光量を調節していくことで、全体としての照明効率を上げることができるだろう。

■ 普及予測シミュレーションに関して

- 模倣係数：まわりの人に影響されて交換するものでもないだろう。

(以上)

太陽光発電に関するヒアリング

日時	2008年1月23日(木) 14:00~15:30
提供資料	統計資料

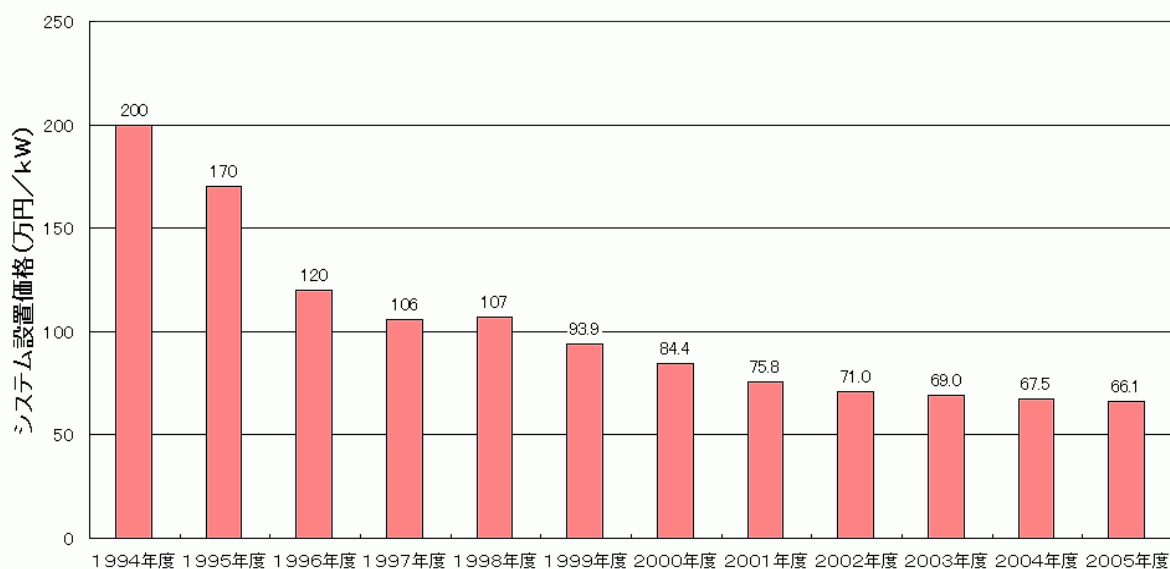
■ 普及予測

- 2010年までに482万kW(新エネ法に基づく基本方針に掲げる導入目標。個人住宅、公共含む。)
- 2002年に業界で定めたロードマップには2030年までの予測がある。(国の予測値は2010年まで。)
 - 2010年482万kW(うち、住宅用は370万kW)
 - 2020年に国内市場を1兆円市場としたい → 予測は2020年に1.2兆円
 - 2030年に2兆円超(合計8,300万kW。そのうち住宅用は4,300万kW。)
- NEDO PV 2030(技術開発ロードマップ)
 - 2030年に7円/kWのコストにする(火力発電と同レベル)
 - 累計設置:2030年に1億kW
 - 社会普及ではなく、技術・素材の開発目標である。

■ 価格、補助金

- 家庭用のシステム価格は年々下がっている。公共産業用の導入コストのほうが高い。
- 累積設置量は公共産業用が2割で、8割は住宅用である。補助金の影響が大きい
- 補助金
 - 1994年から2005年まで。2005年は9月で補助金は終了した。
 - 国から補助金が出ていることにより安心感があり、環境に貢献したと思われる。
 - 上乗せ補助のあるところの地域も数多くある。
- システム価格
 - システム価格の低減により普及促進が期待される。
 - 2010年に100万円/3kWを目標にしている。この価格が実現できれば、10年程度で回収できるようになるはず。
 - 外的な条件は入っていない予測であり、外部状況(原油価格、シリコン供給など)で実現は厳しいだろう。
 - シリコン(結晶系)は価格が高いが、発電効率の平均15~18%であり、薄膜系の発電効率は10%程度である。
 - 製造の90%はシリコン(結晶系)であり、その他が薄膜、化合物系である。将来的には薄膜、化合物系に期待している。国も色素増感、ほかなどで効率向上させた革新型太陽電池の技術開発を支援している。セル効率で20%を超えるものも出てきているようだ。

(参考：住宅用太陽光発電システム設置価格の推移)



住宅用太陽光発電システム設置価格の推移

<http://www.solar.nef.or.jp/josei/kakakusui>

■ 導入・設置（住宅向け：新築・既築、公共・産業向け）

- 以前（1999年）は新築・既築の割合は1:1だった。最近では既築での導入が7割を占めている。（新エネルギー財団の資料より）
- 最近では新築での太陽光導入がメーカー側で積極的にはたらきかけているので、新築戸数が減ると普及促進に影響はあるだろう。
 - 協会として設計者向けに手引書（太陽光発電システム手引書）を平成13年ごろに作成し設計者に太陽光発電の普及促進を図った。
 - 普及に向けては価格低減が第一である。
- 個人住宅の平均は3.6～3.7kW/戸であり、3kWシステムの場合、平均価格は200万円/1戸。
- 償却するには25～26年くらいかかる（通常の使い方）。
 - 深夜料金契約しておくのと、昼間の電気代が高くなるが、売電価格も通常20円強のところから30円強になる。昼間に電力を使わず、売電を多くしていくことで、元を取るまでの期間を短くすることもできる。15年くらいに短縮が可能になった事例もあるようだ。
 - システムの寿命は17年（法定耐用年数）。20年くらいはもつと考えられるが、本格的に導入され始めて時間がたっておらず、実績がないため、これから確認していくことになるだろう。
- 既築の場合、太陽光発電装置を設置することで外熱を遮断するため、省エネ効果も生まれる（効果の数値的な検証はなされていない）。また、節電などの省エネ意識も高まる。
- 既築で太陽光発電装置を設置する意識としては以下のようなものだろう。
 - 環境意識が高い
 - 子供の環境教育、など

- 公共・産業向けの普及は遅れている。
 - 公共では 30kW~100kW 程度が主と考え、70~80 万円/kW としても 7,000 万円くらいかかってしまう。
 - 100kW つけても、工場では照明程度に利用している状況が多く見受けられる。CSR、企業イメージ向上の位置づけになる。
 - 国内では 6MW の事例もある。稚内で 7MW、山梨で 5MW の実証実験を 5 年かけて進めている。
 - 国内では太陽光の大型発電設備はコストが高すぎて設備導入に至っていない。
- 住宅で普及が先行しているのは日本、日本における住宅用の普及については国の補助金の影響が大きいと思われる。
- 補助金が終わって国内の導入は落ちているが、海外輸出向けは増えている。
 - 海外ではドイツ、スペイン、フランス、アメリカ向けの需要が伸びている。

■ 売電

- ドイツの売電
 - 価格 70~80 円/kWh。
 - 発電した電気はすべて売電されている。購入電力の 3 倍程度の価格であるが、国が関与し、国民に不公平のない形で運営されている。
- 日本では余剰電力購入メニューは電力会社に依存している。今後日本の余剰電力購入メニューがどうなるかわからない（設置者が増えた場合に売電が成立するか保証がない。現在は戸建の 2.5%のみ。（全世帯の 1%））。売電を含めた電力政策の安定化（公平な負担）が必要だろう。

■ 普及にむけて

- 補助金：復活させるのは困難
- 税制、減税：住宅減税のような所得税減税のような形でもっていくとよいのではないか。
- 規制緩和：
 - 工場立地法で太陽光発電を緑地とみなすような規制緩和も有効ではないか。
 - 建蔽率や容積率をどのように考えるかなどもあわせて。
 - 規制緩和で影響を受ける造園業などの産業もあるので配慮が必要になる。
- RPS 法（新エネルギー負担目標）：1.35%（~2010 年）→1.6%（2011 年~）とされている。
 - ヨーロッパでは風力、水力、地熱、バイオなどを含んで 2020 年で 20%、2030 年で 30%にする。
 - 太陽光発電は国民全体で参加できる分散型エネルギーである。
- 普及策だけでなく、技術開発でコストが下がっていかなければ普及は難しい。普及策、技術開発が両輪となっていかななくてはならない。100 万円/3kW であれば急激に普及が進むだろう。
- 東京都の取り組み
 - 10 年間で太陽光・熱で 100 万 kW を目指す（日経新聞 2008 年 2 月 20 日 35 面の記事）
 - ローン金利の優遇なども含めて、10 年で元が取れる価格となるようにする
 - 2009 年から 3kW で 2 万軒/年のペース

(以上)

高効率給湯器に関するヒアリング（電気式）

日時	2008年2月6日（水）10:00～11:20
提供資料	<ul style="list-style-type: none"> ヒートポンプ・蓄熱白書（2007年、オーム社、ISBN-10: 4274204235） 「ヒートポンプで地球の温暖化に歯止めを」（日経新聞 朝刊広告特集 2007年12月19日）

■ 普及予測、実績

- 自然冷媒ヒートポンプ式電気給湯機（エコキュート）は2007年9月に累計100万台に到達した。予測よりも半年遅れであるが、エコキュートの導入が大幅に進んでいると考えられる。
- 普及台数の予測はマクロな視点から設定した目標である。
 - 現在の給湯器の市場はフローで400万台/年である。
 - 給湯器の市場が4,000万台程度（世帯数：5,000万）と考え、20～30年後にはガス給湯器、エコキュートで市場を2分すると考え、2030年で2,000万台を目標にする。2010年の520万台は、2030年の2,000万台を達成する通過点をロジスティック曲線により設定したもの。
 - 現在はガス給湯器75%、電気温水器5%、石油給湯器、その他である。エコキュート、太陽熱はごくわずかである。
 - 2030年の段階で、ガス給湯器とエコキュートで市場を2分するためには、サイズ、価格が同程度になっていることが前提になる。（現在はエコキュートはガス給湯器よりもサイズが大きく、価格もおよそ60万円で、20万円のガス給湯器よりも高い。）
- エコジョーズ（ガス潜熱回収型高効率給湯器）よりも価格が高いエコキュートの普及が多い理由：
 - エコジョーズには販売のインセンティブが働かないのではないかと。ガス給湯器の市場が75%ある。エコジョーズの販売増はガス使用量の減少につながる。エコジョーズの装置自体は寿命が10年くらいあるので、頻繁に入れ替わるものではないので装置販売数も限られるだろう。
 - エコキュートはもともと市場がなかったところでの販売である。
 - 電力事業者から見れば、夜間電力を使用することで電力販売は1,000円/月程度であるが、IHクッキングヒータなども同時に入れてオール電化を進めることで、電力業界の省エネ促進のPRにもなる。
 - 夜間の電力の安定需要を増やすことは電力需要の平準化にもなるが、夜間電力をベースに電源構成が決まる（→原子力発電所の稼働に影響する）。エコキュートは省エネルギーであって且つ夜間需要を造成できるため政策的にも負荷平準化対策として進めている。2000万台の稼働で夜間の電力需要は58億kWh増加し、0.5ポイントの寄与がある。エコキュートの普及により、全体としては電力消費量は増えるが、燃焼による化石燃料消費を抑制し、また、供給側で原子力発電所の稼働率向上でCO2削減につながり、CO2排出原単位を20%削減できる。[ヒートポンプ・蓄熱白書 p. 54～55]
 - エコキュートは最初のころにはエコキュートの販売に積極的でないところもあったよう

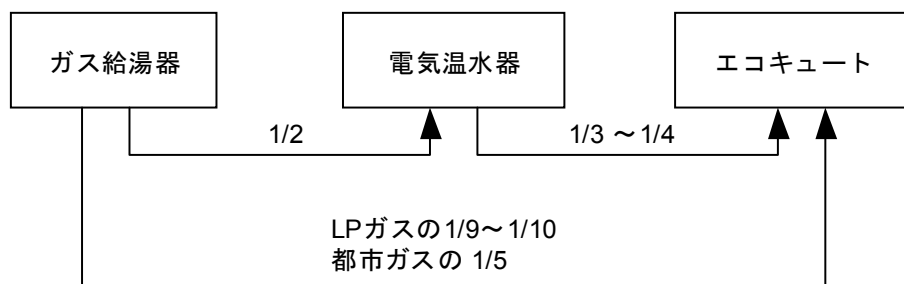
であるが、現在は省エネの意識の高まりなどから積極的に取組まれるようになってきている。国内の全電力会社がエコキュートの普及促進を図っている。

- 家電メーカーがエコキュートの装置開発に本腰を入れてきていることもエコキュートの普及に寄与している。
- 新築、リフォームでのエコキュートの導入比率
 - 新築で導入しやすい。現状は新築とリプレイスで1：1の比率である。
 - 戸建新築での導入が最も多く、戸建既築のリプレイスと新築マンションが続く。集合住宅でのリプレイスは難しい。
 - 新築マンションにも導入されるようになってきているが、賃貸向けでは状況が異なる。(入居者のユーティリティコストを下げるために家主がイニシャルコストを負担するとは考えにくい。)
 - 戸建既築では、設置スペースのある郊外の住宅での導入が多い。都心部の狭小スペースには設置しにくい。(地方で大きなタンクを設置できる場所の需要が大きいようだ。)
 - リプレイスでは設置コスト、サイズが課題となる。無理なく設置されるように製品の開発が必要である。

■ エコキュートの仕組み、価格、エネルギーコスト

- 電気温水器は電熱線で加温するが、エコキュートはヒートポンプで空気中の熱エネルギーをとりこむものである。エコキュートの電力消費は圧縮用のコンプレッサのモーターでの電力消費による。
- エコキュートの価格は工事費込みで60万円程度である。
- 夜間電力を利用して温水を作り、貯湯槽にためる。
 - 夜間に作った温水が日中から夜までもつ。貯湯槽の保温性能も真空断熱材やポリウレタンで改善し、放熱ロスが減っており、昼間の追い焚きはほとんど不要である。
 - 仮に、日中に足りなくなれば昼間の電気料金で湯を作ることになり、夜間電力の3倍程度のコストがかかるが、それでもCOPが高いため消費電力量が少なくガス給湯器よりも安い。
- 装置の寿命は10年と仮に想定しているが、実際には市場に出てまだ7年であり、市場での寿命はこれから判断される。

★ エネルギーコストの比較



注：夜間電力を使った場合の比較
(昼間の電力では3倍になる)

■ メーカー

- 松下電器、ダイキン工業、日立製作所のようなエアコンや冷蔵庫のメーカーがエコキュートを製造している。
- ヒートポンプの技術を持っているメーカーで、燃焼式の暖房・給湯器具などからエアコンやエコキュートへのシフトもあるようだ。
- 構造自体はコンプレッサ、熱交換器などで単純であるが、日本と中国では効率に差がある。部品、システムの統合、制御などで差が出る。
 - 中国メーカーではCOP6のエアコンを製造できない。
- ヒートポンプ関連の機器としては、エコキュート、ヒートポンプ式洗濯乾燥機、エアコン、冷蔵庫、自動販売機がある。家庭用のエネルギー消費の60%、業務用のエネルギー消費の50%は、何らかの形であたためたり冷やしたりする機能であることから、従来の燃焼機器に置き換わるため家電メーカーにとってはビジネスチャンスとなる。
- 家電メーカーがエコキュートの装置を製品化することで普及が進むと期待される。
 - 政策的に進んでいるヨーロッパでも、ヒートポンプ式の装置は建築設備の位置づけに近く、エレクトロラックスのような家電メーカーが取り組んでいる商品ではない。
 - 日本では家電メーカーがそれぞれにエコキュートの製品開発を進めており、性能、外観などが異なる製品が市場に出ている。家電量販店でも扱われるようになってきた。

■ エコキュートのさらなる効率化のための技術開発

- 技術開発の目標として、サイズや価格をガス給湯器と同じレベルまでもっていきことが上げられる。
- 2050年までに瞬間式エコキュート（超高効率エコキュート）の開発も目標とされている。
- ある程度効率がよくなっており、ハードルは高くなっているとはいえ、現在のエコキュートは理論値よりも効率が低いので研究開発の余地はある。将来は中国などにキャッチアップされることが予測されるため、さらに先の技術開発を進めていく必要がある。
 - ヒートポンプ技術はクールアースのための20の革新技術の一つである。

<http://www8.cao.go.jp/cstp/siry0/haihu73/siry03.pdf>

- 現在の冷媒や制御技術などの組み合わせでは限界もあるが、住宅をトータルでとらえると効率を改善できる要素は多い。
 - 風呂の残り湯を捨てる際に熱を回収することができれば熱を保存することができ、効率化ができる。
 - ヒートポンプ・蓄熱センターでも新しい家のイメージを提示し、技術開発目標となることを期待している。家から熱を逃がさないで利用するために必要な機器に交換する。
 - [エアコン] 部屋の気密性が高まっているために換気が必要になるが、換気で熱を戸外へ捨てることになる。換気の際に熱を逃がさないように、熱を捨てないエアコンの開発で性能の向上が期待できる。

■ 普及促進策

- 設置のための補助金
 - 来年度予算は 108 億円（予定）
 - 2007 年度は 45,000 円/台だった。
- 自然界への廃エネルギーの回収や太陽によって温められた空気中の熱エネルギーという意味で、自然エネルギーとして位置づけられればさらに環境配慮システムとしての認識が深まると思われる。
- 現在はエコキュートはトップランナー制度の対象ではない。まだ市場規模が小さい。
- 今後の動向としては、住宅の新築が減るのは普及促進ではマイナス要因である。リプレースで導入できるように製品開発が必要であるが、家電量販店のような流通ルートの整備も必要だろう。
 - 普及促進には、エコキュートがどこで購入できるのかがわかりやすいことが大切である。
 - 家庭用のエアコンや食器洗浄機は設置工事が必要な設備機器から家電製品になったことで大きく普及した。これには家電量販店の設置作業を含んだ販売ルートが寄与している。
 - エコキュートもエアコンのような商品になればさらに普及が促進するだろう。

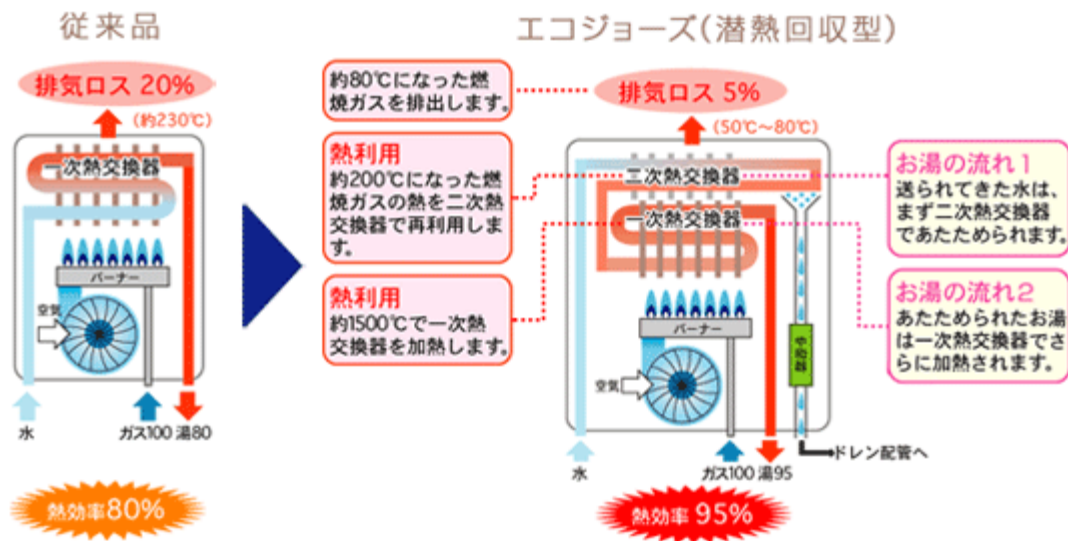
(以上)

高効率給湯器に関するヒアリング（ガス式）

日時	2008年1月22日（火）17:30～18:45
提供資料	統計資料

■ エコジョーズ

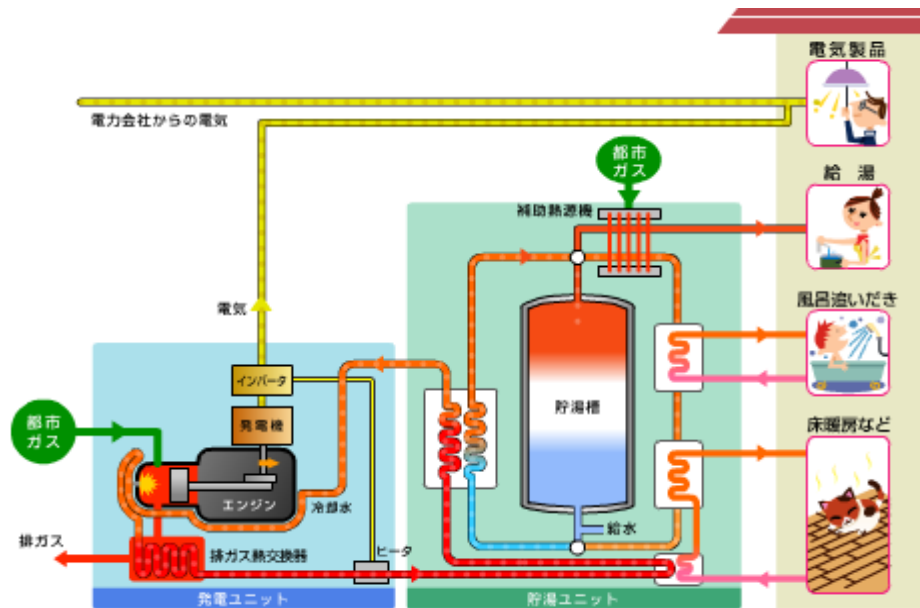
- 従来給湯器では約 80%だった給湯熱効率を、排気熱・潜熱回収システムにより約 95%までに向上した給湯システムである。省エネルギー、ランニングコストの削減を実現できる。
- エコジョーズの設置にはドレン配管が必要である。
- 高効率給湯器の普及を目的にした国の補助金制度の対象であり、平成 19 年度は 24,000 円/台。（2002 年から 2004 年は、従来型と高効率型の差額の 1/2 の補助であり、工事費を含んで平均 4 万円台/台であった。）
- エコジョーズの価格は通常型に比べて 6～8 万円程度高い。通常型は 20 万円程度であり、エコジョーズは実勢価格で 28 万円ぐらいだろう（24 号給湯暖房機の場合）。
- 寿命はだいたい 10 年程度である。



(東京ガスホームページから)

■ エコウィル

- 都市ガスでガスエンジンを動かして発電し、その際に発生する熱でお湯もつくり、暖房もできる家庭用のガスコージェネレーションシステムである。
- 1 kWh を発電し、家庭用電力の約 4 割を供給する。足りない部分は電力会社からの電力を用いる。
- 「住宅・建築物高効率エネルギーシステム導入促進事業」の一環として、エコウィルの購入者に対して国から補助制度がある。平成 19 年度は 152,000 円/台であった。（当初、従来型との差額の 1/2 であった。）



(図は東京ガスホームページから)

- エコウィルにより、電気代を 40%削減できる。
- エコウィルは給湯器のサイズが大きいため、集合住宅への導入は難しい。集合住宅への導入が可能なようにコンパクト化の取組みが進んでいる。
 - ガスエンジンユニット：エアコンの室外機程度の大きさ
 - 貯湯槽：大きい

■ 普及台数（累積）

- エコジョーズ
 - 2007 年度に 60 万台に到達している。昨年の調査での 2007 年の予測値（62 万台）はそれほど推計値としておかしくないようだ。
 - 業界の普及予測（2010 年に 280 万台が目標であり、厳しい設定である。）
- エコウィル：4.8 万台（2007 年度）。
- エコジョーズ（潜熱回収型）は 60 万台を、エコキュート（ヒートポンプ式）は 100 万台を超えた。エコキュートは 2010 年に 520 万台を目標にしている。
- 給湯器としては、全体で見るとガス給湯器が多いと思われる（ストックはガスが多いため）。
 - 電気給湯器では、ヒートポンプ式と従来型の電気温水器では、ヒートポンプ式が選ばれることが多いようだ。
 - 電気給湯器市場のフローデータ：ホームページに出ているはず（JEMA か？）。
- ガス給湯器のストック：統計はない。想定では 4,500 万台くらいと思われる。
- 上記のガス給湯器には瞬間湯沸かし器は含まない。

■ 買い替え

- 買い替え時に従来型か高効率型かを選択する。ランニングコストを含めると高効率型が有利であるが、ユーザーに受け入れられるかが問題である。
- ガス給湯器（都市ガス+LP ガス）の市場は、年間に 260 万台程度である（フロー）。そのうち

10%弱がエコジョーズであり、補助金が出るとはいえ、90%は従来型が選択されている。

- 買い替え時、特に既存の給湯器が故障した場合の交換は、すぐに交換することが求められるために、従来型が選ばれるようだ。
 - エコジョーズの場合、ドレンがあり、その排水を雨水と一緒に流せないために中和器や配管が必要であることなどの制約がある。最近では改良されてきており、ドレンを部屋を通して風呂に流すようなものも開発されている。
 - エコジョーズはエコキュートに比べて知名度・認知度が低い。(エコキュートで9割、エコジョーズでは6割程度である。)特に、地方でのエコジョーズの認知度は低い。
- エコジョーズの導入における新築、既築の比率は4:6で、既築への導入が多くなっている。
- エコウィルの導入の新築、既築の比率は7:3で新築への導入が多い。

■ 地域的な特徴

- 地方では、ガスの価格が高く、エコキュートがガス給湯器に置き換わっているようだ。また、オール電化が受け入れられやすい。
- 都市部ではエコジョーズの認知度が高く、エコジョーズを入れるところも地方に比べて多い。
- 現在、都市ガスとLPガスの利用者は1:1くらいである(2,700万戸ずつくらい)。エコジョーズは都市ガスに対して販売しやすい。
- エコウィルも地方よりも都市部、特に関西圏での普及が多い。

■ 価格の変化

- ガス事業者からは低価格化をメーカーに要求している。
 - エコウィル：目標としている価格よりも高い。
- エコジョーズ：価格低下が頭打ちになっている。どこまで上げることができるかはメーカーに問い合わせて欲しい。すでに効率が高いので、今後劇的に料金が下がることはないだろう。
- 現在は材料費の高騰もあるが、価格の低下が頭打ちになりつつある。

■ 高効率型給湯器の普及促進

- 平成17年に関係者で研究会を立ち上げ、役割を定めた。
 - METI：補助金制度の継続拡充
 - ガス事業者：販売拡大、普及環境整備(各地で講演会を開催するなど)
 - ガス機器メーカー：技術開発、販売拡大
- ガス事業者としては補助金が普及促進に有効であると考えている。エコジョーズ：2007年には35万台のうち8万台に補助金が支給された。
- 長期的には普及していくように努力しているが、技術的に導入が無理なものもある。
 - 技術上の制約で通常型しか導入できないところもある。
 - いずれは(既存の製品の寿命を考えると10年~20年のスパンで)高効率型が主流になるだろう。
- エコウィルの普及は不透明である。燃料電池など他の技術の動向にも影響されるだろう。
- 電気とガスの間でのシェア争いもある。ガス業界としてはオール電化を阻止したい。

- ガスの関連の補助金は敷地内のガス管の入れ替え（経年埋没管）、業務用機器など METI や NEDO から出ているものが多い。

(以上)

Ⅱ. 板ガラスリサイクルシステム調査委員会

本委員会の活動は、NEDO（独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構）からの受託「エネルギー使用合理化技術戦略的開発／エネルギー使用合理化技術戦略的開発（FS 事業）／ガラスリサイクルシステムの事前調査」として実施したものである。

板硝子リサイクルシステム調査委員会

本委員会は、エネルギー使用合理化技術戦略的開発 (FS 事業)として、NEDO から製造科学技術センターが受託した「板ガラスリサイクルシステムの事前調査」に関して指導、助言を行う役割を担っている。この受託は、板ガラスリサイクルによりどれくらいの省エネルギーが達成できるかを試算するものであるが、委員会としては、板ガラスリサイクルシステムの構築に向けての課題等の整理も進めていく。

ガラス製造時に廃ガラスカレットを投入することで、珪砂等のガラス原料だけの投入に比べ、省エネルギー、省資源が達成されることは、昔から実証されていた。建築物や自動車の窓ガラスでは、解体時に不純物が混入することやプラスチックの中間膜を含んだ合わせガラスが用いられていることから、廃ガラスのリサイクルは進んでいないのが現状である。

今回の調査では、再委託先の日本板硝子(株)が技術確立した合わせガラスの中間膜除去や、黒色セラミックスや銀線剥離により、廃ガラスをガラス製造工程に使うことが可能になったことが判明した。これによる省エネルギーの実証が現在進められている。

また、建築物解体の実状を建設会社に自動車解体の現状を自動車解体業者に、廃ガラスの回収、処理をカレット業者にヒアリングし、廃ガラスがほとんど回収されていない現状を確認した。

今回旭硝子へのヒアリングにより、廃ガラスカレットの再利用は、省エネルギーだけでなく、ガラス原料に含まれる炭酸塩の分解がない分、CO₂ 発生抑制に効果のあることが判明した。ガラスリサイクルシステムの全体的な効果や今後の課題については、平成20年6月までに整理して報告することになっている。

以下に委員会での報告事項やヒアリングの要点を記す。

回収ガラスカレット利用による省エネルギー、CO₂発生抑制の基礎データ

省エネルギー量

粉末ガラス原料がガラス化するためのエネルギー分が不要になる

1トンのガラスカレットを投入すると、17.40の重油が節減できる。(CO₂ 発生抑制は 51.0kg)

炭酸塩分解による CO₂ 発生の抑制量

ガラス原料として、珪砂、炭酸ナトリウム、炭酸カルシウムを含む。

炭酸塩の割合は、重量比 30% (以上)

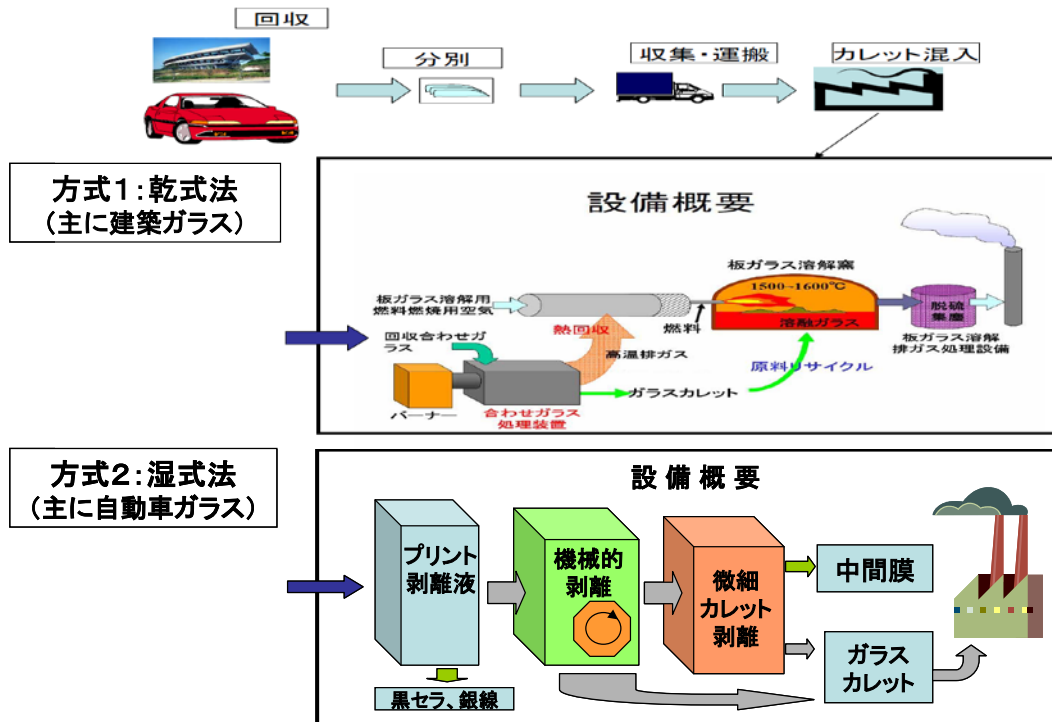
1tのガラス製造には、186kg の二酸化炭素が発生するが、この分、回収ガラスカレットを使用すれば CO₂ の発生はない。

全体の二酸化炭素削減量

回収ガラス1t使用による二酸化炭素削減量は 両方あわせて 51.0kg + 186kg = 237kg

奥村和彦、工藤透:リサイクル「自動車用ガラスのリサイクル技術と課題」NEW GLASS vol.16,No2,pp38-45,2001

板ガラスリサイクルシステム



乾式法は、旭硝子㈱が中心になって、建築ガラスを回収して、加熱により中間膜を燃焼して、熱回収し、ガラスは板ガラスの溶解炉に原料として投入しようというものである。

旭硝子鹿島工場にて実証実験を進めることになっている。

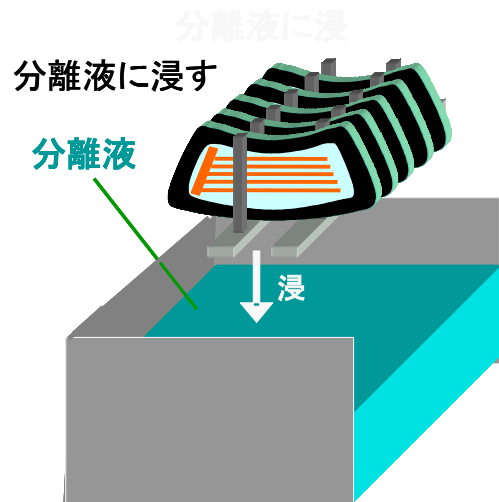
湿式法は、日本板硝子㈱が提案している方法で、自動車ガラスを回収して、液浸と機械的打撃等により中間膜とガラスを分離して、中間膜は中間膜の原料として、ガラスカレットはガラスの製造にリサイクルする。日本板硝子舞鶴工場にて工程内から回収したガラスにて実証中である。

どちらの方法も、建築用ガラス、自動車用ガラスのどちらにも適用できる。

湿式法では、沸酸槽につけて黒セラミックプリントや銀線を分離回収し、そのあと機械的な力を加えてガラスを破碎し、中間膜とガラスを分離する。中間膜は合わせガラスの中間膜材料としてリサイクルされる。カレット化したガラスには、黒セラミック、銀、中間膜などの不純物の混入もなく、ガラス原料と一緒にガラス溶解炉に入れられて、板ガラスになる。湿式法の要点を下の図に示す。

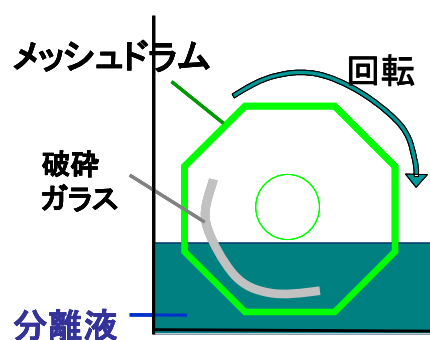
プリントと中間膜の分離 (湿式法)

プリント(黒セラ、銀線)分離



中間膜分離

バレル方式



TSUKA
TSUKA
TSUKA
TSUKA
TSUKA
TSUKA

Before Shredder を基本とした
高度リサイクル技術の取り組み

(After Shredder)

Integrated
Recycling
Systems ...

RECYINT



会社概要



【所在地】 栃木県小山市萱橋1085
 【創業】 昭和6年4月
 【法人設立】 昭和27年5月
 【資本金】 9,980万円
 【代表者】 代表取締役社長 鶴岡 正順

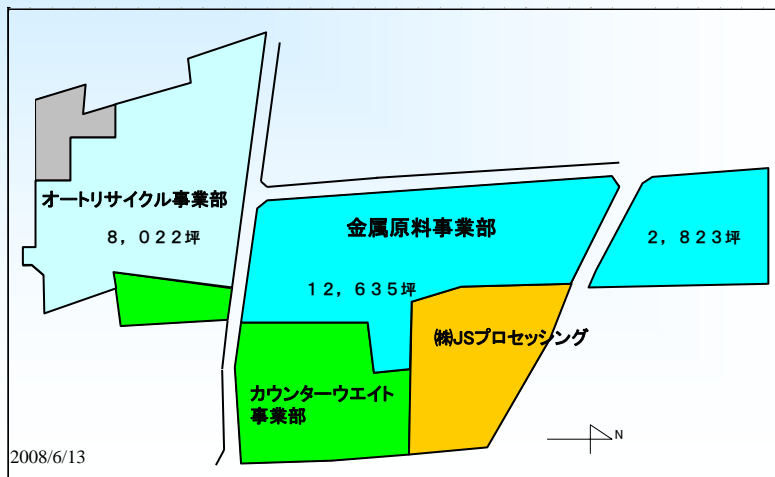
【事業内容】
 ◆鉄鋼・鋳造原料、非鉄金属原料等の加工
 ◆建設機械、運搬車両等の鑄鉄カウンターウエイト製造・販売
 ◆産業廃棄物の収集運搬・処分
 ◆使用済み自動車の解体

◎沿革

昭和 6年 4月 鶴岡商店を茨城県結城市立町において設立、営業を開始
 昭和27年 5月 有限会社鶴岡商店として法人化
 昭和37年 7月 組織を変更し、鶴岡商事株式会社となる
 昭和40年 3月 結城市富士見町に本社工場を新設
 昭和45年 6月 栃木県小山市千駄塚に総合鉄鋼原料ヤード小山工場を新設、営業開始
 昭和50年12月 小山市萱橋に最新鋭の大型シュレッダー、ギロチンシーヤ等々を完備した総合鉄鋼原料加工工場を完成、本社移転
 昭和55年 7月 小山市萱橋に鶴岡鑄工株式会社を設立、工場を建設し、Vプロセス工法によるカウンターウエイト、その他機械鑄物の製造・販売を開始
 昭和60年 7月 結城市に製缶ウエイト工場を完成し、製缶ウエイトの製造・販売を開始
 昭和61年 1月 鶴岡商事株式会社、鶴岡鑄工株式会社、株式会社鶴岡製作所の三社が合併し、株式会社ツルオカとなる
 平成 5年 9月 群馬県佐波郡玉村町に群馬営業所を設立
 平成 8年 8月 栃木県知事より産業廃棄物処分業許可を取得
 平成10年 9月 オートリサイクル事業部を新設し、自動車の解体事業を開始
 平成14年 1月 ISO14001認証取得
 平成20年 1月 ISO14001全事業部認証取得

会社事業部構成

- 金属原料事業部
- カウンターウエイト事業部
- オートリサイクル事業部
- 総務部



金属原料事業部

鉄鋼・鑄造原料、非鉄金属原料の加工販売。廃自動販売機の処理。
大物ステンレススクラップの解体およびステンレススクラップの収集販売。

社会のニーズにお応えする「環境配慮型」へ

■大型設備にて鉄・非鉄スクラップの加工を行う傍ら、手工程による有用物および環境負荷物質（バッテリー・乾電池・油類・蛍光管・フロンガスなど）の事前回収を徹底しております。



2000馬力 シュレッダー



1250トン ギロチンシャー



3方軸プレス機

- 主要保有設備
- ◆2000馬力 シュレッダー×1基
 - ◆1250トン ギロチンシャー×2基
 - ◆2000トン 故鉄割機×1基
 - ◆3方軸プレス機×1基



2000トン 故鉄割機

カウンターウェイト事業部

建設機械、産業車両用バランスウェイトおよび鑄造製品の製造

さらなる高品質を目指して

- 原料の加工から製品の生産までの一貫体制を確立し、Vプロセス方式を採用したバランスウェイトの製造をしております。
- 鑄造工場では徹底した排気管理により、大気環境保護に対応しております。



造型



注湯



製品



鑄造工場

オートリサイクル事業部

マテリアルリサイクル率95%を目指す使用済み自動車の解体。
自動車メーカーとの解体技術の研究開発

徹底した部品回収によるリサイクル率の追及、そして環境保全

- 前処理ラインのシステム化により、百数十点の部品回収、品質確保を低コストで実現しております。
- 鉄・非鉄金属部品、ガラス、樹脂のリサイクルおよび中古自動車部品のリユースをしております。
- 産学共同開発(栃木県・宇都宮大学)によるフロントガラス中間膜の再利用を実現しております
- フロンガス・エアバッグをはじめ、オイルなど各種液類の事前回収を徹底管理しております。



前処理・部品回収



フロントガラス回収

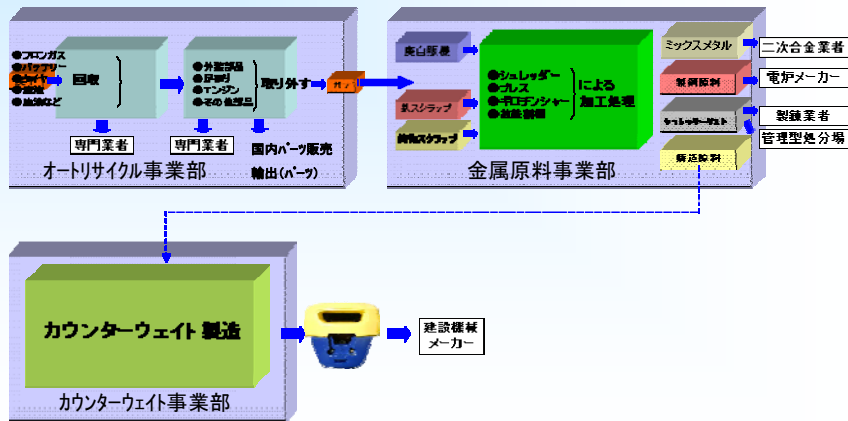


前処理・部品回収ライン



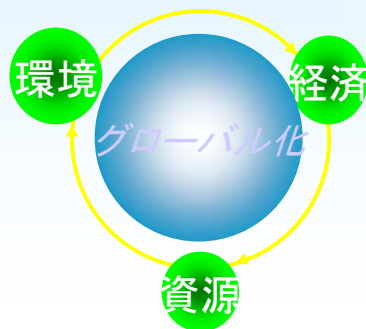
重機による回収

Tsuruoka Recycling System



なぜマテリアルリサイクルか

- (1) 東側世界・経済振興国の台頭(BRICS)→グローバル化
- (2) 世界的な資源の需要の逼迫→グローバル化
- (3) 環境規制・最終処分場の逼迫などの問題
- (4) 先進国は製品という都市資源の備蓄



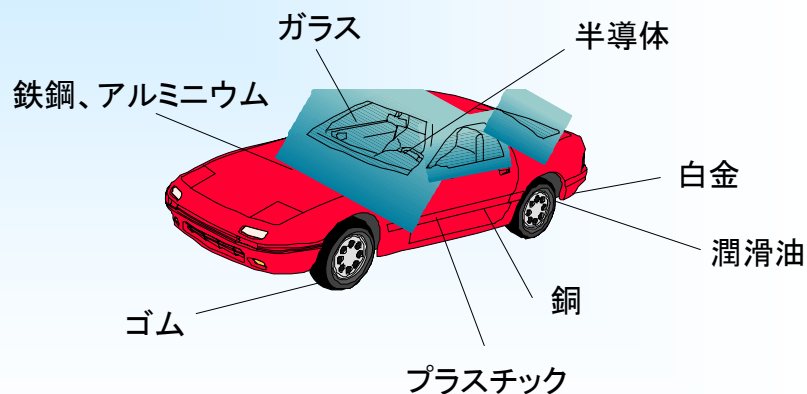
自動車に見る高度リサイクルの必要性

- (1) 自動車は質量的に近代工業の生んだ究極の複合素材
- (2) リサイクルの基本原則は「混ぜればゴミ、分ければ資源」
- (3) リサイクルイニシアティブ リサイクル率 95% 目標
- (4) 特にシュレッダーダスト(ASR)におけるガラス及び樹脂の比率

☆ 事前回収の徹底 Before Shredder

※After Shredder : 破砕後に分離・分別しマテリアルリサイクルを行う事

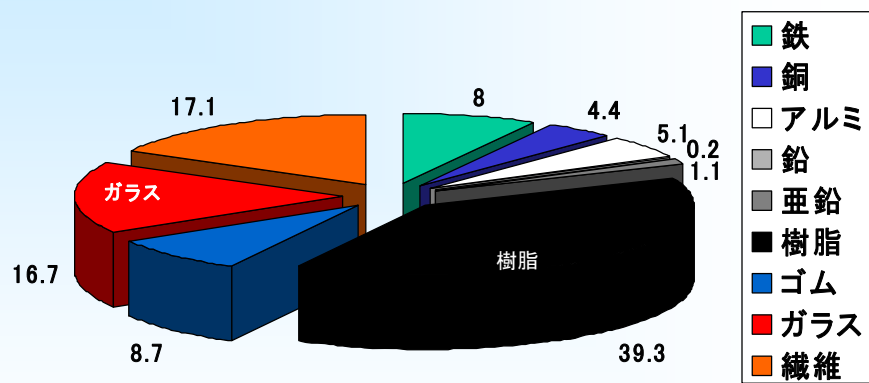
究極のマテリアルデパート



使用済み自動車の処理フロー



シュレッダーダスト(ASR)の構成比(%)



*シュレッダー(ASR)構成比:財団法人日本自動車研究所により

リサイクル技術の研究・開発

- (1) フロントガラス、ドアガラスの回収・用途開発
- (2) 銅(Cu)使用部品の回収量Up
- (3) 樹脂部品の回収・リサイクル

各自動車メーカー・(社)日本自動車工業会

(財)日本自動車研究所・(財)金属系材料研究開発センター
宇都宮大学・東京大学等と共同研究・開発

(1-1) フロントガラス回収技術開発



国土交通省令によって自動車の窓ガラスにはごく一部の例外を除き安全ガラスを使用することが義務づけられています。

- 破損しても良好な視界を保つ
- 耐貫通性が高く、飛来物等の侵入を防ぐ
- 破損してもガラスが飛び散らない
- 衝突の際、乗員がガラスにぶつかっても大きな負傷を負わない



➤ ガラス飛散防止の中間膜フィルムが挟み込まれているため、リサイクルが最も困難だ

廃車ガラスの現状

- 自動車ガラスは乗用車1台に20～40kg前後使用されており、2000年に廃棄された自動車ガラスは推定13万t。(年間450万台)
- 廃車フロントガラスは廃車の際にほとんどシュレッダーダストとして埋立処理されている。
- 仮に車1台1200kg、ガラス30kg で試算するとガラスの割合は $30\text{kg}/1200\text{kg}=2.5\%$ 。
- この2.5%クリアできなければ、自動車リサイクル率95%の目標を達成することが困難。

フロントガラスの回収作業



開発したフロントガラスの回収工具

- 最初の工具**10~30枚**でダメになってしまう。

※カッター(ダイヤモンド・タイル用)

- 富士重工等と共同開発した工具は

平均**4500枚**も・・・

(MAX 6000枚)



- 回収時間の短縮

他社工具

10~15分/枚

共同開発工具

10数秒/枚

廃車フロントガラスの回収及び ガラス・中間膜の再利用



①廃車から取り出し



②回収後のフロントガラス



③粉碎機にて粉碎



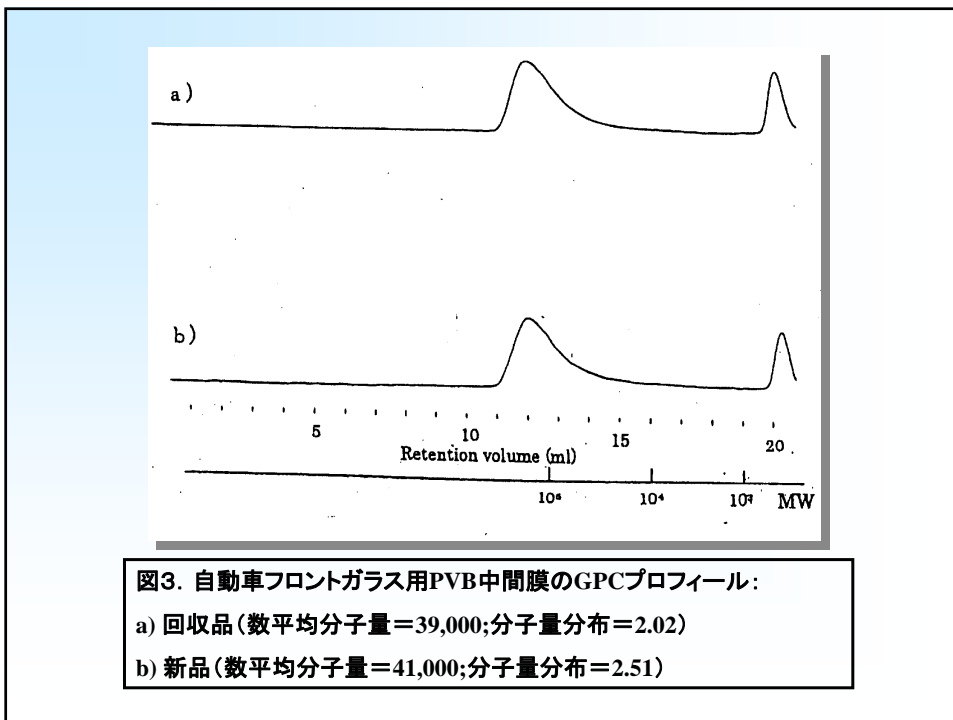
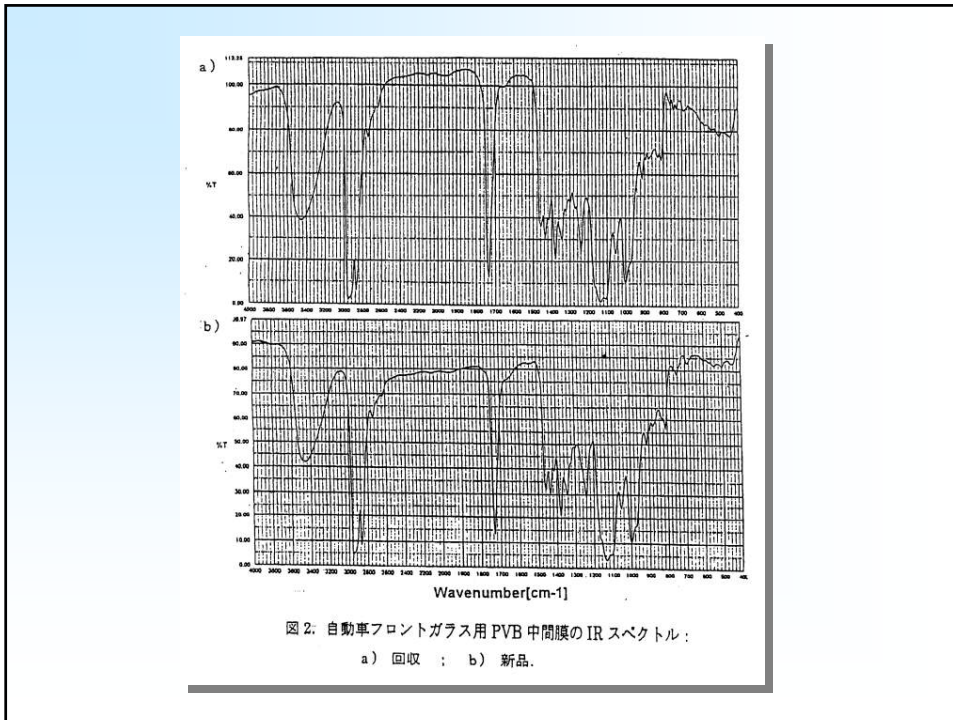
④ガラス破片つき中間膜



⑤特殊溶媒で溶解・分離



⑥膜を作成



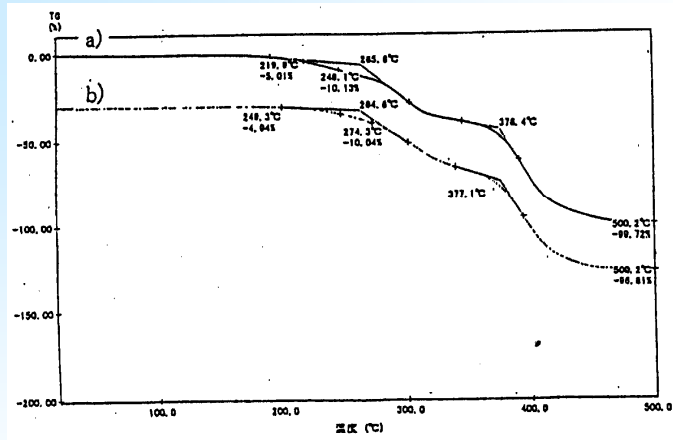
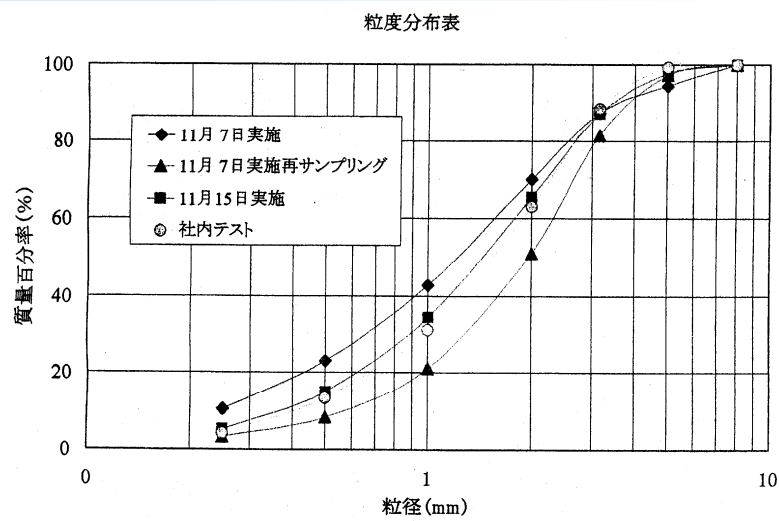


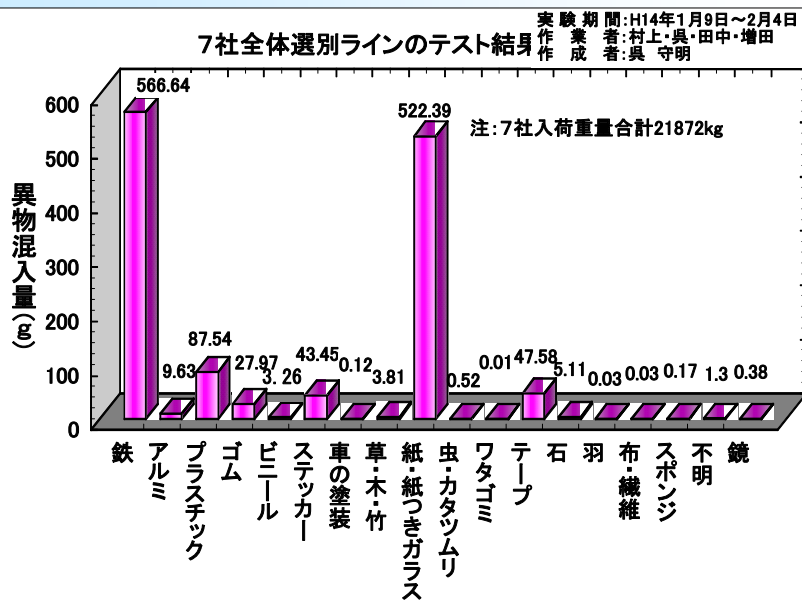
図 4. 自動車フロントガラス用 PVB 中間膜の熱重量測定曲線:
 測定条件: 昇温速度, 10°C/min; 雰囲気, N₂.
 a) 回収; b) 新品.



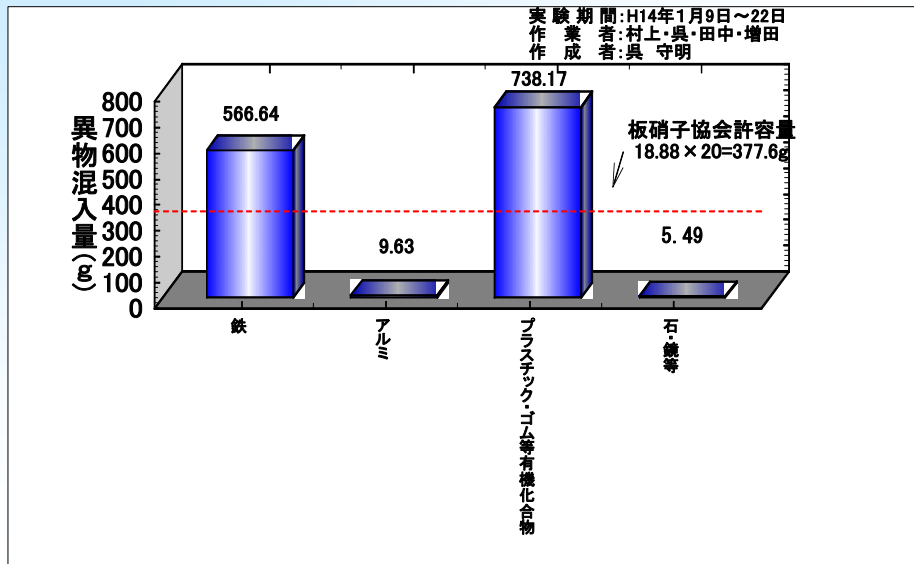
化学分析試験成績報告書

貴依頼番号		名称				試料				
		ガラス組成定量分析				ガラス				
試料名	成分単位	SiO ₂	Al ₂ O ₃	MgO	CaO	B ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	BaO	PbO	Cr ₂ O ₃
		%	%	%	%	%	%	%	%	%
①ELVカレット(S)		70.9	1.73	3.81	8.25	<0.01	0.41	0.01	<0.01	0.02
②ELVカレット(F)		70.7	2.02	3.59	8.47	<0.01	0.72	0.01	<0.01	0.02
試料名	成分単位	CdO	Na ₂ O	K ₂ O	As ₂ O ₃					
		%	%	%	%					
①ELVカレット(S)		<0.01	13.1	0.77	0.0001					
②ELVカレット(F)		<0.02	12.8	0.95	0.0001					

備 考 分析方法: JIS R3105"ほうけい酸ガラスの分析方法"に準ずる。

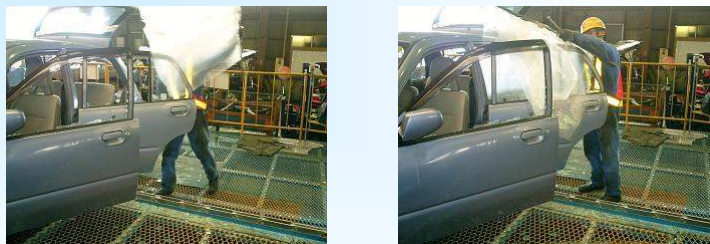


7社全体選別ラインでのテスト結果(解析)



(1-2) ドアガラス回収技術開発

ドアガラスの回収作業



☆ドアガラスを異物の混入が無く、効率的に回収する為に
ネット状の回収ツールを自動車メーカーと共同で開発

異物選別レベル : 重量比5PPM以下を実現

ドアガラスの事前選別フロー



(2) 銅(Cu)使用部品の回収量Up

ガラス・樹脂のリサイクルと合わせて手解体、重機解体の工法を研究・改善

■自動車リサイクル法施行に伴い

全部再資源化(Aプレス加工)基準の策定に寄与

(電炉製品の品質確保の為、Aプレス銅含有率0.3%以下・鉄分70%以上)

具体的には、大型・中型・小型毎に0.3%以下をクリアする為の

除去部品リストアップ及び除去作業工数の提示



ワイヤーハーネス



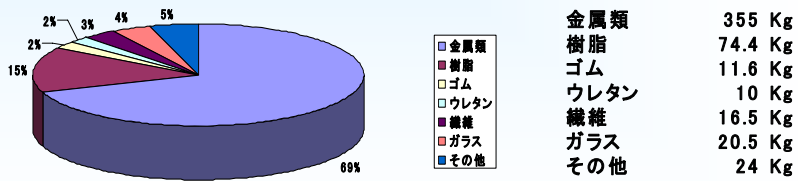
モータ類

例) 解体・溶解実験(1500ccクラスセダン)

Step1 解体実験

- ・解体時間 122分 (銅含有部品:43分・36アイテム)
- ・車重 1,011 Kg
- ・ガラ重量 512 Kg

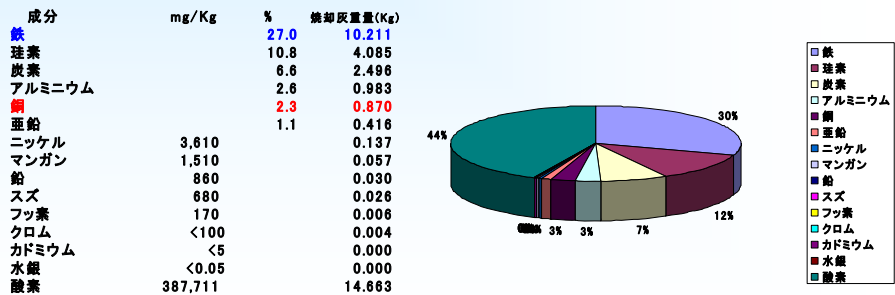
ガラ512Kgの構成



Step2 溶解実験前処理(ガラの燃焼加工)

ガラス以外を燃焼加工して、金属類と焼却灰とガラスに分け焼却灰の成分分析実施
(金属類:345Kg 焼却灰:37.8Kg ガラス:20.5Kg)

焼却灰成分分析値



Step3 溶解実験(検証)

燃焼加工した金属類を鋳造用電気炉で溶解し

溶湯の成分分析実施

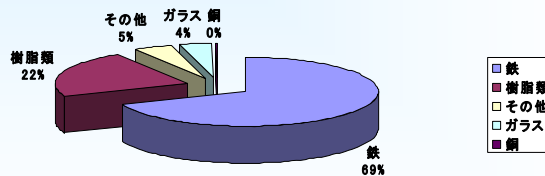
溶湯成分分析値

成分	単位: Kg				
	元湯%	元湯重量	ガラ添加%	添加後重量	ガラ重量
鉄	94.015	864.942	95.574	1,209.015	344.073
炭素	3.860	35.512	2.920	36.938	1.426
亜鉛	0.002	0.018	0.039	0.493	0.475
クロム	0.039	0.359	0.062	0.784	0.426
銅	0.013	0.120	0.039	0.493	0.374
マンガン	0.260	2.392	0.210	2.657	0.265
カドミウム	<0.001	0.009	<0.001	0.013	0.003
水銀	<0.001	0.009	<0.001	0.013	0.003
鉛	<0.001	0.009	<0.001	0.013	0.003
ニッケル	<0.001	0.009	<0.001	0.013	0.003
スズ	0.002	0.018	0.001	0.013	-0.006
アルミニウム	0.005	0.042	0.001	0.009	-0.033
珪素	1.800	16.560	1.150	14.548	-2.013

ガラの鉄及び銅の含有量

ガラ512Kgの構成

	単位: Kg			
	溶湯	焼却灰	ガラ重量	構成比%
鉄	344.073	10.211	354.284	69.22
樹脂類			112.360	21.95
その他			23.472	4.59
ガラス			20.480	4.00
銅	0.374	0.870	1.244	0.24



☆当社の解体方式で、Cu含有率0.3%以下Clear

(3) 樹脂部品の回収・リサイクル

PP製バンパーの回収・リサイクルによる

シュレッターダスト(ASR)の減量化の実証実験

実験メーカー数 4メーカー
実験台数 265台
回収バンパー本数 328本

回収対象車比率	61.9%
平均ASR減量重量/台	7.33Kg
リサイクル重量/台 (チップ状に粉碎加工)	7.28Kg



フロントバンパー

*回収比率が低いのは、材質表示無し・PP材以外・リユース対象等

平均ASR基準重量 180.0Kg 平均減量重量 7.3Kg

減量率 4.0% 見込める

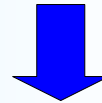
* 平均ASR基準重量: 当社の出荷実績で算出

当社の樹脂回収・リサイクル

- ・PP製バンパー
- ・PP製内装品
- ・PP-T製内装品
- ・ウォッシャータンク
- ・LLCリザーバータンク



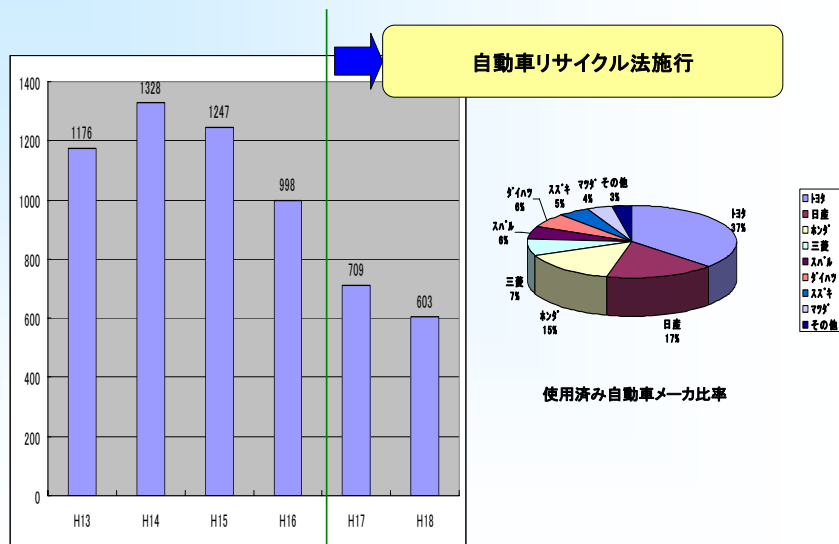
回収・粉碎加工



リサイクル製品



使用済み自動車集荷台数の推移(月平均)



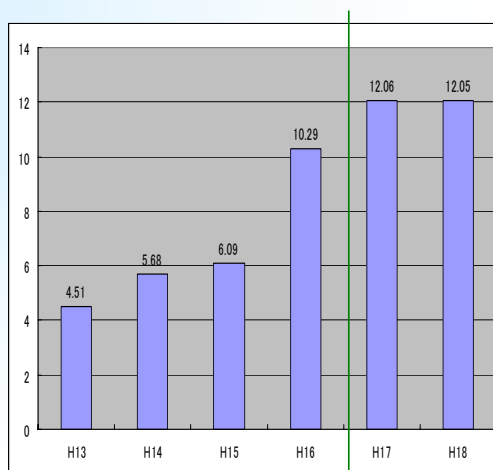
Before Shredder 成果

平均ハーネス回収重量/台の推移(Kg)

全部再資源化基準
 ガラの銅(Cu)含有量0.3%以下
 当社実績 0.24%

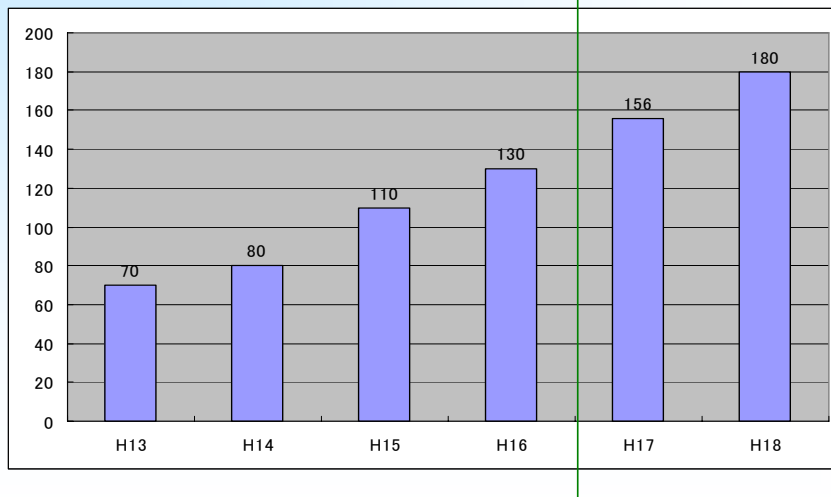


ワイヤーハーネス



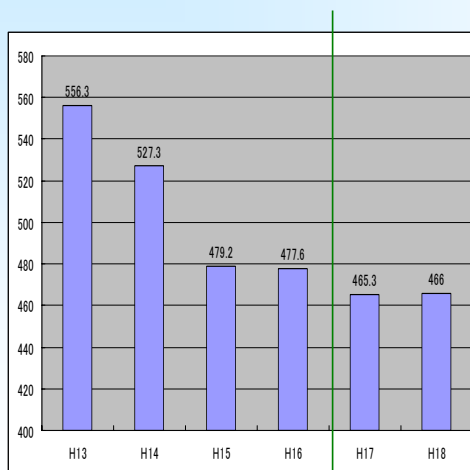
Before Shredder 成果

回収部品点数の推移



Before Shredder 成果

平均使用済み自動車ガラ重量/台の推移(Kg)



使用済み自動車ガラ

今後の取り組み(課題)

- (1)樹脂回収・リサイクルの拡大
 - ・PP以外の樹脂について、用途の研究・開発
- (2)新素材に対応するリサイクルシステムの構築
 - ・効率的な分離、分別回収及びリサイクルの研究
- (3)リアガラスの回収・リサイクルの検討
 - ・ネックとなる熱線の対応について、研究・開発
- (4)ハイブリット車の増加に対応
 - ・安全且つ効率の良い、解体工法の研究

最後に

企業理念

私たちは、より高度な循環型社会を実現するために、使用済資源をより効率的に再利用する技術(ET: Environment Technology)の研究・開発に尽力し、その適切な再利用・処分を、お客様(排出元)にとっては利便的且つ経済的に。

環境に対しては負荷を少なく実現する。

独自の重層的なシステム(RECYINT)の構築を行い、その活用と普及により地球環境の改善に貢献する。

井尾ガラス㈱

杉本好造

板ガラス再資源化の現状と課題

1. 弊社の事業内容概略

① 事業所

新木場工場（東京）、札幌工場・江別工場（北海道）、若柳工場（宮城県）、白河工場（福島県）、館林工場（群馬県）、大井川工場（静岡県）、以上7拠点。

各工場は、納入先メーカーの近郊に所在。江別工場および若柳工場はファイバー（ガラス繊維）メーカーのインサイドプラント。

② 回収エリア

各工場を回収拠点に、東日本全域を回収。北海道全域／札幌・江別工場、東北地方北部／若柳工場、東北地方南部／白河工場、北関東／館林工場、南関東・首都圏／新木場工場、東海地方・豊橋／大井川工場。甲信越地方は、協力会社が回収を行っている（ストックポイント、経済ロット貯まったら弊社へ搬送）。

③ 扱量・取扱品目

全社で約12万トン／年（内、4割弱が新木場工場）。取扱品目は大別すると、建築用板カレット（自動車ガラスも一部含む）・ガラスびんで、大雑把な比率は各50%。ただし、全てが同じ品目（向けのカレット）に再生されるわけではなく、ガラス製品であってもガラス短繊維等、他の素材に再生されるものもある。又、舗装・骨材等、ガラス製品以外での需要もあるが、納入価格が安価であり需要も安定していない（このような用途は主にガラスびんが対象）。

ブラウン管、ホウ珪酸等の異質ガラスは扱っておらず、原則、ソーダライム系のガラスのみ。

※ 一部の工場においては、液晶バックライトの粉砕加工（メーカーの工場カレットを再生できるスペックに加工）等、専用のプラントで処理しています。

④ 処理工程

基本的な処理工程は、手選別・破碎・磁選（金検）等で異物を排除。再生品目・納入先メーカーのスペックに応じた工程で処理。同じ品目であっても納入先によってスペックが異なる場合もあり、それぞれ処理能力も異なります。

※ 処理工程は、別紙（新木場工場処理工程概略フロー）御参照。他工場も基本的な工程は同じですが、新木場工場よりは簡易的なプラントです。

2. 板ガラス再資源化の現状

高機能ガラスの普及により、分別は細分化が必要とされている。

カレットの発生元（回収先）は、ガラスメーカーのサテライトセンター、サッシメーカーの工場、ガラス問屋・一般ガラス店等。ガラスメーカーではカレットが不足しているが、昨年の建築基準法改正以降、カレットの発生は激減（約4割減）している。

解体・改修工事等で発生するガラスも増加傾向にはあるが、全体的な比率では微量。又、同ガラスは分別が徹底していない、異物の混入があり、ガラス製品向けに使用できない（し難い）ケースも多々ある。又、タイトな市況ではあるが、カレット納入価格は下落傾向にある（下げ止まった感はあるが他に販路もなく買手市場、輸出は稀なケース）。

※ ガラスびんも含め、タイトな市況となってもここ10数年、カレット納入価格の値上げは実施されておられません。原油価格の高騰がメーカー各社の製造コストを圧迫していることは理解できますが、カレット価格の他にそれらを吸収できる要素がないとの強引な論理（メーカー御関係者がいらしたら失礼申し上げます！）で、場合によっては納入価格の値下げが実施されております（前述のとおり、他に販路がなくカレット業各社は抵抗できないのが実情）。

① 板ガラス（カレット）の一般的な分類

板ガラスメーカーではカレットがあまり必要とされていなかったため、板ガラス関連のカレットはグラスファイバー等、他の用途への販路が開拓され現在に至る。

しかしながらタイトな市況となり、板ガラスメーカーへの供給にシフトされつつある。ただし、板ガラスメーカーの国内窯は、横浜・鹿島・千葉・松坂の4箇所しかなく（A社の愛知は鹿島冷修による一時的なもの？）、輸送コストを加味すると採算性に欠ける、又、従来の用途と比較すると品質的荷厳しい等（分別の細分化等）、地域によっては従来の用途への供給のほうが条件的に有利である。

◇ 普通板ガラス（FL・AB）

通常の中回収では、下記3種は一元管理であるが、納入先メーカーのスペックによっては、分別が必要とされている場合もある。原則、処理したカレットは、ガラスメーカーに納入（一部、ガラス短繊維・その他）。

■ フロート（フロート製法の板ガラス）

■ 型（〃 および型板ガラス）

■ Low-e

※ Low-eは、高機能ガラスの分類に入れるべきと思われますが、弊社工程では板ガラスと同管理です。

◇ 網板ガラス

ガラスメーカーのサテライトセンターで発生するカレットは、同メーカーの工場に納入（回収し工場へ直送）。一般市中回収のカレットは、弊社で処理し、主にグラスファイバーメーカー（ガラス短繊維）に供給している。最近のカレット不足により、一般市中回収のカレットも、一部はガラスメーカーに供給しているが、この場合、線網ガラスの別管理が必要とされている（C社の線がSUS製で、ニッケルの混入はガラスメーカーでは厳禁）。

※ 網板ガラスの“網（磁性体）”は、粉碎・除鉄しスクラップとして売却しています。

◇ 高機能ガラス

複層ガラスのスペーサー（アルミ枠）・乾燥剤、合わせガラスの中間膜を排除する必要があり、通常カレットと比較すると処理コストが掛かる。

■ 複層ガラス

：1次粗処理（スペーサーの分離/解体）・2次処理（異物・乾燥剤の排除/洗浄・篩い）・3次処理（手選別・粉碎）の3工程を経て、グラスファイバーメーカーに供給している。

：昨年末、板ガラスメーカーでも数百トンを試験的に使用いただいたが、現在のところ継続には至っていない。

※ 分離したスペーサー（枠の部分）は、アルミ屑として売却しています。

■ 合わせガラス

：弊社では、1次処理（粗破碎）・2次（粉碎）を経て、グラスファイバーメーカーに供給している。ただし、中間膜が排除しきれず、使用量には限界がある。過去（約30年前）には、ロータリーキルンで中間膜を焼却し、ガラスメーカーへ供給していた実績はあるが、同工程での処理は、大きな設備投資が必要であり、燃料費も高騰しているため、現在の市況では困難である。

：薬剤処理での中間膜の分離等の方法も検討しているが（一部他社では実施・中間膜は高価で売却）、現在の扱い量では償却が困難であり、回収網の構築（ボリュームの確保）が課題。建築用合わせガラスのみならず、自動車フロントガラスも加味する必要がある。

◇ 自動車ガラス

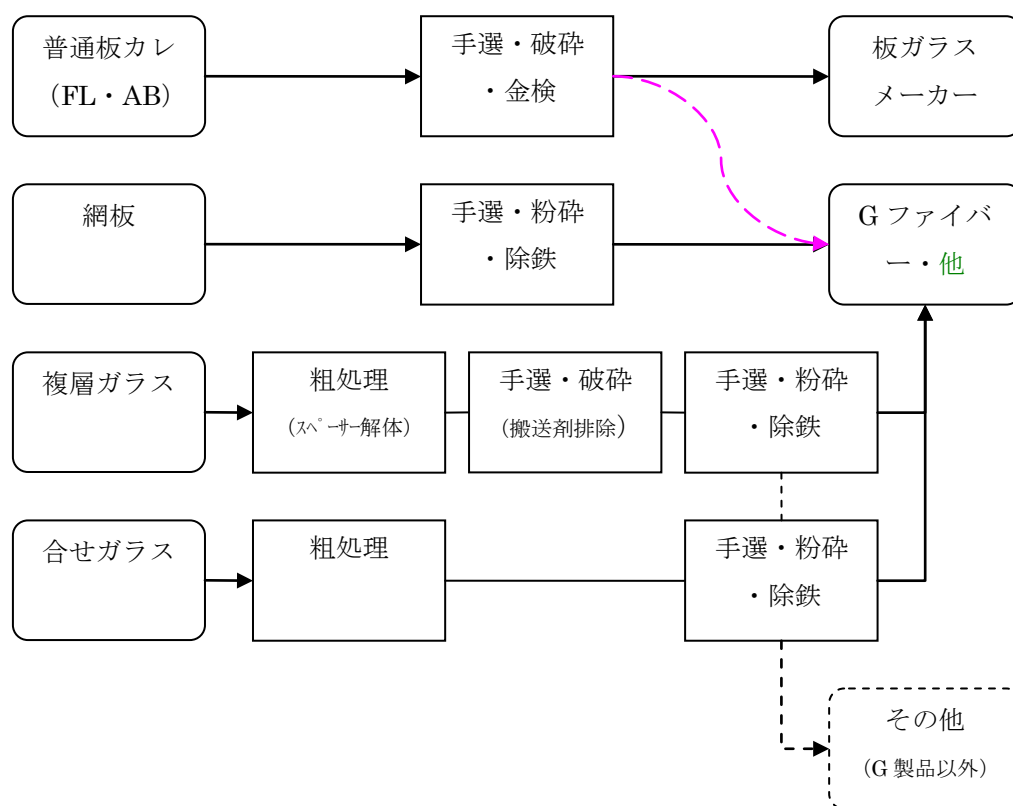
弊社で扱っているのは工場カレットのみ（加工前のガラスのみ、自動車解体ルートガラスは扱っていない）。一般的には（自動車ガラスを回収している同業他社では）、フロントガラス・サイドガラス・リアガラスは、それぞれ分別回収されている。

◇ その他（ミラー、内装用ガラス等）

ガラス短繊維向け又はガラス製品以外の用途に向けている。業界全体においては、産業廃棄物（再生以外を目的）として回収されているケースもあると推察する。

② 弊社板カレットの品種別概略工程・主な再生品目フロー

ガラスメーカーサテライトセンターのカレット等、一部を除いては弊社の工程で再生品目・納入先別のスペックに応じて処理している（具体的な処理工程については、1. ④同様に別紙：工程概略フローを御参照）。



※ **ピンクの破線**は、輸送コストを加味すると、板ガラスメーカーへの納入は困難な地域（主に北海道・東北地方）のカレットです。

※ Gファイバー・他の“他”は、蛍光管等の原料にも一部となっております。

3. 課題

① 回収事業関連

カレット業界全体的に、回収業務は各社専属の回収業者へ委託していることが多いが（自社車両での回収もあり）、回収業者各社は高齢化している。カレットの発生産量が激減している市況において、更に板ガラスメーカー各社のセンターおよびグループ会社を直接回収（素板を納品した復荷によりカレットを自社工場へ輸送）が展開され、回収業者が事業として成り立つボリュームはなくなってきている。又、燃料費の高騰は、回収業者各社の回収コスト（カレット業者各社の納入輸送コストも）を圧迫しており、魅力のある事業ではなく後継者が育ちづらい状況にある。カレット業各社が自社車両で回収する場合も、燃料費の高騰は同様に大きな負担で、車両の維持費等の固定費もかかり、非常に厳しい状況である。

前述のとおりメーカー各社は、センターおよびグループ会社の直接回収が展開されているが、あくまでも大口の回収先が対象とされているものであり、一般のガラス店回収までケアできないと推察する。回収業者は（カレット業自車回収も）、一般のガラス店回収のみでは事業として成り立たないため、メーカーの直接回収が更に展開されれば、結果、カレットが市場で更に不足してくる（産廃処分へシフトされる）。

② 高機能ガラスの再資源化

高機能ガラスの普及により、分別の細分化が必要とされているが、小さな回収先では多品種を分別保管するスペースがない。又、同ガラスは、通常のカレット処理よりも複雑な処理工程が必要である。工程の合理化・機械化には大きな設備投資が必要とされるが、脆弱な経営基盤のカレット業者としては非常に困難である。

③ 処理コスト

燃料費の高騰（1年間で50%、3年間で80%の値上）は、回収・納入の輸送コストのみならず作業系車両の燃料費も同様で、更に鋼材価格も高騰しており、直接的に大きな負担となっている。又、コンプライアンス（やむを得ないが）、品質規格の厳格化により間接的な影響も増大している。

④ カレット価格

ガラスメーカー各社（ガラスびんも含む）において、バッチ原料の価格が下がるとカレット価格の値下げを要請（現実的に実施）されるが、バッチ原料の価格が上がっても、カレットの価格は逆に値下げを要請される。納入価格の値下げは死活問題であり、事業の継続には適正価格の維持が必要だが、納入先メーカーとのパワーバランスで困難である（先述2.の※が実情）。納入価格の下落・処理コストの高騰は、自助努力だけでは吸収しきれず、回収カレットの価格（回収先渡しのカレット価格、回収・処理費）にも影響を及ぼす（地域によっては産廃処分したほうが、价格的メリットが生じる）。

⑤ カレットの品質規格

板ガラスメーカーで使用されるカレットは、回収からメーカー工場へ直送・使用されているものと（カレット業者の工程処理が不要）、カレット業者の工程処理を経て納入・使用されているものがある。回収されたカレットは、経験則で何かしらの異物が混入している（異物でなくても、板カレットに網板が混入している等）。現在はカレット起因によるトラブルは発生していない（らしい）が、カレット比率が高まると、カレット起因による品質的なトラブルが発生してくるのでは（メーカーにとっては余計なお世話かもしれない）？

※ ガラスびんカレットの場合、カレット比率が年々高くなる（10数年前は50～60%、現在は90%前後）のと連動して、カレットの品質規格も厳格になってきております。又、びん協加入の大手製びんメーカーで、カレット品質規格が統一されております。

⑥ 廃棄物処理および清掃に関する法律の適用に関して

ガラスびんの再資源化を目的とした回収・処理事業は、多くの県・政令市（以下：県）で、廃棄物および清掃に関する法律（以下：廃掃法）の第14条第1項・第4項ただし書きにおける、専ら再生利用の目的となる廃棄物（以下：専ら物、条件を満たせば業の許可が不要）として認知されている。しなしながら、板ガラスの再資源化を目的とした回収・処理事業は、ガラスびんと同様に安定したカレット市場があるにもかかわらず、県によって見解が異なる。

ここ数年はタイトな市況であるが、長期的なスパンではカレットが余剰することもあり得（実際過去にあり）、この場合、廃掃法の保管期間に抵触する可能性もある。又、同じ種類のガラスであっても、発生量・品質等によって取引条件が異なり、これらを実務的に区別することは困難（現実的に不可能）である。その他、ガラスの再資源化事業を純然な産廃の定義にあてはめると、実務的な運用が困難な事項が多々ある。

※ 業の許可を取得する意向であっても、立地条件により許認可が困難な事業者もあります。

※ 東京都・群馬県・横浜市では、弊社の板ガラス再資源化事業を、専ら物として取り扱うことに理解が得られております。その他の県・政令市においては、明確な回答がない又は業の許可が必要とされております。

※ 弊社では、基本的には板ガラスを専ら物として取り扱っておりますが、産廃収集運搬業・中間処分業の許可が必要とされる取引（排出先のニーズ）もあり、関連会社および協力会社で業の許可を取得し、必要とされた場合に適用させております（ただし、事務処理上の区別であって、実務的には産廃も専ら物も同じ）。

⑦ その他

ガラスびんの場合、容器包装リサイクル法の入札制度（総コスト納入価格で安価な業者が落札）により、遠隔地のカレットも（市町村のガラスびん、事業系は異なる）も、カレット市場で循環するようになっている。ただし、製びんメーカーで必要とされるカレットを、ガラス製品以外の業者（骨材・舗装材・埋め戻し材等）が落札しているケースもある。

板カレットは現状、各カレット業者工場の近郊にある既存納入先（ガラス製品メーカー）へ供給されている。板ガラスメーカー各社は、自社製品のカレットを自社グループで循環するように交通整理しているが、遠隔地からの輸送コストをカレット業者が負担することは、現在の市況では困難である（実際にそのような案件の照会を受けているが、輸送費を加味した評価をしていただけない）。全てメーカーが直接回収し、工程処理せずに使用できるのであればカレット業者は不要となるが、先述のとおり、末端の回収先まではフォローできないと推察する。

以上

Ⅲ. インバース情報調査広報委員会

インバース情報調査広報委員会

本委員会は、インバース・マニュファクチャリングフォーラムのメンバー間で公募情報や最新技術などの情報を共有すること、フォーラム成果を周知徹底させることを目的に平成14年度に発足した。

平成19年度は、講演会、見学会など従来から実施していた活動のほかに、メールマガジンの発行（試行）やホームページの改訂に取り組んだ。

1. 総会併設講演会

日時：平成19年6月18日（金）10:00～11:00

場所：虎ノ門パストラル新館6階 ロゼ

参加者：25名

講演：「東芝の環境戦略」 実平喜好（株）東芝 環境推進部長

東芝グループでは、「驚きと感動」「安心と安全」「快適」をテーマにした豊かな価値の創造と「地球温暖化の防止」「資源の有効活用」「化学物資の管理」など地球環境保全との両立が持続可能な社会の発展に繋がると考えているということで、具体的事例として、ライフサイクル思考の重要性、ガバナンス体制、LIME（産業技術研究所によるLCA手法）を使った環境影響評価、環境効率ファクターTなどの紹介があった。

聴講者からも、設計時にLCAを計算して活用しているか、環境監査の位置づけ、枯渇資源使用についての考慮があるかなど活発な質問があった。



2. サステナブル・マニュファクチャリングシンポジウム

日時：平成20年3月12日（水）13:30～18:00

場所：東京大学本郷キャンパス工学部11号館講堂

参加者：120名

- ・持続可能社会におけるものづくり 産総研 理事長（フォーラム会長） 吉川 弘之
- ・技術戦略マップとサステナブル・マニュファクチャリング

経済産業省 渡邊 政嘉

- ・2050年の日本経済と温暖化問題 湘南エコノメトリクス 室田 泰弘

- ・企業のものづくり戦略

(1) 松下電工におけるサステナブルマニュファクチャリング

松下電工(株) 小畑 外嗣

(2) キヤノンにおける環境への取り組み

キヤノン(株) 古田 清人

- ・設計・製造・加工におけるサステナブル・マニュファクチャリング技術戦略マップ

大阪大学 梅田 靖

- ・持続可能社会シミュレータの概念

東京大学 藤本 淳

- ・インバース・マニュファクチャリングの今後の展開

東京大学 木村 文彦

インバース・マニュファクチャリングフォーラムでは平成8年12月の発足以来、循環型社会における製造業のあるべき姿（サステナブル・マニュファクチャリング）を追求しており、このシンポジウムで、サステナブル・マニュファクチャリングを考えるのに有効な、多方面からの情報を提供することが出来た。

講演に対して活発な質疑もあり、サステナブル・マニュファクチャリングの重要性や、インバース・マニュファクチャリングフォーラムがサステナブル・マニュファクチャリングの技術戦略マップ作成や持続可能社会シミュレータの検討に取り組んでいることについて広く理解が得られ、所期の目的を達成することができた。



3. 見学会

東京エコリサイクル㈱

日 時；平成19年11月28日（水）13：30～15：30

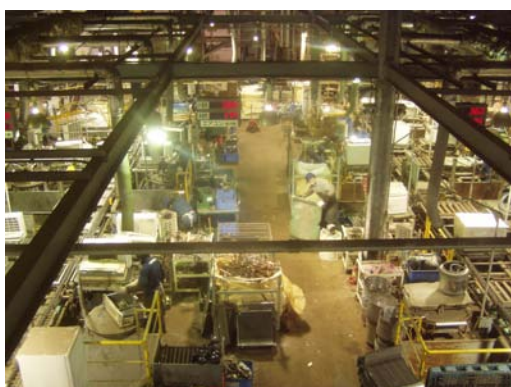
場 所；東京エコリサイクル株式会社

東京都江東区若洲 38 番

参加者：17名

この工場では、家電販売店などから運ばれてくる使用済みの製品を、まず人手によって、冷蔵庫やエアコンの冷媒フロン、ブラウン管、モータ、コンプレッサや電子基板等を取り外して再資源化を容易にした後に、筐体を破砕し、磁力、渦電流、風力などを使う設備により、材料ごとに分別回収している。冷蔵庫の断熱材の発泡ウレタンに含まれるフロンガスも凝縮して回収している。分別された金属やプラスチック類はリサイクル業者の手により再資源化される。

人手によるバッチ処理的な解体作業と機械による自動分別を合わせたシステムが日本のリサイクルシステムの特徴であり、今回、製品ライフサイクルの中で生産側からは見えにくい側面をつぶさに見学することができ、今後の製品、システムの設計やビジネス、研究開発のヒントとして、フォーラムの活動にも反映されていくことが期待できる。



4. ホームページの改訂

従来は手作りのホームページであったが、デザインも製造科学技術センター全体のホームページとトーンをあわせて、階層型の使いやすいものにした。必要情報はテキスト入力により随時更新できるようにしてある。

<http://www.as2008.dev-asp.net/imf/00/default.aspx>

5. メールマガジン試行

フォーラム会員への情報サービスとしてイベントカレンダー、公募情報、会員訪問などの記事を掲載したメールマガジンを2月に第1号として発行した。

2ヶ月おきに3号まで発行したところで見直す予定になっている。会員への情報サービスが目的であったが、会員外へも転送できる内容になっている。

●	-----
-----●	インバース・マニュファクチャリング・フォーラム
	メールマガジン（第1号 2008/2/25）
●	-----
-----●	-----

	□ 目次
	[巻頭ひとこと]
	●インバースMFメールマガジンをお送りします
	[関連カレンダー]
	●インバースMF行事
	●学会・セミナー
	●補助制度 公募情報
	[インバースMF会員を訪ねて]
	●第一回 木村文彦教授（インバースMF企画委
	員）

**サステナブル・マニュファクチャリング
シンポジウム（2008年3月12日）の講演から**

持続可能社会におけるものづくり

吉川弘之

産業技術総合研究所

インバースマニュファクチャリングフォーラム
サステナブル・マニュファクチャリング シンポジウム

HY

2008年3月12日 東京大学

1

Rachel Carson: *Silent Spring* (1962)

《自然の征服》—これは人間が得意になって考え出した勝手な文句に過ぎない。
…………おおよそ学問とも呼べないような単純な科学の手中に最新の武器があるとは、
なんと空恐ろしい災難であろうか。恐ろしい武器を考え出してはそれを昆虫に
向けていたが、それはほかならぬ私たちの住む地球そのもの向けられていたのだ。

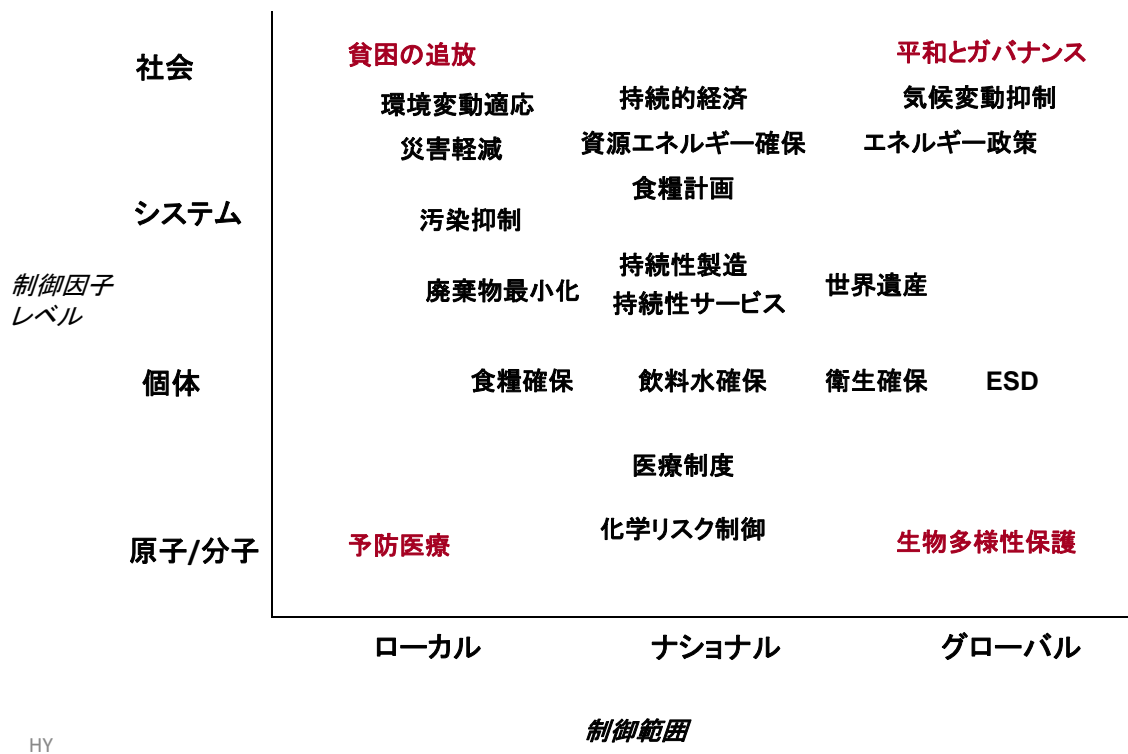
(*Silent Spring*, 1962; 沈黙の春、青樹築一訳, 新潮社、2001、p.325)

1945年に農薬DDTについて最初の警告を発し、17年後の1962年に“*Silent Spring*”を
出版。大きなインパクトを社会に与えた。(広範な知識と忍耐力)

HY

2

持続性社会実現のために必要な、様々な行動



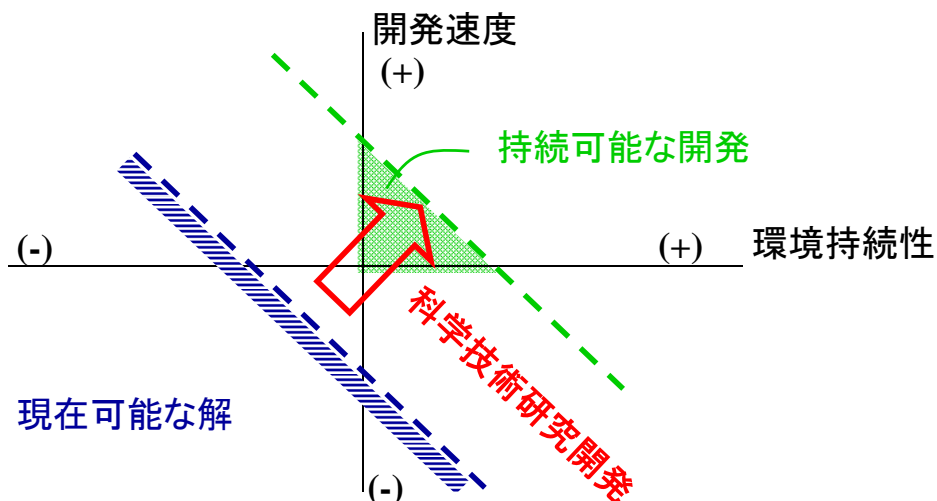
HY

3

Gro H. Brundtland : 持続可能な開発

持続可能な開発 (Sustainable Development: 我ら共通の未来、1987)

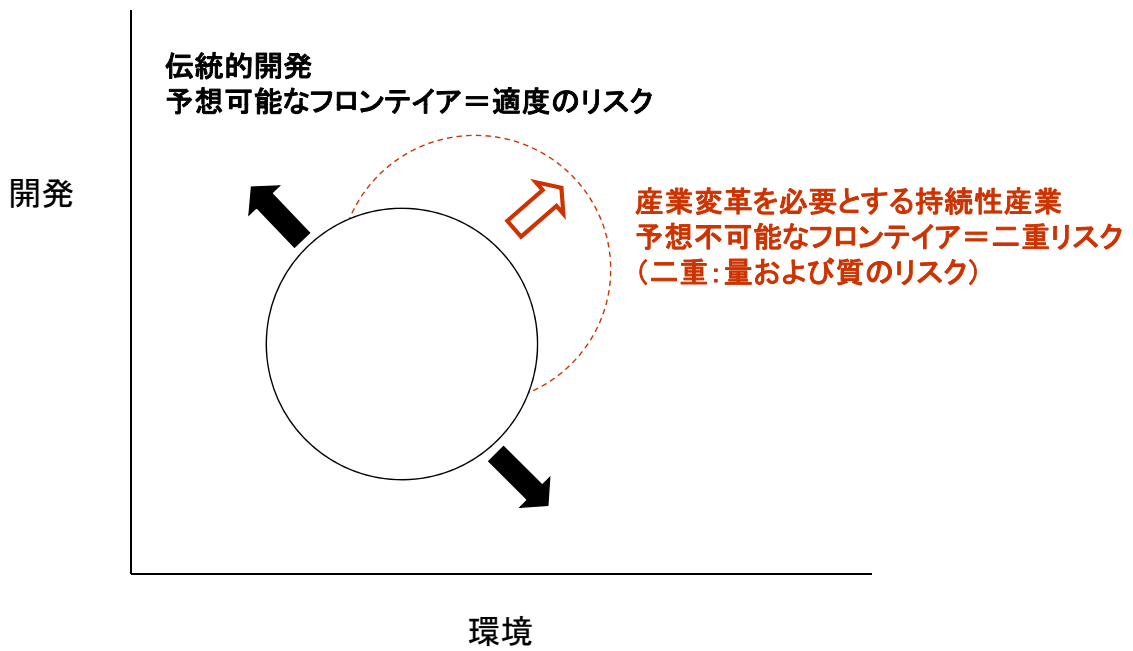
= (地球環境の持続) ^ (低開発地域に重点を置いた開発)



HY

4

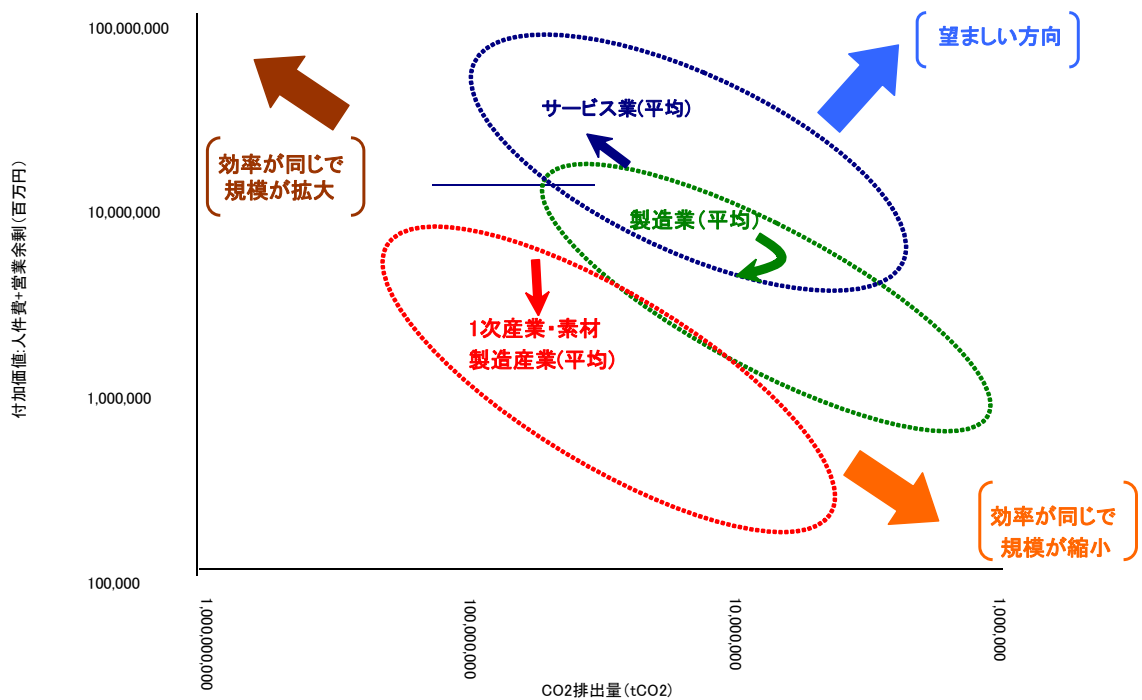
サステナブルな社会に向けた産業の重心移動



HY

5

産業活動の重心移動の指標(産業別)

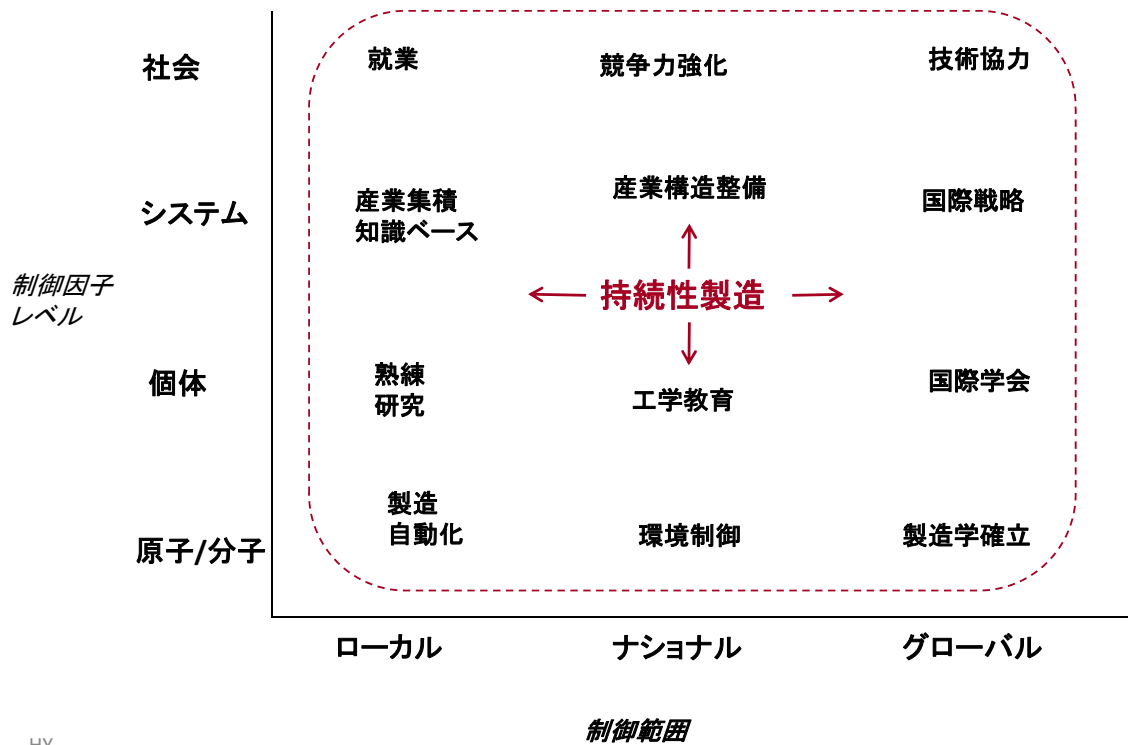


持続性に向けた産業科学技術委員会(産総研)

1990-1995-2000

6

持続性製造実現のために必要な、様々な行動



2050年までの地球の課題

1. 国際的課題

社会: 国際的格差の是正、貧困の追放

政治: 国家間抗争の解消

環境: 地球環境の維持

2. 現実の危機

社会: 飲料水・食糧・エネルギー・資源の不足

政治: 利益・資源の争奪、文明の衝突

環境: 気候変動(地球温暖化)・廃棄物増加・生物多様性減少

3. 危機を回避して持続性の達成

誰が?

どのようにして?

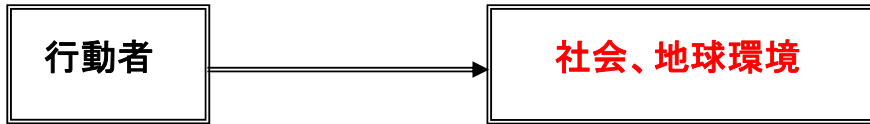
誰が？ → 行動者

教育者
 報道者
 作家
 芸術家
 技術者
 経営者
 管理者
 政治家
 政策立案者
 行政者
 司法官
 科学者

これらの人々は、それぞれの専門的行動を通じて社会に専門的成果を発信し、社会における様々な受け手に影響を与えてゆく行動者である。

個々の行動者が善意で行動したとしても、多くの行動は複雑に関係しながら行動者の予期しなかった変化を社会にもたらす。変化は、経済的繁栄、良好な生活環境、安全健康等の良いものから、格差拡大、抗争発生、環境破壊等の悪いものまで多様である。

持続的社会とは変化しない社会でなく、悪い変化を排除し、全体として良い変化を続ける社会である。それは、**持続進化 (Sustainable Evolution)**と呼ぶことができる。

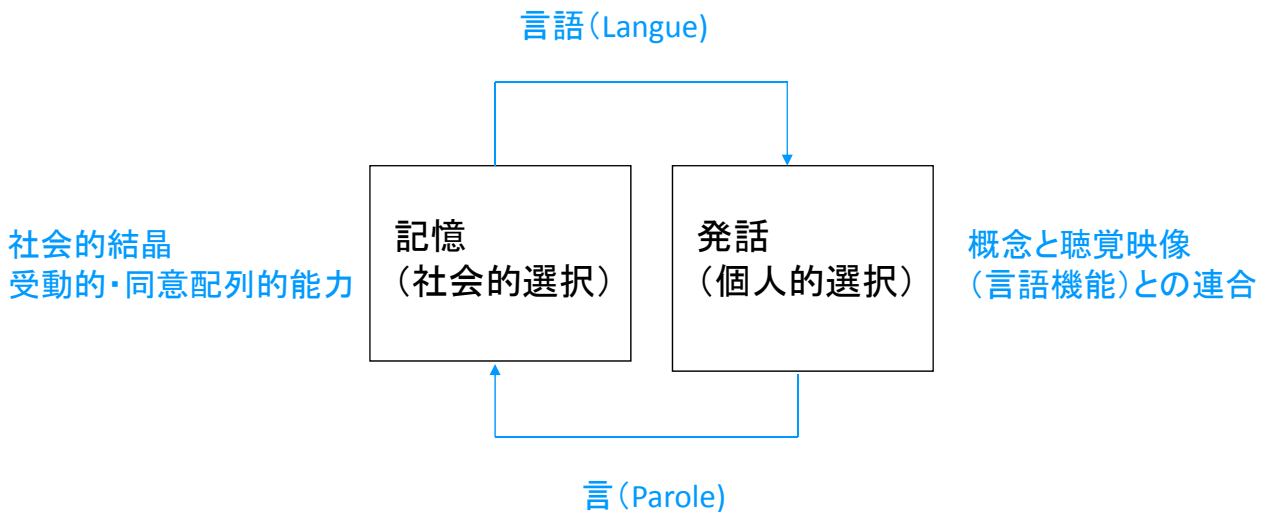


HY

9

情報循環による言語の生成・進化

(Ferdinand de Saussure)

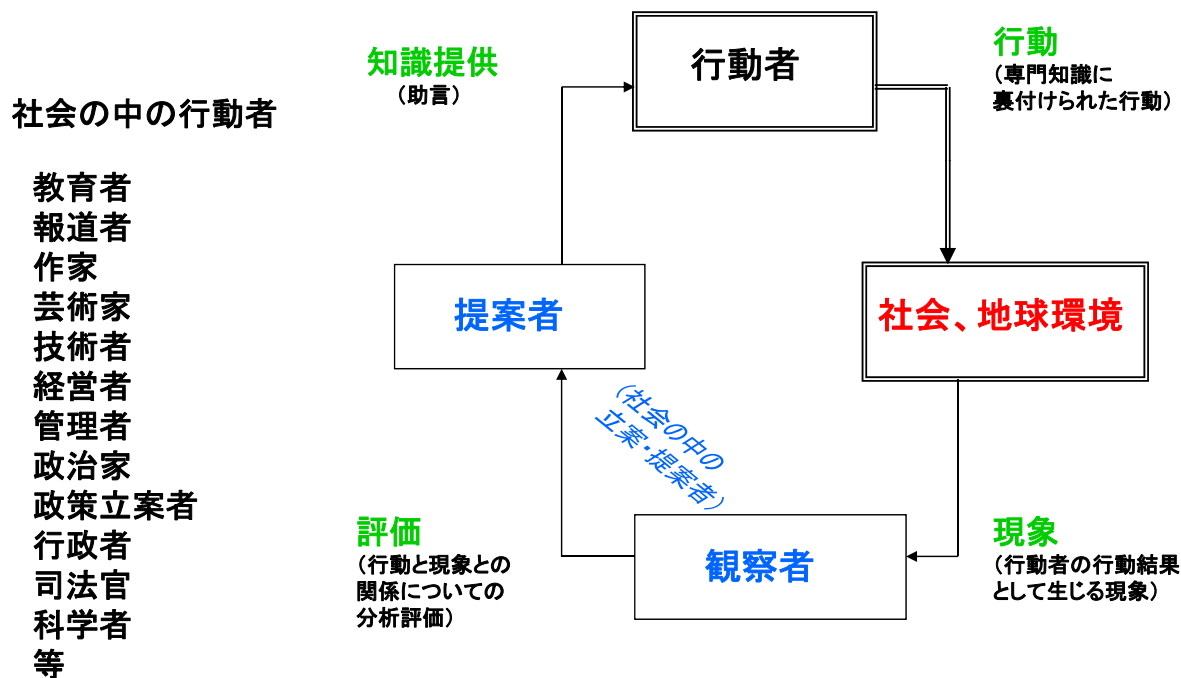


小林英夫訳 一般言語学講義(岩波、1972)p.29の文より作図

HY

10

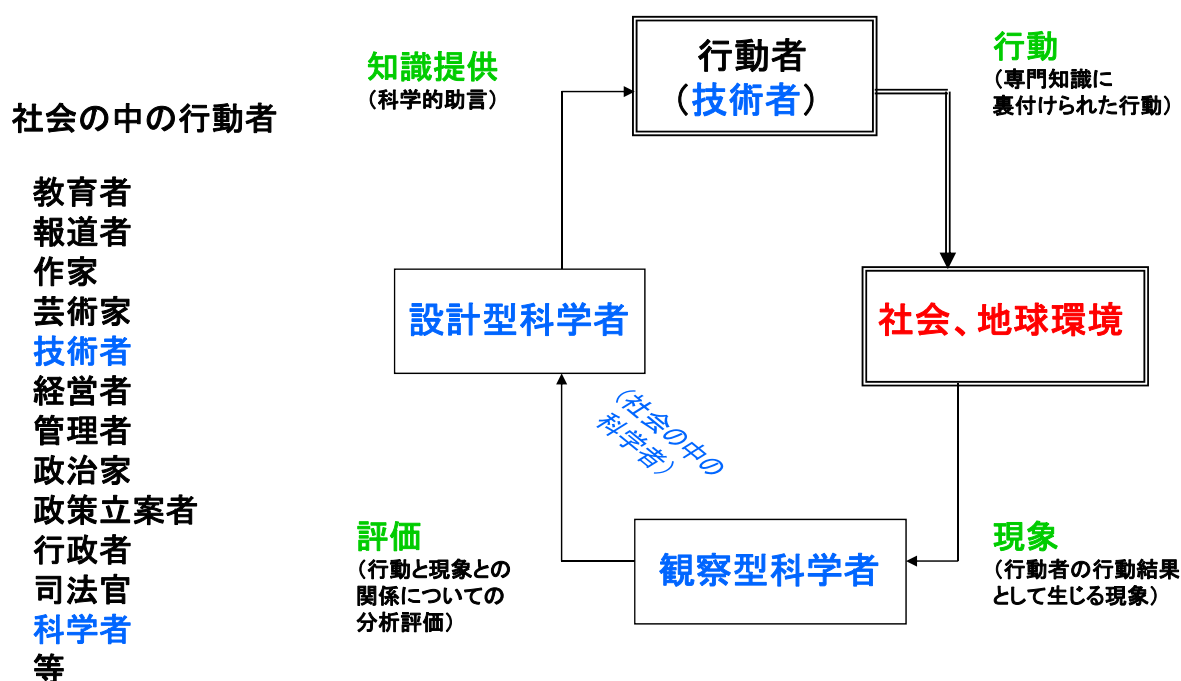
持続進化のための“社会的ループ”



HY

11

持続進化のための科学者と技術者の役割

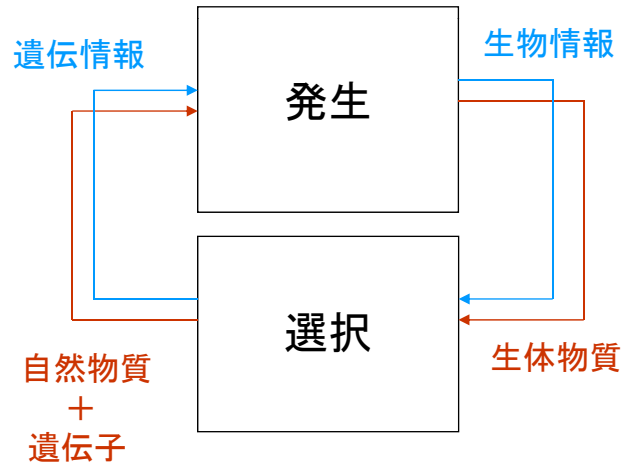


HY

12

生物の進化

自然における物質循環と情報循環の同時発現

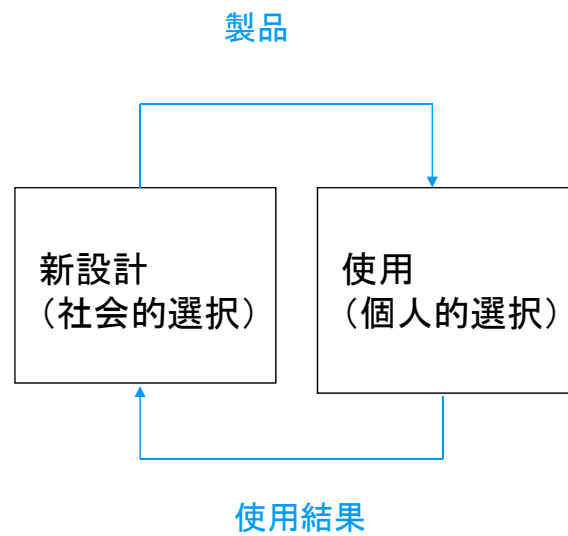


進化の条件: 物質循環による持続性と情報循環による進化可能性

HY

13

製品の市場選択による進化性

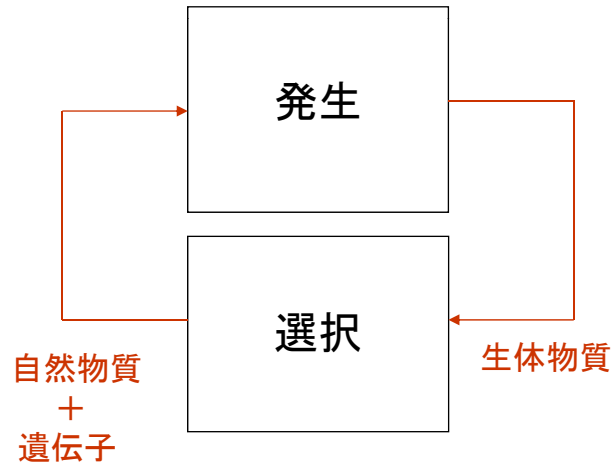


HY

14

生物の持続性

物質の循環

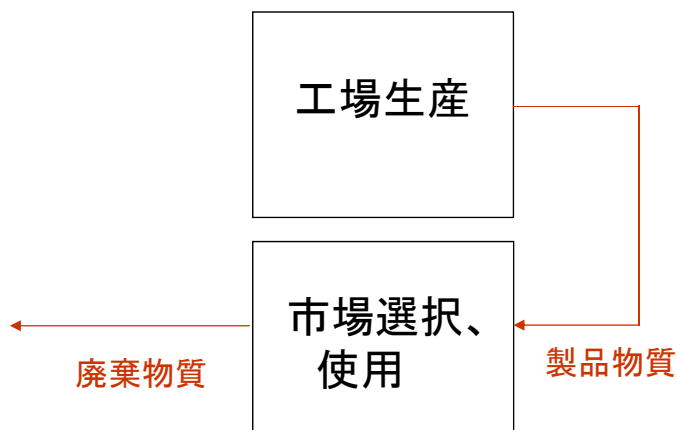


HY

15

現代の製品の非持続性

進化の可能性を与える情報循環はあるが
物質循環がないために持続性がない

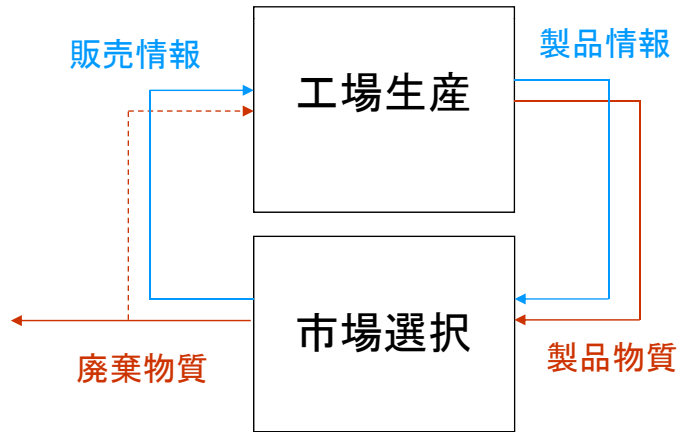


HY

16

現代の製品の不完全な進化

進化の可能性を与える情報循環はあるが
物質循環がないために持続性がない



HY

17

物質循環の閉回路化による持続性の付与



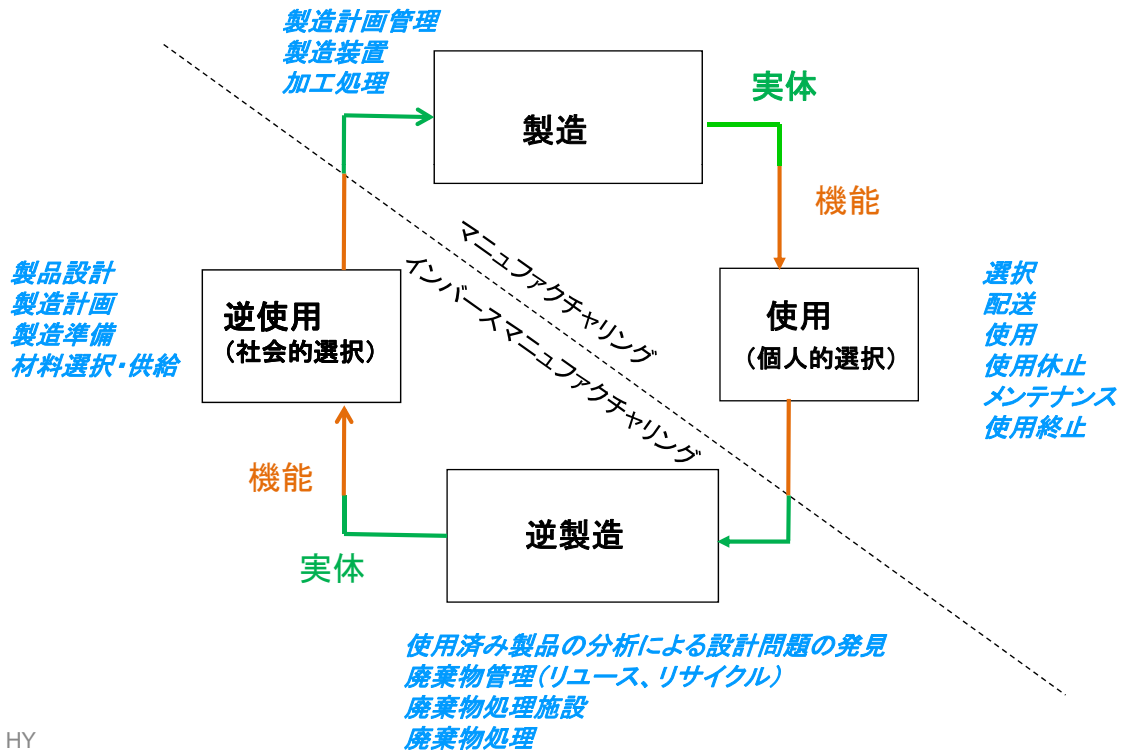
山家讓二、還元工場論、工業技術、1975

HY

18

合一化された情報循環と物質循環(持続進化型製造業)

機能と実体の対応の存在(一般設計学)によって合一化が保証される



HY

19

社会的価値(製品とサービスの関係)

1. 人々にとっての価値は製品そのものでなく、その製品が発揮する**機能**である。
2. ある製品の**機能**とは、その製品にあらかじめ埋め込まれた**サービス**を含む。
3. 潜在的な**機能**は、その製品が使われたとき(使用、Use) **サービス**として現れる。
(人がある製品を使うとき、それにあらかじめ誰かが埋め込んでおいたサービスを受け取る)
4. ある製品の**機能**は、それが使われると減少する。

$$\text{機能} = \Sigma \text{サービス} \quad , \quad \text{サービス} = -d(\text{機能})/dt$$

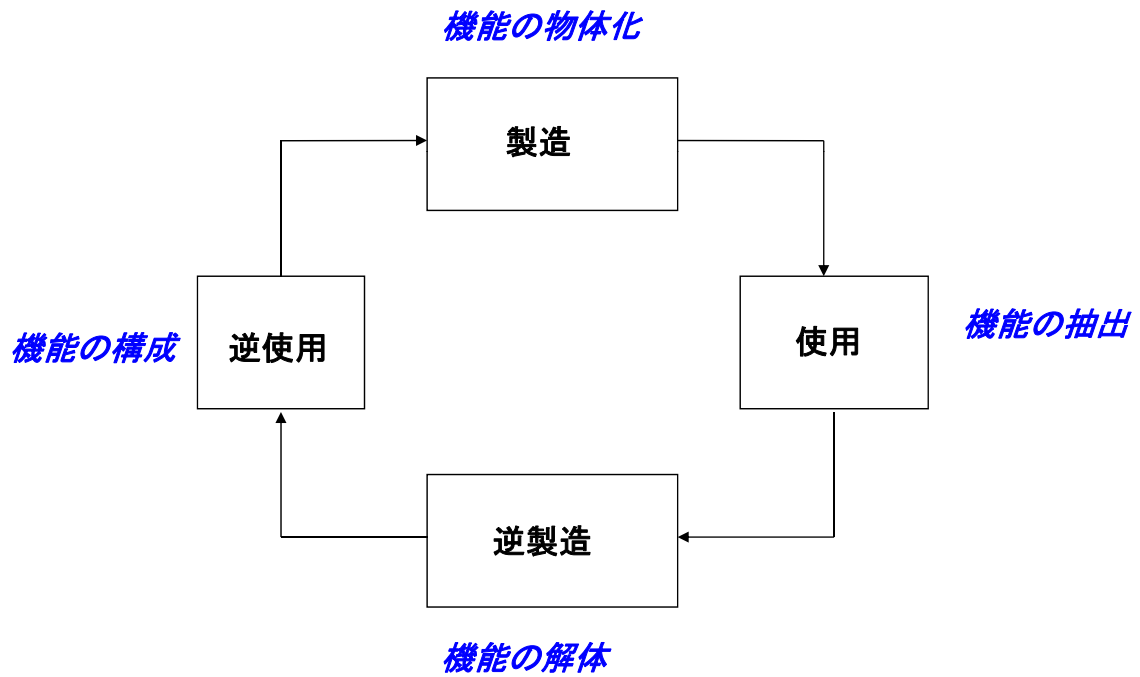
(埋め込まれた全サービスを使い切ったとき、製品は寿命に到達する)

5. 従って、製品の潜在価値を**機能**によって測りうる。それは得られる**サービス**の総量である。

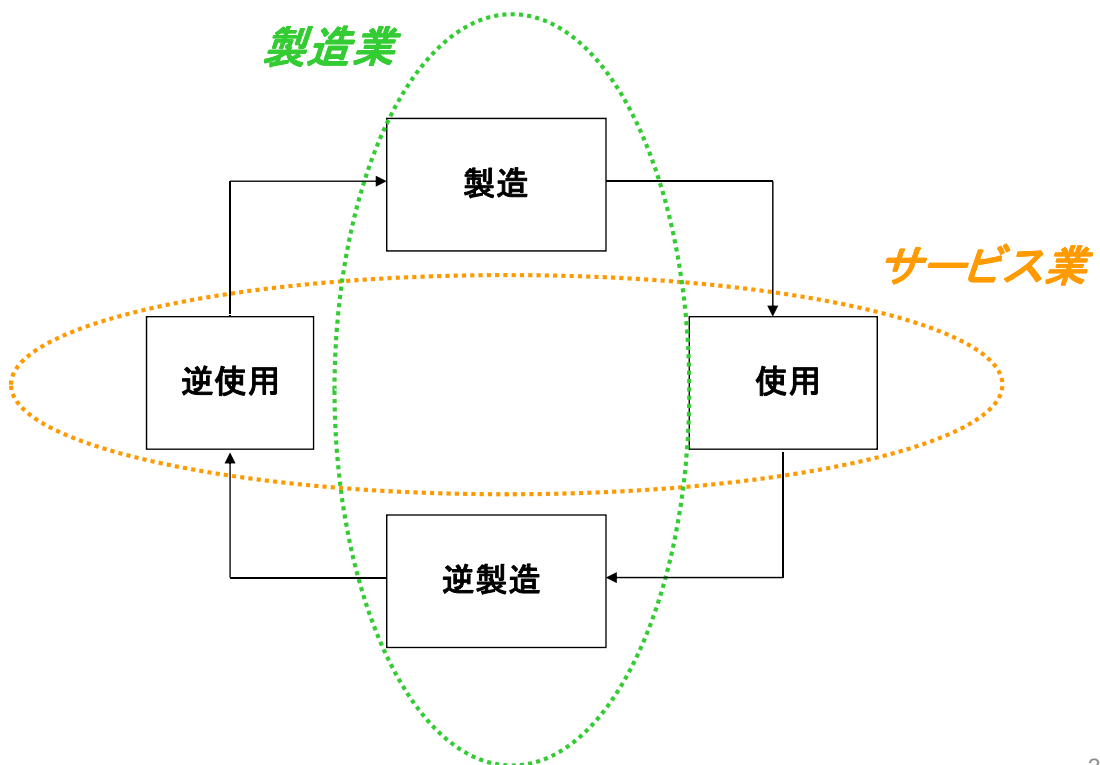
HY

20

機能の視点から見たループ



二つの視点：製造業とサービス業



最小製造 (Minimal Manufacturing)

定義:

最小の資源、エネルギー、および廃棄物で、最大の機能を持つ製品を生産する製造システム

最小製造を可能にする要素技術(科学技術が基本)

機能密度の高い材料
機能密度の高い設計
ナノ構造
ナノバイオ材料
エネルギー効率のよい材料加工技術
圧縮(コンパクト)化学
自己組織過程
局所クリーンルーム
携帯工作機械
等

HY

23

最大サービス (Maximal Servicing)

定義:

最小の資源、エネルギー、および廃棄物で最大のサービスを行うサービスシステム

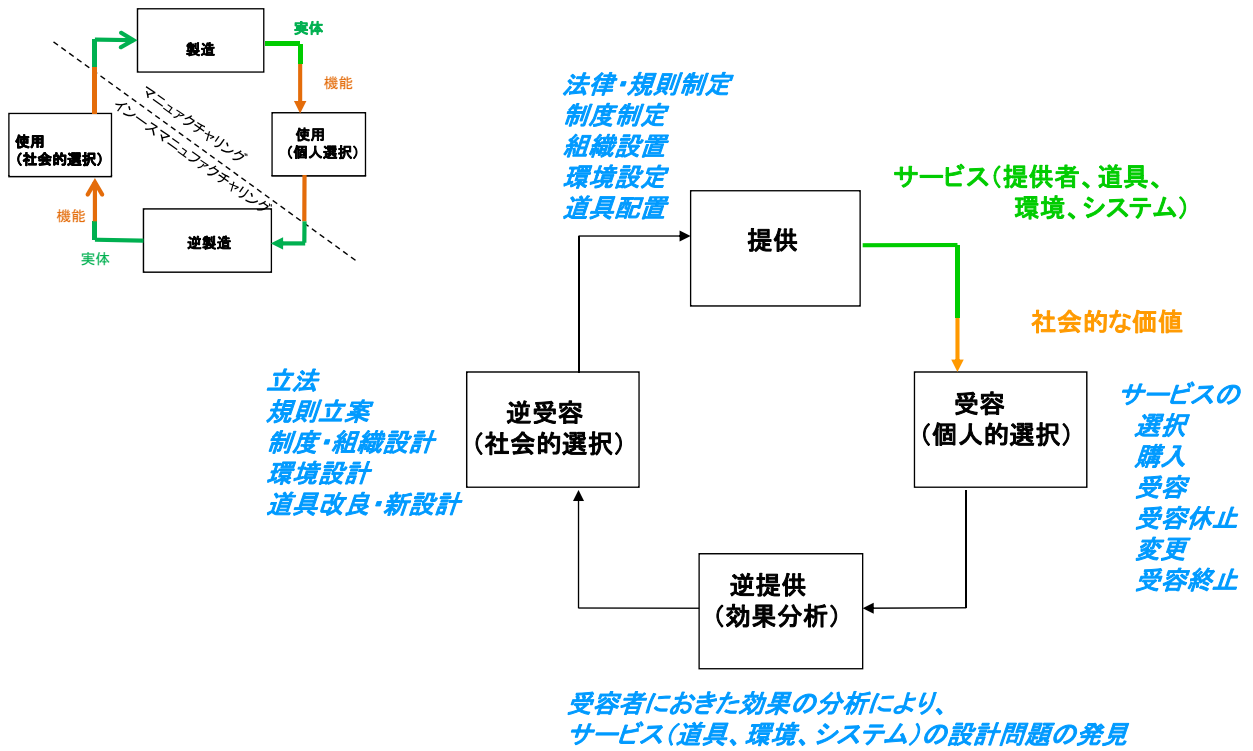
最大サービスを可能にする要素技術(社会技術が基本)

サービスを制御するために最適な原始サービスの設定
人々間のサービスを増幅するための社会的組織、規約
製品からサービスを取り出すための健全な社会的規則
人々が容易に近づけるような低価格での製品分布
使用者が技術製品情報に容易に接しうるシステムまたは専門家(建築家)
使用時に効率的にサービスを発生させる製品の設計
充分長い製品寿命
メンテナンスの自動化
製品の自動修復
廃棄物の回収容易性
等

HY

24

情報循環(持続進化型サービス業)

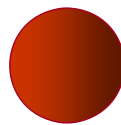


製造業とサービス業との同型性(アイソモルフィズム)

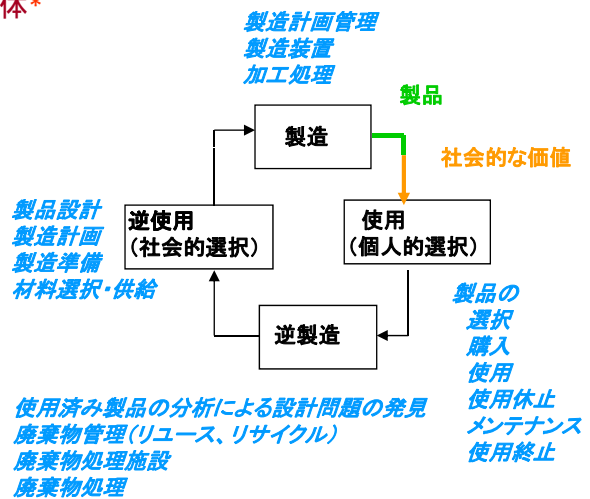
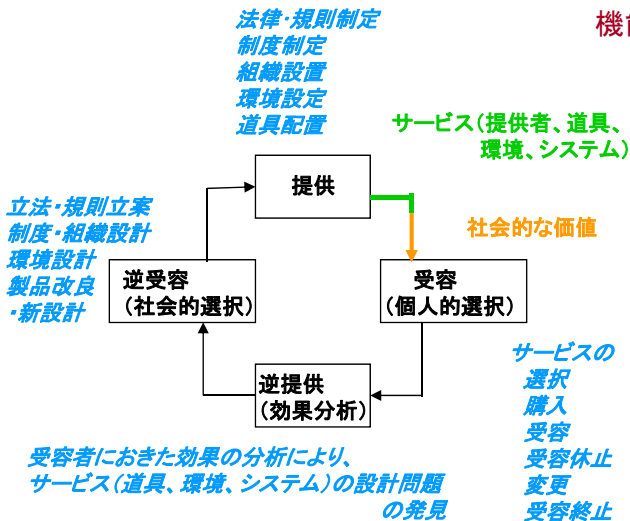
“機能体の循環” 製品を製造し使用する; サービスを提供し受容する

機能体の使用による発現と効果

機能体の設計と製造による実現



機能体*



サービスの増殖と増幅

サービスは増幅することができる。増幅は、媒体(medium)によって行われる。一人の人が一人の人に作る原始サービスをサービスの基本単位とし、その比でサービスの増幅を表す。

増幅には二つのモードがある。第一は原始サービスの条件の中での媒体による強化である。一人の人が一人の人に、直接でなく媒体(この場合は道具であることが多い)を通してサービスするとき、直接の場合よりも道具によってサービスが高速化したり、広域化されることがあるが(人を移送するとき、自動車を使えば背負って行くよりはるかに高速なサービスを提供できるように)、それを原始サービスが強化によって増幅されたとする。道具を媒体として一人の人が一人の人にサービスするのも原始サービスであって、この場合は増幅された原始サービスである。

第二のモードは、増殖である。媒体を使ってネットワークを作り、サービスを多数の人に、一人当たりの提供量を減らすことなく分配することができれば、一人のサービス提供者が複数の受容者に同じサービスをすることになり(一人に語りかける落語は、テレビによって何万人が聞けるように)、サービスの総量は増大する。このようにサービスが分配される場合を、増殖による増幅と呼ぶ。

提供者と受容者を関係付ける媒体(medium)には、装置や機械などの道具(tool)、会場や建物などの状況(circumstance)、そして国家、地域、組織などの定める制度、規則、習慣などの社会的仕組み(social system)がある。

HY

27

増幅の分類(媒体: 道具(tool)、状況(circumstance)、仕組み(system))

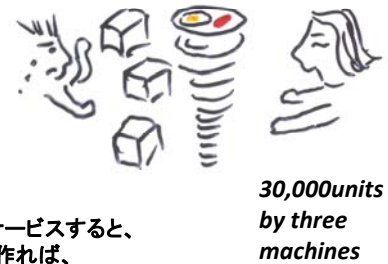
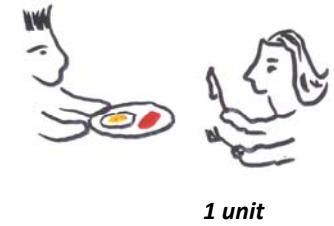
1. 道具(工具、機器、機械、データベース、ソフトウェア等)による増幅:
テレビ、マッサージ機器、自動車、ワープロ、検索システム
(すべての機器はサービス増幅器である)
2. 状況(構造物、空間配置、ネットワーク等)による増幅
劇場、ホテル、遊技場、情報ネットワーク、道路網
3. 社会的仕組み(制度、規則、組織、慣習、等)による増幅:
区役所、交番、銀行、店舗、通信システム、交通システム、病院、
学校、企業
(行政・金融・流通・通信・運輸・医療・教育サービス)
4. 増幅要素の合成による増幅(上記の1, 2, 3の合成)

HY

28

サービスの増殖とサービス増幅率

1. 基本的に、サービスとは一人の人が他の一人の人に作るものである(原始サービス)
2. サービスは可算であり、サービスの単位は独立な一つのサービスの完成をもって定義する。
例えば、1時間の講義、ある人に一人前のハムアンドエッグをつくる、など。
3. ある人が他の一人の人に作ったサービス単位の数によってサービス量 s を定義する。
4. サービス量 s が u 時間かけておこなわれたとすると、サービス速度 vs は s/u である。*
5. サービスはそのために作った機械に埋め込むことが出来る。埋め込まれたサービスは潜在している(潜在機能)。誰かがそれを使うと顕在する。そのときサービスが t 時間かかって顕在したとすれば、サービス速度は u/t 倍になる。
6. サービスは機械を使用するたびに得られるが、使用回数には限りがあり、それが機械の寿命 n である。
7. このようにして、一台の機械は寿命に至るまでサービスを増殖する。
8. m 台の機械を使用すればサービスの増殖は nxm である。これはその機械群が持つ潜在サービス量である。 m 台の機械を使ったときのサービス速度の増加をサービス増幅率とすれば、それは $m \times u/t$ である。**
9. 国家の富は、GDPでなく、総サービス速度で計量するべきである。



*あなたが貴方の妻にハムアンドエッグを30分かけて作ったとき貴方は妻に1単位のサービスをしたのであり、サービス速度は $2 (= 1/0.5)$ である。

**貴方が3台の自動ハムアンドエッグ機械を使って機械の寿命($n=10,000$)までサービスすると、貴方が妻に行ったサービスは30,000単位。機械が6分ごとにハムアンドエッグを作れば、サービス速度は $30 (= 3/0.1)$ 増幅率は、 $m=3, U=0.5, t=0.1 : 3 \times 0.5/0.1 = 15$ 。サービス効果は大きい。ただし、妻が喜ぶかどうかは別問題である。

HY それは妻の価値観に依存するサービス感度によって決まる。

29

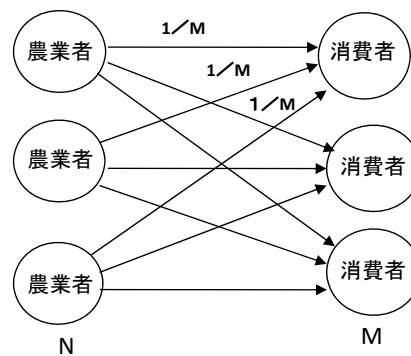
連鎖が作る社会的仕組みによるサービスの増幅

農業者の出荷可能な農産物には限界がないが、サービスに限界があって消費者の受けるサービスが充分でないとき。

1. 原始サービス

農業者(N社)の全サービスをMの消費者に分割する

消費者あたりのサービス効果
 $= N/M$
 (Mが増えると減る)

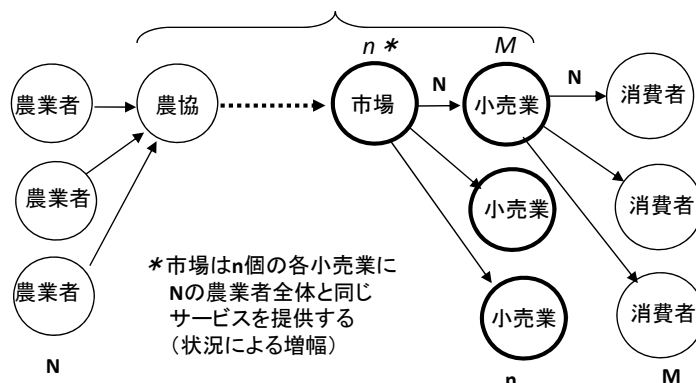


増幅媒体

2. 社会的仕組み

農業者(N社)の各サービスをそのまま各消費者に届ける。そのための増幅媒体をおく。

消費者あたりのサービス効果
 $= N \cdot n \cdot M / M = N \cdot n$
 (Mが増えても減らない)



潜在機能の拡大:
 $N \rightarrow N \cdot n \cdot M$
 増幅率(最大): $n \cdot M$

↓
 価格
 品質保証
 安定供給
 トレーサビリティ
 サービス生産性

HY

30

原始サービスの例

D:ドナー R:レセプター

効果: **身体**、**精神**、物質

意味 (コンテンツ)	Dの準備 (設計・計画)	Dの提供行動	Rの受容行動	Dの例	Rの例	Rの効果 (機能量)
医療	診断	治療	受入	母親	子供	健康量
介護	判断	介護	依存	若者	年寄り	行動量
補助	依頼	補助	協力	力自慢	力なし	達成量
移動	指定	移送	服従	運転者	同乗者	距離
飲食	料理	提供	飲食	夫	妻	充足感
美容	決断	化粧	化粧	人	自分	容姿
宿泊	準備	提供	睡眠	主人	客	休息
教育	評価	説教	聞入	親	子供	習得量
情報	制作	配信	受信	人	知人	情報量
相談	分析	提案	解決	長老	悩める人	問題解決
音楽	演出	演奏	聴取	演奏者	聞き手	感動
物語	制作	発話	拝聴	話し好き	聞き手	楽しみ
娯楽	演出	演技	観賞	人	家族	解放
保管	評価	維持	委任	預かり人	預け人	量×時間
輸送	梱包	配達	委託	運搬者	受領者	量×距離
保全	診断	修理	受取	直せる人	直せない人	回復性能
生産	設計	製造	使用	器用人	使用者	利便

HY

31

END

HY

32



2050年の日本経済と温暖化問題

2008.03.02ver.

湘南エコノメトリクス

室田泰弘 (economate.info@gmail.com)

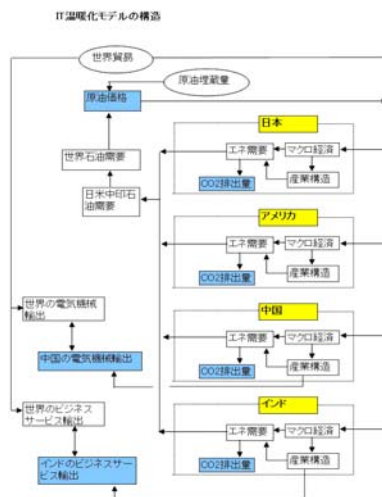


全体の構成

- 2050年までのシミュレーション: 計算の仕組み
- 2050年の日本経済とCO2排出量
- アメリカ・中国・インドとの対比: 2050年
- 温暖化問題と日本の対応
- 日本の持続可能性を考える(まとめ)

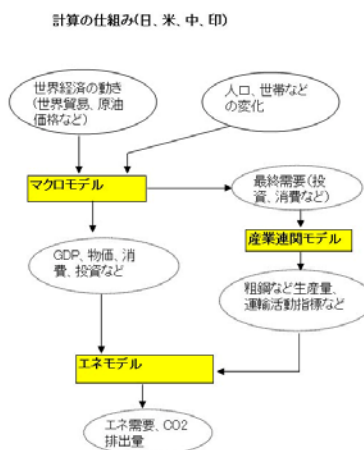
2050年モデルの構造

- 日本、アメリカ、中国、インドの4カ国の2050年を計算するモデル。
- シミュレーション型である（CGEは採用しない）。
- アメリカ、中国、インド：これらの大国が今後どうなるかを見ていく。
- こうした枠組みの中で、日本の位置と役割を考えていく。



計算の仕組み

- 国別に、マクロモデル、産業連関予測表、エネルギーモデルを開発し、それらを連動させて2050年値を求める。
- マクロモデル
 - 経済成長率、物価などを算出。
- 産業連関表
 - 産業構造の将来像を求める。
- エネモデル
 - エネ需給、CO2排出量を求める。



日本：マクロモデルの構造

- 生産関数と資本ストック、労働力、技術進歩率から成長率が決まる。
- 世界貿易と整合的な形で輸出、輸入が決まる。
- 単位労働費用などから、物価が決まる。
- 円ベースで計算。
 - 為替レートの推移は一国の盛衰とリンクする。
 - エネ需給は国内価格で決まるので、為替レートの変化が影響する。



日本：産業構造の計算プロセス

- 産業連関表の予測表 (2010, 2030, 2050年)はEU法で推定。
- 52部門表(独自設定)を利用。
 - 成長業種を細かく分類。
 - 医薬品、半導体製造装置、電子部品、コンピュータ、電気通信、医療保険社会保障、調査情報会計サービスなど。
 - 結果に戻る

研究対象：日本

1 農林水産
2 鉱業
3 鉄鋼業
4 機械製造業
5 電気・電子業
6 化学工業
7 石油化学工業
8 繊維・皮革業
9 食品・飲料業
10 医薬品・医療機器業
11 印刷業
12 出版・放送業
13 娯楽・文化・スポーツ業
14 運輸・倉庫業
15 情報・通信業
16 建設業
17 不動産業
18 金融業
19 公共サービス業
20 教育・研究・開発業
21 調査・情報・会計サービス業
22 法律・コンサルティングサービス業
23 広告・宣伝・マーケティングサービス業
24 旅行・観光業
25 飲食・宿泊業
26 娯楽・文化・スポーツサービス業
27 美容・健康サービス業
28 福祉サービス業
29 社会福祉サービス業
30 公共サービス業
31 教育・研究・開発サービス業
32 調査・情報・会計サービス業
33 法律・コンサルティングサービス業
34 広告・宣伝・マーケティングサービス業
35 旅行・観光サービス業
36 飲食・宿泊サービス業
37 娯楽・文化・スポーツサービス業
38 美容・健康サービス業
39 福祉サービス業
40 社会福祉サービス業
41 公共サービス業
42 教育・研究・開発サービス業
43 調査・情報・会計サービス業
44 法律・コンサルティングサービス業
45 広告・宣伝・マーケティングサービス業
46 旅行・観光サービス業
47 飲食・宿泊サービス業
48 娯楽・文化・スポーツサービス業
49 美容・健康サービス業
50 福祉サービス業
51 社会福祉サービス業
52 公共サービス業

エネ需給、CO2排出量の計算プロセス

- マクロモデルより消費や価格、産業連関モデルから主要物資生産量、さらに原油価格などを前提として、エネ最終需要(産業、家庭、業務、運輸)を求め、それから転換プロセス(発電など)を経て、エネ一次供給やCO2排出量(エネ起源)を求める。



主要前提(1): 世界貿易、原油価格

- 世界貿易: 2005-2030年で年率3.1%の伸び、2030-2050年で年率2.8%の伸び(1995-2004年の平均伸び率は5.4%)。
- 世界工業製品輸出物価: 2005-2030年で年率1.5%の伸び、2030-2050年で年率1%の伸び(1995-2004年の平均伸び率は0.9%)。
- 原油価格: 徐々に上昇と仮定(これは後で、事後的な原油価格の計算値と比較される)。2005年が55.8ドル/バレル、2030年が83.8ドル/バレル、2050年が102.2ドル/バレル。

世界輸出の推移

百万円、2001年価格(GTAPベース)

	2001	2010	2030	2050(1/10)	10/30	30/50
一次産工業資源	327,129	362,023	503,039	663,254	1,09	2,40
工業総業	306,521	366,662	606,116	949,275	2,01	2,54
重工業	1,132,749	1,433,030	2,502,743	4,119,322	2,85	2,80
工業非鉄業	130,369	160,410	272,321	437,807	2,33	2,69
電気機械	816,060	1,256,656	2,647,161	5,167,806	4,89	3,90
自動車	528,206	747,406	1,454,039	2,639,155	3,93	3,38
その他機械	1,227,699	1,698,279	3,199,617	5,697,400	3,61	3,24
その他製造業	1,198,588	1,474,787	2,505,612	4,022,364	2,33	2,69
建設	28,006	33,489	53,078	82,213	1,69	2,40
情報通信	49,921	62,818	132,042	238,942	4,89	3,80
ビジネスサービス	408,738	667,337	1,333,672	2,480,233	4,25	3,52
金融サービス	697,048	874,545	1,533,632	2,512,434	2,85	2,80
合計	6,857,232	8,126,762	16,962,174	29,229,321	3,32	2,82

	2001	2010	2030	2050
一次産工業資源	4.99	4.28	3.74	3.29
工業総業	4.44	4.00	3.59	3.14
重工業	16.42	15.05	14.04	14.06
工業非鉄業	1.89	1.75	1.62	1.49
電気機械	11.84	13.71	15.70	17.64
自動車	7.65	8.16	8.62	9.01
その他機械	17.90	18.46	18.97	19.34
その他製造業	17.38	16.10	14.86	13.73
建設	0.42	0.37	0.32	0.28
情報通信	0.59	0.69	0.79	0.88
ビジネスサービス	6.95	7.29	7.91	8.47
金融サービス	10.02	9.95	9.05	8.98
合計	100.00	100.00	100.00	100.00

主要前提(2):人口・世帯、成長会計

- 2050年の人口は、2005年の75%で9,500万人。
- 高齢化は急速に進行(65歳以上人口比率は、2005年に20%、2050年に40%)。
- 世帯数が減少すると同時に単独世帯が、2005年の29%から2050年には44%に増加。
- 労働投入は2010年以降マイナスに転じる。全要素生産性が後半の成長を支える。

人口と世帯の将来推定

	2005	2010	2020	2030	05/10	10/20	30/50
人口計	127,788	127,176	115,224	95,152	-0.09	-0.49	-0.95
0-14歳人口	17,585	16,479	11,150	8,214	-1.29	-1.93	-1.52
15-64歳人口	64,422	61,295	67,404	49,297	-0.75	-0.03	-1.95
65歳以上人口	45,781	49,402	86,670	37,641	2.89	1.11	0.38
世帯数計	49,040	50,179	49,795	41,504	0.44	-0.13	-0.31
単独世帯	14,218	15,169	17,464	18,376	1.30	0.70	0.20
夫婦のみ世帯	9,881	10,421	9,705	6,868	1.13	-0.35	-1.73
夫婦と子世帯	14,666	14,169	11,237	8,428	-0.69	-1.11	-1.47
一人親と子世帯	4,038	4,400	4,631	3,731	1.63	0.26	-1.07
その他世帯	6,247	6,381	6,189	4,112	-0.87	-0.72	-1.14
平均世帯人員	2.6	2.5	2.4	2.3	-0.95	-0.08	-0.15

国立社会保障・人口問題研究所
「日本の将来推計人口」:2006.12
「日本の世帯数の将来推計」:2003.10

成長会計

	GDP	資本による労働	その他の
05/10	2.38	1.00	0.84
10/20	0.97	0.50	-0.63
30/50	0.19	0.15	-1.13

主要前提(3):為替レート、海外直接投資

- 為替レート:円安。2005年が113円/ドル、2050年は188円/ドル。半分に減価(cf.英国)。国内エネルギー価格の上昇要因。
- 英国:ピークの時1ポンド=4.86ドル(19世紀)、現在1ポンド=1.96ドル(2007)で半分以下に減価。
- 海外直接投資の増加:2005-2030年で年率8.3%、2030-2050年で年率5%の伸びを想定。米・中・印などに投資。
 - GDPとGNPの違いが重要になる。
 - 戻る



ロンドン万博(1851、水晶宮による)
英国経済ピークの象徴

マクロ経済の将来像

- 経済成長率は、1.5%(00-10年)、1.0%(10-30年)、0.2%(30-50年)。海外投資収益を見込んでいる(GNPベース)。これにより、2050年では、GDPをGNPが約100兆円上回る(企業も海外での活動が中心に)。**持続可能性**
- 一人当たり所得は、2000年で3.6万ドル/人、2050年で4.7万ドル/人。
- 乗用車保有台数は2050年に3,600万台(2000年に5,200万台)。人口や世帯減によって、保有台数は減少する。
- 住宅着工戸数は、2050年に57万戸(2000年が121万戸)。これでも**空家率**は上昇。

マクロ経済の推移

	2000	2010	2030	2050	00/10	10/30	30/50
GDP(実)	504,333	565,193	709,982	737,299	1.5	1.0	0.2
GNP(実)	511,206	588,271	735,590	630,636	1.4	1.1	0.6
民間消費	283,405	320,385	390,160	433,748	1.2	1.0	0.5
設備投資	72,761	104,981	143,723	150,804	3.7	1.6	0.2
物価	100	91	109	134	-0.9	0.9	1.0
GDP(名)	502,783	534,005	771,997	984,470	0.6	1.9	1.2
住宅着工戸数	1,213	1,257	1,222	571	0.4	-0.1	-3.7
乗用車保有台数	52,449	58,466	52,451	35,742	1.1	-0.5	-1.9
一人当たり所得	36,465	41,728	46,076	46,756	1.4	0.5	0.1

GDP,GNP:消費、設備投資:10億円、2000年価格
 物価:2000=100 住宅着工:千戸
 名目GDP:10億円 乗用車保有:千台
 一人当たり所得:ドル/人

産業構造変化の特性

- **51部門表**で2050年まで計算。これを11部門表に集約。
- 予測表の特性
 - 誘発係数が低下(輸出、民間投資)。サービス化の反映。
 - 2000年の産業構造との比較:産業構造の変化により、IT機器、ITサービス、医療・保健・社会保障が伸張(2000年の投入係数+2050年の最終需要の結果との比較)。

日本誘発係数の推移

	民間消費	政府消費	輸出	設備投資	輸送輸送	最終需要計
1990	1.024	1.461	1.936	1.996	2.259	7.676
1995	1.026	1.470	1.937	1.984	2.175	7.602
2000	1.030	1.481	1.917	1.922	2.156	7.506
2010	1.476	1.467	1.923	1.702	2.000	7.568
2030	1.433	1.433	1.730	1.562	1.914	7.072
2050	1.407	1.416	1.617	1.466	1.861	6.767

投入係数変化の産業集約表

	10億円、2000年価格
一次産業	-8,973
二次産業消費	-14,400
三次産業消費	-8,720
設備投資	194,950
自動車	-16,720
その他機械	-32,640
その他製造業	-68,270
建設	-65,674
ITサービス	72,672
医療・保健・社会保障	37,169
その他サービス	13,513
合計	-17,880

部門の集約

1 一次	農林水産・鉱業
2 二次	建設・IT・電気・機械・輸送輸送・その他(12セクタ107クラス)
3 三次	民間消費・政府消費・輸送輸送・建設輸送・その他(15セクタ157クラス)
4 IT機器	IT機器(15年未満)・IT機器(15年以上)・IT機器(15年以上)・IT機器(15年以上)
5 自動車	21自動車
6 その他機械	11一般機械・11特殊機械・20電気機械・20その他(27機械)
7 その他製造業	33製造業・40製造業(15年未満)・40製造業(15年以上)・40製造業(15年以上)
8 建設	21建設
9 ITサービス	21ITサービス
10 医療・保健・社会保障	43医療・保健・社会保障
11 その他サービス	20水産・20漁業・20林業・20その他(43)・20教育・20研究開発・20その他(40)・20娯楽・20観光・20その他(40)・20その他(40)

産業構造の将来像

- 生産額合計の伸びはGDPを若干下回る(サービス化)。
- IT機器(2000年に4.4%、2050年17.2%)、ITサービス(2000年に4.2%、2050年10.1%)が拡大。医療・保険・社会保障も拡大。
- 粗鋼生産は2050年に5,100万トン(2005年に1.1億トン)。自動車生産台数は2050年に800万台(2005年に1,090万台)。優れた技術を生かして海外生産へ:中国、インドと比較。

生産額集約表 10億円、2000年価格

	2000	2010	2030	2050	2000/00/10	10/20	30/50
一次産業	15,148	14,597	12,134	8,444	-0.69	-0.95	-1.50
工業消費費	60,882	61,176	61,205	60,872	0.14	0.00	-0.03
工業製造産業	32,772	32,658	29,549	21,765	0.97	0.87	-0.27
IT機器	41,205	44,635	131,341	212,302	4.64	3.62	2.40
自動車	37,276	39,260	40,194	36,329	0.50	0.10	-0.24
その他機械	50,115	52,324	49,922	39,994	0.43	-0.23	-1.10
その他製造業	102,823	100,361	90,032	66,421	-0.24	-0.54	-1.35
建設	77,281	72,250	67,746	46,703	-0.67	-0.32	-1.88
ITサービス	38,765	62,304	91,526	124,119	2.70	3.94	1.54
医療・保険・社会保障	46,239	66,476	76,050	99,819	1.45	1.63	1.33
その他サービス	442,787	454,509	532,310	480,071	0.97	0.86	-0.34
合計	1,473,662	1,552,939	1,194,037	1,234,726	0.96	0.72	0.17

	2000	2010	2030	2050
一次産業	1.66	1.42	1.02	0.68
工業消費費	6.37	5.92	5.13	4.83
工業製造産業	3.40	3.44	3.34	2.06
IT機器	4.35	6.28	11.05	17.19
自動車	3.93	3.85	3.27	3.11
その他機械	5.28	5.07	4.18	3.24
その他製造業	10.05	9.72	7.94	5.54
建設	8.16	7.00	5.67	3.79
ITサービス	4.19	8.06	7.66	10.85
医療・保険・社会保障	5.09	5.37	6.42	8.08
その他サービス	46.71	46.97	44.62	40.24
合計	100.00	100.00	100.00	100.00

主要物産生産量

	単位	2000	2010	2030	2050	2000/00/10	10/20	30/50
1 粗鋼	千トン	106,901	102,495	39,072	20,464	-0.4	-1.1	-2.0
2 エンジン	同上	7,566	7,139	6,464	5,826	-0.50	-0.52	-0.53
3 センサー	同上	60,099	242,619	64,957	42,291	-0.72	-0.71	-0.71
4 自動車生産台数	千台	10,048	10,997	8,994	7,376	0.91	-0.00	-0.60
5 トラック輸送トンキロ	百万トンキロ	313,118	319,976	307,793	226,961	0.22	-0.29	-1.22
6 1.5t以下生産量	千トン	15,286	10,046	6,166	5,239	-1.14	-1.09	-0.17

アウトソース化のインパクト

- アウトソース化のインパクト
 - McKinsey Global Institute, The Emerging Global Labor Market, June, 2005 を参考に右のように想定。
- 2050年で生産額は7.3%ほど減少。
- 就業者数は366万人ほど減少する(Forrester Research, アメリカのサービス部門の流出数330万人:2015)。

アウトソース化の比率(生産額に対する比率)

	2010	2030	2050
36卸・小売	0.01	0.03	0.05
37金融・保険・不動産	0.05	0.15	0.25
44医療・保険・社会	0.01	0.03	0.05
40電気通信	0.1	0.2	0.3
47その他の対事業	0.03	0.06	0.1

生産額の減少率(%)

	2010	2030	2050
生産額の減少率	1.44	4.02	7.29

就業者の減少数(千人)

	2050年
36卸・小売	-217
37金融・保険・不動産	-268
40電気通信	-24
44医療・保険・社会	-2,708
47その他の対事業	-444
合計	-3,661

アウトソース化の意味

- Blinder(プリンストン大教授、元FRB副議長)の指摘。
Offshoring: the Next Industrial Revolution? (2006)
- エコノミストは、アウトソースを通常の国際貿易の延長上にあると捉えるが、これは構造変化の激変を見逃している。
- 非属人的サービス(impersonal service: 遠隔地から電子的手段を用いて質の低下なしに供給できるサービス)のアウトソース化は、IT革新によって急激に進行。
- **残る仕事**: 对人的、人的付き合いが不可欠
 - 汚れ仕事(bad job 高い教育程度を必要としない、子守、タクシー運転手)、医者、警官、門番、クレーン操作者、ウェイター: 電子化によって供給されない仕事: ロボット化の可能性?
- **移る仕事**: impersonal service
 - タイピスト、セキュリティ専門家、医薬検査業務、セキュリティ・モニター、プログラマー、会計士

就業構造の将来像

- 2000年に5,155万人だった就業者数は、2050年に3,440万人に減少(アウトソース化込み)。
 - 15-64歳人口に占める就業者の割合は7割に上昇(2000年、6割)。
- 増えるのは、ITサービス(2000年190万人→2050年290万人)、医療保険社会保障(2000年445万人→2050年630万人)。

就業者数集約表 千人

	1990	2000	2010	2020	2050(90/00)	00/10	10/20	30/50
一次産業	550	506	434	266	130	-0.94	-1.53	-2.42
工業部消費	1,826	1,303	1,104	744	476	-2.25	-1.64	-1.96
工業関連産業	242	253	249	236	154	0.45	-0.18	-0.95
IT機器	1,160	1,093	1,401	1,714	1,766	0.03	1.92	0.99
自動車	1,025	873	796	596	424	-1.60	-0.92	-1.44
その他機械	2,118	1,770	1,601	1,189	792	-1.78	-1.00	-1.48
その他製造業	5,804	4,214	3,471	2,134	1,157	-3.15	-4.32	-5.01
建設	4,538	4,619	4,111	3,402	2,371	0.18	-1.16	-0.93
ITサービス	1,309	1,893	2,123	2,786	2,946	3.76	1.15	1.37
医療・保健・社会保障	2,711	4,455	4,678	5,641	6,320	5.09	0.91	0.74
その他サービス	23,929	30,504	23,587	24,340	17,885	1.28	-0.30	-0.99
合計	40,009	51,953	46,760	42,933	34,431	0.71	-0.95	-1.10

	1990	2000	2010	2020	2050
一次産業	1.16	0.98	0.97	0.62	0.40
工業部消費	3.41	2.50	2.22	1.73	1.36
工業関連産業	0.50	0.49	0.50	0.48	0.45
IT機器	2.42	2.26	2.83	3.99	5.13
自動車	2.14	1.69	1.60	1.29	1.22
その他機械	4.41	3.43	3.22	2.77	2.30
その他製造業	12.09	8.17	6.98	4.87	3.36
建設	9.45	8.96	8.28	7.95	6.89
ITサービス	2.73	3.67	4.27	6.49	8.56
医療・保健・社会保障	5.65	8.64	9.80	13.15	18.35
その他サービス	58.65	59.17	50.46	56.46	51.94
合計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

エネモデル：構造要因の変化(1)：家庭

- モデル計算に、以下のような構造変化要因を含める(家庭、業務、運輸)。
- 世帯構成の変化を考慮する。
 - 世帯数が純減する。
 - 一人世帯が増えて、他の世帯の比率が低下。
 - 光熱費支出は世帯人数に比例する。
 - 世帯構成の変化による光熱費の低下は、2005年に比べて約24%。
- 住宅ストックからエネ消費を求める方法もあるが、空家率の急速な上昇を考慮すると、稼働率の導入が不可欠だろう。
- [戻る](#)

世帯構成の変化

	2005	2010	2020	2030	2040	2050
全世帯	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0
1人	29.0	30.3	33.1	36.1	39.8	44.3
2人	20.1	20.8	20.9	20.1	18.6	16.5
3-4人	29.9	28.3	25.4	23.5	22.0	20.3
それ以上	21.0	20.7	20.5	20.3	19.5	18.9

平均に対する比率(2005年)

	平均	1人	2人	3-4人	それ以上
消費支出合計	100	66.5	96.9	119.7	133.0
光熱・水道費	100	54.1	98.0	121.8	157.6

出所：統計調査

世帯構成の変化による光熱費の変化

	2005	2010	2020	2030	2040	2050
光熱費	100.0	101.1	99.4	93.7	86.5	76.4

住宅ストックと世帯数の推移

		1985	2000	2010	2030	2050
新設住宅戸数	千戸	1251	1213	1257	1222	571
住宅ストック	同	35,280	45,146	50,487	59,069	58,878
世帯数	千	38,988	48,015	51,398	49,009	42,158
戸/世帯		0.90	0.94	0.98	1.21	1.40

エネモデル：構造要因の変化(2)：業務

- 業種別の業務用床面積を、連関表より求めた。
- 事務所や病院などのシェアが拡大し、他方でデパート・スーパーや学校などのシェアが減少する。

業務用床面積の推移

	1990	2000	2010	2030	2050	90/00	00/10	10/20	20/50
事務所ビル	31.2	436	474	508	474	3.35	0.96	0.95	-0.35
デパート・スーパー街	299.4	405.9	427	412	294	3.09	0.90	-0.18	-1.66
飲食店	50.4	61.9	64	65	46	2.08	0.35	0.05	-1.39
学校	311	343	366	351	239	0.98	0.66	-0.21	-1.92
ホテル・旅館	76.6	93.2	100	100	75	1.98	0.72	0.02	-1.44
病院	646	898	111	160	184	3.33	2.19	1.60	0.71
劇場・劇場	24.1	32.3	31	35	17	3.29	-0.87	-1.09	-1.59
その他	1.46	1.92	2.11	2.49	2.54	2.83	0.92	0.81	0.11
合計	1,235	1,656	1,786	1,870	1,583	2.56	0.78	0.23	-0.83

	1990	2000	2010	2030	2050
事務所ビル	24.36	28.29	26.54	27.16	29.94
デパート・スーパー街	23.30	24.53	23.90	22.01	18.60
飲食店	3.92	3.74	3.59	3.46	2.65
学校	24.20	20.73	20.52	18.00	15.00
ホテル・旅館	5.96	5.63	5.61	5.37	4.75
病院	5.03	5.41	6.23	8.55	11.63
劇場・劇場	1.98	2.01	1.78	1.25	1.09
その他	11.36	11.66	11.85	13.30	16.06
合計	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

実数：エネ経路統計要覧

エネモデル: 構造要因の変化(3) 乗用車ガソリン需要

- ガソリン需要を乗用車保有台数 * 年間走行距離から求めている。
 - 免許保有率は増加する(2030年まで)。
 - 乗用車を小型・普通と軽乗用に分けている(両者の特性は異なる)。
 - 高齢化により、軽乗用のシェアが増えている。またその走行距離は、普通・小型より短い。
 - 結局ガソリン需要は、減少する(省エネ手段なしで): 2000年1,943PJ、2050年1,373PJ(約7割の水準)。

ガソリン需要の決定要因

		1990	2000	2010	2030	2050	90/00	00/10	10/30	30/50
免許保有人口	千人	60,909	74,687	82,894	88,012	77,338	2.1	1.0	0.2	-0.5
人口総数	千人	123,611	126,926	126,923	113,665	92,967	0.3	0.0	-0.6	-1.0
乗用車登録台数	千台	5,093	4,257	5,000	5,347	4,582	-1.8	1.6	0.3	-0.6
軽乗用車販売台数	#	975.0	1,271	1,622	2,154	2,239	3.8	2.5	1.4	0.3
乗用車保有台数	#	32,339	42,537	43,481	47,496	43,146	2.8	0.2	0.4	-0.5
軽乗用車保有台数	#	2,585	9,901	12,977	16,908	18,604	14.4	2.7	1.3	0.5
乗用車走行距離	キロ/台・年	10,234	9,915	9,723	9,584	9,522	-0.3	-0.2	-0.1	0.0
乗用車走行距離	#	472.5	1,647	2,784	3,990	4,560	13.3	5.4	1.8	0.7
乗用車ガソリン消費	PJ	1,227	1,694	1,633	1,413	960	3.3	-0.4	-0.7	-1.9
軽乗用車ガソリン消費	#	46	249	344	508	413	18.4	3.3	2.0	-1.0

エネモデル: 構造要因の変化(4) 貨物用軽油需要

- 産業連関表から、産業別輸送トンキロをもとめ、それから軽油需要を求めた。
 - 輸送トンキロで見ると、機械のシェアが拡大し、特に鉱業のシェアが低下(産業構造の変化)→トンキロ合計は純減する。

	2000	2010	2030	2050	00/10	10/30	30/50
農林水産	41,467	38,236	23,689	17,905	-0.80	-1.26	-2.89
鉱業	110,963	96,010	79,093	43,084	-1.23	-1.07	-2.99
金属製品	41,180	37,844	32,514	22,990	-0.84	-0.76	-1.72
機械	37,992	46,031	63,400	75,436	1.86	1.86	0.98
セメント	25,678	25,643	19,952	11,306	-0.01	-1.25	-2.80
その他産業	15,463	15,777	14,178	9,294	0.20	-0.53	-2.09
石油製品	69,652	59,196	51,443	35,679	0.09	-0.70	-1.81
石炭製品	2,519	2,328	1,811	1,006	-0.79	-1.25	-2.90
その他化学	31,039	33,479	36,460	37,139	0.76	0.43	0.09
繊維製品	15,036	14,248	11,950	7,329	-0.94	-1.03	-2.26
食品	1,698	1,506	1,104	695	-1.19	-1.54	-2.57
資料品	37,010	36,641	33,369	23,382	-0.05	-0.49	-1.83
増産品	65,651	54,603	49,281	33,379	-0.14	-0.64	-1.83
その他	70,836	76,446	85,032	81,172	0.77	0.93	-0.23
合計	954,789	946,117	815,646	494,439	-0.10	-0.31	-1.21

	2000	2010	2030	2050
農林水産	7.5	7.0	5.8	4.3
鉱業	20.0	17.8	15.3	10.7
金属製品	7.4	6.9	6.3	5.7
機械	1.7	1.6	1.5	1.9
セメント	6.8	6.3	12.3	18.7
その他産業	4.6	4.7	3.9	2.8
石油製品	2.8	2.3	2.7	2.3
石炭製品	10.6	10.8	10.0	8.8
石油製品	0.5	0.4	0.4	0.2
その他化学	5.6	6.1	7.1	9.2
繊維製品	2.7	2.6	2.2	1.8
食品	0.3	0.3	0.2	0.2
資料品	6.7	6.7	6.5	5.7
増産品	10.0	10.0	9.4	8.3
その他	12.8	13.9	16.5	20.1
合計	100.0	100.0	100.0	100.0

資料出所: 運輸統計年報

エネルギー需給の将来像

- 2050年のエネ最終需要は13,376PJ(2000年:15,982PJより2割弱低下)。総合エネ調見通し(レファレンス)では、2030年の最終需要は425MKL(ここでの計算値406MKL)。
- 2050年の部門別シェア:産業の低下(2000年47%、2050年41%)、家庭部門の漸増(2000年13%、2050年15%)、業務部門の上昇(2000年15%、2050年22%)、運輸部門の低下(2000年24%、2050年22%弱)。家庭、業務、運輸での構造変化要因の導入が利いている。
- 発電電力:2050年に10,153億KWH(2000年:9,445億KWH)。2030年は11,298億KWH。総合エネ調見通し(レファレンス)では、11,287億KWH。
- 石油輸入量は、2000年に286MTOEが2050年に217MTOEとなる。

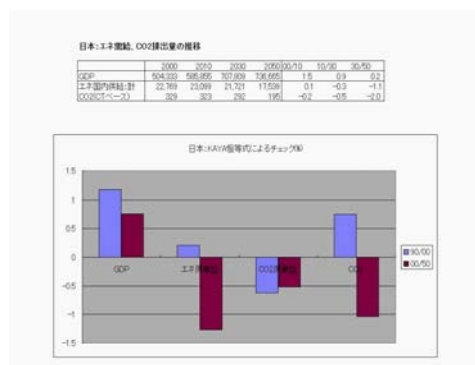
日本:エネ需給、CO2排出量の推移

	2000	2010	2030	2050(00/10)	10/30	30/50
GDP	504,333	585,193	709,982	737,299	1.5	1.0
エネ最終需要	15,982	16,008	15,706	13,376	0.0	-0.1
エネ産業	7,534	7,302	6,562	5,467	-0.3	-0.5
エネ家庭	2,113	2,297	2,359	2,003	0.8	0.2
エネ業務	2,421	2,617	3,153	2,966	0.8	0.9
エネ運輸	3,913	3,802	3,631	2,920	-0.3	-0.2
エネ一次供給	22,769	23,099	21,721	17,539	0.1	-0.3
エネ最終需要(MKL)	413	413	406	345	0.0	-0.1
CO2(CIベース)	309	323	292	195	-0.2	-0.5
電力需要	9,445	10,614	11,298	10,153	1.2	0.3
石油輸入量	286,299	261,991	240,879	217,304	-0.9	-0.4

GDP:10億円、2000年価格、エネはPJ
CO2:炭素換算百万トン
原油輸入はMTOE、電力需要は億KWH

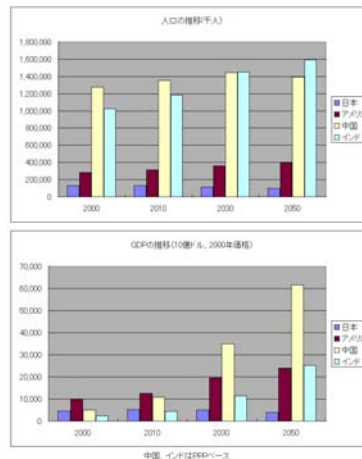
CO2排出量の推移

- CO2排出量(エネ起源)は1990年305(百万CT)が2050年には195(百万CT)。1990年水準の64%(特段の省エネ手段を含めていない)。
- KAYA恒等式によるチェック
 - 経済成長のプラス要因を、エネ原単位の低下とCO2原単位の低下で相殺している。



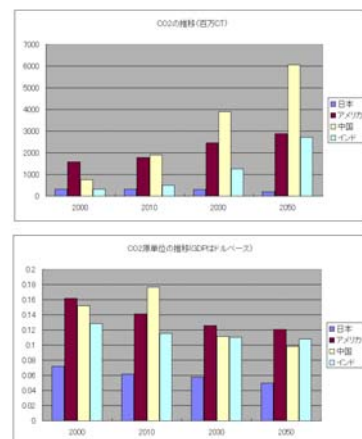
アメリカ・中国・インドと比較した日本の位置(1)

- 人口
 - 2050年で、日本9,500万人、アメリカ3.9億人、中国13.9億人、インド15.9億人(インドが中国を抜く)。
 - 2050年には中国は日本の15倍弱、インドは17倍弱。
- GDP(ドルベース、2000年価格、中国、インドはPPP)
 - :2050年でアメリカ24兆ドル、日本4兆ドル、中国62兆ドル、インド25兆ドル。2020年代に中国はアメリカを抜き、インドは2050年にアメリカ並みになる。
 - 2050年には中国は日本の16倍弱、インドは6倍。



アメリカ・中国・インドと比較した日本の位置(2)

- CO2
 - 2050年に日本2億トン(2000年:3.3億トン)、アメリカ29億トン(2000年:15億トン)、中国61億トン(2000年:7.5億トン)、インド28億トン(2000年:3億トン)。(EIA予測では2030年に日本3.3億トン[2.9]、アメリカ22億トン[24]、中国29億トン[39]、インド6億トン[13],[]当方の数字)(CTベース)。
 - 2050年に中国の排出量は日本の31倍、インドは14倍(BAU)。
 - 世界の温暖化問題で重要なのは、日本の削減ではなく、米・中・印の削減をどのようにして実現していくか。
- CO2原単位の比較(CT/GDP千ドル)
 - 2050年の原単位は、日本0.05(2000年が0.07)、アメリカ0.12(2000年が0.16)、中国0.10(2000年が0.15)、インド0.11(2000年が0.13)。
 - EIAの2030年値は、日本0.07、アメリカ0.10、中国0.10、インド0.04(インドは低すぎ)。
 - GDPのとり方にも依存するが、中国、インドの原単位はアメリカ並みになる。



日本の持続可能性(1)

- 日本経済は今後急速な成熟過程に入る。
- 人口は減少する(2005年1.3億人が2050年には9500万人に)
- GDP規模は、2000年には世界第2位でアメリカの半分だったが、2050年にはアメリカやインドの1/6、中国の1/16となる。
- CO2排出量は1990年水準の2/3程度に落ち着く。
- 経済の“斜陽化”にどう向き合っていくか: 日本にとっての持続可能性の課題。
- どうやって食べていくのか。

人口と世帯の将来像

	2005		2010		2030		2050	
	05/10	10/30	05/10	10/30	05/10	10/30	05/10	10/30
人口計	127,768	127,176	115,224	95,152	-0.09	-0.49	-0.95	-0.95
0-14歳人口	17,585	16,479	11,150	8,214	-1.29	-1.93	-1.52	-1.52
15-64歳人口	84,422	81,285	67,404	49,297	-0.75	-0.93	-1.55	-1.55
65歳以上人口	25,761	29,412	36,670	37,641	2.69	1.11	0.13	0.13

日本を基準としたときの各国のGDP規模

	2000	2010	2030	2050
日本	100	100	100	100
アメリカ	215	239	386	613
中国	109	206	690	1,572
インド	54	82	226	644

日本の持続可能性(2)

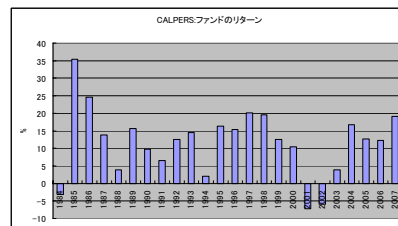
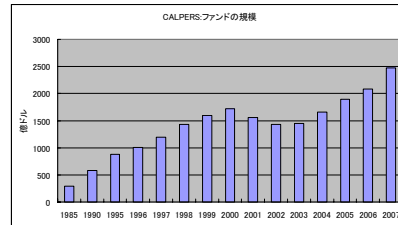
- GNPがGDPを上回ることの意味(2つの可能性)。マクロ経済
- 第1の方向: 日本の企業が世界企業化し、海外からの利益で国内を潤す。
- 自動車メーカー、エレクトロニクス・メーカーはこの道を走る。
- 問題: 2050年にもこうしたポジションを維持できるか?

自動車の生産・輸出、海外生産実績(2007年)

	単位: 万台						
	国内生産台数	国内販売台数	輸出台数	海外生産台数	生産台数合計	海外市場分	海外比率(%)
トヨタ	423	159	267	430	853	697	81.7
ホンダ	133	62	71	258	391	329	84.1
日産	118	72	65	225	343	290	84.5

日本の持続可能性(3)

- 第2の方向: 海外の成長市場に投資して、リターンを得る。
- 例: Calpers (California Public Employee's retirement system)
 - 1932年創設。ファンド規模: 26兆円(2007): 債券26%、株式65%、不動産8%。
 - 平均リターン: 11.7%(1984-2007)。
 - 年間収入: 組合員よりの保険金1兆円、投資からのリターン4兆円で基金の規模拡大中。
- 日本版カルパース(民間主導、海外のプロを雇い、成功報酬)

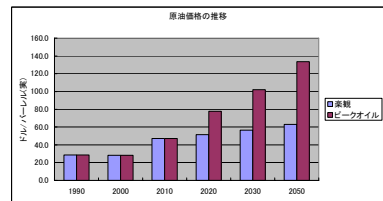
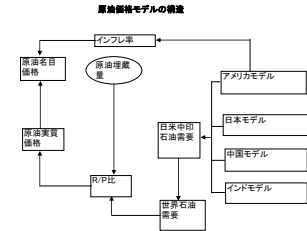


まとめ

- 2050年までの日本のマクロ経済、産業構造をシミュレーションモデルで求め、そのときのエネルギー需給とCO2排出量を試算した。
- 日本は今後1%台の成長を続け、とくに2030-2050年にかけては、0.2%の成長率となる。この場合、海外への直接投資を積極的に行い、それからの収益を国民生活の維持に用いるべきである。つまりGDPからGNPへと視点を移していく必要がある。
- 今後生じる構造変化(産業構造のサービス化、世帯構成の変化、自動車利用パターンの変化、業務のアウトソース化)を考慮すると、特段の省エネ策が取られなくても、2050年の日本のCO2排出量は、1990年レベルの2/3にとどまる可能性が高い。
- 2050年に、中国のGDPは日本の16倍、インドは6倍となる。日本は世界の経済大国から中流国家へと逆戻りする。
- 日本の持続可能性: 経済の斜陽化にどう賢明に対処していくかが、最大の問題。
- 日本企業の世界化(自動車、エレクトロニクスなど)と日本版カルパースを設立することにより、GDPの低下を、GNPで補う必要がある。

原油価格の推移

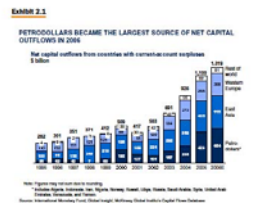
- 埋蔵量に関する想定を置いて、原油価格を求めてみた。
 - 2つの見方がある。楽観論：EIA想定など。今後も原油の埋蔵量は増加(2050年で2兆バレルを確保)。
 - オイルピーク論(a)埋蔵量のピークを超えつつある、(b)サウジアイランの埋蔵量の過大推定(Campbell, Deffeyes, Simmons, Bahree)。
- 楽観論で行くと、ここでの原油価格想定とほぼ合致する。オイルピーク論で行くと、2020年ごろから原油価格は上昇し、2050年には133ドル/バレルとなる。世銀の2050年値：133ドル/バレル(2001年価格)。
- おそらくサウジアイランで減産傾向が出ると、原油価格は再び上昇するだろう(2020年代以降)。
- [戻る](#)



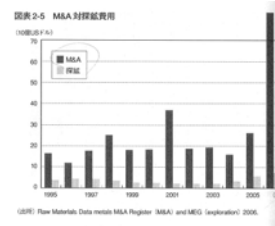
原油価格高騰とオイルマネーの資本市場への流入

- 原油価格高騰は、当該国の黒字を拡大し、これが資本市場に流れ込んでいる。
 - 2006年で4800億ドル。中国やインド分などを加えると1.3兆ドル。これは日本GDPの約1/3。
 - これがM&Aに回ったり、資源投機をさらに進めている。
- 価格上昇が探鉱ではなく、M&Aにつながっている(レアメタルの例)
- 実物市場だけでなく、金融市場にも目を向ける必要がある。

経常収支黒字国からの資本投資(10億ドル)



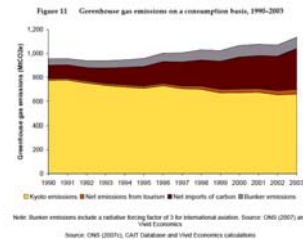
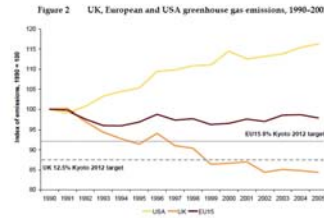
出所: Mckinsey 2008.01



出所: 谷口正次、「メタルウォーズ」,2008

英国のCO2排出量は減ったか？

- オックスフォードの学者が、英国のCO2は言われるほど減っていないことを検証(Helm,2007)
- 英国は京都議定書の模範国と言われてきた(上図)。90年比12.5%削減を達成可能。
- しかし消費段階でCO2排出量を測るとむしろ増えている:削減の輸入は産業構造の変化によるエネルギー消費財の輸入増加と石炭発電の減少。
- 産業構造の変化や貿易によるエネルギー消費製品の輸入可能性を入れないと、本当のところはわからない。



出所: Helm et.al.2007

付録(1)なぜCGEアプローチを取らないのか

- ダイナミックな変化が取り入れられない。
- 2050年への経済発展は、均衡のちょっとした変化ではない。
 - 「新しい均衡点は古い均衡点からの微分的な歩みによっては到達し得ない。…郵便馬車をいくら連続的に加えてもそれによってけって鉄道をうることはできない」(シュンペーター、経済発展の理論)
 - したがってCGEの描く世界とはまったく異なっている。
- 特に中国やインドの急発展とそのインパクトを取り入れられない。
- [モデル構成に戻る](#)



シュンペーター
(1883-1950)

インバース・マニュファクチャリング
フォーラム調査研究報告書

発行年月 平成20年3月
発行者 財団法人 製造科学技術センター
〒105-0001 東京都港区虎ノ門3-11-15
SVAX TT ビル 3F
電話03-5472-2561

本報告書の内容を公表する際は、あらかじめ
発行者の許可を受けて下さい。

