

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



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

<http://ringring-keirin.jp/>



序

我が国機械工業における技術開発は、戦後、既存技術の改良改善に注力することから始まり、やがて独自の技術・製品開発へと進化し、近年では、科学分野にも多大な実績をあげるまでになってきております。

しかしながら世界的なメガコンペティションの進展に伴い、中国を始めとするアジア近隣諸国の工業化の進展と技術レベルの向上、さらにはロシア、インドなどBRICs諸国の追い上げがめざましい中で、我が国機械工業は生産拠点の海外移転による空洞化問題が進み、技術・ものづくり立国を標榜する我が国の産業技術力の弱体化など将来に対する懸念が台頭してきております。

これらの国内外の動向に起因する諸課題に加え、環境問題、少子高齢化社会対策等、今後解決を迫られる課題も山積しており、この課題の解決に向けて、従来にも増してますます技術開発に対する期待は高まっており、機械業界をあげて取り組む必要に迫られております。

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

こうした背景に鑑み、当会では機械工業に係わる技術開発動向調査等の補助事業のテーマの一つとして財団法人 製造科学技術センターに「次世代社会構造対応型製造技術の体系・統計調査」を調査委託いたしました。本報告書は、この研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚です。

平成20年3月

社団法人 日本機械工業連合会
会 長 金 井 務

序

日本の製造業は、工業製品の製造技術について先進的な取組みを行い、世界から高い信頼を得て、輸出競争力を維持してきました。

しかしながら、近年は、製品の製造技術やコスト競争力を付けてきた諸国がシェアを拡大しつつある一方、欧米を中心とする諸国には製品の環境・安全への配慮を求める動きもあります。

わが国の製造業は、諸外国の状況変化に対応し、輸出競争力を維持していくため、製品の付加価値化を高め、最先端のものづくりを推し進めるとともに、客先の需要に柔軟に対応できるオンデマンド生産や生産性向上のため生産工程の自動化やモジュール化等の取組みが必要になっています。

このような情勢の中で、日本の製造業が対応していく方向を導く指標の一つとすべく、生産システム、設計、加工の各分野について、技術マップ、ロードマップをローリングし、統合化した詳細設計のものづくり技術戦略ロードマップを作成するとともに、重要な技術開発課題を取り上げて導入シナリオを作成しました。

一方、日本の主要産業数品目を対象に、各種統計データを入手し、製造技術市場・設備等動向調査を実施しました。

本報告書は、これらの研究成果であり、関係各位のご参考に寄与すれば幸甚であります。

平成20年3月

財団法人 製造科学技術センター
理事長 庄山悦彦

目次

事業運営組織	1
第1章 はじめに	5
第2章 経緯及び構成	7
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	11
3.1 生産システム技術戦略の概要	11
3.1.1 生産システムの考え方	11
3.1.2 技術マップの構成	11
3.2 生産システムに関する重要技術	14
3.2.1 重要技術抽出の考え方	14
3.2.2 重要技術マップ	17
3.2.3 重要技術ロードマップ	18
3.3 産業基盤の整備	19
3.3.1 産業基盤の整備の概要	19
3.3.2 技術マップ（産業基盤の整備）	23
3.3.3 ロードマップ（産業基盤の整備）	24
3.4 既存産業の高度化	25
3.4.1 既存産業の高度化の概要	25
3.4.2 技術マップ（既存産業の高度化）	28
3.4.3 ロードマップ（既存産業の高度化）	29
3.5 ニュービジネスの創出	30
3.5.1 ニュービジネスの創出の概要	30
3.5.2 技術マップ（ニュービジネスの創出）	37
3.5.3 ロードマップ（ニュービジネスの創出）	40
3.6 まとめ	41
第4章 設計WGの報告－次世代開発システムを目指して	43
4.1 設計の技術戦略の概要	43
4.1.1 設計の考え方	43
4.1.2 技術マップの構成	48
4.2 設計に関する重要技術	51
4.2.1 重要技術抽出の考え方	51
4.2.2 重要技術マップ	53

4. 2. 3	重要技術ロードマップ	5 5
4. 3	設計管理技術	5 6
4. 3. 1	設計管理技術の概要	5 6
4. 3. 2	技術マップ (設計管理技術)	5 7
4. 3. 3	ロードマップ (設計管理技術)	6 1
4. 4	設計・技術活動支援技術	6 2
4. 4. 1	設計・技術活動支援技術の概要	6 2
4. 4. 2	技術マップ (設計・技術活動支援技術)	6 7
4. 4. 3	ロードマップ (設計・技術活動支援技術)	6 9
4. 5	3次元モデリング技術	7 0
4. 5. 1	3次元モデリング技術の概要	7 0
4. 5. 2	技術マップ (3次元モデリング技術)	7 5
4. 5. 3	ロードマップ (3次元モデリング技術)	7 7
4. 6	ナレッジ管理・運用技術	7 9
4. 6. 1	ナレッジ管理・運用技術の概要	7 9
4. 6. 2	技術マップ (ナレッジ管理・運用技術)	8 2
4. 6. 3	ロードマップ (ナレッジ管理・運用技術)	8 2
4. 7	CAE、性能シミュレーション技術	8 3
4. 7. 1	CAE、性能シミュレーション技術の概要	8 3
4. 7. 2	技術マップ (CAE、性能シミュレーション技術)	8 8
4. 7. 3	ロードマップ (CAE、性能シミュレーション技術)	8 9
4. 8	現物融合技術	9 0
4. 8. 1	現物融合技術の概要	9 0
4. 8. 2	技術マップ (現物融合技術)	9 4
4. 8. 3	ロードマップ (現物融合技術)	9 5
4. 9	基盤情報技術	9 6
4. 9. 1	基盤情報技術の概要	9 6
4. 9. 2	技術マップ (基盤情報技術)	1 0 3
4. 9. 3	ロードマップ (基盤情報技術)	1 0 4
4. 10	まとめ	1 0 5
第5章	加工技術SWGの報告ーものづくり力を支える先端加工技術	1 0 6
5. 1	加工技術戦略の概要	1 0 6

5. 1. 1	加工技術の考え方	106
5. 1. 2	技術マップの構成	107
5. 2	加工に関する重要技術	108
5. 2. 1	重要技術抽出の考え方	108
5. 2. 2	重要技術マップ	112
5. 2. 3	重要技術ロードマップ	113
5. 3	NFF マシニングシステム	115
5. 3. 1	NFF マシニングシステムの概要	115
5. 3. 2	技術マップ (NFF マシニングシステム)	120
5. 3. 3	ロードマップ (NFF マシニングシステム)	122
5. 4	ナノ精度 M4 プロセス	124
5. 4. 1	ナノ精度 M4 プロセスの概要	124
5. 4. 2	技術マップ (ナノ精度 M4 プロセス)	128
5. 4. 3	ロードマップ (ナノ精度 M4 プロセス)	129
5. 5	材料・エネルギー最小化 (MMEM) 加工技術	131
5. 5. 1	MMEM 加工技術の概要	131
5. 5. 2	技術マップ (MMEM 加工技術)	133
5. 5. 3	ロードマップ (MMEM 加工技術)	134
5. 6	超機能性インターフェース	135
5. 6. 1	超機能性インターフェースの概要	135
5. 6. 2	技術マップ (超機能性インターフェース)	139
5. 6. 3	ロードマップ (超機能性インターフェース)	139
5. 7	スーパークオリティRX	140
5. 7. 1	スーパークオリティRXの概要	140
5. 7. 2	技術マップ (スーパークオリティRX)	144
5. 7. 3	ロードマップ (スーパークオリティRX)	145
5. 8	局所環境制御加工	146
5. 8. 1	局所環境制御加工の概要	146
5. 8. 2	技術マップ (局所環境制御加工)	151
5. 8. 3	ロードマップ (局所環境制御加工)	151
5. 9	電気化学加工	152
5. 9. 1	電気化学加工の概要	152

5. 9. 2	技術マップ (電気化学加工)	1 5 6
5. 9. 3	ロードマップ (電気化学加工)	1 5 7
5. 10	鋳造	1 5 8
5. 10. 1	鋳造の概要	1 5 8
5. 10. 2	技術マップ (鋳造)	1 6 2
5. 10. 3	ロードマップ (鋳造)	1 6 4
5. 11	プラスチック成形	1 6 7
5. 11. 1	プラスチック成形の概要	1 6 7
5. 11. 2	技術マップ (プラスチック成形)	1 7 2
5. 11. 3	ロードマップ (プラスチック成形)	1 7 3
5. 12	溶接・接合	1 7 4
5. 12. 1	溶接・接合の概要	1 7 4
5. 12. 2	技術マップ (溶接・接合)	1 7 9
5. 12. 3	ロードマップ (溶接・接合)	1 8 0
5. 13	金属成形加工：鍛造、板材成形、インクリメンタルフォーミング、 マイクロ成形	1 8 1
5. 13. 1	金属成形加工の概要	1 8 1
5. 13. 2	技術マップ (金属成形加工)	1 8 6
5. 13. 3	ロードマップ (金属成形加工)	1 8 7
5. 14	機械加工Ⅰ (多軸・複合工作機械および加工システム)	1 8 8
5. 14. 1	機械加工Ⅰの概要	1 8 8
5. 14. 2	技術マップ (機械加工Ⅰ)	1 9 2
5. 14. 3	ロードマップ (機械加工Ⅰ)	1 9 4
5. 15	機械加工Ⅱ (切削加工、切削工具)、人間・計測系	1 9 5
5. 15. 1	機械加工Ⅱの概要	1 9 5
5. 15. 2	技術マップ (機械加工Ⅱ)	1 9 9
5. 15. 3	ロードマップ (機械加工Ⅱ)	2 0 0
5. 16	機械加工Ⅲ (研削加工、研磨加工)	2 0 1
5. 16. 1	機械加工Ⅲの概要	2 0 1
5. 16. 2	技術マップ (機械加工Ⅲ)	2 0 3
5. 16. 3	ロードマップ (機械加工Ⅲ)	2 0 4
5. 17	まとめ	2 0 5

第6章	ものづくり技術の評価と推進	207
6.1	ものづくり技術の推進	207
6.1.1	開発すべき技術の絞込み	207
6.1.2	技術の方向と波及効果	209
6.1.3	特に重点化すべきものづくり技術	210
6.2	ものづくり技術強化策	214
6.2.1	開発研究課題の提案	215
6.2.2	課題の開発研究推進の方法	217
第7章	おわりに	219

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）	223
2.	サステナブル・マニュファクチャリングWGの報告概要	233
3.	次世代レーザー技術活用調査委員会の報告概要	244
4.	アカデミックロードマップ委員会WG4の報告概要	270

事業運営組織

本事業は、次の委員会及びワーキンググループを設けて実施した。

平成19年度 ものづくり技術戦略ロードマップ検討委員会

- 委員長 新井 民夫 東京大学大学院 工学系研究科 精密機械工学専攻 教授
- 幹事 鈴木 宏正 東京大学 先端科学技術研究センター 教授
- 委員 竹内 芳美 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授
- 委員 大和 裕幸 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻 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
- 委員 帯川 利之 東京大学 生産技術研究所 機械・生体系部門 教授
- 委員 楊 明 首都大学東京 システムデザイン学部
ヒューマンメカトロニクスシステムコース 教授
- 委員 新 誠一 電気通信大学 電気通信学部 システム工学科 教授
- 委員 渡邊 政嘉 経済産業省 製造産業局 ものづくり政策審議室長 素形材産業室長
- 委員 松木 則夫 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 センター長
- 委員 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長
- 委員 高橋 泰樹 キヤノン(株) CE本部 本部長
中原 俊一 キヤノン(株) 生産技術本部 生産技術研究所 所長
- 委員 小島 史夫 (株)デンソー 生産技術部 部長
- 委員 原口 英紀 (株)トヨタケーラム 営業部 次長
- 委員 後藤 康浩 日本経済新聞社 編集局 国際部 兼 産業部 次長
- 委員 五十嵐賢一 日本電気ファクトリエエンジニアリング(株) 代表取締役
執行役員社長
- 委員 近野 泰 (株)野村総合研究所 技術・産業コンサルティング一部
上席コンサルタント 担当部長
- 委員 金原 信秀 (株)日立製作所 モノづくり技術事業部 副事業部長

生産システムワーキンググループ

- 主 査 竹内 芳美 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授
- 幹 事 五十嵐賢一 日本電気ファクトリエエンジニアリング(株)
代表取締役執行役員社長
- 委 員 新 誠一 電気通信大学 電気通信学部 システム工学科 教授
- 委 員 青山 和浩 東京大学大学院 工学系研究科 環境海洋工学専攻 教授
- 委 員 望戸 實 東京大学 ものづくり経営研究センター 共同研究員
- 委 員 徳永 仁史 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 主任研究員
- 委 員 渡邊 政嘉 経済産業省 製造産業局 ものづくり政策審議室長 素形材産業室長
- 委 員 古賀 信次 川崎重工業(株) システム技術開発センター 製造技術部長
- 委 員 中野 冠 (株)豊田中央研究所 シンクタンク室 主席研究員
- 委 員 尾形 潔 (株)日立製作所 生産技術研究所 実装ソリューション研究部長
沢 真司 (株)日立製作所 生産技術研究所 生産システム第二研究部 部長
- 委 員 村上 譲司 横河電機(株) 技術開発本部 技術情報センター 課長代理
- 委 員 藤原 茂喜 松下電工(株) 生産技術研究所 機構技術開発グループ グループ長

加工技術サブワーキンググループ 委員名簿

- 主 査 帯川 利之 東京大学 生産技術研究所 機械・生体系部門 教授
- 幹 事 楊 明 首都大学東京 システムデザイン学部
ヒューマンメカトロニクスシステムコース 教授
- 委 員 青山藤詞郎 慶應義塾大学 理工学部 システムデザイン工学科 教授
- 委 員 国枝 正典 東京農工大学 工学部 機械システム工学専攻 教授
- 委 員 池庄司敏孝 東京工業大学大学院 理工学研究科 機械宇宙システム専攻 助教
- 委 員 佐藤 勲 東京工業大学大学院 理工学研究科 機械制御システム専攻 教授
- 委 員 平田 敦 東京工業大学大学院 理工学研究科 機械物理工学専攻 准教授
- 委 員 厨川 常元 東北大学大学院 工学研究科 ナノメカニクス専攻
ナノテクノロジー講座 教授
- 委 員 岡根 利光 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 加工情報構造研究チーム
チームリーダー
- 委 員 丑久保雅之 (社)日本工作機械工業会 技術部 係長

委員 森田 浩充 (株)デンソー 生産技術開発部 第2生産技術室 室長
委員 渡邊 和彦 双葉電子工業(株) 研究開発本部 精密加工グループ 技師
オブザーバ 平塚 廣明 (社)精密工学会 事務局長
オブザーバ 竹内 芳美 大阪大学大学院 工学研究科 機械工学専攻 教授

設計ワーキンググループ

主査 大和 裕幸 東京大学大学院 新領域創成科学研究科 人間環境学専攻 教授
幹事 原口 英紀 (株)トヨタケーラム 営業部 次長
委員 乾 正知 茨城大学 工学部 システム工学科 教授
委員 鈴木 宏正 東京大学 先端科学技術研究センター 教授
委員 秋山 雅弘 (株)アルモニコス 代表取締役
委員 阿部 俊朗 (株)エステック 代表取締役社長
委員 石川 義明 (有)設計生産工学研究所 取締役
委員 村上 幸己 (株)トヨタケーラム システム開発部 チーフエンジニア
委員 岩壁 清行 (株)日本デザインエンジニアリング 代表取締役
委員 下木 和敏 日本ユニシス(株) SW&サービス本部
PLMソリューション第一統括プロジェクト
R&D開発サービスプロジェクト
委員 渡邊 和彦 双葉電子工業(株) 研究開発本部 精密加工グループ 技師
委員 庄司 孝 (有)ブレーンビジネス 代表取締役
オブザーバ 内田 幸雄 (株)アルモニコス 常務取締役

市場・統計ワーキンググループ

主査 後藤 康浩 日本経済新聞社 編集局 国際部 兼 産業部 次長
幹事 近野 泰 (株)野村総合研究所 技術産業コンサルティング一部
上席コンサルタント 担当部長
委員 小谷 重徳 首都大学東京大学院 社会科学研究科 経営学専攻 教授
委員 稲葉 良平 キヤノン(株) 生産技術本部 生産技術推進センター 副所長
委員 谷岡 雄一 清水建設(株) エンジニアリング事業本部 情報ソリューション本部
本部長
委員 木嶋 豊 日本政策投資銀行 新産業創造部 次長

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
福田 賢一 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 企画官
是永 基樹 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 課長補佐
新階 央 経済産業省 製造産業局 参事官室 課長補佐
長町 英彦 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 係長
武本 直土 経済産業省 産業技術環境局 研究開発課 技官
九津見啓之 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主査
佐藤 治道 独立行政法人 新エネルギー・産業技術総合開発機構
機械システム技術開発部 主査

事務局

瀬戸屋 英雄 (財) 製造科学技術センター 専務理事
笹尾 照夫 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 部長
外山 良成 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 主席研究員
高橋 慎治 (財) 製造科学技術センター 生産環境室 主席研究員
間野 隆久 (財) 製造科学技術センター 調査研究部 課長

第1章 はじめに

2007年は食料・エネルギーの分岐点であった。原油価格は100ドル超えを確定し、いまや110ドルに達している。小麦を始めとする食料はエネルギー源としても使われることから、急速に価格が高まっている。この背後には化石燃料の使用による急速な温暖化がある。この傾向は今後一層強まることはあっても弱まることはない。日本の弱みである食料・エネルギーコストの増加は技術立国の重要性を一層際立たせる。それも持続性社会の構築を可能とするものづくりジャパンの強化である。

ではものづくり技術の強化を日本は本当に図ってきたのであろうか。「安かろう・悪かろう」といわれた Made in Japan が1980年代には良い品質の代名詞になった。バブル崩壊後の10年を経て、2000年からはデジタル機器の競争力を取り戻した。いまや、輸送機器、工作機械、精密機械、電子機器分野の企業利益は史上最高に達している。日本はものづくり大国、ものづくり強国であると信じられている。確かに、技術者は頑張ってきた。そしてその源泉である科学技術指向が日本では極めて強く、大学においても他分野に比較して多数の工学部卒業生を世に送り出してきた。

しかし、未来はどうなるのであろうか。教育を根とし、葉を個別製品とする「ものづくりの樹」を想定してみよう。この大樹の幹は今や空洞化しているように見える。根となる初等中等教育での科学離れが著しい。幹を構成する大学ではものづくり関係の学科・専攻が急速に減っている。太い枝とも言える先端技術には栄養が流れるが、小枝である中小企業には、将来への技術投資が滞って、枯れかかっているように見える。ものづくり将来は不透明である。この対策として人材養成への取り組みがここ数年進められており、人数が少なくとも良い人材が育つことを期待するしかない。

もうひとつ大きな問題点がある。技術の進歩で伸ばすべき方向が増えている。技術者はあれもこれも対応しなければならず、疲れ果てる。この対策としては、無駄な技術開発をあきらめて、必要かつ有効な技術開発を集中的に進めるしかない。それも、1年で結果が出るような短期勝負では世界を引っ張ることはできず、長期的な研究開発投資をものづくり分野で進めなければならない。そのために必要なものは、未来の荒野を持続性社会構築へと走り抜けるための技術マップ、ロードマップである。

多くの技術ロードマップが製品指向、あるいは特定先端技術指向で描かれてきた中で、本ロードマップは「ものづくり技術」という極めて広い分野を対象とする。ものづくりの樹でいえば、幹から枝、葉までを構成する多数の細胞を強化し、かつ、多様な製品づくりの栄養を運ぶものでなければならない。当然、ロードマップは、極めて細かい技術要素についての議論になるか、逆の大まかな枠組みのあり方論になりがちである。ここが従来の

ロードマップとの大きな違いであり、難しさである。本ロードマップ作成作業では、生産システム、設計システムというシステムの視点から全体を眺めることで、対象技術の極端な詳細化・細分化を避ける。一方、加工技術については先端技術と従来技術とをすべて検討することで利用価値の高いマップにすることを旨とする。加えて、2006年度の活動成果に対するローリング作業として、「サステナブル・マニュファクチャリング」の視点を強化し、生産システムには社会的要求を加えている。このようにして描かれた2007年度のものづくり技術ロードマップを、どの様に使うかを想像しながら読み解いてほしい。

第2章 経緯及び構成

(昨年度の活動)

財団法人製造科学技術センターでは、昨年度これから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、新井民夫先生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取り扱うかという議論があり、昨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にした。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、昨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。

昨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、今年度引き続きフォローアップを行うことにした。昨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。

(今年度の活動)

今年度は、昨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昨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きていることから名称を「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。昨年度は生産システムWGで検討を行ったが、今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にした。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にした。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の主査は帯川利之先生にお願いし、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。

昨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

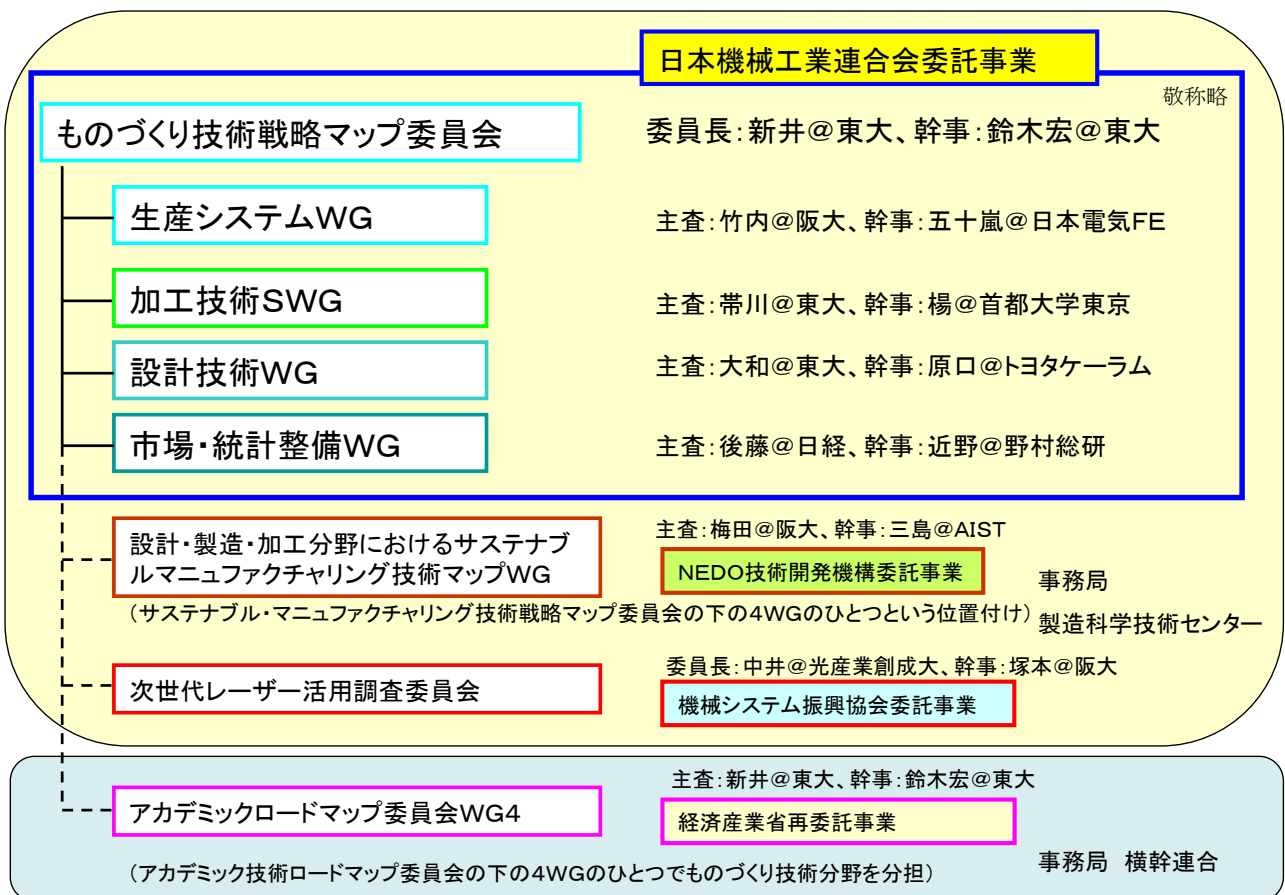
を策定した。その概要を付録3に示す。

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、新井民夫先生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。全体の関係を下図に示す。

平成19年度 ものづくり技術戦略ロードマップ検討体制



(今年度の報告の構成)

今年度はものづくり技術戦略マップ検討委員会の下に生産システム、設計技術及び加工技術の3つのWGを組織して検討を実施した。

各々のWG毎に大項目または中項目毎に技術マップ及びロードマップを作成した。そこで取り上げられた要素技術としての技術開発項目の内、特に重要なものを「重要技術」として抽出し、それを各WG毎に技術マップ及びロードマップ各1表にまとめ、その実現のための方策等について説明を加えた。なお、サステナブル・マニュファクチャリング関連技術については各ロードマップの評価欄にその旨をあわせて明示している。

3つの技術分野の各章毎の構成は読者の便も考え、技術戦略の概要として考え方と構成を説明したあと、「重要技術」について、その抽出の考え方、技術マップ及びロードマップを示した。そのあと、個別技術分野について概要、技術マップ及びロードマップを詳述した。最後にまとめとして、重要技術を実現するための方策の提言や来年度以降の展開に関する考え方を説明している。

第6章のものづくり技術の評価と推進の章では、各分野毎に提案された重要技術の中から最も重要で、かつ、緊急性が高いものについてその実現のための政策提言を行った。

付録については先に説明したように、市場・統計整備WGの報告、サステナブル・マニュファクチャリングWGの報告概要、次世代レーザー技術活用調査委員会の報告概要及びアカデミックロードマップ委員会WG4の報告概要が含まれている。

今年度の報告は非常に大部になったが、時間のない読者は第3章から5章までの重要技術及びまとめ並びに第6章を参照頂ければ概略が把握できるものと考えている。

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

3. 1 生産システム技術戦略の概要

3. 1. 1 生産システムの考え方

生産システムワーキンググループ（WG）は、昨年度、製造技術ロードマップを、設計システムと生産システムに分けて考えるという方針でその基本を考えた。そこでは、生産システムは、地球環境と社会との相互関係をもちながら人類に有用なもの（人工物）を作ることによって企業を存続させ、同時に人が生活をする場を与えるものと定義した。生産システムは、それ自身を設計・評価する技術を必要とするが、システムの重要な機能は、商品としてのものを企画し、設計、製造、販売、サービス、回収・再利用という一連の活動であり、この活動が無駄なく効率よく行われるための生産プロセス技術と、様々な情報が円滑に流れるように支援するための生産管理・情報技術から成るという立場から論じた。

生産システムの要素技術のキーワードと実施時期を検討するとともに、これからの必須の項目になるサステナビリティというコンセプトを環境と社会の面から取り上げた。環境に関しては、温暖化防止・有害物質対応・資源有効活用という3点を念頭に、また、社会に関しては、安全安心・少子化対策・グローバル展開で素案を描いた。

なお、生産システムといってもその活動範囲は広く、多岐に渡るシステムが現存する中で、製造技術ロードマップとして対象としたのはいわゆるデスクリートな部品や製品を製造する機械組立て産業であり、石油製品などのプロセス産業やLSI製造などは取り上げないことにしている。

3. 1. 2 技術マップの構成

今年度は、検討して分類した以下の5項目について、再度技術戦略マップを練る予定であったが、

- 1 生産プロセス技術
- 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
- 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
- 5 生産システムの設計・評価技術

このうち、項目の3、4は別のWGで、また項目1の生産プロセスのうちで大半を占める加工技術に関しては新たにWGが発足して掘り下げることになった。従って、生産システムWGは、生産プロセスのシステム・IT化、設計・評価技術、生産管理・情報技術を取り扱うよう守備範囲を狭めて、深く検討することになった。

ところで、2015年、25年には製造技術がどのようになっているかを今の延長ではなく、その時期に予想される技術に対し、今年度は、これからどのように展開すべきかを根本的に論じる機会をもてた。そこで、現在からの延長的な発想に立った昨年度の項目を洗い直した。その結果、生産活動とは製品ならびにサービスをバリュー（価値）としてユーザーに提供し、その見返りにキャッシュ（利益）を得るもの、と位置付けた。提供する製品やサービスは、安全・安心で地球環境保全に配慮したものであり、持続可能な社会を作る一助となるという発想である。生産活動は、「人」と「もの」と「情報」の3つの要素が織りなす関係そのものと言えよう。この状況を図示したものが図3. 1. 1である。

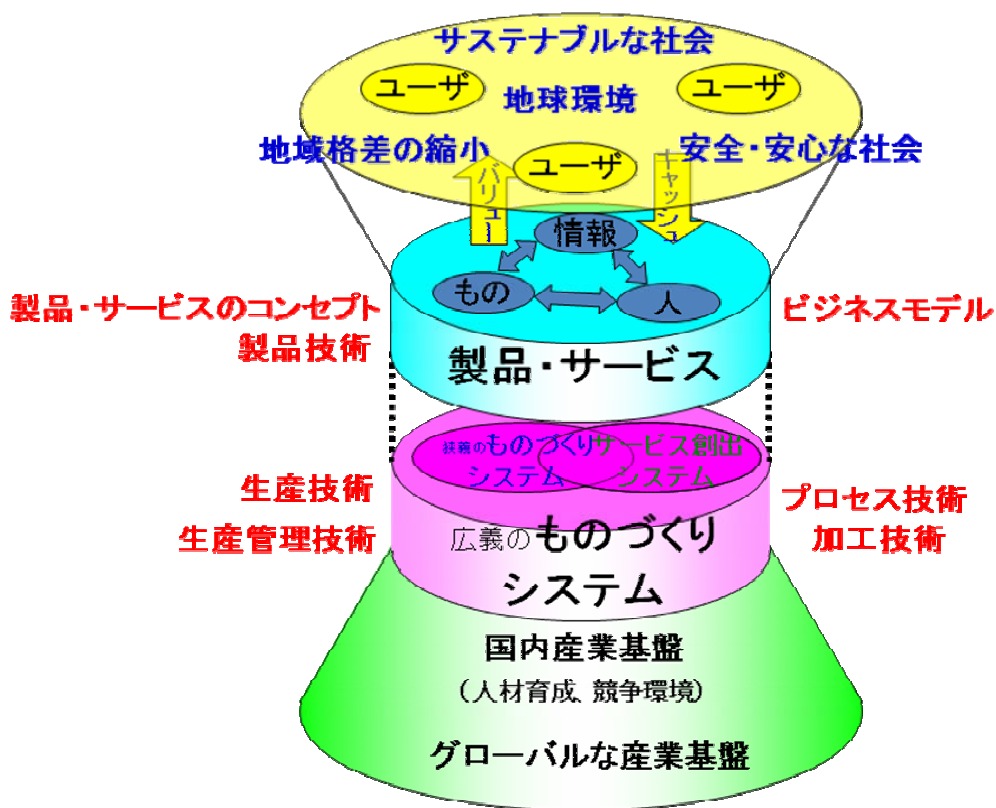


図3. 1. 1 生産活動の意味

生産活動の重要事項は、「もの」と「情報」が巧妙に組み合わせられた製品技術と、「人」と「情報」が仕組みを提供するビジネスモデル構築の2つであり、それらを支援するのがものづくりシステムとサービス創出システムになる。これらが広義のものづくりシステムと考えられる。このシステムには、いわゆる従来の生産技術、生産管理技術、プロセス技術、加工技術などが含まれ、これらは改良改善によって進歩していく技術と飛躍的な転換の図られる技術に大別できる。システムが健全に発展するには、国内と国外の産業的な

基盤が充実することが必須の課題である。

生産システムのシナリオとしては、「産業基盤の整備」、「既存産業の高度化」、「ニュービジネスの創出」を主要分類として抽出し、改良改善によって進歩していく仕組み・技術と飛躍的な転換の図られる仕組み・技術を交えて、10年後、20年後を目標に技術マップを展開するとともに、時間軸を設定してロードマップを作成した。

ここで、もう少し現実的に生産システムのあるべき姿を考えよう。そもそも、生産とは人間が行うものであり、いつの時代にも生産性を上げることが期待されるが、その要素としては当然人間（労働生産性）と機械（資本生産性）がある。現在および将来にわたって、これらを助けるものとして広義の情報（技術）の貢献が大きくなり、資本生産性の向上要素となっており、その相互作用の範囲は広い。何れにしても、人が行う生産を機械と情報がWIN=WINの関係を持ち、上手く支援して、生産性を上げることが基本である。これらの関係に齟齬があると生産システムは有効に働かない。この関係を図3. 1. 2に示す。

2025年の日本の姿を考えると、金融資本の貢献を指摘する傾向がトレンドになっているが、現在の日本の競争力の源泉となっている製造業の高い生産性に基づく強い国際競争力をこれからも維持発展することが不可欠である。

生産システムのあるべき姿

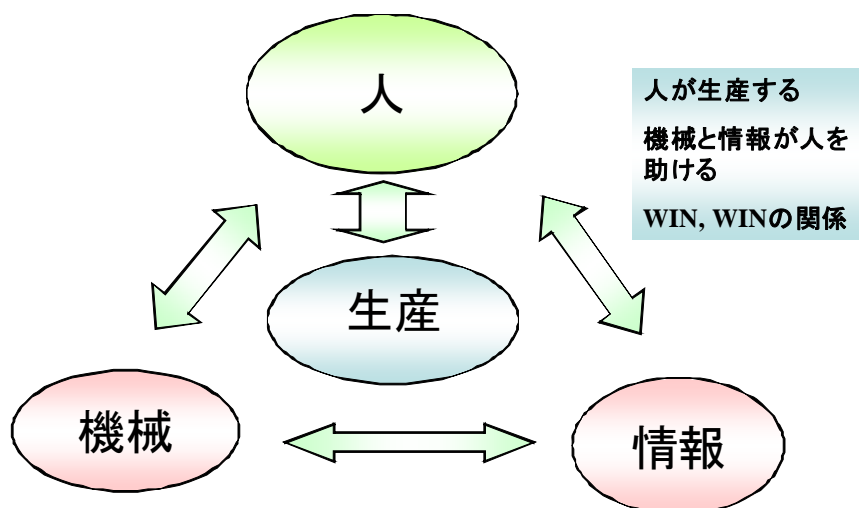


図3. 1. 2 生産システムのあるべき姿

3. 2 生産システムに関する重要技術

3. 2. 1 重要技術抽出の考え方

生産活動は、「もの」と「情報」が巧妙に組み合わせられた製品技術と、「人」と「情報」が仕組みを提供するビジネスモデル構築の2つに集約されることを述べたが、それらを支援するものが「ものづくりシステム」と「サービス創出システム」であると結論付けた。このシステムを実現するために、生産システムワーキンググループは今後の技術マップを考えるためのカテゴリとして、「産業基盤の整備」、「既存産業の高度化」、「ニュービジネスの創出」を大分類事項におき、それぞれに関して10年後、20年後を目標に技術マップを展開するとともに、時間軸を設定してロードマップを作成した。

ここでは、その中から特に重要と思われる○印の技術とその課題を説明するとともに、それらを実現していくための提言する項目を簡潔に述べる。

(1) 産業基盤の整備

すべての活動は人間のなせる業であり、人が欠けては生産活動は成り立たない。その意味で人材育成はすべての基盤ではあるが、重要技術要素としては「意図せざる技術流出の防止」を指摘したい。すなわち、

○技術のブラックボックス化

要するにちょっとやそつとでは真似のできない、あるいは分析再構成が極めて困難にする技術である。

(2) 既存産業の高度化

このカテゴリでは、既存産業の改善・改良、革新的展開、新しい事業戦略の分類から7つの項目を重要技術要素として取り上げた。それらは、

○バーチャルマニュファクチャリング

コンピュータ上で生産システムのすべてを模擬することによってシステムの最適化や見える化を行うものである。

○有害廃棄物除去

生産過程で生じる有害な廃棄物を工場外に出さないようにする技術であり、環境保全に不可欠な技術である。

○ゼロエミッション工場

すべての産業廃棄物を循環資源として活用し、埋立や単純な焼却をゼロにするような

工場を指す。

○内燃機関の電気駆動化

内燃機関を電気駆動できるように転換することで排ガスを出さないだけでなく、制御を容易にする技術である。ただし、電力生産プロセスにCO₂生成を転嫁しないようにすることが求められる。

○人・ロボット協調生産

少子化による労働力低下や作業者の高齢化にともない、闇雲に自動化を図るのではなく、ロボットが人に優しく給力しながら生産をできるシステムが肝要になる。

○トータルトレーザビリティ

製造された製品や部品の生産から使用、再利用から廃棄までの各プロセスを追究できる技術の総称で、センサ、画像処理、計測技術、遠隔制御などの発展にかかっている。

○ラピッドプロトタイピング

競争力を高めるのにますます重要になるのは試作の迅速化技術であり、光造形に代表される積層造形法が知られているが、さらに新しい技術が望まれる。

(3) ニュービジネスの創出

「革新的製品技術」を製品に依存しない形で示すため、暮らす、診る、移動する、知る、楽しむ、の5つの「動詞」で抽象的に表現したが、その中での重要技術要素として、7つを取り上げた。容易に想像できる事項は割愛し、2項目について述べた。

○環境修復技術

○有用資源回収技術

○食糧生産工場

野菜、魚、家畜などの人工的な生産を、工業技術である生産システムを適用し、効率的に運用する技術で、これから不可欠になる有望な技術である。

○フェールセーフなロボット制御

○事故防止・衝突防止

○グローバル運行情報システム

○セキュアネットワーク

生産活動には特に安全で安心な情報交換ができるようになる通信ネットワークの早急な構築が緊急の課題となる。

次に、「システム技術」として、

○動脈・静脈一体生産システム

これはインバースマニュファクチュアリングに近い概念であり、素材から製品への順方向

生産システムと製品廃棄から素材へ戻す逆方向生産システムを共に考えたリーンで環境対応型のシステムと言える。

さらに、「市場創成型の新サービスの開発」では、説明は略すが、

○安全な食料生産システム

○安全な化学物質回収システム

○工場リスク管理システム

をあげた。最後に、「新ビジネスモデルの提案」では、生活を安全にするビジネスモデルとして、

○危険・ハザードを知らせる技術

現在の状況を考えると、これからますます危険やハザードに備える技術やシステムは、大いにビジネスチャンスになり得る。開発を急ぐ必要がある。

また、生活を豊かにするビジネスモデルとして、

○製品価値を可視化する技術

○サービスを可視化する技術

○ビジネスを可視化する技術

のように、製品価値、サービス、それらをビジネスとしたとき、容易に状態が分り、判断を的確にできるようにする技術が重要である。

以上のように、23項目を重要事項として取り上げ、研究開発してゆくべき技術と位置付けた。

3. 2. 2 重要技術マップ

ものづくり技術戦略マップ（生産システム）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
産業基盤の整備	産業構造改革	意図せざる技術流出の防止	◎ブラックボックス化技術	・高度な技術を駆使しリバースエンジニアリングを困難するアプローチ ・リバースエンジニアリングの分解・再製に膨大なコストを要するようなアプローチ
既存産業の改良・改善	IT活用	見える化	◎バーチャルマニファクチャリング	コンピュータ上で工場内物流や製品組立工程等を仮想的に再現し、実際のライン設置前に問題点を抽出・解決して生産システムの最適化をはかること
		低公害化	◎有害廃棄物除去	生産の過程で発生する有害な廃棄物を捕集・除去し、工場の外に出さないこと
		資源保護	◎ゼロエミッション工場	全ての産業廃棄物を循環資源として活用し、埋め立ておよび単純焼却をゼロにした工場
革新的展開	革新的新製品	新環境製品	◎内燃機関の電気駆動化	内燃機関を電磁モータへ代替していくこと
	革新的FAシステム	機械化・自動化	◎人・ロボット協調生産	セル生産などでロボットが人と協調して作業すること
		検査技術	◎トータルトレーザビリティ	製造された製品や部品の生産から使用、再利用から廃棄までの各プロセスを追跡できる技術の総称
		新加工プロセス	◎ラビッドプロトタイピング	積層造形法を用いて試作品の形状のみを短時間で成形する手法。光造形法、粉末法、シート積層法、インクジェット法、押し出し法等の方法がある。
ニュービジネスの創出	革新的新製品の創出	暮らす:Life	◎環境修復技術	温暖化ガスからオゾン、酸素などの再生や汚染土壌・水の修復
		暮らす:Life	◎有用資源回収技術	都市ゴミ等の中から有益な金属、希少金属を再生
		暮らす:Life	◎食糧生産工場	自然環境に左右されず人工的な生育環境制御による野菜、魚、家畜の生産
		診る:Health	◎フェールセーフなロボット制御	制御的に問題があったとしても人間へダメージを与えないロボット制御技術
		移動する:Mobility	◎事故防止・衝突防止	歩行者検知、衝突検知などによる事項防止に向けた技術開発が進展
		移動する:Mobility	◎グローバル運行情報システム	気象情報、船・航空機などの現在位置情報、運行予測情報を総合的に提供
		知る:Information	◎セキュアネットワーク	安全、安心な情報交換が可能になる通信インフラ
	システム技術	システム構造	◎動脈・静脈一体型生産システム	リサイクル品の投入により再生部品などが利用可能な生産システム
	市場創造型の新サービスの開発	安全システム技術	◎安全な食料生産システム	国内あるいは国際間において、CSR、品質管理技術、標準化をベースに安全な食を確保する社会あるいは技術システムを提案するもの
		安全システム技術	◎安全な化学物質回収システム	国内あるいは国際間において、安全な化学物質回収を確保する社会あるいは技術システムを提案するもの
		安全システム技術	◎工場リスク監視システム	国内あるいは海外にある生産設備の安全性に関して、リアルタイムで監視するシステムの枠組みを提案するもの
	新ビジネスモデルの提案	生活を安全にするビジネスモデル	◎危険、ハザードを知らせる技術	感知した危険、ハザードを効果的に通知する技術
		生活を豊かにするビジネスモデル	◎製品価値を可視化する技術	製品価値を定量的に示す技術
		生活を豊かにするビジネスモデル	◎サービスを可視化する技術	サービスによって受ける恩恵(価値)を計算し、定量的に示す技術
		生活を豊かにするビジネスモデル	◎製品とサービスを融合化する技術	製品とサービスの融合を促進する技術

3. 2. 3 重要技術ロードマップ

ものづくり技術戦略ロードマップ（生産システム）

大分類	中分類	小分類	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025
産業基盤の整備	産業構造改革	意図せざる技術流出の防止	ブラックボックス化技術												意図せざる技術流出の防止													
		見える化													バーチャルマニファクチャリング													
既存産業の改良・改善	IT活用	見える化													バーチャルマニファクチャリング													
		環境保全	低公害化	有害廃棄物除去																								
			資源保護													ゼロエミッション工場												
革新的展開	革新的新製品	新環境製品	内燃機関の電気駆動化												柔軟物ハンドリング技術													
		革新的FAシステム	機械化・自動化													人・ロボット協調生												
	検査技術													トータルトレーザビリティ														
	新加工プロセス	ラピッドプロトタイピング																										
	ニュービジネスの創出	革新的な製品技術	暮らす(Life)													環境修復技術												
															有用資源回収技術													
診る:Health															食糧生産工場													
移動する:Mobility															フェイルセーフなロボット制御													
生産システム技術		システムアーキテクチャ													事故防止・衝突防止技術													
		安全システム技術													グローバル運行情報システム													
市場創造型の新サービスの開発		安全システム技術														セキュアなネットワーク												
																動脈・静脈一体型生産システム												
新ビジネスモデルの提案		生活を安全にするビジネスモデル														安全な食料生産システム												
																安全な科学物質回収システム												
	生活を豊かにするビジネスモデル														工場リスク監視システム													
															危険、ハザードを知らせる技術													
														製品価値を可視化する技術														
														サービスを可視化する技術														
														製品とサービスを融合化する技術														

3. 3 産業基盤の整備

3. 3. 1 産業基盤の整備の概要

(1) 産業構造改革

①基本的な考え方

グローバル化やアジア諸国の台頭が著しい近年の経済環境に果敢に挑む事業者が活動しやすい環境を整備するため、過剰供給構造にある事業分野に滞留している経営資源を新たな産業分野に配分させることが求められている。

②取り組みとシナリオ

競争力のない企業は、市場からの退出または強い企業への編入を促す環境を整備する。大胆な企業再編、産業再編を促進し、優秀な人材、資本を強みのある分野に集中させることを通じて、製造業の競争力強化を図るとともに、製造業に抱え込まれた人材と資本を移動させ、サービス業などの成長、ベンチャーの創出を図る。

そのための具体的な施策として以下の項目を推進することが重要と考えられる。

- a. コストダウン、短納期化、品質向上を実現する革新的な製造設備投資への税制支援を継続する。
- b. 事業の再編や再生に知識と経験を有する専門的な経営人材の育成、流動化を支援する。
(2010年までに具体的な人材育成を実現する)
- c. 中小・中堅企業の新たなチャレンジを支援し、わが国が誇る高度部材産業集積の強みを維持・強化するとともに、多種多様で地域性の高い中小企業の再生を強力に進める。
- d. 企業組織制度の見直しを行うことにより、企業組織の選択肢の多様化、組織再編の迅速化、柔軟化を図る。
- e. 企業の知的財産を核とした戦略取組を促し、営業機密や意図せざる技術流出を防止すると同時に、休眠特許など滞留している技術経営資源の流通を促し積極的な技術転用の促進を図る。(2010年までに技術経営資源の流通市場を実現する。)

(2) 人材育成

①基本的な考え方

産業基盤を整備することによって資源の乏しい我が国が、技術立国としての「ものづくり」をとおして世界に貢献しつつ、豊かな日本を持続的に維持していくためには、有能な人材を輩出していくような仕組みを用意する必要がある。ものづくりを指導できるような人材育成のための高等教育の改革と、ものづくりの現場で活躍する人材育成が重要課題

になる。そのための取り組みとそのシナリオを次に述べる。

②取り組みとシナリオ

- a. 少子高齢化、団塊世代のベテランの定年への対策として、女性の能力が発揮できるような環境整備する。
- b. 科学技術分野の人材育成のための制度改革、具体的には理数教育の充実、若手・女性・外国人が活躍できる環境の形成、大学の人材教育機能の強化、産学連携による人材育成、人材育成を重点化した研究費の使用を実現する。併せて、e-ラーニングなど自主的な研鑽意欲を高揚させるシステムの充実を図る。
- c. 産業界の意識変革のため、企業の短期的な利益重視の経営からの脱却、サイエンスとエンジニアリングの交流の欠如の解消、異分野間の技術融合の促進、海外からの優秀な人材を呼び込む政策－高度人材の日本への就業促進、頭脳資源のグローバルな獲得競争に対する閉鎖性の打破、優秀な留学生の活用、などを推進する。
- d. 大学の変革では、世界に開かれた教育・研究拠点の形成－外国人教員の比率の向上、留学生の呼び込みと活躍の場の拡大、教育サービスの質の向上－英語による教育、大学受験資格の国際化－国際バカロレア資格の活用拡大、日本人のグローバル化－日本人の留学、を実現する。

これらの項目は、2007年より顕在化しているが、人工減の傾向や団塊世代の定年退職、世界に例を見ない高齢化など既に予見されていることであり、対策を先延ばしにしてきた結果が今になってはっきりと提示されただけである。2007年の現在、今すぐに対策を実現し、それを2015年まで継続しなければならないが、恐らく2025年でもそのまま引き継がれていると思われる。

(3) 競争環境整備

①基本的な考え方

ものづくり産業活動を行っている企業群は、グローバル競争、国際標準の獲得を巡る競争、地球環境問題への対応、産業再編に伴う市場構造の変化等様々な要因が複雑に絡み環境の中で企業戦略を構築し、実践を行っている。日本のものづくり関連産業が諸外国の追い上げの中で、引き続き発展的な活動を展開するためには新たな価値創造活動が必要不可欠であるが、国際マーケットを見ると、模倣品による被害、貿易や標準に関連した障壁等が存在し、新たな価値に対する公平性が担保されていない状況が存在する。将来のものづくり産業基盤の整備を整備するにあたっては、上記のような障害をできるだけ取り除き、も

のづくり産業活動として産み出される価値に対する正当な対価を公平に受け取れるようなルール作りを行うことが大切である。

競争環境の整備として、知的財産、貿易、国際標準の観点から中長期的なシナリオの検討を行った。

②取り組みとシナリオ

a. 2007（現状）

（特許制度（含む模倣品対策））

- 特許に関する日米欧のハーモナイゼーションが不十分である。日米欧の三極特許庁間で情報共有及び 審査結果の相互承認が行われておらず、各国での特許獲得に膨大なコストがかかっている。
- 一部のアジアの国で模倣品が横行し、我が国工業製品の市場をゆがめている。また、これらに対する現地での規制や取り締まりが必ずしも十分でない。

（貿易）

- 現在、シンガポール、メキシコ、マレーシア、チリ、タイとの間で経済連携協定（Economic Partnership Agreement）が締結・発効している。これらとの間では、投資を行う際の規制や出入国の緩和が進められている。

（国際標準）

- グローバルな経済活動を妨げる国境の壁が低くなり、市場が世界単一化しつつある中で、いかに優れた製品を作ろうとも、その製品が世界標準に合致していなければ、あるいは世界標準そのものでなければ、必ずしも市場を獲得できない状況になりつつある。

b. 2007～2015

（特許制度（含む模倣品対策））

- 国内特許審査員が倍増し、特許審査に対するスピードが倍増する。また、我が国発の審査結果により、世界の特許審査をリードする。
- 日米欧の三極特許庁間でのさらなる情報共有及び 審査結果の相互承認スキームが正式にスタートする。

「特許審査ハイウェイ（注）」を、まず日米、日韓において開始される

（注）一方の国で特許された案件が、もう一方の国で、簡素な手続により早期に審査を受けられるシステム

(貿易)

- ASEAN全体との経済連携協定が締結・発効する。

(国際標準)

- 国際標準化活動におけるアジア・太平洋地域の連携強化のための「アジア・太平洋標準化イニシアチブ」が策定され、中国・韓国との協力を推進される。

c. 2015～2025

(特許制度 (含む模倣品対策))

- 世界各国どこでも同じように知的財産が保護される環境へ「世界特許システム」がスタートする。
- 国際的な模倣品に対する共通のルールが創られ、国際的な組織によって監視されるようになる。

(貿易)

- 主な貿易相手国との間で経済連携協定が締結・発効し、一部を除き大部分の関税率が撤廃される。

(国際標準)

- 世界市場が一体化し、共通の世界標準が確立する。
 - より公平でオープンな国際標準化システムが実現される。
 - 国際標準化に関連する知的財産の取り扱いルールを明確化される。
 - 国際標準化のための公正なルール作りが定着する。

3. 3. 2 技術マップ（産業基盤の整備）

ものづくり技術マップ（産業基盤の整備）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
産業基盤の整備	産業構造改革	競争力が脆弱な企業、事業分野からの撤退	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		企業再編、産業再編の促進	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		新規サービス業、ベンチャーの創出	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		中小・中堅企業の支援と強化	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		革新的製造設備投資、研究開発への税制支援維持	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		MOT人材の継続的な育成	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		知財の流通市場の形成	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		意図せざる技術流出の防止	◎ブラックボックス化技術	・高度な技術を駆使しリバースエンジニアリングを困難するアプローチ ・リバースエンジニアリングの分解・再製に膨大なコストを要するようなアプローチ
	人材育成	少子高齢化、団塊世代定年への対応、女性の能力発揮環境整備	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		科学技術分野の人材育成のための制度改革と推進	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		産業界の意識変革	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		大学の改革	産学連携の強化	現在でも産学連携の強化が言われているが、基礎研究と教育に加え、産業界の抱える技術課題にも積極的に協力する姿勢の醸成
	競争環境整備	国内特許審査委員倍増	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		特許審査ハイウェイの整備、世界共通特許システムの整備	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		主要貿易相手国との経済連携協定締結	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	
		世界共通の国際標準化システム実現	政策的な取り組み中心であり要素技術は見当たらない	

3. 3. 3 ロードマップ（産業基盤の整備）

ものづくり技術ロードマップ（産業基盤の整備）

大分類	中分類	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年			
産業基盤の整備	産業構造改革	競争力が脆弱な企業、事業分野からの撤退																												
		企業再編、産業再編の促進																												
		新規サービス業、ベンチャーの創出																												
		中小・中堅企業の支援と強化																												
		革新的製造設備投資、研究開発への税制支援維持																												
		MOT人材の継続的な育成																												
		知財の流通市場の形成(国内)														知財の流通市場の形成(グローバル)														
		ブロックボックス化技術																	意図せざる技術流出の防止											
		人材育成	少子高齢化、団塊世代定年への対応、女性の能力発揮環境整備																											
			科学技術分野の人材育成のための制度改革と推進																											
	産業界の意識変革																													
	大学の改革																													
	産学連携の強化																													
	競争環境整備	国内特許審査委員倍増																												
		特許審査ハイウェイの整備														世界共通特許システムの整備														
		限定国との経済連携協定締結					ASEAN全体の経済連携協定締結										主要貿易相手国との経済連携協定締結													
		アジア・太平洋標準化イニシアチブ策定																	世界共通の国際標準化システム実現											

3. 4 既存産業の高度化

3. 4. 1 既存産業の高度化の概要

日本の将来を見通す時、地球環境問題、資源・エネルギー制約、少子高齢化等、成長阻害要因は枚挙に暇がないほどあり得る。しかし、健全な国の発展のためには、産業資本以外の貢献は当然期待するとしても、製造業を始めとする日本産業が、それらの悪条件を乗り越えて高い生産性（全要素生産性）を基礎とする、健全な（質的且量的な）成長を果たさないとその将来像は見えて来ない。又、製造業の中での別項で説明するニュービジネスの貢献も大いに期待したいが、既存産業の枠内でも、産業構造の構造を急速に成長性の高い分野に転換する努力が必要なのは言うまでもない。

その手段・施策の第1のものは、従来からの日本製造業のコアコンピタンスの重要な1角である、リーン生産システムの高度化のための改善・改良である。この様な集団的知識創造に基づき顧客に向かって価値創造を行える組織能力を、かなり生産性の高い自動車産業の様な大企業だけでなく、量的には圧倒的多数の中小企業の中にも広め、日本製造業全体の平均的な生産性を底上げして行かなければならない。そのための手段群の中では情報技術の活用とグローバル展開力を強化する事は重要な位置を占めている。

又、従来より行われてはいるが、既存の市場からの新しいシーズを具現化したり、シナジー効果を発揮して組み合わせ技術開発による新製品開発も重要である。

更に、日本企業が比較的弱いとされる、トップダウンの新しい事業戦略に基づく、戦略的アプローチの力をもっと強化していかなければならない。

以上の3点につき、以下3つに分けて概略を述べる。

(1) 既存産業の改良・改善

先ず、TPSなどの手法で、生産現場のQCDを徹底的に向上させる努力を継続、発展させる。現場・現物・現実を活かす現場力を鍛えることが重要である。この時、事業経営全体の方針管理（TQM）も確実に深化・発展させなければならない。結果として、在庫削減、リードタイムの短縮が進む。

又、ITの積極的活用によって、全ての企業活動の見える化、知識共有の進化を図るこ

とも大切である。この為に、継続的改善を図れる現場人材と指導者を継続的に育成する事は、以前より重要性は増している。

又、既存産業をグローバル展開する事で、より高い生産性と収益性を実現することも、現在では MUST の要請である。日本発の研究・開発を先行させ、この成果の製品をグローバルに展開・普及して行く事は、知財戦略とも相まって、高い生産性を維持することに繋がる。これを補完するため、国際最適調達に基づき、生産拠点の戦略的区分を明確に描き実行する事は益々重要になる。このためには、グローバル展開の QCD を支えるノウハウの蓄積と人材の確保と伝承が重要課題である。

以前から実行されている施策ではあるが、安全・安心を発展させる、職場の仕組み作りやゼロエミッション工場を目指す努力は、継続的に取り組まなければならない。

(2) 革新的展開

事業の展開の中で革新的新製品の投入による市場活性化を図る事が、第1義的に求められている。この中では、新技術に基礎を置くものは勿論、新しいマーケティング手法の活用、組み合わせ技術の活用、顧客の新価値創造商品や新環境製品の開発等が有りうる。これ等の製品特性により、その生産技術も変化して行かなければならない。この中で、ナノテク、バイオ等の応用や新エネルギー及びエネルギーソースの組合せに係る新製品は重要である。エネルギーソースの組合せに関連して、内燃機関の電気駆動化とそのハイブリッド利用技術は、適用される産業分野として自動車のみならず船舶を含み全産業的に大きく変化を駆動するキーテクノロジーになり得る。石炭液化技術やパイプライン・貯槽等も大きく新展開の可能性がある。

ここで、上記の新製品対応の生産技術のみでなく、既存製品だが、新生産技術を盛り込んだ革新的 FA システムの投入による、抜本的生産性の向上を図るという FA システム技術者の本来の課題が別途存在する。本命は機械化・自動化や新加工プロセスの導入であるが、部品搬送技術、検査技術の進化も見逃せない。ロボット技術は重要で、これを応用してセル生産の将来も自動化や人間との共存を図ることになる。

(3) 新しい事業戦略

トップダウンの新しい事業戦略に基づく、戦略的アプローチの力をもっと強化してい

かなければならない。このためには、新しい事業戦略を強力に推し進める経営力とその戦略部門の組織的力量を強化する施策が各企業で取られることが前提となる。

まず、不採算事業からの撤退・遅れた事業・技術基盤からの早期撤退を図るスクラップ&ビルドを早期に実現することが必要である。

次に、ブランド戦略を徹底させ、従来にない高級ブランドや、新規のコモディティブランドによる新価値体系の市場確立を図ることが重要である。グローバル展開で得られた、新興工業国・進展国商品を新価値体系商品として国内投入し市場拡大を図ることも有り得る。別の観点では、従来展開していなかった、BRICS を始め、新グローバル戦略地域を見出し、この分野向けの商品展開を図ることは成長市場である 35 億人市場への対応として急務となっている。

この事に関連して、知財戦略も変化させ、技術輸出、ライセンス、ロイヤリティ等に新規の展開を図る。また、下流の顧客要求に直接答えられるような、ソリューションビジネス（例えば、電気自動車のコミュニティカードレンタルシステム等）の新しい展開を図る。人材的にも、新しい商流がクリエートできる人材を新ビジネスナレッジ人材として、外部からの投入可能な柔軟な雇用市場を形成する。

これらの新しい展開を必要ならば、コーポレートレベルでのビジネスアライアンスの推進で展開して行く。

3. 4. 2 技術マップ（既存産業の高度化）

ものづくり技術マップ（既存産業の高度化）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
既存産業の改良・改善	リーン生産方式	ジャストインタイム方式 自動化	必要物を、必要な時に、必要な量だけ生産する生産方式。カンバン方式とも言われる。	
			製造業の現場において、異常や欠陥が発生したら直ちに製造装置や生産ラインを停止して、不良品を作らないという考え方。	
			QCサークル・改善	
	TQM等の革新手法	品質管理	品質工学	同じ職場における作業者がチーム（QCサークル）を組み、役割分担して、生産設備の改造、工具の新作、ボカヨケの製作など業務効率向上活動や作業安全性の確保、品質不具合防止活動などを目的に行なう。
			在庫削減	技術開発・新製品開発を効率的に行う開発技法。考案者である田口玄一氏の名を冠してタグチメソッドと呼ばれる。
		リードタイム削減	TOC	Theory Of Constraint. ネットワークを抽出し、これに資材調達や生産を同期させることで、仕掛りや在庫を最小化する生産手法。
			リスク管理	生産計画の達成に対する阻害要因（リスク）を極小化し、コスト、工程、品質の要求を満足させる管理手法。
			コンカレントエンジニアリング	製品開発の初期段階から、商品設計、実験評価、生産準備、製造・出荷にまで至る各プロセスを同時並行的に進行することで、製造におけるライフサイクル全体を最適化していく手法。
	IT活用	見える化	フロントローディング	開発の初期（フロント）で負荷（ロード）を集中的にかけ、開発の後半で起きる問題を最低限に抑えようとする試み。
			3DCAD利用	2次元の図面ではなく3次元の数値データで部品情報を流し、製作工程のNC加工機等でそれらのデータを直接利用すること。
			生産シミュレーション	物流や生産工程をコンピュータ等を用いて模擬し、生産能力や課題を事前抽出すること。作業者の動作や移動の難易度等、人間工学的な要素を織り込んだ生産シミュレーション。
	人材育成	現場人材	エルゴノミクスシミュレーション	コンピュータ上で工場内物流や製品組立工程等を仮想的に再現し、実際のライン設置前に問題点を抽出・解決して生産システムの最適化をはかること。
			①バーチャルマニファクチャリング	企業などの組織において、その共有資産としての「知識」の発見、蓄積、交換、共有、創造、活用を行うプロセスを体系的な形で管理運営すること。
			ナレッジマネジメント	文章化、図表化、数式化などによって説明、表現できる知識のこと。暗黙知に対する概念。
			形式知化 データベース化	種々の情報を体系的に収集・整理・保存し、誰でも容易に欲しい情報にアクセスできるようにすること。
グローバル展開	グローバル生産	問題解決能力育成システム	生産現場における問題点や課題を見出し、それらに対して具体的な解決策を策定できる能力を育成するプログラム。	
		指導力育成システム	部下や若手社員を指導し目標達成を実現する能力や人間性を育成するプログラム。	
安全・安心	安全設計	生産技術の形式知化	生産技術を文章、図表、数式等で表現された形式知にする。	
		生産同時立上げ	複数の生産設備における製品の製造を、順々にではなく同時に立ち上げること。	
		ブラックボックス化	内部機構や動作原理が分からない状態にしたユニット（ブラックボックス）にして（海外の）組立生産拠点に供給すること。	
	工場安全	絶対安全	危険要素を物理面や機構面から徹底的に取り除き、安全性を限界まで高めた状態。	
		失敗学	起こってしまった失敗に対し、責任追及のみに終始せず、(物理的・個人的な)直接原因と(背景的・組織的な)根幹原因を究明する学問。工学院大学教授の畑村洋太郎が提唱。	
		危険学	どこに、どんな危険があるのか、実態や調査で探り出し、危険を回避する学問。工学院大学教授の畑村洋太郎が提唱。	
	環境保全	CO2削減	TPM	Total Productive Maintenance. 生産設備のライフサイクル全体を対象に、生産効率を阻害するロスの発生を未然防止することを目指して、人・設備・企業の体質改善を図る総合的活動。
			エネルギー高効率化	生産に必要な材料や動力を、より少ないエネルギー投入量で得ることで、CO2排出量の低減を図ること。また製品のエネルギー消費効率を上げること。
			自然エネルギー(太陽、風)利用	太陽光や風力等、CO2を発生させない自然エネルギーの利用。
			③有害廃棄物除去	生産の過程で発生する有害な廃棄物を捕集・除去し、工場外に出さないこと。
革新的展開	革新的新製品	④ゼロエミッション工場	全ての産業廃棄物を循環資源として活用し、埋め立ておよび単純焼却をゼロにした工場。	
		リサイクル資源活用	産業廃棄物を再生・加工した材料(リサイクル資源)を生産・製品に活用すること。	
	マーケティング手法	コンジョイント分析	商品やサービスの持つ複数の要素について、顧客が重きを置いているポイントや、顧客に最も好まれるような要素の組合せなどを実験計画法を用いて探ること。	
		ファイブフォース分析	規企業業者の脅威、「代替品の脅威」の外的要因、計5つの要因から業界全体の魅力度を測ること。	
	新技術	ナノテクノロジー	物質をnmオーダーで制御する技術。	
		バイオテクノロジー	醸造、発酵の分野や、再生医学(遺伝子工学)や創薬、農産物の品種改良などの技術の総称。	
		新エネルギー	太陽エネルギー、風力、地熱、バイオマスなどの、火力や水力、原子力を除くエネルギー。	
	新環境製品	エネルギーの組合せ	複数のエネルギーを組合わせて効率を上げること。	
		⑤内燃機関の電気駆動化	内燃機関を電機モーターへ代替していくこと。	
		石炭液化	石炭を粉砕し、溶剤と混合して高温・高压下で水素と直接反応させる直接液化法と、石炭を一度ガス化し、生成ガスを分離・精製した原料を合成反応させ液化する間接液化法がある。	
燃料電池		水素などの燃料を供給し続けることで、継続的に電力を取り出すことができる、電気化学反応によって電力を取り出す装置。		
LNG利用技術	水素ステーション	水素自動車や水素を燃料とする燃料電池自動車への、水素ガスや液体水素を充填する天然ガスを-162℃に冷却し、液体にした液化天然ガスを運ぶタンカー。		
	パイプライン	天然ガスを運ぶパイプライン。		
革新的FAシステム	機械化・自動化	貯槽	LNG貯蔵タンク。主要な設備としては巨大な地下式断熱LNGタンク。	
		超高速化	ビッグアンドプレスなどの作業をさせる場合の、移動速度の超高速化。	
	部品搬送技術	超精密位置決め技術	nmオーダーの位置決め技術。	
		ロボットアプリケーション	ライン生産的なアプリケーションから、JIT対応、セル生産対応など、幅広い対象に広げるロボットの応用技術。	
		フレキシブル・ハンドリング技術	対象部品ごとにハンドを交換しなくても、同一のハンドでハンドリングすること、あるいは2つ以上のアームを協調させることで、部品を換手でハンドリングすること。	
		⑥人・ロボット協調生産	セル生産などでロボットが人と協調して作業すること。	
		パワーアシスト	人の力を機械が補助する技術。	
		スキルアシスト	人の技能を機械が補助する技術。	
		ソフト生産性の向上	開発するソフトウェアの品質改善、すなわち開発時間の短縮が図られるソフトウェア開発支援システムや、ソフトウェア・セル生産方式などがある。	
		セル生産の自動化	人手によるセル生産を機械を利用してさらに効率化すること。	
検査技術	自律移動技術	工場ですべるような誘導テープがなくても自律的に移動できる移動ロボットであり、本体に地図が記憶され、障害物を自動的に回避できる機能などがある。		
	ピッキング	かごの中などにランダムに積まれた部品をCCDカメラなどで認識し、ピッキングすること。		
新加工プロセス	超微細化(nmオーダー)	nmオーダーの傷や異物の検査。		
	3D化	3次元画像処理での外観の良否判定。		
	超高速化	msec~μsecオーダーの高速の自動良否判別。		
	カラー高精細化	微妙な色の違いも良否を判別。		
	非破壊検査	X線やテラヘルツ波での非破壊検査。		
新しい事業戦略	スクラップ&ビルド	⑦ターゲトレザービリティ	製造された製品や部品の生産から使用、再利用から廃棄までの各プロセスを追究できる技術の総称。	
		高速・高精度溶接・接合	レーザーや電子ビーム等の高エネルギー密度熱源を用いた高速度、低歪の溶接・接合法。	
	ブランド戦略	先進液圧成形	プレス金型ではなく液体による内圧を用いて薄板を成形するフレキシブルな成形法。設計自由度が高まり製品差別化に繋がる。	
	新興工業国戦略	高速多軸・複合加工	制御軸数が多い(〜5軸)NC工作機械による複雑構造部材の加工。旋削とミリングといった異なる種類の加工を1台の工作機械で効率的に行なうこと。	
	知財戦略	⑧ラビッドプロトタイプング	積層造形法を用いて試作品の形状のみを短時間で成形する手法。光造形法、粉末法、シート積層法、インクジェット法、押し出し法等の方法がある。	
新しい事業戦略	技術輸出	高品質表面処理	製品や部材の耐摩耗性、耐食性、耐酸化性等を改善するため、材質全体ではなく表面のみを改善する技術。レーザー焼入れや各種肉盛溶接、溶射、イオン窒化処理等がある。	
		ライセンス・ロイヤリティ戦略	知財を金にする戦略。	
	ソリューションビジネス	新ビジネスナレッジ人材	広い専門知識を有し、かつ問題解決能力(上述)を有する人材。	
	コーポレートアライアンス	地域・国の大手企業との連携	各地域・国に大きなシェアを持つ大手企業とのアライアンスによる効率的な進出。	

3. 4. 3 ロードマップ（既存産業の高度化）

ものづくり技術ロードマップ（既存産業の高度化）

大分類	中分類	小分類																								重点化の評価				サステナブル項目					
			2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	(1)		(2)	(3)	(4)		
既存産業の 改良・改善	リーマン生産方式								ジロスタインタイム方式																										
		TQM等の革新手法	品質管理						品質工学																										
			在庫削減												TOC																				
			リードタイム削減																	リスク管理						コンカレントエンジニアリング									
	IT活用	見える化				生産シミュレーション																													
		知識共有の進化																																	
	革新的展開	革新的新製品	マーケティング手法																																
			新技術																																
				新環境製品																															
			LNG利用技術																																
			革新的FAシステム	機械化・自動化																															
部品搬送技術																																			
検査技術																																			
	新加工プロセス																																		
新しい 事業戦略	スクラップ&ビルド ブランド戦略																																		
	新興工業国戦略																																		
	知財戦略																																		
ソリューションビジネス コーポレートアライアンス																																			

3. 5 ニュービジネスの創出

3. 5. 1 ニュービジネスの創出の概要

ニュービジネスは、市場創造型の新製品・新サービスの開発、新しいビジネスモデルの構築などにより創出される。例えば製品、サービスを考える場合、人とモノ（含む機械、素材）と情報（含む情報機器）の3つの関係で捉えると判りやすい。即ち、人・モノ・情報の相互作用から生み出される価値（バリュー）をユーザーに提供し、その対価としてのお金を受け取る、というモデルである。ビジネスモデルは、バリューの提供のやり方とお金の回収のやり方を包括した概念と捉えれば良い。

新製品および新サービスとは、人・モノ・情報の個々の内容・コンセプトが変化し高度化することによりもたらされると同時に、相互のインタラクションが大きく変化すること、及びバリュー提供とキャッシュの流れを変化させることにより創出される、と考えることが出来る。従って既存ビジネスの高度化とニュービジネス創出に、境界は引きにくい、敢えて言えば、個々の内容・コンセプトが大きく変化する、あるいは新規の技術開発によるものを新製品と捉え、相互作用、組み合わせ方が大きく変化したものを新サービス、バリュー提供とキャッシュフローの流れを大きく変えたものを新ビジネスモデルと捉えることも可能である。

ニュービジネスの創出などによってもたらされる世の中の変化を見ると、電機業界、自動車業界、鉄鋼業界など業界ごとに見るやり方は、判りやすい反面、新製品による業界融合が起こる場合などを旨く表現できない危惧がある。また製品そのものも機能の複合化が進んでおり、境界は曖昧になってきている。境界が不明確になってきている例としては、例えば最近の携帯電話を考えればよい。携帯電話と見るのか、情報端末と見るのか、あるいは電子マネー端末と見るのか、といった議論は余り意味がない。こうした機器が世の中に出回ること、生活スタイルがどう変化するかを見ていく事の方が有効であろう。

この章では世の中の変化を、暮らす（Life）、診る（Health）、移動する（Mobility）、知る（Information）、楽しむ（Leisure）といった観点から、新製品、サービスによりどのような変化がもたらされるかを、かなり大まかに予測した。これを図3. 4. 1に示す。

もちろん新技術・新サービスと言っても必ずしも革新的な新技術のみではなく、従来技術の発展系も含まれる。

新製品・サービスによりもたらされる世の中の変化

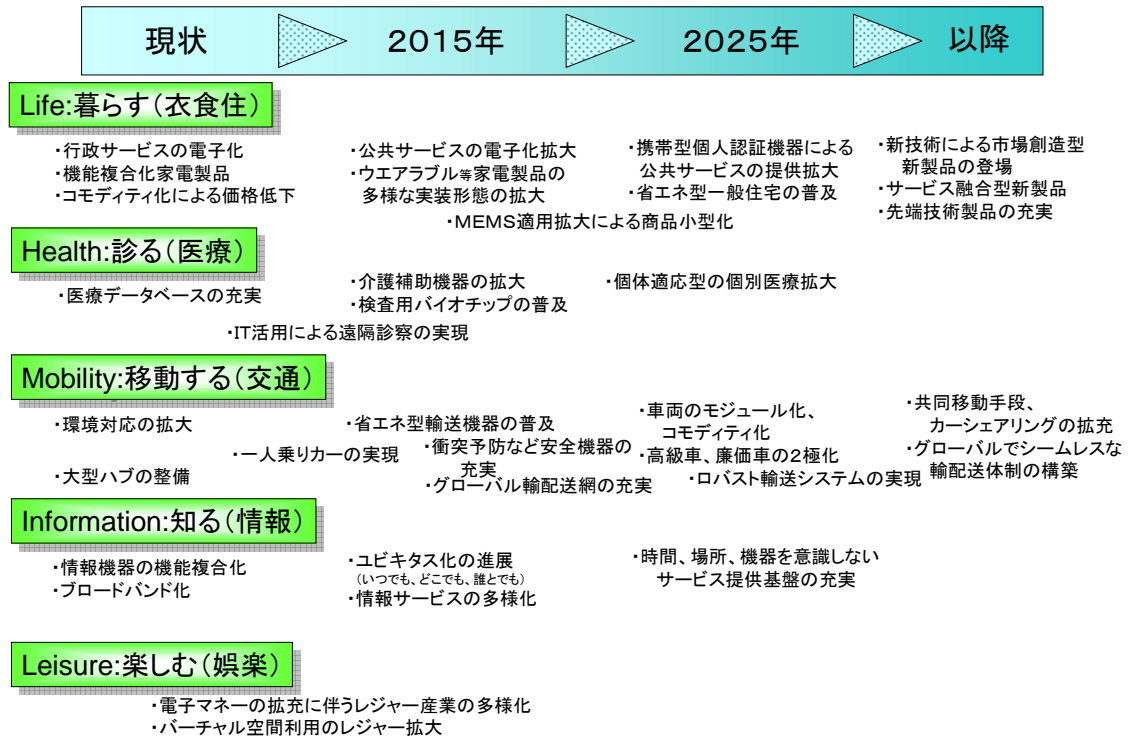


図3. 5. 1 新製品・サービスによる世の中の変化

まず市場創造型の新製品開発の項では、技術要素の抽出に当たっては、革新的な製品・サービスを生み出す製品技術の変化、望まれるサービスコンセプトという観点から製品技術要素を抽出した。こうした新製品・サービスを生み出す、生産システムの要素技術は概ね既存産業のものと同じようなものが使われるケースが多いと想定される。できるだけ重複を避け、新規の製品に固有のもの、例えばウェアラブル機器の進展に伴う実装技術の変化などを取り上げた。既存産業の高度化と重複する部分や、十分に技術分野を網羅できていない点多々あることをご承知おきいただきたい。

次の市場創造型の新サービス開発の項では、他産業展開可能技術、サービス指向生産システム技術、ビジネス評価技術に分け、他のワーキンググループとの重複を避けるため特に後の2つを中心に取り上げた。

新ビジネスモデルの構築の項では、「生活を安全にするビジネスモデル」、「生活を豊かにするビジネスモデル」、「格差社会を是正するビジネスモデル」などの大枠としてのビジネスモデルを取り上げ、さらに、それらも含めた新しいビジネスモデルを構築する上で必要な「ビジネスモデルの設計提案環境」を議論している。

(1) 市場創造型の新製品開発

市場創造型の新製品を考える時、まったく今までに存在しない製品というのはなかなかイメージしにくい。そうした中でも、例えば信号機がランプ式からダイオード式に順次切り替わっているように、家庭内の照明も今後LEDに切り替わっていくだろうといった予測可能な製品技術の変化は、「暮らす」「診る」「移動する」「知る」「楽しむ」といった生活シーンの項目ごとに取り上げるよう努めた。

一方で、家電製品、携帯電話、パソコンなどを例にとって考えてみると、既存製品が徐々に発展してきた形でありながら、昔の製品と今の製品を比べると全く別のコンセプトであると言っても良いものが多々見受けられる。通話するだけの携帯電話がメールも打てるようになり、お財布携帯として電車の定期や買い物時の電子マネーとしても使用できる。また航空チケットの代わりとして自動チェックインもでき、ワンセグ機能があれば地上デジタル放送も楽しめる、総合的な情報端末に進化している。これらはレコードがCDに変わり、ビデオカセットがDVDに変わるといった、明らかに変化点が認識できるような進化ではなく、連続性のある、要はいつの間にか便利になっていた式の変化である。こうしたものについては、それを支える実装技術の変化や社会的なインフラ、例えば通信環境が広帯域化かつセキュリティ強化されたものになってゆくとかの変化として捉えた。

以下生活シーンごとにどのような製品・サービス技術の変化が起こり、さらにそれらを実現する生産システム技術にどのようなものがあるかを取り上げてみた。

「暮らす (Life)」では、機器の小型化・薄型化に伴い、ウェアラブルなど持っていることを意識しないものが増えてくるし、いつでもどこでも情報が取れるようになる。当然個人認証などセキュリティ手段も多種多様になってくる。また家庭での省エネ化も進み、資源ごみの活用や悪化した環境の修復技術も進歩してゆくだろう。

「診る (Health)」では、医療の高度化、即ちIT活用やDNA解析に基づく個別治療の進展など、きめ細かな医療が行われる。併せて高齢化社会への対応として、介護関係の様々な技術開発が活発化してゆく。

「移動する (Mobility)」では、低燃費化や安全の対応が進むと共に、モジュール化などにより車がコモディティ化する可能性も否定できない。一方で個別の輸送機器という考え方から、地域社会、国内、グローバル含めた総合システムとして交通を考えるようになってくるだろう。

「知る (Information)」では、“いつでも・どこでも・誰とでも”という、

いわゆるユビキタス社会の到来をイメージして技術要素を挙げた。

「楽しむ (Leisure)」では、セカンドライフに代表されるような仮想空間での娯楽が益々発展すると共に、仮想現実をいかにリアルに感じさせるかという技術開発が進むものと考えられる。

こうしたものを生み出す**生産システム技術**としては、絶えず変化する製品に対応するため、あるいは資源を有効活用するための生産システムが重要になってくる。装置レベル、プリント基板レベル、デバイスレベル含め様々な回想での実装技術、およびそれを実現するための生産技術は、こうした製品群を生み出す上でキーとなる技術である。また当然のことながらデバイスレベルで見れば微細化、小型化は益々進み、マイクロオーダーでの加工、修復、検査に必要とされる技術開発が活発化してくるものと考えられる。

(2) 市場創造型の新サービス開発

少子高齢化と大幅な国家財政赤字から、国内消費活動は今後長期にわたり低迷が続けることが予想される。消費者は、製品を持つことの喜びから製品を使用したりサービスを受けることの利便さすなわち「もの」から「こと」のニーズが高まってくる。国外では、経済発展を続ける新興国における大量生産の製造技術が日本をしのぐことが予想される。日本は、これまで培った製造技術で他の分野の市場を改革するか製造技術とサービスを組み合わせる新しい市場を創造することを考えるのが賢明であろう。

しかし、一般的なビジネスにおける市場創造型の新規サービスと考えると、生産システム技術と無縁なものが少なくない。また、この生産システムWGでは、電気・電子・自動車などの消費財型組立産業に限定している。そこで、この項目では次のような開発技術分野を取り上げる。

1) 他産業展開可能技術

消費財型組み立て産業における生産システム技術をさらに深化・汎用化し、他の産業にも応用できるようにする技術分野

2) サービス指向生産システム技術

消費財型組み立て産業かどうかの如何にかかわらず、消費者の嗜好に合った製品やシステムを新たに企画・設計し、生産・販売し、アフターサービスを行うトータルなビジネスモデルを創造するための技術分野

3) ビジネス評価技術

1) や2) におけるビジネスを評価するための技術分野

1) に関わる技術分野として、環境システム技術、安全システム技術、高信頼性システム技術があげられる。しかし、環境システム技術は、サステイナブルマニュファクチュアリングとして他のWGで検討されているので、残りの2つの分野について検討した。

安全システム技術では、食料安全などに見られるように生産管理・物流管理・人事管理・情報管理を統合した管理技術がしばしば必要である。また、国際化の中で、海外の工場や物流拠点の品質情報をリアルタイムに見える化し管理するための、センサ・リモート更新などの技術やそれらを統合したシステムの技術が有望と考えられる。

高信頼性システム技術では、航空機や宇宙ロケットの製造分野が考えられる。これらの高信頼性には、欧米のトップダウン型・ベストプラクティス型プロジェクト管理と日本型の人材育成型・組織重視型管理を融合させた新たな技術が有望と考えられる。一方、信頼性を高めることは一般にコスト増の原因になりやすい。従って、市場のニーズを十分把握して品質保証や保険などを十分考慮したサービスを一体的に考えることによって、製品本体だけのやみくもな超信頼性ではなく、サービスも含めた適正な高信頼性を与えるための技術も求められる。

サービス指向生産システム技術に関わる技術分野として、スローマニュファクチュアリングやラピッドプロトタイプが考えられる。「もの」から「こと」を望むユーザーに対して、地域やニッチに特化したサービス指向生産システム（スローマニュファクチュアリング）を構築することによって、新規の市場を開拓するものである。国内の中小企業の活力向上において、このような技術開発が望まれる。

ビジネス評価技術に関わる分野として、ビジネスの経済性やリスクなどを評価するシミュレーション技術が考えられる。国際化の中で、今後は、複数の企業が連携してビジネスを行い市場を創造することが望まれる。そのためには、生産システムや工場単独のシミュレーションを超えて、サプライネットワークのシミュレーション技術が有望と考えられる。

(3) 新ビジネスモデルの構築

太古より、ものづくりは人と「もの」を融合する行為であり、産み出される「もの」によって安全や豊かさを獲得してきた。しかしながら、昨今の『人と「もの」との融合』において生じる問題は少なくなく、融合自体が崩壊しているといっても過言ではない。地球環境問題の深刻化や、安全・安心な社会の基盤崩壊など、「もの」から得られる豊かさを追求する一方で、これまでの『融合』が産み出してきた問題を解決する必要がある。

一方、新しい世紀に入ってから話題にあがる「イノベーション」は、新しいアイデアから社会的意義のある新たな価値を創造する活動であり、既存の製品や、人、組織・社会の再構成によって実現されると言われる。新しいビジネスモデルの構築を考える際に、これまでの『人と「もの」との融合』に対してイノベーション的センスを導入し、『人・社会と「もの」との調和的融合』を考える必要がある。本小項で議論する「新ビジネスモデルの構築」は、「ものづくり」と同義である「生産システム」の要件を纏め、再確認するものであるとも理解できる。つまり、『人・社会と「もの」との調和的融合』を可能にする生産システムが目指し、強化しなければならない方向性を示すことに注力する。

WG では、以上に示した様に生産システムと新ビジネスモデルとの関係を議論し、これまでに示された革新的な製品技術、革新的な製品を生み出す生産システム技術、市場創造型の新サービスの開発などを融合する重要性を再認識し、新しいビジネスモデルの構築に関連する技術要素を纏めた。

生活を豊かにするビジネスモデルは、これまで以上に、人と「もの」の融合を深求することを目的としたビジネスモデルである。このモデルは、「もの」が人の豊かさをキャッチすることで豊かさの評価における融合の不整合を解消するビジネスモデルである。これを実現するためには、豊かさをキャッチできる製品技術や、個々人で多様となる豊かさの指標をスムーズに「もの」に反映させる仕組み、また、サービスを組み合わせることによって多様な豊かさにフレキシブルに対応できる仕組みなどを組み込み、実現化するビジネスモデルの構築が必要である。

生活を安全にするビジネスモデルは、「もの」が人や社会を守る仕組みを実現するビジネスモデルである。現在、人と「もの」は反目している状況が少なくない。それは「もの」と人とのインタラクションにおいて事故が発生し、「もの」自体がハザードとして位置づけられてしまう場合が多からである。安全という観点で、人・社会と「もの」との調和的融合を追求するためには、「もの」が人の状況を読み、理解し、危険状態を察知することは重要で、「もの」がハザード、リスクを人・社会に通知することが望まれる。これを可能とする製品技術とサービスの融合的なイノベーションが期待される場所である。

格差社会を是正するビジネスモデルは、先に述べた「豊かさ」「安全」を、何処でも、誰でも、いつでも享受できる仕組みに焦点を当てたビジネスモデルである。インターネットの普及により得られる情報の格差は是正の方向に向かっているが、エネルギーや物質など

の偏在は、地理的要因などが主要因となり無視できない。日本という特殊な環境では気にならないが、地球規模のグローバルな視点では深刻な問題であることは論を俟たない。格差を是正するためにはインフラの整備は不可欠であるが、そのインフラを効率的に活用し、運用するソフト、ハードの開発も重要課題である。ソフトとしては「ものづくり」のノウハウであったり、ハードとしては輸送機器や、輸送手段の開発であろう。それらを融合したシステムの構築が具体的には待望される。価値は局所的な効率化では見えてこない場合においても、大局的な視点で見ると価値の偏在を解消すること自体が新たな価値を生み出す可能性がある。つまり、格差を是正するための仕組みとして、製品・サービスの融合によるビジネスモデルの構築は大きな可能性を秘めると考える。

以上に挙げた新しいビジネスモデルの構築を議論し、具体的なビジネスモデルを設計するには、大きな課題が存在すると認識する。それは、現在においても問題である、新しいビジネスモデルに潜在するリスクである。したがって、可能な限りリスクを同定し、評価し、実現可能なビジネスモデルを具体化するための道具が必要不可欠である。この道具として、ビジネスモデルの設計提案環境を構築することは重要である。この環境では、社会全体がモデル化され、「もの」と人・社会などのインタラクション、さらには、サービスの設計ツール、ビジネス評価技術も効果的に導入され、複合的な視点からシミュレーション、総合的な評価ができることが望まれる。

3. 5. 2 技術マップ（ニュービジネスの創出）

ものづくり技術マップ（ニュービジネスの創出）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考			
ニュービジネスの創出	革新的新製品	暮らし: Life	機器の小型化・薄型化・軽量化	小型化の動きは継続的に進み、ウェアラブルなど新形態への移行もある			
			機器の低消費電力化	電池の長寿命化と合わせて低消費電力化がデバイスから機器まで進展			
			電池の軽量化・長寿命化	可搬型機器への搭載が増え軽量化、長寿命化のニーズ大へ			
			フレキシブル素材電子回路	高密度実装、3次元実装対応としてポリイミド以外の素材も実用化			
			多機能ハンディ端末	画像、音声など様々な手段による情報アクセス手段としての多機能端末			
			バイオメトリックス認証	顔、指紋、虹彩、静脈などを使った本人認証がセキュリティ上必須となる			
			LAN対応家電機器	インターネット経由での電源ON/OFFや外部操作可能な家電機器			
			太陽電池の面積化・高効率化	より発電効率の高い、高電圧が得られるもの			
			照明の半導体光源	省エネなどで白色ダイオードなどの照明機器のニーズ大			
			家庭用省エネ技術	家電機器、家庭用冷暖房、給湯などにおける省エネ技術			
			◎環境修復技術	温暖化ガスからオゾン、酸素などの再生や汚染土壌・水の修復			
			災害情報システム	より広域での地震、台風、津波などの情報及び予測が総合的に入手可能に			
			◎有用資源回収技術	都市ゴミ等の中から有益な金属、希少金属を再生			
			◎食糧生産工場	自然環境に左右されず人工的な生育環境制御による野菜、魚、家畜の生産			
				診る: Health	医療へのIT活用高度化	医療データベースの充実や3Dアバター（自分の3D分身）の適用など	
					医療機器の小型化・高機能化	内視鏡の小型化、自走型内視カメラなど	
					診断用バイオチップ	血液、たんぱく質などの診断用小型バイオチップ	
					DNA分析の容易化・迅速化	バイオチップ、分析機器によるDNA分析の容易化	
					ナノバイオ技術による創薬	分子レベルの操作、シミュレーションによる新薬の開発	
					オーダーメイド治療	DNA分析に基づく事前治療や病気処方箋の実用化	
					リモート診察	過疎地域などでのインターネット経由での診断リモート化	
					リモート手術	信頼性の高いネットワーク経由での手術ガイダンスとマニピュレータ操作	
					人間アシスト型機器	筋力などの補助用の装着型ロボット	
					介護支援ロボット	人の搬送、食事、入浴などのサポートロボット	
					◎フェールセーフなロボット制御	制御的に問題があったとしても人間へダメージを与えないロボット制御技術	
					五感センサー／アクチュエータ	人間の五感の機能を計量及び仮想的に刺激を与える事のできるデバイス	
					移動する: Mobility	車体軽量化	燃費向上のために材料、構造の面から車体の重量軽減が進展
						環境負荷軽減技術	CO2、NOXなどの排出量を極小にする技術開発は継続的に進展
				◎事故防止・衝突防止		歩行者検知、衝突検知などによる事項防止に向けた技術開発が進展	
				トラフィック監視システム		地域、国内、グローバルベースで交通量検知と予測を可能にする技術	
				車両のモジュール化		駆動部、ボディー、インパネなどのモジュール化	
				◎グローバル運行情報システム		気象情報、船・航空機などの現在位置情報、運行予測情報を総合的に提供	
				知る: Information		多機能ブロードバンド携帯端末	個人認証機能を持ったセキュアで多様な情報が入手・発行できる端末
					街中設置型情報ステーション	地域情報の入手、行政機関からの電子認証が取得できるステーション	
					RFID高度化	業界、公共機関をまたがったトレースを可能とするRFIDシステム	
					◎セキュアネットワーク	安全、安心な情報交換が可能になる通信インフラ	
					暗号化・電子透かし	セキュアな通信環境を支える暗号化、透かしの開発、利用技術の進化	

ニュービジネスの創出	革新的新製品	楽しむ: Leisure	3Dディスプレイ	野外でも3次元画像の見えるディスプレイ
			五感活用コミュニケーション	人間の五感全部に働きかけるコミュニケーション機器
			電子マネー	カード、携帯端末、ネットワークなど様々な媒体経由で使える電子マネー
	システム技術	システム構造	リコンフィギュラブル生産システム	生産する製品の変化に対して構成機器を再利用できるような生産システム
			◎動脈・静脈一体型生産システム	リサイクル品の投入により再生部品などが利用可能な生産システム
			マイクロファクトリー	ミニ半導体工場などの実現
	生産技術	実装技術	デジタルモックアップ	シミュレーションをベースとした試作レスでの開発プロセス
			フレキシブル素材への実装技術	高密度・軽量化実装を可能とする基板製造・部品実装・機器実装の技術
			3D実装技術	3次元空間へ効率的に電子機器や基板を実装する技術
			積層型半導体実装技術	半導体チップの複数重ね合わせ実装技術
		設備・自動化	超微細実装技術	数μサイズの実装基板への部品搭載技術
			クリーン搬送	微細加工を行う部品やコンポーネントをゴミなしで搬送する技術
			防塵	塵を極限まで抑制するための技術
			一個流し用生産設備	安価でロットサイズ1から効率的に流すことの出来る生産設備
			機械故障診断	故障の直前の故障判別を可能とする技術
			プロセス技術	加工技術
	市場創造型の新サービスの開発	安全システム技術	◎安全な食料生産システム	国内あるいは国際間において、CSR、品質管理技術、標準化をベースに安全な食を確保する社会あるいは技術システムを提案するもの
			◎安全な化学物質回収システム	国内あるいは国際間において、安全な化学物質回収を確保する社会あるいは技術システムを提案するもの
			リアルタイム寿命予測システム	生産設備の安全性に関わる寿命をリアルタイムに予測する仕組みを提案するもの
			リモートアップデートシステム	生産設備の安全性に関して、生産設備の制御ソフトなどをリアルタイムにアップデートする仕組みを提案するもの
			◎工場リスク監視システム	国内あるいは海外にある生産設備の安全性に関して、リアルタイムで監視するシステムの仕組みを提案するもの
		高信頼性システム技術	超信頼性付加価値ビジネスモデル	超信頼性の付加価値を武器にビジネスにするモデルを考える枠組みを提案するもの
			メンテナンスフリー	メンテナンスフリーの製造技術を考え、それを競争優位にするビジネスモデルを提案する枠組みを提案するもの
			大規模システムの高信頼性技術	高信頼性を要する大規模複雑な製品の生産システム技術を提案するもの
			人間・機械系複合型システムの高信頼性技術	人間・機械系複合型システムの高信頼性技術を提案するもの
			高信頼性システムの仕様記述	高信頼性を要する大規模複雑な製品の生産プロセスを記述するもの
			高信頼性システムの標準化	高信頼性を要する大規模複雑な製品の国際標準を提案するもの
			高信頼性システムの検証	高信頼性を要する大規模複雑な製品の検証の枠組みを提案するもの
			サービス指向生産システム技術	地産地消生産システムのモデル
		ラピッド生産システムのモデル		ラピッド生産システムを構築するためのビジネスモデルを考える枠組みを提案するもの
		オンリーワン生産システムのモデル		オンリーワン生産システムを構築するためのビジネスモデルを考える枠組みを提案するもの
		ビジネス評価技術	サブライネットワーク・シミュレーション	複数の企業が連携する調達ネットワークの動的なシミュレーション
			エンタプライズシミュレーション	企業のサービス活動を統合化した動的なシミュレーション
ビジネスシミュレーション	複数の企業が連携するビジネスの価値連鎖などを評価するための動的なシミュレーション			
ライフサイクルシミュレーション	製品とサービスを統合した製品ライフサイクルの動的なシミュレーション			
リスクシミュレーション	複数の企業が連携する生産調達ネットワークのリスクシミュレーション			

ニュービジネスの創出	新ビジネスモデルの提案	生活を安全にするビジネスモデル	安全、安心を可視化する技術	安全度、安心度を定量的に示す技術、および計測技術
			危険、ハザードを可視化する技術	危険、ハザードを様々な状況、情報から計算し、定量的に示す技術
			◎危険、ハザードを知らせる技術	感知した危険、ハザードを効果的に通知する技術
		生活を豊かにするビジネスモデル	感性、感情、感動を可視化する技術	豊かさを定量的に把握するために、人が感じる感性、感情、感動を計測し、定量的に示す技術
			◎製品価値を可視化する技術	製品価値を定量的に示す技術
			◎サービスを可視化する技術	サービスによって受ける恩恵(価値)を計算し、定量的に示す技術
			ビジネスを可視化する技術	
			◎製品とサービスを融合化する技術	製品とサービスの融合を促進する技術
			脱物質化を促進する技術	多くは、サービスの高度化によって実現される。
			サービスを高度化する技術	
		格差社会を是正するビジネスモデル	情報の偏在を是正する技術	容易に情報を伝達し、利用できる環境を整備する技術
			物質・エネルギーの偏在を是正する技術	偏在する物質を効率的に移動、伝達する技術
			時間の偏在を是正する技術	時間を自由にマネジメントできる技術
			サービスを保管する技術	サービスを保管することによって、サービスの劣化を防止し、サービスの生産性を高める技術
		ビジネスモデルの設計提案環境	ビジネスモデルの統合設計環境を構築する技術	ビジネスモデルの提案を活性化し、ビジネスモデルをマスカスタマイズ化する技術
ビジネスモデルを大規模にシミュレーションする技術	ビジネスモデルの適応度、有効度を予測するための技術			

3. 6 まとめ

先に3. 1項の概要のところでも述べたように、昨年度まとめたロードマップでは、かなり限定した範囲に絞ったワーキンググループの議論のもとに、技術項目を中心に洗い出しを行った。その結果、

1. 生産プロセス技術（加工技術を中心に生産ライン構築に関わる項目）
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
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

に関して技術項目を洗い出すことができた。今年度は、これに生産システムの設計・評価に関する技術項目を加え検討する予定でいたが、加工、サステナブルマニュファクチャリングが別WGで議論することになったこと、及び新メンバーの参加などもあり昨年度に比べて議論の幅が大きく広がると共に方向性も大きく変わった。

第一には、生産システムの対象とする範囲も、有形の「もの」を生産するシステムだけではなく、サービスを生み出すシステム及びものとサービスの融合によりバリューを生み出すシステムまで広がった。従って、WGでの議論も、生産システムに関するもののみではなく、製品・サービスそのものに関わる議論や、そうした製品・サービスならびに製品・サービスを生み出す生産システムを支える産業基盤がどうあるべきかといった議論などが多く交わされた。

このため今年度の議論では、

1. 産業基盤の整備
2. 既存産業の高度化
3. ニュービジネスの創出^{※注}

※注 ここで言うニュービジネスとは革新的な製品、従来にないサービスを提供する事を指しており、一般に使われるニュービジネスとは若干ニュアンスが異なる

といった視点から、世の中がどのように変化してゆくか、また製品・サービスがどのように進化してゆくのか、更にはビジネスモデルの変化をどう捉えるかといった検討が大きく取

り上げられた。したがって昨年度の検討内容に対比して、全体の印象としては生産システムWGの対象範囲が大きく広がったように捉えられるかもしれない。

実際にもものづくり技術戦略マップの親委員会でも、生産システムWGのスキープの広がりに関しては、必ずしも否定的ではないものの、製品技術やサービスモデルの項目が多く、生産システムに関わる技術項目の洗い出しに関しては、充分とは言えないとの意見も出された。

来年度の生産システムWGでの検討の方向性については、現時点で次のように考えている。

まず大きなフレームワークとして、世の中の変化を3つの視点、即ち「製品・サービス」、それらを生み出す「生産システム」、インフラとなる「産業基盤」という切り口から捉えることは、間違っていないと思う。また、いずれの切り口で見た場合でも、それぞれの中では、人・もの・情報という個々の構成要素があり、それぞれの要素間での関係性が存在する。世の中の変化を見るときは、そうした構成要素がどのように変化し、要素間の相互作用がどのように変化してゆくかを予測することに他ならない。従って、世の中の大きな変化を俯瞰するという意味で、ビジネスモデルという概念も含めて今年度の議論を整理したいと考えている。

これにより大きな方向性を定めた上で、来年度の詳細の議論では、昨年度に議論したような生産システムを支える様々な技術要素、例えばロボット利用や設備を含む製造プロセス技術、生産方式なども含めた生産管理・情報技術、安全・安心・高信頼性を生み出すシステム技術、高密度実装を生み出す生産技術、及び生産システムの構築・評価に関わる技術などについて、より具体的な議論とロードマップ作成ができればと考えている。

第4章 設計WGの報告—次世代開発システムを目指して

4. 1 設計の技術戦略の概要

4. 1. 1 設計の考え方

「製品の品質の70%は設計段階で決まる」といわれている。製品開発に用いられる3次元CADの高度化、活用範囲の拡大に伴い、開発業務の前倒し（フロントローディング）が進み、今後、製品の品質に寄与する割合はもっと高くなると思われる。CADは製造業の死命を左右する重要なツールといえる。

CADは2次元から始まり、現在はフィーチャパラメトリックのソリッド3次元CADが主流となっている。しかし、現状の3次元CADにも限界が見えてきており、次世代のCADを模索する必要性に迫られている。次世代CADの姿を考えるにあたり、CADに関して歴史を見てみよう。

次世代日の丸CADを目指して CADの変遷と今後

2次元CADの時代 1980年代

- 図面の電子化
- 図面の再利用
- 曲面形状の正確な表現不可
- 設計プロセスの大幅な効率化は難しい

第一世代3次元CAD

1990年代

サーフェスマデラ

- 曲面形状表現実現
- CAM連携などプロセス変革に少し寄与
- 目で形状確認可能
- 解析に向かない
- 2次元・3次元連携が苦手
- 属性をモデルに持たせにくい
- 本格的な開発プロセス変革には不向き

第二世代3次元CAD

2000年代

ソリッドモデラ

BREP

フィーチャパラメトリック

- 解析可能
- 開発プロセス改革に対応できる
- 属性情報をもてる
- CAD/CAM/CAE間でのデータ変換がある
- データ量が多く、大規模アセンブリに不向き
- 構想設計から詳細設計、生産設計まで一貫できない
- 感覚での入力ができない

第3世代3次元CAD

2015年???

???????

- 構想設計から一貫して活用できる
- CAD/CAM/CAE間で自由にデータが移行できる
- 感覚入力が可能
- ネットワーク時代に対応した仕組み
- すり合わせなどのプロセスに対応できる仕組み

まず、2次元 CAD は図面の電子化による再利用が目的だった。要するに開発業務の効率化を目指しただけであった。言い換えれば、開発プロセスの大幅な効率化、改革はできなかった。また、あくまで2次元表現であったため、曲面形状を正確に表すことはできなかった。

そこで登場したのがサーフェスモデラである。曲面形状が表現でき、加工（CAM）連携など開発プロセス改革に寄与した。しかし、開発期間短縮に大きな役割を果たす解析（CAE）との連携が十分ではなかった。本格的な開発プロセス改革には不向きだった。

そして、現在の B-rep を用いたソリッドモデラが誕生してきた。解析との連携も可能になり、パソコン版も登場、1本が100万円を切り、設計者一人一人に普及しつつある。開発プロセスも大きく変わりつつある。大きな流れとして下流工程の業務を設計者が実施する「フロントローディング」が進んだことがあげられる。これにより、設計者は多忙を極めている。

というのも、現状の3次元 CAD の操作性は決してよいとはいえない。また、CAD-CAEといった異なったツールを使用するとき、データ変換が必要となる。さらに、すり合わせといった日本独特の開発手法に向いていない。このように多くの問題を残している。

さらに、使い込みが進むと、大規模アセンブリの実現や構想設計から生産設計までを一

貫したいといった要望も出てきている。これらには、現状の3次元 CAD のアーキテクチャでは対応が難しいと考えられている。

日本発の開発システムの姿

そこで、新しいアーキテクチャの3次元 CAD 待望論が生まれるわけだが、どのような形がベストなのか考えてみよう。

日本の製造業は「低価格」「高品質」「高機能」そして「市場即応」を武器に成長してきた。しかし、価格に関しては中国、韓国などに凌駕されている。品質、機能も一定のレベルに到達、もしくは早晩到達するものと思われる。

この状況を打破する手段はないのか。「設計期間、生産準備期間を飛躍的に短縮して、コスト競争力をつける」という主張があるが、これでは勝てないとする。例えば、自動車においてインドの企業から 30 万円程度の製品が発表された。日本企業も追随する発表がなされているが、これは正解なのか。

日本の製造業が勝ち残るためには、どうすればいいのか？これを実現する助けになる機能が、次世代の CAD に求められる。

まず、欧米が日本の追い上げを受けても生き残っているのは何故かを考えてみよう。これは「ブランド」によるものだと考える。高級車のベンツ、光学機器のCarl Zeiss、スポーツ用品のナイキなどが挙げられる。

ブランドとは「持つ喜びを与えられるもの」と定義づけることができるだろう。老舗的な意味合いもあるといえる。

では、日本の企業が「ブランド」を確立するためにはどうすればいいのだろうか。方法はいくつもあるが、その一つに高品質、高機能を徹底することがあるだろう。新技術もいち早く取り入れる。これにより「最新機能、技術、品質の製品」というブランドを確立するのである。もちろん、意匠性をもっと向上させる必要があるだろう。

また、昨今問題になっている「知財」の流出にも十分な配慮が不可欠だ。日本の製造業は開発システムにノウハウを埋め込み、効率化を図ってきたが、これをアジア諸国がそのまま活用して「日本の優位性」を脅かす状況が生まれている。

そして、大きな問題となりつつあるのが、技術者レベルの低下である。開発期間の短縮が進み技術者教育が十分にできない。しかし、3次元 CAD によって十分な技術知識が無くても、「それなりの設計」ができてしまう。これによって若手技術者のスキルが向上しないという悪循環が起きている。これを打破する必要がある。これに関連して、「コンピュータ使いだけの技術者」の増加という問題もある。CAD は設計者が直接使うツールであるが、

操作が難しく「本格的に習得するまでに1～2年かかる」とユーザー企業は語っている。ここまでかかるのは、「設計者は設計段階ではCADをフル活用するが、検証、生産準備段階になるとあまり使わなくなる。この間に操作を忘れてしまう」ということである。

次に、規制の多様化への対応があるだろう。安全、環境と多くの規制が生まれている。設計者は社内設計基準だけでなく、多くの規制を考慮しながら設計進めなければならない。これも大きな負担だ。

もう一つ重要な問題と考えられるのが、現在主流の3次元CADが欧米製であるということだ。CADはツールであるから、うまく活用すればどこ製でも問題ないという考え方もあるが、単に、設計を3次元化するのであればこれでよいといえるだろう。しかし、活用方法が高度化してくると、その国に合ったツールでなければならなくなるはずである。

そして今後重要になると思われるのが、持続型社会を創生するためのサステナブルマニュファクチャリングというキーワードである。持続型社会とは分かりにくい言葉であるが、環境を維持し続けられることと考えればよいだろう。つまり、製造業においては、エネルギー負荷が少ない開発・製造プロセス、リサイクル可能な製品、製品のライフサイクル全体を見た環境負荷の低減がポイントになる。

このためには、構想設計段階から解析技術を駆使し、製造過程、使用過程、回収破棄過程の環境負荷をトータルで考えられるシステムが必要不可欠となる。

日本にあった開発システムの姿

以上、非常に簡単ではあるが次世代の開発システムが必要な背景を考えてみた。では、これらを受けて次世代の開発システムの姿を考えてみよう。

まず必要な要素を列記してみると、次のようになる。

- ・ 構想設計から詳細設計まで一貫して活用でき、高品質、高機能を追求でき、試作を最少化できるシステム
- ・ ノウハウを埋め込めるが、流出しないシステム
- ・ 製品開発の上流である構想設計段階から、様々な解析ができるシステム
- ・ 操作が簡単で操作マニュアル無しでも使えるシステム
- ・ 安全や環境など規制に対処できるシステム
- ・ 日本のものづくりに適合したシステム

無理難題も含めて抽象的に列記したが、もう少し細かく見ていく。まず、高品質、高機能を追求できるためには、製品企画から詳細設計、解析とシームレスに一貫して実施できることが望まれる。この点からすると、粗い設計、細かい設計の両方に対応でき、作った

データがそのまま、CAM/CAE で活用できるとよいことになる。

ノウハウに関しては今の技術から推測する範囲では、二つのアプローチが考えられる。一つはユーザーが容易にノウハウを埋め込めるようにすること。もう一つはユーザーが持つノウハウデータベースと容易に連携できることである。

データベース連携は、技術者教育や安全、環境への対応でも不可欠な機能になると考える。ただし、ブラックボックス化するのではなく、技術者のレベルに合わせて支援する形が望ましい。

操作に関しては、技術者の直感で操作できることが望まれる。3次元マウスの活用や粘土細工をするような操作性となるのであろうか。

これらの機能によって上流工程での品質の作りこみがさらに進み、試作の削減、工程の後戻りが少なくなる。

そして、日本のものづくりの特徴である「すり合わせ文化」を生かせるシステムでなければならない。

4. 1. 2 技術マップの構成

昨年度は現状の製品設計時に起きている問題点を挙げ、その問題点を解決したら、どのような効果が得られるかを考えて大分類を作っていた。この結果、非常に広範囲にわたり解決すべき技術課題が浮き彫りになった。しかし、その一方で、広範になり過ぎたため、焦点が絞りにくくなっていた。

設計 WG は単に技術マップ、技術ロードマップを作成し、提言をしていくだけでなく、日本の製造業が勝ち残っていくために必要な製品開発ツールを実際に開発しようという考えを持っている。焦点をある程度絞らなければ、開発するツールの具体像が見出せない。

そこで本年は、問題点をもう一度見直し、問題点の共通項目を考え、それを解決できる可能性のある技術をピックアップしていった。共通項目としては「操作性」「一貫性」「連携性」「高品質」などが上げられた。さらに、製品開発のプロセスとデータ管理が重要という意見あった。

これらを少し補足説明すると次のようになる。

- ・ 操作性：設計のコアツールである3次元CADは使いこなすに習熟が必要であり、設計段階に必要な試行錯誤を十分に行いにくい。また、開発期間短縮に威力を発揮するシミュレーションツールもまだまだ使いにくい。操作性を高めて、設計者が「すいすい」使えるようにする必要がある。
- ・ 一貫性：現在の開発工程を見ると、構想設計、基本設計、詳細設計、生産性設計、シ

シミュレーションの各工程が、分断されている。主な理由は、現在の3次元CADが構想設計に向かないため、詳細設計まで同一のデータ形式で実行しにくいこと。またシミュレーションではメッシュ切りなどデータを加工する必要があることなどが挙げられる。

- ・ 連携性：これは三つの側面がある。一つはCAD/CAM/CAE間のデータ連携の問題。もう一つが、製品などの実態とデジタルデータの連携という面。これは、実際に出来上がったものとデジタルで設計したデータに差異があることも多いが、実態とデータの連携がうまくいかないということである。三つ目が設計に必要なノウハウや設計基準などのエンジニアリングデータと設計ツールの連携がうまくいっていない点である。
- ・ 高品質：品質を効率よく高めるためには、シミュレーション技術の活用が不可欠であるが、現状ではシミュレーションできる対象や事象に限界がある。

本年はこの問題に絞って、対応する技術を技術マップの項目としてあげることにした。そして、製品開発の全体像を俯瞰するために、二つの項目を冒頭に付けることにした。すなわち、

- ・ 設計・技術管理支援機能
- ・ 設計・生産技術活動支援技術
- ・ モデリング技術
- ・ 現物融合技術
- ・ ナレッジ管理運用技術
- ・ CAE、シミュレーション技術
- ・ 基盤情報技術

である。基盤情報技術は、すべての技術を支えるものとして捉まえている。

作業を進めていく中で、サステナブルマニュファクチャリングの重要性に関する意見があった。サステナブルが意味する持続型社会を実現するためには、環境負荷軽減がポイントになる。この観点で技術項目を再チェックしてみた。製品開発において環境負荷軽減に結びつくキーワードをあげていくと「試作ミニマム化」「製品の小型化」「開発工程の後戻りの軽減」「製品のトレーサビリティの確保」などがある。

これらを実現するためには製品開発の上流工程（構想設計・基本設計）での品質の十分な検討ができること、そしてそのデータがそのまま詳細設計、生産設計に活用できることが望ましい。また、これらの工程で簡便な、さらに高精度な解析が必要となる。この観点

からモデリング技術を根本から見直し、解析技術との融合を図らなくてはならない。

また、長年培ってきたノウハウなどのナレッジを有効に活用することも重要である。

トレーサビリティに関しては、製品データの系統だった維持、管理が必要である。しかし、設計データをそのまま管理しても不十分である。実際のものづくりでは、現場修正が発生する。金型などが良い例である。この修正を設計データに反映しなければ、データと実態の乖離が発生する。このため、現物融合技術はキーになる。

このように考えていくと、ピックアップした技術項目はサステナブルマニュファクチャリングを実現するための必要条件を満たしていると考えられる。

しかし、必要十分かという重要な技術項目はまだまだある。これらの検討は次年度に進めたいと思っている。そして、「サステナブル」と「日本に合う」の二つのキーワードを満たす新しい製品開発ツールの姿を描き出したいと考えている。

4. 2 設計に関する重要技術

4. 2. 1 重要技術抽出の考え方

重要技術の抽出は、理想とする製品開発システムの姿を描き出し、それを実現するために必要な技術をピックアップしていくというのが本来のやり方であろう。しかし、本年は理想の姿を描き出すまでには至らなかった。そこで、技術項目（中分類）ごとに解決できる問題点を挙げて、問題点の重要度に応じた詳細技術（小分類）を選択していった。また、選択時にサステナブルマニュファクチャリングに寄与できるかも選択基準とした。次年度はこの結果を踏まえて、サステナブル世界と日本の製造業に合致した理想の製品開発システム像を描き出し、技術マップの充実を図ると同時に、開発テーマとして企画を進めたいと考えている。

以下に、技術項目ごとの選択理由を概説した。

●設計管理技術

新製品の設計・開発、販売・製造、運転・保守、廃棄に至る、製品ライフサイクルの各段階において、設計・技術部門の諸活動を管理できれば、新製品の効率的な開発とサービスの内容の改善に有効と考えられている。この諸活動を管理支援するための設計・技術管理支援機能の中で特に重要な技術課題として構成品管理技術を挙げた。

●設計・生産技術活動支援技術

新製品の設計・開発で製品設計者が実施する設計・技術活動において、設計作業の効率化を支援し、かつ設計品質の確保を支援でき、製品設計者が自ら活用するツールが現場から求められている。そのための設計・生産技術活動支援向け技術開発課題の中で重要な技術課題として、①製品モデリング技術（構想設計／機能設計向けの簡易操作機能）、②部位機能データモデルと機能実現設計アプローチ（部位機能・部位仕様データモデルの規格規定、及び要素・部品、部位に関する標準辞書の整備等）を挙げた。

●モデリング技術

至近の課題として次の二つが挙げられる。一つはデジタルで作り上げた形状が思い通りになっているのかを簡単に確認できないこと。もう一つが作り上げた3次元データの受け渡しが大変なことである。これらに対応する技術としては3次元プリンタの高度化、新しい考え方の3次元データ交換技術がある。また、近未来の課題としてはもっと簡単に形状変更がしたいということと、構想設計から詳細設計まで一貫したシステム（データ）を進めたいということがある。これに対応する技術はフィーチャなどの抽出と活用、ポリゴンなどの新しい形状モデル表現がポイントになる。

●現物融合技術

この技術は日本の製造業の強さをより顕著にする。日本の製造業の強さは優れた現場にあるといっても過言でない。例えば、金型製作において現場で微修正してより品質の高い部品を作るといったことである。この修正をデジタル化して設計データにフィードバックしてより高品質な設計に結びつける。現物融合技術が目指すものの一つがこれである。このためには現物からのモデルデータの生成、また、現物をスキャンしたデータを用いたモックアップ技術、シミュレーション技術などが重要となる。

●ナレッジ管理・運用技術

問題はナレッジ活用が断片的な活用にとどまっていることである。特定の部品設計ではナレッジ活用が進みつつあるが、設計プロセス全体をナレッジで支援するところまでは行っていない。そこで重要となるのが設計プロセスの収集とプロセス支援技術、さらに設計の判断を支援する技術である。

●性能シミュレーション技術

操作が難しい、解析できる現象が限定されていること。さらに、解析データの管理活用が進んでいないことが課題である。そこで、ポイントとなる技術に解析する際に必須となるメッシュ切りなどのモデル化の簡便化が挙げられる。さらに、解析手法や評価の自動化も必須だ。また、現在は応力、熱などを個別に解析しているが、実際にはいくつかの事象が複合して発生している。そこで、複数の解析を関連付けて同時に実行するマルチフィジックス解析技術が求められている。これらの結果を有効に活用するための管理技術も不可欠である。

●基盤情報技術

設計に利用できる基盤情報技術を、2025年までの技術・ロードマップをハードウェア・ソフトウェア・ネットワークとに分けて俯瞰した場合、まずハードウェアの大幅な進歩に合わせて、ネットワーク技術を活用した、設計製造支援ソフトウェアシステムの実現が期待できる。ここで有望な技術開発目標として、①設計動作ナビゲーション機能（過去の失敗事例、設計思考・試行過程をほぼ全て記録し、検索し、再現し、見える化、体感できる機能）、②リモート可視化によるコラボレーション設計機能（超高速ネットワーク技術を利用にした協働作業を実現する仮想現実化機能）、③即時解析型設計並行処理支援機能（解析技術者水準の精度で、製品設計者が設計中随時解析結果確認を可能にする機能）の三つを挙げた。

4. 2. 2 重要技術マップ

ものづくり技術戦略マップ（設計技術）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
設計・技術管理支援機能	構成管理(形態管理)	販売・製造段階の構成管理	販売・製造する製品の設計形態の変更管理	販売・製造する製品の設計形態の、①初期形態を設定・記録し、②必要となった設計形態の変更内容を決定し、③決定した変更に関する諸活動を実施展開する、④変更に必要な諸活動の実施状況を追跡・確認する。
			製造指示形態の展開・発行	客先との契約仕様に対応する製品を実現するために、設計形態のオプション構成から製造指示形態を展開し、発行する。
			出荷形態(組込形態)の記録	上記の製造指示形態に基づいて製造された製品の、出荷時の形態(組込形態)を記録する。(製造品質のエビデンスであり、以降の運用/保守(客先支援を含む)段階での形態管理の出発点。)
		運用/保守段階、廃棄段階の構成管理	運用形態の設定・記録	運用条件又は任務に見合った形態を設定し、結果を記録する。(軍や宇宙開発では、“任務形態:Mission Configuration”という。)
			保守形態の設定・記録	(客先又はメーカーでの)保守時の形態を計画・設定し、結果を記録する。
			不具合解析支援機能	不具合発生時に、出荷形態(組込形態)、運用/保守時の形態記録を分析して不具合原因を解析し、リコール範囲を決定する。
		設計・技術データの参照/連携管理	設計・技術データの参照/連携関係の関連付け管理	設計・技術活動の進捗に伴う設計・技術データの各版において関連する設計・技術データ間の参照/連携関係を、製品設計データを中核として関連付ける。(製品設計-解析、製品設計-工程設計-NC Pgm/検査指示 Pgm)
			設計・技術データの参照/連携関係の履歴追跡管理	関連する設計・技術データ間の参照/連携関係を、製品設計データを中核として、且つ、各データの各版を時系列に沿った履歴追跡を可能とする。(製品設計-解析、製品設計-工程設計-NC Pgm/検査指示 Pgm)
			製造記録データの追跡管理	製造記録(品質記録)として、①工程設計データを出发点として、下記のデータを追跡可能とする。②NC Pgm/検査指示 Pgm、③個別製品の加工記録、検査記録。
設計・技術活動支援機能	製品モデリング技術	概略形状/基本形状設定の簡易操作機能	概略形状/基本形状設定の簡易操作機能	構想設計/機能設計における概略形状/基本形状の簡易設定機能
	“部位機能”データモデルと“機能実現設計”アプローチ	部位機能・部位仕様データモデル	部位機能・部位仕様データモデル【A】	要素・部品上の部位に対して割り付けられた機能・仕様を表現するデータモデル。(技術データの中の最上位に位置付ける。)⇒ISO 10303 4x Resource Model、⇒ISO 10303-203、214 将来 Version
		要素・部品、部位に関する標準辞書	要素・部品、部位に関する製品群別国際標準辞書【α】 要素・部品、部位に関する各社標準辞書【β】	要素・部品、部品上の部位に関する(用語の)製品群別国際標準辞書。<ISO 13584-42 PLIB標準辞書記述規格を活用> 要素・部品、部位に関する(用語の)各社標準辞書。<製品群別国際標準辞書【α】を各社向けにカスタマイズ><ISO 13584-42 PLIB標準辞書記述規格を活用>
モデリング技術	モデル入出力技術	3次元出力	3次元プリンタ 3次元ディスプレイ	
	形状モデル表現	離散表現	点群 ポリゴン デクセル・ボクセル	境界の離散的な表現 境界の離散的な表現、細分割曲面を含む ポリリウムの離散的な表現
	形状モデル生成・修正	属性の付加と抽出	寸法や公差 フィーチャ 組み立て	
	モデルデータの統合	データ交換	CADシステム間のスムーズなデータ交換 境界表現とポリリウム表現モデルの交換 連続体表現と離散表現モデルの交換	
現物融合技術	モデル処理技術	リバースエンジニアリング技術	CADモデル生成	B-Repモデル・サーフェスモデル、Class 1サーフェス等のCADモデル生成
			CADモデル修正	スキャンデータによるCADモデル修正
			CAEモデル生成	フィーチャー付与・削除による、 まるごとスキャン技術
	設計支援技術	現物設計技術	現物モデルによる設計	モックアップからのCADデータによる設計
			現物モデルによるDMU (Digital Mockup)	現物(購買品等)のスキャンモデルと自社開発製品のCADモデルによるDMU
現物シミュレーション技術	現物シミュレーション技術	現物コピー技術	現物をスキャンしRP等により複製を作成し試作検討	
		現物モデルによるシミュレーション	スキャンモデルを用いたシミュレーション、シミュレーション・実験適合化	
ナレッジ技術	設計プロセス	試行錯誤支援	判断のサポート	判断材料の提供(数値、非数値情報)
			プロセスの自動収集	オペレーションログの収集/分析
		ナビゲーション	プロセスの組み込み	チェック機能の組み込み(手動、自動) 部分最適化から全体最適化へ

性能シミュレーション技術	有限要素解析技術	モデル化技術	六面体自動メッシュ技術	解析現場のCPUパワーの制限の中で、解析精度を確保することが出来る
			メッシュレスモデル化技術	更に、進んで解析に適したメッシュを意識せずに解析ができるようになる。
		マルチフィジックス解析技術	CADモデル→CAEモデルへの自動変換技術	解析に適したモデルへの修正を意識せず、CADモデルをそのまま解析に使用できることで、解析時間の短縮に結びつけることが出来る
			部品間結合の自動化技術	同上
	最適化技術	複数性能最適化技術(MDO解析技術)	左同	個々の性能の最適化から複数性能の最適化技術開発が進んでいる。今後さらにこの方向が加速され、設計CAEには欠かすことの出来ないものとなる
			解析と実験データ管理技術	解析データと実験データの統合管理技術、大量データ集積、分析、管理、検索技術
	シミュレーションデータ・マネージメント技術	ユーザビリティ技術	データ管理カスタマイジング技術	製品設計にマッチしたデータベース構築、データベース管理が容易にカスタマイズ可能になる
			データ検索技術	音声認識も視野に入れ、開発者が必要とするデータ検索が短時間に出出来る
	シミュレーション自動化技術	ユーザビリティ技術	ナレッジベースを基にした解析ナビゲータを組み込んだ自動化技術	ナレッジベースを組み込むことでモデル化、解析条件、解析経過、解析結果の妥当性評価を自動的に行うことができると同時に解析ノウハウの伝承が確実に出来る
			ソルバを意識しない解析技術	解析条件を定義すると、その解析に必要な複数の解析ソフトが裏で自動的に走り、結果が表示される
			モデル作成からレポートまでの自動化技術	シミュレーション・データベースと連携し解析条件、出力条件を定義することで、解析の入力口から出口までを自動的に行うことが出来る
基盤情報技術	ユーザーインターフェイス技術	マルチモーダルインターフェイスの進歩	知識ベース検索機能(テキストではない、感覚を利用したデータ検索の実時間表示)	音声による予備操作を行いながら、過去の関連する不具合等を、形状認識機能を用いて、過去事例を強化現実感の中で重ね合わせる(非拘束・環境重畳型インターフェイス)。
			設計動作ナビゲーション機能	・部位指示は、形状特徴認識後、過去事例を重畳する方式を取る。
	ネットワーク技術	リモート可視化によるコラボレーション設計機能	同期型：リアルタイムなトレイグスタンス型のリモート可視化による、コラボレーション設計機能	アバター、仮想人物を解したりリモート操作を実現する。また、軽量データを用いたDMU操作を実現していると考えられる。この場合、没入感を実現した仮想現実が必要である。即ち、リモート環境における設計者同士の一体感が必要であるため。
			非同同期型：設計再現型(マルチモーダル)による非同同期型のリモート可視化による、コラボレーション設計機能	特に非同同期型システムは、大学の設計教育、企業の新人設計者教育にも利用可能。
		即時解析型設計並行処理支援機能	設計途上の製品設計情報からデスクトップCPU解析、部門毎のセンターCPU解析、企業毎のサーバ解析等をリアルタイム実行する。	これを実現するため、大規模データを高速に転送する、解析結果をCAD製品形状に重畳表示(強化現実:AugmentedRealityの手法)できる、等が必要と考える。

4. 2. 3 重要技術ロードマップ

ものづくり技術戦略ロードマップ（設計技術）

大分類	中分類	小分類	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年
設計・技術管理	構成管理(形態管理)	販売・製造段階の構成管理	販売・製造段階の構成管理																									
		運用/保守段階、廃業段階の構成管理	運用/保守段階、廃業段階の構成管理																									
		設計・技術データの参照/連携管理	設計・技術データの参照/連携管理																									
設計・生産技術	製品モデリング技術	概略形状/基本形状設定の簡易操作機能	概略形状/基本形状設定の簡易操作機能																									
		部位機能・部位仕様データモデル	部位機能・部位仕様データモデル																									
		要素・部品、部位に関する標準辞書	要素・部品、部位に関する標準辞書																									
モデリング技術	モデル入出力技術	3次元出力	3次元プリンタ										高精度・高速3次元プリンタ															
		3次元ディスプレイ	3次元ディスプレイ																									
	形状モデル表現	離散表現	点群	点群																								
			ポリゴン	ポリゴン																								
形状モデル生成・修正	属性の付加と抽出	デクセル・ボクセル	デクセル・ボクセル																									
		寸法公差	寸法公差																									
モデルデータの統合	データ交換	境界表現とボリューム表現の交換	境界表現とボリューム表現の交換																									
		連続体表現と離散表現の交換	連続体表現と離散表現の交換																									
		CADモデルとCAEモデルの交換	CADモデルとCAEモデルの交換																									
現物融合技術	モデル処理技術	リバースエンジニアリング技術	CADモデル生成	CADモデル生成																								
			CADモデル修正	CADモデル修正																								
	設計支援技術	現物設計技術	CAEモデル生成	CAEモデル生成																								
			まるごとスキャン技術	まるごとスキャン技術																								
理・運用技術	設計プロセス	ナビゲーション	現物モデルによる設計	現物モデルによる設計																								
			現物モデルによるDMU (Digital Mockup)	現物モデルによるDMU (Digital Mockup)																								
			現物コピー技術	現物コピー技術																								
性能シミュレーション技術	有限要素解析技術	モデル化技術	現物モデルによるシミュレーション	現物モデルによるシミュレーション																								
			現物モデルによるベンチマーキング	現物モデルによるベンチマーキング																								
	最適化技術	複数性能最適化技術(MDO解析技術)	強度、剛性、操縦安定性、乗り心地、振動、騒音、熱、電磁場、衝撃の組み合わせ解析技術	強度、剛性、操縦安定性、乗り心地、振動、騒音、熱、電磁場、衝撃の組み合わせ解析技術																								
			複数の解析ソフトの組み合わせ技術	複数の解析ソフトの組み合わせ技術																								
	シミュレーションデータ・マネジメント技術	解析と実験データ管理技術	強度、剛性、振動、騒音、熱、流体、衝撃などの複数性能の最適化	強度、剛性、振動、騒音、熱、流体、衝撃などの複数性能の最適化																								
			解析データと実験データの統合管理技術	解析データと実験データの統合管理技術																								
		ユーザビリティ技術	データ管理カスタマイジング技術	データ管理カスタマイジング技術																								
			データ検索技術	データ検索技術										音声認識データ検索技術														
	シミュレーション自動化技術	ユーザビリティ技術	ナレッジベース解析ナビゲーション技術	ナレッジベース解析ナビゲーション技術																								
			ソルバを意識しない自動解析技術	ソルバを意識しない自動解析技術																								
基盤情報技術	ユーザーインターフェイス技術	マルチモーダルインターフェイスの進歩	モデル作成からレポート作成までの自動化技術	モデル作成からレポート作成までの自動化技術																								
			知覚型知識ベース検索機能	知覚型知識ベース検索機能										設計動作ナビゲータ														
	ネットワーク技術	リモート可視化によるコラボレーション設計機能	同期型コラボレーション設計機能	同期型コラボレーション設計機能																								
非同期型コラボレーション設計機能			非同期型コラボレーション設計機能																									
		即時解析型設計並行処理支援機能	即時解析型設計並行処理支援機能																									

4. 3 設計管理技術

4. 3. 1 設計管理技術の概要

設計・技術管理支援機能

新製品の設計・開発、販売・製造、運転・保守、廃棄に至る、製品ライフサイクルの各段階において実施される設計・技術部門の諸活動に関する管理業務とそれを支援する情報技術機能は、下記の体系であると理解できる。

- (1) 新製品の要件／仕様の設定、新製品の実現可能性の確認及び新規開発項目の試験・検証の管理、新製品開発のスケジュール管理等からなる開発管理業務
- (2) 開発・試験段階、販売・製造段階、運用／保守段階、廃棄段階の製品ライフサイクルの各段階における構成品管理（形態管理）
- (3) 設計・技術データの発行管理、設計・技術データの参照／連携管理からなる設計・技術データ管理

(1) 開発管理業務

(1-1) 新製品の要件／仕様の設定（コンフィギュレーション管理-1）

マーケティング／商品企画は、設定した新製品の対象市場・対象顧客層、製品イメージ、差別化方針、要求事項を設定する。マーケティング／商品企画が設定したこれらの要求事項を実現するために実施する最初の技術活動である新製品の機能展開・構成品展開とその変更来歴管理に始まり、要件項目、仕様項目の変更来歴管理、要件項目、仕様項目間の不整合事項／検討課題に関する調整／検討の追跡管理が行われる。

(1-2) 新製品の実現可能性の評価及び新規開発項目の試験・検証の管理

上記（1-1）において設定された要求仕様－製品仕様の各仕様項目に対して現有する要素（技術／材料）を対応させ、製品の実現に必要で、現有していない要素（技術／材料）を識別し、必要な新規開発項目を列挙する。この識別結果をもとに、各仕様項目、現有の要素（技術／材料）と新規開発項目の集合体としての新製品の実現可能性を評価する。

次に、各新規開発項目に関する試験・検証計画を設定する。その後、個々の試験・検証項目について各段階での変更内容と変更理由を記録し、試験・検証完了迄、経過を追跡する、変更来歴管理を行う。

(1-3) 新製品開発のスケジュール管理

新規開発項目の開発・検証活動、新製品の（製品全体としての）開発・検証活動等の新製品開発段階におけるスケジュール管理活動を支援する。

WBS（Work Breakdown Structure）項目を設定し、WBS 項目間の依存関係を明確に

する。WBS 項目の所要期間／進捗状況の入力、これらに基づくスケジュール計算とクリティカルパス計算等を行い、スケジュール管理を支援する。

(2) 構成品管理（形態管理）（コンフィギュレーション管理-2）

(2-1) 開発・試験段階の構成品管理（形態管理-1）

新製品の開発・試験段階における構成品の①初期形態を設定・記録し、②試験・検証結果等を反映して必要となる設計形態の変更内容を決定し、決定した変更に要する諸活動を実施展開し、③変更に必要な諸活動の実施状況の追跡を行う。

(2-2) 販売・製造段階の構成品管理（形態管理-2）

販売・製造する製品の設計形態の変更管理を行う。

これをもとに、客先との契約仕様に対応する製品を実現するために、設計形態のオプション構成から製造指示形態を展開し、生産計画活動に発行する。

上記の製造指示形態に基づいて製造された製品の、出荷時の形態（組込形態）を記録する。これは、製造品質のエビデンスであり、以降の運用／保守（客先支援を含む）段階での形態管理の出発点となる。

(2-3) 運用／保守段階、廃棄段階の構成品管理（形態管理-3）

この段階では、下記の形態管理活動とそれを活用した不具合解析等が行われる。

運用条件又は任務に見合った形態を設定し、結果を記録する運用形態管理。

客先又はメーカーにおける保守時の形態を計画・設定し、結果を記録する保守形態管理。

不具合発生時に、出荷形態（組込形態）、運用／保守時の形態記録を分析して不具合原因を解析し、リコール範囲を決定する不具合解析支援機能。

運用／保守の結果としての、廃棄時点での形態を確認し、廃棄結果となる形態を記録する、廃棄形態の確認・記録。

(3) 設計・技術データ管理

(3-1) 設計・技術データの発行管理

設計・技術データの発行に先立って、発行データを凍結する設計・技術データの凍結・発行。凍結したこの版のデータは、これを受領した下流部門では勿論、作成した設計・技術部門であっても、修正・変更できない。

設計・技術活動の進捗に伴う各データの各版について、時系列に沿った履歴追跡を可能にする設計・技術データの履歴追跡管理（トレーサビリティ管理-1）を行う。

(3-2) 設計・技術データの参照／連携管理

設計・技術データの参照／連携関係の関連付け管理、設計・技術データの参照／連携関係の履歴追跡管理（トレーサビリティ管理－2）、製造記録データの追跡管理（トレーサビリティ管理－3）を行う。

ここにあげた設計・技術管理の諸活動は、航空・宇宙分野において製品の設計・開発において実施されており、ここでは航空・宇宙分野での用語を用いて整理した。

これらの設計・技術管理支援機能を活用するには、関連する全部門で確実に実施できるための管理要領及び管理コードの設定等の管理制度・管理手続の整備、必要な情報システムの要件定義・要求仕様の設定と情報システムの開発、関連する全部門の要員の教育・訓練等の準備を行う必要がある。

航空・宇宙分野に限らず先進的な産業においては、これらの管理活動向けの情報システムが開発・活用されている。その位置付けや管理要領が明確に規定されていなくても、先進的な企業においては、これらの管理活動が実施されている場合があるであろう。

新製品の効率的な開発とサービスの内容の改善には、ここで挙げた設計・技術管理活動は有効な手法であるので、現時点では、これらについて明確な位置付けを行ってはおらず、そのためこれらの管理活動向けの情報システムを活用していない産業や企業においても、順次活用展開が図られることとなろう。

4. 3. 2 技術マップ（設計管理技術）

ものづくり技術マップ（設計管理技術）

大分類	中分類	小分類	要素機能／要素技術	備考	
設計・技術 管理 支援機能	新製品の 要件／仕様 の設定 (コンフィギュ レーション 管理-1)	新製品の 機能展開・ 構成展開 と 変更履歴管理	・品質・機能展開 (QFD: Quality-Functionality Deployments) ・機能ツリー ・構成ツリー	マーケティング／商品企画が設定した、 新製品の対象市場・対象顧客層、製品イメージ、差別化方針、 要求事項を実現するために実施する、最初の技術活動。 新製品の要件定義から要求仕様－製品仕様に至る各過程で行う 機能展開・構成展開とその変更履歴管理。	
		要件項目、 仕様項目の 変更履歴管理	・要件項目／仕様項目の一覧表 ・要件項目／仕様項目の規定内容 ・各段階での変更内容と変更理由	要件項目／仕様項目を列挙し、 個々の項目について、各段階での変更内容と変更理由を記録し、 製品仕様の最終決定迄、経過を追跡する。 例：要件定義段階：要件項目、 要求仕様／製品仕様設定段階：仕様項目、	
		不整合事項／ 検討課題 に関する 調整／検討 の追跡管理	・不整合項目／検討項目の一覧表 ・不整合項目／検討項目の状況 ・各段階での調整／検討内容と 結論の決定理由	要件項目又は仕様項目間の不整合事項又は検討課題を識別・ 列挙し、個々の項目について、調整／検討状況を記録し、 問題解決迄、経過を追跡する。 例：要件定義段階：要件間不整合、 要求仕様／製品仕様設定段階：仕様項目間不整合、 試験・検証計画設定段階：開発項目と試験・検証項目の調整	
	新製品の 実現可能性 の評価 及び 新規開発項 目の試験・検 証 の管理	新製品の 実現可能性 の評価	・各仕様項目に対する 現有要素(技術／材料)の対応付け ・現有しない要素(技術／材料) に対する 必要の新規開発項目の識別 ・現有要素(技術／材料)と 新規開発項目の集合体としての 新製品の実現可能性の評価	要求仕様－製品仕様の各仕様項目に対して 現有する要素(技術／材料)を対応させ、 製品の実現に必要で、現有していない要素(技術／材料)を識別 し、必要の新規開発項目を列挙する。 この識別結果をもとに、 各仕様項目、現有の要素(技術／材料)と 新規開発項目の集合体としての 新製品の実現可能性を評価する。	
		新規開発項目 に関する 試験・検証計画 の設定	・新規開発項目の一覧表 ・新規開発項目に対する 試験・検証計画	新規開発項目を列挙し、 各開発項目に対して、試験・検証計画を設定する。	
		試験・検証項目 の 変更履歴管理	・試験・検証項目の一覧表 ・試験・検証項目の 変更内容と変更理由	上記の試験・検証計画に基づいて、 個々の試験・検証項目について、 各段階での変更内容と変更理由を記録し、 試験・検証の+E19完了迄、経過を追跡する。	
	新製品開発 の スケジュール 管理				下記の新製品開発段階におけるスケジュール管理活動を 支援する。 代表例：新規開発項目の開発・検証活動 新製品の(製品全体としての)開発・検証活動
		WBS項目と その依存関係 の定義	・WBS項目の設定 ・WBS間の依存関係の定義	①各段階の開発・検証活動における活動項目を列挙し、項目間の 上下関係を表すWBS(Work Breakdown Structure)を設定する。 ②WBS項目間の依存関係(前後関係)を明確にする。	
		WBS項目の 所要期間／ 進捗状況の入力	・WBS項目の所用期間の設定 ・進捗状況の入力・確認	③各WBS項目の所要期間を設定する。 ④各WBS項目の進捗状況を把握・入力する。	
		スケジュール計画 と クリティカルパス 計算	・スケジュール計画の算定 ・クリティカルパス計算	⑤②で設定したWBS項目間の依存関係と、 ③で設定した所要期間を用いて、スケジュール計画を算出し、 ⑥スケジュール上のクリティカルパスを確認する。	
		スケジュール計算 と クリティカルパス 計算	・進捗状況を反映したスケジュール 計画の再算出 ・スケジュールリスクの評価 (クリティカルパス計算) ・スケジュール計画の再計算 ・スケジュールリスクの再評価 (クリティカルパス計算)	⑦②で設定したWBS項目間の依存関係と、 ④の進捗状況を用いて、スケジュール計画を再算出し、 ⑧スケジュール上のリスクの度合いを評価して、 問題のあるWBSを識別する。 ⑨問題のWBS項目には、実現可能な所要日程を再設定し、 スケジュール計画を再計算する。 ⑩スケジュール上のリスクの度合いを再評価する。	
	構成管理 (形態管理) (コンフィギュ レーション 管理-2)	開発・試験段階 の 構成管理 (形態管理-1)	新製品の開発・試験段階における 構成品の 変更管理	新製品の開発・試験段階における構成品の ①初期形態を設定・記録し、 ②変更の決定、決定した変更に関する諸活動の実施展開 ③変更に必要な諸活動の実施状況の追跡	
		販売・製造段階 の 構成管理 (形態管理-2) ◎	販売・製造する製品の設計形態の 変更管理	販売・製造する製品の設計形態の、 ①初期形態を設定・記録し、 ②必要となった設計形態の変更内容を決定し、 ③決定した変更に関する諸活動を実施展開する ④変更に必要な諸活動の実施状況を追跡・確認する	
			製造指示形態の展開・発行	客先との契約仕様に対応する製品を実現するために、 設計形態のオプション構成から製造指示形態を展開し、 発行する。	
			出荷形態(組込形態)の記録	上記の製造指示形態に基づいて製造された製品の、 出荷時の形態(組込形態)を記録する。 (製造品質のエビデンスであり、以降の 運用／保守(客先支援を含む)段階での形態管理の出発点。)	

ものづくり技術マップ（設計管理技術）

大分類	中分類	小分類	要素機能／要素技術	備考
設計・技術管理 支援機能 (続き)	構成管理 (形態管理) (コンフィギュレーション管理-2) (続き)	運用／保守段階、 廃棄段階の 構成管理 (形態管理-3) ◎	運用形態の設定・記録	運用条件又は任務に見合った形態を設定し、結果を記録する。 (軍や宇宙開発では、“任務形態:Mission Configuration”という。)
			保守形態の設定・記録	(客先又はメーカーでの) 保守時の形態を計画・設定し、結果を記録する。
			不具合解析支援機能	不具合発生時に、出荷形態(組込形態)、運用／保守時の形態記録を分析して不具合原因を解析し、リコール範囲を決定する。
			廃棄形態の確認・記録	運用／保守の結果としての、廃棄時点での形態を確認し、 廃棄結果となる形態を記録する。 (運用形態／保守形態の正確な履歴記録が鍵。)
	設計・技術 データ 管理	設計・技術データの 発行管理	設計・技術データの凍結・発行	設計・技術データの発行に先立って、データを凍結する。 (凍結したこの版のデータは、これを受領した下流部門では勿論、 作成した設計・技術部門であっても、修正・変更できない。)
			設計・技術データの履歴追跡管理 (トレーサビリティ管理-1)	設計・技術活動の進捗に伴う各データの各版について、 時系列に沿った履歴追跡を可能にする。
		設計・技術データの 参照／連携管理 ◎	設計・技術データの参照／連携関係 の 関連付け管理	設計・技術活動の進捗に伴う設計・技術データの各版において、 関連する設計・技術データ間の参照／連携関係を、 製品設計データを中核として関連付ける。 (製品設計-解析、 製品設計-工程設計-NC Pgm／検査指示 Pgm)
			設計・技術データの参照／連携関係 の 履歴追跡管理 (トレーサビリティ管理-2)	関連する設計・技術データ間の参照／連携関係を、 製品設計データを中核として、且つ、 各データの各版を時系列に沿った履歴追跡を可能とする。 (製品設計-解析、 製品設計-工程設計-NC Pgm／検査指示 Pgm)
			製造記録データの追跡管理 (トレーサビリティ管理-3)	製造記録(品質記録)として、①工程設計データを出発点として、 下記のデータを追跡可能とする。 ②NC Pgm／検査指示 Pgm、 ③個別製品の加工記録、検査記録。

4. 3. 3 ロードマップ（設計管理技術）

ものづくり技術ロードマップ（設計管理技術）

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年	狙い／期待効果								サ ス テ ナ ブ ル 技 術																											
																														①	②	③	④	⑤	⑥		⑦	⑧																									
																														○	◎	◎	◎																														
要件／仕様の設定	新製品の要件／仕様の設定 (コンフィギュレーション管理-1)																																																														
	新製品の機能展開・ 構成品展開と変更履歴管理																																																														
	要件項目、仕様項目の 変更履歴管理																																																														
実現可能性の確認・検証	新製品の実現可能性の 評価及び新規開発項目の 試験・検証の管理																																																														
	新製品の實現可能性 の評価																																																														
	新規開発項目に関する 試験・検証計画の設定																																																														
スケジュール管理	新製品開発の スケジュール管理																																																														
	WBS項目とその依存関係 の定義																																																														
	WBS項目の所要期間／ 進捗状況の入力																																																														
構成品管理(形態管理)	開発・試験段階の構成品 管理(形態管理-1)																																																														
	販売・製造段階の構成品 管理(形態管理-2) ◎																																																														
	運用／保守段階、廃棄段階 の構成品管理(形態管理-3) ◎																																																														
設計・技術データ管理	設計・技術データの 発行管理																																																														
	設計・技術データの 参照／連携管理 ◎																																																														

4. 4 設計・技術活動支援技術

4. 4. 1 設計・技術活動支援技術の概要

近年、B-Rep Model を用いた 3 次元 CAD ツールの使用が広がるとともに、設計者自身が CAD を使わず、専任の CAD オペレータに CAD の操作を任せる、という傾向が一般的となっている、といわれている。これに関連して、現在の CAD が Computer Aided Design といいつながら、設計作業の効率化を支援し、このため設計者自身が活用するという水準での設計支援ツールにはなっていない、という批判が根強い。

ここでは、新製品の設計・開発で製品設計者が実施する設計・技術活動において、設計作業の効率化を支援し、かつ設計品質の確保を支援でき、これにより製品設計者が自ら活用するツールとなりうる“次世代 CAD システム”の構築を目標として掲げるときに、今後の開発課題となる技術を下記のように分類した。

- (1) 製品モデリング技術
- (2) “部位機能”データモデルと“機能実現設計”アプローチ
- (3) 設計内容の多角的評価支援
- (4) 設計／解析データのデータ品質検証

又、CAD/CAM 統合に関しては、形状データの CAD/CAM 連結と NC 準備のコンピュータ利用が行われているが、生産技術活動の中核である工程設計はデジタル化されていない。この工程設計デジタル化の「間隙」が、“設計・生産技術連携の完全デジタル化”の実現を妨げる巨大な「障害」となっている。

ここでは、上記 (1)～(4) の実現により設計品質が確保され、かつ設計データ品質が検証された製品設計データを受けて、生産技術活動の完全デジタル化の実現を目標として掲げるときに、今後の開発課題となる技術を下記の標題のもとで検討した。

- (5) 工程設計の完全デジタル化

製品形状の CAD データと、加工単位ごとに加工方法を指定する NC プログラムとを受けとり、CNC がツールパスを展開する、という次世代 CNC 装置の制御仕様が ISO 14649 シリーズ規格として開発された。又、製品形状の検査用の NC 制御による座標測定器の仕様規格の開発も進められている。

ここでは、これらの活用に必要な技術を下記の標題のもとで検討した。

- (6) 次世代仕様の CNC 装置、検査装置の活用

(1) 製品モデリング技術

(1-1) 形状モデルの簡易操作機能

構想設計／機能設計において、概略形状／基本形状の設計・検討で活用できる CAD に求められる簡易操作機能。

(2) “部位機能” データモデルと “機能実現設計” アプローチ

現在の CAD システムは、部品上の各部位が担っている役割／機能を表現できず、従ってこれを製品設計から生産技術に継承できない、という批判がある。

この限界を打破するために、“部位機能” を表現するデータモデルを ISO 規格として規定し、又、“部位” に関する用語を製品分野別に辞書規格として規定し、各社が自社の用語辞書を整備する。これらを活用することにより、“部位機能／部位仕様” を CAD データ上に表現し、“部位機能／部位仕様” を活用して“機能を実現する” という意味での“機能実現設計” を展開するというアプローチが実現可能となる。

ここでは“部位機能” データモデルと“機能実現設計” アプローチを実現するための開発課題となる機能／技術を下記のように列挙した。

(2-1) データモデル

① 部位機能・部位仕様データモデル【A】

要素・部品上の部位に対して割り付けられた機能・仕様を表現するデータモデル。

製品定義データのうち、技術データの最上位として位置付ける。

② “設計属性（設計記録）” のデータモデル

設計記録としての“設計属性”として、形状決定における拘束条件を表現する拘束条件データモデル【B】、及び、設計決定事項の根拠を記録する設計根拠データモデル【C】。

これらは、上記の部位機能・部位仕様【A】と形状モデルとの中間に位置づける。

(2-2) ナレッジ技術

③ 要素・部品、部位に関する標準辞書

要素・部品、部品上の部位に関する用語の製品群別の国際標準辞書【 α 】と各社の標準辞書【 β 】。

④ 部位機能・部位仕様に関連する各社技術標準のデータ登録・変更機能

部位への“部位機能・部位仕様の割付”に関する各社技術標準【 γ 】、部位機能・部位仕様に対応する“部位形状の設定”に関する各社技術標準【 δ 】、部位機能・部位仕様に対応する“品質仕様の割付”に関する各社技術標準【 ε 】、等の（知識）データベースとそのデータ登録・変更機能

(2-3) モデリング技術

⑤ 部位機能・部位仕様に関連する製品データの定義機能

要素・部品上の各部位に対して、その部位が果たすべき機能と、仕様を割り付ける各部位への“部位機能・部位仕様の割付”機能【①】、部位機能・部位仕様に相応する部位形状を設定する“部位形状の設定”機能【②】、部位機能・部位仕様に相応する品質仕様を割り付ける“品質仕様の割付”機能【③】。

⑥ “設計属性データ”の定義／記録機能

形状決定における拘束条件を（自動）記録する“拘束条件の記録”、及び、設計決定事項に関する決定根拠を記録する“設計決定根拠の記録”。

⑦ 部位機能を活用した組立設計

部位機能を参照して、各要素・部品の形状を、製品全体座標系上に配置する“組立設計”。

(3) 設計内容の多角的評価支援

“部位機能／部位仕様”を活用することにより、“安全性・組み立て性・分解性”、“製造性”等の多角的評価が可能となる。

(3-1) ナレッジ技術

① 設計内容の多角的評価に関する各社技術標準のデータ登録・変更機能

“安全性・組み立て性・分解性の評価”に関する各社技術基準【 κ 】、及び、要素・部品の“製造性の評価”に関する各社技術基準【 λ 】の（知識）データベースとそのデータ登録・変更機能。

(3-2) 設計・解析技術

② 安全性・組み立て性・分解性の検討機能

構想設計／機能設計段階での要素・部品の概略形状／基本形状とその概略配置の立案・検討において、又、詳細設計段階での要素・部品の詳細形状・品質仕様の立案・検討において、“安全性・組み立て性・分解性”を検討する。

③ 製造性の検討機能

構想設計／機能設計段階において重要要素・重要部品の概略形状／基本形状、品質仕様をもとに、“重要要素・重要部品の製造性”を検討する。又、詳細設計段階における要素・部品の詳細形状・品質仕様の立案・検討において、要素・各部位の詳細形状、品質仕様をもとに、“要素・部品の製造性”を検討する。

(4) 設計／解析データのデータ品質検証

CAD 技術の開発当初以来、形状モデルの数学表現、又は数学（理論）に関する研究が積み重ねられ、ISO 10303 (STEP) Part 42 : Shape Representation がその集大成となっている。一方、“有限桁数の数値表現”というデジタルコンピュータの原理により、形状データ処理において“演算誤差”の発生は避けられない。

形状モデルの数学理論に反するソフトウェアの error に起因する誤りデータ、“有限桁数の数値表現”に起因する誤りデータ等に関するデータ品質評価が ISO 10303 (STEP) Part 59 PDQ-S として規格化されている。

これを活用して、形状データに関する設計データ品質の確保に必要な技術課題を下記のように整理した。

(4-1) データモデル

① 製品形状データのデータ品質評価モデル

製品定義データの内、“製品形状データのデータ品質” (ISO 10303-59)、及び、“形状データと品質仕様データの整合性を評価する”為のデータ品質評価モデル (ISO 10303-59 将来 Version) の開発・活用。

② 解析データの品質評価モデル

有限要素モデルの中の“要素形状データのデータ品質評価”モデル (ISO 10303-59 将来 Version) の開発・活用。

(4-2) データ品質検証

③ 製品形状データのデータ品質検証

機能設計段階での各種技術検討用（評価基準：各種技術検討に必要な定義精度か？）、又は製造指示データとしての設計データの発行に先立って、製品形状データのデータ品質を検証する。評価基準：製造指示データとして必要な定義精度か？ (ISO 10303-59 の活用)。

④ 有限要素の要素形状データのデータ品質検証

有限要素解析に当たって、有限要素モデルの要素形状データのデータ品質を検証する (ISO 10303-59 将来 Version の活用)。

⑤ 製造指示データとしての設計データのデータ品質検証

製造指示データとしての設計データの発行に先立って、(詳細) 設計データの品質を検証する。評価基準：製品形状データと品質仕様データの整合性が確保されているか？ (ISO 10303-59 将来 Version の活用)

(5) 工程設計の完全デジタル化

上記 (1) ~ (4) の実現により設計品質が確保され、かつ設計データ品質が検証された製

品設計データを受けて、生産技術活動の完全デジタル化の実現するための今後の開発課題となる技術を下記のように整理した。

(5-1) ナレッジ技術

① 工程設計用各社技術標準のデータ登録・変更機能

“部位機能・部位仕様に対応する加工形状特徴と加工条件の対応付け”に関する各社技術標準【η】のデータ登録・変更機能。

(5-2) モデリング技術

② 工程設計のためのデータ準備

“部位機能・部位仕様に対応する加工形状特徴と加工条件の対応付け”機能【④】

③ 工程設計作業の完全デジタル化

加工／組立の工程順序を設定する工順設定、各工程での加工／組み立ての詳細条件を決定する詳細工程設計、及び、検査工程の詳細条件を設定する検査の詳細工程設計の完全デジタル化。

(6) 次世代仕様の CNC 装置、検査装置の活用

ISO 14649 シリーズ規格は、従来の、ツールパスを規定する NC プログラムによることにより必要であった NC 装置固有のポストプロセッサの開発・検証を不要とするものであり、今後 CNC メーカーより順次提供されることとなろう。

ここでは、次世代仕様の CNC 装置、検査装置を活用するための制御プログラム準備について、下記を取り上げた。

① 次世代仕様 CNC 装置用 NC Pgm 準備、

② 次世代仕様検査装置用制御 Pgm 準備。

4. 4. 2 技術マップ（設計・技術活動支援技術）

ものづくり技術マップ（設計・技術活動支援技術）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
設計・技術活動支援機能	製品モデリング技術	概略形状／基本形状設定の簡易操作機能◎	概略形状／基本形状設定の簡易操作機能	構想設計／機能設計における概略形状／基本形状の簡易設定機能
		“部位機能”データモデルと“機能実現設計”アプローチ	部位機能・部位仕様データモデル◎	部位機能・部位仕様データモデル【A】
	“設計属性(設計記録)”のデータモデル		拘束条件データモデル【B】	“設計属性(設計記録)”として、形状決定における拘束条件を表現するデータモデル。 (上記の部位機能・部位仕様【A】と形状モデルとの中間の位置) ⇒ISO 10303 4x Resource Model ⇒ISO 10303-203, 214 将来 Version
			設計根拠データモデル【C】	“設計記録(設計記録)”として、設計決定事項の根拠を記録するためのデータモデル。 (上記の形状拘束条件データモデル【B】と同位の位置) ⇒ISO 10303 4x Resource Model ⇒ISO 10303-203, 214 将来 Version
			要素・部品、部位に関する標準辞書◎	要素・部品、部位に関する製品群別国際標準辞書【α】
	部位機能・部位仕様に関連する各社技術標準のデータ登録・変更機能		要素・部品、部位に関する各社標準辞書【β】	要素・部品、部位に関する(用語の)各社標準辞書。 <製品群別国際標準辞書【α】を各社向けにカスタマイズ> <ISO 13584-42 PLIB標準辞書記述規格を活用>
			部位への部位機能・部位仕様の割付に関する各社技術標準【γ】のデータ登録・変更機能	部位への部位機能・部位仕様の割付に関する各社技術標準【γ】の(知識)データベースとそのデータ登録・変更機能 <要素・部品、部位の用語に関する各社標準辞書【β】を活用>
			部位機能・部位仕様に対応する部位形状の設定に関する各社技術標準【δ】のデータ登録・変更機能	部位機能・部位仕様に対応する部位形状の設定に関する各社技術標準【δ】の(知識)データベースとそのデータ登録・変更機能 <要素・部品、部位の用語に関する各社標準辞書【β】を活用>
	部位機能・部位仕様に関連する製品データの定義機能◎		部位機能・部位仕様に対応する品質仕様の割付に関する各社技術標準【ε】のデータ登録・変更機能	部位機能・部位仕様に対応する品質仕様の割付に関する各社技術標準【ε】の(知識)データベースとそのデータ登録・変更機能 <要素・部品、部位の用語に関する各社標準辞書【β】を活用>
			各部位への部位機能・部位仕様の割付機能【①】	要素・部品上の各部位に対して、その部位が果たすべき機能と、仕様を割り付ける。 <部位機能・部位仕様データモデル【A】にて表現> ⇒ISO 10303 4x Resource Model ⇒ISO 10303-203, 214 将来 Version <要素・部品、部位の用語に関する各社標準辞書【β】と、部位機能・部位仕様の割付に関する各社技術標準【γ】を活用>
			部位機能・部位仕様に対応する部位形状の設定機能【②】	部位機能・部位仕様に対応する部位形状を設定する。 <部位機能・部位仕様に対応する部位形状の設定に関する各社技術標準【δ】を活用>
	“設計属性データ”の定義／記録機能		部位機能・部位仕様に対応する品質仕様の割付機能【③】	部位機能・部位仕様に対応する品質仕様を割り付ける。 <部位機能・部位仕様に対応する品質仕様割付に関する各社技術標準【ε】を活用>
			形状決定における拘束条件の記録	形状決定における拘束条件を(自動)記録する。 <形状拘束条件データモデル【B】にて表現> ⇒ISO 10303 4x Resource Model ⇒ISO 10303-203, 214 将来 Version
	設計内容の多角的評価支援		設計決定事項の決定根拠の記録	設計決定事項に関する決定根拠を記録する。 <設計根拠データモデル【C】にて表現> ⇒ISO 10303 4x Resource Model ⇒ISO 10303-203, 214 将来 Version
		部位機能を活用した組立設計	要素・部品の製品全体座標系への配置	部位機能を参照して、各要素・部品の形状を、製品全体座標系上に配置する。
	設計内容の多角的評価支援	設計内容の多角的評価に関する各社技術標準のデータ登録・変更機能	安全性・組み立て性・分解性の評価に関する各社技術基準【κ】のデータ登録・変更機能 <要素・部品、部位に関する各社標準辞書【β】を活用>	
		要素・部品の製造性の評価に関する各社技術基準【λ】のデータ登録・変更機能	要素・部品の製造性の評価に関する各社技術基準【λ】の(知識)データベースとそのデータ登録・変更機能 <要素・部品、部位に関する各社標準辞書【β】を活用>	

ものづくり技術マップ (設計・技術活動支援技術)

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
設計・技術活動支援機能(続き)	設計内容の多角的評価支援(続き)	安全性・組み立て性・分解性の検討機能	構想設計／機能設計段階における安全性・組み立て性・分解性の検討	要素・部品の概略形状／基本形状とその概略配置の立案・検討において、安全性・組み立て性・分解性を検討する。 ＜安全性・組み立て性・分解性の評価基準【κ】を活用＞
			詳細設計段階における安全性・組み立て性・分解性の検討	要素・部品の詳細形状・品質仕様の立案・検討において、安全性・組み立て性・分解性を検討する。 ＜安全性・組み立て性・分解性の評価基準【κ】を活用＞
		製造性の検討機能	構想設計／機能設計段階における重要要素・重要部品の製造性の検討	重要要素・重要部品の概略形状／基本形状、品質仕様をもとに、重要要素・重要部品の製造性を検討する。 ＜要素・部品の製造性の評価基準【λ】を活用＞
			詳細設計段階における要素・部品の製造性の検討	要素・各部位の詳細形状、品質仕様をもとに、要素・部品の製造性を検討する。 ＜要素・部品の製造性の評価基準【λ】を活用＞
	設計／解析データのデータ品質検証	製品形状データのデータ品質評価モデル	製品形状データのデータ品質評価モデル	製品定義データの内、形状データのデータ品質評価モデル ＜ISO 10303-59 PDQ-S＞ ⇒PDQ-S Application Modules
			形状データと品質仕様データの整合性評価モデル	製品定義データの内、形状データと品質仕様データの整合性を評価する為のデータ品質評価モデル ⇒ISO 10303-59 PDQ-S 将来 Version ⇒PDQ-S Application Modules
		解析データの品質評価モデル	有限要素解析における要素形状データ品質評価モデル	有限要素モデルの中の要素形状データのデータ品質評価モデル ⇒ISO 10303-59 PDQ-S 将来 Version ⇒PDQ-S Application Module
		製品形状データのデータ品質検証	機能設計段階での各種技術検討用 又は、製造指示データとしての製品形状データのデータ品質の検証	機能設計段階での各種技術検討用 (評価基準:各種技術検討に必要な定義精度か?), 又は製造指示データ (評価基準:製造指示データとして必要な定義精度か?) としての設計データの発行に先立って、 製品形状データのデータ品質を検証 ＜ISO 10303-59 PDQ-S を活用＞ ⇒PDQ-S Application Module
		有限要素の要素形状データのデータ品質検証	有限要素解析モデルデータの内、要素形状データの品質評価モデル	有限要素解析に当たって、有限要素モデルの要素形状データのデータ品質を検証する。 (評価基準:要素形状が有限要素解析に適合しているか?) ＜ISO 10303-59 PDQ-S + 将来 Version を活用＞ ⇒PDQ-S Application Module
		製造指示データとしての設計データのデータ品質検証	製品形状データと品質仕様データの整合性評価	製造指示データとしての設計データの発行に先立って、 (詳細)設計データの品質を検証する。 (評価基準:製品形状データと品質仕様データの整合性が確保されているか?) ＜ISO 10303-59 PDQ-S + 将来 Version を活用＞ ⇒PDQ-S Application Module
	工程設計の完全デジタル化	工程設計用各社技術標準のデータ登録・変更機能	部位機能・部位仕様に対応する加工形状特徴と加工条件の対応付けに関する各社技術標準【η】のデータ登録・変更機能	部位機能・部位仕様に対応する加工形状特徴と加工条件の対応付けに関する各社技術標準【η】のデータベースとそのデータ登録・変更機能 ＜要素・部品、部位の用語に関する各社標準辞書【β】を活用＞
		工程設計のためのデータ準備◎	部位機能・部位仕様に対応する加工形状特徴と加工条件の対応付け機能【④】	部位機能・部位仕様に対応する加工形状特徴と加工条件を対応付ける。 ＜部位機能・部位仕様に対応する加工形状特徴と加工条件の対応付けに関する各社技術標準【η】を活用＞ ＜ISO 10303-224 将来 Version を活用＞
		工順設定の完全デジタル化	加工／組立の工程順序の設定	加工／組立の工程順序を設定する。 ＜ISO 10303-240 を活用＞
		詳細工程設計の完全デジタル化	各工程での加工／組み立ての詳細条件の設定	各工程での加工／組み立ての詳細条件を決定する。 ＜ISO 10303-240/238 を活用＞
		検査の詳細工程設計の完全デジタル化	検査工程の詳細条件の設定	検査工程の詳細条件を設定する。 ＜ISO10303-240 将来Version 又は 10303-238 将来Versionを活用＞
	次世代仕様CNC装置、検査装置の活用	次世代仕様CNC装置用NC Pgm 準備	次世代仕様 CNC 装置用の NC Pgm 準備	次世代仕様 CNC 装置用 NC Pgm を準備する。 ＜ISO14649 又は ISO 10303-238 を活用＞
		次世代仕様検査装置用制御 Pgm 準備	次世代仕様検査装置用の制御 Pgm 準備	次世代仕様検査装置用検査制御 Pgm を準備する。 ＜ISO14649 将来Version 又は 10303-238 将来Versionを活用＞

4. 5 3次元モデリング技術

4. 5. 1 3次元モデリング技術の概要

3次元モデリング技術

機械や電機製品の設計では様々なモデルが利用されるが、その中で最も大きな役割を果たしているのが、製品や部品の立体形状を表現する3次元モデリング技術である。機械製品のノミナルな形状を表現し、それを解析や加工のためのレファレンスとして提供するという意味での3次元モデリング技術は、(思い通りの形状が作り出せない、という根強い批判はあるものの) ほぼ完成の域に達したと考えてよい。今後は、設計をより効率的に進めるための機能の向上が、技術開発の中心になると予想される。ここではそれを、モデル入出力技術、形状モデル表現、モデルの生成と修正、属性の表現と評価、モデルの管理、モデルの検索、モデルの統合の7つの観点から議論する。

①モデル入出力技術

立体形状を、2次元的なディスプレイとその上を移動するポインティングデバイスを用いて入力することは、設計者にとって大きな負担である。現在は使用者の訓練と慣れで困難を乗り越えているが、設計作業の一層の効率化を考えると、より効果的なモデル入力技術の実現は重要な課題である。一つの候補としては、3次元マウスとも呼ばれるハプティックな入力装置の利用が考えられる。意匠デザインの分野ではハプティックな入力装置が活用され効果をあげているが、幾何的な制約の緩い意匠デザインと、寸法などの制約の多い機械設計では入力手順に違いが多く、デバイスの単純な置き換えだけでは効果はあがらない。設計支援を指向したハプティックな入力ソフトウェアの開発が望まれる。ハプティックな入力装置には、ロボットと共通するハードウェアやソフトウェアが多い。世界で最も進んでいると言われるわが国ロボット技術が、この分野でも発揮されることが期待されている。意匠デザインの分野では、スケッチが今でも大きな役割を果たしている。機械設計の分野でも、2次元の図面による形状定義は、その簡便さもあって設計の初期段階で広く使われている。図面から3次元形状を構成していく技術についても、今後さらに機能を高めていく必要がある。非常に高価であった3次元プリンタも、最近では低価格化が進み、製造業で実用できるものでも500万円程度で導入が可能になってきた。形状確認として利用はもちろん、製品に近い機能を持つプロトタイプの製造法としても普及が加速すると予想される。現在主流の積層造形法では、速度、精度、メンテナンス性に問題が多い。これらの問題を解決した革新的な3次元出力技術の開発も強く期待されている。

②形状モデルの表現

ベジェや NURBS などのパラメトリックな曲面の一部を切り取り（トリムし）、それらを貼り合わせることで閉じた立体を表現する境界表現法（B-reps）が、現時点では3次元形状モデリングの最も普及した手法となっている。境界表現法は、計算の安定性などに問題が指摘されているが、完成したモデルをそのまま表示や加工のために利用できるなど利点が多く、今後もこの技術が主流であり続けるだろう。コンピュータの高性能化、特に計算機メモリーの大容量化にともない、立体形状を細かな点群やポリゴン（三角形）、そして精密な格子構造（デクセルやボクセル）として離散的に扱う手法も注目されるようになってきた。離散的な形状モデリングは、集合演算やミンコウスキ変換（いわゆるオフセット）などの複雑な幾何計算を安定的に実現できるため、これらの計算が多用される切削加工の自動化ではかなり普及している。また格子構造は、有限要素法などの解析処理と相性がよい。計算精度を上げるためには、ポリゴンなどの形状要素の微細化や格子構造の高解像度化が必要となるが、それは結果として計算量の増加を招く。この問題点については、性能向上が著しい GPU を用いて計算の一部をハードウェア処理する研究などにより解決の兆しが見え始めている。以上の理由から、離散的な形状モデリングの利用は、今後ますます増えるものと予想される。機械製品では、部品表面の仕上げ粗さやテクスチャがその性能に大きな影響を与える。立体表面のこのような性状をどう表現し、それを機械の機能解析にどのように反映させるかは、今後の重要な研究課題だろう。機械設計では、部品形状の誤差や曖昧さを、寸法公差や幾何公差で管理する。この公差を形状モデリングにどのように取り込むかは1970年代から続く研究課題だが、現在でも一般的な手法は開発されていない。設計では、製品や部品の概略形状から検討が始まり、時間経過とともに細部が詰められ形状が詳細化していく。この設計プロセスに沿った形状表現、すなわち概略形状から完成形状まで連続して扱えるモデリング手法も、古くからの研究テーマである。非多様体の利用など様々な手法が検討されてきたが、現在でも答は見つかっていない。

③モデルの生成と修正

立体モデルの生成や修正は、集合演算やミンコウスキ変換などの大域的な変形法と、形状の部分を選択的に修正する様々な局所的な変形法の二つを組み合わせで行うことが一般的であった。しかし立体形状に機械特有の様々な属性（例えば寸法やフィーチャ、組み立て情報）を付加することが一般的になる中で、属性情報に基づいて形状生成や修正を行うこと、例えば寸法値を指定して大きさを変える、フィーチャを指定することで変形させる、組み立て情報に基づいて部品を配置する、などが普及しつつある。CAD ベンダーは、この

属性に基づくモデリング機能の拡充に努めているが、独自技術での実装が多いため、どのようなメカニズムで処理されているのかは不明な点が多い。属性情報に基づく形状モデリングについては、大学などの研究機関も色々な研究を行っているが、現状では CAD ベンダーと大学などの技術交流は皆無に近く、研究成果を CAD ソフトウェアに反映させることが困難な状況になっている。3次元形状の測定技術の進歩により、実物の形状を高速・高精度に測定し、その表面を覆う点群を得る技術が普及し始めている。得られた点群から立体モデルを得るリバースエンジニアリングも研究開発が進められ、特に意匠設計の分野で実用できるレベルになりつつある。機械製品には、電装品のケーブルやワイヤ、ゴムパンプなどの柔軟な部品も数多く組み込まれている。このような柔軟形状を扱う手法は、コンピュータグラフィックスの分野で盛んに研究されている。その多くは有限要素法などに基づく解析的な手法を用いており、それらの成果が今後 CAD の分野に波及してくることが期待されている。

④属性表現と評価

機械製品の CAD モデルには、形状情報に加えて、寸法や組み立てなど属性情報が与えられている。これらの属性情報は、機械部品の形状要素間の制約として定義されていることが多い。形状モデリングでの寸法や組み立て制約の扱いについては、1980年代に盛んに研究され、現在の CAD システムでは、フィーチャという概念の中に取り込まれつつある。各 CAD ベンダーがフィーチャの処理機能を競い合っている現在の状況は、今後も続くものと予想される。形状モデルから設計や製造において意味を持つ特徴的な形状を抽出する、いわゆるフィーチャ抽出技術も古くから研究されている分野である。対象製品や設計、製造プロセスによって「特徴的な形状」の意味は大きく異なるため、汎用的な抽出技術の実現は困難と思われる。むしろ様々な抽出技術を用意しておき、必要に応じてそれらを使い分けていくことが有用だろう。フィーチャ抽出では、入力として **B-reps** の立体モデルを想定することが多かったが、離散的な形状モデリング技術の普及とともに、点群やデクセル、ボクセル、ポリゴン群からフィーチャを抽出ことも要求されるようになってきた。離散的なモデルには「位相」という概念が希薄なので、これまでフィーチャ抽出で多用されてきた位相のグラフ構造に基づく手法が使えない。一方で、デクセルやボクセル表現とデジタル画像の類似性に着目して、画像処理技術をフィーチャ抽出に利用しようという動きもある。機械設計の自動化のためには、寸法などの幾何学的な属性だけでなく、機械の機能に絡むより多様な属性が扱える必要がある。思いつくままにあげれば、機械に組み込まれる電装品に関する電氣的・電子的な属性、構想設計段階で課せられた機能的・経

経済的・デザインの属性、機械の動作に伴う時間的・空間的属性、力学的な属性、熱的な属性などの取り扱いが考えられる。これらの属性の多くは、現状では解析やシミュレーション分野での処理対象になっているが、将来的には、これらの属性を扱う機能がモデリングシステムに取り込まれ、設計作業の一環としてこれらの属性を評価し、モデルの形状定義などに反映させることが容易にできるようになるだろう。

⑤モデルの管理

設計は本質的に試行錯誤を伴う作業であり、一度実行したモデリング操作の取り消しや、形状変更・修正が何度も繰り返される。パラメータを変えては性能解析を行い、最適な形状を見つけ出す作業もよく行われるが、その過程で微妙に形状が異なるモデルがいくつも作り出されることになる。このような作業をスムーズに進めるために、モデリングシステムには、設計中に作り出された多数のモデルや、モデリング作業とその結果として得られるモデルの関係を適切に管理する機能が求められる。現在出回っているシステムの多くは、モデリング作業の履歴（ヒストリ）に基づくモデル管理を行っており、モデリング作業に失敗した場合に、モデルを作業前の状態に戻すことや、モデリングの際のパラメータを変更して、一部の形状の異なったモデルを多数作り出すパラメトリックモデリング機能などを実現している。今後はヒストリだけでなく、モデリング作業間の依存関係や、設計初期に作られるラフなモデルと設計最終段階で用いられる精密なモデルの関係、さらに形状以外の属性情報間の依存関係に基づく管理の実現が重要となるだろう。

⑥モデルの検索

製造の現場では、過去に作成した膨大な CAD モデルの中から、必要なモデルを探し出す作業に時間を費やすことが問題となっている。現状では、立体モデルに名称や日付、そして様々な属性データを付随させ、これらをキーワードとして用いてモデルを分類し検索することが一般的だが、近年、立体モデルや CAD モデル間の類似性に基づいて、ある参照モデルを与えると、それと類似したモデルを自動検索する技術が開発され始めている。これらの手法は、対象としているモデル表現に制限があること、モデル間の類似性の定義が意匠形状を意識したものになっており、機械製品の検索には適当とはいえないものが多いことなど問題も多い。機械製品の類似性検索では、フィーチャの自動認識により同タイプのフィーチャ間で評価する手法があるが、多種多様な設計者の要求する類似性の定義に対応できないことが多く、まだ実用的なレベルに達していない。今後さらに発展する研究分野と思われる。

⑦モデルの統合

3次元モデリングに関して最も解決が急がれる課題は、異なるシステム間のデータの交換である。立体モデルのデータ構造は複雑な上にシステム間で微妙に異なっており、これに図形処理では不可避な計算誤差の影響が加わるため、完全なデータ交換技術は未だに実現されていない。データ交換で問題が発生するのは、立体モデルのデータの品質が低い場合であり、その多くは望ましくないモデリング操作を無理に実行した結果と言われている。そこで質の高いデータがコンスタントに得られようモデリング操作を制限することで、データ交換の成功率を高める PDQ の考え方が自動車業界を中心に普及し始めている。一方「モデルデータ」を交換するのではなく、立体モデルを作成する操作の履歴を交換する、という考え方も一部で始まっている。モデルデータレベルでの交換とは違い、モデリング操作レベルでのデータ交換では、操作の目的や操作対象であるフィーチャの情報などもデータ交換で利用できるため、処理の安定性が高まると期待されている。将来的には、このような操作の標準化と操作系列の交換という方法で、データ交換だけでなく、立体モデリングシステムそのものの統合化が実現される可能性もある。前述のように、立体モデルの表現手法として、点群やポリゴン、デクセルやボクセルなどの離散的な手法の利用が拡大しつつある。これらの普及にともない、従来の B-reps モデル間のデータ交換に加えて、離散的な形状モデル間や、離散的な形状モデルと B-reps モデル間のデータ交換の重要性も高まってきている。

4. 5. 2 技術マップ（3次元モデリング技術）

ものづくり技術マップ（3次元モデリング技術）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
モデリング	モデル入出力技術	3次元入力	3次元マウス	
			ハプティックな入力デバイス	
			3次元スキャナ	
		2次元入力の高度化	2次元モデルから3次元モデルへの変換	
			スケッチ入力	
			三面図・断面図入力	
			写真入力	
		3次元出力	3次元プリンタ	
			3次元ディスプレイ	
	形状モデル表現	立体表現	境界表現	パラメトリックなパッチに基づく表現. ほぼ完成か
			ボリューム表現	CSGなどはほぼ完成
		離散表現	点群	境界の離散的な表現
			ポリゴン	境界の離散的な表現, 細分割曲面を含む
			デクセル・ボクセル	ボリュームの離散的な表現
		曖昧な形状の表現	表面粗さやテクスチャ, 公差	
			確率的モデル	
			空間的・時間的曖昧さ	
			粒度の異なるモデルの混在	スケルトンと詳細なモデルの混在など
	形状モデル生成・修正	属性の付加と抽出	寸法や公差	
			フィーチャ	
			組み立て	
		属性に基づく形状決定	形状生成	
			自動配置	
		形状と属性の整合性維持	形状や属性間の制約の充足	
			制約の整合性の検証	
			制約間の矛盾の解消	
		リバースモデリング	点群からの立体生成	
多様な形状変形		離散表現モデルの変形		
	局所的な変形の制御	局所的な変形が大域的な矛盾を引き起こさないことの保証が必要		
	大域的な変形の制御	集合演算, ミンコフスキ変換, 制約充足など		
	リパッチ	トリム曲面からトリムなしの曲面へ		
柔軟立体の処理	ケーブル, 樹脂, 皮革, 生体の扱い	解析・シミュレーション技術の取り込み		
	液体・流体の扱い	解析・シミュレーション技術の取り込み		
属性表現と評価	製品情報処理	寸法・公差	「属性の付加と抽出」と重複	
		フィーチャ	「属性の付加と抽出」と重複	
		機能・品質		
		ナレッジ		
	属性間の制約処理	電氣的・電子的制約	シミュレーション技術の取り込みがかなり進行	
		機能的・デザインの・経済的制約		
		時間的・空間的制約	時間的制約には長期的な劣化や経年変化を含む	
		力学的・熱的制約	機能に直結するものだけでなく, 耐久性的な制約もある	

モデリング	モデル管理	時間的な管理	ヒストリー・履歴	モデリングプロセスから形状を管理。履歴には全体形状と設変箇所の管理を含む
		形状的・空間的な管理	空間的なデータ検索	形状から対応するモデリングプロセスを検索し管理することも想定
		依存性の管理	整合性管理	制約に基づく形状決定の依存関係や、設計→実験・解析→設計変更のトレーサビリティなど
		詳細化の管理		モデリングプロセス間の制約の管理か？
	モデルの検索	類似性評価	インデックス管理	
			形状の類似性検索	
	フィーチャの類似性検索			
	製品情報の類似性検索			
		部品表, リポジトリ		
	モデルの統合	誤差管理	公差(エプシロン)管理	
		データ交換	STEP, IGES, DXF, JT	
			境界表現とボリューム表現モデルの交換	
			連続体表現と離散表現モデルの交換	
			CAD用とCAE用モデルの交換	連続体と離散表現の交換に含まれる？
		共通API		データ交換からモデリングプロセスの交換へ
モデリングマナー	PDQ			
システム環境	OS		64ビット化	
	CPU, メモリー			
	GPU		ベクトルプロセッサ	

4. 5. 3 ロードマップ（3次元モデリング技術）

ものづくり技術ロードマップ（3次元モデリング技術）

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年	重点化の評価								サステナブル技術						
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧																									
モデル入出力技術	3次元入力																																									
形状モデル表現	2次元入力の高度化																																									
	3次元出力																																									
	立体表現																																									
	離散表現																																									
	曖昧な形状の表現																																									
	形状モデル生成・修正	属性の付加と抽出																																								
属性に基づく形状決定																																										
形状と属性の整合性維持																																										
リバースモデリング																																										
多様な形状変形																																										
柔軟立体の処理																																										

4. 6 ナレッジ管理・運用技術

4. 6. 1 ナレッジ管理・運用技術の概要

ナレッジ管理・運用技術

設計分野での重要な技術要素として、CAD/CAM/CAE システムにおけるナレッジ機能が挙げられる。ここで言う「ナレッジ（知識）」とは、形状間の関係と設計手順における基準や制約のことである。例えば形状間の関係は、部品 A と部品 B の間のクリアランスは○mm という明確な制約（形式知）や、部品 A と部品 B の間には十分なクリアランスが必要という曖昧な制約（暗黙知）などである。熟練設計者の持つ知識は多くの場合個人に限定されており共有化されていないため、設計者間での設計品質のばらつきや設計時間の差が出ている。また、設計者個人の持つ知識は、退職などにより失われる可能性もある。このため、知識を CAD/CAM/CAE システムに組み込む試みが進んでいるが、まだ限定されたものに留まっている。今後も日本が製造業で世界をリードするためには、日本の優れた設計者の持つ知識を抽出し、これを CAD/CAM/CAE システムに組み込むことにより、一層の設計品質向上や設計コスト削減が必要である。このための重要な要素としては、①知識の抽出と収集、②知識を利用した形状作成、③知識を利用した設計プロセスがある。

①知識の抽出と収集

知識には、設計標準や設計基準と言った明文化されているもの、設計者個人が保有する明文化されていないもの、設計レビューなど設計作業時に発見された不具合情報や製造などの後工程で発見された不具合情報など多岐に渡る。これらが、別々に収集・管理されては有効活用できない。また、これらは CAD/CAM/CAE システムとは別にシステム化されるべきである。既に、電子文書化されたデータは、イントラネットを利用したポータルサイトなどで共有化されているが、システム化されているとは言えないし、CAD/CAM/CAE システムとも連携していない。今後は、知識の一元管理と CAD/CAM/CAE システムとの密連携が重要である。

また、過去データの流用設計などでは、類似したデータの検索が重要である。製品や部品の仕様（非形状データ）で絞り込むことは可能であるが、形状そのものや形状間の関係をキーにして検索できることが重要である。このためには、形状の特徴や関係を抽出する技術が必要であり、特に幾何データから特徴を自動的に抽出し、これらの特徴の類似性を認識する技術は、今後ますます重要性を増すと考える。

短期的には、設計基準や設計標準など、既に明文化されている知識やノウハウ（形式知）の再利用や更新が容易となるようにデータベース化され、誰でも設計作業時に

参照出来るようになる。また、製造などの後工程での不具合情報も同一データベースに組み込まれる。ただ、この時点では CAD/CAM/CAE システムとの連携は、主に設計者に頼ることになると考えられる。

中長期的には、設計者個人の持つノウハウや知識（暗黙知）が、形式化されデータベースに組み込まれる。さらに、CAD/CAM/CAE システムとの連携も可能となり、CAD/CAM/CAE システムからのフィードバックにより知識の蓄積や更新も可能となると考えられる。

②知識を利用した形状作成

設計基準や設計標準で決まっている形状の寸法間の関係や制約を CAD/CAM/CAE システムに組み込むことにより、設計品質の向上や設計期間の短縮を図る仕組みは、既に可能となっているが、システム専任者によるハードコーディングでの組み込みが多く十分効果を発揮しているとは言えない。また、寸法以外の属性情報による形状の拘束や制約は、まだこれからの技術である。形状の寸法間制約や配置の制約は、形状創成や部品配置作業の自動化を進める上で重要な技術である。ただ、ルールを適用するか適用しないかをダイナミックに制御できないと、柔軟性が失われ適用範囲が拡大しない。従って、属性情報の利用とルール適用のダイナミックな制御が、今後の重要な技術である。

短期的には、Excel などのオフィス系 S/W との連携により雛形形状としての利用が進むと考えられる。形状の寸法の自動決定や、形状の自動配置といった自動化の方向と、形状や配置のチェックの両方向で適用範囲を拡大して行くが、適用範囲は一部の工程に留まると考えられる。

中長期的には、外部の知識データベースと密に連携し適用範囲も設計作業全般に拡大すると考えられる。特に、設計上流での適用が拡大し、早期の形状可視化が可能になると思われる。

③知識を利用した設計プロセス

設計作業は形状の寸法や配置を各種の制約条件の下で決めていく作業であり、設計初期には多数ある選択肢を、徐々に狭めていく作業である。また、解は一つではなく正しい選択肢も複数ある場合が多い。選択の基準は品質であったり期間であったりと、求められる要件により異なる。これは、設計者の最も重要な作業の一つであり、システム化が難しい分野である。しかし、限定された製品や部品の設計において、徐々に適用が始まると考えられる。

短期的には、標準化された設計手順が容易に参照できるようになり、設計の一部工

程や特定部品などでの適用が始まると考えられる。

中長期的には、適用範囲の拡大と共に、CAD/CAM/CAE システムとの連携も強化される。システムが設計をナビゲートする機能が組み込まれ、設計途中での選択を支援する機能も組み込まれる。また、手順の自動収集も徐々に始まると思われる。

知識の CAD/CAM/CAE システムへの組み込みは、設計品質向上や設計コスト削減に効果を発揮し日本の競争力強化に寄与すると考えられる一方で、組み込まれた知識は流出の可能性が高まるため、流出防止のためのセキュリティ強化と併せて技術強化を進める必要がある。

4. 7 CAE、性能シミュレーション技術

4. 7. 1 CAE、性能シミュレーション技術の概要

CAE (Computer Aided Engineering) というコンセプトが世の中に出てから既に半世紀が経とうとしている。この間の CAE ソフトウェアとコンピュータハードウェアの進歩には目を見張るものがある。3次元設計の発展と共に CAE 技術も発達し、基本的なソルバ機能はほぼ成熟の域に近づいており、現在はその使いこなしの領域へ技術展開が進んでいる。このような変化を経た CAE 技術に基づく性能シミュレーションは、現在の“ものづくり技術”に於いて、不可欠になっている。特に、日本の製造業をリードしている自動車、電気・電子・精密機械などに代表される各種産業は、開発期間の短縮、コスト削減そして品質向上という世界規模での激しい競争に直面している。このような環境の中で、性能シミュレーションによる製品の設計・開発、Virtual Product Development (VPD) は、開発プロセスに取り込まれており、特に自動車産業では開発の初期段階、つまりコンセプトデザインのフェーズから VPD を適用し、「試作台数の大幅な削減を実現することで開発期間を短縮した上で品質向上を図ることが出来た」と数社が表明している。しかし、このように性能シミュレーション技術を現場に適用するためには、各種シミュレーション技術が確立されていなくてはならない。CAE や VPD という言葉から即座にコンピュータシミュレーションを思い浮かべるであろうが、現場で適用する性能シミュレーション技術を開発するには、実験解析との組み合わせは欠かすことは出来ない。本稿では、性能シミュレーション技術を、有限要素解析技術、統計的エネルギー法解析技術、差分法/有限体積法解析技術、マルチボディ・ダイナミクス解析技術、最適化技術、シミュレーションデータ・マネージメント技術、シミュレーション自動化技術、実験ノウハウ伝承技術の8つ技術から論じる。

①有限要素解析技術

本解析技術を VPD の中で使いこなすためには、様々な技術が必要だが、本稿では、主にモデル化技術とマルチフィジックス解析技術を取り上げる。モデル化技術に関しては、これまで3次元 CAD や CAE ソルバ技術が急速に進歩する中、未だにメッシュ作成を始めとするデータ準備作業が解析作業の効率化に於けるクリティカルパスといわれ続けており、3次元 CAD モデルから有限要素メッシュを簡単かつ迅速に自動作成する技術が、これまでも増して求められるであろう。本技術に関して現存するものは機能が限られているので、今後の研究開発に期待する。但し、いかに迅速にメッシュが作成できても、解析精度や解析速度を犠牲にしてはならない。又、解析で求められた最適形状が3次元 CAD

モデルに自動的に反映される等、有限要素解析モデルと 3 次元 CAD モデルの連関性も不可欠である。同時に、解析で性能が担保されたコンポーネント部品を自動的に結合する技術も、システムモデルを効率よく構築する上で欠くべからざる技術である。次に、マルチフィジックス解析技術であるが、開発現場で取り扱わねばならない複雑な現象を予測する技術として、構造と流れの連成、熱と流体の連成、構造と磁場の連成など枚挙にいとわない。汎用解析ソフトの発展もあるが、それ以上に各種解析ソフトの組み合わせ技術、連成解析技術の開発が必要となるであろう。又、これらとは別に、一つの解析モデルで複数の性能シミュレーションを実施する技術の確立は、大規模モデルの解析技術やソルバの高速化を含めて重要であろう。又、大規模モデルの解析では、出力結果を、高速に表示する技術の更なる向上を図ることで解析シミュレーションを効果的に開発プロセスに取り込むことが出来るであろう。最後に、欧米では設計開発現場に使われている疲労寿命解析技術であるが、国内でも積極的に活用する土壌作りと技術の確立が必要になる。その上で、複雑な破壊メカニズム解析技術開発に結びつけて行くことになるであろう。

②統計的エネルギー法解析技術・差分法/有限体積法解析技術

高周波解析技術は、有限要素モデルの細密化でも可能ではあるが、解析速度やデータのハンドリングなど多数の問題をはらんでいる。一方、統計的エネルギー法は四半世紀に亘り技術開発が進められているが、未だに技術者の経験値に依るところが大で、解析精度や利用技術に関し難しい面が残っており一部を除き実務適用が進んでいない。しかしながら解析モデルの作成や解析効率では有限要素解析よりアドバンテージも高いので、更なる技術開発に期待したい。又、差分法/有限体積法解析技術は、音響解析や流体解析に不可欠である。構造と流体の連成で発生する車輻の風切り音など流体騒音解析も現実的なものになりつつあるが、より複雑な流れ、例えばポンプ内の流れや人体内の血流解析なども一握りの研究者や解析者だけのものではなく、より広く設計に適用できるような技術開発が必要であろう。差分法のモデル化は比較的単純なので、複雑な形状の影響を考慮するには有限体積法が優れているが、一般に両者ともに計算時間が長いので、多くの計算条件で比較検討する設計現場での適用には今後更なるソルバや解析技術の作りこみが必要である。

③マルチボディ・ダイナミクス解析技術

現在の設計現場に欠くべからざる解析技術は、前述の有限要素法とこのマルチボディ・ダイナミクス解析技術 (MBD) であろう。特に動的解析では、稼働している物体の運動状態をコンピュータ上で再現し、物体が持つ状態量、例えば物体自身やそれを構成するコ

ンポーネント間に発生する力、物体の持つ速度、加速度を見積もり、これらを物体の有限要素モデルの入力とし、これに生じる動的応力や振動加速度を求め製品設計に用いている。近年、ファンクショナル・デジタル・プロトタイプという名称で、解析対象製品のフルアッセンブリ MBD モデルを用いた解析手法が開発現場で用いられている。MBD 解析は、剛体運動からスタートしたが、すでに MBD モデルの一部に弾性体を考慮することが出来るようになり、MBD 解析の中で物体間に発生する動的応力や振動加速度を直接求めることが出来る。今後は、MBD 解析と有限要素解析の相互乗り入れを図り、有限要素解析側でも直接 MBD 解析が行えるようになれば、より解析の柔軟性が高まり解析の効率向上にも繋がるであろう。更に、現在 MBD 解析内で線形として取り扱っている弾性体モデルを非線形領域に拡大出来れば、例えば大変形や衝撃問題を含めた解析にまで領域を拡大しつつ解析精度の向上に結びつけることが出来る。又、MBD 解析は制御技術と組み合わせることで、運動状態をより正確にシミュレートすることができる。既に、制御系を MBD モデルに組み込み、リアルタイムに解析対象の運動をシミュレートする技術開発が求められ実務適用されて始めているが、更に技術開発を進めて完成度を上げる必要がある。MBD 解析に実験解析で求めた、例えばコンポーネントの剛性や慣性質量などの各種パラメータを組み込むことで、解析モデルを簡略化することが出来る。一つの詳細な MBD モデルで複数の現象をシミュレートすることも可能ではあるが、モデル作成や解析に時間がかかる。一方で解析目的に合わせ簡略化された解析モデルを用いると、モデル作成や解析時間は短縮され、効率を追求している開発現場のニーズに対応しているので、これからも簡略モデル化の方向は更に発展して行くであろう。同時に、モデル簡略化のための実験解析技術が必要となることは言うまでもない。

④最適化技術

一般に設計業務は「最適化すること」といっても過言ではない。製品開発の現場では、設計の目標性能を満たす構造、材料などを効率よく選択することが求められている。現在、個々の性能を最適化する技術は汎用ソフトウェアの発達にともない、有限要素解析技術や MBD 解析技術と組み合わせて使われ、実用領域に入ってきている。又、有限要素解析技術の中では、トポロジー最適化などの形状最適化手法も幾つか提案され、その一部は開発現場で利用されている。しかしながら、現実には起きている現象はいくつもの事象が複雑に絡み合い、互いに相反しあうことが多いので複数性能の最適化、多目的最適化技術が必要になる。近年、近似解法の多目的遺伝的アルゴリズム法や、厳密解法の満足化トレードオフ法などが研究されているが、設計現場のツールになるには更なる技術開発が必要である

う。しかしながら現在、欧米の航空機設計などで一部実用化されている事例も見受けられるので、今後ますます多目的最適化技術が成熟し適用範囲を広げることが出来れば、この技術が CAE、性能シミュレーション技術発展の鍵を握るであろう。

⑤シミュレーションデータ・マネージメント技術

VPD プロセスの中で、現在すでに顕在化している問題の一つにデータ管理技術がある。今後さらに VPD が製品開発現場に浸透してくると、これまでとは比較にならない膨大な量の解析モデル、入力データ、出力データが生じてくる。又、同様に解析にリンクした実験データ量も増え続け、容易に管理できなくなる。特に、解析モデルの再利用、設計変更の解析モデルへの反映や認証、実験データのアップデートとその管理手法等々の問題が数多く潜んでいる。現在、幾つかのソフトウェアベンダからシミュレーションデータ・マネージメント・システムや実験データ・マネージメント・システムが提案されている。又、全社的なプロダクトデータ・マネージメント・システム (PDM) 構築の中にデータ管理機能を組み込んでいる会社もある。しかしながら、解析データと実験データを一元的に管理する技術のハードルは高く、この分野の技術開発が待たれている。データ管理手法には、ユーザの利便性を向上させるためにデータをカスタマイズする技術と検索する技術を必要とするが、他方でシステムに内蔵されたソルバや外部ソルバとのインターフェースの提供など、多種多様な設計技術者や実験技術者の要求に対応できるものは少なく更なる技術の進展を期待する。特に、データ検索技術の分野では、ユーザの利便性を考え音声認識技術なども研究分野として考えられる。

⑥シミュレーション自動化技術

VPD の究極の姿は、解析専任者ではない一般の設計者が、日常の設計業務の中でシミュレーションを行い、その結果を設計図面に反映することであろう。この労力を低減し作業時間を短くするために一連の作業の自動化が必要になる。この様な環境構築を目的として、世の中にある殆どの構造解析ソフトウェア開発会社は、自社ソフトウェアの解析機能を拡充し、ユーザが複数のソフトウェアの存在を意識することなしにシミュレーションが出来るような製品開発を進めているが、未だ実用レベルには達している物は少ない。又、解析ソフトウェアと 3 次元 CAD との親和性を高め、解析モデル作成、解析の実行、結果の表示まで自動化され、一部では実用段階まで進んでいる。一方で、自動化の重要な要素技術である解析モデルのテンプレート化やナレッジベースを用いた解析ナビゲータなども提案されてはいるが、設計現場でデファクト化されるには、今後更なる技術開発が必要であ

ろう。ナレッジベースを上手く活用すれば、自動化のみならず解析技術ノウハウを蓄積し後進へ解析技術を伝承して行くことも可能になる。

⑦実験ノウハウ伝承技術

VPD の中で実験は、今後も大切な位置を占めるであろう。勿論、VPD の究極の目的は、試作数を削減することで実験量を減らし、品質を向上させつつ開発期間とコストを大きく削減することにある。このためにフルアッセンブリ解析モデルによる性能シミュレーションを駆使する。この過程でコンポーネントレベルの実験を積み重ねながらフルアッセンブリ解析モデルや解析手法を構築することは不可避であり、今後ますますこの種の実験が重要になるであろう。又、現象をシミュレートした結果の妥当性を評価する実験も不可欠である。中でも定型的な実験解析技術は、そのノウハウをナレッジベース化すれば実験解析ナビゲータを作ることも可能である。その上で、これらの解析および実験データを一元管理し、ナレッジベースと組み合わせることで、前述のように解析モデルの作成に始まり解析条件の設定、実験/解析の実行、実験結果などに基づく解析結果の妥当性評価、そして報告書作成に至るまでの解析プロセスを自動化することができると同時に、解析はもとより実験解析ノウハウの伝承も行うことが可能となる。現在、ここまでの機能を持った実験解析ソフトウェアは見当たらないので新たな研究開発テーマの一つと考えられる。

4. 7. 2 技術マップ（CAE、性能シミュレーション技術）

ものづくり技術マップ（CAE、性能シミュレーション技術）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考	
性能シミュレーション技術	有限要素解析技術	モデル化技術	六面体自動メッシュ技術	解析現場のCPUパワーの制限の中で、解析精度を確保することが出来る	
			メッシュレスモデル化技術	更に、進んで解析に適したメッシュを意識せずに解析ができるようになる。	
			CADモデル→CAEモデルへの自動変換技術	解析に適したモデルへの修正を意識せず、CADモデルをそのまま解析に使用することで、解析時間の短縮に結びつけることが出来る	
			部品間結合の自動化技術	同上	
		大規模解析技術	フルアッシュの高密度モデル解析技術	一つのモデルで複数の性能シミュレーションを行うことが可能になり、解析の効率向上が図れる	
			ソルバーの高速化技術	高密度モデルを設計現場の解析で実用的に回すことが出来る	
			アウトプット表示の高速化技術	高密度モデルの解析結果の動画を実用的な速度で表示し比較することが出来る	
		マルチフィジックス解析技術	複数性能の連成問題解析組み合わせ技術	強度、剛性、操縦安定性、乗り心地、振動、騒音、熱、電磁場、衝撃の組み合わせ解析を自由に選択し、実現象により近い解析ができる	
			複数の解析ソフトの組み合わせ技術	性格の異なるソフトを組み合わせる技術、インタフェースソフトを開発しより複雑な連成問題が解析可能となる	
		疲労寿命設計技術	フラクチャメカニクス、疲労耐久解析技術	現在、実験主体で技術者の経験知に頼っている寿命予測を実験とCAEを組み合わせることで複雑な破壊メカニズムまで予測可能になる	
	統計的エネルギー法解析技術	高周波解析技術	SEA技術	現在、かなりの部分を技術者の経験知に頼っているが、頼らずに解析できるようになる	
	差分法/有限体種法解析技術	流体解析技術	流体と構造の高度連成解析技術	流体騒音、生体内流れなど複雑な現象のシミュレーションが一部研究者や解析専任者だけのものではなくなる	
	マルチボディダイナミクス解析技術 (MBO解析技術)	ファンクショナル・デジタル・プロトタイプ構築技術	有限要素解析環境下での実行技術	現在、MBO解析側で構造物の弾性を部分的に考慮した解析は行われているが、これを有限要素解析側でも行うことができる	
			非線形性の組み込み技術	現在MBO解析で線形として取り扱っている弾性体を非線形領域まで考慮した解析ができるようになる	
			複数制御系の統合とMBDとの組み合わせ技術	数ある制御系を統合し、リアルタイムにMBO解析が出来るようになる	
	最適化技術	複数性能最適化技術(MDO解析技術)	←	個々の性能の最適化から複数性能の最適化技術開発が進んでいる。今後さらにこの方向が加速され、設計CAEには欠かすことの出来ないものとなる	
	シミュレーションデータ・マネジメント技術	解析と実験データ管理技術	ユーザビリティ技術	解析データと実験データの統合管理技術、大量データ集積、分析、管理、検索技術	性格の異なる解析データと実験データを一元管理することで現場で使えるデータベースになる。
			ユーザビリティ技術	データ管理カスタマイジング技術	製品設計にマッチしたのデータベース構築、データベース管理が容易にカスタマイズ可能になる
				データ検索技術	音声認識も視野に入れ、開発者が必要とするデータ検索が短時間に出来る
	シミュレーション自動化技術	解析手法、評価手法ノウハウ伝承技術	ユーザビリティ技術	レジャベースを基にした解析ナビゲータを組み込んだ自動化技術	レジャベースを組み込むことでモデル化、解析条件、解析経過、解析結果の妥当性評価を自動的に行うことができると同時に解析ノウハウの伝承が確実に出来る
ユーザビリティ技術			ソルバを意識しない解析技術	解析条件を定義すると、その解析に必要な複数の解析ソフトが裏で自動的に走り、結果が表示される	
			モデル作成からレポートまでの自動化技術	シミュレーション・データベースと連携し解析条件、出力条件を定義することで、解析の入り口から出口までを自動的に行うことが出来る	
実験ノウハウ伝承技術	実験手法、評価手法ノウハウ伝承技術	レジャベースを基にした実験解析ナビゲータを組み込んだ自動化技術	レジャベースを組み込むことでモデル化、解析条件、解析経過、解析結果の妥当性評価を自動的に行うことができると同時に解析ノウハウの伝承が確実に出来る		

注) 今回のCAE技術マップは、主として機械構造に関する内容にとどめ、生産技術、加工技術、生産ライン、環境シミュレーションなどは除いている

4. 8 現物融合技術

4. 8. 1 現物融合技術の概要

まず現物融合技術という聞き慣れない用語について説明する必要がある。CAD/CAM/CAE を中心とした設計・製造を支援するシステムを総称的に表すデジタルエンジニアリングは、製品開発力強化のために必須のものであるが、ものづくりの環境が大きく変化し、設計プロセスの更なる革新が求められる中で、従来のシステムの拡張だけでは解決できない課題が顕在化してきている。また、主要なデジタルエンジニアリングシステムは欧米製が席卷されており、日本固有のものづくりには必ずしも適していないという問題も深刻化している。

これに対する一つのアプローチが“現物融合型エンジニアリング”である。従来のデジタルエンジニアリングが、コンピュータの中に設計対象物のモデルを作り、それを活用して仮想製品開発(Virtual Product Development)や仮想製造準備(Virtual Manufacturing)によって、試作品などのモノを作らずに“徹底して仮想化する”ということを経験としていたのに対して、現物融合型エンジニアリングの最大の特徴は、最新の計測技術をベースにして現物の情報をデジタルエンジニアリングに結び付けるという点にある(図 1)。つまり、仮想世界と現実世界とを融合させることにある。

すなわち、現物融合技術(現物融合型エンジニアリング)の特徴は、最新の3次元形状計測技術をベースにして現物とデジタルエンジニアリングを結び付けるものである。CAT(Computer Aided Testing)やリバースエンジニアリングは、この分野の中心技術として位置づけられる。日本の製造業は優れた現場の技術をもっている。そこで、この現物融合によって、現場の現物をデジタル化してデジタルエンジニアリングに織り込むことは、上流の製品開発や製造準備の向上にとって有効な方策と成りうる可能性をもつ。

例えば、CATやリバースエンジニアリングに加えて、次に挙げるようなことが実現できれば、品質・コスト・リードタイムの上で大きな効果があると期待されている。

○現物検証

工程内で現物形状を計測し、形状や寸法を比較検証する。例えば、各工程で型や製品を計測しCADと比較して問題点を洗い出したり、異なる製造条件による製品の形状比較を行うことによって製造条件を最適化したりする。

○現物設計

実体の形状を操作して設計し、それをデジタル化する。代表例は、クレイモデルからCADモデルを生成するリバースエンジニアリングであろう。人間の感性による評価が重要な製品意匠の場合は、モックアップの作成が不可欠であり、モックアップを手修正して製品意

匠を評価し修正後のモックアップか CAD モデルを生成する。あるいは、金型の手直しが行われた時に、その CAD モデルを生成する。さらに現物しかないもの（旧製品、他社製品）の CAD モデルの生成もこれに含まれる。

○現物 CAE

実験とシミュレーションを同じ形で実施するために、試験対象の現物形状を計測して作成された現物モデルを用いてシミュレーションを行うものである。現物の主な誤差要因としては、例えばスプリングバック、ヒケ・反り、手直し等がある。また上記と同様に CAD データがなく、現物しかないもののシミュレーションにも有効である。例えば、古い製品や、他社製品(ベンチマーキング)などである。

○現物計画

現物のデータに基づいて生産や設備の計画を行うものである。例えば、機上で素形材を計測して、その形状データに基づいて NC 加工を行ったり、組立中の車体を計測してロボットの溶接経路を変更したりする。また、最近では建造物などをスキャンできる装置が開発され、それを用いて工場の設備や建屋を計測し、それに合った設備設計を行う As Built モデリングと呼ばれるものもある。

技術戦略マップとしては、この分野を次の三つの軸で捉えようとした。

(1)スキャンデータ処理技術

スキャナーとしては、産業用 X 線 CT スキャナーや、非接触 3 次元形状スキャナーを念頭においている。これらは、様々な計測技術をベースに実現されているシステムであり、その固有な技術分野を形成している。しかし、ここではスキャナ技術そのものには立ち入らず、スキャナーから得られる画像や点群といった基本的なスキャンデータ処理について考えている。その中でも特にデータの高密度化、大規模化、高精度化を実現するデータ処理技術の進歩が期待されている。また、これらのスキャン方式を組み合わせるとより複雑な形状をより高精度・高効率にスキャンする技術についても今後の発展が期待される。

(2)モデル処理技術

(1)で得られた RAW なスキャンデータをデジタルエンジニアリングで利用するためには、それからデジタルエンジニアリングで利用可能なモデルを生成する必要がある。一般に CAD モデルなどをスキャンデータから生成するリバースエンジニアリングと呼ばれる技術である。また、リバースエンジニアリングを支えるものとして、点群やボリュウムモデル (X 線 CT スキャナーからの 3 次元画像)、そしてメッシュなどに関するモデル処理技術が必要となる。これらについては近年研究が非常に活発であるが、スキャナー技術の進展

と計測対象の広がりに対して、更なる進化が期待される領域である。図2は、技術マップにあげた「まるごとスキャン技術」のイメージ図である。これは、製品全体を丸ごとスキャンして、それを一気にモデル化してしまうシステムである。このようなシステムの実現には、ここで挙げた様々な技術が関係し、一つのシンボルと言える。

(3)モデル活用システム

三番目は、スキャンデータを直接的に利用するシステムである。従来のデジタルエンジニアリングシステムは、スキャンデータを直接読み込み、処理を行うことが難しかった。そのために上記のリバースエンジニアリング技術によって CAD モデルを生成する必要があった。そのアプローチは今後も重要であるが、その一方で、スキャンデータを直接利用するシステムが芽生えている。ここでは“ダイレクト”という表現を使ったが、例えば“ダイレクト CAM”は、スキャンデータから直接 NC を生成できるシステムを意味している。このようなダイレクトシステムは、特に製造現場において要求の高いものであり、今後の発展が期待される。もちろん、これらのシステムは上記のモデル処理技術に支えられるものである。

(4)設計支援技術

最後のポイントは、このようなスキャンデータや上記のシステムを利用した新しい設計開発方法論に関するものである。これについてはすでに上で紹介したが、現物融合技術のポイントは、このようなスキャン技術を通常設計開発業務の中で活用し、さらに新しい業務プロセスを構築できるかどうか、というところにある。

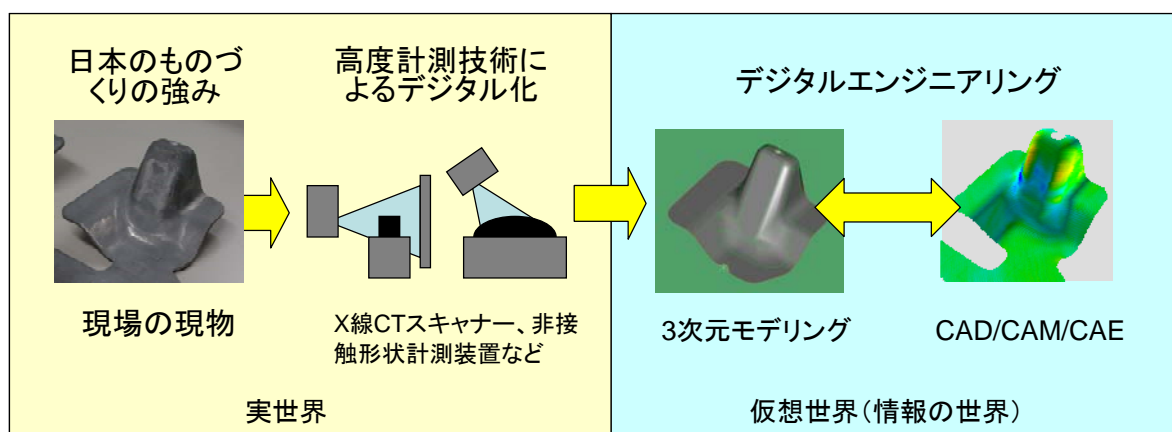
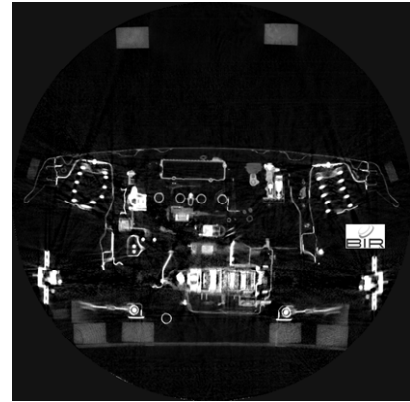
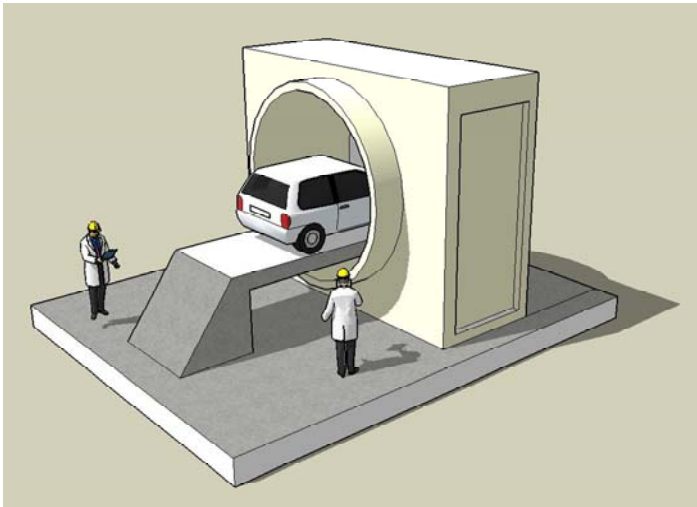


図4. 8. 1 スキャン技術とデジタルエンジニアリングの融合



(C)BIR社

図4. 8. 2 丸ごとスキャン技術

4. 8. 2 技術マップ（現物融合技術）

ものづくり技術マップ（現物融合技術）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
現物融合技術	スキャンデータ処理技術	スキャン点群処理技術	サーフェススキャン技術	高精度化、高速化、高密度化、計測対象の多様化
			スキャンパラメータ最適化	計測精度、点群密度の最適化
			基本データ処理	スムージング、位置合わせ、間引き、大規模処理など
		CTデータ処理技術	CTスキャン技術	高精度化、高速化、高密度化、計測対象の多様化、大規模処理
			再構成技術	透過画像からの断面画像再構成
			基本データ処理	アーチファクト・ノイズ処理、エッジ強調
		モデル処理技術	複合スキャン技術	マルチモーダルスキャン
	点群モデリング			陰関数曲面生成 点群から直接物体を表現する陰関数を算出する方法 補間曲面生成 点群から直接物体表面を算出する方法
	ポリウムモデリング		セグメンテーション	ポリウムモデルを部品単位、材質単位にセグメント化
			構造抽出	スケルトン抽出、中立面抽出、凸分割
	メッシュ処理技術		点群からのメッシュ生成	ボールローリング、DeLaunayベース、陰関数法
			ポリウムデータからのメッシュ生成	境界メッシュ生成、等値面生成
			基本メッシュデータ処理	メッシュ簡略化、メッシュ位置合わせ・統合化、欠損部処理、スムージング処理、メッシュ品質改良
			セグメンテーション、フィーチャー抽出 構造抽出	基本フィーチャー抽出、フィレット抽出、 スケルトン抽出、中立面抽出、凸分割
	リバースエンジニアリング技術		CADモデル生成	B-Repモデル・サーフェスモデル、Class 1サーフェス等のCADモデル生成
			CADモデル修正	スキャンデータによるCADモデル修正
			CAEモデル生成	フィーチャー付与・削除による、
			まるとスキャン技術	製品全体を丸ごとスキャンしモデル化
	モデル活用システム		メッシュ活用システム	ダイレクトCAD
		ダイレクトCAM		スキャンメッシュを直接取り込み、主表現とするCAM
		ダイレクトCAE		スキャンメッシュを直接取り込み、主表現とするCAD
		ポリウム活用システム	ポリウムCAD	ポリウムモデルを主表現とするCAD
			ポリウムCAM	ポリウムモデルを主表現とするCAM
			ポリウムCAE	ポリウムモデルを主表現とするCAE
	設計支援技術	現物設計技術	現物モデルによる設計	モックアップからのCADデータによる設計
			現物モデルによるDMU (Digital Mockup)	現物（購買品等）のスキャンモデルと自社開発製品のCADモデルによるDMU
			現物コピー技術	現物をスキャンしRP等により複製を作成し試作検討
		現物検証技術	部品精度検証	スキャンデータによるフル3次元幾何公差評価
			部品品質評価	スキャンデータによる製造欠陥評価
		現物シミュレーション技術	現物モデルによるシミュレーション	スキャンモデルを用いたシミュレーション、シミュレーション・実験適合化
現物モデルによるベンチマーキング			スキャンモデルによる他社品ベンチマーキング	
現物計画技術		スキャンモデルによる工程計画	素材のスキャンモデルによる工程設計、ロボット経路計画	
	スキャンモデルによる作業計画	生産環境のスキャンモデルによる設備配置、改修等の計画		

4. 8. 3 ロードマップ（現物融合技術）

ものづくり技術ロードマップ（現物融合技術）

	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年	重点化の評価								サ ステ ナ ブル 技 術
																											①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	
スキャンデータ処理技術	サーフェススキャン技術	○																									○								
	スキャンパラメタ最適化																											○							
	基本データ処理																											○							
CTデータ処理技術	CTスキャン技術																											○							
	再構成技術																											○							
	基本データ処理																											○							
複合スキャン技術																												○							
点群モデリング	陰関数曲面生成																											○							
	補間曲面生成																											○							
ボリュームモデリング	セグメンテーション																											○							
	構造抽出																											○							
メッシュ処理技術	点群からのメッシュ生成																											○							
	ボリュームデータからのメッシュ生成																											○							
	基本メッシュデータ処理																											○							
	セグメンテーション、フィーチャー抽出																											○							
リバースエンジニアリング技術	構造抽出																											○							
	CADモデル生成																											○							
	CADモデル修正																											○							
メッシュ活用システム	CAEモデル生成																											○							
	まるごとスキャン技術																											○							
ボリューム活用システム	ダイレクトCAD																											○							
	ダイレクトCAM																											○							
	ダイレクトCAE																											○							
現物設計技術	ボリュームCAD																											○							
	ボリュームCAE																											○							
	ボリュームCAM																											○							
設計支援技術	現物モデルによる設計																											○							
	現物モデルによるDMU (Digital Mockup)																											○							
	現物コピー技術																											○							
	部品精度検証																											○							
現物シミュレーション技術	部品品質評価																											○							
	現物モデルによるシミュレーション																											○							
	現物モデルによるベンチマーキング																											○							
現物計画技術	スキャンモデルによる工程計画																											○							
	スキャンモデルによる作業計画																											○							

4. 9 基盤情報技術

4. 9. 1 基盤情報技術の概要

(1) 設計から見た、基盤情報技術としての要素

①はじめに

CPU のマルチコア化と、GPU、グリッドコンピュータによる並列処理化など、大規模デジタルデータ処理技術が飛躍的に進歩している。その中でも、次世代スパコンは、2011 年頃に文科省が進めている 10 ペタコンピュータが出現する。これに歩調を合わせて次世代パソコン等の身近なコンピュータ環境でも大幅な進歩が期待できる。今後とも向上するコンピュータ資源に合わせて、従来は不可能であった処理が実現できるようになる。また、コンピュータのハードウェア環境に合わせて、大規模データベース等ソフトウェアも今後とも進歩することが期待できる。

次節では、これらの基盤情報技術の進歩について概観を述べ、設計環境に利用可能なシステムイメージを述べる。

②情報処理技術の分類

情報処理技術として一般的に分類すると、以下の 3 つに大別した。

(1) ハードウェア、(2) ソフトウェア、(3) ネットワーク

但し、ハードウェア、ソフトウェアといった明確な分類とは異なり、ネットワークは、通信手順 (プロトコル) をハードウェアとソフトウェアと協調して進歩しており、コンピュータの処理能力の向上がこれに拍車をかけ、適用範囲の拡大、利便性の向上の進展が早い。

a. 利用者からみた情報処理技術

3 つに分類した情報処理技術を利用する立場にたつて、便宜上以下の 3 つに分ける。つまり、ユーザーインターフェイス (UI: User Interface)、データベース及び知識ベース検索 (DB: Data Base 及び KDB: Knowledge Data Base)、仮想現実及び拡張現実 (VR: Virtual Reality 及び AR: Augmented Reality) である。これらについて簡単に説明する。

i) ユーザーインターフェイス (UI)

ユーザーインターフェイス (UI: User Interface) は、コンピュータをはじめとした機械を扱うための用語である。初期のコンピュータでは、処理能力が低いために、テキストベースのインターフェイス (CUI: Character User Interface) が使われ、現在は Microsoft の Windows システムに代表されるアイコンベースのインターフェイス (GUI: Graphic User Interface) がコンピュータの使い勝手を格段に向上させた。さらにコンピュータの処理の

能力の向上に伴い、人間同士の意志伝達手段としてよく使われる、身振り・手振り・音声等の人間の感覚を利用した触覚 (Haptic) あるいは知覚インターフェイス (PUI: Perceptual User Interface) 等がある。

この PUI については、各種の研究が報告されているが、意匠設計に適用できても、精度を要する機構設計へ適用した事例はまだ報告されていない。今後は、VR 研究の中から、有望な技術が提案されると考える。

ii) データベース検索 (DB 及び KDB)

データベース検索についても、PUI の利用が有効である。現在のコンピュータ技術の進歩により、大規模なデジタルデータが保存でき、高速に検索する事が可能となってきた。さらに、設計作業で生成するデータ以外に、整理の難しいあいまいなデジタル情報 (イメージ、動作、映像等) の利用技術に関する研究が進んでいる。こういった情報を GUI だけではなく、PUI を使って検索等が可能となれば、設計者にとって人間同士の情報交換に近い登録・検索・利用が可能となる。

iii) 仮想現実/拡張現実 (VR 及び AR)

機械設計では、剛体形状やワイヤーハーネスといった柔軟物体等の形状操作だけではなく、電気回路やソフトウェアといった視覚化が困難な設計対象も扱う必要がある。あるいは、実際の製品や機械のデータベースを周到に準備する事により、実製品の使用環境や製品の経年変化を可視化できると設計時に有用である。これを実現するために、事例データベースを直感的に検索・表示・体感できると設計に有用である。

b. キーワード技術

(a) 項の技術分野に関連して近年のキーワードとなっている処理/機能を抜粋する。つまり、大規模デジタルデータ処理、3次元スキャニングデータ処理、トレイグジスタンス機能、ハプティック処理、ディペンダブルネットワーク 等である、以下にこれらのキーワードについて関連する項目に分けて説明する。

i) 大規模デジタルデータ処理

大規模デジタルデータ処理により、従来扱うにはデータ量が多いため、簡略化していたデータをそのまま扱うといったような処理自体をあきらめていたようなシミュレーションが精密に行える。例えば、車一台をまるまるコンピュータ内で表現する事により、試作前に精密な解析が行える。そのためには、設計と解析が一体となったシステムが必要となる。

1) 3次元スキャニングデータ処理

現物融合技術として、X線 CT データからリアルタイムに3次元データを生成し、解析

に利用するといった使い方も考えられる。大規模な現物データをデジタル化して取り込む技術である。

ii) ユーザーインターフェイス

1) テレイグジスタンス機能

ネットワークを使ったテレイグジスタンス機能は、遠隔地間の協調設計システムの設計シミュレーションへ、従来以上の設計者同士の一体感を伴った形での利用が期待できる。

2) ハプティック処理

意匠設計に3次元マウス等のハプティック機器を使つてのモデル入力支援ツールがある。さらに、力覚を応用し、重さ、大きさを実感できれば、画面上とは異なる形状の大きさ等を知覚する事が可能となり、体感という新しい要素をもつた設計体験ツールとしての学習効果も期待できる。

iii) ディペンダブルネットワーク

組織内でものづくりを支える知識データを保存し、利用するためには、利用するネットワークが常に稼動し、しかも安全である事が必要である。これを満足するネットワークがディペンダブルネットワークであるが、現在も研究が進められている。

(2) 基盤情報技術から見た、日本に必要な設計支援システムとは

① 設計支援システムの考え方について

日本に必要な設計支援システムとしては、「4.1 設計技術の考え方と技術戦略マップの構成」の節で、以下のような6つの要件を提案した。

- ア. 高品質、高機能を追求できるシステム
- イ. ノウハウを埋め込めるが、流出しないシステム
- ウ. 技術者教育と活用が両立できるシステム
- エ. 操作が簡単で操作マニュアル無しでも使えるシステム
- オ. 安全や環境など規制に対処できるシステム
- カ. 日本のものづくりに適合したシステム

前節（「設計から見た、基盤情報技術としての要素」）を利用し、この5つの要件を満たす設計支援機能を検討した。

尚、それぞれのシステムに関して、5要件と関連している項目との関連付けを試みた。

- (a) 設計動作ナビゲーション機能・・・・・・・・・・アウオカ
- (b) リモート可視化コラボレーション機能・・・・・・・・アイエオカ
- (c) 設計解析並行処理機能・・・・・・・・・・アウエオカ

(d) 知識ベース検索機能 アウエオカ

(e) ディペンダブル機能 イ

以下に、上記の中で、4つの設計支援機能を検討した内容を述べる。

② 4つの設計支援機能

本項では、4つの設計支援機能のイメージを説明する。尚、設計動作シミュレータの一部を取り出すと、リモート可視化コラボレーション機能と同じにはなるが、後者はネットワーク技術がより必要であるため、敢えて2つの項目に分けて説明した。

a. 設計動作ナビゲーション機能 (a) (図4.9.1)

特に新人設計者が、設計途中に、過去の事例（類似設計事例、不具合事例）や、標準部品等を検索したい場合に利用する。現在設計している形状に、重畳表示する機能を実現する。これにより、過去の不具合を事前に察知し、これを回避する。また一歩進めて、類似設計事例では、過去の対策事例（or 成功事例）の根拠を辿る事により、新規設計に役立たせる事が可能となる。また合わせて、熟練設計者も過去事例検索をしながらの設計に役立つ。

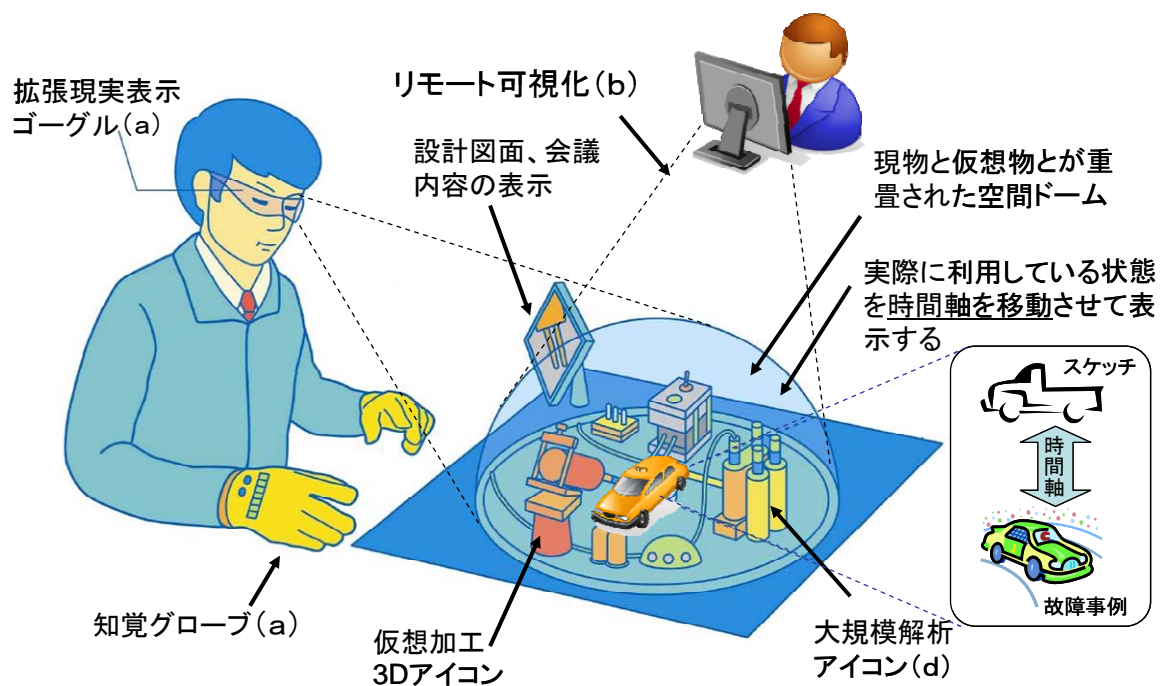


図4.9.1 各種機能ナビ (a)(b)(d)

b. リモート可視化によるコラボレーション設計機能 (b) (図4. 9. 1)

ブロードバンドを活用した、リモート可視化として同期型・非同期型の2つ実現手法がある。

同期型とは、リアルタイムなレイグジスタンス型のリモート可視化による、コラボレーション設計である。アバター、仮想人物を解したリモート操作を実現することができる。また、軽量化したデータを用いてDMU操作を実現する。この場合、CAVEのような没入感を伴う仮想現実の実装が必要となる。この機能を実装する必要性がある理由として、リモート環境における設計者同士の一体感の実現がある。

非同期型とは、設計再現型 (マルチモーダル) による非同期型のリモート可視化による、コラボレーション設計である。特に非同期型システムは、大学の設計教育、企業の新人設計者教育にも利用可能である。例えば、過去の設計事例を成功・失敗事例共々追体験できるといった、学習効果が挙げられる。

c. 即時解析型設計並行処理支援機能 (c) (図4. 9. 2)

本機能の実現には、解析前準備で必要とするメッシュとして、全自動ヘキサメッシュ (六面体メッシュ) 生成機能が実現出来る事が前提である。但し、曲面形状から形状表面に三角形メッシュが高精度に生成できていれば、テトラメッシュ (四面体メッシュ) でも必要十分な解析精度が得られるため、実現可能性が高い項目である。

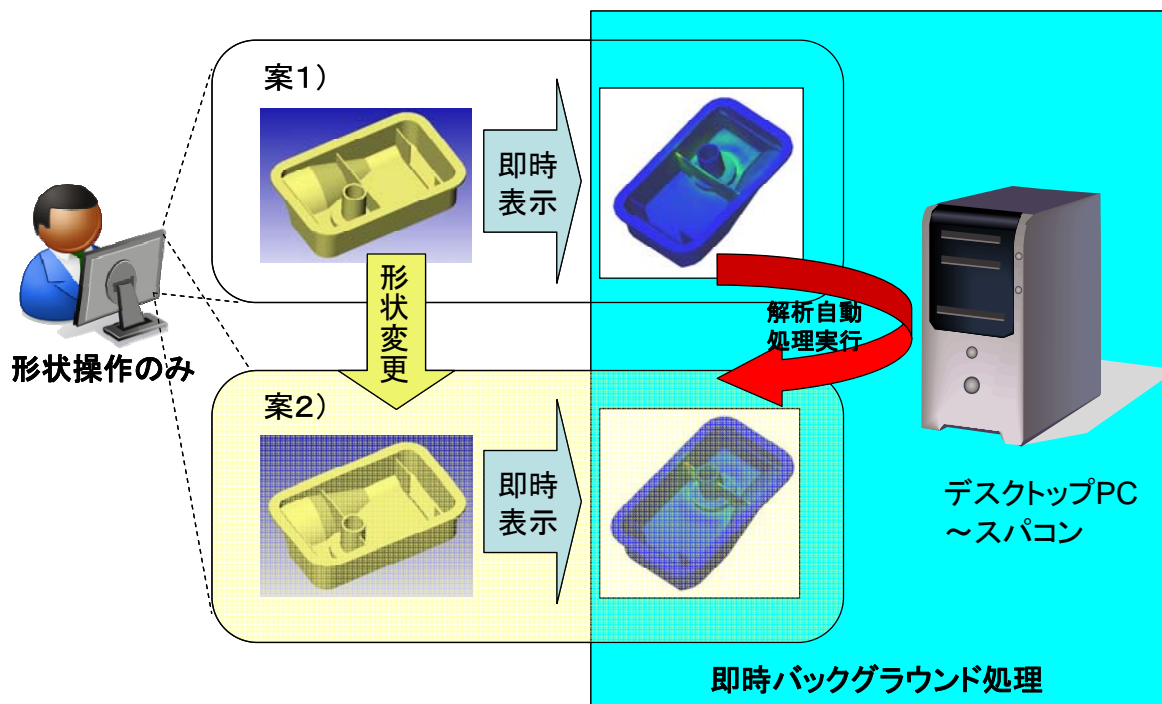


図4. 9. 2 各種機能(c)

「高速な複数の CPU を（ふんだんに）使えるようになるため、設計作業を並行処理できる環境」が整ってくるため、設計作業全般は多岐に渡るが、その中で、設計上流での解析作業の重要性はますます高くなってきている。特に新規性をもった製品設計の際には、過去事例や経験だけでは不具合なく設計作業を進めることが困難になってきた。そこで、試作前に解析シミュレーションを行うことが求められている。つまり仮想試作を行うことにより、不具合の早期発見により手戻りをミニマムにする事、いわゆるフロントローディングが現場から要請されている。

但し、従来は、大企業に組織されている解析部隊が高価で高度な解析ツールを自ら操って、設計が終わった頃にやっと精密な解析結果が出るが多かった。現在は、モデルを簡略化する事により、定性的な結果が出だせるようにはなってきたが、解析準備（メッシュ作成、解析条件設定等）に手間が取られるため、解析作業を設計者自らが実行する事は依然として難しい。

今後は、精密なモデルでも、設計作業中に、設計者が設計作業の思考を妨げることなく、バックグラウンドで逐次解析し、必要なタイミングで、解析結果が得られる機能が必要となる。この機能を実現する環境として、1つには安価な CPU をふんだんに使える、といったハードウェア面の環境整備がある。もう一つは解析条件等を自動設定するために、過去事例検索する機能を実現する高度なデータベース検索ソフトの進歩がある。これら2つの機能を実現する事により、設計作業中のモデルをリアルタイムに解析実行する事が可能となる。尚、大規模データの解析作業が必要となった場合については、従来どおり、軽重に仕分けして解析ジョブを管理する必要があるが、個人用、グループ用、部門用、事業部用、全社用といった、階層的なコンピュータ資源の使い分けを設計者が意識することなく、安価に利用できるようになる。

d. 知識ベース検索機能（d）(図4.9.1)

将来の知識ベース検索機能は、ある段階からマルチモーダルで蓄積された設計作業情報から検索する機能となる。マルチモーダル設計作業とは、設計者が設計作業を行っている作業全てを意味する。つまり、CAD 端末に向かって検索、形状操作する作業だけを狭義の設計作業と定義するならば、広義の設計作業は設計者同士が相談するといった協調作業やこれに伴う行為そのものも対象とすると定義する。また、過去に発生した事例に関する情報は直接的には含めないが、その情報（不具合が起きた時に発生した、事故、利用者のインタビューといった動画、音声情報等）についても、この情報自体を利用したといった事象が検索対象となる。

こういった動画・音声等を検索するためには、時系列検索手法が現実的な検索手法であ

るが、将来は「関連するシーン検索」をセマンティックに検索できるツールの開発が必要となるが、このツールを用いた設計製造に関する知識ベース検索が可能となる。

4. 9. 2 技術マップ（基盤情報技術）

ものづくり技術マップ（基盤情報技術）

中分類	小分類	要素技術	備考
大規模デジタルデータ処理技術	超並列処理技術による高速化	マルチコアCPU活用	CPUにコアが現在比較して、大幅に増加したCPUを用いて、効率よく処理する技術の利用
		GPU活用（GPUサーバー等）	並列化速度向上がCPUに比べて飛躍的に大きいGPUを使い、専用化及び汎用化アプリケーションを効率よく、安価に実行できるサーバーを利用する。
		グリッドコンピュータの活用等	ネットワークを介して、用いる計算手法。尚、均質なCPUだけを使うのではなく、専用化されたCPU、GPUサーバー等を平準化するミドルウェアが出現する。
		未来型計算機の台頭	量子計算機等開発と、新手法の実用化
	大規模データ処理活用	大規模OutOfCore技術の活用	データ変換、製品情報データ管理への利用
	大規模メモリー活用	大規模メモリーを活用した利用範囲の拡大	大規模データ処理、高速化処理技術の利用技術の進歩
モデルデータ軽量化技術	データ変換（離散→境界）	ポリウムデータからの曲面生成	ポリウムからの厳密な曲面モデル生成手法の開発
		メッシュデータからの曲面生成	メッシュからの厳密な曲面モデル生成手法の開発
	データ圧縮技術	メッシュ→曲面の双方向変換	特徴線抽出、美化曲線技術による双方向変換技術の進歩
		ポリウムデータ圧縮技術	大規模ポリウムモデルデータの圧縮技術の進歩
	メッシュデータ圧縮技術	大規模メッシュモデルデータの圧縮技術の進歩	
ハードウェア技術	コンピュータの高速化	次世代パソコン活用技術	現行のパソコンは、0.8-PFlops(2007年度：NEC SX-9:071026時点)であるため、2012年(5年後)は、8-PFlopsとなる。
		次世代パソコン活用技術	2006年度現在、パソコン300TFlopsに対して、PCサーバー 1.5GFlopsのため、20万倍の性能比の差がある。
ソフトウェア技術	各種ソフトウェアの進歩	オープンソース技術利用	基盤ソフト開発と、分野別ソフト開発に伴うオープンソース活用技術
		解析等計算機科学の進歩	新アルゴリズム創生や、新分野(工学以外にも、地球物理学、物理学・天文学、ナノ科学、生命科学等)への計算機科学の適用範囲が広がる。
		データベース進歩	大規模データベース利用技術、次世代データベース技術の活用
		データ検索技術利用	あいまい情報(形状、イメージ、動作、映像等)の検索技術の進歩
測定処理技術	測定装置実装技術	3次元スキャニングデータ処理	高速・精密なX線CTの進歩と活用
	測定装置処理技術	3次元デジタルデータ化	X線CTデータのリアルタイム3Dデジタル化技術
ユーザーインターフェイス技術	マルチモーダルインターフェイスの進歩	感覚(力覚・触覚(Haptic)、音声入力・応答、等)の活用	・没入感を実現し(Real Rederingの進歩・・・HMDあるいはCAVE等)、触覚も忠実に再現する技術の台頭 例、トータルリコールの世界、マイノリティレポートのインターフェイス、 ・仮想的な触覚からの形状変形レスポンスの実現
		Web経由のテレレジスタンス機能の実現	空間を越えた、デジタルデータ操作の共有化
		知識ベース検索機能(d) (テキストではない、感覚を利用したデータ検索の実時間表示)	音声による予備操作を行いながら、過去の関連する不具合等を、形状認識機能を用いて、過去事例を強化現実感の中で重ね合わせる(非拘束・環境重畳型インターフェイス)。
		設計動作ナビゲーション機能(a)	・部位指示は、形状特徴認識後、過去事例を重畳する方式を取る。
ネットワーク技術	リモート可視化によるコラボレーション設計機能(b)	同期型：リアルタイムなテレレジスタンス型のリモート可視化による、コラボレーション設計機能	・アバター、仮想人物を解したリモート操作を実現する。 ・また、軽量データを用いたDMU操作を実現していると考え。 この場合、没入感を実現した仮想現実が必要である。即ち、リモート環境における設計者同士の一体感が必要であるため。
		非同期型：設計再現型(マルチモーダル)による非同期型のリモート可視化による、コラボレーション設計機能	・特に非同期型システムは、大学の設計教育、企業の新人設計者教育にも利用可能。
	即時解析型設計並行処理支援機能(c)	設計途上の製品設計情報からデスクトップCPU解析、部門毎のセンターCPU解析、企業毎のパソコン解析等をリアルタイム実行する。	これを実現するため、大規模データを高速に転送する、解析結果をCAD製品形状に重畳表示(強化現実：AugmentedRealityの手法)できる、等が必要と考える。
	設計情報について信頼性あるネットワークの構築	ディベンダブルネットワーク(高安全性ネットワーク)を使うことにより、高いセキュリティシステムが、設計情報の信頼性を向上する。	特に、スケラブルネットワーク(QoS(帯域、絶対/相対遅延、時刻精度)特性を提供するネットワーク)とダイナミックネットワーク(ダイナミックに負荷分散し、通信を確保することが可能なネットワーク)、の2つはキーワードである。

4. 10 まとめ

昨年度の結果を元に、個別の技術の絞込みを実施した。また、サステナブルという新たな評価基準を取り入れた。これにより、おぼろげながら「日本発の次世代開発システム」の具体的な姿が見え始めたと考えている。次年度は重要技術の関連を俯瞰して、次世代製品開発システムの概要をまとめたいと考えている。

最後に、一泊二日の合宿検討会をはじめとする検討会、多くの宿題を最大の力を発揮して協力してくれた委員各位、また、それを、粘り強くサポートしてくれた関係各位にお礼を申し上げたい。

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

5. 1 加工技術戦略の概要

5. 1. 1 加工技術の考え方

加工技術は、加工貿易という多少古めかしい言葉に凝縮されるように、産業振興を象徴する重要なキーテクノロジーである。また同時に、豊かで快適な暮らしや安全で安心な社会を維持するための基盤技術であり、世界的な競争力を維持し、新たな価値の創造を継続するためには、絶え間ない新技術の創出と戦略的な視点からの技術革新が必要不可欠である。幸い、素材から新しいものをつくりだす加工のプロセスは、非常に多様で柔軟性に富むため、加工技術は長年にわたってそうした要請に応えてきた。

さて、そうした要請への対応には、大きく分けて3つの方向がある。ひとつは、微細化、高精度化、高品位化などの技術課題への対応である。微細化に対応するのであれば、微細工具に始まり、使用する工作機械、計測法などにかかわる多くの技術課題を解決しなくてはならない。技術課題の連鎖、もっと的確な表現をすれば、技術課題カスケードへの対応が必要となる。次は、RP にみられるような新しい加工技術の創出である。3つ目は、後述の「ナノ精度 M4プロセス」にみられるような製造技術の新たな分野の確立である。これら3つのレベルの違いは歴然であるが、ひとつ目の技術課題への対応が必ずしも普通の技術の集積によって行われるものではなく、こうした変哲もないようなところに、結構オンリーワン技術が生まれていることに注意が必要である。そこで、こうした技術が埋没しないような工夫が、技術マップ、ロードマップの作成に際して必要であった。

一般に加工技術は、鋳造、溶接・接合、塑性加工、機械加工、特殊加工のような大分類、あるいは、さらに細分化された鍛造、圧延、引抜き、押出し、深絞りなどの小分類に分けられる。一方、微細加工、高精度加工、高品位加工、高能率・高速加工、難加工材の加工、サステイナブルな加工（持続社会のための加工技術）といった共通の視点から加工技術を分類することも可能である。個別の加工技術を縦串とすれば、微細化、高精度化、高品位化などの技術課題からの視点は横串であり、縦串と横串からなるマトリクス上に加工技術を配置することも可能である。

各マトリクス上に分類された加工技術には、非常に僅かな最新の加工技術を除けば、いずれにも新しい側面と古い側面が混在する。そのためマトリクスの位置を表す縦串と横串を単に指定するだけでは、新しい技術を際立たせ、その方向性を示すことが難しい。そこで本ロードマップでは、ある程度の無理を承知したうえで、いくつかの新しい加工技術の枠組みを用意することとした。また新しい枠組みを用意した加工技術には、多少違和感があるかもしれないが、従来の加工技術とは一線を画するような名前を付けることとした。

しかし鋳造、溶接、塑性加工などのように簡潔明快な命名は難しく、後述の「NFF マシニングシステム」、「ナノ精度 M4 プロセス」などのように、比較的長い名前となった。ただし今回の方法でも、ある程度大きな技術として分類することができなければ、それを取り上げることが難しい。

なお本ロードマップでは、広く加工技術を対象としているが、レーザ加工については別途ロードマップが作成されることとなったため、対象外した。また MEMS については技術戦略ロードマップが既に報告されているので、それに関連する加工技術、すなわち、リソグラフィやドライ・ウェットエッチング技術等についても同様に割愛することとした。

5. 1. 2 技術マップの構成

革新的なものづくりに対応して、全く新しい概念の加工技術や加工技術の変革が必要とされる場合と継続的・連続的な技術革新が要求される場合があり、本ロードマップではこれらを総合してイノベーションを創出するための加工技術を戦略的に俯瞰した。基本的には、新しい加工法・加工技術の創出と時代の要請に沿った新たな枠組みでの加工技術の革新と高度化の視点からロードマップが構成されている。また各加工法において、微細化や加工精度の指標となる加工単位と加工能率との関係をマップに示している。微細な穴あけのための各種加工技術との比較が行なわれている場合もある。原則として現状の位置づけと加工技術本来のポテンシャルとが示されており、これより将来的な技術の動向と可能性を示すこととした。ただし加工法によっては、これとは異なる独自のマップを用いている。一般に精度と能率の関係は、概ね反比例の関係となることが知られている。本ロードマップでは両対数座標を用いてプロットしているので、5.17.1 の加工技術マップまとめの赤い直線で示されるように両者の関係が右下がりの直線になることに注意されたい。したがって、この直線より右にある場合は精度が向上し、上にある場合は能率が向上する。

本ロードマップでは、最初に新しい枠組みの加工技術、次いで従来の枠組みでの加工技術を取り上げている。したがって最初に聞きなれない加工技術が出てくるので、以下にそれらを簡単に説明する。

「NFF マシニングシステム」は、加工機系、工具系、加工システム系における「揺らぎ」を 10 の⁻⁹ 乗の相対精度に抑えることを目標とする除去加工である。除去加工における加工精度は著しく向上しているが、微細な加工では、部品寸法の微小化にともなって相対精度が低下するため、加工機系、工具系、加工システム系における揺らぎが顕在化する。そこで本技術では「揺らぎ」という全く新しい視点から、加工精度を見直し、これを実質的に無くすことにより、特に微細な加工領域においてこれまでになく精度と品位を得ようと

するものである。

「ナノ精度 M4 プロセス」はマイクロ・メゾ・サブミリ領域におけるナノ精度の機械的な製造技術であり、当然のことながら加工が中心的な課題となる典型的な加工技術駆動型製造技術である。以上の二つの課題は似ているように思われるが、各節で後述されるように、加工技術のアプローチの仕方と加工対象に大きな違いがあり、別の加工技術とすべきものである。両者の違いを簡単に説明すると、NFF マシニングシステムでは加工機系とその制御系が、ナノ精度 M4 プロセスでは工具系・計測系が中心課題である。

「材料・エネルギー最小化(MMEM)加工技術」は、環境に軸足をおいて加工の課題に取り組む全く新しい加工の枠組みを提案するものである。従来、加工に軸足をおいて環境等の課題に取り組んでいたが、それらの関係を完全に逆転することにより、より自由な発想で加工の効率化・グリーン化に貢献する。

「超機能性インターフェース創成加工」は、従来のコーティング等の表面処理技術を、ひとつのインターフェース要素の製造技術として位置づけ、新しい機能を有する界面要素のより積極的な創成技術の開発を促進するものである。

「スーパークオリティ RX」は、RP (ラピッドプロトタイピング)、RT (ラピッドツーリング)、RM (ラピッドマニファクチャリング) として個別に提案されていた加工技術を、ひとつの枠組みで捉えなおし、将来的に拡大することが予想される RM への革新的な技術開発に対応するものである。

最後の「局所環境制御加工」は、加工領域を局所的に制御することにより、加工の効率化を向上させるだけでなく、環境に配慮した加工を実現させる技術である。

以上の新たに命名した加工技術に関しては、既に、その技術要素についての研究が進められているものもあるが、ここでは個別の加工技術としてではなく、より大きな枠組みでの加工技術とすることにより、そのイノベーションと普及を促進することを狙いとする。

5. 2 加工に関する重要技術

5. 2. 1 重要技術抽出の考え方

(1) 背景と抽出方法

ものづくり戦略のうち、新しい加工技術の創出と変革は極めて大きなインパクトを有する。中長期的な視点から戦略的に重要な加工技術を抽出する必要がある。本ロードマップでは、レーザー加工やフォトリソグラフィに代表される半導体加工を除く加工技術全般を俯瞰し、新しい枠組みの加工技術、従来の枠組みでの加工技術を大分類し、それぞれの分野において、技術要素を取り上げてロードマップの作成を行った。さらに 14 のロードマ

ップから最も重要な技術を1項目抽出し、下記の最重要技術とした。

また持続可能な社会のための加工技術としては、技術ロードマップの重点化評価項目④「省エネ、省資源、環境」に◎がついたものを取り上げることとした。

(2) 重要技術概要

a) 「NFF マシニングシステム」超々精密要素技術(機械的・熱的揺らぎレス技術)

10の-6乗精度の超精密加工から10の-9乗精度の超々精密加工を目指すための各種機械要素技術(超高制振サーボモータ・DDモータ・リニアモータの開発等)、工作機械等の構成技術(超高減衰構造材料の開発等)、超高精度温度・振動制御・自動補償技術

b) 「ナノ精度M4プロセス」マイクロ工具・マイクロデバイスの形状・機能計測技術

ナノ精度非接触高速3D形状(エッジ・アペックス・急峻面)測定システム、機上計測用ナノ精度センサの開発、ナノ精度接触検知、センサー一体型保持機構、サブサーフェスダメージ層測定・評価技術

c) 「材料・エネルギー最小化(MMEM)加工技術」

除去材料・使用エネルギー・切削油や離型材などの環境負荷物質の削減・最小化を実現するための各種加工プロセスの組み合わせ・複合化技術。

d) 「超機能性インターフェース創成加工」高機能環境適応型軽元素ベースコーティング

レアメタルなどの希少資源を使用しない軽元素(炭素、窒素、硼素等)ベースの高機能性コーティング。具体的には各種のダイヤモンド・ダイヤモンドライクカーボン(DLC)・ナイトライド(窒化ホウ素、カーボンナイトライドなど)等による高機能トライボコーティングやドライ加工のためのハードコーティングの開発

e) 「スーパークオリティ RX」RP(ラピッドプロトタイピング)、RT(ラピッドツーリング)、RM(ラピッドマニファクチャリング)のシームレスな統合化技術

高品位・テーラーメイドエンドユース・ロングタームプロダクツ、高精度・高能率・超短納期RM加工技術、RM用多用途材料の開発、RMビジネスモデル

f) 「局所環境制御加工」局所環境発生・制御技術

極低温(液体窒素温度)から気化温度までの局所温度制御、真空から数気圧までの圧力

制御、バーチャルシールド技術による局所雰囲気制御による超柔軟材料、超高温材料、高反応性材料の高精度高能率マイクロ加工の実現

g) 電気化学加工—ナノ放電加工

ナノオーダーの放電痕が得られる微小エネルギーの放電パルスの開発、工具電極消耗がほとんどない（消耗率が 0.01%以下）超精密加工の実現。さらに、導電性ダイヤモンド、CVD DLC など、高融点・高沸点、高熱伝導率の電極材料の開発により、 $\phi 5\mu\text{m}$ 径のワイヤ電極による微細ワイヤ加工が実現する。

h) 鋳造スーパーニアネット凝固システムを利用した生産技術

マイクロ凝固システム・高精度鋳造システムなどにおいて、より小さく、より薄く、より高い寸法精度、より高い表面性状を目指した技術開発。ニアネットシェイプ化により機械加工不要な鋳物作りを目指す。

i) プラスチック成形—高付加価値射出成形

高速充填と高精度射出量・圧力制御やホットランナに代わるランナレス成形システム（型・成形機一体化）による微小成形、微小転写成形

j) 溶接・接合—MEMS などのデバイス実装常温接合

多数枚のウェハを積層し、MEMS デバイス・集積回路をよりコンパクト化する。シリコンウェハにシリコン以外の薄膜材をクラッドし、デバイスをより多機能化、高機能化する。

k) 金属成形加工—難加工材のプレス成形法

ハイテン材やマグネシウムなどの難加工材に対応した金型技術、プロセス技術、シミュレーション技術の開発

l) 機械加工 I（多軸工作機械および加工システム）—機上計測による自律補正技術

機上計測精度を飛躍的に向上及び、機上計測結果のフィードバックにより、自動的に NC データの変更・再加工を行う。

m) 機械加工 II（切削加工、切削工具）、人間・計測系—新工具母材とそのコーティン

グ技術

レアメタルから他の材料への転換による資源の有効利用、高速・高能率切削における耐クリープ性の向上、超格子化、ナノコンポジット化等による超高硬度材切削用工具の開発、炭素系の超高性能コーティングの開発、チタン合金などの切削性能を飛躍的に向上させるコーテッド工具の開発

n) 機械加工 III (研削加工、研磨加工) —超砥粒砥石製造、利用技術

大口径極薄砥石の開発、粒度のそろった砥粒を均一に分散させた極微粒砥石を開発、集中度 200 を超えるダイヤモンド砥石の開発、砥石の先端形状をナノ精度で成形する技術の開発、有効砥粒切れ刃数が増えるように目立てする技術の開発、砥石表面のみの砥粒切れ刃密度、切れ刃高さを高度に調整する技術

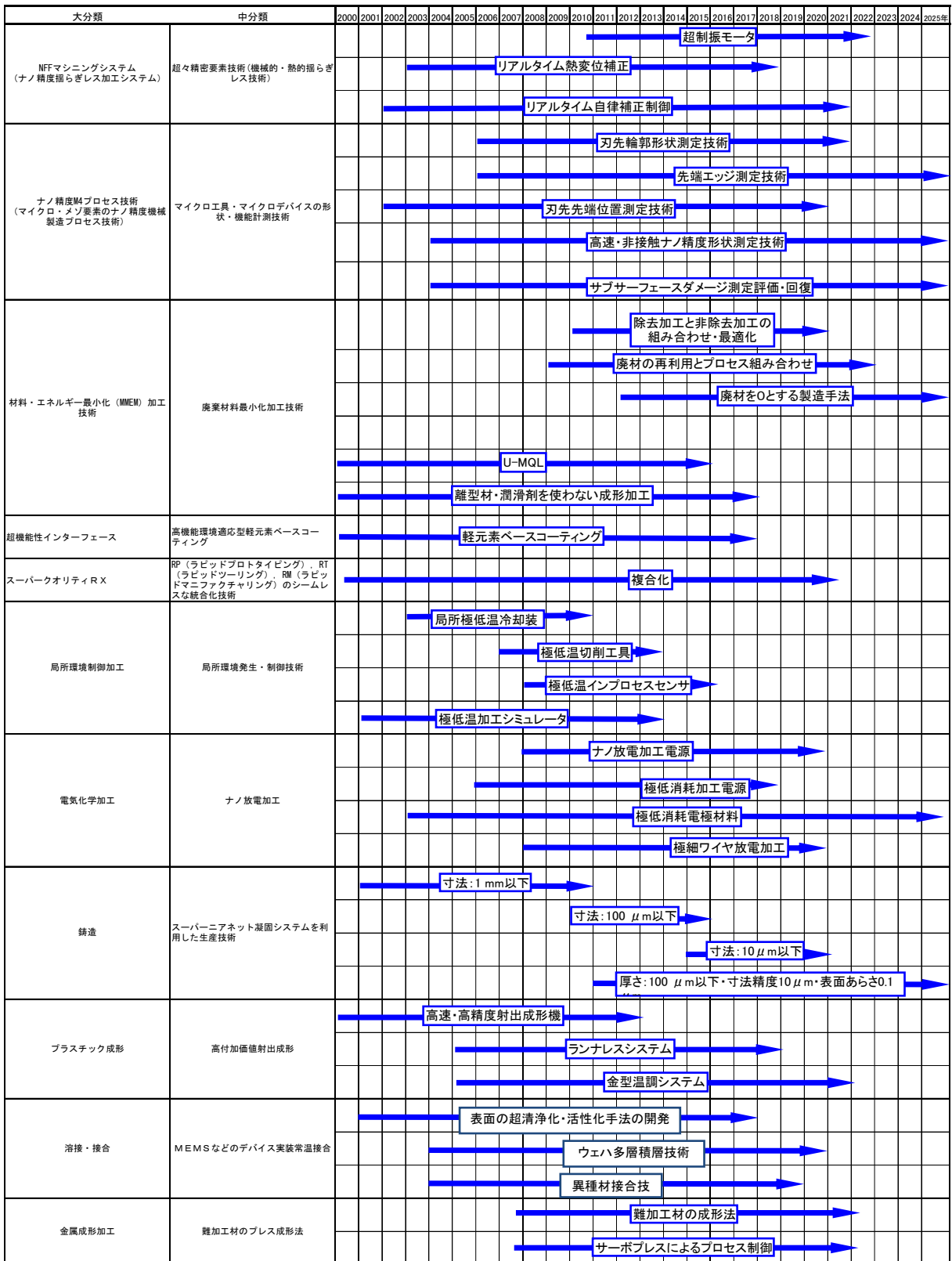
5. 2. 2 重要技術マップ

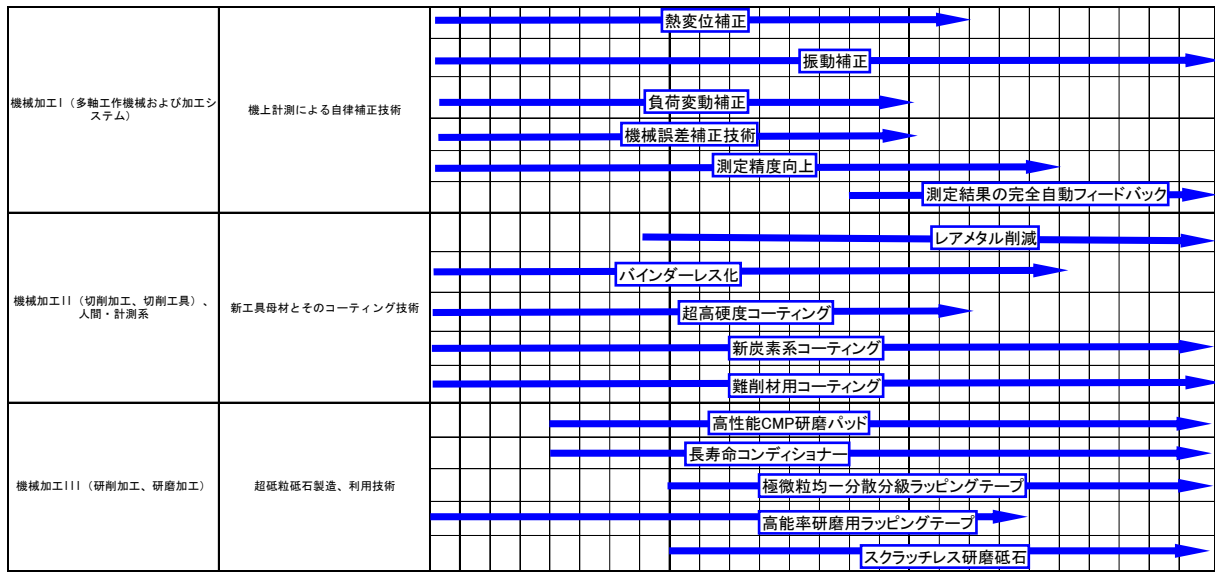
ものづくり技術戦略マップ（加工技術）

大分類	中分類	要素技術概要
NFFマシニングシステム (ナノ精度揺らぎレス加工システム)	超々精密要素技術(機械的・熱的揺らぎレス技術)	10の-6乗精度の超精密加工から10の-9乗精度の超々精密加工を目指すための各種機械要素技術(超高速振サーボモータ・DDモータ・リニアモータの開発等)、工作機械等の構成技術(超高速減衰構造材料の開発等)、超高精度温度・振動制御・自動補償技術
ナノ精度M4プロセス技術 (マイクロ・メゾ要素のナノ精度機械製造プロセス技術)	マイクロ工具・マイクロデバイスの形状・機能計測技術	ナノ精度非接触高速3D形状(エッジ・アベックス・急峻面)測定システム、機上計測用ナノ精度センサの開発、ナノ精度接触検知、センサー一体型保持機構、サブサーフェスダメージ層測定・評価技術
材料・エネルギー最小化(MMEM)加工技術	廃棄材料最小化加工技術	除去材料・使用エネルギー・切削油や離型材などの環境負荷物質の削減・最小化を実現するための各種加工プロセスの組み合わせ・複合化技術
超機能性インターフェース	高機能環境適応型軽元素ベースコーティング	レアメタルなどの希少資源を使用しない軽元素(炭素、窒素、硼素等)ベースの高機能性コーティング。具体的には各種のダイヤモンド・ダイヤモンドライクカーボン(DLC)・ナイドライド(窒化ホウ素、カーボンナイドライドなど)等による高機能トライボコーティングやドライ加工のためのハードコーティングの開発
スーパークオリティRX	RP(ラビッドプロトタイプング)、RT(ラビッドツーリング)、RM(ラビッドマニファクチャリング)のシームレスな統合化技術	高品位・テラーメイドエンドユース・ロングタムプロダクツ、高精度・高効率・超短納期RM加工技術、RM用多用途材料の開発、RMビジネスモデル
局所環境制御加工	局所環境発生・制御技術	極低温(液体窒素温度)から気化温度までの局所温度制御、真空から数気圧までの圧力制御、パーチャルシールド技術による局所雰囲気制御による超柔軟材料、超高温材料、高反応性材料の高精度高効率マイクロ加工の実現
電気化学加工	ナノ放電加工	ナノオーダの放電痕が得られる微小エネルギーの放電パルスの開発、工具電極消耗がほとんどない(消費率が0.01%以下)超精密加工の実現。さらに、導電性ダイヤモンド、CVD DLCなど、高融点・高沸点、高熱伝導率の電極材料の開発により、φ5μm径のワイヤ電極による微細ワイヤ加工が実現する。
鋳造	スーパーニアネット凝固システムを利用した生産技術	微細部材への適用やニアネットシェイプ・機械加工フリー技術
プラスチック成形	高付加価値射出成形	高速充填と高精度射出量・圧力制御やホットランナに代わるランナレス成形システム(型・成形機一体化)による微小成形、微小転写成形
溶接・接合	MEMSなどのデバイス実装常温接合	多数枚のウエハを積層し、MEMSデバイス・集積回路をよりコンパクト化する。シリコンウエハにシリコン以外の薄膜材をクラッドし、デバイスをより多機能化、高機能化する。
金属成形加工	難加工材のプレス成形法	ハイテン材やマグネシウムなどの難加工材に対応した金型技術、プロセス技術、シミュレーション技術の開発
機械加工I(多軸工作機械および加工システム)	機上計測による自律補正技術	機上計測精度を飛躍的に向上及び、機上計測結果のフィードバックにより、自動的にNCデータの変更・再加工を行う。
機械加工II(切削加工、切削工具)、人間・計測系	新工具母材とそのコーティング技術	レアメタルから他の材料への転換による資源の有効利用、高速・高効率切削における耐クリープ性の向上、超格子化、ナノコンポジット化等による超高硬度材切削用工具の開発、炭素系の超高性能コーティングの開発、チタン合金などの切削性能を飛躍的に向上させるコーテッド工具の開発
機械加工III(研削加工、研磨加工)	超砥粒砥石製造、利用技術	大口径極薄砥石の開発、粒度のそろった砥粒を均一に分散させた極微粒砥石の開発、集中度200を超えるダイヤモンド砥石の開発、砥石の先端形状をナノ精度で成形する技術の開発、有効砥粒切れ刃数が多くなるように目立てする技術の開発、砥石表層のみの砥粒切れ刃密度、切れ刃高さを高度に調整する技術

5. 2. 3 重要技術ロードマップ

ものづくり技術戦略ロードマップ（加工技術）





5. 3 NFF (Nano-Fluctuation Free) マシニングシステム

5. 3. 1 NFF マシニングシステムの概要

(1) NFF マシニングシステムとは

光エレクトロニクス、バイオ・医療、通信等々様々な分野における製品機能の飛躍的向上やMEMSをはじめとする新産業分野の拡大に伴い、超精密・微細切削加工技術の高度化に対する要求が高まっている。

現状切削加工では、形状精度で数十nm、表面粗さで数nmのオーダーまで実用化されているが、近い将来ではさらに一桁高い精度が要求されるであろうと予想される。

また、超精密・微細加工において問題となる加工能率についても飛躍的な向上が望まれており、比較的加工能率の高い切削加工の適用範囲拡大への要求も高い。

こうした超精密・微細加工においては、熱や振動といった外乱、入力指令に対する機械運動の誤差や遅れ、工具やワークの不均質性といった加工機系、工具系、加工システム系の「揺らぎ」(Fluctuation)が僅かであっても加工精度に大きな影響を与えることとなる。

そこで、これらの Fluctuation を極力排除するとともに、たとえ僅かでも発生する Fluctuation に対して補正を加えることで、加工安定性を極限まで追及し、精度と能率の両方を飛躍的に向上させる次世代ナノ加工技術としてNFF (Nano-Fluctuation Free) マシニングシステムを提案する。

(2) NFF マシニングシステム実現に向けた技術課題

NFF マシニングシステムを実現するためにクリアすべき技術課題として、加工精度に悪影響を与える振動・熱対策技術、加工機の応答性向上技術、ナノ精度補償技術、工具・材料開発技術に分類した。詳細要素技術については、別紙技術マップを参照願いたい。

①Vibration Free 技術

切削加工において、振動は特に加工面品位に悪影響を与えることから、重要課題の一つとして、永年にわたって研究開発が行われてきた。

特に高い加工面品位が要求される超精密・微細加工や表面機能を付加するような加工においてはシビアな問題となる。

振動問題への対応としては、まず第一に発生を極力抑制することである。工作機械における主な振動発生要因は、駆動源であるモータの回転振動、摺動面や軸受部などで発生する摩擦振動、加減速運動時の慣性力、加工時に発生する切削抵抗などである。これら発生要因を極限まで低減する必要があるが、そのためには単に要素開発だけでなく、材料やトライボロジといった幅広い基盤技術開発も求められることが予想される。

上記のように、振動の発生を低減させることはできても完全に0にすることは極めて困難である。そこで発生した振動をキャンセルしたり、振動発生を抑制するように切削条件を自律的に補正するなどの方策が必要になる。しかし、刻々と変化する切削状況を適格に捉えて補正を加えることは難しく、例えば単に摺動面の摩擦係数を低くするだけでなく、速度・加速度変化に伴う摩擦係数の変化を一定（又は線形）にして補正を容易に行えるようにするといった、新たな視点による研究開発も行われている。

②Thermal-distortion Free 技術

発熱に伴う工作機械の熱変位は振動と共に、切削加工の永遠の課題として取り組まれている。

その対応の考え方も振動と同じく、発熱（と熱変位）の抑制と発生した熱（変位）に対する補正の2方向からのアプローチが考えられる。

その主な発生源もモータ、摺動面・軸受部、加工点であることから発熱抑制に関しては、振動対策とセットでの研究開発が必要である。

熱補正に関しては工作機械の稼動状況によって変化する温度変化（熱変位）に対して的確な補正制御を行う必要があることから、実現へのハードルは非常に高い。

③応答性向上技術

工作機械そのものの機械誤差を排除し、振動・熱対策を行っても、制御指令通りに工作機械が運動しなければ加工精度の向上は図れない。制御指令に対して機械運動の追従性と安定性を極限まで高め、正確にトレースしていく必要がある。

追従性で特に問題となるのが制御ゲインとスティックスリップである。高精度な運動制御を行うには制御ゲインを高めればよいが、ゲインを上げすぎると機械運動が不安定になり返って加工精度に悪影響を及ぼしてしまうため、ゲインを上げても安定した機械運動を保つことができる制御技術が必要となる。

また、微細送り運動では、制御分解能を上げてスティックスリップによって指令値通りの微細送りが出来ないという問題があるため、スティックスリップを排除した送り駆動機構も望まれるのではないかと。

一方、安定性を上げるためには回転角や制御の分解能を上げたり、特に回転運動についてはワウフラッターを極限まで抑えるなどして、より高い運動安定性を確保する必要がある。

④ナノ精度補償技術

ナノレベルの加工精度を追求するためには、精度補償技術も極めて重要となる。工具やワークの状態をセンシングし最適な補正を加えるとともに、ナノ・サブナノオーダーの位置決め精度を確保するなど、工作機械及び加工状態に対する精度補償とともに、加工後のワークに対する精度補償が必要である。

センシング技術としては、工具（と石）の刃先位置・形状や工具及びワークの回転振れ・速度の計測精度を飛躍的に向上させるとともに、これまで検知が困難であった工具摩耗やチッピング、と石ドレス状態さらには加工点温度のセンシング技術の実用化が望まれている。

また、位置決め精度の向上では、誤差要因であるバックラッシュやピッチ誤差、軸クランプ誤差、慣性力を排除するとともに、制御装置・検出装置の分解能をピコメートルオーダーまで上げる必要がある。

加工精度補償技術としては、ナノ精度の機上計測の実用化とともに、クランプ力によるワーク変形を起こさない新たな把持機構が必要である。

⑤材料・工具開発技術

切削加工においては、加工機だけでなく工具の性能も精度・効率を左右する大きな要因である。また、ナノレベルの精度が要求される高機能製品の加工においては、加工される材料の品質も重要視されることから、工具及びワークもN F F マシニングシステムを構成する重要な要素として捉え、その高度化に向けた課題を提案する。

ナノ加工においては、精度と高率はもちろんのこと、材料や加工形状の多様化も進んでおり、微細・微小形状でありながら最適な機能を有する形状の工具が要求される。また、と石に関しては、均質性やツルーイング・ドレッシング技術までもが求められることとなる。

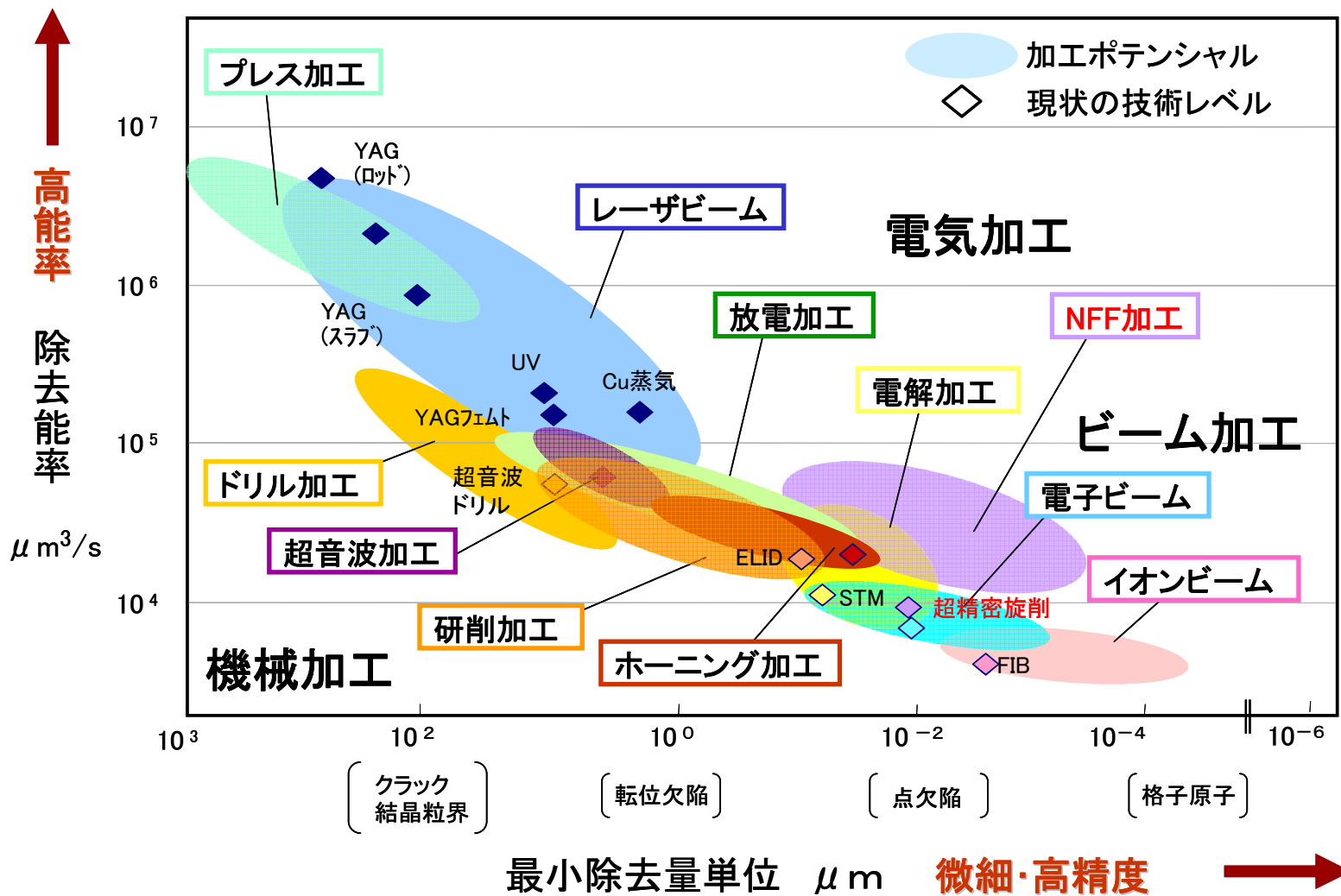
また、欠陥の全くないパーフェクトマテリアルや現在問題となっているレアメタルの代替材料開発（タングステンに関しては新エネルギー・産業技術総合開発機構において開発プロジェクトが進行中）の推進も重要課題である。

グローバル競争環境が激化する中、わが国製造業の競争力強化に向けた新産業分野創造においてはナノ精度高効率加工が不可欠であると考え、N F F マシニングシステムを提案した。

しかし、その実現にむけた開発課題には解決が困難なものも多だけでなく、材料技術から要素技術、計測・測定技術、制御技術にいたるまで広く横断的に取り組む必要がある。

近い将来、N F F マシニングシステムが現実のものとなり、ナノ加工分野においてもわが国がフロントランナーとなることに期待したい。

NFF加工技術マップ (各種微細穴あけ技術との比較)



5. 3. 2 技術マップ (NFF マシニングシステム)

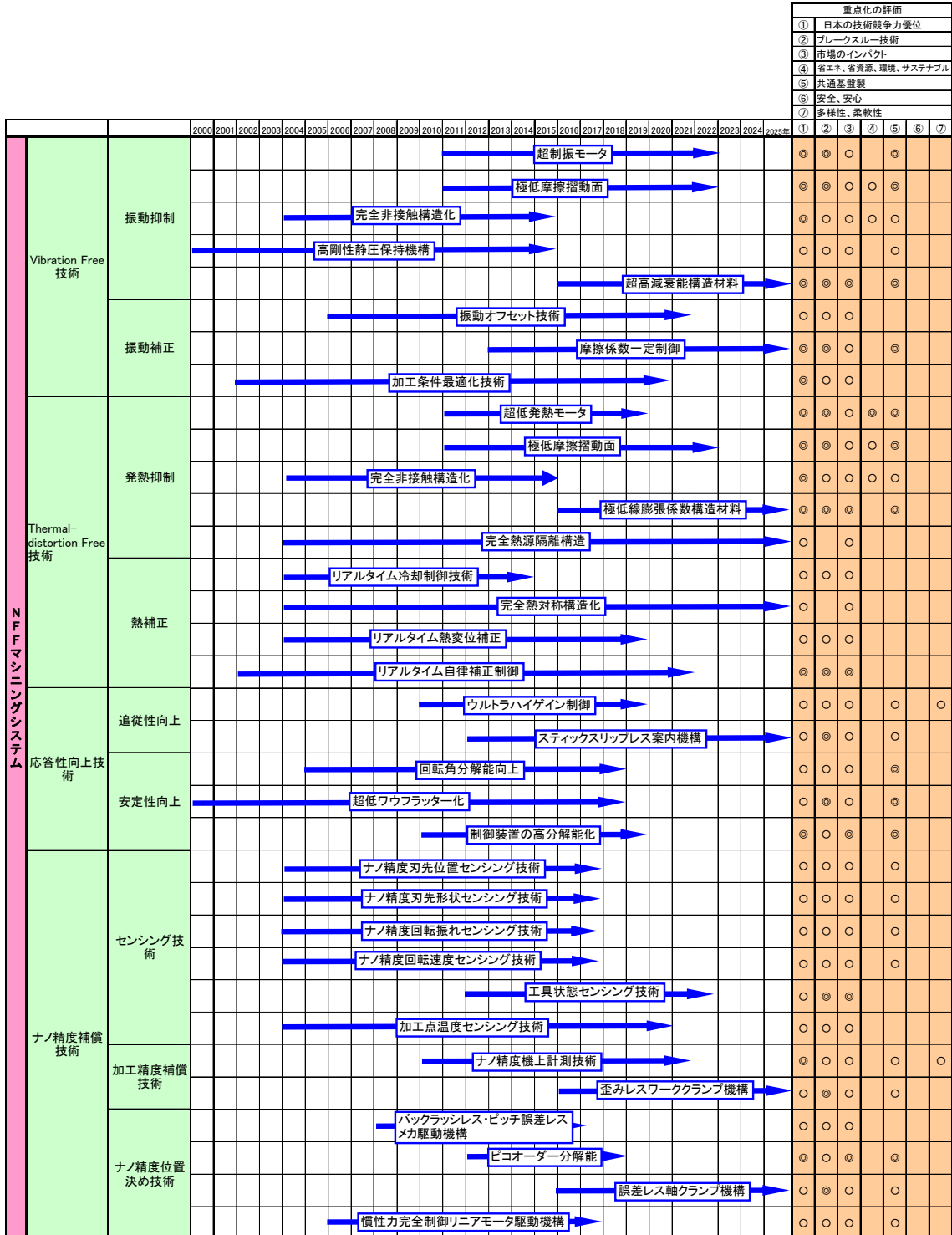
ものづくり技術マップ (NFFマシニングシステム)

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考	
NFFマシニングシステム	Vibration Free技術	振動抑制	超制振モータ	制振性を飛躍的に高めたサーボモータ、DDモータ	
			極低摩擦摺動面	機械摺動部の摩擦係数を低減	
			完全非接触構造化	完全非接触構造(例、リニアモータ、エアスライド、空気静圧軸受等)の応用拡大	
			高剛性静圧保持機構	剛性を飛躍的に高めた静圧保持機構	
			超高減衰能構造材料	他の材料特性を現状と同等以上に保ちつつ、減衰能が飛躍的にUPする構造材料の開発	
		振動補正	振動オフセット技術	発生する振動をキャンセルする技術(例:逆位相振動による振動相殺)	
			摩擦係数一定制御	速度・加速度変化に伴う摩擦係数の変化を一定化(または線形化)することで振動制御を容易にする。	
	リアルタイム自律補正制御		振動をモニタリングしつつリアルタイム且つ自律的に振動補正を行う		
	Thermal-distortion Free技術	発熱抑制	超低発熱モータ	発熱を極めて低く抑えたサーボモータ、DDモータ、リニアモータ	
			極低摩擦摺動面	機械摺動部の摩擦係数を低減	
			完全非接触構造化	完全非接触構造(例、リニアモータ、エアスライド、空気静圧軸受)の応用拡大	
			極低線膨張係数構造材料	他の材料特性を現状と同等以上に保ちつつ、線膨張係数を飛躍的に低減する構造材料の開発	
			熱源完全隔離構造	発熱減を完全に隔離又は断熱可能な機械構造	
		熱補正	リアルタイム冷却制御技術	温度をモニタリングしつつリアルタイムに冷却を行い温度変化を低減する。	
			完全熱対称構造化	完全な熱対象構造とすることで、熱変位制御を容易にする	
	Nano-Fluctuation Free Machining system	追従性向上	ウルトラハイゲイン制御	制御ゲインを飛躍的に上げ、加工精度・効率を向上させる。	
			スティックスリップレス案内機構	スティックスリップを排除し、指令値通りの極微小(ナノオーダー)送りを可能とする	
		安定性向上	回転角分解能向上	回転角の分解能を高め、高精度な回転制御を実現	
			超低ワウフラッター化	ワウフラッターを極限まで抑え、ムラのない安定した回転運動を実現。	
			制御装置の高分解能化	例えば、回転数などの小数点以下の設定を可能にするなど、制御分解能を高める。	
		ナノ精度補償技術	センシング技術	ナノ精度刃先位置センシング技術	工具刃先位置をナノオーダーで計測し、必要な補正を加える。
				ナノ精度刃先形状センシング技術	工具刃先の輪郭形状、刃先先端角をナノオーダーで計測し、必要な補正を加える。
	ナノ精度回転振れ(バランス)センシング技術			工具又はワークの回転振れ(バランス)をナノオーダーで計測し、必要な補正を加える。	
	ナノ精度回転速度センシング技術			回転速度の変動を高精度に計測し補正を加えることで安定した回転制御を行う。	
	工具状態センシング技術			工具摩耗、チッピング、と石ドレス状態等をセンシングし必要な補正又は措置を加える。	
	加工点温度センシング技術			加工点の温度をセンシングし、必要な補正を加える。	
	加工精度補償技術		ナノ精度机上計測技術	ナノ精度の計測をオンマシンで行う。	
			歪みレスワーククランプ機構	把持力によるワークの変形を排除	
	位置決め技術		バックラッシュレス・ピッチ誤差レスメカ駆動機構	バックラッシュ及びピッチ誤差を排除または高精度(ナノオーダー)に補正可能なメカ機構	
			ピコオーダー分解能(制御装置・検出器)	制御装置・検出装置の分解能をピコオーダーまで向上	
誤差レス軸クランプ機構		位置決め後の軸クランプによって生じる誤差を排除			
慣性力完全制御リニアモータ駆動機構		位置決め誤差に悪影響を与える慣性力を制御可能なリニアモータ駆動機構			

NFFマシニングシステム Nano-Fluctuation Free Machining system	材料・工具開発技術	材料開発技術	パーフェクトマテリアル開発	超高純度動金属、金属ガラス、アモルファス、セラミックス等の欠陥のないワーク材料の開発
			レアメタル代替材料開発	レアメタルと同等又はそれ以上の材料特性を持つワーク材料、工具材料の開発
		ナノ精度切削工具開発	ナノ精度輪郭形状ダイヤモンド工具開発	ナノ精度の輪郭形状を有するダイヤモンド工具の開発
			任意輪郭形状切削工具開発	材料、加工形状、要求精度等の条件によって異なる最適な輪郭形状の切削工具
			マイクロ工具成形技術	マイクロオーダー以下の超微細形状工具の成形技術
		ナノ精度研削工具開発	超高集中度と石開発	集中度を飛躍的に高め、研削精度、と石寿命を向上
			均一分級・分散と石開発	分級精度を高め、分散率を均一にすることで、安定した加工精度を確保
			ナノ精度ツルージング技術	と石ツルージングをナノ精度で行い、加工精度を向上
			ナノ精度ドレッシング技術	と石ドレッシングをナノ精度で行い、加工精度を向上

5. 3. 3 ロードマップ (NFF マシニングシステム)

ものづくり技術ロードマップ (NFFマシニングシステム)



NEPエニクスグループ	材料開発技術	パーフェクトマテリアル開発	◎	○	◎	◎				
		レアメタル代替材料開発	◎	◎	◎	◎				
	ナノ精度切削 工具開発	ナノ精度輪郭形状ダイヤモンド工具開発	◎	○	◎					
		任意形状輪郭形状切削工具開発	◎	◎	◎					
	ナノ精度研削 工具開発	マイクロ工具成形技術	◎	○	◎					
		超高集中度と石開発	◎	◎	◎					
		均一分級・分散と石開発	◎	◎	◎					
		ナノ精度ツルージング技術	○	○	○					
		ナノ精度ドレッシング技術	○	○	○					

5. 4 ナノ精度 M4 プロセス

5. 4. 1 ナノ精度 M4 プロセスの概要

(1) ナノ精度 M⁴ プロセスとは

日本の“ものづくり”が、これからも世界をリードしていくためには、海外の技術では到達できない、より高い精度と付加価値を持った製品開発を強力に推進していかなければならない。例えば、ナノオーダーの3次元超平滑表面上に機能性微細構造が形成されたマイクロ構造体への需要が急増してくると予想されるが、その創成には従来の超精密加工技術のみでは対応できず、図5. 4. 1に示した範囲をカバーする加工技術の創出が新たに必要である。そのために、これまで独自に発展、深化してきた様々な機械加工技術に関して、その加工対象の大きさを数 μm オーダにまで小さくすると同時に、加工精度をナノオーダーまで高めたナノ精度マイクロ機械加工技術 (Micro/Meso Mechanical Manufacturing; 以下 M⁴ プロセスという) を提案する。

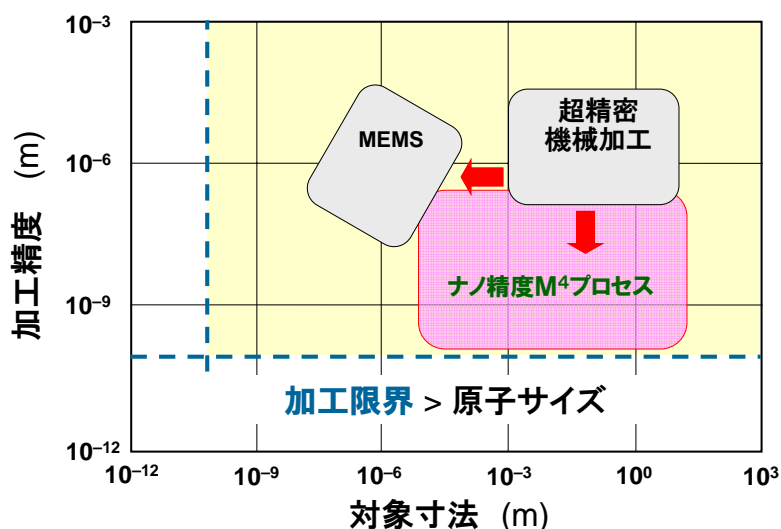


図5. 4. 1 ナノ精度 M⁴ プロセスにおける加工対象

(2) ナノ精度 M⁴ プロセス実現に向けた技術課題

マイクロメカニズム、マイクロマシンといったシリコンの超微細加工技術を用いた機能性構造体、いわゆるMEMS製品の開発が盛んに行われてきた。これらは、主にリソグラフィ技術を駆使してミクロンあるいはサブミクロンオーダーのパターンや形状を創成するものである。一方で最近では、マイクロレンズアレイ、ホログラム光学素子、光導波路などのように、シリコン以外の材料からなる部品も多くなってきている。これらの大きさは1mm以下のいわゆるサブミリサイズのものもあり、形状も複雑である。しかも材料自体も高硬度、高脆性、高融点のものが多いため、前述したようなリソグラフィ技術はもちろん、レ

一ザ、電子ビームなどの熱的加工が不向きで、その加工は特に難しい。また加工能率、加工コストの点からも、低コストな高能率微細加工法が望まれている。このような加工ニーズの高まりの中、加工能率が高く、表面形状の創成能力に優れた機械的方法でこれらの加工を行おうという試みが既に始まっている。しかしこのような 10 ミクロンからサブミリサイズの加工技術である M⁴ プロセス技術に関しては十分に確立されておらず、将来の技術確立へ向け、極めて重要な研究領域である。

ナノ精度 M⁴ プロセスの代表的なものを表 5. 4. 1 に示す。加工メカニズムは従来の機械的加工法とほとんど同じであると予想されるが、加工対象が小さくなることにより新たな問題が生じてくる。例えば、

- ① M⁴加工機、システムの開発：加工力制御が可能な多軸制御ナノ精度マイクロ加工機の開発が必要になる。
 - ② M⁴プロセス複合化技術：複合加工に対応したユニット開発が必要。
 - ③ M⁴プロセス工具開発：使用する工具が微小になるため、その製作技術を新たに開発しなければならない。
 - ④ M⁴プロセス計測評価技術：加工力自体も小さくなるため、微小力の測定、制御技術が新たに必要になる。また加工形状が小さいため、新たな形状測定技術が必要になる。さらに、加工面のサブサーフェースダメージの評価法の開発も不可欠である。
 - ⑤ M⁴プロセス加工メカニズム解明：除去単位の極小化のためには材料自体の除去特性の把握が必要で、加工シミュレーション、FEM と分子動力学法を融合した大規模分子レベルシミュレーション、材料変形や熱挙動等の複数の物理現象を総合的に解析するためのマルチフィジックスシミュレーションなどの新解析手法の開発が不可欠である。
- などである。

表5. 4. 1 マイクロ機械加工の種類

砥粒加工	マイクロ研削 マイクロ研磨 マイクロ超音波加工 マイクロアブレイシブジェット加工 等。
切削加工	マイクロ切削 マイクロミーリング 等。
その他	マイクロ放電加工 マイクロ付着加工 マイクロ電鋳加工 マイクロレーザ加工 マイクロRP 等。

さらに、従来の加工サイズではほとんど問題にならなかったり、あるいは無視できたような現象も、M⁴プロセスでは無視できなくなることも十分に予想される。例えばマイクロ研削加工においては、小径砥石のツルーイング、ドレッシングやその使用技術が問題となろう。その解決のためには、

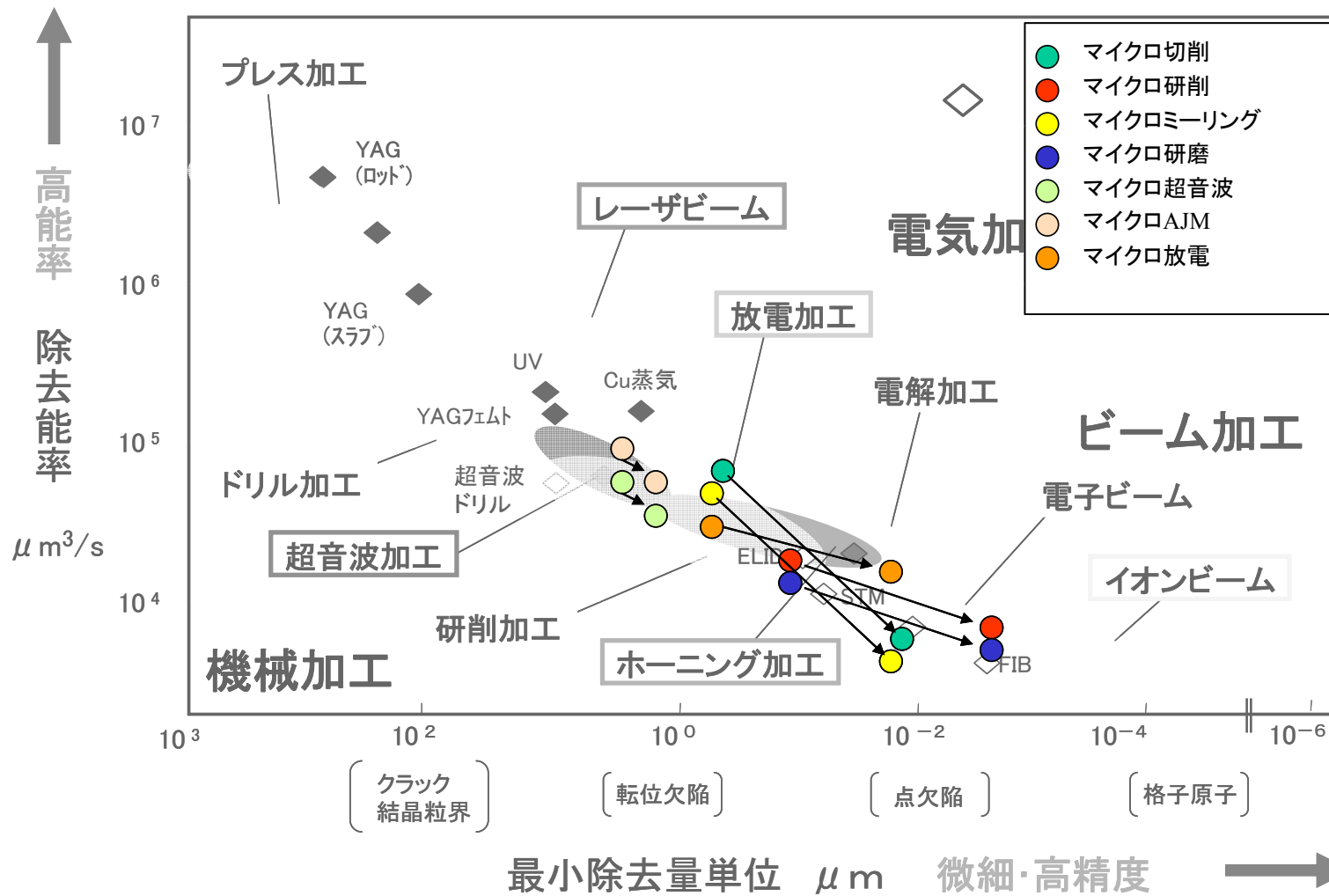
- 有効切れ刃が多くなるようなツルーイング法、ドレッシング法の開発。
- 超高集中度の砥石の開発。
- 砥石摩耗、表面粗さが小さくなるような研削方法の開発。

などが重要になる。また工作物自体が小径の場合には、加工力が小さくなるような工夫（超音波研削など）も検討しなければならない。

一方、マイクロ研磨加工においては、微小な加工領域に研磨砥粒を局所化させる新たな加工技術の開発が重要になるであろう。これらの課題の解明、解決が、M⁴プロセスによる加工を成功させるキーポイントである。

ここで紹介したのは M⁴ プロセスのほんの一部にすぎない。この分野の研究開発は始まったばかりで、さらなる新技術の開発が望まれる。またマイクロ部品のための欠陥の少ない材料の開発や、組み立て、実装、検査までを考慮した総合的なマイクロ部品製造のための設計技術の開発が必要になろう。詳細要素技術に関しては、別紙技術マップを参照願いたい。

M4プロセス加工技術マップ (各種微細穴あけ技術との比較)



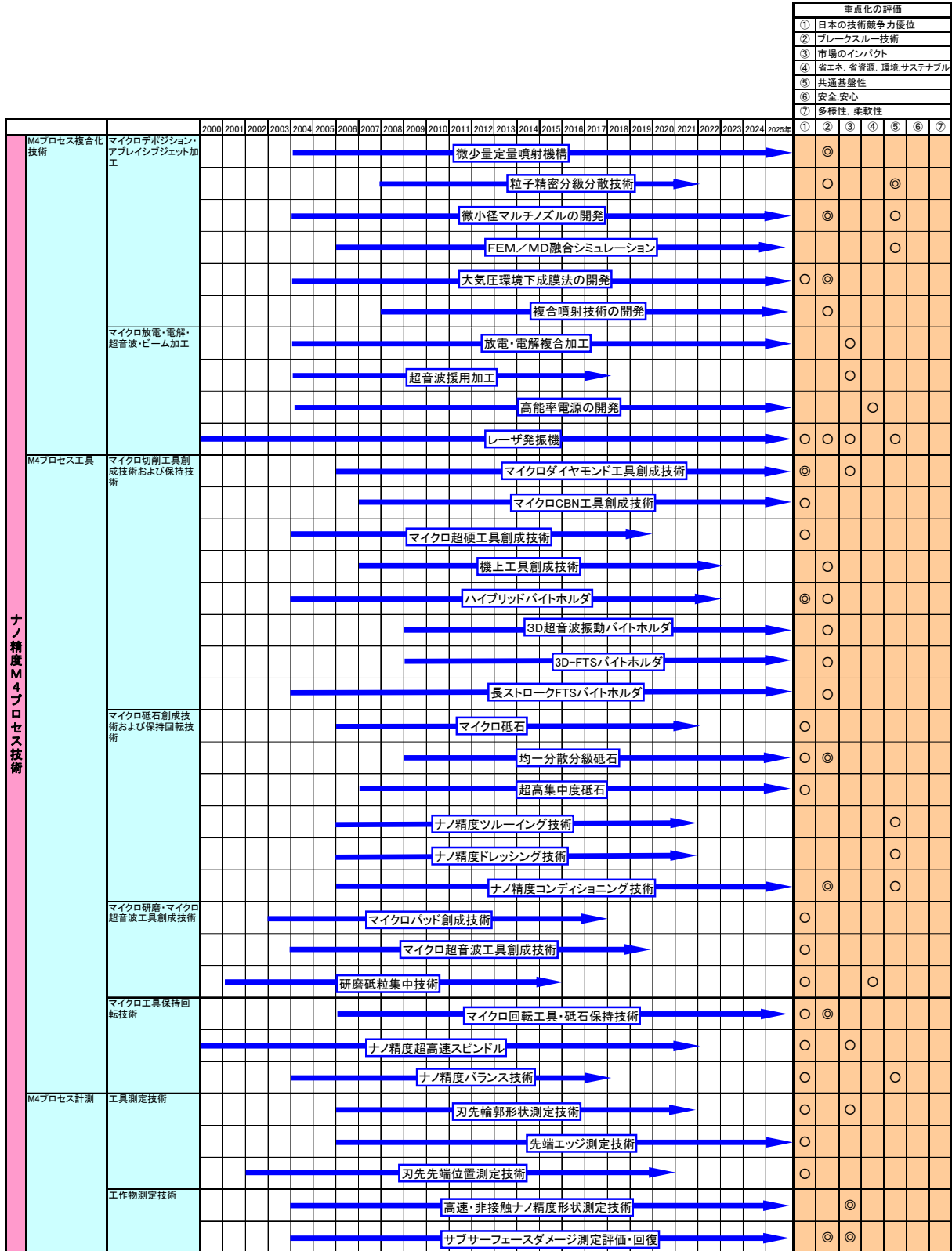
5. 4. 2 技術マップ (ナノ精度 M4 プロセス)

ものづくり技術マップ (ナノ精度 M4 プロセス技術)

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考	
ナノ精度 M4 プロセス技術	M4プロセス複合化技術	マイクロデポジション・アプレシブジェット加工	微量定量噴射機構	PJD法, AD法, GD法などの成膜法に用いられる砥粒を, mgオーダーで噴射量制御する機構の開発	
			粒子精密分級分散技術	粒子径数10nm~数 μ mの粉体を精密に分級, 分散させて噴射する技術	
			微小径マルチノズルの開発	耐摩耗性に優れた内径数10 μ mのノズル	
			FEM/MD融合シミュレーション	粉体衝突による成膜機構の分子レベルでの大規模シミュレーション法の開発	
			大気圧環境下成膜法の開発	常温大気圧環境下で成膜可能な手法の開発	
			複合噴射技術の開発	付着効率の増加を目指したレーザー等のエネルギービーム援用法の開発	
		マイクロ放電・電解・超音波・ビーム加工	放電・電解複合加工	放電・電解複合加工により加工面粗さ10nmRyを実現する	
			超音波援用加工	切り屑, 加工液の循環を活性化することにより鏡面化を促進する	
			高能率電源の開発	放電・電解複合加工専用電源の開発	
			レーザー発信機	高能率, 安定でかつ低価格な短波長パルスレーザー, fsレーザー発信器の開発	
		M4プロセス工具	マイクロ切削工具創成技術および保持技術	マイクロダイヤモンド工具創成技術	多結晶ダイヤモンド素材の研削加工, 放電加工技術, 単結晶ダイヤモンドの研磨技術
				マイクロCBN工具創成技術	CBN素材の研削加工, 研磨加工技術.
				マイクロ超硬工具創成技術	超微粒超硬素材の放電, 研削, 研磨加工技術.
	機上工具創成技術			加工機上で高精度に工具を創成する	
	ハイブリッドバイトホルダ			切削力測定機能並びに形状測定機能を有した高剛性保持ジグの開発.	
	3D超音波振動バイトホルダ			3軸方向の超音波振動を援用し, 切削力低減, 加工表面粗さ向上を目指す	
	3D-FTSバイトホルダ			切込み方向1軸+回転2方向同時3軸制御fast tool servo	
	長ストロークFTSバイトホルダ			1mmを超えるストロークを有するfast tool servo	
	マイクロ砥石創成技術および保持回転技術			マイクロ砥石	直径1mm以下のクイル型の砥石
			均一分散分級砥石	粒度のそろった砥粒を均一に分散させた極微粒砥石を開発	
			超高集中度砥石	集中度200を超えるダイヤモンド砥石の開発	
			ナノ精度ツルレーシング技術	マイクロ砥石の先端形状をナノ精度で成形する	
			ナノ精度ドレッシング技術	有効砥粒切れ刃数が高くなるように目立てする	
			ナノ精度コンディショニング技術	砥石表面のみの砥粒切れ刃密度, 切れ刃高さを高度に調整する技術	
	マイクロ研磨・マイクロ超音波工具創成技術		マイクロパッド創成技術	直径数 μ mの研磨パッド	
			マイクロ超音波工具創成技術	直径数 μ mのマイクロ孔用工具, あるいは幅10 μ m長さ数ミリ程度のマイクロスロット用工具の機上創成	
			研磨砥粒集中技術	ER流体援用技術, MR流体援用技術, FFF(Field assisted Fine Finishing)	
			マイクロ工具保持回転技術	マイクロ回転工具・砥石保持技術	芯ぶれのない保持機構の開発, 超精密コレット, 焼きばめ等
	ナノ精度超高速スピンドル			ナノオーダーの回転精度, 20万rpm以上の高速回転が可能なスピンドル	
	ナノ精度バランス技術			振動振幅ナノオーダーのアンバランス量の検知が可能	
	M4プロセス計測技術		工具測定技術	刃先輪郭形状測定技術	ナノ精度非接触3D形状測定, 機上計測が可能なセンサの開発
				先端エッジ測定技術	ナノ精度非接触先端形状測定, AFM測定技術, 機上計測が可能なセンサの開発
				刃先先端位置測定技術	ナノ精度接触検知, センサー一体型保持機構
	工作物測定技術	高速・非接触ナノ精度形状測定技術	急峻な面でも非接触, かつ高速で形状測定可能なセンサ, システムの開発		
		サブサーフェスダメージ測定評価・回復	加工による, サブサーフェスダメージ層を測定, そのダメージ層を回復させる		
	M4加工機および加工システム	加工システム	6軸制御超精密加工機	自由曲面加工が可能な多軸ナノ精度マイクロ加工機	
			無反動型ハイレシプロ機能	工作物送り速度2m/sを超える高速送り機構	
			加工雰囲気制御	低温切削, レーザーアシスト切削	
			極微量加工液供給技術	マイクロミスト生成し, 加工領域全体に極微量供給する装置	
		加工メカニズム	切削機構FEMシミュレーション	マルチフィジックスFEMにより最適刃先形状設計, 最適加工条件設定を行う	
			切削機構MDシミュレーション	分子動力学によりマイクロ切削機構, 工具摩耗機構を解明する	
研削機構シミュレーション			加工時の砥粒挙動, 材料挙動をふまえた研削機構の解明		
ナノボグラフィシミュレーション	加工表面に発生するナノオーダーの誤差パターンを予測する				

5. 4. 3 ロードマップ（ナノ精度 M4 プロセス）

ものづくり技術ロードマップ（ナノ精度M4技術）



ナノ精度M4プロセス技術	M4加工機および加工システム	加工システム	6軸制御超精密加工機	◎	◎				
			無反動型ハイレシプロ機能		○				
			加工雰囲気制御			◎	○		
			極微量加工液供給技術			◎			
			切削機構FEMシミュレーション					○	
	加工メカニズム	切削機構MDシミュレーション					○		
		研削機構シミュレーション					○		
		ナノトポグラフィシミュレーション					○		

5. 5 材料・エネルギー最小化（MME）加工技術

5. 5. 1 MME 加工技術の概要

地球資源を有効に活用し持続可能な形で製造活動を続けていくためには、被加工物の高精度化、経済的な意味での効率化の観点に加えて、使用する材料やエネルギーを最小化する加工技術を発展させることが不可欠である。地球温暖化問題が顕在化してきているなか、次の2ディケードはこのための「待ったなし」の最重要期間であるといえる。

①廃棄材料最小化

精密加工は、加工効率を重視するため、切削・研削等の除去加工で行われることが多く、素材の一部は廃材として破棄される。こうした廃棄材料は、材料そのものの無駄であると同時に、その材料を製造するためのエネルギーの無駄でもある。一方、材料を所定の形に積み上げて加工を行う付加加工では、破棄材料は少ないものの、加工効率に劣るため、その適用範囲は比較的小さな被加工物に限られている。幅広い被加工物を高精度に効率よく、かつ廃材を最小限にした加工方法の確立には、まずこれら二つの加工概念を適所に組み合わせた加工プロセスの構築が必要とされる。このためには、加工機そのものの構成や、除去加工で廃材として排出される材料の有効利用についても検討することが望まれる。これらの検討を通して、廃材そのものをなくした加工概念が構築されるものと考えられる。

一方、加工において使用される潤滑剤、離型材といった助剤の削減も、省資源・環境保全の観点から重要である。これについては既に多くの検討が行われており、直近の1ディケード内には何らかの回答が得られるよう

検討を進める必要がある。

②加工工程内排熱再生利用

従来、加工工程における省エネルギーといえば、加工機が消費する電力の削減が主であった。加工機電力の削減については既に待機電力のカットなどが検討され、効果をあげつつある。しかし多くの加工工程は熱エネルギーの授受を伴っており、このためのエネルギー消費を飛躍的に削減するためには、例えば熔融加工工程中の冷却段階で排出される熱エネルギーを加熱段階で再利用するといった、エネルギーのカスケード利用の概念が不可欠である。この概念を

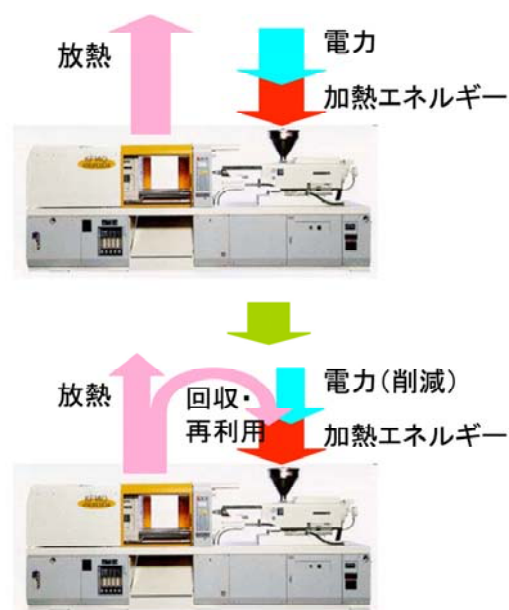


図 5. 5. 1 排熱再利用の概念

成立させるためには、まず冷却段階等の熱エネルギーを排出するプロセスから熱エネルギーを効率よく回収する方法の確立、工程中の加熱段階で排熱を使って材料加熱を行う手法や無駄な放熱を抑止する断熱技術の高度化、さらには排熱放出と加熱工程のタイミングや場所の違いを吸収するための蓄熱・熱輸送技術の確立が不可欠である。特に排熱を利用して加熱を行おうとすると、一概に熱源と被加熱物の温度差が小さくなることから、加熱時間の延長すなわち生産性の低下につながるため、このような熱源を利用しても生産性が確保できる低エクセルギー熱源加熱手法の検討が求められる。

こうして加熱・冷却において熱エネルギーの授受が可能になれば、熱エネルギーを授受する段階の組み合わせ・タイミングの最適化、あるいは加工機構造そのものの最適化が次の課題となる。これらが解決すれば加工工程内での総エネルギー消費量を格段に減少させることが可能になる。

③加工工程間排熱再生利用

上記の概念をさらに進めれば、別の製品を生み出す工程・工場間で排熱を有効に利用するシステムを構築することが可能になる。このためには、上記の加工工程内排熱再生利用の技術課題に加えて、物理的に離れた位置にある工程・工場間で熱エネルギーを輸送する手法の確立や、複数の工程・工場間の熱授受量・温度レベルの整合を図るための組み合わせ最適化が求められる。

こうした要素技術革新の次の段階においては、排熱をカスケード利用する工場、工場群（ファクトリーコンプレックス）の構築が求められる。ただし、こうした省エネルギー手法には経済的・経営的なコストが伴うことが想定されるから、国レベルでの事業推進が不可欠であるといえる。



図5. 5. 2 加工工程間の排熱再利用

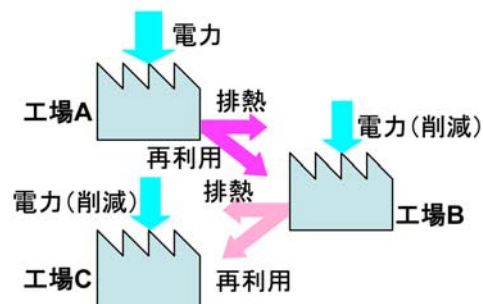


図5. 5. 3 工場間の排熱再利用

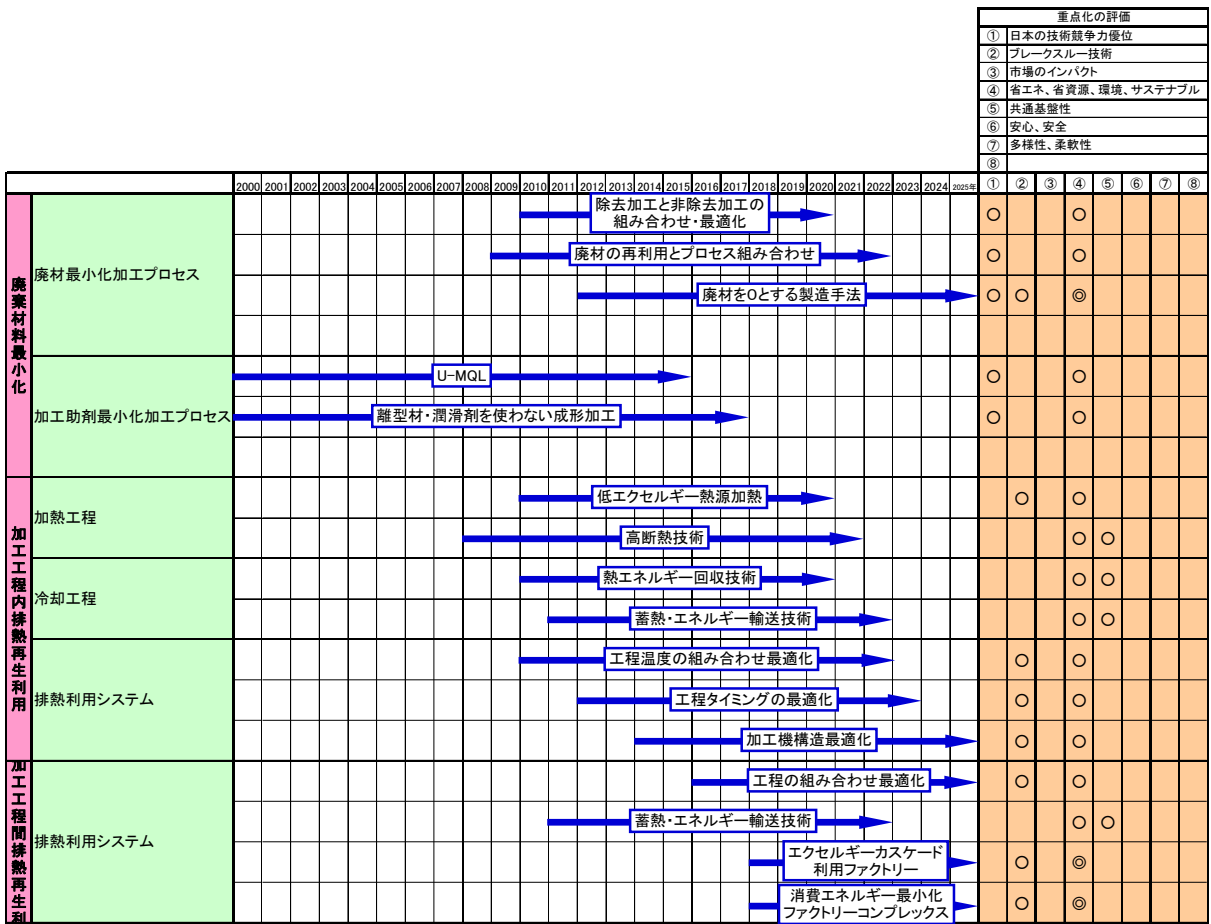
5. 5. 2 技術マップ (MMEM 加工技術)

ものづくり技術マップ (材料・エネルギー最小化 (MMEM)加工技術)

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考	
材料・エネルギー最小化 (MMEM)加工技術	廃棄材料最小化	廃材最小化加工プロセス	除去加工と非除去加工の組み合わせ最適化	除去加工と成形加工・付加加工の組み合わせによる除去材料の削減、最適化	
			廃材の再利用とプロセス組み合わせ	除去材料の再利用だけでなく、製品・除去材料の区別をなくす加工プロセスの構築	
			廃材を0とする製造手法	成形加工の完全ネットシェーブ化、付加加工の高精度化	
		加工助剤最小化加工プロセス	U-MQL	切削助剤の最小化、ドライ切削の高度化	
			離型材・潤滑剤を使わない成形加工	型表面コーティング技術を含む	
	加工工程内排熱再生利用	加熱工程	低エクセルギー熱源加熱	電力等の高エクセルギー熱源を用いない加熱方法、伝熱促進・熱移動最適化を含む	
			高断熱技術	加熱装置、加熱材料からの放熱を遮断する技術	
		冷却工程	熱エネルギー回収技術	加熱装置、加熱材料からの放熱を、エクセルギーを保ったまま回収する技術	
			蓄熱・エネルギー輸送技術	加熱工程・冷却工程間の幾何学的距離、プロセスタイミングの差異を埋めるための蓄熱・エネルギー輸送技術	
		排熱利用システム	工程温度の組み合わせ最適化	冷却工程にて除熱されたエネルギーでまかなえる加熱工程、あるいは加熱工程の吸熱で冷却しうる冷却工程の探索	
			工程タイミングの最適化	上記の加熱・冷却工程のタイミングの最適化、多ライン間の工程同期最適化	
			加工機構造最適化	上記の加熱・冷却工程間の熱移動を容易にする加工機構造の最適化	
		加工工程間排熱再生利用	排熱利用システム	工程の組み合わせ最適化	ある工程の排熱が利用しうる加熱工程が存在する工程の探索と組み合わせ最適化
				蓄熱・エネルギー輸送技術	工程間の排熱・吸熱タイミングの差異や地理的な距離を埋めるための蓄熱・エネルギー輸送技術
	エクセルギーカスケード利用ファクトリー			複数工程間で、投入エネルギーのエクセルギーを順次有効に利用できる工程組み合わせを有する工場、あるいはこうした概念	
	消費エネルギー最小化ファクトリーコンプレックス			異業種を含む工場間で、投入エネルギーのエクセルギーを順次有効に利用できる工場群、あるいはこうした概念	

5. 5. 3 ロードマップ（MEM 加工技術）

ものづくり技術ロードマップ（材料・エネルギー最小化加工技術）



5. 6 超機能性インターフェース

5. 6. 1 超機能性インターフェースの概要

機械産業での開発の取り組みは、省資源・エネルギー、環境配慮、安全などをキーワードとして進められている。例えば、自動車や建設機械など多種のエンジン部品や駆動部品を扱う産業では、以下のような技術的・社会的要求が課題となっている。

- ・しゅう動部における摩擦低減
 - －低燃費の実現
- ・しゅう動部の焼付きや摩耗対策
 - －部品の高性能化、部品材料の軽量化、潤滑油の使用量低減・難燃化に伴うしゅう動環境の高面圧化・貧潤滑化への対応
- ・環境負荷物質利用の低減
 - －有害化学物質を含有する廃棄物に対する規制強化への対応
- ・希少元素の使用量低減・代替
 - －将来、供給不安の予想される物質への対応

一般に機械要素・部品の多くが環境も含めてほかの物体と接触している部分は主に表面である。このため、物体の表面は使用環境雰囲気の影響を最も受け、物理的、化学的、熱的に過酷な環境におかれることが多い。そして、上記のような要求課題のもとでは、表面はさらに高負荷の環境にさらされることになる。一方で、上記課題を表面機能の高度化により解決しようとする技術手法の重要性は高く、新たな技術開発が必要とされている。

以上の背景から、従来の表面処理を高度化する加工技術分野を「超機能性インターフェース創成加工」として位置づけ、これをプロセスの観点から「成膜技術」、最終製品機能の観点から「機能性表面形成技術」の2つに分類する。

①成膜技術

成膜プロセスの分野では、新たな基材の出現、コーティング材原料形態の多様化から「新規コーティング技術」の開発が望まれる。また、製品の製造・使用・廃棄・再利用のサイクルの観点から「低環境負荷プロセス」の構築が必要と予測される。

a. 新規コーティング技術

例えばドライコーティングでは高温場、プラズマなど、基材は高エネルギー場におかれることが多く、基材表面の損傷を防ぐため、室温に達する低温場でのコーティングプロセスなどの基材ダメージフリープロセスが望まれる。特に、今後はプラスチック材料など熱に弱い材料が部品軽量化のため利用拡大すると予想され、プラスチック表面機能を高度化するためのコーティング技術が必要となるであろう。

コーティング材料として液体状、気体状（固体を気化・蒸発させたものを含む）のものが広く使われているが、最近のナノ粒子形成プロセスの進歩とともにナノサイズの固体状原料を励起、高エネルギー化してコーティングするプロセスであるナノ粒子コーティング技術の進展が期待される。そして、原料にとどまらず、部品の小型化、軽量化にともない、マイクロ・ナノ複雑形状パーツへのコーティング技術が必要となろう。また、製品機能発揮空間が極小化する分野では、コーティング自体の極薄化も見据えたナノメートル厚さ均質膜の形成技術の開発を要する。

b. 低環境負荷プロセス

加工コスト削減のため、低エネルギープロセスは必須である。コーティングに要するエネルギーの削減法として、例えば気相合成法であれば基材表面近傍のみのエネルギー場でコーティングを行う完全表面反応プロセスや、原料励起エネルギーを抑えた常温プロセス、真空環境形成を省いた常圧プロセスなどが今後の開発課題となる。

一方、プロセスに存在する物質の観点では、クロム、鉛など有害化学物質含む材料の使用規制強化が進められていることからこれらを代替えし、また、有害な副生物を加工プロセス中に生成しない有害物質フリープロセスが望まれる。また、将来の供給に不安定要素を有すると予想されている物質の使用を低減するか、豊富な物質への代替えをするための資源有効利用プロセス開発が必要である。特に加工の分野では、切削工具に利用されている炭化タングステンに代表されるような重元素を含む高融点化合物がその対象となろう。

②機能性表面形成技術

表面機能には様々なものがあるが、機械を対象とする加工技術に対しては「高機能トライボ／保護表面」の付与が要求として依然と高い。また、機能を発揮する表面の構造面からは「表面微細構造形成」を高度化する技術が重要である。そして、将来は、人間を相対する環境とすることを想定した「生体適合インターフェース」の実現が課題となろう。

a. 高機能トライボ／保護表面

工具・機械部品の表面に対して、潤滑フリー超低摩擦表面形成や超耐摩耗表面形成への要求が高い。一例が、工具分野におけるドライ加工用コーティングである。これらはいずれも省エネルギー、省資源と密接に関連しており、将来にわたって機能の高度化が要求される技術課題である。高硬度鋼の切削、金型表面保護、しゅう動システムの耐環境性・長寿命化・メンテナンスフリー化などが目的となる。このとき、枯渇の心配のない資源を活用するため、地球上に豊富に存在する軽元素、特にダイヤモンド、ダイヤモンドライカーボン、窒化炭素・ホウ素に代表される炭素・ホウ素・窒素元素をベースとしたコーティングの有効利用が、低摩擦低摩耗表面の形成と関連して加速すると予測される。

一方、軽合金やプラスチックなどヤング率の低い軟質材料を基材の対象として、高負荷に耐える硬質の表面を形成することが求められており、フレキシブル材料へのハードコーティングの実現はひとつのブレークスルー技術となる。

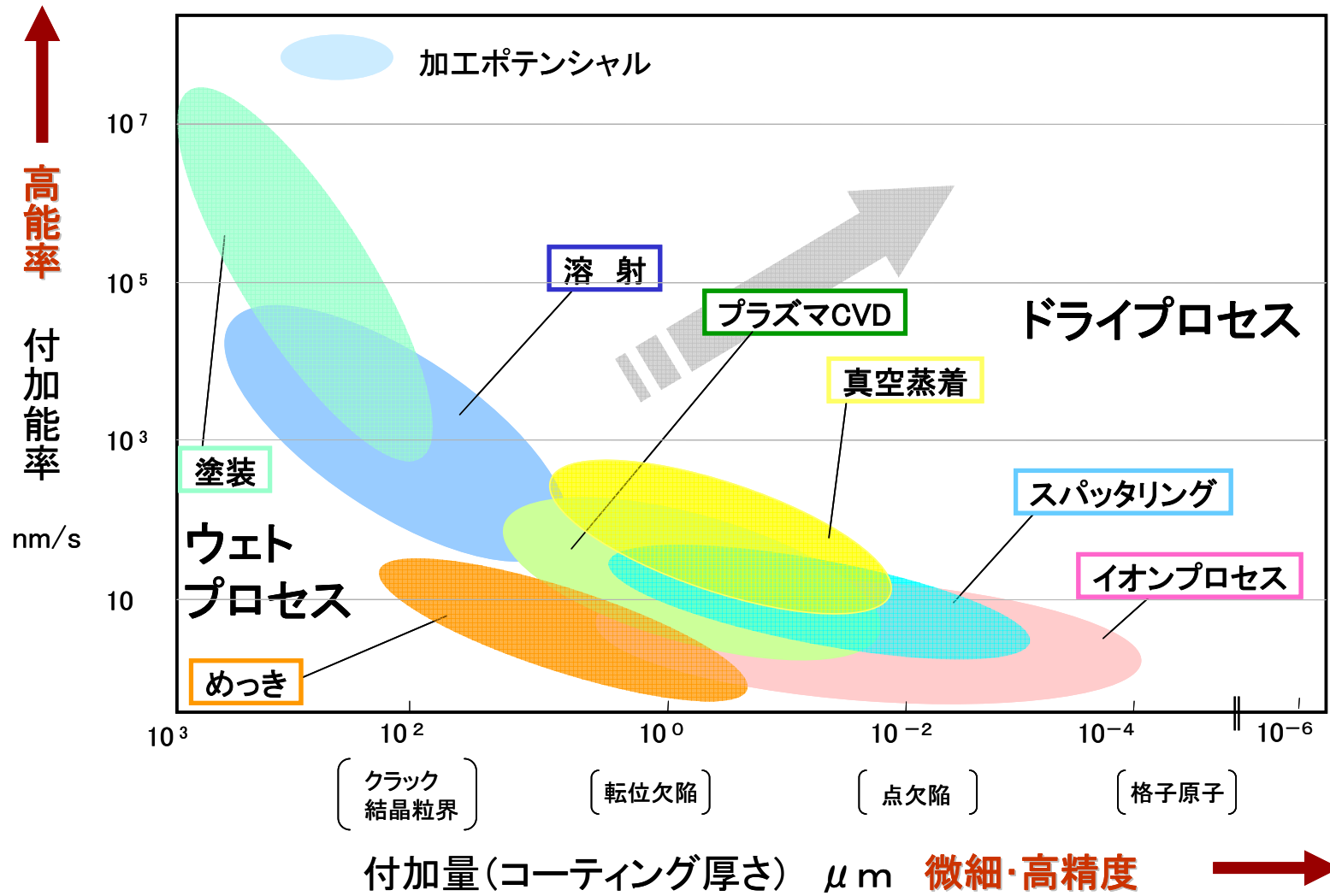
b. 表面微細構造形成

コーティング表面機能の高度化には、バルクのナノコンポジット材料と同様に、ナノメートルスケールでの3次元表面構造制御が必要であり、上記の超耐摩耗表面形成などと密接に関係している。

c. 生体適合インターフェース

すでに生体が有する機能、例えば関節の潤滑などを実現する生体内機能創成技術が求められている。さらに、無血栓性など、生体が有しておらず、人体機能維持に極めて有用な機能を創成する超生体機能創成技術の開発が必要とされている。これら要求を実現する機能を有するとともに、生体に適応する材料の開発、選定は重要な課題であり、コーティング技術と融合させることで生体適合インターフェースが実現され得る。

超機能性インターフェース創成加工加工技術マップ



5. 6. 2 技術マップ（超機能性インターフェース）

ものづくり技術マップ（超機能性インターフェース）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
超機能性 インターフェース 創成加工	成膜技術	新規コーティング技術	基材ダメージフリープロセス	室温コーティングプロセス
				プラスチック基材へのコーティング
			ナノ粒子コーティング技術	ナノ粒子励起プロセス
				ナノ粒子ジェット
		ナノ・マイクロスケールコーティング	マイクロ・ナノ複雑形状パーツへのコーティング	
			ナノメートル厚さの均質膜形成	
		低環境負荷プロセス	低エネルギープロセス	完全表面反応プロセス、常温・常圧プロセス
				有害物質フリープロセス
			資源有効利用プロセス	高融点重元素/化合物コーティング
	機能表面形成技術	高機能トライボノ保護表面	ドライ加工工具用コーティング	高硬度鋼切削、金型表面保護
			潤滑フリー超低摩擦表面形成	耐環境性(高温・低温、真空、液体、高荷重)
			超耐摩耗表面形成	ダイヤモンド、cBN
				ナノコンポジット
			フレキシブルハードコーティング	軽合金基材対応
			軽元素ベースコーティング	ダイヤモンド、ダイヤモンドライクカーボン(アモルファスカーボン)
		ナイトライド(窒化ホウ素、カーボンナイトライドなど)		
		表面微細構造形成	ナノスケール3次元構造界面形成	ナノコンポジット
		生体適合インターフェース	生体内機能創成技術	生体内潤滑
超生体機能創成技術	抗血栓性			
生体適応材料コーティング	カーボン系/有機材料コーティング			

5. 6. 3 ロードマップ（超機能性インターフェース）

ものづくり技術ロードマップ（超機能性インターフェース）

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年	重点化の評価																															
大分類	中分類																										①	②	③	④	⑤	⑥	⑦																										
																											日本の技術競争力優位	ブレークスルー技術	市場のインパクト	省エネ、省資源、環境、サステナブル	共通基盤性	安全・安心	多様性、柔軟性																										
超機能性 インターフェース 創成加工	成膜技術	新規コーティング技術	基材ダメージフリープロセス																																																○								
			ナノ粒子コーティング技術																																																						○		
			ナノ・マイクロスケールコーティング																																																							○	
	低環境負荷プロセス	低エネルギープロセス																																																							○		
		有害物質フリープロセス																																																								○	
		資源有効利用プロセス																																																								○	
	機能表面形成技術	高機能トライボノ保護表面	ドライ加工工具用コーティング																																																						○		
			潤滑フリー超低摩擦表面形成																																																								○
			超耐摩耗表面形成																																																								○
フレキシブルハードコーティング																																																								○			
軽元素ベースコーティング																																																								○			
ナノスケール3次元構造界面形成																																																									○		
表面微細構造形成	生体内機能創成技術																																																								○		
	超生体機能創成技術																																																									○	
	生体適応材料コーティング																																																									○	

5. 7 スーパークオリティRX

5. 7. 1 スーパークオリティRXの概要

(1) RXとは

ラピッドプロトタイピング(RP) は積層造形(LM)とも称されるように、付加加工によって一層ずつ層状に形状を創成する造形法である。光造形に端を発した開発の歴史はすでに20年あまりを経過し、2007年の装置の販売台数は全世界で5250台に達している。この5年間で3.5倍の伸びである。また、30を超える異なる原理やコンセプトの造形装置が開発され販売された。そもそも商品の市場化までの開発期間の短縮がRP技術の開発の促進力であったが、ますます短くなっている商品寿命に対してヴァーチャルリアリティの手法がライバルとして浮上している。その中で、積層造形はもはや概念設計段階のデザインチェックや機能チェック用の試作品を製作する3次元プロッタとしての役割だけでなく、金型を迅速に製作するためのラピッドツーリング(RT)の手段、あるいはエンドユーザに長期間使用される商品のラピッドマニファクチャリング(RM)の手段として位置付けられるようになってきている。

また、同じ積層造形といっても、原理、造形可能な形状、材料、造形速度、造形品強度、造形精度など、様々である。したがって、部品ごとに造形法を選択、あるいは新たな造形法を開発する必要がある。しかも、切削などと違い、造形プロセスと材料を切り離して考えることは出来ない。部品の形状や生産量によって選択されるプロセスが大体決まり、プロセスが決まった時点で材料が決まって部品の強度も決まってしまう。したがって、設計は造形法を選択なしでは行えず、その造形法に許される形状の自由度の大きさを最大限に活かすように設計を行うようになる。それに伴い、専用のCADの開発も進むであろう。

一方、硬化、固化、接合などの造形に関わる基礎的な現象の解明と、材料の開発、装置の開発、造形物の評価などの課題が造形法ごとに山積していると言ってよい。また、未開拓の分野であるが故に、原理と材料と応用との組合せ、あるいは全く新しい原理の出現によって、造形技術に革新的な進歩をもたらすだけでなく、新しいコンセプトの商品の誕生を促し、商品の企画・販売・流通などの形態に変化をもたらすなど、計り知れない可能性を秘めていると言ってよい。

(2) RP

商品寿命が短くなっている中で、概念設計の段階から量産までの工程の短縮のために多くの企業で導入が進んでいる。現状の造形精度は、100mm くらいの寸法に対して0.1mm から0.2mm 程度であり、高精度が必要な場合は手仕上げや従来加工による後加工を必要としている。よって、装置の改善、成形条件の最適化、フィードバックシステムの導入、既

存の加工法との複合化などにより高精度化が図られるであろう。また、造形速度の向上については、光造形であれば、レーザのスキャン速度の向上や、マルチビームの使用などにより生産性の向上が図られる。一括面露光型の光造形法も提案されており、液晶マスクを利用した一括露光光造形により、 $50\mu\text{m}$ の分解能で、液晶マスクに濃淡を付けて 2.5mm 角、高さ 1.5mm の円錐を一括して約 2 秒で造形する技術も提案されており、ますます造形速度は向上すると考えられる。

また、微細造形については、2 光子吸収を利用して $10\mu\text{m}$ 足らずの物体を光造形したり、集束イオンビームを用いたカーボンの体積により同程度の大きさの物体を造形する試みがなされている。また、エバネッセント光を利用したナノ光造形法に関する研究がなされ、ピッチ $150\text{nm}\sim 550\text{nm}$ 、単位積層厚さ $160\text{nm}\sim 1.6\mu\text{m}$ の周期構造が形成されている。この微細領域の積層造形の微細化と高能率化はますます発展すると考えられる。

逆に、大型部品については、現在実用化されている装置で 1m 角が最大であるが、造形速度の向上に伴い、自動車、航空、宇宙産業などの分野で大型部品への適用が進むと考えられる。

(3) RT

少量のカスタマイズ生産のためには型を迅速に製作できなければならない。積層造形は型そのものを直接製作する目的にも有効であるが(direct)、型を製作するための模型の製作手段としても有効である(indirect)。

まず、鋳造への応用については、一般の鋳造用の模型や精密鋳造用の消失模型を光造形や紙積層で製作する場合、あるいは模型を製作するための型を積層造形で製作する場合、また鋳型そのものを Selective Laser Sintering(SLS)や 3D Printing などを用いて鋳型砂をバインダで固めて製作する場合がある。

射出成形やダイカスト用の金型を積層造形で製作した場合、内部に冷却水用の流路を自在に作れる、熱伝導率の異なる材料を複合化して型が作れるなどの高付加価値化が可能である。したがって、金属粉末を SLS で固着して型を製作したり、鋼板を積層し拡散接合することによる製作が実用化されつつある。プレス型、ブロー成形型、射出成形用金型から実用化が始まっているが、近い将来ダイカスト金型への適用も可能になると考えられる。

(4) RM

定義は、付加加工によりエンドユーザに使用される製品を製作することである。したがって、ある商品が市場に出回っているライフサイクル程度、長期間にわたって使用に耐え得ることが必要とされる。

アンダーカット、オーバーハング、内部流路などの内部構造が作れることなど、形状に

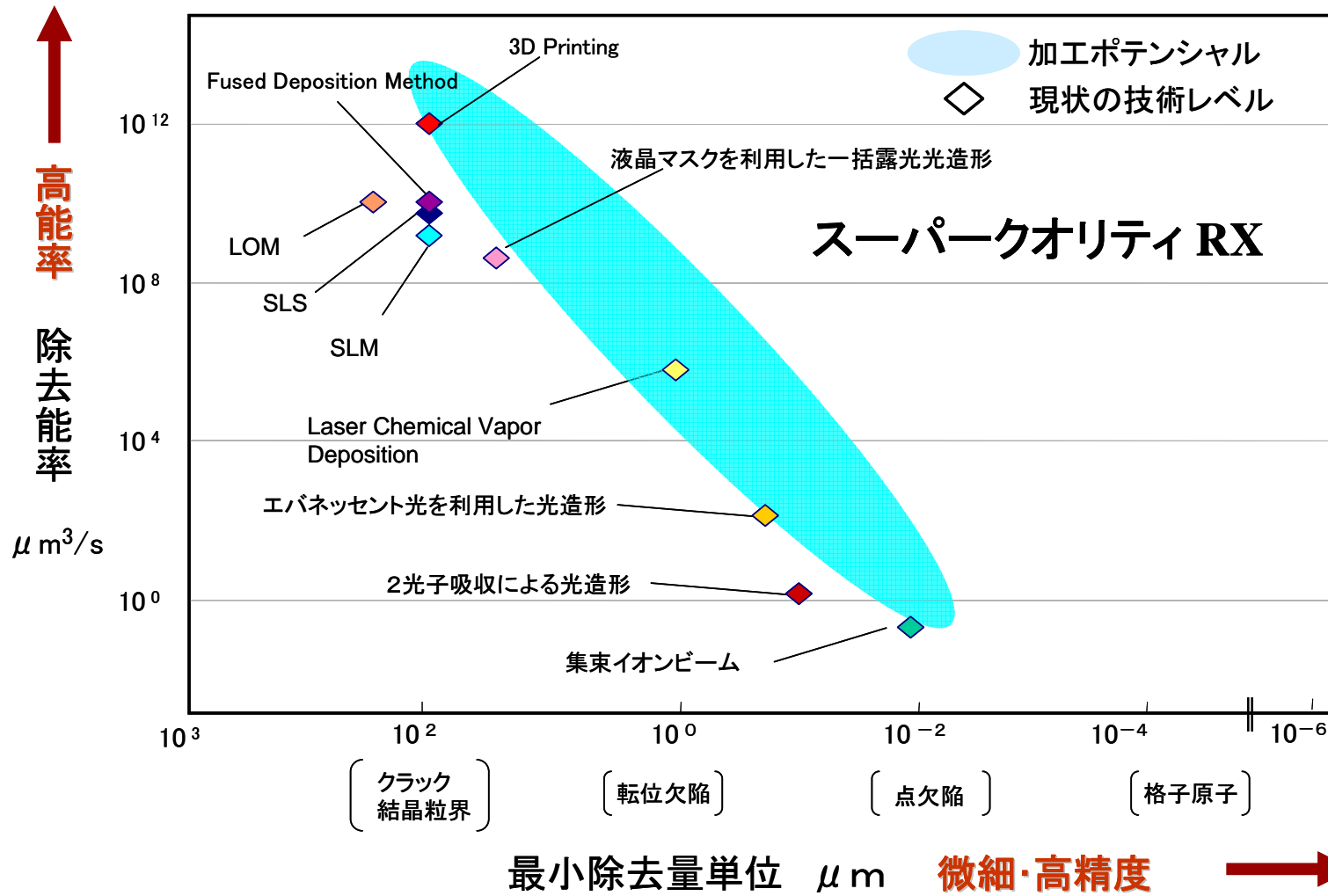
制限がないことが、たとえ時間がかかりランニングコストが高価であろうとも RM が産業として成り立つ所以である。造形できる形状の自由度が大きい、ポーラス構造による軽量化が可能、材料に傾斜を持たせられる、マイクロ部品の製作も可能、などの特長から、カスタマイズ生産、医用分野、航空宇宙産業、MEMS への適用が進んでいる。その際、それらの特長を最大限に引き出すために、積層造形のための設計がなされるようになり、従来の設計のパラダイムの修正が必要となってきた。したがって、専用の CAD ソフトの開発が急がれる。

例えば、従来は生産方法の高速のために非現実的であったような複雑な形状も、軽量化のために極力肉をそぎ落とし、内部を空洞化した構造の設計が可能となるであろう。また、ユーザが手にするような商品は、個人の手のひらの形状に合わせたグリップをテーラーメイドすることができる。このようなエルゴノメトリックな製品の超短納期・多量生産を可能とする必要がある。また、医用部品として、補聴器のケーシングを SLS で、歯並び矯正用のプラスチック製ブリッジの成形用ツールを光造形で製作する実施例は、複雑形状のカスタマイズ生産の典型である。さらに、再生医療では自分の細胞を培養して臓器や組織を再構築する。増殖された組織に形状付与するための担体は、3 次元的で複雑な内部構造（多くの場合は空孔率の高い多孔体）を伴うなど、従来の加工では困難な形状である。しかも個人によって異なるテーラーメイドとなるであろう。

材料については、積層造形が従来の加工に使用される材料と同じ材料に適用されるだけでは面白くない。粉末をベースに成形できることから、セラミックス、サーメット、複合材料、傾斜機能材料など、従来の加工では困難であった材料による造形が可能になると考えられる。また、再生医療では組織の再構築が完了した後の担体は生体に吸収されて消滅することが要求され、各種生体吸収性ポリマの開発が要望される。

積層造形の精度はまだ 100mm の寸法に対して 0.1~0.2mm 程度に止まっており、得られる仕上げ面粗さは 5~20 μ m である。また、バラツキも大きく信頼性も十分ではない。これらの問題は、装置設計の改善、成形条件の最適化、フィードバックシステム、既存の加工法との複合化などの手段により解決されていくものと考えられる。

微細加工技術マップ



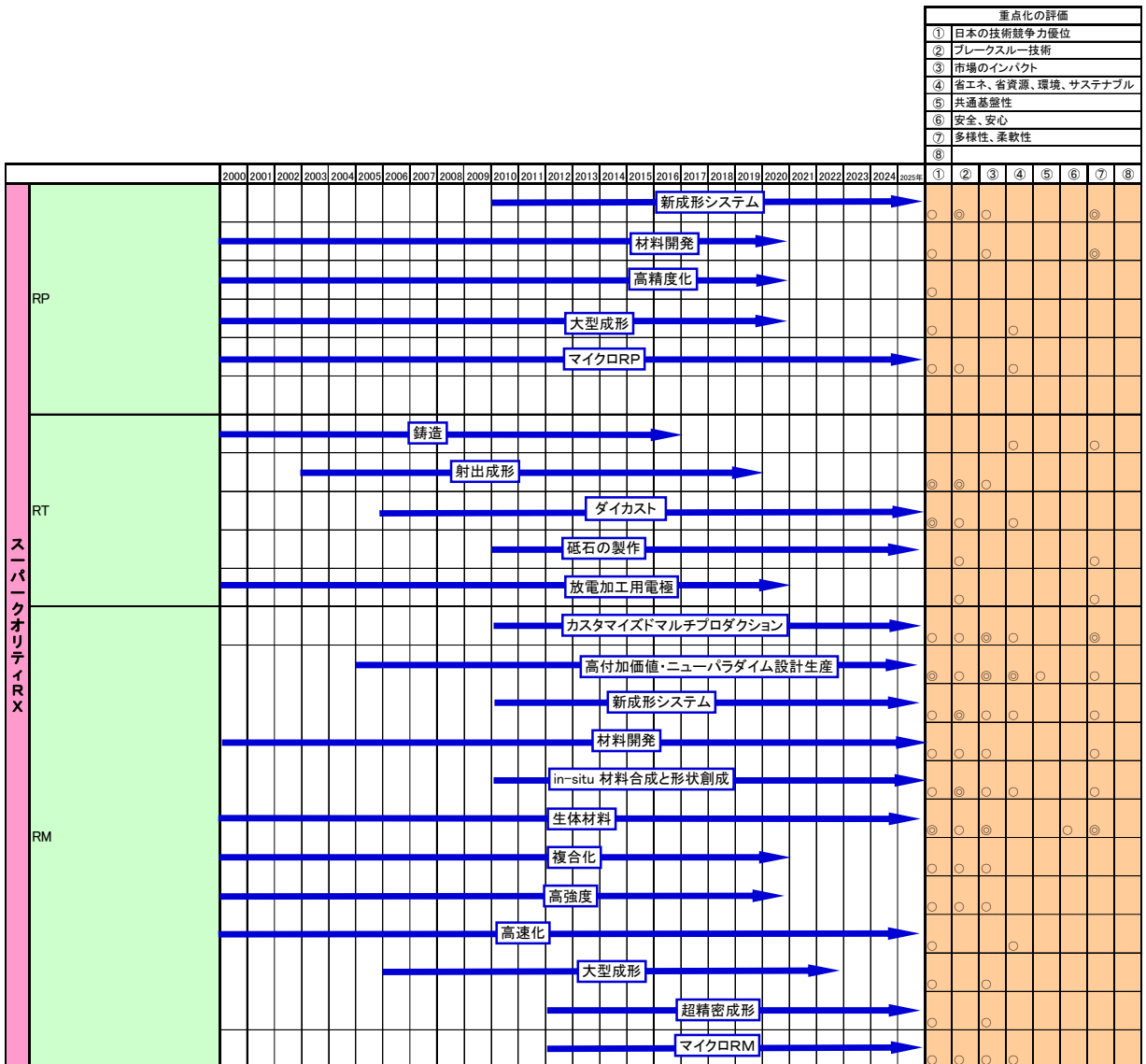
5. 7. 2 技術マップ（スーパーオリティRX）

ものづくり技術マップ（スーパーオリティRX）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
新加工	スーパーオリティRX	RP	新成形システム	デザインチェックだけでなく、質感や機能をチェックできるように、材料の制限を取り払って成形が可能な新しい概念の成形システムが開発される。
			材料開発	プラスチック、金属、セラミックスなど、従来の工業材料のほとんどがRPに使用できるようになる。また、RP用の特殊な材料が開発され、成形精度や速度の向上が図られる。
			高精度	積層造形の単位寸法が微細になり、段差レスで所望の精度が得られる。
			大型成形	高速成形が可能になり、大型部品に応用されるようになる。
			マイクロRP	多光子吸収などを利用したマイクロ部品の成形が実用化される。
		RT	鋳造	消失模型、消失模型製作用の型、鋳型そのものの製作などに広く使用されるようになる。
			射出成形	内部に冷却水用流路を持つ高性能金型による、ハイサイクル高精度成形が広く行われるようになる。
			ダイカスト	内部に冷却水用流路を持つ高性能金型による、ハイサイクル高精度成形が広く行われるようになる。また、冷却効率の向上により、ヒートチェックの発生が減少し型寿命が大幅に伸びる。部分的に熱伝導率の高い銅や、逆に熱伝導率の低いセラミックスを用いた金型を用いて、ハイサイクル、省エネの成形が可能になる。
			砥石の製作	高性能な研削砥石が製作される。
			放電加工用電極	形状が複雑な工具電極や、内部に冷却と加工液噴流用の流路をもった電極が生産される。
		RM	カスタマイズドマルチプロダクション	エンドユーザ・ロングタームプロダクツ(エンドユーザによるロングタームの使用を目的とした機能性部品の生産)。Selective Laser Sintering (SLS)、Selective Laser Melting (SLM)が有望。高生産性、高精度な加工法、材料が開発され、テーラーメイド、エルゴノミリックな製品の超短納期・大量生産が可能となる。それに伴いビジネスモデルが変わる。
			高付加価値・ニューパラダイムな設計・生産	従来法では不可能な、省資源、省エネ、超軽量、複雑構造、高機能、未来材料製品が誕生する。つまり設計のための生産が可能になる。CADデータさえあれば、ショートレスポンス時間、修正容易、リペア部品の在庫が要らない。
			新成形システム	SLS/SLMIに続く、新しい概念に基づく成形システムが開発される。
			材料開発、材料とプロセスとの組合せ、条件の最適化	既存、あるいは新しい成形システムと一体で開発が進む。長寿命、高強度、高生産性、傾斜、複合などが可能な金属、セラミックス、高分子、の粉末、バインダが開発される。また、成形条件の最適化、レーザー光源の開発などが進む。
			in-situ 材料合成と形状創成	物理的複合化や、化学反応を利用して、in-situな材料合成と、それと同時の形状創成が可能になる。
			生体材料	インプラント、歯冠。生体適合性、生体吸収性材料のSLM。ティッシュエンジニアリング、生体関連セラミックス。生体適合性を向上させるための複合化。
			複合化	PMC, MMC, CMC。粉末の混入によるサーメット、超硬合金の成形。レーザー照射時、あるいは本焼結時の化学反応を利用した成形。レーザー照射時のin-situでは、より微細で均一な組織が作れ、お互いの濡れが促進され、反応熱の利用によりパワーの小さなレーザーでも可能。例えば、AIのN雰囲気中でのAINをバインダとした化学的焼結。光学(透明)部品。
			高強度	プラスチック製品は、空孔率の減少により射出成形品と同等の強度が得られる。空孔率、クラックなどを抑え、セラミックス、高速度鋼、工具鋼などの創成加工が可能になる。
			高速化	SLMIにより、バインダレス、溶浸、本焼結なし。セラミックスのSLMも試みられているが熱応力によるクラックの発生が問題。化学反応熱を利用したセラミックスのSLS。
			大型成形	高速成形が可能になり、大型部品に応用されるようになる。航空・宇宙産業、F1レース、建築・土木。
			超精密成形	ニアネットシェイプから高精度成形へ。光学部品の高精度形状創成も可能になる。
			マイクロRM	多光子吸収などを利用したマイクロ部品の生産が広がる。

5. 7. 3 ロードマップ（スーパークオリティRX）

ものづくり技術ロードマップ（スーパークオリティRX）



5. 8 局所環境制御加工

5. 8. 1 局所環境制御加工の概要

樹脂材料など弾性に富む柔軟材や、ガラス材料など脆性が高い材料のナノ・マイクロオーダーの超精密加工を実現する有効な手段として、局所環境制御による切削加工の実現が期待される。柔軟材料に対しては、切削点を極低温下に制御することで、また脆性材料においては高温下における切削加工が有効と考えられる。一方、環境共生型の切削加工プロセスとして切削加工点における潤滑状態を局所制御することにより、潤滑油剤の使用量を従来の方法に比べて飛躍的に低減可能な、微量局所潤滑加工技術の開発が期待される。

②極低温マイクロ切削加工

近年、MEMS (Micro Electro Mechanical System)の発展により、製品の大容量化、高性能化、小型化、高速化を実現してきた。MEMS技術の研究は盛んに行われており、医療・生体分野にも応用展開されている。現在では数mmから数cmスケールのチップ上で数多くの解析を同時に行うマイクロTAS (Total Analysis System)と呼ばれる生化学分析システムが注目を浴びている。このシステムの実現により微量の試薬で、短時間の解析が可能となる。マイクロTASで使用されるマイクロ流体チップ基板上に形成される微細流路は、従来エッチングやフォトリソグラフィなど化学的加工により製造される。しかし、これらの加工法は劇物を使用することからクリーンルームが必要であること、加工工程が多く複雑であり製造時間が数日に及ぶことなどの問題点がある。

このような状況に対して、環境負荷が小さく、工程が単純である切削プロセスにより微細流路を形成する技術開発が望まれている。さらには、従来の方式に比較して、切削プロセスによれば、従来技術では困難な3次元形状溝を形成することが可能となる。マイクロ流体チップの材料としては、PDMS (ポリジメチルシロキサン)とガラスが主流であるが、このうちPDMSは、常温において柔軟で弾性に富むため、常温では正常な切削加工を行うことができない。これを可能にするには、PDMS材料が脆性特性を示すようになるガラス遷移点以下に冷却することが有効である。実験室的には、液体窒素中でマイクロエンドミルによる切削加工を行うことで実現できるが、実用的には大量の液体窒素を消費し、また極低温環境に起因する加工装置の凍結による故障防止策が必要となるなどで問題がある。加工点のみをスポット冷却する技術としては、高能率・小型電子冷却装置の開発がキーテクノロジーとなる。また加工点の温度を高精度でモニタリング可能な、極低温インプロセスセンサの開発が必要である。切削加工工具としては、マイクロエンドミルが最も有効であると考えられるが、極低温環境下での低温脆性による工具破損を防止するための新しい工具

の開発が必要である。また、PDMSの局所を極低温に冷却することによる材料の収縮と加工後の室温までの温度上昇に起因する熱膨張にもとづく加工誤差をあらかじめ推定し加工条件の補正を行う為に、極低温加工シミュレータの開発が必要である。

本技術の開発により、PDMSなどの柔軟材料の高精度マイクロ加工が可能となり、また複雑かつ3次元形状の微細パターンを高能率で加工可能となることから、次世代高性能マイクロTAS、マイクロ流体チップの製造が可能となる。

③高温マイクロ切削加工

マイクロTAS(Total Analysis System)の製造においては、ガラス材料もその主たるものとして挙げられる。ガラス材料は脆性材料であり、これを通常の条件で切削加工すると、加工面に多数のクラックが発生し、また工具摩耗も激しく進行するなど問題がある。そこで、工具の切り込みを極めて少なくすると、クラックの発生が抑制され延性モードで加工を行うことができるが、加工能率は極めて低下する。また、この条件下においても、急速な工具摩耗の進行は依然として解決されない。ガラスなどの脆性材料は、一定の高温下において硬度が軟化し、延性材料的な挙動を示すと考えられる。しかしながら、設定温度が高すぎると、材料の熔融が発生し、高精度な加工を行うことができない。最適温度における高温マイクロ切削加工を可能とするには、加熱機構を内蔵したマイクロ工具と高温センサを組み合わせた、局所高温環境制御システムの開発が必要である。また、温度常用による材料や工具の熱変形の影響をシミュレートして、あらかじめ加工条件に補正を加えるた

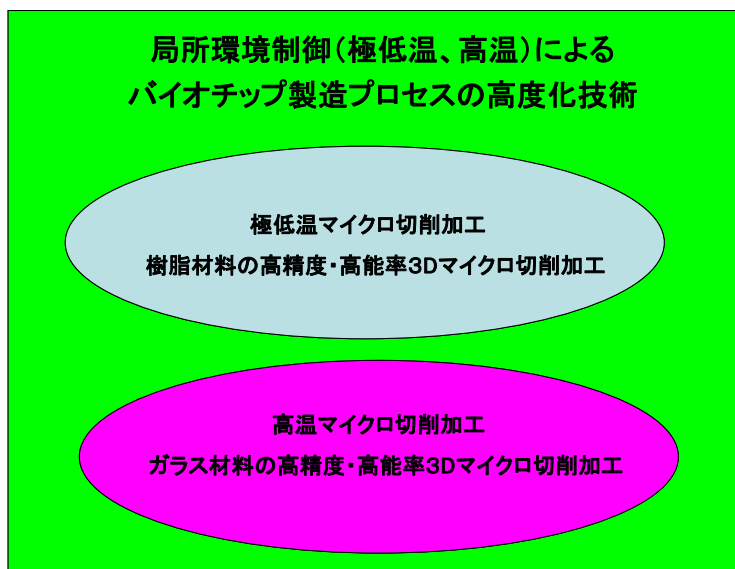


図5. 8. 1 局所環境制御による極低温・高温切削加工

めに、高温加工シミュレータの開発が必要である。

本技術は、前述の極低温マイクロ切削加工技術と同様に、ガラス材料などの脆性材料の高精度・高能率マイクロ加工が可能となり、次世代高性能マイクロ TAS、バイオチップの製造が可能となるものと考えられる。

④微量局所潤滑加工

環境対応型の切削加工技術として、極微量の微粒子状のオイルミストを圧縮空気と共に切削点近傍に噴霧して加工を行うニアドライ切削（極微量切削油供給法 MQ L）が注目され、自動車関連産業などで実用化の段階にある。しかしながら、切削点に供給されるオイルミストの周囲環境への飛散が生じ、これが人体内へ吸引されたり加工装置への付着の発生等が問題となっている。また、オイルミストが工作機械内部に浸入・付着してこれが機械故障の原因となることもある。この問題を解決する有効な手段として、直径約 $50\mu\text{m}$ の微少油滴を高圧・高速で切削点へ向けて連続吐出することにより、必要最小限のオイルを切削加工部位に直接供給する微量局所潤滑加工技術の開発が期待される。その実現の為には、微小油滴を高速かつ連続的に工具切り刃先端に供給可能な新しい機構の開発とこれに対応した工具システムと工作機械主軸の開発が必要である。また、切削点における潤滑状態を高精度・高応答で検出可能なモニタリング技術の開発が必要である。

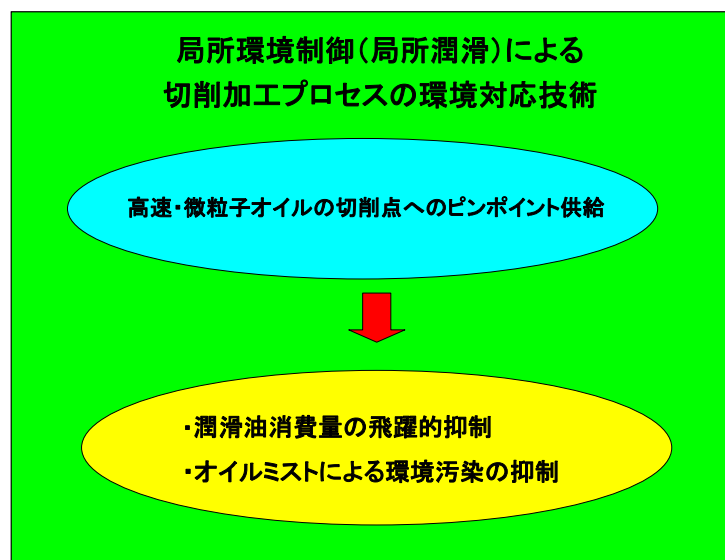
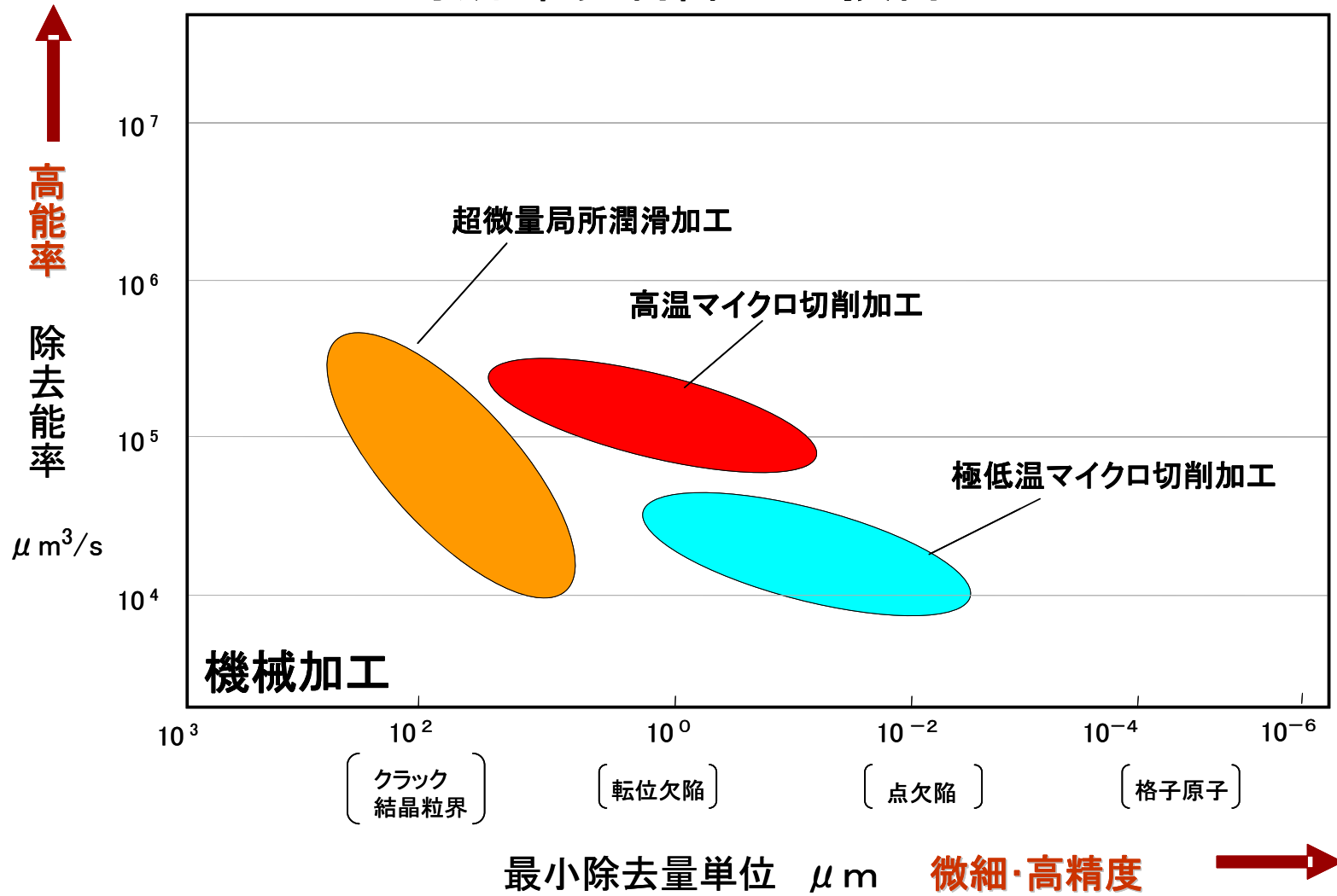


図 5. 8. 2 局所潤滑技術による切削加工プロセスの環境対応

本技術の開発により、切削加工プロセスにおける潤滑油の消費を飛躍的に抑制可能であ

り、また、周囲環境へのオイルミストの飛散が殆ど無い、クリーンな環境を実現することが可能である。

局所環境制御加工技術マップ



5. 8. 2 技術マップ（局所環境制御加工）

ものづくり技術マップ（局所環境制御加工）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
加工技術	局所環境制御加工	極低温マイクロ切削加工	局所極低温冷却装置	切削加工部位に集中して極低温を実現する電子冷却システム
			極低温切削工具	極低温環境において十分な強度を実現する切削工具
			極低温インプロセスセンサ	極低温環境において使用可能なカセンサ・温度センサ
			極低温加工シミュレータ	極低温における材料特性変化と変形（熱変形）を考慮可能な加工シミュレータによる加工精度の予測
		高温マイクロ切削加工	加熱機構内蔵切削工具	加工点における材料温度を加熱制御し、材料特性を制御可能な加熱機構内蔵型切削工具
			高温対応インプロセスセンサ	高温環境において使用可能なカセンサ・温度センサ
			高温加工シミュレータ	高温における材料特性変化と熱変形を考慮可能な加工シミュレータによる加工精度の予測
		超微量局所潤滑加工	超微量油滴供給機構	加工点に集中して超微量潤滑油を供給可能な、微小油滴の連続供給機構
			局所潤滑加工用切削工具・ツーリングシステム	微小油滴を連続して工具先端から供給可能とする切削工具とツーリングシステム
			局所潤滑加工用スピンドルシステム	微小油滴供給機構を内蔵可能な工作機械スピンドルシステム
局所潤滑モニタリングセンサシステム	加工点の潤滑状態を高精度でモニタリング可能なセンサシステム			

5. 8. 3 ロードマップ（局所環境制御加工）

ものづくり技術ロードマップ（局所環境制御加工）

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年	重点化の評価								
																										①	②	③	④	⑤	⑥	⑦				
																										◎	○	○	◎	○	○	○				
局所環境制御加工	極低温マイクロ切削加工	局所極低温冷却装置				→																							◎	○	○	◎	○	○	○	
		極低温切削工具								→																				◎	○	○	○	○	○	○
		極低温インプロセスセンサ																												◎	○	○	◎	○	○	○
		極低温加工シミュレータ																												○	○	○	○	○	○	◎
	高温マイクロ切削加工	加熱機構内蔵切削工具																												◎	○	○	○	○	○	○
		高温対応インプロセスセンサ																												○	○	○	○	◎	○	○
		高温加工シミュレータ																												○	○	○	○	○	○	○
	超微量局所潤滑加工	超微量油滴供給機構																												◎	○	○	◎	○	○	○
		局所潤滑加工用切削工具・ツーリングシステム																												◎	○	○	◎	○	○	○
		局所潤滑加工用スピンドルシステム																												◎	○	○	◎	○	○	○
局所潤滑モニタリングセンサシステム																													○	○	◎	◎	○	○	○	

5. 9 電気化学加工

5. 9. 1 電気化学加工の概要

(1) 放電加工

放電加工は微細加工に広く使用されるが、サブミクロンオーダーの加工は実現していない。その理由のひとつは、ナノオーダーの直径の放電痕が得られるような、微小エネルギーの放電パルス電源の製作が困難だからである。コンデンサに充電されるエネルギーを放電させるタイプの従来のRC放電回路では、配線間の浮遊容量に蓄積される電荷と一緒に放電してしまう。したがって、浮遊容量で放電エネルギーの限界が決まってしまうのでサブミクロンの直径の放電痕を得ることが不可能であった。そこで、浮遊容量の影響を遮断して、ナノオーダーの放電痕が得られる容量結合式のパルス放電回路が開発されつつあり、これを用いて近い将来にサブミクロンオーダーの直径の軸加工や、穴加工が可能になると予想される。また、ワイヤ放電加工にも適用できるので、 $0.01\ \mu\text{m Rz}$ の仕上げ面粗さが達成されるとともに、 $\phi 5\ \mu\text{m}$ 径のワイヤ電極による微細ワイヤ加工が実現する。

また、最近グラファイト電極を用いて消耗率0.06%という無消耗に近い形彫り放電加工が可能であることが公表された。これは、油中での放電による熱分解カーボンが陽極面上に堆積し、陽極である工具電極表面を消耗から防ぐ現象を利用している。このように、単に熱加工であると認識されてきた放電加工であるが、化学反応を伴うことを認識し、それを利用すれば、加工液や工具電極材料と放電パルス条件との組合せにより、あらゆる加工条件の下で無消耗加工が実現できるようになる。したがって、従来は荒加工、中仕上げ加工、仕上げ加工用の工具電極をそれぞれ製作し長い時間をかけて加工をしなければならなかったが、少ない工具電極で高精度な加工が可能にある。

さらに、消耗の少ない工具電極材料や加工液が開発され、短パルス、高ピーク電流のパルスによるギガヘルツオーダーの放電頻度が達成され、切削に匹敵する加工速度が実現する。

形彫り放電加工では、工具電極消耗やギャップ長分布などを考慮して加工形状をシミュレーションするソフトが開発される。また、ワイヤ放電加工についても、ワイヤの振動やたわみを考慮して切断面の真直度や輪郭の形状精度などをシミュレーションできるようになる。さらに、加工時間の見積りが可能となり、工程管理が容易になる。

ドライ加工やミスト加工が可能となってきたので、他の加工法との複合化が進むと考えられる。その場合は、単純形状電極を用いた形状創成加工の形態をとると考えられる。また、除去加工だけでなく、放電による付着加工や表面処理が同じ加工機上で行われるようになる。

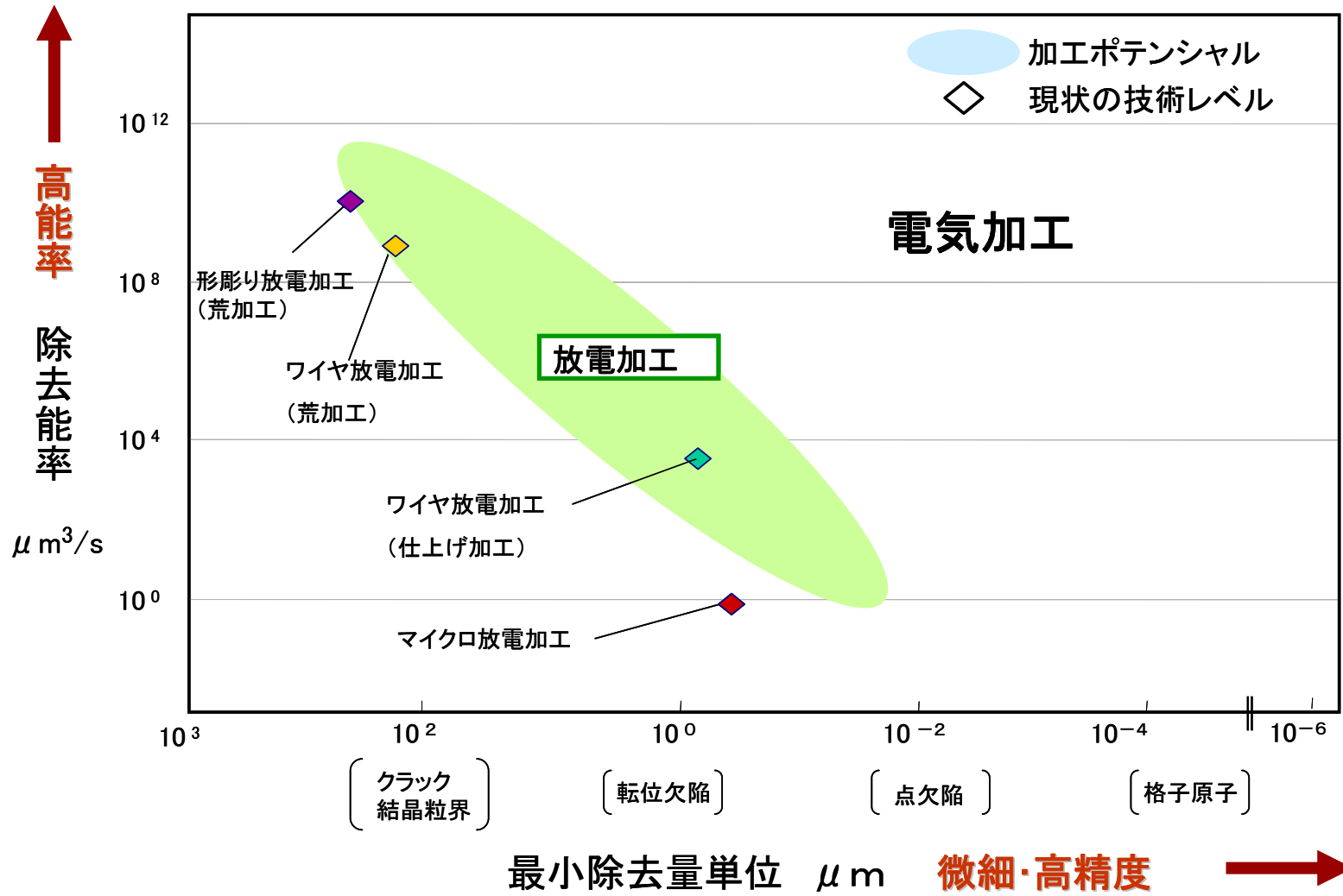
(2) 電解加工

加工精度が放電加工より劣るといわれてきた電解加工であるが、ナノ秒オーダの超短パルスを用いると微小ギャップが得られ、加工したい部分以外での浮遊電流が抑えられることが明らかとなってきた。したがって、10年後にはナノオーダの微細加工が実用化されると考えられる。放電加工のように工具電極の消耗がなく、熱影響層や残留応力などの加工変質層も生じないので、微細放電加工と同様にナノ加工の手段として重要性が増すと考えられる。

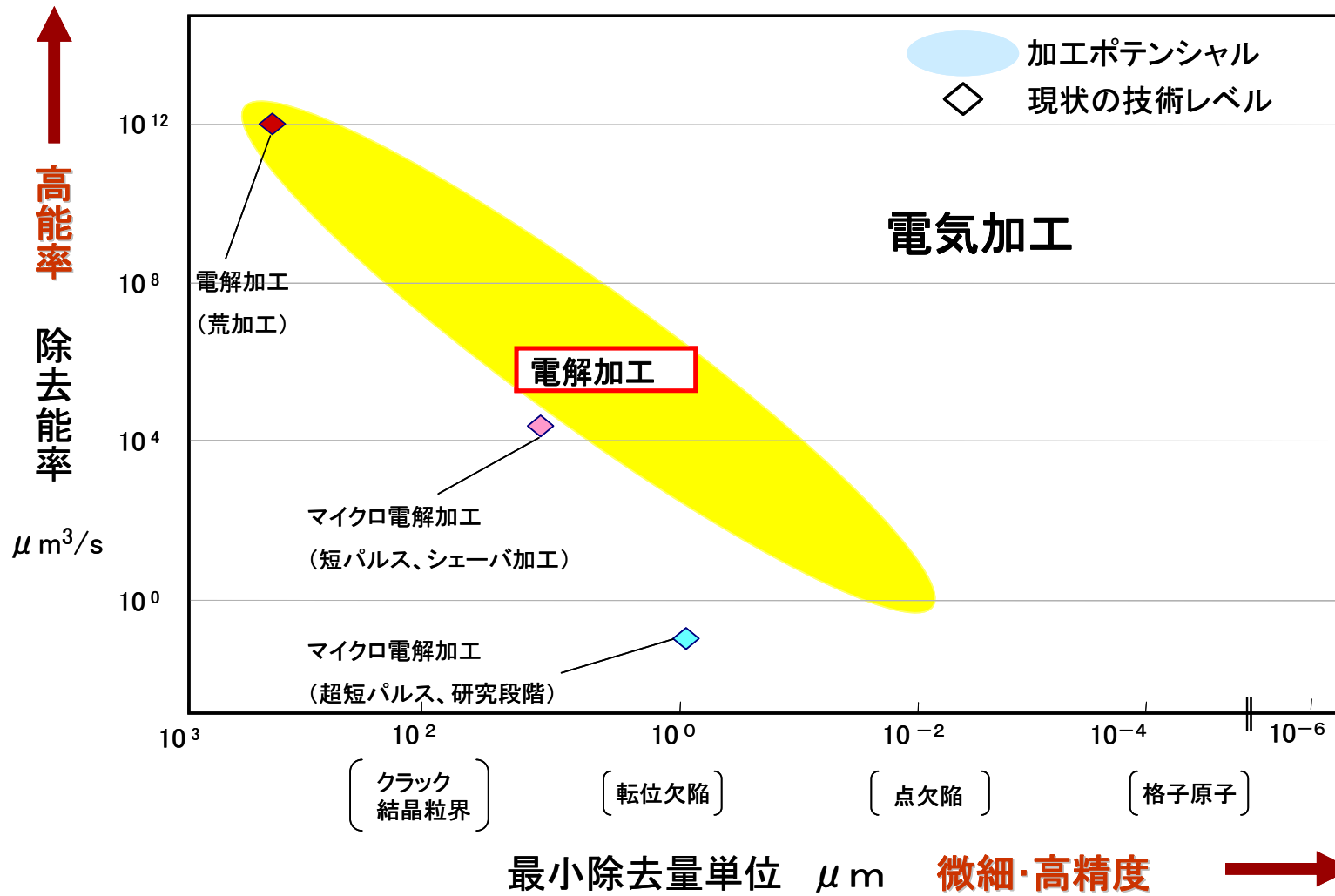
また、総形電極ではなく、単純形状電極や、ワイヤ電極、電解液ジェットなどのツールを用いて、より複雑な形状を、高精度でフレキシブルに電解加工する方法が主流になると考えられる。

電解加工も他の加工法との複合化が進むと考えられ、特に電解加工で微細工具を機上成形し、それを用いた各種の加工が同一機上で行われるようになる。また、エンジンや金型などの冷却液用の曲がりくねった穴を電解加工で効率よく加工する技術が実用化される

電気化学(放電加工)加工技術マップ



電気化学(電解加工)加工技術マップ



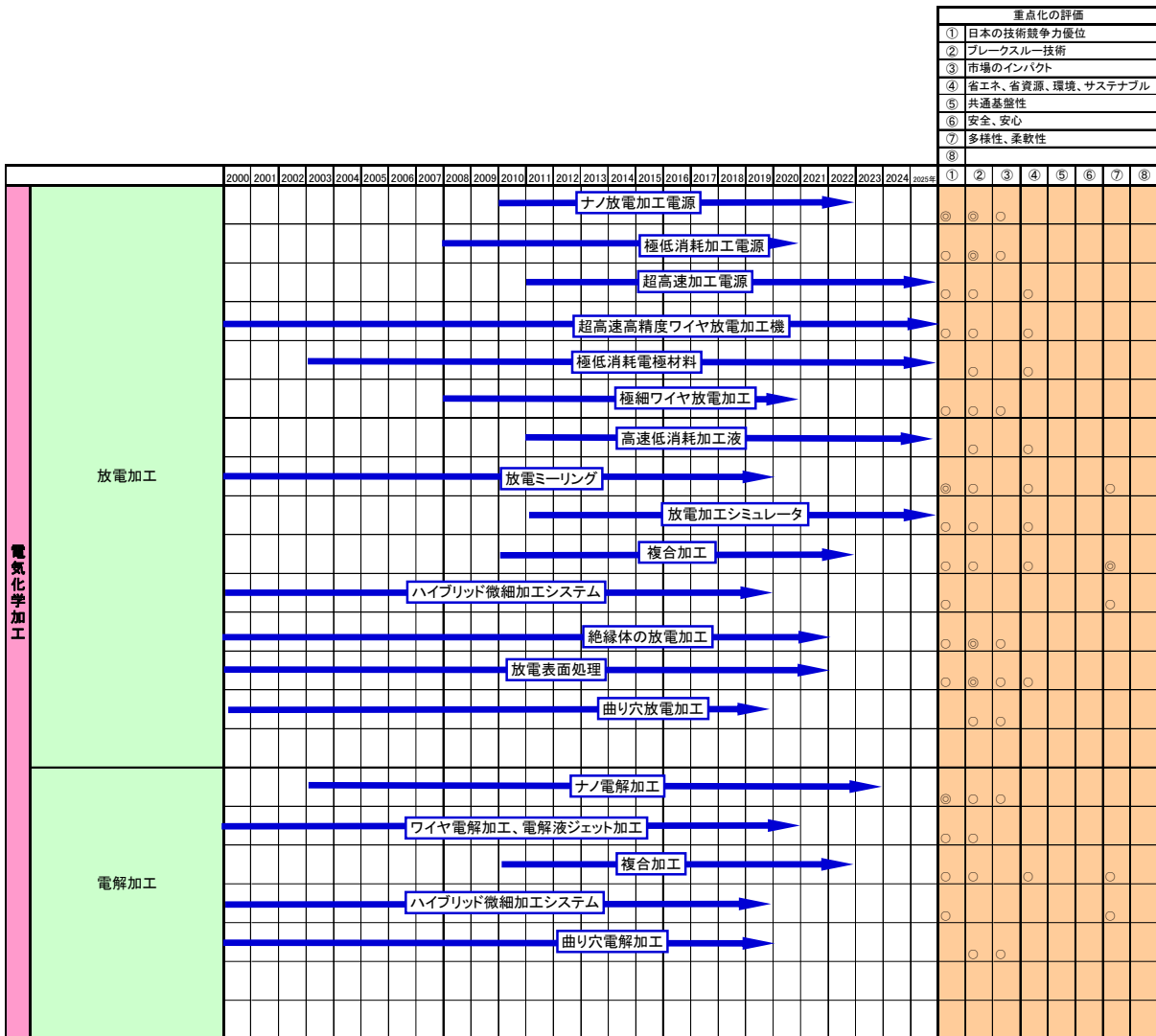
5. 9. 2 技術マップ（電気化学加工）

ものづくり技術マップ（電気化学加工）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
特殊加工	電気化学加工	放電加工	ナノ放電加工電源	ナノオーダーの放電痕が得られる微小エネルギーの放電パルスが実現する。それに伴い、形彫り放電加工で0.05 μmRz 、ワイヤ放電加工で0.01 μmRz の仕上げ面粗さが達成される。また、 $\phi 0.1\ \mu\text{m}$ の微細軸の放電加工が可能になる。そして、それを工具電極に用いて $\phi 0.2\ \mu\text{m}$ の穴、あるいは幅0.2 μm のスリット加工やV溝加工が可能となる。
			極低消耗加工電源	工具電極消耗がほとんどない(消耗率が0.01%以下)超精密加工が実現する。
			超高速加工電源	ギガヘルツオーダーの放電頻度が達成され、機械加工に匹敵する加工速度が実現する。
			超高速高精度ワイヤ放電加工機	ワイヤ放電加工では、 $\phi 0.2$ のワイヤ電極を用いて最大で1000mm ² /minの加工速度が達成される。
			極低消耗電極材料	導電性ダイヤモンド、CVD DLCなど、高融点・高沸点、高熱伝導率の電極材料が開発される。
			極細ワイヤ放電加工	$\phi 5\ \mu\text{m}$ 径のワイヤ電極による微細ワイヤ加工が実現する。
			高速低消耗加工液	極間で生じる化学反応を利用して、工作物の除去を促進し、工具電極の表面を消耗から保護する皮膜を形成する加工液が開発される。
			放電ミーリング	単純形状電極を用いた超低消耗、超高速加工が実現する。
			放電加工シミュレータ	形彫り放電加工では、工具電極消耗やギャップ長分布などを考慮して加工形状をシミュレーションするソフトが開発される。また、ワイヤ放電加工でも、ワイヤの振動やたわみを考慮して切断面の真直度や輪郭の形状精度などをシミュレーションできるようになる。さらに、加工時間の見積りが可能となり、工程管理が容易になる。
			複合加工	ドライ加工やミスト加工が可能となり、他の加工法との複合化が進む。また、除去加工だけでなく、放電による付着加工や表面処理が同じ加工機上で行われるようになる。
			ハイブリッド微細加工システム	放電加工や電解加工により成形した工具を用いて、各種微細加工(放電加工、電解加工、電着加工、砥粒加工、切削加工、打抜き加工、超音波加工)や組立が同一機上で行われるようになる。
			絶縁体の放電加工	セラミックスやダイヤモンドなどの絶縁体の放電加工が一般に行われるようになる。
			放電表面処理	液中、あるいは気中での、大気圧下での放電表面処理が広く行われるようになる。
		曲り穴放電加工	曲り穴の放電加工が実用化され、金型の冷却水流路だけでなく、エンジンの冷却流路などの部品加工に広く使用される。	
		電解加工	ナノ電解加工	加工精度が放電加工より劣るといわれてきた電解加工であるが、超短パルスを用いた微細加工が実用化される。そして、 $\phi 0.05\ \mu\text{m}$ の微細軸の電解加工が可能になる。また、 $\phi 0.1\text{mm}$ 、アスペクト比100以上の微細穴、あるいは幅0.1 μm のスリット加工やV溝加工が可能となる。
			ワイヤ電解加工、電解液ジェット加工	ソリッドな工具電極を用いないワイヤ電解加工、電解液ジェット加工などの加工方法が実用化され、微細加工などに使用される。
			複合加工	電鑄、砥粒加工、放電加工などとの複合化が実現する。
			ハイブリッド微細加工システム	放電加工や電解加工により成形した工具を用いて、各種微細加工(放電加工、電解加工、電着加工、砥粒加工、切削加工、打抜き加工、超音波加工)や組立が同一機上で行われるようになる。
			曲り穴電解加工	曲り穴の高速加工が可能となり、金型の冷却水流路だけでなく、エンジンの冷却流路などの部品加工に広く使用される。

5. 9. 3 ロードマップ（電気化学加工）

ものづくり技術ロードマップ（電気化学加工）



5. 10 鋳造

5. 10. 1 鋳造の概要

(1) 背景

鋳造では、輸送機器、産業機器が主要なユーザであり、自動車、工作機械、家電、建設機械、航空機、ロボットなど、鋳造技術の動向も多くはこれら産業のニーズに応える形になっている。近年自動車産業では燃費向上を求めて車体の軽量化、内燃エンジンからモーター駆動への移行などが模索されており、高強度化、高機能化、複雑形状化、一体成形化、軽量化、低コスト化、短納期化、環境配慮などの課題が具体化されてきている。一方、鋳造に関わる技術要素は材料開発から生産技術開発、シミュレーション、ラピッドプロトタイプングなどIT利用による設計・開発技術など多岐にわたっている。

(2) 設計・開発技術

ラピッド・プロトタイプング(RP)は、3次元CADデータから迅速に模型・鋳型を作製する手法で、試作期間短縮、多品種少量生産への対応等に有効な方法である。近年では光造形法やシート積層法が模型作りに利用されて、船用プロペラや自動車鋳造部品の試作に実用化されている。今後はレーザーやインクジェット方式の利用により直接中子や鋳型を製作したり、鋳型材質もよりリサイクルに適したものが利用できる技術へと進展するであろう。

シミュレーション技術については、新たなシミュレーションコードの開発のみならず、信頼に足る物性値データベース、欠陥発生予測などの評価指標の確立、これら3種類の技術開発が不可欠である。コード開発については、鋳型と鋳物の熱伝導と凝固をモデル化した伝熱凝固シミュレーション、溶湯の流動をモデル化した湯流れシミュレーションが古くから実用化されている。近年では応力変形解析との連成による変形・残留応力・割れ予測、ミクロ(結晶成長)-マクロ(伝熱)モデル連成による凝固組織予測などが試みられている。今後は、砂型の特性予測のための砂の充填シミュレーションや粒子法流動シミュレーションによる湯流れ予測が研究レベルで始まっている。

一方、シミュレーション結果の高精度化には適切な値の物性値・境界条件を用いることが不可欠である。今後材料組成に応じた適切な物性値の予測計算やデータベース化、熱伝達・摩擦など界面での現象解明の進展を待つて境界条件の適切な設定が期待されている。

欠陥などの発生に関わる物理現象の解明と、これらシミュレーション技術の進展、モデルの連成技術により、ダイカスト金型寿命の予測、凝固組織の予測、鋳造欠陥の予測、マクロ偏析の予測等とプロセスパラメータの最適化に適用されてゆくであろう。

(3) 材料関連技術

鑄造技術は古くから材料開発と一体であり、新合金開発を中心に、それに伴うプロセス開発・シミュレーションによる最適化が進められている。近年では車体の軽量化等のユーザーニーズや、鑄造業・鑄造品を取り巻く環境の変化、とりわけ環境規制への対応や省エネルギーといった要求への対応が求められている。

鑄鉄の分野では、材質の多様化に伴いスクラップ品質が低下しており、溶湯清浄度の計測技術の開発等によって適切な溶解方案を設計し清浄な溶湯を得る技術、アルミニウム合金では、これまで鉄鋼・鑄鉄が使われていた車体用部材の代替を目指した、高強度・高じん性アルミニウム合金鑄物用合金開発を目指して開発が進行している。

銅合金やマグネシウム合金では、それぞれの特徴を生かした材料開発が見込まれている。例えばマグネシウム合金では耐熱性を改善した合金開発により材質置換による放熱性向上や軽量化部材が目指されている。また銅合金では電気伝導性、耐食性、熱伝導性を生かした部材に対する材料開発や鑄造性の改善が目指されている。

その他の材料では、耐熱超合金、金属間化合物鑄物の精密鑄造技術や、水冷冷却ユニットや人工歯根等生体材料への利用を目指した多孔質複合材料の鑄造技術などが挙げられる。

(4) 生産技術

ダイカスト鑄造技術では、鑄造品の強度・信頼性など各種特性向上、異種材料との接合、コスト低減・生産効率向上などの課題に対し、インライン検査技術開発、金型温度管理等の生産システム開発、また半凝固成形技術、介在物制御技術、ハイシリコンダイカスト技術等の冶金技術開発が検討されている。これにより用途拡大や材質置換が進められる。車体用構造部材への利用を考えた高延性合金等の新材料開発が進められており、これら新合金に対応する技術も求められる。

金型低圧鑄造技術では、より薄肉化・大型化により車体構造部材の鉄鋼からの材質置換、従来溶接構造だった部材の一体成形化によるプロセス置換を目指す。

ダイレクトチルキャスト技術では、これまで主に円柱状の鑄塊を半連続鑄造するために用いられてきたが、車体の足回り部品など高品質高信頼性の構造部材の生産性の向上を目指して、異形材の半連続鑄造、薄肉板の連続鑄造技術の開発が進められる。シミュレーションを活用して鑄造プロセスの最適化を図る。

銅合金鑄物の鑄造技術では、低融点のアルミ合金で実用化されてきた、砂型低圧鑄造、差圧鑄造、セミソリッド鑄造、金型鑄造などの各種鑄造法がより高融点である銅合金鑄物

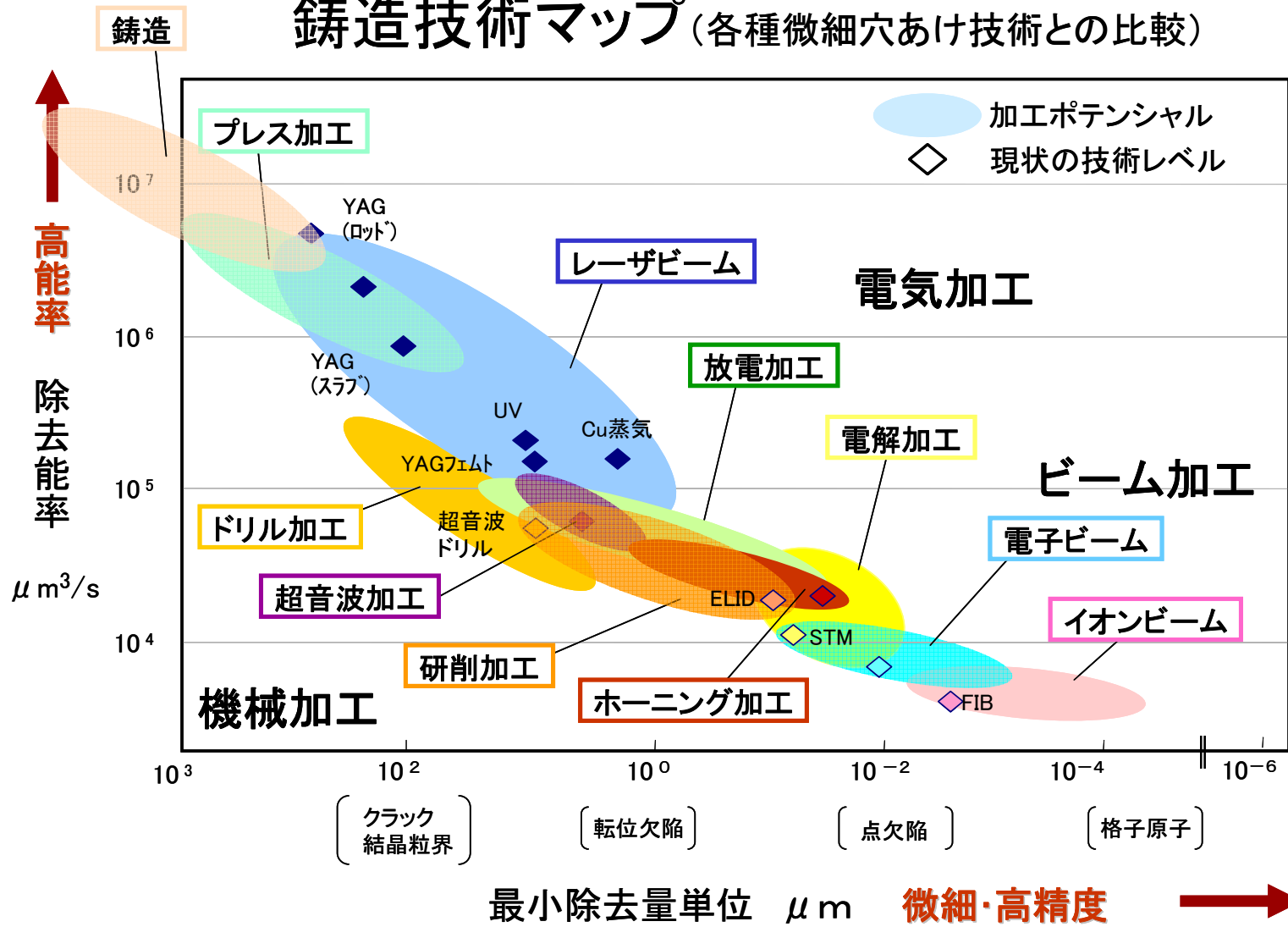
へ応用が検討されている、電気伝導性、耐食性、熱伝導性という材料の特徴を生かし、より高信頼性・高生産性技術の開発を目指す。

大型鋳物（鋳鉄、鋳鋼、船舶用等）砂型鋳造技術では、シミュレーションを活用して、割れ、欠陥発生、変形の予測と制御を可能にする。また新鋳造材料への対応を図る。

マイクロ凝固システム・高精密鋳造システムでは、より小さく、より薄く、より高い寸法精度、より高い表面性状を目指した技術開発が進む。ニアネットシェイプ化により例えば、機械加工不要といった鋳物作りが目指されている。

環境負荷低減型鋳造システムでは、要求が高まっている省エネルギー・省資源に対応するため、溶解炉の効率アップ、鋳型材の材料転換が進められる。鋳型に含まれる成分の燃焼によって発生する臭いを抑えて工場周辺環境の改善を図ることも重要な課題である。

鑄造技術マップ (各種微細穴あけ技術との比較)



5. 10. 2 技術マップ（鋳造）

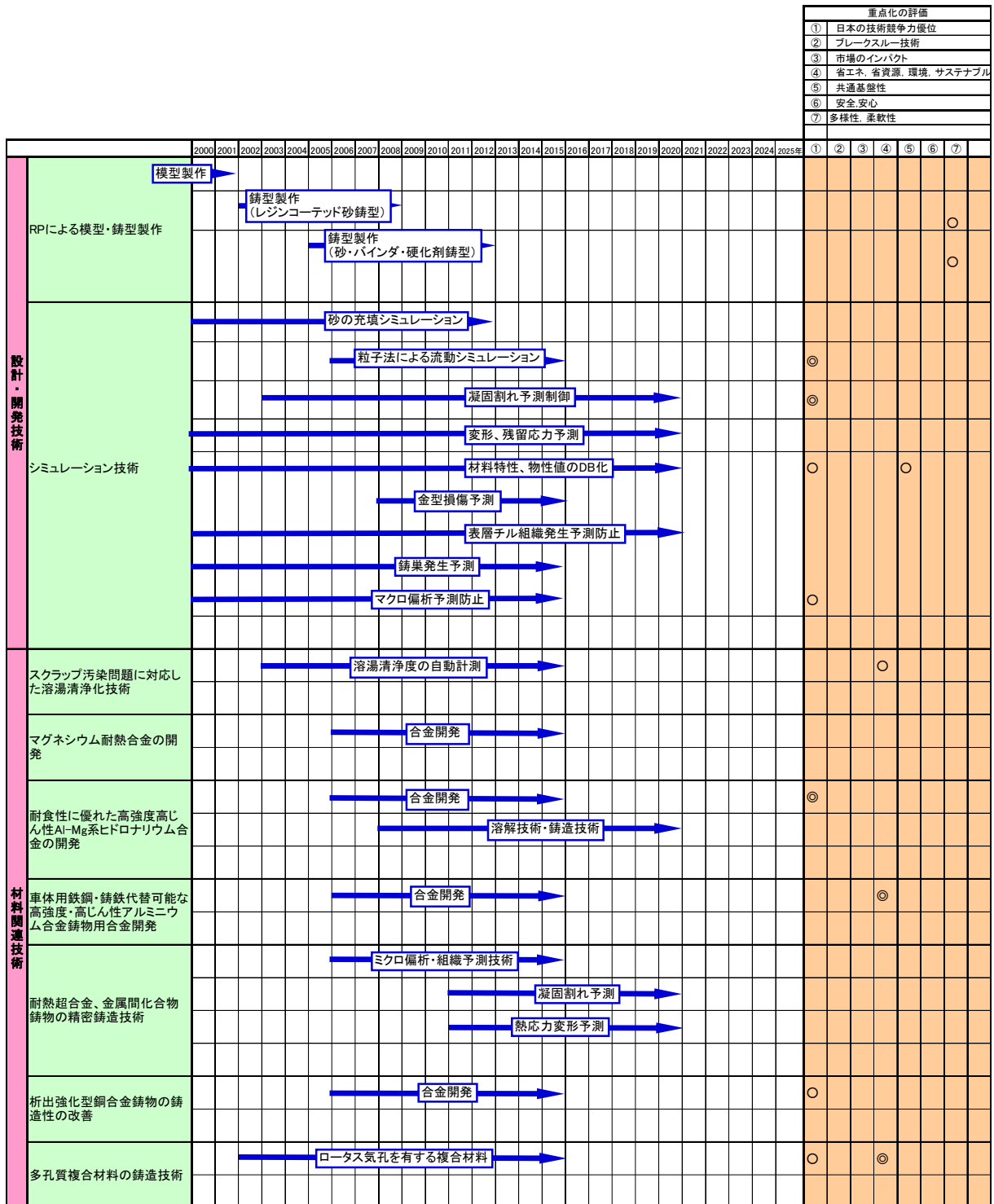
ものづくり技術マップ（鋳造）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
鋳造技術	設計・開発技術	RPIによる模型・鋳型製作	RPiによる模型製作(2001)	RPiによる紙・石膏模型製作
			RPiによる鋳型製作(2008)	レーザーによるレジンコーテッド砂鋳型製作
			RPiによる鋳型製作(2012)	インクジェット方式による砂・バインダ・硬化剤複合鋳型製作
		シミュレーション技術	砂の充填シミュレーション(2012)	砂型の特性予測とその制御・最適化
			高速ダイカストの湯流れシミュレーション(2015)	粒子法による流動シミュレーション
			凝固割れ予測制御技術(2020)	鋳造品の割れ予測と材料・プロセスパラメータ最適化
			熱応力連成による変形・残留応力予測シミュレーション(2020)	変形・残留応力予測と最適化
			材料特性、物性値のDB化(2020)	熱力学DBを活用した物性値予測・シミュレーション高精度化
			金型損傷予測技術(2015)	金型寿命の予測と長寿命化
			表層チル組織発生予測防止技術(2020)	凝固組織の予測と制御
			鋳巣発生予測技術(2015)	鋳造欠陥の予測と制御
			マクロ偏析予測防止技術(2015)	鋳造品のマクロ偏析の予測とプロセスパラメータ最適化
	材料関連技術	スクラップ汚染問題に対応した溶湯清浄化技術	溶湯清浄度の自動計測(2015)	材質の多様化に伴うスクラップ品質の低下に対応した溶解技術の確立
		マグネシウム耐熱合金の開発	合金開発(2015)	マグネシウム合金への材質置換による放熱性向上や軽量化安価で入手が容易な合金の開発
		耐食性に優れた高強度高じん性Al-Mg系ヒドロナリウム合金の開発	合金開発(2015)	Al-Mg系合金の健全な鋳物を得るための合金開発と溶解技術と鋳造技術の開発
			溶解技術・鋳造技術開発(2020)	
		車体用鉄鋼・鋳鉄代替可能な高強度・高じん性アルミニウム合金鋳物用合金開発	合金開発(2015)	自動車軽量化の推進による省エネルギー実現
		耐熱超合金、金属間化合物鋳物の精密鋳造技術	マイクロ偏析・組織予測技術(2020)	Ni基超合金、金属間化合物TiAl材の精密鋳造技術シミュレーションを活用した鋳造プロセス最適化
			凝固割れ予測技術(2020)	
			熱応力変形予測技術(2020)	
		析出強化型銅合金鋳物の鋳造性の改善	合金開発(2015)	高強度・高熱伝導性銅合金鋳物の開発
		多孔質複合材料の鋳造技術	ロータス気孔を有する複合材料(2015)	水冷却ユニットや人工歯根等生体材料への利用
	生産技術	ダイカスト鋳造技術	3D-CADの活用、NCによる金型の直彫り本格化(2010)	コスト低減、リードタイム短縮、金型精度向上
			金型冷却&温度管理システム(2020)	ハイサイクル化・欠陥抑制
			高生産性中子製造技術(2015)	高圧化・大型への対応
			インライン介在物、鋳巣検査技術(100μmレベル)(2015)	欠陥検査技術
			半凝固成形技術(2015)	均質な粒状組織・機械的特性の向上
			介在物制御技術(2015)	欠陥制御による高品質・高信頼性化
			鉄鋼材料との接合技術(2015)	ダイカスト部材の異種金属との溶接
			展伸合金との接合技術(2015)	製品内ガス・欠陥の低減など高品質化による溶接性向上・溶接割れへの対策
			ハイシリコンダイカスト技術(2015)	エンジン・ミッション系摺動部品など耐摩耗性を要する部品への適用
			金型損傷予測技術(2015)	金型寿命の予測と長寿命化
			熱応力連成による変形・残留応力予測(2020)	変形・残留応力予測と最適化
金型低圧鋳造技術			大型薄肉金型低圧鋳造技術(2015)	薄肉化への対応
		大型アルミホットチャンバ技術(2020)	大型化への対応	
		量産用、高生産性RP併用技術(2015)	リードタイム短縮・多品種少量生産への対応	

<p>製造技術</p> <p>生産技術</p>	<p>ダイレクトルキャスト技術</p> <p>スーパーニアネット凝固システム</p> <p>大型鋳物(鋳鉄、鋳鋼、船舶用等)砂型鑄造技術</p> <p>車体用高延性合金のダイカスト鑄造技術</p> <p>銅合金鑄物の高信頼性・高生産性技術</p> <p>高融点金属(合金)の金型鑄造技術</p> <p>環境負荷低減型鑄造システム</p>	薄板鑄造技術(2020)	高品質薄肉板の鑄造
		複雑異形連続鑄造技術(2020)	足回り部品など高品質高信頼性部品への応用
		マクロ偏析予測防止技術(2015)	シミュレーションを活用した鑄造プロセスの最適化
		凝固割れ・熱応力予測制御技術(2020)	
		表層チル組織発生予測防止技術(2020)	
		寸法:1mm以下(2015)	微小部材への適用
		寸法:100μm以下(2020)	
		寸法:10μm以下(2025)	ニアネットシェイプ・機械加工フリーを目指した技術開発
		厚さ:100μm以下・寸法精度10μm・表面あらさ0.1μm(2025)	
		鑄巣発生予測技術(2015)	船舶等に利用される鋳鉄・鋳鋼の大型鑄物の高品質化・信頼性向上
		凝固割れ予測技術(2020)	
		熱応力変形予測、制御技術(2020)	
		耐熱鋳鋼・鋳鉄素材開発(2015)	
		合金開発(2015)	高延性・高鑄造性・非熱処理合金開発
		焼き付き防止金型表面処理技術(2015)	金型の高寿命化、生産性向上、メンテナンス省力化
		凝固割れ予測、型設計技術(2020)	シミュレーションを活用した鑄造プロセスの最適化
		砂型低圧鑄造(2010)	健全性及び生産性が高い鑄物
		差圧鑄造(2012)	高品質、高鑄造歩留まり
		セミソリッド鑄造(2015)	高品質、高鑄造歩留まり
		金型鑄造(青銅系鑄物)(2015)	高品質、高生産性
		鑄物用銅合金溶湯の品質管理システムの確立(2015)	迅速・簡易炉前試験:溶湯中の酸素、水素、介在物の迅速・簡易評価
		金型用新素材(耐ヒートクラック)の開発(2012)	金型の長寿命化
		銅ダイカスト技術(2015)	高生産性
		自動注湯システム(2012)	品質安定・多品種少量への対応
		高効率溶解システム(熱効率80%溶解技術)(2015)	燃焼式溶解炉での徹底した省エネルギー
		鑄造成型における産廃O技術(2015)	有機粘結材から無機への材質転換
		光触媒脱臭プロセス(2010)	工場環境・周辺環境改善
		自己潤滑(金型)材の開発(2015)	塗型無し鑄造
		環境負荷物質・レアメタル代替材料設計技術(2020)	環境負荷低減・高リサイクル性材料開発

5. 10. 3 ロードマップ（鑄造）

ものづくり技術ロードマップ（鑄造）



生産技術	ダイカスト鑄造技術	3D-CADの活用、NCによる金型の直彫り本格化																			
		金型冷却&温度管理システム																			
		高生産性中子製造技術																			
		100 μmレベルのインライン介在物、鑄巣検査																			
		半凝固成形																			
		介在物制御																			
		鉄鋼材料との接合																			
		展伸合金との接合																			
		ハイシリコンダイカスト																			
		金型損傷予測																			
熱応力達成による変形、残留応力予測																					
金型低圧鑄造技術	大型薄肉金型低圧鑄造																				
	大型アルミホットチャンバ																				
ダイレクトチルキャスト技術	量産用、高生産性RP併用技術																				
	薄肉板鑄造																				
	複雑異形連続鑄造																				
	マクロ偏析予測防止																				
	凝固割れ・熱応力予測制御																				
スーパーニアネット鑄造システム	表層チル組織発生予測防止																				
	寸法:1mm以下																				
	寸法:100 μm以下																				
	寸法:10 μm以下																				
大型鑄物(鑄鉄、鑄鋼、船舶用等)砂型鑄造技術	厚さ:100 μm以下・寸法精度10 μm・表面あらさ0.1 μm																				
	鑄巣発生予測																				
	凝固割れ予測																				
	熱応力変形予測、制御																				
車体用高延性合金のダイカスト鑄造技術	耐熱鑄鋼・鑄鉄素材開発																				
	合金開発																				
	焼き付き防止金型表面処理																				
銅合金鑄物の高信頼性・高生産性技術	凝固割れ予測																				
	砂型低圧鑄造																				
	差圧鑄造																				
	セミソリッド鑄造																				
	金型鑄造(青銅系鑄物)																				
鑄物用銅合金溶湯の品質管理システムの確立																					

生産技術	高融点金属(合金)の金型製造技術	金型用新素材(耐ヒートクラック)の開発																○																	
		銅ダイカスト技術																		○															
		自動注湯システム																		○															
	環境負荷低減型鑄造システム	高効率溶解システム(熱効率80%溶解技術)																		○		◎	○												
		鑄造型における産廃0技術																		○		◎	○	○											
		光触媒脱臭プロセス																				◎	○	○											
		自己潤滑(金型)材の開発																		○	○	◎													
環境負荷物質・レアメタル代替材料設計技術																		○		◎	○	○													

5. 1 1 プラスチック成形

5. 1 1. 1 プラスチック成形の概要

プラスチック成形加工の分野では、生産性の向上とともに、成形品の高付加価値化が次の2ディケードにおいても最重要課題となろう。

①高付加価値射出成形

a. 微細転写

熱可塑性プラスチック成形加工のうち、その割合の最も高い射出成形の分野では、成形品の成形精度向上、特に転写性の向上と材料物性制御が主眼となる。すなわち、プラスチック成形品の用途が拡大し、その表面形状に求められる精度や緻密度が高まるにつれて、現状の射出成形品の転写スケール（完全転写で10ミクロンオーダー、部分転写で1ミクロン程度）を飛躍的に改善する必要があるが生じている。このため、現状では射出速度を向上させたいわゆる高速射出成形機が上市され、その効果を発揮しつつあるが、射出速度を高めたことによる副作用、例えば熔融樹脂充填量や型内圧力の緻密な制御が難しくなる点、あるいは高せん断流動に伴う付加的現象の影響などの解決が求められている。したがって、高速射出成形機の高精度化・高応答化が直近の課題となろう。

また、転写性を向上させるためには高い型温度設定が有効であることはよく知られているが、型温度の上昇は冷却サイクルの延長、すなわち生産性の低下に直結するため、短時間に型温度を上昇下降させる方法が種々検討されている。しかし、これらの手法は、基本的に対症療法的であり、型温度を高速に変化させる抜本策にはまだ決定打がない状況にある。次の1ディケード内には、新規な型温度上昇下降手法を含めて、金型の温調システムとして使用できる原理の模索を続ける必要がある。これに併せて、金型の熱容量を減じる金型構造の検討も必要になる。金型の温度制御に時間を要するのは、成形される製品に比べて金型の熱容量が格段に大きいためである。金型の熱容量（質量）は型剛性の要求から決まるものであるが、剛性を維持したまま型の熱容量を格段に減じることができれば、生産性を維持したまま成形品の転写性向上を図ることができることから、この視点での検討も強く求められる。さらにいえば、成形品表面形状の転写に関与する成形品表面近傍のプラスチック材料の流動性を加熱以外の方法で維持する概念も検討されるべきである。現状でも、炭酸ガスを材料表面に溶解して転写性を向上させる技術が提案されているが、これに限らず、加熱によらない材料の部分可塑化技術の模索も必要となるものと考えられる。

b. 成形品高機能化

一方、成形品の形状精度や内部物性の高精度化による成形品の高品位化・高機能化についても要求は高い。特に光学部品をプラスチック化し射出成形で製造するためには、形状

精度・材料物性精度がきわめて重要であり、現状の成形品寸法精度 10 ミクロンオーダー、密度分布 0.1%オーダーをそれぞれ 2 桁向上させる必要がある。このための手法は、上述の転写性向上と同様、型温度や材料充填挙動の高精度制御が中心となろうが、これらと同時に成形品形状や物性の精度を飛躍的に向上させうる新規材料の開発も求められる。

また、発泡成形によって成形品に新たな機能、例えば光分散性や断熱性を付与する取り組みも現在行われているが、これをさらに発展・高度化することによってプラスチック成形品の新たな用途展開がはかれる可能性がある。したがって、直近の 1 ディケードにおいて重点的に取り組むべき課題の一つと考える。

c. 微小成形

さらに、転写性向上、転写形状の附形スケールの減少に伴って、成形品寸法そのものも微細化していくことが想定される。微小な成形品を高精度に得るためには、成形品表面への転写性向上と同様、固化速度の相対的な増加に対処する方策が必要となるが、これに加えて、成形品が微細化するにつれて成形品と同程度かそれ以上の質量となるランナー・スプルーといった不要部分を削減することが、生産性の向上とともに省資源・省エネルギーの観点からも重要となる。このための方策として、現状ではいわゆるホットランナーシステムを用い、ゲート以前の材料を次の充填に利用することが行われているが、今後はこの概念をさらに進めて、微細成形品に特化した成形機と型の一体化システムの構築が求められてこよう。

d. 省資源・省エネルギー

成形材料の削減については、微小成形の項でも述べたように、成形品に比べてランナー・スプルーといった不要部分が相対的に大きくなる小さな成形品において特に重要である。この対策としては、ホットランナーシステムの普及促進とともに、成形機と型の一体化システムの構築が技術課題となろう。

省資源・省エネルギーの観点からいえば、成形プロセスで使用される電力の削減も大きな課題である。射出成形におけるエネルギー消費の多くは、混練・充填・型締めといった機器駆動動力と材料の加熱、型の温調によるものである。これらのうち機器駆動動力については、成形機が電動化された時点で既に大幅な削減がなされており、今後もこれを高効率化する動きは強まるであろうが、飛躍的に消費エネルギーを削減するためには、材料の加熱可塑化や型温調に要するエネルギーの削減に対する技術革新が望まれる。

材料の加熱と冷却に消費されるエネルギーは基本的に等量であるが、現在、これらを循環して使用する方法は想定されていない。成形工程から排出される熱エネルギーを回収し有効に再利用するシステムの構築は、特に複数の成形機を同時運転する工場では効果を発

揮することから、次の2ディケードでフレックスルーが確立されることが望まれる。これについては、材料・エネルギー最小化加工技術の項でも述べる。

②高付加価値フィルム・押出成形

フィルムや紡糸、押出成形といった成形法においては、その表面性状のみならず、幅・長さ方向の成形品物性の制御が主眼となる。例えばフィルム成形では、1m を超える幅内の成形品形状、材料物性を制御し望まれる製品特性を付加した上で、それを数 km の長さにわたって維持する技術が求められる。現状でも液晶用の位相差フィルム等で一部こうした成形が行われているが、これを普遍化する技術が次の1ディケードにおける課題であるといえる。

③新規成形技術

従来の射出成形やフィルム成形等の枠内に収まらない新しい成形技術の開発も、成形品の高機能化・生産性の向上の観点から重要である。これまでも、複数の成形工程で生み出される成形品を接合して一つの製品とする成形接合技術が検討され、実際に製品を生み出しているが、さらにこれを高度化することが直近の課題である。さらに、型内塗装や組立を含めた複合成形技術、型内金属メッキによる回路形成などの複数材料成形技術を高度化し、従来のプラスチック成形品の枠にとらわれない製造を目指すことが求められよう。

さらに、従来とは異なる成形原理による成形加工手法の模索も必要である。現状の熱可塑性プラスチック材料の成形加工は原則として、材料を加熱して溶解し、型形状を転写することで附形を行い、冷却して固化させることで製品を得ているが、この加熱・冷却による流動性の付与・形状の固定化の概念を打ち破る可塑化手法、あるいはそれに合致した新規材料の開発が望まれる。さらに、型形状の転写による附形は、単純ではあるが、附形形状の微細化に伴って離型困難や離型時の変形などが問題となってきた。これを抜本的に解決する型形状の転写によらない附形方法も模索されるべきであろう。

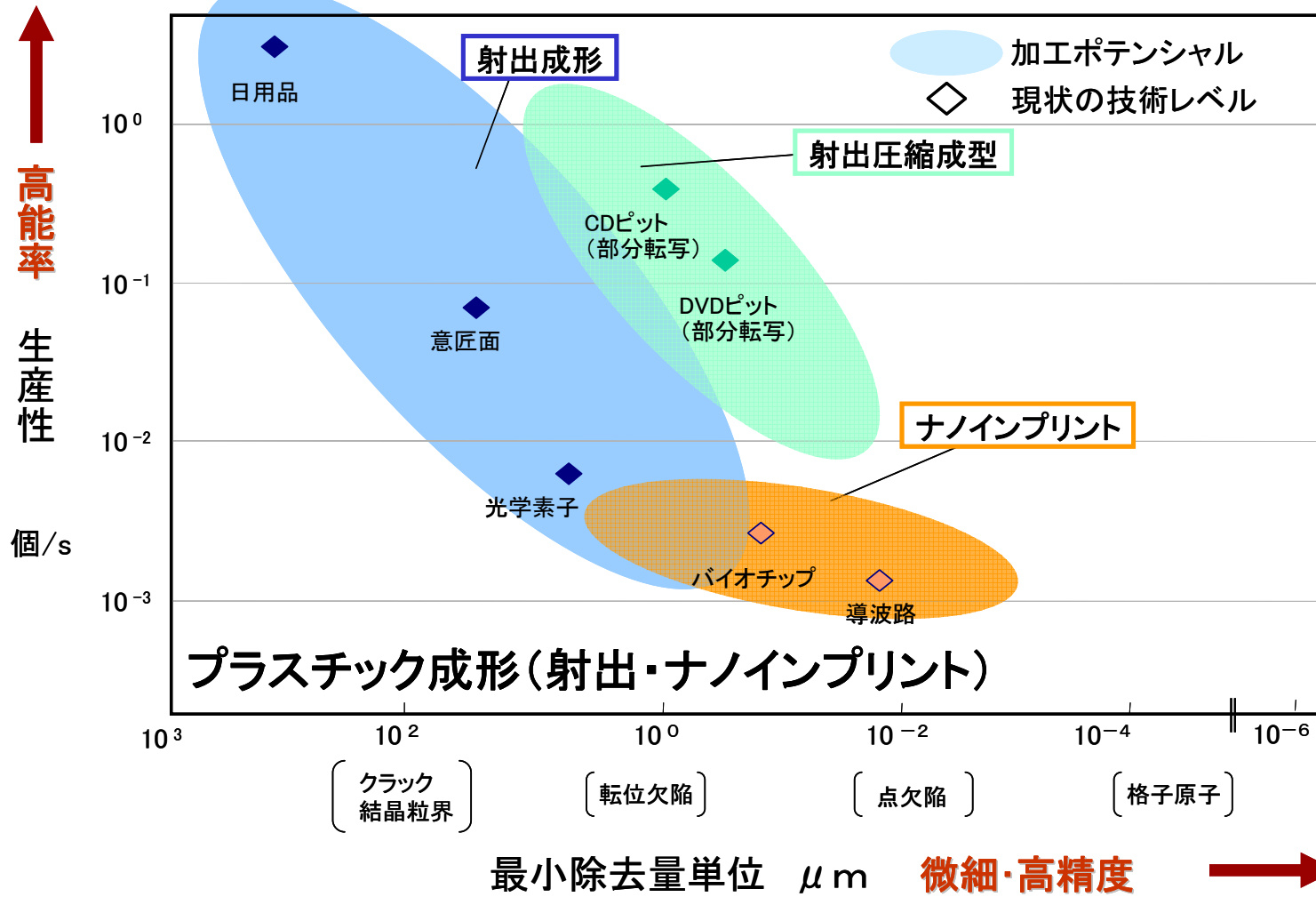
④設計・開発・生産管理

射出成形等の成形現象の予測・把握については、これまでもシミュレーションモデルの高度化、計測手法の高度化によってある程度の成果を上げてきた。コンピュータや電子機器の発達に伴い、今後もこれらの高度化が進み、現象の把握・制御の側面から、成形品の高度化に寄与していくことが期待される。

一方、生産性の向上の観点から、型製作に係るリードタイムの削減が求められている。これに対しては、一部でラピッドプロトタイピングの原理を用いた型製作が試みられており、その一部は実生産に適用されつつある。次の1ディケードにおいては、こうした手法をさらに広げ、上述の型構造の最適化（剛性の維持と熱容量の削減の両立、成形機と型の

一体化などを含む) に適合する型のラピッドプロダクション技術を確立することが求められる。さらにいえば、型によらない成形手法の検討と併せて、リードタイムの革新的な削減についても検討されることが望まれる。

微細加工技術マップ



5. 1 1. 2 技術マップ（プラスチック成形）

ものづくり技術マップ（プラスチック成形）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考	
プラスチック成形	高付加価値射出成形	微小成形	高速・高精度射出成形機	高速充填と高精度射出量・圧力制御の両立	
			ランナレスシステム	ホットランナに代わるランナレス成形システム(型・成形機一体化)	
			金型温調システム	超高速温度制御が可能な金型温調システム	
			低熱容量金型構造	高剛性と低熱容量を両立する金型構造	
			新規可塑化手法	ヒーター加熱によらない可塑化手法、加熱シリンダ・スクリューによらない可塑化システム	
		微細転写	高速・高精度射出成形機	高速充填と高精度射出量・圧力制御の両立	
			部分可塑化	成形品表面近傍のみを型内で可塑化させる技術	
			金型温調システム	超高速温度制御が可能な金型温調システム	
			低熱容量金型構造	高剛性と低熱容量を両立する金型構造	
		成形品高機能化	超高精度成形技術	型補正によらず成形品形状精度1ミクロン以下を実現する成形技術	
			成形品内物性制御技術	成形品内の密度・分子配向・弾性率・繊維配向等を自由に制御する技術	
			高機能発泡制御技術	発泡成形品内の空隙率、気泡径、分布等を自由に制御する技術	
			新規材料開発	従来のプラスチック成形品にない特性を発現させる材料開発	
		省資源・省エネルギー	新規可塑化手法	ヒーター加熱によらない可塑化手法、加熱シリンダ・スクリューによらない可塑化システム等による可塑化エネルギー削減	
			ランナレスシステム	型・成形機一体化などによるランナ等の廃材削減	
			省エネルギー成形機	消費電力削減に加えて、加熱シリンダ放熱をペレット予熱、型加熱などに再利用するシステム等を含めた省エネルギー成形機	
			低熱容量金型構造	型温調に要するエネルギーを削減するための型低熱容量化	
			新規金型加熱冷却技術	高速温度制御と省エネルギーを両立させる型加熱冷却技術	
		高付加価値フィルム・押出成形・紡糸	成形品高機能化	成形品形状高精度制御	1mを超える幅(フィルム)、数kmの長さにならなくて射出成形品並みの成形品形状精度を実現する成形技術
				分子配向高精度制御	フィルム・押出成形品あるいは紡糸線内の分子配向を自在に制御する手法、特にフィルムについては光学機能部品として使用に耐える光学特性を与えられる技術
		新規成形技術	成形品高機能化	複合成形技術	射出・押出・フィルムキャスト等の得意な部分を複合した成形技術
	成形接合技術			接着・溶接等による成形品の接合の高度化、型内組立を含む	
	成形精度・品質・生産性のブレークスルー		複数材料成形	金属、ゴム等とプラスチックの成形を一度に行う技術	
			新規可塑化手法	加熱冷却によらない可塑化・固化技術	
			新規材料開発	従来のプラスチック成形品にない特性を発現させる材料開発、可塑化原理を含む	
	設計・開発・生産管理	シミュレーション	型によらない附形技術	型形状の転写によらない表面テクスチャ附形制御など	
			物性値評価・データベース	物性値のより厳密な評価と蓄積	
			完全3次元シミュレーション	2.5Dから3Dへの展開	
		リードタイム最小化	全プロセスを通じた現象予測	可塑化から最終製品までの材料挙動を予測する技術	
			RP(ラピッドプロダクション)	多品種少量生産に耐えるラピッドプロダクション技術、型によらない附形技術を含む	
			RPによる試作型製作	試作型のラピッドプロダクション技術	
			新規型製作手法	型製作に係るリードタイムの最小化と高精度化	
		高品位・高安定生産	型によらない附形技術	型形状転写によらない附形技術	
			成形現象のインプロセス計測	成形中の材料挙動をインプロセスで高精度計測する技術と、計測パラメータの特定	
			成形条件の高応答制御	計測されたデータに基づいたフィードバック制御の高度化、超高応答制御手法	

5. 1 1. 3 ロードマップ（プラスチック成形）

ものづくり技術ロードマップ（プラスチック成形）

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	重点化の評価									
																										①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧				
																										○	○	○	○	◎	○	○	○				
高付加価値射出成形	微小成形	高速・高精度射出成形機																											○								
		ランナレスシステム																												○		○					
		金型温調システム																												○		○					
		低熱容量金型構造																												◎		○					
		新規可塑化手法																												○		○					
	微小転写	高速・高精度射出成形機																												○							
		部分可塑化																												○		○					
		金型温調システム																												○		○					
		低熱容量金型構造																												◎		○					
		新規可塑化手法																												○		○					
成形品高機能化	超高精度成形技術																												○	○							
	成形品内物性制御技術																												○	○							
	高機能発泡制御技術																												○						○		
	新規材料開発																												○		○						
	新規可塑化手法																												○		○						
省資源・省エネルギー	ランナレスシステム																												○		○						
	省エネルギー成形機																												○		○						
	低熱容量金型構造																												◎		○						
	新規金型加熱冷却技術																												○		○						
	排熱回収再生システム																												○	◎	○						
成形品高機能化	成形品形状高精度制御																												○	○							
	分子配向高精度制御																												○	○							
新規成形技術	成形品高機能化																												○		○						
	成形精度・品質・生産性のブレークスルー																												○	○							
	複合成形技術																												○		○						
	複数材料成形																												○	○							
設計・開発・生産管理	成形精度・品質・生産性のブレークスルー																												○		○						
	新規可塑化手法																												○		○						
	新規材料開発																												○		○						
	型によらない附形技術																												○						○		
シミュレーション	物性値評価・データベース																												○		○						
	完全3次元シミュレーション																												○		○						
	全プロセスを通じた現象予測																												○		○						
リードタイム最小化	ラピッドプロダクション																												○								
	RPIによる試作型製作																												○								
	新規型製作手法																												○	○							
高品位・高安定生産	型によらない附形技術																												○						○		
	成形現象のインプロセス計測																												○		○						
	成形条件の高応答制御																												○		○						

5. 1 2 溶接・接合

5. 1 2. 1 溶接・接合の概要

溶接・接合技術の適用範囲は多種多様、かつ、広範囲にわたるが、アプリケーション側から要求は、短時間での施工と、継手部の性質が母材と同等であること、施工後の変形が無いことである。そのために、熱源の改良が今後も続けられるであろう。例えば、アークやレーザを用いた熱源の高効率化や、超短パルスレーザなどの新熱源の開発である。一方で、熔融を廃し、固相接合で根本的に施工後変形をなくする方向もある。摩擦攪拌接合やろう付け、はんだ付け、究極的には常温接合である。加工プロセスとして溶接・接合は今度も必要不可欠な技術であることに変わりはない。それ故、ものづくり現場において広く認識を高める必要があり、CAD/CAM に代表される設計ツールに溶接・接合の知識を組み込んだり、教育活動を行うなどのソフト面の開発も重要である。

① アーク接合プロセス

a. A-TIG/AA-TIG (アクティブ TIG/アドバンスド・アクティブ TIG)

A-TIG/AA-TIG (Active flux TIG あるいは Active TIG/Advanced Active TIG) は熔融池の流動現象を制御して深い溶け込みと小さな熱影響部を実現する新しい TIG 溶接法である。厚板溶接の施工時間短縮や溶接熱影響部の極小化が期待されている。A-TIG ではフラックスの活性化、AA-TIG では更にシールドガスの工夫により熔融池内流動を制御しようとしている。フラックスやシールドガスの溶接現象への影響を評価するために、溶接現象の可視化・計測可能化が実現できれば、超深度溶け込みを得る方法が開発されるだろう。

b. 次世代型 MIG 溶接

現在、MAG/MIG 溶接はコスト的に有利であるが、溶接品質は TIG 溶接に劣る。MAG/MIG では溶接部に付着させる溶接ワイヤを電極替わりにしているため、高効率に電力を溶接ワイヤの熔融に働かせることができるのでコスト的に有利である。一方、電極である溶接ワイヤが熔融してしまうので、アークが不安定となり、接合品質が劣る。次世代型 MIG 溶接では、アクティブにアークを制御する高品位安定電源を開発し、それに適合した溶接ワイヤの開発により、高品質な溶接継手の形成を目指す。

c. 溶接過程シミュレーション

新世代のアーク接合プロセスの開発では、熔融池の形成・流動・凝固をトータルに扱ったシミュレーション解析が必要である。熔融池の挙動を支配する因子は多々あるため、マルチ・フィジックス的な数値計算とともに、解析の基礎となる凝固系の諸物性が必要となる。多くの科学技術分野の基盤を共有するシミュレーション技術となるだろう。

② 高エネルギービーム加工

a. 高パワーファイバーレーザー

ファイバーレーザーは取り扱いが簡便であり、高パワー化されれば広範に普及すると予想される。しかし、レーザー溶接中の減少の把握が不十分であるため、溶接現象のモニタリング技術の開発が必要とされる。一方、従来のエキシマレーザーなどで行われていた厚板鋼板の溶接に適用され、更なる、超厚板溶接の実用化が期待される。また、従来では困難な、高非強度合金異種材溶接の実現も期待されている。

b. レーザハイブリッド溶接

レーザー照射とアーク溶接を組み合わせた溶接はこれまでも種々提案されているが、コアードビーム溶接は波長の異なる 2 種のレーザーを同心円状に照射する溶接法である。金属の反射率がレーザー波長により異なるため、レーザーの組み合わせで高効率で高品質な接合を企図している。

c. 超短パルスレーザー溶接

フェムト秒 (10^{-15} s) 間の超短パルスのレーザー物質表面を加熱すると、電子-フォノンの結合時間 (数 10^{-12} s) よりも加熱時間が短いため、熱伝導が殆ど起きない。そのため、超高効率な局所的過熱が可能である。このような超短パルスレーザーを用いて高精度且つ高品位な溶接が可能である。ガラスやシリコンウエハなどの MEMS デバイスへの適用が考えられている。一方、超短パルスレーザーにより物質表面に衝撃波が伝搬する。衝撃波通過後の微小な高圧部で相変態が起こる。この現象を積極的に応用して表面改質や、接合を行う試みもなされはじめており、将来、広範に用いられる可能性もある。

③ 固相接合プロセス

a. 摩擦攪拌接合 (FSW)

摩擦攪拌接合 (FSW ; Friction Stir Welding) はすでにアルミニウム合金板の突き合せ接合で使用され、常温で行われる、高エネルギー効率で熱影響部の小さな接合方法として革新をもたらした。今後は航空宇宙用途向けの高比強度材や、自動車向けなどの高張力鋼などへの応用を期待される。そのためには超高強度攪拌ツールの開発が技術的課題となる。また、材料を軟化させるために、何らかの方法で余熱を加えるハイブリッド FSW の開発も行われるだろう。

b. ろう付け・はんだ付け

ろう付け・はんだ付け技術は接合する母材を溶融させない固相接合技術であるため、今後益々多用されていくと思われる。中でも、超高温稼働のガスタービンに用いられるタービン翼の補修への応用が期待されている。1990 年代後半に実用化された新世代単結晶超合金製タービン翼に亀裂が入った場合に、ろう付けの一種である液相拡散接合を適用して補

修する技術が確立されることが期待される。

④ デバイス・エレクトロニクス分野

a. 鉛フリーはんだ

電子機器における鉛フリーはんだの使用は広く普及したが、依然として、鉛フリーはんだ継ぎ手の信頼性は不明な点が多く、評価が必要である。また、現用の鉛フリーはんだは Sn-Ag 系の合金であるため、2 相分離しやすいと推定され、経年劣化が危惧される。そのため、現用の鉛フリーはんだの代替としての次世代鉛フリーはんだの開発が必要とされる。

b. マイクロデバイス実装技術

MEMS デバイスやナノマシンなどの電子デバイスの極微細化は今後も益々進展していくと思われるが、微細なデバイスを実装する技術なしでは製品として成立しない。他の素子やデバイスを繋ぐ極細導線を固定するサブミクロン微細配線接合技術は製品化のボトルネックにならないように開発する必要がある。また、素子自体をコンパクトにするために、ウェハ三次元化技術は必須である。

⑤ システム化技術

a. 溶接ロボット

現在、生産ラインで使用されている溶接ロボットと異なり、施工条件や厳密な施工パスのティーチングが不要な、完全あるいは半自律型へと溶接ロボットは進化するであろう。そのためにアーク、レーザ光などの高照度内での現象を把握するセンシング技術の開発と溶接電源とロボットマニピュレータ協調制御する技術の開発を並行して進めるべきである。

b. CAD/CAM

溶接技術に関する諸問題の中でも設計者の認識不足が挙げられることが多い。設計者が溶接技術を詳細に把握することは無理であるため、設計時に CAD/CAM 上で溶接施工後の継ぎ手状態を提示できる技術をブラックボックスとして設計者に供すればよいであろう。それには、溶接プロセストータルシミュレーションで施工過程を完全シミュレーションし、CAD/CAM もモジュールとして溶接過程モデルを提供できるようにならなくてはならない。種々の溶接プロセスのモデルが提供された将来、最適な溶接・接合方法選択を提示する、溶接プロセス選択自動化システムが現れるであろう。

⑥ 常温接合

a. デバイス実装

常温接合は物質表面が超平面で超清浄であれば物質同士を密着するだけで強固な接合が得られるという原理に基づいている。既に基礎的な研究は行われているが、超高真空内でのより表面の超清浄化・活性化手法の開発が重要である。現在の MEMS では単結晶シリ

コンのウェハを用いているが、将来はシリコンウェハにシリコン以外の薄膜材をクラッドし、デバイスをより多機能化、高機能化する、異種材接合技術を開発されるようになるだろう。

⑦ 複合材接合

a. ろう付け

現在、複合材料の接合は機械的なかしめと接着が用いられているが、複合材料の耐熱性や高比強度を活かすためには、より強固な接合方法が望まれる。その候補がろう付けである。複合材料同士、複合材料と金属の異種の接合を得るために、ろう材の開発、適切な加熱方法などの開発が必要である。

⑧ 接合部評価技術

a. 非破壊検査技術

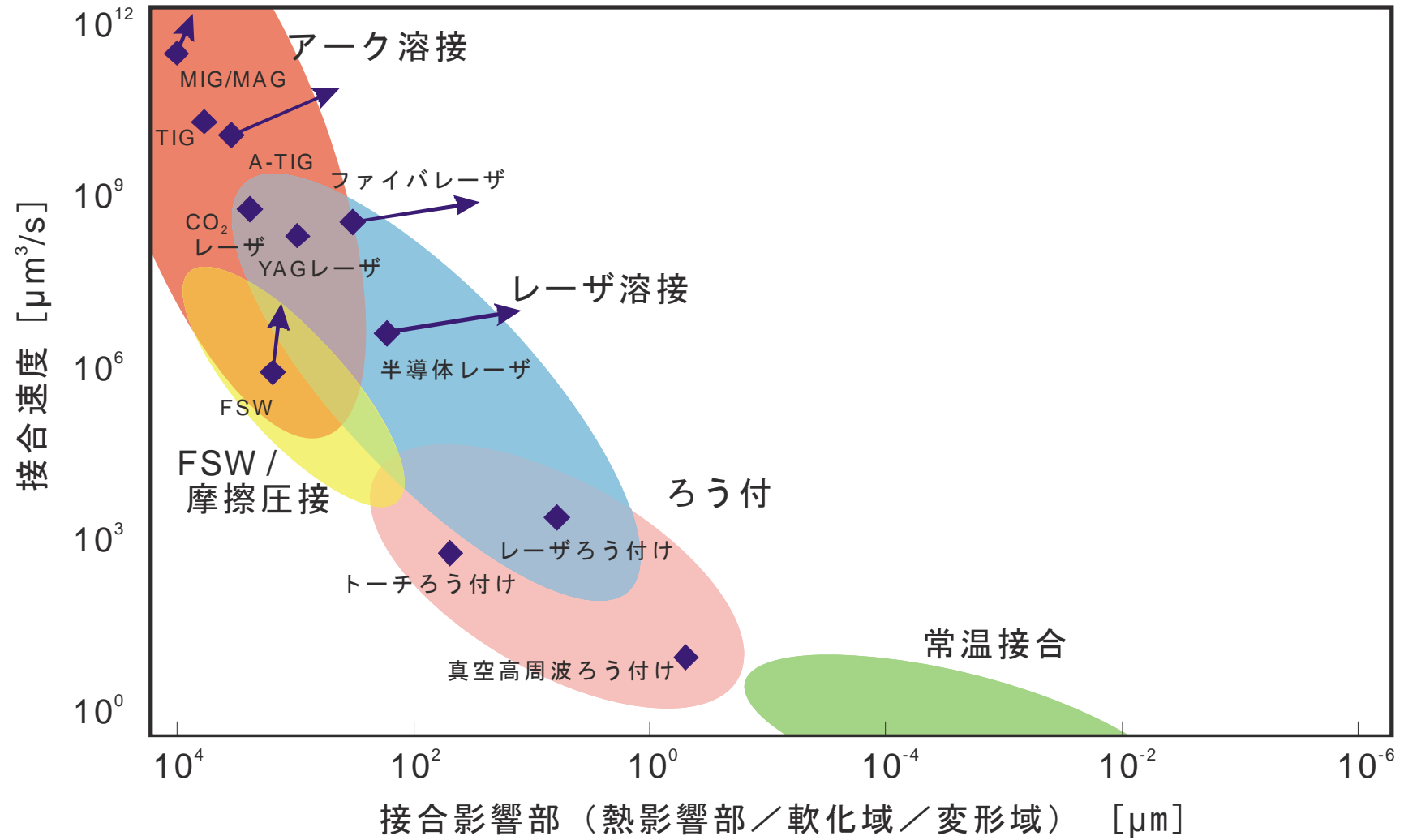
溶接部、接合部が健康的な状態かを評価する方法は、現在、主に超音波探傷、X線探傷が用いられている。超音波探傷は接合部内部の傷の状態、種類をある程度予想しながら、探傷法を選ぶ、または、すべての探傷法を試すことがなされている。客観性が必ずしも保証されていないため、今後は、データベースとAIを結合した経験に頼らない超音波探傷結果の評価装置、システムを開発する必要がある。また、直観的に接合部内部の傷を示す、3次元可視化技術も開発されるだろう。これは超音波、X線どちらの側からもなされてきている。一方、超音波、X線以外の新しいプローブ（探針子）による探傷法も開発されることが予想される。例えば、放射光、中性子線などの利用である。

b. 疲労・信頼性評価

溶接構造部は十年以上の長いスパンで使用に供されるものが多く、耐疲労性の確保は必要である。しかしながら、耐疲労性や信頼性の評価のもととなる長期間にわたる比較データは多くは提示されていない。そのため、接合部の疲労評価に必要な基礎的な物性値の蓄積が必要である。これは産業基盤として国家の財産となる。

構造物の接合部が健康的であるが、常にインサイトでモニタリングする技術が実用化されれば、構造物のメンテナンスの効率が上がると思われる。更に、種々の信頼性評価方法を統合したデータベース構築し、高度な信頼性評価情報を簡便に設計や、構造物健康診断に適用・援用することができれば、より安全で安心で持続的な社会が構築されるであろう。

溶接・接合技術マップ



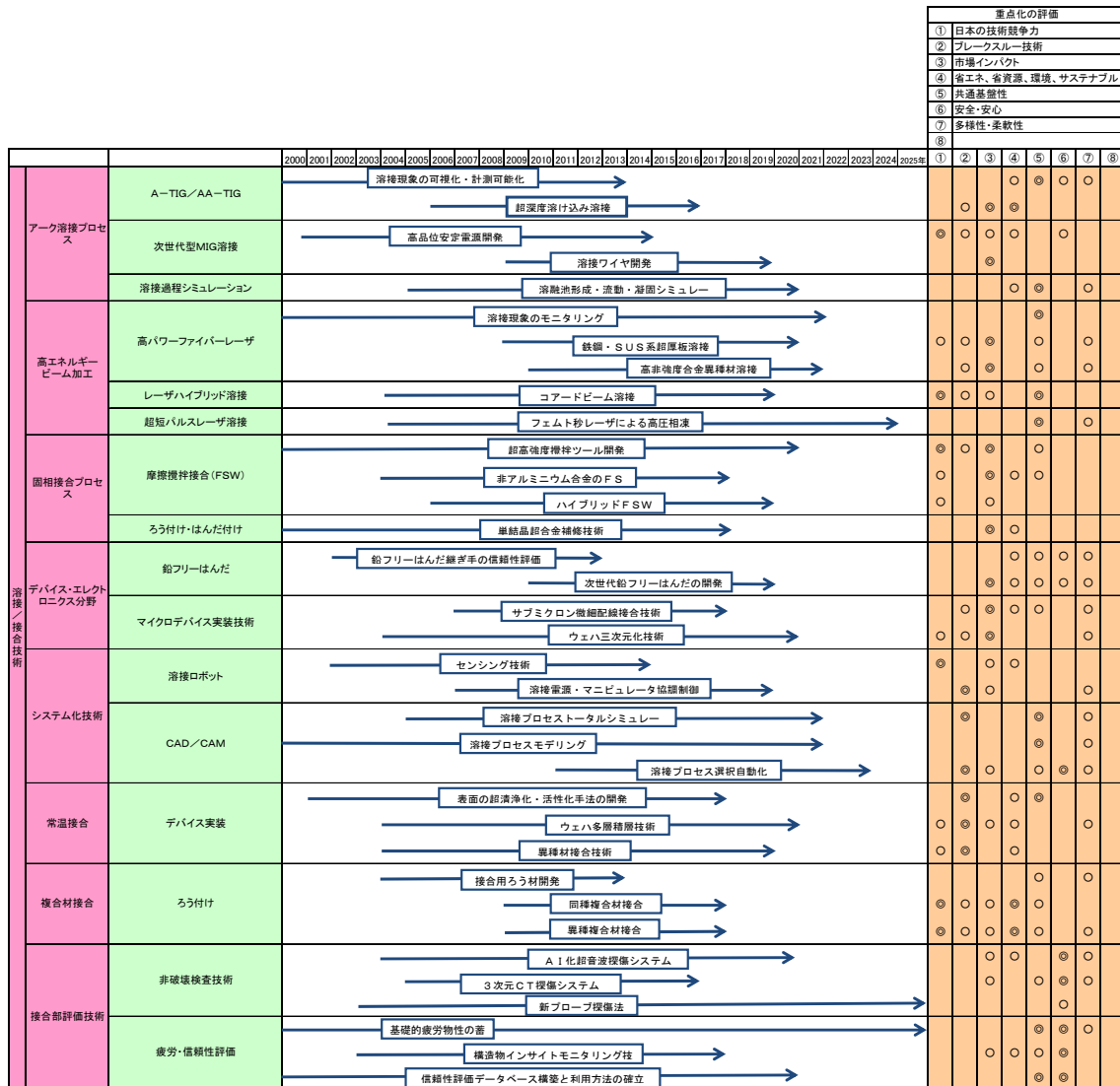
5. 1. 2. 2 技術マップ（溶接・接合）

ものづくり技術マップ（溶接・接合）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
溶接／接合技術	アーク溶接プロセス	A-TIG/AA-TIG	溶接現象の可視化・計測可能化	A-TIG溶接での溶接現象を把握するための現象観察。
			超深度溶け込み溶接	従来のシールドガス(Ar, CO2)に酸素を混入、Heへの置換により溶融池内流動を制御する。
		次世代型MIG溶接	高品位安定電源開発	アルゴン気流中でのMIG溶接の安定化のための電流量、電圧パターンの模索。
			溶接ワイヤ開発	溶接ワイヤ材質(REM添加等)、構造の見直し。
		溶接過程シミュレーション	溶融池形成・流動・凝固シミュレーション	母材・溶接金属の溶融から溶融池の形成、内部の流動を経て、凝固過程までを含んだ複合シミュレーション
	高エネルギービーム加工	高パワーファイバーレーザー	溶接現象のモニタリング	施工の様子をリアルタイムで観察し、可視化する技術。
			鉄鋼・SUS系超厚板溶接	ファイバーレーザーによりYAGの代替を行う。
			高非強度合金異種材溶接	チタン合金/アルミ合金などの高非強度合金の異種材溶接。
		レーザーハイブリッド溶接	コアードビーム溶接	ファイバーレーザーと半導体レーザーを重畳したビーム、アルミ合金などの高蒸気圧金属に対して有効。
		超短パルスレーザー溶接	フェムト秒レーザーによる高圧相凍結	極短パルスレーザーによる組織改質。
	固相接合プロセス	摩擦攪拌接合(FSW)	超高強度攪拌ツール開発	鉄鋼系、チタン合金等へのFSWに耐える攪拌ツール開発。
			非アルミニウム合金のFSW	銅合金、マグネシウム合金、オーステナイト系ステンレス鋼、チタン合金へのFSWの適用。
			ハイブリッドFSW	レーザー等の予加熱と複合したFSW。
		ろう付け・はんだ付け	単結晶超合金補修技術	液相拡散接合を用いた単結晶体の補修。
	デバイス・エレクトロニクス分野	鉛フリーはんだ	鉛フリーはんだ継ぎ手の信頼性評価	鉛フリーはんだの耐衝撃強度、疲労強度、耐蝕性、経年劣化などの信頼性の検証。
			次世代鉛フリーはんだの開発	施工性(ぬれ性)の向上、信頼性の向上を目指した新鉛フリーはんだの開発。
		マイクロデバイス実装技術	サブミクロン微細配線接合技術	マイクロデバイスの電源線・信号線を非マイクロデバイスに接続する技術。
			ウエハ三次元化技術	IC、LSIを積層して三次元化する技術。
	システム化技術	溶接ロボット	センシング技術	アーク、レーザー光などの高照度内での現象を把握するセンシング技術。
			溶接電源・マニピュレータ協調制御	溶接トーチの状況に応じた電源の制御。
		CAD/CAM	溶接プロセストータルシミュレーション	溶接施工の全ての工程を、全ての物理現象を加味した数値シミュレーション。
			溶接プロセスモデリング	溶接過程をモデリングして、CAD/CAMシステム上で溶接施工の状態を示す。
		溶接プロセス選択自動化	最適な溶接・接合方法選択を提示するシステム。	
	常温接合	MEMSデバイス実装	表面の超清浄化・活性化手法の開発	ウエハ界面の清浄化と活性化を図る。
			ウエハ多層積層技術	多数枚のウエハを積層し、MEMSデバイス・集積回路をよりコンパクト化する。
			異種材接合技術	シリコンウエハにシリコン以外の薄膜材をクラッドし、デバイスをより多機能化、高機能化する。
	複合材接合	ろう付け	接合用ろう材開発	複合材に適したろう材の開発。
			同種複合材接合	C/C複合材、MMC同種材の接合。
			異種複合材接合	複合材と高非強度合金の接合。
	接合部評価技術	非破壊検査技術	AI化超音波探傷システム	データベースとAIを結合した経験に頼らない超音波探傷結果の評価。
3次元CT探傷システム			超音波、X線による3次元可視化。	
新プローブ探傷法			超音波、X線以外の新しいプローブ(探針子)による探傷法。	
疲労・信頼性評価		基礎的疲労物性の蓄積	疲労評価に必要な基礎的な物性値の蓄積。	
		構造物インサイトモニタリング技術	構造物の接合部を常にモニタリングする技術。	
		信頼性評価データベース構築と援用方法の確立	種々の信頼性評価方法を統合したデータベース構築と、実施工への簡便な適用・援用方法の提供。	

5. 1. 2. 3 ロードマップ (溶接・接合)

ものづくり技術ロードマップ (溶接・接合)



5. 1.3 金属成形加工：鍛造、板材成形、インクリメンタルフォーミング、マイクロ成形

5. 1.3. 1 金属成形加工の概要

(1) 背景

金属材料の成形加工は、生産システムの自動化や高度化に伴い、各加工工程において、高い加工精度が要求される。また、環境問題への配慮から、省エネ、潤滑、洗浄工程の簡略などが求められている。廉価で大量生産できるメリットを保ちながらも加工精度の向上が求められている。

成形加工の場合、材料が複雑な変形経路をたどり、多くの場合、複雑形状の金型を用いるため、材料の変形状態を直接把握することは困難である。数値シミュレーションによる変形の正確な予測が大変重要であり、そのためには、材料変形のモデリングが重要な課題である。プロセスセンシング・制御技術も高精度の鍵となる。

近年、情報家電や IT 分野において、デバイスの小型化が進め、精密かつマイクロな部品生産への要求が高まっている。マイクロ医療や MEMS 分野においても、金属材料の成形加工が期待されている。そのため、マイクロ部品の成形加工が大変注目されている。マイクロ成形加工を実現するためには、マイクロ成形に適した素材や金型部材の開発、金型の創成技術、マイクロ部品のハンドリング、組立成形技術、成形機械の精度向上など多くの課題が残されている。

(2) 各種成形加工技術

(a) 鍛造

鍛造では、ニアネットシェープ成形法として期待されている。そのためには、材料の変形挙動の正確なモデリング、特に熱間成形における形状精度の正確な予測が求められる。また、FEM 等を用いた加工シミュレーションが加工プロセスの最適化や金型の設計が重要となってきた。

具体的には、以下のような技術課題の解決が期待されている。

a) CAE による高精度プロセスシミュレーション

素材の変形をマルチスケール素材変形予測モデルなどにより、モデリングし、大きな塑性変形が伴う成形プロセスの高精度シミュレーションが必要となる。さらに、それを用いた CAE によるプロセスの最適設計を行う。また、熱を伴う熱間鍛造では、成形時における金型熱弾性変形、素材の熱弾塑性変形解析を行うことにより、成形プロセスのシミュレーションの高精度化が求められている。

b) 精密鍛造

精密鍛造を実現するために、金型精度の向上、及びプロセスのセンシング・制御が不可欠である。超微粒金型部材の開発、及びその加工技術の開発を行い、また、金型の熱弾性変形などを考慮した形状の最適設計を行うことが重要である。サーボプレスなどによる高精度な加工プロセスセンシング及び制御技術の開発、また、加工後の熱処理における素材の熱収縮、熱処理時のひずみなど製品精度への影響因子をシミュレーションにより高精度予測技術が求められている。

c) 軽量化・高機能化

地球環境問題への対応に今後、益々需要が増える構造材の軽量化において、アルミニウム合金、マグネシウム、チタンなどの鍛造品の一貫製造システム開発、中空パイプなど軽量構造材の精密鍛造技術の開発が重要となる。

また、板材成形などとの組み合わせによる軽量構造の精密鍛造鍛造と板材成形の複合成形、異種材料の加工・接合などによる複合一体化が重要な課題となる。

(b) 板材成形

板材成形では、形状精度が大きな課題となっている。特に、地球環境問題などで、自動車の軽量化が進められている中で、高張力鋼板やアルミ合金の適用が進められ、形状精度不良問題が大きな課題となっている。それは従来の軟鋼板と比較して、前者では高降伏応力、後者では低ヤング率に起因するスプリングバック量の増加が問題で、その対策が急がれている。FEM 等を用いた加工シミュレーションが加工プロセスの最適化や金型の設計が期待されている。

a) プレス成形

ハイテン材アルミ合金などのプレス成形におけるスプリングバック特性のモデリングと予測の高精度化を実現するためには、スプリングバック量の高精度なモデリングが期待されている。さらに、高精度なシミュレーションを用いた CAE による金型、プロセス設計の高精度化が実現され、プレス成形のリードタイムの短縮に繋がることが期待されている。

ハイテン材やマグネシウムなどの難加工材に対応した成形法の開発、またサーボプレスなどを用いたプロセス制御による難加工材への対応や加工の高精度化の実現が求められている。

b) 板金加工

機械加工とレーザー加工との複合加工による高効率化が期待されている。レーザー加工に伴う熱変形への対応による高い加工精度の実現が求められている。ま

た、CAE、知能化技術などによる高精度化、高効率化を実現し、プロセスの完全自動化が期待されている。高柔軟性を活かした多品種少量技術を利用した多品種少量生産システムを構築する。また、素材から製品までのトータル設計、高柔軟性、高精度化を実現するトータルプロセス設計が期待されている。

(c) インクリメンタルフォーミング

複雑形状の金型を用いずに、素材を所望な形状に変形されることにより、成形加工のプロットタイピングや多品種少量生産が可能なインクリメンタルフォーミングは大変注目されており、今後の課題について、以下のように纏める。

a) 単純工具による逐次成形

単純な工具を、材料を局部的に変形させながら移動させていくことにより、複雑な形状を得る加工法であり、一工程による成形加工と比較して、高い変形度が得られるが、その変形メカニズムが十分解明されておらず、そのモデリングもまだ不十分である。変形メカニズムのモデル化と高精度なプロセスシミュレーションが切望されている。局部変形のモデリング及び成形経路の高精度シミュレーションの実現により、成形プロセスの高精度シミュレーション及び成形パスの最適設計が可能となり、プロットタイピングや多品種少量生産技術として、実用可能となる。

b) レーザフォーミング

接触工具を用いず、熱加工による局部変形が新加工法として注目されているが、熱加工における素材変形の高精度モデリングの開発が必要となる。プロセスシミュレーションに基づく最適設計や高精度プロセスセンシング・制御によるプロセスの高精度化が求められている。

c) ダイレス逐次フォーミング

金型を用いずに、局部加熱によるチューブなどの逐次成形が開発されている。ダイレス逐次成形の特徴を活かした多品種少量生産技術として、期待されているが、形状精度や表面粗さの抑制などの課題が残されている。今後は、ダイレス逐次成形に適した材料開発、プロセスの計測制御によるプロセスの高精度化が求められている。

(d) マイクロ成形

金属材料のマイクロ成形技術が、近年、大変注目されてきているが、単なるマ

クロな成形加工技術のスケールダウンでは、解決できない課題が多く存在する。マイクロ成形に適した素材や金型部材の開発、ナノ精度の金型創成技術、マイクロ部品のハンドリング、組立成形技術、成形機械の精度向上など多くの課題が残されており、成形加工技術としては、大きなチャレンジが求められる。具体的な技術課題を以下のように纏める。

a) マイクロ鍛造

微細形状を有する部品の鍛造を実現するためには、超微細粒径の素材及び金型部材の開発が必要となる。また、このよう素材の変形特性評価技術の開発が重要である。マイクロ金型の創成については、従来の高精度機械加工に加えて、ナノ形状形成可能な電子ビーム、イオンビームなどによる金型の精密加工、さらに潤滑性や耐久性を強化するための表面処理技術が求められる。また、高い加工精度を得るための加工機械及び加工プロセスセンシング及び制御技術の開発が不可欠である。

b) マイクロ転写成形

アモルファス金属が用いることにより、ナノ／マイクロオーダーの金属材料の転写成形が可能となっている。ただし、ナノ加工精度の加工を得るためには、まず超微細粒径の金型部材の開発及びナノ加工精度の金型創成技術、さらに潤滑性や耐久性、離型性を強化するための表面処理技術の開発が求められる。また、熱間成形であるための熱影響を考慮した金型設計、及びプロセスセンシング・制御技術の開発が重要である。

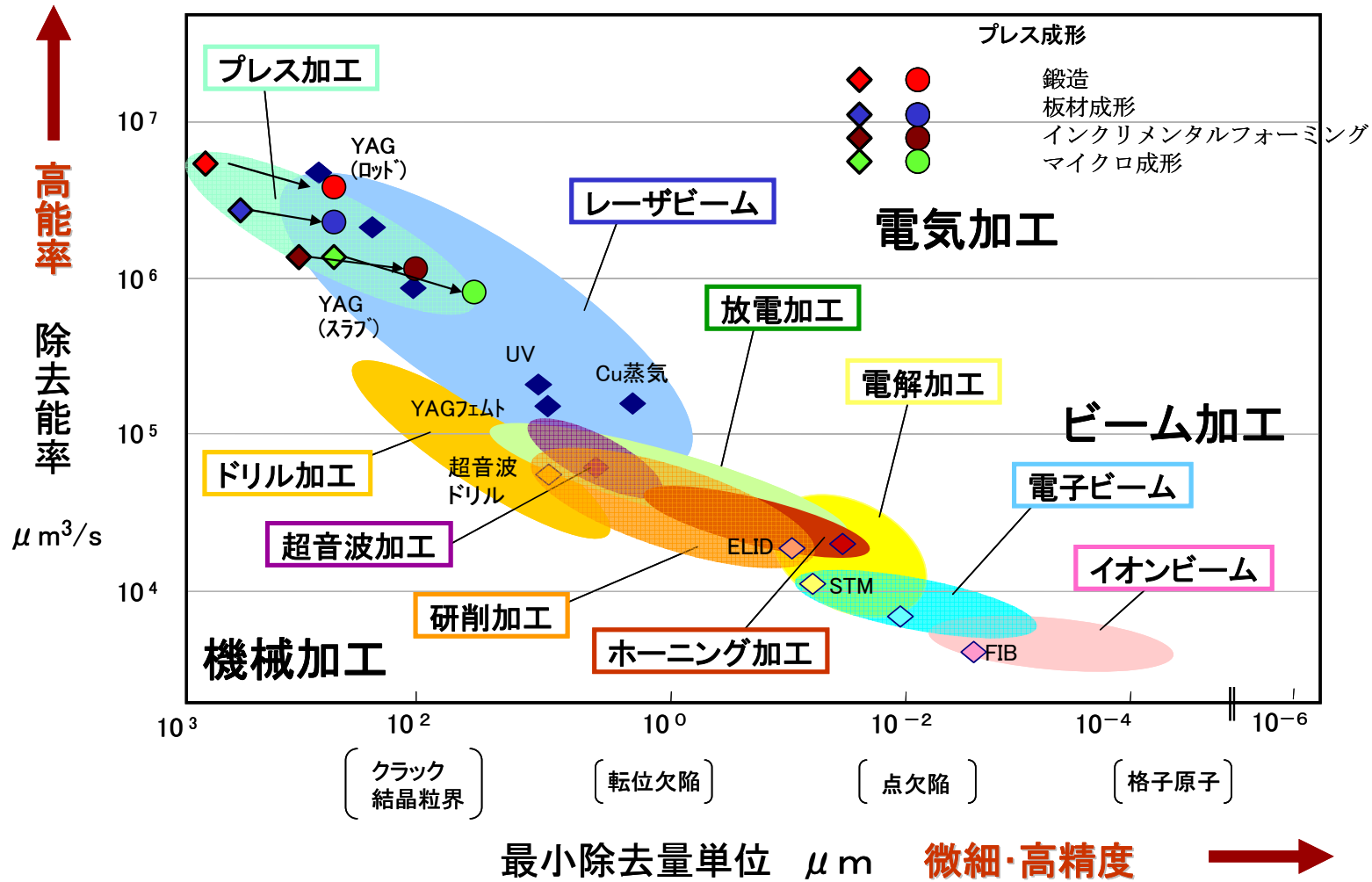
c) マイクロ板材成形

マイクロ鍛造と同様、まず超微細粒径の素材及び金型部材の開発、及び素材の変形特性評価技術の開発が重要である。特に、マイクロ金型の表面処理について、マイクロ曲げ、マイクロ絞り、マイクロ抜きなどの加工に適した表面処理が求められる。また、高い加工精度を得るための加工機械及び加工プロセスセンシング及び制御技術の開発が不可欠である。

d) マイクロアセンブリー

マイクロデバイスなどの生産技術として、部品の搬送や組立が重要となってくる。マイクロ部品の把持、搬送技術の開発、高い位置決め精度や組立精度のマイクロマニピュレーション技術の開発が求められている。さらに、箔材やマイクロ部品の接合技術の開発が求められている。

金属成形加工技術マップ (各種微細穴あけ技術との比較)



5. 1 3. 2 技術マップ（金属成形加工）

ものづくり技術マップ（金属成形加工）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
成形加工	鍛造	CAE	変形予測モデル、シミュレーション	マルチスケール素材変形予測モデルによる加工プロセスの高精度シミュレーションの実現
			プロセスの最適設計	CAEによる高精度設計の実現
			金型弾性変形解析	成形時における金型熱弾性変形などのシミュレーション解析
			材料熱弾塑性変形解析	熱間成形における素材変形のシミュレーション解析
		精密鍛造	金型精度	超微粒金型部材の開発、及びその加工技術の開発
			プロセスセンシング・制御	サーボプレスなどによる高精度な加工プロセスセンシング及び制御技術の開発
			熱処理解析	素材の熱収縮、熱処理時のひずみなど製品精度への影響因子をシミュレーションにより高精度予測
			金型形状の最適設計	金型の熱弾性変形などを考慮した形状の最適設計
		軽量化・高機能化	アルミ、マグネシウム、チタンの鍛造	アルミニウムなどの鍛造品の一貫製造システム開発
			中空パイプなど軽量構造材の精密鍛造	軽量化構造材料の精密鍛造
			鍛造と板材成形の複合成形	板材成形と組み合わせるによる軽量構造の精密鍛造
			複合一体化	異種材料の加工・接合
		板材成形	プレス成形	スプリングバック量のモデリング
	CAEによるプロセス設計精度向上			CAEによる金型、プロセス設計の高精度化
	難加工材の成形法			ハイテン材やマグネシウムなどの難加工材に対応したプロセスの開発
	サーボプレスによるプロセス制御			サーボプレス機械を用いたプロセスの最適制御
	板金加工		レーザー加工との複合加工	複合加工による高効率化、高精度、熱変形への対応
			知能化、CAEなどによる自動化、高精度化、高効率化	プロセスの自動化
			多品種少量生産システムの形成	高柔軟性を活かした多品種少量生産システムの構築
			素材から製品までのトータル設計	高柔軟性、高精度化を実現するトータルプロセス設計
	インクリメンタルフォーミング	単純工具による逐次成形	変形メカニズムのモデル化とプロセスシミュレーション	成形プロセスの高精度シミュレーション及び成形パスの最適設計
			成形パスの最適設計	局部変形のモデリング及び成形経路の高精度シミュレーション
		レーザーフォーミング	熱加工のモデリング	熱加工における素材変形の高精度モデリングの開発
			プロセスの高精度	プロセスの計測制御による高精度
		ダイレス逐次フォーミング	マイクロチューブ成形	ダイレス逐次成形の特徴を活かした多品種少量生産
			プロセスの高精度	プロセスの計測制御による高精度
	マイクロ成形	マイクロ鍛造	微細粒径材料の開発及び評価	超微細粒径素材の開発、及びその変形特性評価技術の開発
			マイクロ金型加工・表面処理技術	電子ビーム、イオンビームなどによる金型の精密加工、表面処理
			プロセスセンシング・制御	高精度な加工プロセスセンシング及び制御技術の開発
		マイクロ転写成形	微細粒径材料の開発	超微細粒径素材の開発、及びその変形特性評価技術の開発
			マイクロ金型加工・表面処理技術	電子ビーム、イオンビームなどによる金型の精密加工、表面処理
			プロセスセンシング・制御	高精度な加工プロセスセンシング及び制御技術の開発
		マイクロ板材成形	微細粒径材料の開発	超微細粒径素材の開発、及びその変形特性評価技術の開発
			マイクロ金型加工・表面処理技術	電子ビーム、イオンビームなどによる金型の精密加工、表面処理
			プロセスセンシング・制御	高精度な加工プロセスセンシング及び制御技術の開発
		マイクロアセンブリ	マイクロマニピュレーション	マイクロ部品の把持、搬送技術の開発
			高精度位置決め	金型の組立精度、位置決め精度の向上
			マイクロ接合	箔材の接合技術の開発

5. 1 3. 3 ロードマップ（金属成形加工）

ものづくり技術ロードマップ（金属成形加工）

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年	重点化の評価									
		① 日本の技術競争力位置 ② ブレークスルー技術 ③ 市場のインパクト ④ 省エネ、省資源、環境、サステナブル ⑤ 共通基盤性 ⑥ 安全、安心 ⑦ 多様性、柔軟性																																			
成形加工	鍛造	CAE	変形予測モデル、シミュレーション																										○	○		○	○	○	○		
			プロセスの最適設計																												○	○		○	○	○	○
			金型弾性変形解析																												○	○		○	○	○	○
			材料熱弾塑性変形解析																												○	○		○	○	○	○
		精密鍛造	超微粒金型部材の開発、及びその加工技術の開発																												○	○	○	○	○	○	○
			プロセスセンシング・制御																												○	○		○	○	○	○
			熱処理解析																												○	○		○	○	○	○
			金型形状の最適設計																												○	○		○	○	○	○
			アルミ、マグネシウム、チタンの鍛造																												○	○	○	◎	○		
	軽量化・高機能化	中空パイプなど軽量構造材の精密鍛造																												○	○	○	◎	○			
		鍛造と板材成形の複合成形																												○	○	○	◎	○		○	
		複合一体化																												○	○	○	◎	○		○	
		スプリングバック量のモデリング																												○	○	○	◎	○		○	
		CAEによるプロセス設計精度向上																												○	○		○	○	○	○	
	板材成形	プレス成形	難加工材の成形法																											◎	○	○	◎	○		○	
			サーボプレスによるプロセス制御																												◎	○	○	◎	○		◎
			レーザー加工との複合加工																												○	○	○	○	○		◎
		板金加工	知能化、CAEなどによる自動化、高精度化、高効率化																												○	○	○	○	○		◎
			多品種少量生産システムの形成																												◎	○	○				◎
			素材から製品までのトータル設計																												◎	○	○	○	○		◎
マイクロ成形	単純工具による逐次成形	変形メカニズムのモデル化とプロセスシミュレーション																											○	○	○	○	○		◎		
		成形バスの最適設計																												○	○	○	○			◎	
	レーザフォーミング	熱加工のモデリング																												○	○		○	○	○	○	
		プロセスの高精度																												○	○		○	○	○	○	
	ダイス逐次フォーミング	マイクロチューブ成形																												○	○		○	○	○	○	
		プロセスの高精度																												○	○		○	○	○	○	
マイクロ成形	マイクロ鍛造	微細粒径材料の開発及び評価																											◎	○	○	◎	○		○		
		マイクロ金型加工・表面処理技術																												◎	○	○	◎	○		○	
		プロセスセンシング・制御																												○	○	○	◎	○		○	
	マイクロ転写成形	微細粒径材料の開発																												◎	○	○	◎	○		○	
		マイクロ金型加工・表面処理技術																												◎	○	○	◎	○		○	
	マイクロ板材成形	プロセスセンシング・制御																												◎	○	○	◎	○		○	
		微細粒径材料の開																												◎	○	○	◎	○		○	
	マイクロアセンブリー	マイクロ金型加工・表面処理技術																												◎	○	○	◎	○		○	
		プロセスセンシング・制御																												◎	○	○	◎	○		○	
		マイクロマニピュレーション																												◎	○		◎	○		○	
	高精度位置決	高精度位置決																											◎	○	○	◎	○		○		
		マイクロ接合																											◎	○	○	◎	○		○		

5. 1.4 機械加工 I (多軸・複合工作機械および加工システム)

5. 1.4. 1 機械加工 I の概要

(1) 機械加工技術に対する要求

日本は世界トップレベルの工作機械生産国であり、製造業に対して高品質・高性能な工作機械を低コストで供給してきた。一方、日本の製造業もまた非常に高度な生産技術力を有しており、供給された工作機械を高度に使いこなし、高品質な製品を低コストに生産することでその競争力を高めてきた。

しかし、中国をはじめとしたアジア諸国の製造業が急速に力をつけてきている現状では、単に適正品質・低コスト製品の大量生産においては競争力を維持し続けることが困難になってきている。

そのため、日本の生産技術力を活かし、より製品価値を高めたり、新たな価値を付加する高付加価値生産や、多様で変化のスピードが速いユーザーニーズに追従したフレキシビリティの高い生産技術が求められるようになっており、今後もこうした要求は益々高まるものと予想される。

(2) 機械加工技術の高度化に向けた技術課題

機械加工技術の高度化に向けた重要技術課題を、近年普及が進む多軸・複合加工技術、制御技術の高度化、自律補正技術、より複雑になっていく制御プログラムの作成技術の4つに分類した。詳細要素技術については、別紙技術マップを参照願いたい。

なお、本来であれば超精密・微細加工技術も重要課題として挙げられるべきであるが、別途N F F マシニングシステム及びナノ精度 M⁴ プロセス加工として提案しているのでそちらを参照いただきたい。

①多軸・複合加工技術

近年、日本と欧州を中心に5軸制御マシニングセンタや複合ターニングセンタといった多軸・複合工作機械の開発が活発に行われている。

多軸・複合加工には、

- ・ 1回の段取りで多工程の加工が可能であり大幅な工程集約が可能。
- ・ 従来加工では困難または不可能であった複雑な形状の製品であっても比較的容易に加工できる。
- ・ 段取り換え誤差の排除や、工具の突出し長さ・姿勢の最適化が可能で加工精度向上が図れる。

といったメリットがあり機械加工の主流となりつつある加工技術である。

しかし、解決すべき課題も多く、一部の技術では欧州が先行していると言われることから、課題解決に向けた早急な取組みが求められる。

一つの大きな課題としては制御機能の高度化が挙げられる。多軸・複合加工では、その複雑な機械運動故に従来の加工に比べて格段に高度な制御機能が求められる。こうした機能の多くは実用化が進んでいるものの、開発の余地も多く、更なる高度化が望まれるところである。

ツーリングに対しても、干渉領域の最小化に向けたコンパクト化や工具自身の多機能化といった要求があり、またワーク側においても形状の複雑化に伴い手間のかかるクランピング技術の高度化へのニーズが高い。

さらに、より幅広い工程の集約を目指し、レーザ加工や積層加工など機械加工以外の加工方法との高度複合化も開発が進んでおり、将来は熱処理や成形などより幅広い加工との複合化が求められるであろう。

②制御技術

機械加工技術の高度化においては制御技術も重要な開発課題であり、加工内容が高度になるほどその重要性も高くなる。

高精度と高効率とはトレードオフの関係にあり本来両立は難しいが、スムージング技術、高速輪郭制御技術の確立やハイゲイン化によって精度と高率が大幅に向上してきており、引き続きこれら技術の高度化を進める必要がある。

一方で、工作機械の機能が高度化且つ多様化が進み、オペレーションが複雑で難しくなっており、利便性向上に対する要求も高い。より利便性の高いMMIの開発も進んでいるが、制御機能そのものの利便性向上に向けた開発も必要となる。

③自律補正技術

熱変位や振動、加工負荷変動に対する補正技術の開発は永年にわたり行われているが、より精度の高い補正を行うには、刻々と変化する加工や機械運動状態に追従した自律的な補正が必要となる。一部ではこうした自律的な補正技術の実用化も進んでおり、引き続きの技術開発が必要である。そのためには、工作機械が持つ固有の特性パラメータが必要になるため、過去にもデジタルマイスタープロジェクトなどで様々な取組みが行われた。プロジェクト終了後も各所で開発が継続されているようであるが、データ精度の問題や現状デジタル化できていない部分もあり、こうした問題解決に一層の努力が必要である。

また、加工後の効率的なワーク精度補償技術として機上計測技術の実用化が進んでいるが、より一層の測定精度向上が望まれている。また、測定結果に基づくNCデータの変更や再加工の自動化は進んでおらず、将来の重要開発課題の一つである。

④プログラム作成技術

加工内容が高度になると、その制御プログラム量も増え複雑になってくる。最適な切削条件やツールパスの設定は難しくなり、干渉回避や最適な工具姿勢など考慮すべき条件も増えてくるため、せっかく加工時間を短縮してもプログラム作成時間が増大してしまうケースもある。

そこで、精度の良い加工プログラムを効率よく生成するためのソフトウェア開発が必要になる。

CAMにおけるNCデータ生成の自動化が進みつつあるが、ユーザ毎のノウハウの組み込みが難しく、最終的には人の手による修正・確認作業が必要になっている。そこで、ユーザ毎のノウハウを反映したプログラムの自動生成技術の実現が期待されている。

また、最近ではCADデータからのダイレクト制御についても研究が行われているが、この実現のためにはCADデータに必要な加工情報を付与する必要があり、CAD技術の高度化も不可欠である。

こうした自動化・簡便化を追及する上では、生成した加工プログラムを検証・評価するためのシミュレーション技術の高度化も不可欠である。

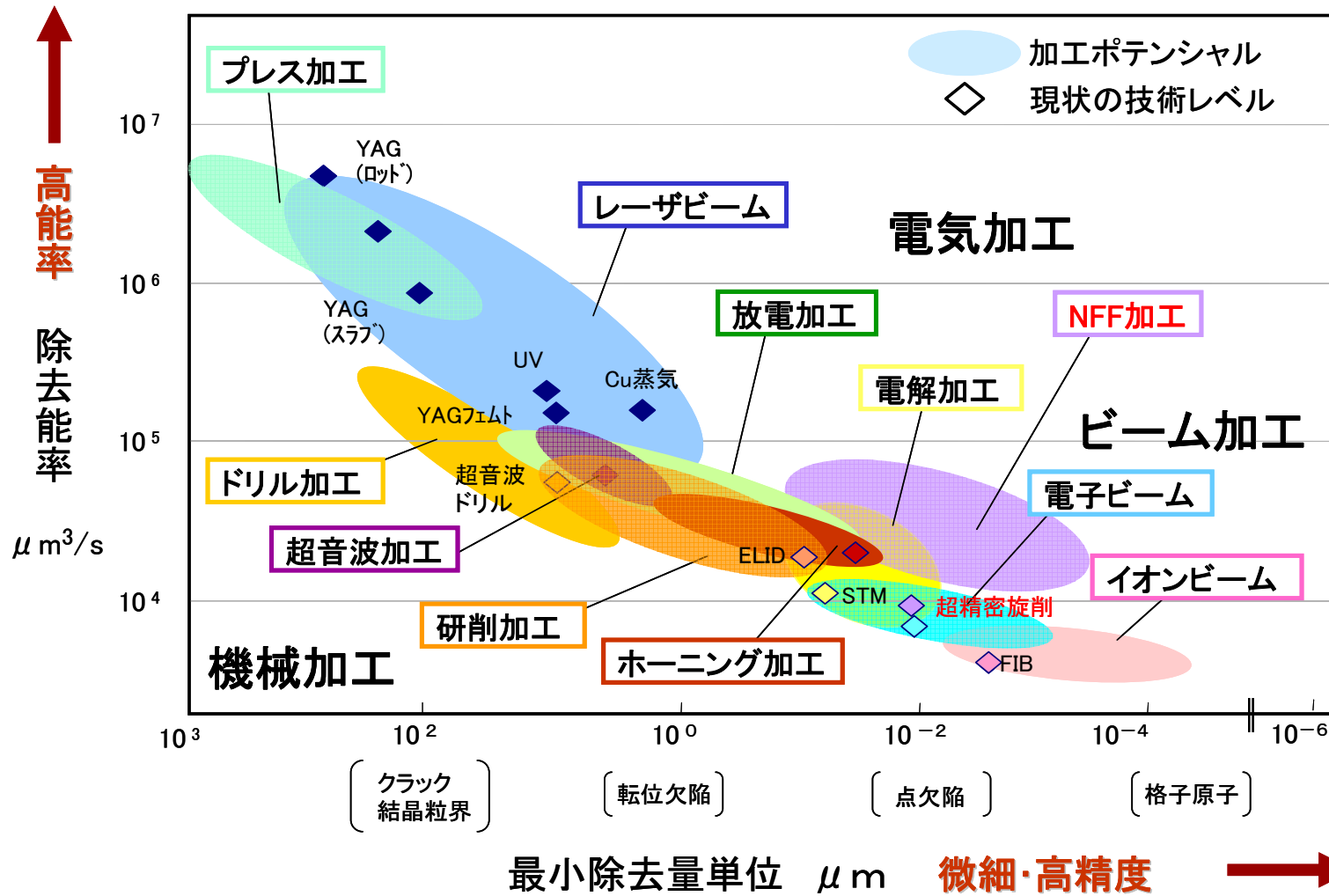
既に、干渉チェックや加工時間に関しては実用化が進んでいるが、将来は例えば最適な加工プロセス、加工によって発生する振動・熱変位や工具摩耗の状況、加工精度や表面性状などの加工結果といったさらに高度なシミュレーション技術も必要になってくる。

また、こうしたシミュレーションの結果をCAMやさらに上流のCADなどに自動的にフィードバックし、NCプログラムの修正や設計変更が自動的に行えるようになることが理想である。

機械加工は日本が誇る世界トップレベルの技術であり、生産プロセスの中核を担う重要技術の一つである。過去にアメリカは工作機械産業の衰退とともに製造業の国際競争力を失っていったし、近年では中国製造業が工作機械産業とともに目覚しく成長している。

こうした事例が示すように、将来に亘るわが国製造業の発展に向けて、工作機械とそれを使うユーザの利用技術＝機械加工技術の高度化に不断の努力を払い、技術レベルを高めていかなければならない。

機械加工技術マップ (各種微細穴あけ技術との比較)



5. 1 4. 2 技術マップ（機械加工 I）

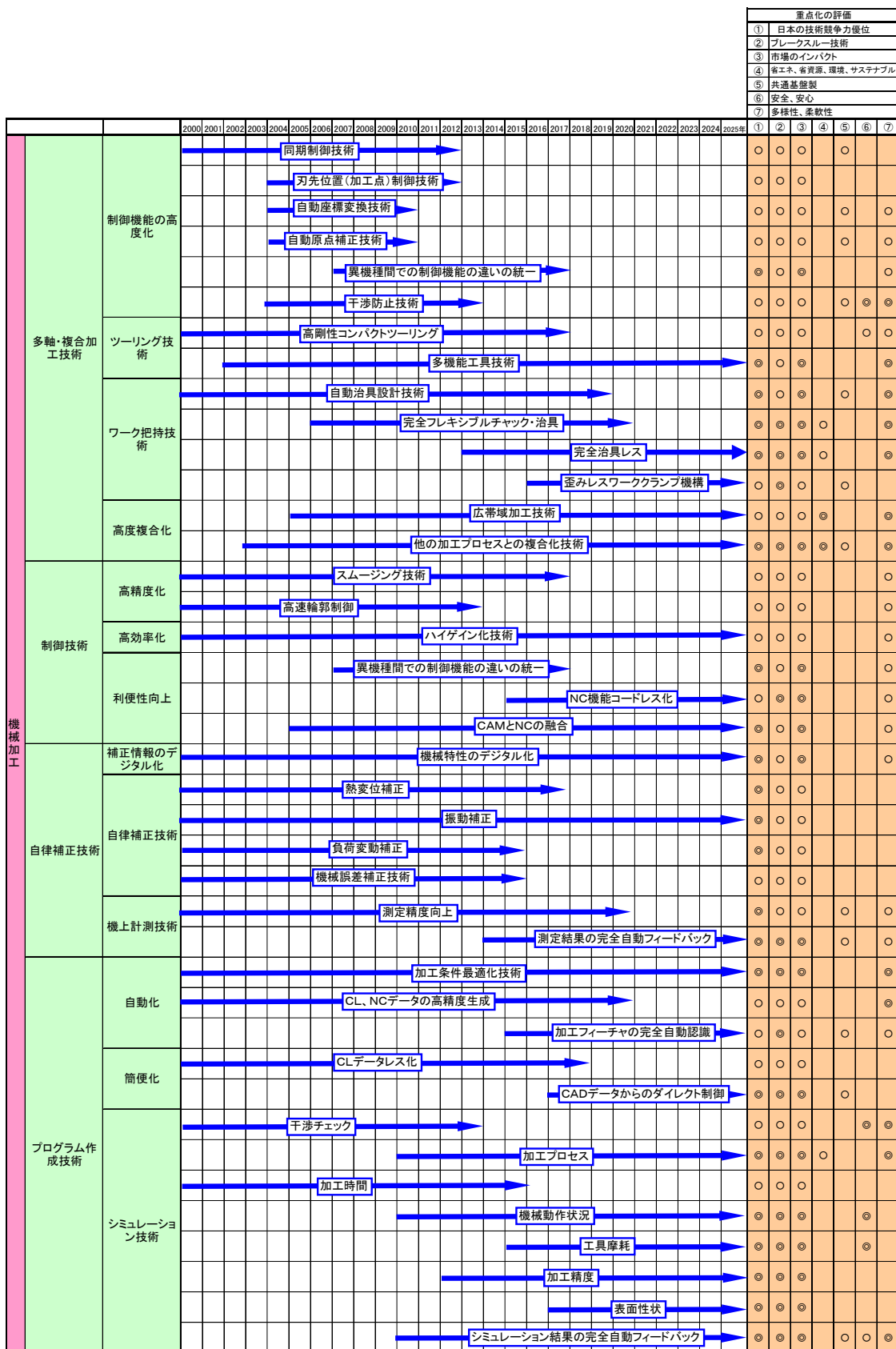
ものづくり技術マップ（機械加工 I；多軸・複合加工機械および加工システム）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考	
機械加工	多軸・複合加工技術	制御機能の高度化	同期制御技術（回転軸と直進軸）	回転軸と直進軸の同期性を高め、加工効率・精度を大幅に向上	
			刃先位置（加工点）制御技術	工具刃先（加工点）の軌跡をプログラムすることで、複雑形状加工のプログラミングを大幅に簡便化	
			自動座標変換技術	複雑形状加工時に変化する座標系を自動的に変換することで、複雑な制御のプログラミングを簡便化	
			自動原点補正技術	ワーク座標系の原点補正を自動的に行う	
			異機種（ターニング系とミリング系等）間での制御機能の違いの統一	ターニング系とミリング系の異なる制御機能が混在する多軸・複合加工機において、その違いを意識せず容易にプログラミングを可能にする	
			干渉防止技術	複雑な機械運動による機械構造同士、機械構造とワーク等の干渉（衝突）を事前に検知し、稼働停止や自動プログラム変更を行う。	
		ツール링技術	高剛性コンパクトツール링	干渉領域を最小とするための、高剛性且つコンパクトなツール링	
			多機能工具技術	一つの工具で多種類の加工を可能とする	
			自動治具設計技術	複雑形状ワークを把持するための最適治具設計を自動的に行う	
		ワーク把持技術	完全フレキシブルチャック・治具	あらゆる形状のワークを把持可能なチャック・治具	
			完全治具レス	治具の不要なワーククランピング技術	
			歪みレスワーククランプ機構	把持力によるワークの変形を排除	
			高度複合化	広帯域加工技術（荒から仕上げまで）	例えば金型の荒彫りから仕上げまでを1台の機械で加工するといった、広帯域加工領域に対応した工作機械
				他の加工プロセスとの複合化技術	切削・研削加工とその他の加工プロセス（レーザ、鍛造、熱処理他）との複合化
		制御技術	高精度・高効率化	スムージング技術	高精度NURBS補間等により、ワーク曲面加工指令を滑らかに行う。
	高速輪郭制御技術（回転制御軸を含む）			指令ブロックを先読み制御することで、高効率・高精度な加工を実現。	
	ハイゲイン化技術			制御ゲインを飛躍的に上げ、加工精度・効率を向上させる。	
	利便性向上		異機種（ターニング系とミリング系等）間での制御機能の違いの統一	同一工場内に設置されるターニング系とミリング系で異なる制御機能の違いを意識せずに容易にプログラミングを可能にする	
			NC機能コードレス化	従来の機能コードによらない新たな制御方式の開発	
			CAMとNCの融合	CAM機能とNC機能の融合により、NCデータ生成から制御までを一貫して行う。	
	自律補正技術	補正情報のデジタル化	機械特性のデジタル化	自律的な補正・制御に必要な機械個別の特性をデジタル（パラメータ）化。	
			熱変位補正	機械の熱変位を検知して自律的に補正。	
		自律補正技術	振動補正	加工時に発生する振動を検知して自律的に補正。	
			負荷変動補正	加工負荷の変動を検知して自律的に補正。	
			機械誤差補正（キャリブレーション）技術	機械固有の誤差を自動的に計測し自律的に補正。	
		機上計測技術	測定精度向上	機上計測精度を飛躍的に向上	
			測定結果の完全自動フィードバック	機上計測結果をフィードバックし、自動的にNCデータの変更・再加工を行う。	

機械加工	プログラム作成技術	自動化	加工条件最適化技術	最適な加工条件を自動的に導出し、最も高率・品位の良いNCプログラムを作成
			CL、NCデータの高精度生成	CAM等で自動生成されるCLデータ、NCデータの高精度化。
			加工フィーチャーの完全自動認識	3次元曲面までをフィーチャとして自動的に認識。
		簡便化	CLデータレス化	CLデータを生成せずに、CADデータからダイレクトにNCデータを生成。
			CADデータからのダイレクト制御	従来のCADデータに加工に必要な情報を付与し、CLデータ、NCデータの生成なしにダイレクトに制御。
		シミュレーション技術	干渉チェック	生成した加工プログラムにおいて機械構造同士、機械構造とワーク等の干渉(衝突)が起こらないか、事前にシミュレートする。
			加工プロセス	加工形状、材料、要求精度、コスト等あらゆる条件を加味して最適な加工プロセスの組み合わせをシミュレートする。
			加工時間	生成した加工プログラムによってかかる加工時間を正確にシミュレートする。
			機械動作状況(熱変形、振動等)	生成した加工プログラムの実行によって発生する熱変形、振動等の状態をシミュレートする。
			工具摩耗	生成した加工プログラムにおいて生じる工具摩耗の状態をシミュレートする。
			加工精度	生成した加工プログラムによる加工結果として、形状精度、寸法精度等をシミュレートする。
			表面性状	生成した加工プログラムによる加工結果として、加工面粗さ、残留応力状態、表面状態等をシミュレートする。
		シミュレーション結果の完全自動フィードバック技術	上記シミュレート結果を自動的にフィードバックし、理想の結果との差異が生じる部分について自動的にプログラムの変更等補正を行う。	

5.14.3 ロードマップ（機械加工 I）

5.14.3 ものづくり技術ロードマップ（機械加工；多軸・複合工作機械および加工システム）



5. 1 5 機械加工Ⅱ（切削加工、切削工具）、人間・計測系

5. 1 5. 1 機械加工Ⅱの概要

（1）背景

切削加工は、高精度加工と高能率加工の両立が可能なソリューション技術として広く普及し、その適用範囲は極めて広い。そのため、切削加工技術に対する要求も極めて多様であり、高精度化、高能率化、超精密化、超微細化、環境対応、難削材・難削形状（例えば、高アスペクト比の形状）対応、高速化などに対してその要求レベルは年々高まっている。

こうした要求に応えるためには、工作機械の高速化・高精度化、工具の微小・微細化、高寿命化のためのコーティング技術の開発、あるいは、被削性のよい金型用材料の開発など、加工機、工具、工作物、加工システムからの多岐に亘る解決策の探索が不可欠である。また、加工の複合化やシミュレーションによる加工現象の詳細な検討も加工限界に挑戦する際には欠かすことのできない技術である。

加工の計測技術・監視技術は加工状態を知る上で重要であり、厳しい条件下での加工精度の保証や切削トラブルの回避に大いに貢献する。また加工では、人間の感性や感触、熟練に依存するところも少なくない。特に、顧客満足度が基準となる製品の品位に関連する計測評価については、そうした評価の重要性が高まり、不可欠な技術になるであろう。

（2）複合加工

難加工材や難加工形状に対する高精度化、高品位化の要求は高く、それにより複合加工に対する期待も大きい。しかし設備費、汎用性、加工能率の点ならびに現状におけるポテンシャルの高さから、超音波援用加工の重要性がさらに高まるとともに、その適用範囲が拡大するものと思われる。切削加工であれば、多軸加工への積極的な展開が挙げられるが、そのためには超音波振動切削工具の小型化・標準化が一段と進む必要がある。また、超音波振動数の増加により高速切削への適用が期待される。

（3）超精密切削加工

超精密切削加工は、現時点で最も期待されている加工技術であり、無電解ニッケルや無酸素銅などの超精密切削専用の被削材に対しては、既に十分な成果が挙げられている。今後の課題は、微細化と複雑形状のガラス・セラミックスなどの硬脆材料の切削、ならびに、鉄鋼材料の超精密切削であろう。無電解ニッケルや無酸素銅などと同様に、超精密加工専用の鉄鋼材料を開発することが不可欠であると考えられるが、鉄鋼材料の超精密が実現したときのインパクトは非常に大きい。

(4) 難削材加工

チタン合金やニッケル基超合金などの航空宇宙系の難削材の切削加工は、欧米と比較して日本が最も不得意とする分野であり、技術的に追いつくことができない。難削材であっても高硬度材料の高速切削については、新しい工具の開発により加工技術の進歩は著しいにもかかわらず、航空宇宙系難削材、特にチタン合金の高速切削については、性能のよいコーテッドの開発が遅れているため遅々として進まない。したがって新工具の開発が不可欠であるが、パフォーマンスのよい切削方法の開発も継続されねばならない。また生体用チタン合金などの難削材の加工も今後重要になる。生体材料の場合テーラード加工が増えるため、きめ細かい対応が必要である。

(5) 金型加工

超高精度加工による完全磨きレス化、高速・長寿命化、新しい加工法・新タイプの金型用工具の開発は、酸化温度の高いコーテッド超硬や微細工具が次々と開発されている状況から、今後10年ほどで大幅な進歩が見られるものと期待される。また金型加工特有の新しい切削法の開発が今後とも継続され、高能率化、高精度化に貢献すると予想される。

(6) 切削シミュレーション

切りくず形状・切りくず処理、びびり振動・安定限界、変形・加工精度、工具損傷、仕上げ面品位などを事前に予測し、切削トラブルを回避するとともに、高能率、高品位加工を実現するため、FEMモデルやメカニスティックモデルによる切削シミュレーションが大幅に取り入れられるようになる。また航空宇宙機器の加工では、シミュレーション技術は仕上げ面残留応力の予測等に用いられる重要な技術となることが期待されるが、そのためにはシミュレーションの予測精度の向上が不可欠である。

(7) 切削工具

切削加工技術は工作機械と切削工具の両輪の進歩で支えられているが、切削工具としては、微細工具、高性能刃形、コーティング、工具母材の開発が重要課題となる。

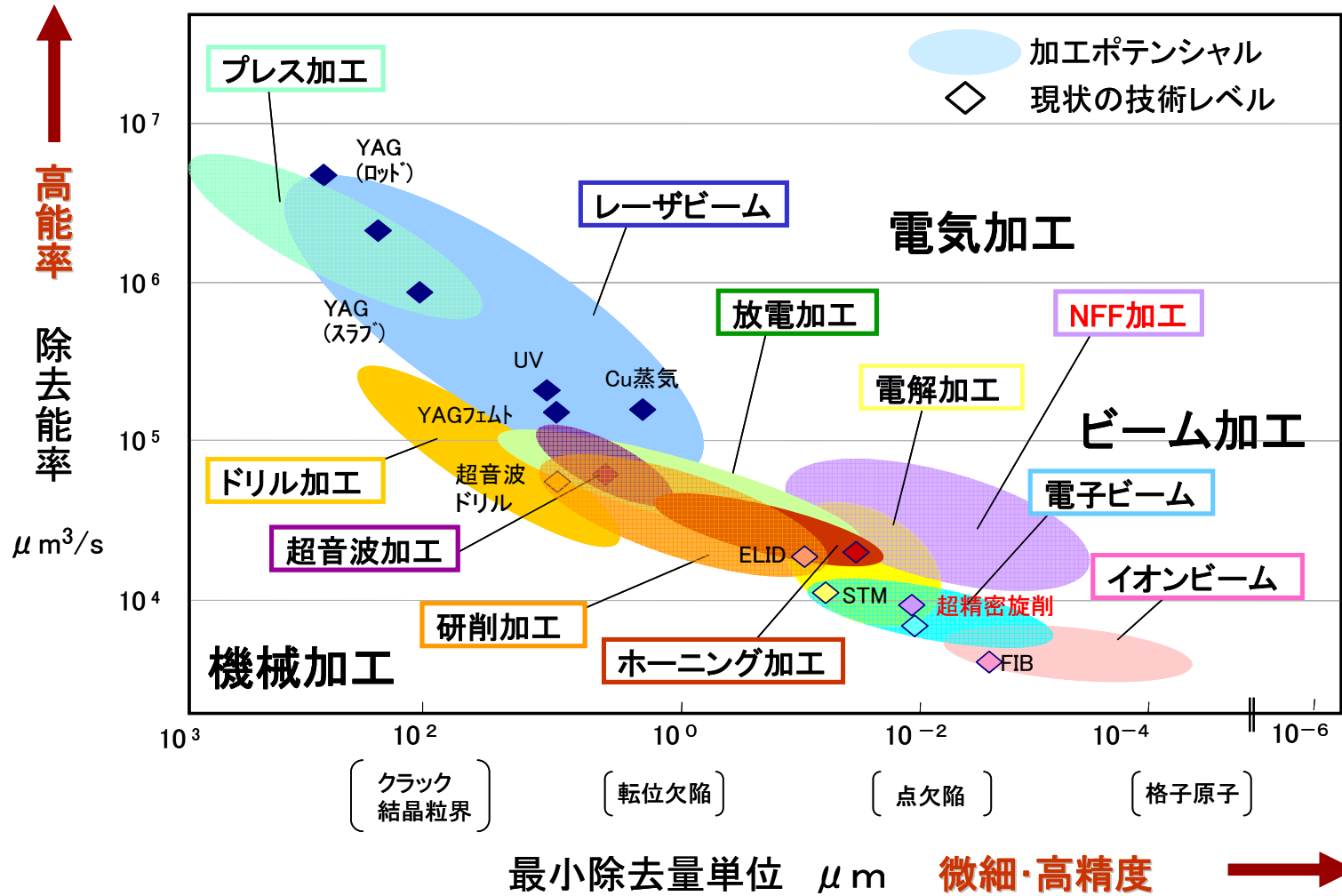
切削加工の基準寸法を1 μm まで小さくして、ミクロンオーダーからサブミリ領域の部品の加工に貢献するためには、工具の硬質粒子径の微小化と均質化が最重要課題である。また高い精度の確保、高性能刃形的设计、微細工具に対応した刃先の研磨法などの必要不可欠な技術である。

切削工具のコーティングとしては、高硬度材の切削のための酸化温度の高い超硬高度コーティング、アルミニウム合金などの超高速切削のための新炭素系コーティング、チタン合金などの所謂難削材用のコーティングの開発が大きな課題である。また、切削工具にはレアメタルが多量に使用されているので、長期的視点からレアメタルの削減にも取り組む必要がある。

(8) 人間・計測系

加工の計測技術・監視技術では、形状精度などの幾何学的な問題に対しては加工情報の積極的な活用が不可欠である。また加工の微細化にともなって加工機上での計測の重要性が一段と高まってくる。そのためには、機上計測技術の高度化や信頼性の向上がいっそう図られなくてはならない。さらに将来的に高品位なテーラーメイド加工が少なからず要求されるようになれば、人間の感性が仕上げ面品位等の重要な計測評価指標となり（現時点では熟練技術者がこれを補っているが）、通常の計測との併用が要請されるようになる。

微細加工技術マップ



5. 15. 2 技術マップ（機械加工Ⅱ）

ものづくり技術マップ（機械加工Ⅱ；切削加工、切削工具、人間計測系）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考	
機械加工	切削加工	超音波切削加工	多軸加工への適用	複雑形状の超音波振動切削加工	
			高速切削への適用	高速超音波振動切削の実現	
			工具の小型化・標準化	超音波切削工具の汎用化	
		超精密切削加工	鉄鋼材料の超精密加工	超精密加工用の新しい鉄鋼素材・新しい工具の開発	
			硬脆材料の複雑形状無欠陥加工	超精密切削用超高精度多刃工具の開発	
			超微細超精密加工	超精密加工の超微細加工への適用	
		難削材加工	難削材の超高速切削	新工具を利用した難削材の超高速切削加工技術	
			生体用材料の精密微細加工	生体用チタン合金等の加工技術の飛躍的向上	
		金型加工	超高精度加工による完全磨きレス化	仕上げ面品位の飛躍的向上による研磨仕上げの完全廃止	
			高速・長寿命化	工具・工作機械のさらなる高度化による高速化と長寿命化の同時実現	
			新しい金型用高硬度材の開発	被削性がよく、金型としての基本性能に優れる高硬度材の開発	
			新しい加工法・新タイプの金型用工具	金型加工のための新しい切削方法、ならびに、新しいタイプの種々の工具	
			超微細金型の加工技術	高精度で超微細な金型を加工する技術	
		低環境負荷加工	MQL切削加工の高度化	工具の長寿命化技術、オイルミスト対策技術、高精度化技術、高速化技術、難削材への適用、切りくず処理技術	
			低温切削	特殊な素材への適用	
		3次元切削プロセスシミュレーション技術	変形・加工精度	切削力や切削温度の予測に基づき工作物の変形と加工精度を予測する	
			切りくず形状・切りくず処理	切りくず形状を予測し最適形状の工具を選択する	
			びびり振動・安定限界	工具や工作物の振動を両者の連成モデルにより予測する	
			工具損傷	工具摩耗・工具欠損などのモデル化と損傷予測	
			仕上げ面品位	仕上げ面残留応力、加工変質層厚さ、送りマーク等の表面品位の予測	
			超微細化技術	超微細な直径や幅を有する工具の開発	
		切削工具	微細工具	素材の微粒化・均質化	微細工具の耐折損性や切れ刃品位を向上させる
				超高精度化	微細工具の形状精度を保障する
				高性能刃形	超微細回転工具の新しい刃形の開発
	耐酸化性向上			被削材の融点まで十分に耐えられる耐酸化温度の向上	
	超高速切削工具		超高速除去能率	切りくず排出性の飛躍的向上	
			クランプ力の増大メカニズム	超高速回転の遠心力に耐えられる回転工具のクランプ力の増大	
	新工具母材		レアメタル削減	レアメタルから他の材料への転換による資源の有効利用	
			バインダーレス化	高速・高効率切削における耐クリープ性の向上	
	コーティング技術		超高硬度コーティング	超格子化、ナノコンポジット化等による超高硬度材切削工具の開発	
			新炭素系コーティング	炭素系の超高性能コーティングの開発	
			難削材用コーティング	チタン合金などの切削性能を飛躍的に向上させるコーテッド工具の開発	
	人間・計測系		加工計測	加工情報利用技術	CAD/CAM/CATの利用
		CAD/CAM/CAEの利用			加工のデジタルデータとシミュレーションを利用した加工形状等の計測・評価
		センシング技術・監視技術	センシング技術・監視技術	センサーの高度化	センサーの感度・安定性・信頼性の飛躍的向上
				In-situ センシング技術	加工時計測技術の高度化
モニタリング技術の高度化				センサーフュージョンなどの監視技術の信頼性の飛躍的向上	
バイオメトリックセンシング				新しい原理を利用したセンシング技術	
制御系		感性応用制御技術	感性応用センシング	人間の感性を利用したセンシング技術	
			感性・CAEヒュージョン技術	デジタル情報と人間の感性を組み合わせ加工制御技術	
			感性応用キャラクタリゼーション技術	人の感覚(言葉)に対応した特殊パターン仕上げ面を加工する技術	

5. 15. 3 ロードマップ（機械加工II）

ものづくり技術ロードマップ（機械加工II; 切削加工、切削工具、人間計測系）

		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年	重点化の評価																																				
																												①	②	③	④	⑤	⑥	⑦																														
機械加工	超音波切削加工	多軸加工への適用																										○	○	○																																		
		高速切削への適用																										○	○	○																															○			
		工具の小型化・標準化																																																												○		
		鉄鋼材料の超精密加工																										○	◎	◎	○	○																																
	超精密切削加工	硬脆材料の複雑形状無欠陥加工																										○	○	○																																		
		超微細超精密加工																										◎	○	○	○	○																															○	
		難削材の超高速切削																										○	○																																			
	難削材加工	生体用材料の精密微細加工																										○	○																																		○	
		超高精度加工による完全磨き																										◎																																				
		高速・長寿命化																										○																																				
		新しい金型用高硬度材の開発																																																														
	金型加工	新しい加工法・新タイプの金型用工具																										○	○	○																																		
		超微細金型の加工技術																										○	◎																																			
		MQL切削加工の高度化																										○	○																																			
		低温切削																																																														
	低環境負荷加工	変形・加工精度																										○	○																																			
		切りくず形状・切りくず処理																										○																																				
		びびり振動・安定限界																																																														
		工具損傷																										○																																				
	3次元プロセスシミュレーション技術	仕上げ面品位																										○	○																																			
		超微細化技術																										○	◎																																			
		素材の微粒化・均質化																										○	○																																			
		超高精度化																										○	○																																			
	微細工具	高性能刃形																										○																																				○
		耐酸化性向上																										○																																				
		超高除去能率																										○	○																																			
		クランプ力の増大メカニズム																																																														○
	加工工具	レアメタル削減																										○																																				
バインダーレス化																										○																																						
超高硬度コーティング																										○	○																																					
新炭素系コーティング																										○	◎																																					
コーティング技術	難削材用コーティング																										○																																					
	加工情報利用技術																										○																																					
加工計測	CAD/CAM/CATの利用																										○																																					
	CAD/CAM/CAEの利用																										○	◎																																				
	センサーの高度化																										○	◎																																				
	In-situ センシング技術																																																															
センシング技術・監視技術	モニタリング技術の高度化																										○																																					
	バイオメトリックセンシング																										○	◎																																				
	感性応用センシング																										○	◎																																				
	感性・CAEヒュージョン技術																										○	○																																				
感性応用制御技術	感性応用キャラクターゼーション技術																										◎																																					

5. 16 機械加工Ⅲ（研削加工、研磨加工）

5. 16. 1 機械加工Ⅲの概要

（1）より高精度に、より高能率に

研削、研磨加工の歴史は古く、これら技術の高度化、高能率化を行うためには、単なる従来技術の改善にとどまらず、種々の最新技術との融合、並びに新たな革新的技術の創造が必要不可欠である。研削加工においては、刃物としての砥石の理想的な姿を追求する製造技術の開発と共に、その利用技術の革新が不可欠である。また5. 2. 1節で取り上げたような **Fluctuation-Free Machining** の概念に基づいたナノ精度・高剛性研削盤の開発や、より高精度を追求するための原子オーダーでの加工メカニズムの解明、シミュレーション手法の開発、あるいはそれらの加工結果を評価するための加工計測手法の開発が必要となる。

一方、研磨加工においては、前加工である研削加工の高精度化に伴い、更なる原子オーダーの平滑さ、形状精度を保証するための特殊研磨法の開発が必要不可欠である。そのため研削加工技術と同様、加工メカニズムの解明、シミュレーション手法や加工計測法の開発が不可欠である。詳細要素技術に関しては、別紙技術マップを参照願いたい。

（2） 研削加工

1) 非球面研削、自由曲面研削

非球面研削加工の難しさは、ナノオーダーの表面粗さと高精度の輪郭形状が同時に要求される点である。現状では、**ELID** 研削、円弧包絡研削、パラレル研削等の革新的研削法の開発により、非球面金型あるいは非球面レンズの形状精度は **50-100 nm**、表面粗さは **10-30 nmRy** が達成されている。しかし今後ますます、より高い精度の加工ニーズが高まってくるのは必至であり、そのためには超精密研削盤の高精度化や、砥粒切れ刃密度が均一で、高くなるような砥石自体の開発、ナノ精度でのツルーイング、ドレッシング技術の開発が不可欠である。

また将来は、ナノ精度に加工された自由曲面上にサブミクロンオーダーの微細な溝形状、突起等を形成させ、様々な機能性を発現させたマイクロデバイスの加工が要求されるであろう。そのための金型加工には、砥石のツルーイング技術を含めた微細な溝形状を創成するための新たな研削技術の開発が必要である。

さらにこのような微細形状創成においては、材料自体の除去特性の把握が必要で、研削加工シミュレーション、**FEM** と分子動力学法を融合した大規模分子レベルシミュレーション、材料変形や熱挙動等の複数の物理現象を総合的に解析するためのマルチフィジック

スシミュレーションなどの新解析手法が開発されるであろう。またそれを実際の加工中に測定、評価するための加工計測法の提案やセンシング技術の開発が行われるであろう。さらにナノ研削理論に基づいた最適加工条件選定手法も重要であろう。

2) 低コスト化のための超精密研削法の開発

1) で示したように今後は超精密研削加工が多用されるようになるであろうが、また一方で、超精密研削部品を低コストで加工することも重要である。そのためには超精密研削の前加工としての粗研削加工の加工時間の短縮、高精度化のニーズも高まるであろう。

(3) 研磨加工

研磨加工は古くから行われている加工法の一つであり、技能、ノウハウが重要視される分野でもある。しかしこれからも部品の超精密加工の最終工程としての位置付けはかわらないであろう。

加工の高度化においては、加工メカニズムの解明が重要である。量子分子動力学法を用いた CMP 加工過程のシミュレーションや、サブサーフェースダメージの発生メカニズム解明がなされるであろう。またそれと並行して、サブサーフェースダメージのインプロセス計測、評価法、インプロセスでの加工量や研磨工具損耗量の測定法が不可欠である。

また一方で、遊離砥粒を固定化したラッピング砥石やラッピングテープの高精度化がなされ、研磨工程の大幅な高能率化が実現するであろう。

加工対象となる工作物の大きさに関しては、サブミリサイズの小さなものから、数メートルの大型自由曲面までと幅広く、それに対応した特殊研磨加工技術の開発が不可欠である。

5. 16. 2 技術マップ（機械加工Ⅲ）

ものづくり技術マップ（機械加工Ⅱ：研削、研磨加工）

大分類	中分類	小分類	要素技術	備考
機械加工	研削加工	超砥粒砥石製造、利用技術	薄刃切断砥石	大口径極薄砥石の開発
			均一分散分級砥石	粒度のそろった砥粒を均一に分散させた極微粒砥石を開発
			超高集中度砥石	集中度200を超えるダイヤモンド砥石の開発
			ナノ精度ツルーイング技術	砥石の先端形状をナノ精度で成形する技術の開発
			ナノ精度ドレッシング技術	有効砥粒切れ刃数が増えるように目立てする技術の開発
			ナノ精度コンディショニング技術	砥石表面のみの砥粒切れ刃密度、切れ刃高さを高度に調整する技術
		超精密、高剛性研削盤開発	高剛性静圧スピンドル	高い軸剛性を有するスピンドルの開発
			超高速スピンドル	ナノオーダーの回転精度、20万rpm以上の高速回転が可能なスピンドル
			ナノ精度バランス技術	振動振幅ナノオーダーのアンバランス量の検知が可能
			ナノ精度多軸NC装置	超安定多軸加工に対応した高精度NC装置の開発
		粗加工用研削盤開発	6軸制御粗加工機	自由曲面加工が高効率で加工可能な低コスト多軸粗研削加工機
			難削材加工	高硬度材料、耐熱材料、極軟材料等の難削材を高効率加工する
		加工メカニズム、加工計測	高速・非接触ナノ精度形状測定技術	急峻な面でも非接触、かつ高速で形状測定可能なセンサ、システムの開発
			サブサーフェースダメージ測定評価	加工による、サブサーフェースダメージ層を測定する
			研削抵抗測定技術	研削抵抗を測定するための高剛性センサ開発
			研削温度測定技術	砥石・工作物接触弧内研削温度をインプロセスで計測する
			砥石摩耗測定技術	砥石摩耗をインプロセスで計測する
			研削機構シミュレーション	加工時の砥粒挙動、材料挙動をふまえた研削機構の解明
	研磨加工	研磨工具創成技術	高性能CMP研磨パッド	高平坦化のためのCMPパッド
			長寿命コンディショナー	CMPパッドコンディショニング用の長寿命ドレッシング開発
			固定砥粒を用いた研磨法開発	ナノテクチャリング用に切れ刃の高さ分布を調整したラッピングテープ開発
		固定砥粒を用いた研磨法開発	極微粒均一分散分級ラッピングテープ	ラッピングテープ開発
			高効率研磨用ラッピングテープ	微細ピラミッド構造研磨シート
			スクラッチレス研磨砥石	スクラッチが入らない平面ホーニング、メカノケミカルポリッシング用研磨砥石
			研磨メカニズム、加工計測	CMP研磨過程MDシミュレーション
		研磨メカニズム、加工計測	サブサーフェースダメージ測定評価	研磨加工による、サブサーフェースダメージ層を測定する
			インプロセス加工量測定	加工量をインプロセス計測するための原理、センサの開発
			インプロセス研磨工具測定	研磨工具の損耗量をインプロセス計測するための原理、センサの開発
			特殊研磨法	磁気研磨加工技術
		特殊研磨法	磁気粘性流体援用研磨	大型自由曲面の高効率研磨法の実現
			電気粘性流体援用研磨	マイクロ自由曲面の高効率研磨法の実現
			電気泳動研磨	長寿命EPD工具開発
			高効率EEM	高効率、低コストプロセスが可能な手法の確立
プラズマCVM	高効率、低コストプロセスが可能な手法の確立			
光研磨	レーザを使用した非接触研磨法の実現			
超大型自由曲面研磨	数mの大型曲面を高効率研磨する技術			

5. 1 6 . 3 ロードマップ（機械加工Ⅲ）

ものづくり技術ロードマップ（機械加工Ⅲ; 研削、研磨加工）

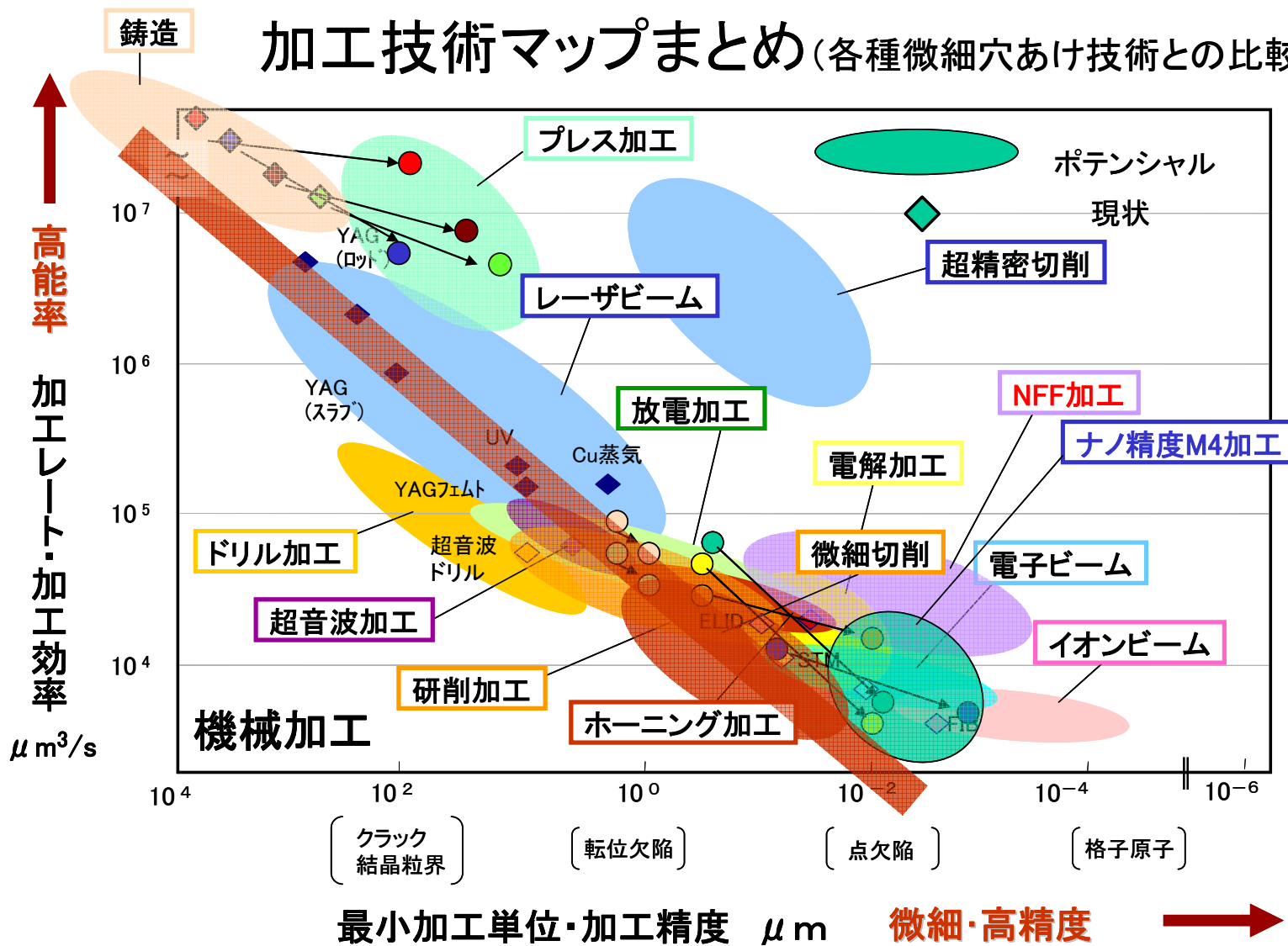
		2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025年	重点化の評価							
機械加工	研削加工																											①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	
		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦																											
機械加工	超硬粒砥石製造、利用技術	薄刃切断砥石																													○				
		均一分散分級砥石																										◎			○				
		超高集中度砥石																													○				
		ナノ精度ツルニング技術																										○							
		ナノ精度ドレッシング技術																										○							
		ナノ精度コンディショニング技術																										○	◎						
	超精密、高剛性研削盤開発	高剛性静圧スピンドル																													○				
		超高速スピンドル																													○				
		ナノ精度バランス技術																										○							
		ナノ精度多軸NC装置																										○	◎		○				
	組加工用研削盤開発	6軸制御組加工機																														○			
		難削材加工																										○	○						
	加工メカニズム、加工計測	高速・非接触ナノ精度形状測定技術																										◎			○				
		サブサーフェスダメージ測定評価																										○	◎						
		研削抵抗測定技術																															○		
		研削温度測定技術																															○		
		砥石摩耗測定技術																															○		
		研削機構シミュレーション																															○		
		研削加工	高性能CMP研磨パッド																										○			○			
			長寿命コンディショナー																														○		
			極微粒均一分散分級ラッピングテープ																										◎						
		固定砥粒を用いた研削法開発	高能率研磨用ラッピングテープ																													○			
			スクラッチレス研磨砥石																										○	○					
	研磨メカニズム、加工計測	CMP研磨過程MDシミュレーション																															○		
		サブサーフェスダメージ測定評価																											○			○			
		インプロセス加工量評価																										○				○			
		インプロセス研磨工具測定																										○				○			
	特殊研磨法	磁気研磨加工技術																										○							
		磁気粘性流体援用研磨																										○							
		電気粘性流体援用研磨																										○							
		電気泳動研磨																										○							
		高能率CEM																										○	○						
		プラズマCVM																										○	○						
		光研磨																										○	◎						
		超大型自由曲面研磨																										◎							

5. 17 まとめ

加工とは、本章の副題にあるように「ものづくり力を支える」技術である。「先端技術」か「当たり前技術」かによって多少有難味が変わるが、一般に加工技術は非常に多様で柔軟性に富むため、幅広いスペクトルの要求に十分に応えることが可能である。また加工は基本的に温故知新の技術であって、他のものと簡単に置き換えることができない。別の見方をすると先端技術の部分だけを取り出すことができない。そのため多くの加工技術は先端的な部分と当たり前の部分を併せ持つ。こうした点が、加工技術の革新性を見えにくくし、時として新しい側面を覆い隠してしまう。鋳造、溶接、塑性加工といった従来からの枠組みは非常に大切であるが、新しい技術がこれらの重厚な枠組みの中に埋没しないようにしなくてはならない。

そこである程度の無理を承知したうえで、従来型の加工技術の枠組みからいくつかの新しい加工技術の枠組みを抜き出し、新たな視点に立って重要技術課題の抽出を行った。その結果、新しい加工技術課題の設定が可能となり、その技術分野のロードマップがより明確になったと考えている。今後は、こうした方法の効果を精査し、よりオープンな加工技術体系を整備し、加工における新たな技術分野の創出や戦略的な技術革新に対して、より的確な将来像を提示していきたいと考えている。最後に、こうした方法に同意しご協力をいただいた委員各位、また、それをサポートしてくれた関係各位にお礼を申し上げる。

加工技術マップまとめ (各種微細穴あけ技術との比較)



第6章 ものづくり技術の評価と推進

6.1 ものづくり技術の推進

総合科学技術会議のまとめた H20 年度の科学技術関係の予算のうち「政策課題対応型研究開発（重点8分野）の予算を見るに、ものづくり技術予算は 356 億円、2.0%でしかない。第2期での8大分野、そして、第3期においても重要な分野と位置づけられているにもかかわらず、この割合は極めて低い。日本経済の根幹であり、かつまた、競争力の源であるものづくり技術に対してこの額の投資では将来はおぼつかない。しかしながら、このように額が抑えられる理由もそれなりに存在するはずである。



図6.1 平成20年度 科学技術関係予算案における構成比

<http://www8.cao.go.jp/cstp/siryu/haihu73/siryu2.pdf> の一部を抜書き

6.1.1 開発すべき技術の絞込み

ものづくり技術の特徴として、次の項目が挙げられる。

- 構成する技術分野が広い
- 代替技術が多い。同等の性能を実現する方法は多様にある。
- 経済的・社会的選択を経て、技術が実現される。
- 企業間競争、国家間競争の影響を受けやすい
- あるべき姿あるいは夢として、技術の最終目標が技術者に共有されにくい。

これらの特徴はいかなる分野でも共通する性質ともいえるが、製造業では際立っている。それゆえ、開発対象を特定の技術に絞り込むことが難しい。たとえば、ある特定技術が重要だと認識がものづくり技術者の間で広まれば、それは技術競争となり、情報の共有は困難となる。競争的状況での共同開発の難しさである。逆に、一部の先端的技術が重要だと認識されても、実用化までの長い道のりが予想される場合には、国としての研究開発支援策を組み易いが、それは基礎技術であって、ものづくり技術の前段階として位置づけられる。図6.1の他分野の研究の中には、10年後、ものづくり技術として花開く可能性の

ある技術も含まれている。しかし、ものづくり技術として育てる体制を組めないうちに、時間だけが経過し、結果的に、他国に先を越されることが多い。前者の事例としては、LSIが挙げられ、研究組合方式から熾烈な競争を経て、「同業他社に勝つために」多くの企業が同一目標へ邁進した。その結果、経済状況が変わると、固定的技術だけの追及が裏目に出た。後者の例としては、レーザ発生源やCADシステムの開発が挙げられる。1980年代では先端技術開発に成功したが、その後の投資が止まったために、競争力は急速になくなった。前轍を踏まないためにも、技術開発の目標設定について、多様な研究対象を並び挙げた上で、波及効果の高い技術を選択し、かつ、それらが多くの技術者のコンセンサスを得やすい、上手な仕組みが必要となる。

基盤技術と川下産業の関係

《基盤技術の例》

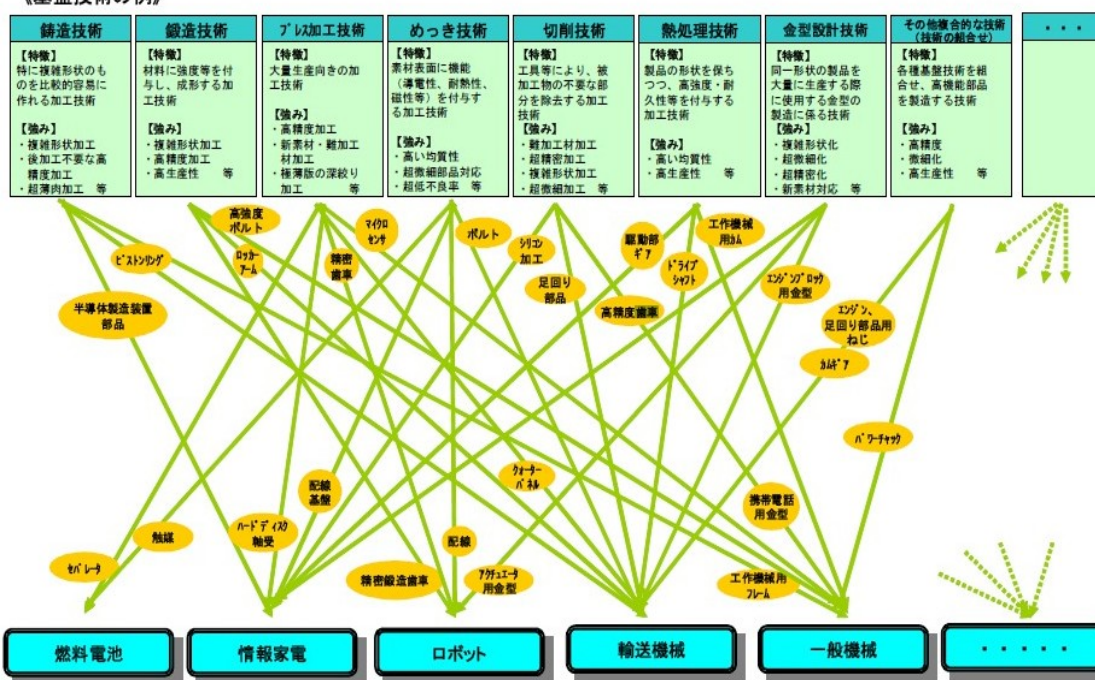


図6. 2 基盤技術と川下技術

新経済成長戦略(平成18年6月)より引用

<http://www.meti.go.jp/press/20060609004/senryaku-hontai-set.pdf>

技術を一つ一つ取り上げるなら、どれも欠くことができない。図6. 2に示す基盤技術はどれも川下の製品製造に欠くことができないし、かつ、広く影響を与える産業である。川上と川下の中間に存在する歯車は必須の部品要素で、かつ、歯車加工はホブ盤を始めとする歴史ある技術に支えられている。産業規模として約3千億円と部品としては非常に大

きい。しかし、いまや歯車を専門とする研究者は皆無に等しい。それゆえ、将来、歯車技術が低下する危険性が十分にある。では、歯車技術は公的資金を投じて活性化すべきかとなると議論は分かれる。次に、川下である産業用ロボット技術についても見るなら、生産ラインにおける産業用ロボットの寄与は大きいし、先端技術として重要である。しかし、現状の産業規模は歯車産業とあまり変わらず、年間 5,000～7,000 億円といわれている。将来予測は 2015 年で倍増といわれており、アカデミアも産業界もその成長性を信じている。よって、情報通信分野の一部としてロボットへの科学技術予算はついている。ただし、ものづくり技術としての産業用ロボットへの公的資金支出は必ずしも多くはない。このように、ものづくり技術の中で何を重点項目とするかは単純ではないのである。

6. 1. 2 技術の方向と波及効果

多くの技術の関係を示し、かつ、その時間的发展の可能性をしめす道具が技術ロードマップである。技術ロードマップの定義はさまざまあろうが、ここでは「専門家の合意形成によって作られた科学的知見に基く技術の發展の時間的表現」としよう。すなわち、「科学的知見に基づく」ことと、多数の「専門家の合意」として、社会的影響力を持つべき存在である。本報告書では、

- 重要技術：設計システム、生産システム、加工技術のそれぞれの専門家が討議して、重要性を合意した技術
- 発展関係：ものづくり技術の持続的発展のために、技術的発展の連鎖を考慮した技術
- システム技術：ものづくり技術の特性を十分に考慮し、かつ、ものづくり、ことづくりを考慮した社会システムとしての技術
- 持続性社会への貢献：人類の存続のために必須である持続性社会構築のために、ものづくりとして積極的に開発すべき技術

を考慮してロードマップを作成した。技術は、大分類・中分類・小分類という構造を持たせることで、相互連携関係ならびに補完関係を明らかにした。しかしながら、網羅的な数え上げ、発展経緯などを考慮したために項目数が多くなることは避けられない。そこで、これらの技術なかで、重要項目を選択し、それぞれの技術ロードマップの中で表示した。それでも公的資金の投入のためには、より集中的で効果的な技術要素を選択する必要がある。

そこで委員会では、各々のワーキンググループからあがった重点項目を、ものづくり技術全体の視点から再構築し、委員間の討議によって、次の視点から最重要課題を抽出した。

【波及効果】	川上・川下技術に限定せず、技術進展により広く製造業に影響を与える技術
【競争力強化】	今後 20 年間の日本の製造業競争力を保持、かつ強化できる技術
【安心・安全化】	QoL(Quality of Life)を向上させるとともに、社会的な安全・安心を確保する技術
【持続性社会構築】	製造業の基盤を持続的に発展させ持続性社会構築に資する技術、加えて、外国産業へ持続性社会構築技術として付加的な競争力の源泉となる技術

この議論の中で、持続性社会構築のために有効な技術であることが、川上・川下両方の技術において、今後、日本社会の競争力の源泉であると結論づけた。すなわち、

- LC設計技術
- 持続可能社会評価技術
- グローバル循環適正化技術
- 製品／サービス適正化技術

は発展すべき重要な方向であり、ものづくり技術もこの方向へと舵を切ることが喫緊の課題であるとした。その正当性は、各ワーキンググループの技術ロードマップの要素ならびに方向性から明らかである。

6. 1. 3 特に重点化すべきものづくり技術

抽出した「特に重点化すべきものづくり技術」は、表 6-1 に示す 13 種類である。それぞれが波及効果、競争力強化、安全・安心化、持続性社会に構築にどのように寄与するかを示す。次の 13 すべての項目について簡単な説明を加える。

(1)生産システムWG

(P1) バーチャルマニユファクチャリング

一般的になっている言葉ではあるが、未だに完全なものとなっていない。コンピュータ上で生産システムのすべてを模擬することによってシステムの最適化や見える化を行うものであり、様々な事前評価が可能になり、省資源、省エネルギーに大きく関連する。

(P2) 人・ロボット協調生産

少子化による労働力低下や作業者の高齢化にともない、闇雲に自動化を図るのではな

く、ロボットが人に優しく協力しながら生産できるシステムが肝要になる。そのためには人が安心して、かつ協調して働けるような賢いロボットの具現化が不可欠であり、これからのキーとなる技術である。

(P3) 動脈・静脈一体生産システム

これはインバースマニュファクチュアリングに近い概念であり、素材から製品への順方向生産システムと製品廃棄から素材へ戻す逆方向生産システムを共に考えたリーンで環境対応型のシステムと言える。

(P4) トータルトレーザビリティ

製造された製品や部品の生産から使用、再利用から廃棄までの各プロセスを追究できる技術の総称で、その実現にはセンサ、画像処理、計測技術、遠隔制御などの発展にかかっている。安全・安心をサポートする重要技術になる。

(P5) ゼロエミッション工場

すべての産業廃棄物を循環資源として活用し、埋立や単純な焼却をゼロにするような工場を指す。簡単には実現しないように思われるが、環境保全という観点からは開発する価値が十分にある。

(2) 設計WG

(D1) プロダクトのモデリング技術

製品の価値は設計段階で70%以上が決まってしまうと言われている。環境にやさしい製品かどうかも設計で決まるのである。設計力向上を手助けすると期待されている3次元CADは、ほぼ普及したといっても過言ではない。しかし、現在の3次元CADはそのデータ形式からくる限界が言われ始めている。一つは、操作性を飛躍的に向上させることが難しいこと。さらに、詳細設計では活用できるが、構想設計には利用しにくいこともあげられる。そこで、まったく新しいデータ構造を持ち、設計者がワープロのように活用できる3次元CADが望まれている。新しい3次元CADは構想設計から詳細設計まで一貫して活用できることが求められる。

(D2) 現物融合技術

3次元CADを中核とした開発は、コンピュータ上に仮想のモデルを作って進める「仮想化開発」である。これに対してリバースエンジニアリングは、現物の情報を仮想モデルに結びつける技術である。実際の製品開発では、設計したものどおりに製造されないことがある。金型などはその好例だ。そこで、リバースエンジニアリングにより、現物のデータを設計データにフィードバックすることで、より高度な設計ができる可能性がある。

(D3) 試作最小化技術

試作の最小化は環境負荷の面からも重要な課題である。これを実現するにはいくつかの技術課題がある。まず、知識ベースとの連携。知識ベースとCADを連携させ、過去の事例をうまく活用することが必要になる。また、どの設計段階でも簡単に解析できることも重要だ。設計したものに問題がないかを自在にコンピュータ上で検討できれば、実試作を減らすことが可能だ。解析技術の開発も必要である。たとえば、強度解析と熱解析を同時に行える錬成解析などは必須である。このほかにも重要な技術は多々ある。

(3) 加工WG

(M1) NFF マシニングシステム（ナノ精度揺らぎレス加工システム）

これからの四半世紀において 10^{-6} 乗（マイクロ）精度の超精密加工から、 10^{-9} 乗（ナノ）精度の超々精密加工へ移行することは明らかである。 10^{-9} 乗精度を実現するためには機械的・熱的変動をなくすことが不可欠であり、超々精密な各種機械要素技術（超高制振サーボモータ・DDモータ・リニアモータの開発等）、工作機械等の構成技術（超高減衰構造材料の開発等）、超高精度温度・振動制御・自動補償技術の確立が要請される。

(M2) ナノ精度M4プロセス（ナノ精度マイクロ機械加工技術）

現時点では、MEMSのような微細要素の応用はかなり限定的である。微細要素とミリメートルサイズのものとの融合させ、その適用範囲を飛躍的に拡大するためには、マイクロメートルからサブミリメートルの領域におけるナノメートル精度の加工技術が必要であり、しかも複雑な立体形状の加工が不可欠となる。こうした超高精度の加工技術としては、現時点では機械加工が最も適しており、これを実現するためには、工具や加工技術だけでなく、加工技術に対応した計測技術の開発が必要である。また計測には、サブサーフェスダメージ層を評価する技術が含まれることが望ましい。具体的にはナノ精度非接触高速3D

形状（エッジ・アペックス・急峻面）測定システム、機上計測用ナノ精度センサの開発、ナノ精度接触検知、センサー一体型保持機構、サブサーフェスダメージ層測定・評価技術などである。

(M3) 材料・エネルギー最小化加工技術

除去材料・使用エネルギー・切削油や離型材などの環境負荷物質の削減・最小化を実現するための加工技術の開発が、現時点では個別に進められている。例えば、鋳造や塑性加工におけるニアネット技術、常温接合によるデバイス実装、機械加工におけるドライ加工や切削液最小化技術等である。しかし個別技術での対応では、効果は限定的であり、大きな効果を期待するためには、材料・エネルギー最小化のための各種加工プロセスの組み合わせや複合化技術が不可欠である。また加工におけるエネルギー効率を極限まで高めるためには、局所的に温度や雰囲気・圧力等を制御する局所環境発生・制御技術が必要であり、特に重要性が高まっている微細な加工において、その効果が大いに発揮される。

(M4) 高機能環境適応型軽元素ベースコーティング

レアメタルなどの希少資源の削減のために高機能・高性能なコーティングの重要性が一段と高まっている。将来的にはコーティング材に希少元素を使用しない軽元素（炭素、窒素、硼素等）ベースのコーティング技術の確立が必須となる予想される。当面は、各種のダイヤモンド・ダイヤモンドライクカーボン（DLC）・ナイトライド（窒化ホウ素、カーボンナイトライドなど）等による高機能トライボコーティングやドライ加工のためのハードコーティングの開発とこれらの技術による機器の長寿命化、潤滑油・切削油等の削減が期待される。

(M5) スーパークオリティ RX

テーラーメイドの高付加価値多種極少量生産への対応が大きな課題となっており、そのソリューションとして RM（ラピッドマニファクチャリング）が注目されている。これを実現するためには高品位の RP（ラピッドプロトタイプング）、RT（ラピッドツーリング）、RMのシームレスな統合が不可欠であり、ここでは統合化された高品位 RP・RT・RMを「スーパークオリティ RX」と呼ぶことにする。そのキーワードとしては、高品位・テーラーメイドエンドユース・ロングタームプロダクツ、高精度・高能率・超短納期 RM 加工技術、RM 用多用途材料の開発、RM ビジネスモデル等が挙げられる。

以上の13技術要素をまとめた表6. 1では、波及効果、競争力強化、安心・安全化、持続性社会構築の各項目について、評価した。技術要素はすべて関係付けられるが、○は強い関係があること、◎は特別に強い関係があること、を意味する。

表6. 1 最重点技術要素とそれらの特性

		波及効果	競争力強化	安心・安全化	社会構築 持続性
	番号 技術要素				
生産	(P1) バーチャルマニュファクチャリング	○	○		◎
	(P2) 人・ロボット協調生産	◎	◎		○
	(P3) 動脈・静脈一体生産システム	○	○	○	◎
	(P4) トータルトレイザビリティ	○	○	◎	◎
	(P5) ゼロエミッション工場		○	○	◎
設計	(D1) プロダクトのモデリング技術	◎	◎		◎
	(D2) 現物融合技術	◎	◎	○	○
	(D3) 試作最小化技術	○	◎		◎
加工	(M1) NFF マシニングシステム (ナノ精度揺らぎレス加工システム)	◎	◎	○	○
	(M2) ナノ精度M4プロセス (ナノ精度マイクロ機械加工技術)	○	◎		○
	(M3) 材料・エネルギー最小化加工技術	○	◎		◎
	(M4) 高機能環境適応型軽元素 ベースコーティング	○	◎	○	◎
	(M5) スーパークオリティRX	◎	◎	◎	○

6. 2 ものづくり技術強化策

総合科学技術会議が制定した第3期科学技術基本政策分野別推進戦略のうち「ものづくり技術分野」(<http://www8.cao.go.jp/cstp/kihon3/bunyabetu8.pdf>)では、重点化の方針を次のように定めている。

- 特定の商品や市場に適用されるものよりも、我が国の広範な製造業に適用可能な汎用性の高い共通基盤的な課題であること
- 特定の商品や市場に適用されるものづくり技術であっても、他産業への波及・競争力強化への貢献や、安心・安全や環境問題等社会的課題解決への貢献も含め、我が国の社会・経済の飛躍的・革新的発展が期待される課題であること
- ものづくりを支える技術者・技能者の育成強化と活躍促進に貢献する課題であること

以上の3つの基本的考え方に沿って選出している。本報告では、波及効果、競争力強化、安心・安全化、持続性社会構築と上記基準をより詳細化している。ものづくり技術分野での「重要な研究開発課題」としては、次の課題が挙げられている。

- (1) I Tを駆使したものづくり基盤技術の強化
- (2) ものづくりのニーズに応える新しい計測分析技術・機器開発、精密加工技術
- (3) 中小企業のものづくり基盤技術の高度化
- (4) 巨大な機械システム構築に貢献するものづくり技術
- (5) 世界をリードする高付加価値材料を生み出すものづくり技術
- (6) 人口減少社会に適応する、ロボット等を使ったものづくりの革新
- (7) バイオテクノロジーを活用したものづくりの革新
- (8) ものづくりプロセスの省エネルギー化
- (9) 資源を有効利用し、環境に配慮したものづくり技術

下線は、本ものづくり技術ロードマップ委員会が選択した技術要素に関係の深い課題を示す。技術ロードマップであるので、企業サイズ、あるいは製品については限定していない。また、バイオ技術は今回対象としなかった。

6. 2. 1 開発研究課題の提案

科学技術政策の状況を踏まえつつ、本委員会が体系化した技術要素を「ものづくり研究開発課題」として4種類を構築した。

ものづくり技術ロードマップ委員会は、今後30年間のものづくり技術ロードマップの作成ならびに重要な技術要素の選択から、以下の4つの研究開発課題を今後積極的に推進すべきと考え、提案する。

(1) 超短期間超少量生産可能化体系の推進

- (D1) プロダクトのモデリング技術
- (P1) バーチャルマニュファクチャリング
- (M5) スーパークオリティ RX
- (D2) 現物融合技術
- (P4) トータルトレーザビリティ
- (D3) 試作最小化技術

を中心的な技術要素とする CAD から製造機械までの統合した体系の構築。CAD から迅速生産を可能とし、出来上がった製品の特性を CAD に戻すことにより、性能向上を図り、試作量・試作期間を最小化する技術体系。

国際競争力の強化ならびに持続性社会の構築のために最優先開発項目。

現行の科学技術基本計画ものづくり分野技術戦略「重要な研究開発課題」(1)(2)(6)(8)に相当する。特に、(D1)-(M5)-(D2)の組み合わせによって、CAD システムのクルーズドループ化（出来上がり形状や材質のチェックが可能となる）という画期的な技術の体系が出来上がる。

(2) 環境負荷超少化技術の開発

- (M4) 高機能環境適応型軽元素ベースコーティング
- (M3) 材料・エネルギー最小化加工技術
- (P5) ゼロエミッション工場
- (P3) 動脈・静脈一体生産システム
- (P4) トータルトレーザビリティ

は加工技術を中心とする作業最小化、エネルギー最小化、機能創製部位最小化、加工屑最小化などの最小化技術によって、まず生産自体の小型化を図る。加えて、ゼロエミッション工場、静脈系の構築によって、社会全体としての環境負荷を最小化する。なお、この技術による製品の目標は、「寸法 2 分の 1、精度 1 桁向上マシン」である。寸法が半分になり、重量は 8 分の 1、必要とするエネルギーは 16 分の 1 になる。廃棄物、不要物の管理も 8 分の 1 以下になる。

国際競争力の強化ならびに持続性社会の構築のために最優先開発項目。

現行の科学技術基本計画ものづくり分野技術戦略「重要な研究開発課題」(2)(5)(8)(9)に相当する。特に、(M4)-(M3)を中心とする加工工程を基礎に、まだ十分には出来上がっていない(P5)(P3)を構築する現実的な取り組みである。

(3) 高精度頑健機能創製技術

(P4) トータルレーザービリティ

(M1) NFF マシニングシステム (ナノ精度揺らぎレス加工システム)

(M2) ナノ精度 M4 プロセス (ナノ精度マイクロ機械加工技術)

(M3) 材料・エネルギー最小化加工技術

を中心とする加工技術ならびにそれらを利用可能とする周辺技術。レーザービリティは、寸法保証、材質保証、加工精度保証、頑健組立保証などについて上流から下流までの統合的な保証体制を意味する、これに高精度加工、ナノ・マイクロ加工が組み合わせられ機能創製の高度化を得る。航空機の部品から、次世代の電子機器やバイオ測定器、あるいは医療用機器の高機能部品製造技術となる。

国際競争力の強化のために優先開発項目。

現行の科学技術基本計画ものづくり分野技術戦略「重要な研究開発課題」

(1) (4) (8) (9)に相当する。

(4) 人間・ロボット協調生産システム

(P2) 人・ロボット協調生産

(P4) トータルレーザービリティ

の技術。産業用ロボット技術は機械単独の生産システムに限定されているが、作業者は人間の持つ能力を最大に発揮させ、ロボットには機械がもつ能力を最大に発揮させる協調システム。産業用からサービス産業バックヤードへの展開が見込まれ、今後、ロボット技術自体が国際競争力となる。

現行の科学技術基本計画ものづくり分野技術戦略「重要な研究開発課題」(1) (6)であるが、(2) (3) (4)にも強く影響を与える。

6. 2. 2 課題の開発研究推進の方法

ものづくり技術の特性の中に、競争性があることをすでに述べた。大学での SEEDS を企業の NEEDS と上手に接続しなければ価値ある技術を育成できないことはすでに何度も指摘されている。それだけに、ものづくり技術の開発では、産学連携、が重要である。幸いなことに、現在、ものづくり技術をめぐる学術的な環境は極めて積極的である。

(1) 学会

精密工学会、塑性加工学会を始めとしてものづくり技術ロードマップの構築、技術の体系化、人材育成に積極的に取り組んでいる。これらの学会を横断的に結び付ける生産学術連合会議(代表 帯川利之東京大学生産技術研究所教授)、横幹連合アカデミック・ロードマップ作成委員会(江尻正員委員長)などが活発に活動している。特に生産学術連合会議は生産技術に関係する型技術協会、自動車技術会、スケジューリング学会、精密工学会、電気加工学会、砥粒加工学会、日本機械学会 生産システム部門、日本機械学会生産加工・工作機械部門、日本トライボロジー学会、日本ロボット学会、プラスチック成形加工学会、溶接学会、日本塑性加工学会、計測自動制御学会、日本材料学会の 14 学会 15 部門を束ねた専門学会組織になっている。

また日本学術会議生産科学分科会は、2008 年 3 月、ものづくり技術への科学的取り組みの必要性を提言している。

(2) 協会

本ロードマップを取りまとめた(財)製造科学技術センターあるいは(財)日本ロボット工業会などの業界団体がものづくり技術について支援の枠組みを運営してきた。

以上の状況から学協会の意見を聴取し、参画をもとめながら、本ロードマップを中心に施策を構成し、推進していくことが効果的であると予想される。

第7章 おわりに

ものづくりという大きな分野を総合的に眺める技術ロードマップは初めての試みである。2006年度には「次世代社会構造対応型製造技術の体系化調査」として、製造技術の調査と技術ロードマップの作成を行い、本年2007年度にはそのローリングであったが、加工技術を加えて大きく拡大し、以下に示す3章の総合的な技術ロードマップとなった。

生産システムは第3章で検討した。ここでは20年後のものづくりシステムとして、産業基盤から整備し、日本の競争力強化は技術強化からビジネス強化までつなげて始めて機能することを示した。具体的な要素技術としては、バーチャルマニュファクチャリング、有害廃棄物除去、ゼロエミッション工場、内燃機関の電気駆動化、人・ロボット協調生産、トータルレーザービリティ、ラピッドプロトタイピングなどの発展を示した。

設計システムを第4章で検討した。次世代開発システムとして、設計管理技術、設計・技術活動支援技術、3次元モデリング技術、ナレッジ管理・運用技術、CAEならびに性能シミュレーション技術のロードマップを作成した。現物融合技術が日本のものづくりの強みを一層強化することを示した。

加工技術を新たに第5章で詳細な検討をした。ものづくり力を支える先端加工技術が重要であることは理解されていても、何から手をつけてよいかわからないほど分野が広がり過ぎていることを考慮し、重要な技術をまとめあげることと、既存技術の将来展望の両者を示した。NFFマシニングシステム、ナノ精度M4プロセス、材料・エネルギー最小化加工技術、超機能性インターフェース、スーパークオリティRX、局所環境制御加工を示した。川上技術として今後も継続して重要である従来型加工技術についても、技術ロードマップの視点で検討を加えた。電気化学加工、鋳造、プラスチック成形、溶接・接合、金属成形加工、多軸・複合工作機械および加工システム、切削加工および切削工具、研削加工、研磨加工とほとんどすべての加工技術を示した。

以上の技術ロードマップの作成から、今後の発展すべき要素技術が多岐にわたることが再認識された。しかし、これでは発散した方向を示したこととなってしまう、戦略的にはならない。そこで第6章で技術の絞込みを行った。波及効果が高く、持続性社会構築が可能となる重要な技術要素として13個を選択した。それらを取りまとめて次の4つの研究課題を今後、積極的に推進すべきと考え、提案した。

- (1) 超短期間超少量生産可能化体系の推進
- (2) 環境負荷超少化技術の開発
- (3) 高精度頑健機能創製技術
- (4) 人間・ロボット協調生産システム

科学技術基本計画はものづくり技術戦略を規定している。本報告書の提案は科学技術基本計画の方向に一致し、その詳細化と道筋を示したものである。ものづくり技術の開発では産学連携・産々連携が重要である。そこで、提案した戦略推進方法として、日本学術会議、生産学術連合会議、横断型基幹科学技術研究団体連合などの連合組織に参画をもとめながら、本ロードマップを中心に施策を構成し、推進していくことが効果的であると予想されることを示した。

未来を開拓するために、価値ある技術ロードマップを作成できたと確信している。この地図を信じて行動するかどうかは本報告書の読者の見識にかかっている。

最後に紙上を借りて、本報告書の作成を担当した委員ならびに支援していただいた諸団体に御礼を申し上げる。

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）

1. 日本のもの作り産業の国際競争力を示す現状指標からの考察

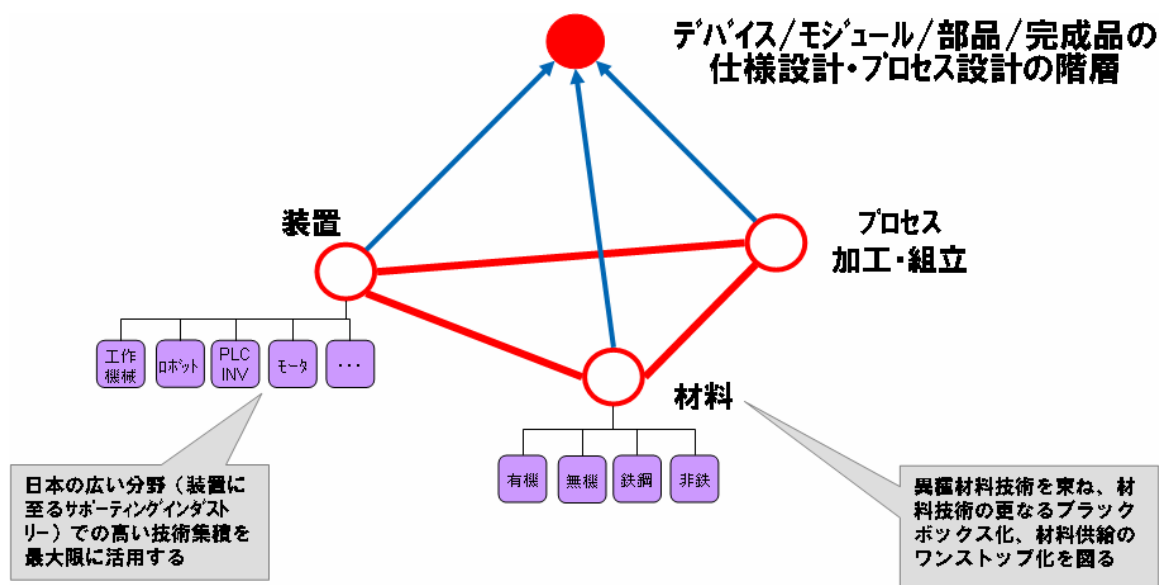
1-1 もの作りの競争力を表現する指標

日本のもの作りの強さは、電子デバイス産業を例にとると、材料・装置・プロセス開発の3つの側面において、広範、且つ深い技術集積がある点、それぞれの摺り合せによるエンジニアリングが高度に働いている点、更に水平分業が極端に進まず、一方の垂直統合としての強制力より、むしろ必要な技術要素が連携し、摺り合わされて行く「垂直融合」的な構造をなしている点、等が特徴である。

材料、装置では日系企業が高シェアを維持しており、一方、完成品（デバイス、部品、完成品）のシェアは限定的である。

(1) 電子デバイス産業のもの作りの変化

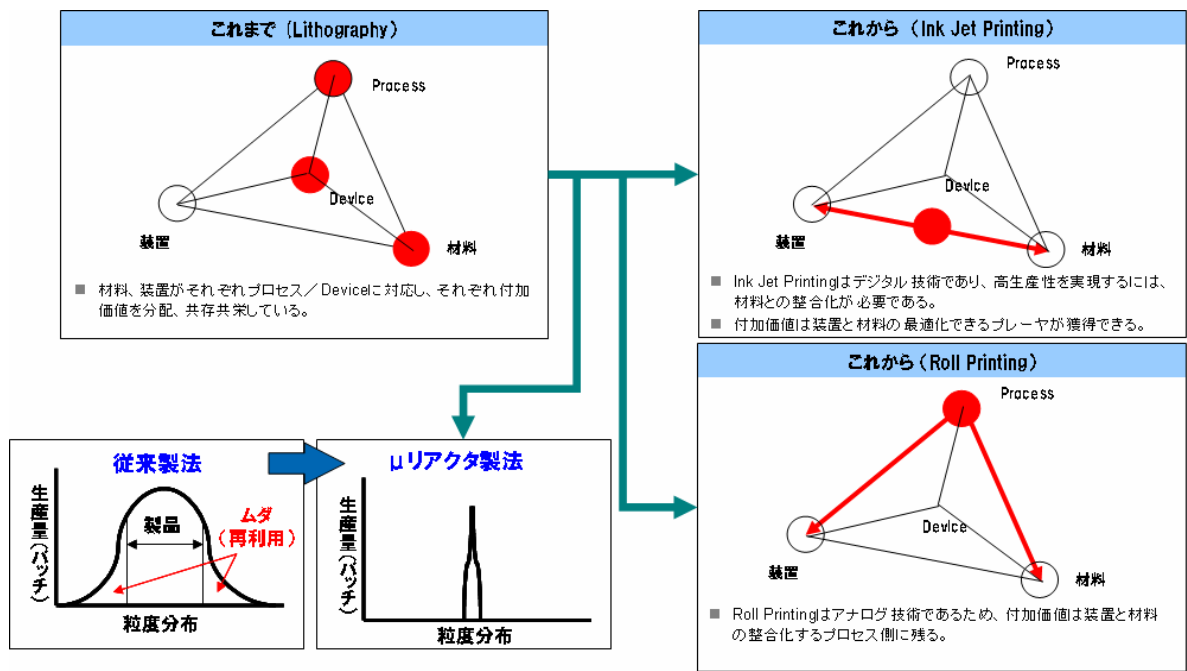
ここでは、電子デバイス産業におけるもの作りを①材料技術、②装置技術、③生産・加工プロセス技術の3つの側面で捉え、もの作りの競争力を表現している現在の指標を分析した。



図表1 電子デバイス産業におけるもの作り技術の捉え方

電子デバイス産業では、市場環境変化に伴い、劇的な構造変革が進展している。従来の露光プロセスに対し、インクジェットやロール印刷等の、旧来のいわゆる「印刷」技術を主体に、プリントブルエレクトロニクス技術の開発が加速している。

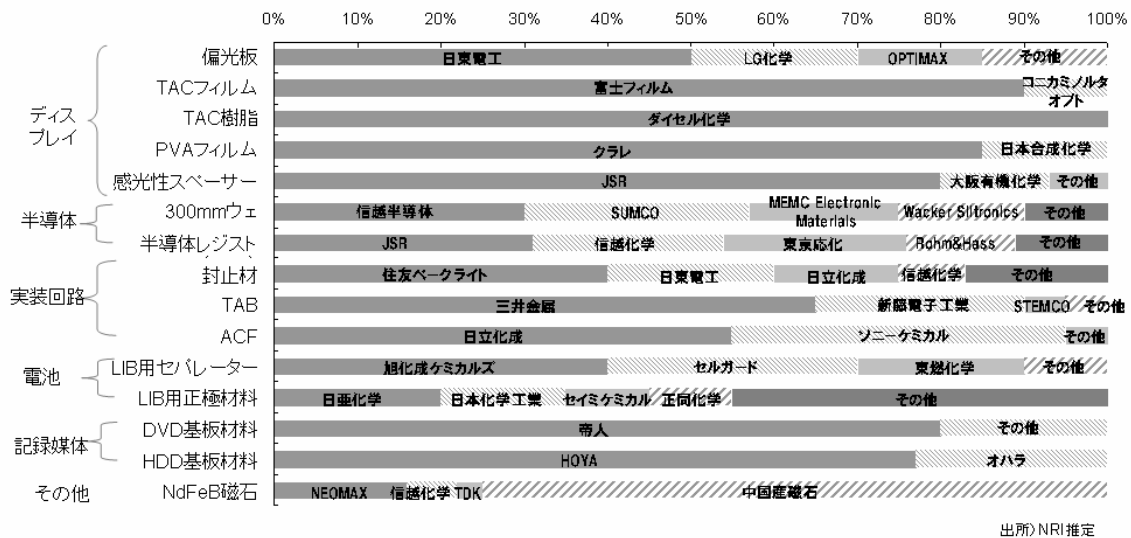
ここでは、正に日本の競争力を象徴する「技術集積性」、「擦り合せ」、「垂直融合型の産業構造」が要求される技術革新である。その要素が、①材料、②装置、③プロセス／加工・組立である。



図表2 電子デバイス産業におけるもの作り技術の変化

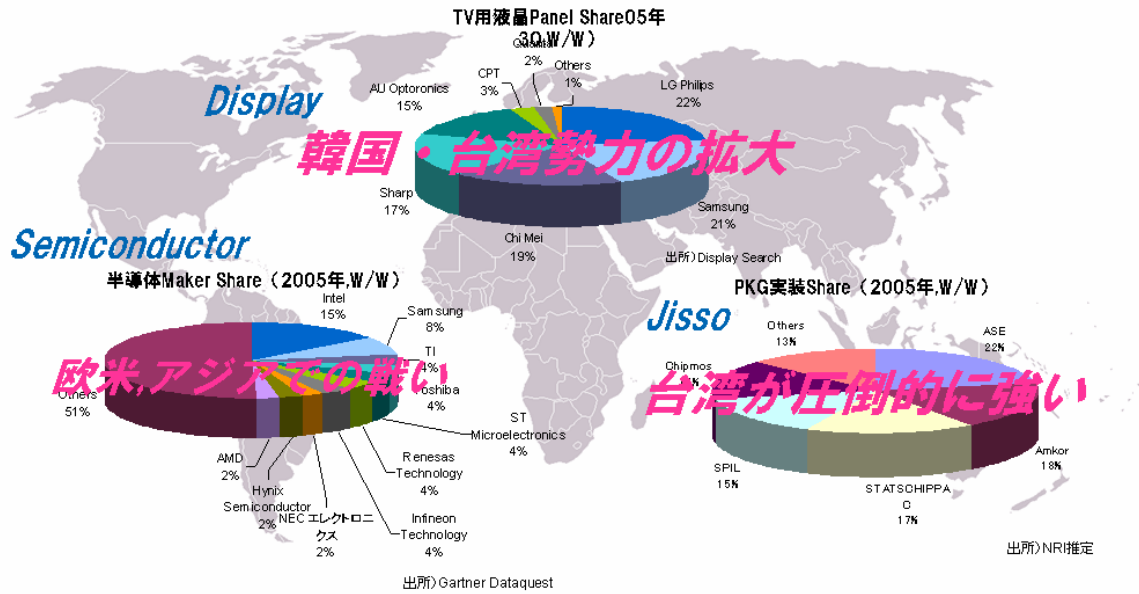
(2) 電子デバイス産業の材料業種における日系企業のシェア

多くの主要電子材料市場において、日系材料メーカーのシェアが極めて高いことが分かる (図表3)。わが国もの作り産業における、材料業種の強さを端的に証明しており、競争力を表現する分かり易い指標であるといえる。



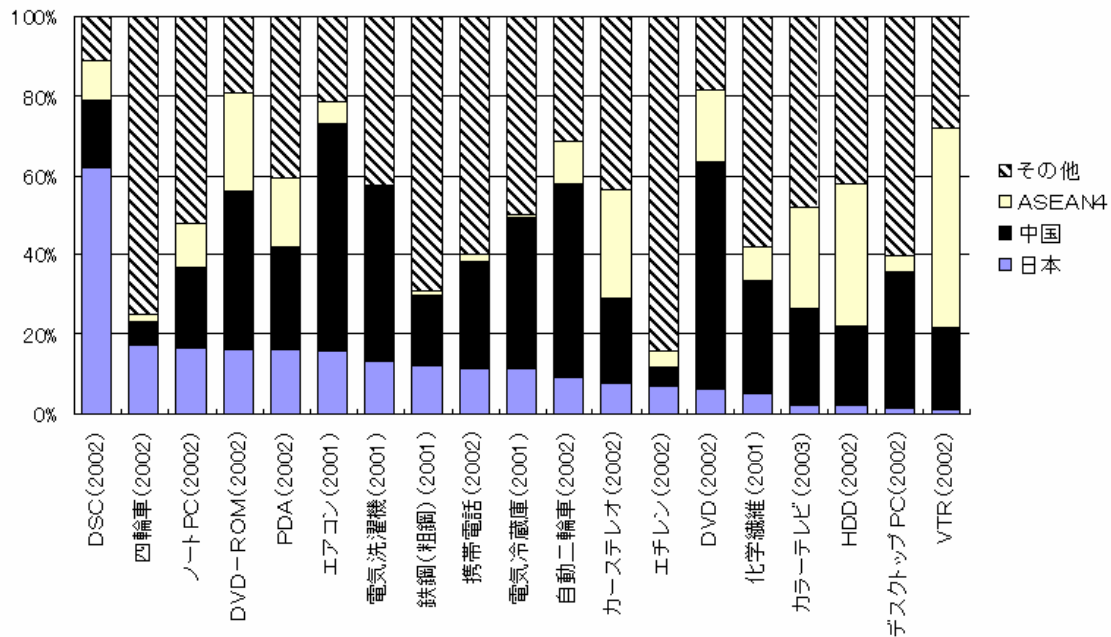
図表3 電子デバイス産業の材料業種における日系企業のシェア (2005年)

一方、デバイス業種における世界シェアを見ると、日系企業のみならず、韓国、台湾企業との熾烈な競争を物語るように、均衡している。アジア地域が電子デバイス産業の中核地域であることが分かるが、90年代と比べ、形成が大幅に変わり、日本のプレゼンスは少なからず低下した。



図表4 電子デバイス産業のデバイス業種における日系企業のシェア

さらに、最終製品（セット）産業における世界シェアを見ると、既に日本のプレゼンスが大きく低下している事は明らかである。デジタル家電などでは、中国や ASEAN 4 の存在感が大きくなった。



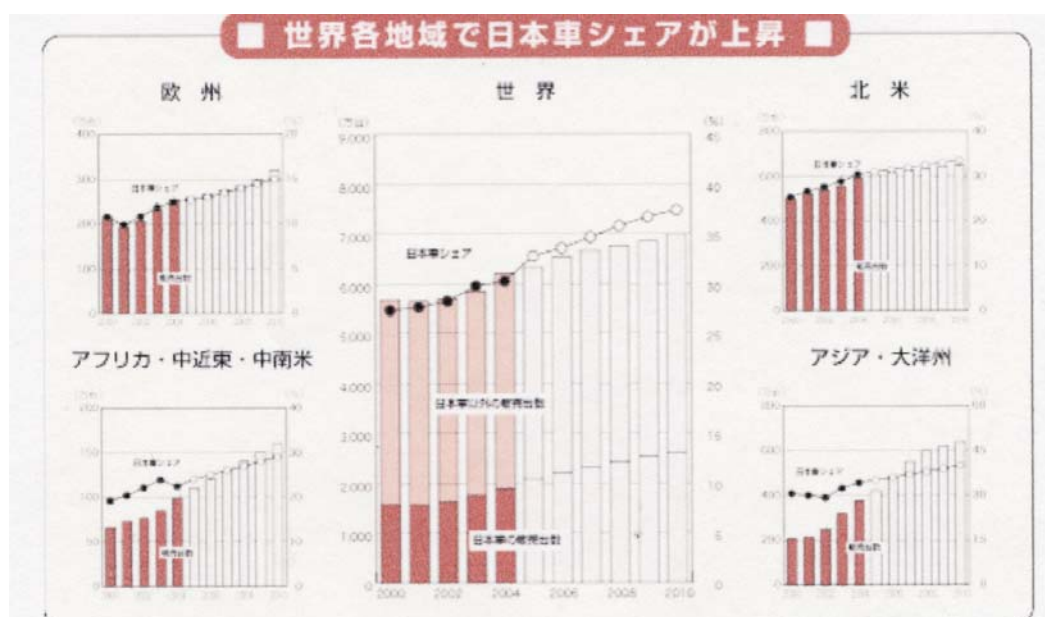
図表5 電子セット産業における日系企業のシェア

1-2 日本の競争力の現状

自動車メーカーの取り組みを踏まえ、日本のもの作りの競争力は、①技術集積性、それらの②擦り合せ、特に新しい潮流を生むのは③垂直融合型の業界構造、にあるのではないかと考える。ここでは日本の競争力の現状を自動車産業で見てみることにする。

(1) 自動車メーカーの競争力

①日本の自動車メーカーの競争力の強さは、**図表6**の海外でのシェアが着実に増加していることから窺うことができる。世界各地域でシェアが伸びていることは製品の総合的な競争力の結果である。



図表6 世界各地域の日本車のシェア

(出所：隔年間 日本自動車産業海外白書 2005年)

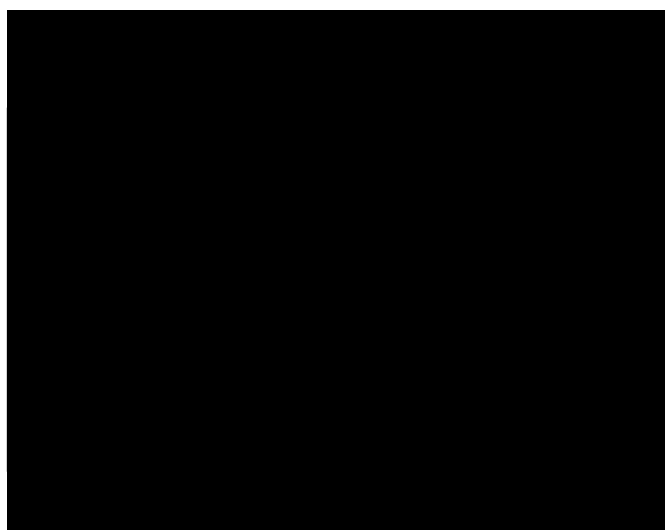
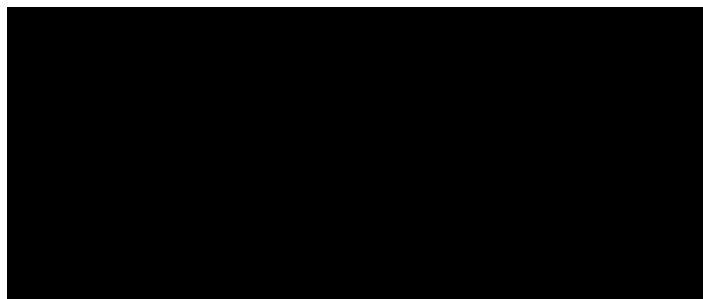
②自動車の場合は、デザインが販売台数に大きく影響することはよく知られているが、品質も非常に重要なポイントである。長年にわたり高品質であることがブランドの形成に大きく貢献するが、今日も高い品質を維持している。JDパワー社の2007年の新車品質調査(注1)では、**図表7**のように上位6番目までの半分が日本車であり、日本車の順位が安定して高い位置にあることが分かる。

(注1) 新車を購入してから3カ月たった車に対してクレーム件数を100台当りに表したクレーム件数で、件数が少ないほど初期品質が良いことになる。

③図表1で分かるように、日本車は欧州でも着実に人気を博してきた。JDパワー社の2006年のドイツでの顧客満足度調査(注2)でのブランド別ランキングは、**図表8**のように上位6番目までを日本車が独占した。ベンツやBMWなどの高級車メーカーがあるドイツでも日本車が高い評

価を受けているのは、日本の自動車の競争力が非常に高いことを示している。

(注2) 調査は、「品質と信頼性」、「クルマの魅力」、「アフターサービス」、「維持費」の4項目について、新車購入者に答えてもらった結果である。



④図表1のように日本車の市場占拠率が伸びていることは、車両としての総合的評価が高いことを表している。また、環境対応ではトヨタやホンダはハイブリッド車の販売や燃料電池車の試験的な販売(2002年12月)など世界に先駆けて実施しており、自動車に関する高度な技術を保有し、競争力確保の一翼を担っている。

⑤現在の自動車の競争力は最終的には企業の収益に現れてくはずである。実際に営業利益率を見てみると、**図表4**のように日産、トヨタ、ホンダの3社は高い営業利益率を確保している。同じようなレベルの会社は海外ではBMW1社であり、日本の3社の強みがよく表れている。

(単位：億円、率：%)

売上順位	企業名	国	売上	営業利益	営業利益率
1	GM	米	179,711	429	0.2
2	Daimler Chrysler	独/米	169,164	4,546	2.7
3	Ford	米	160,496	▲ 1,774	▲ 1.1
4	トヨタ	日	159,739	15,185	9.5
5	VW	独	100,399	849	1.4
6	日産	日	70,958	7,551	10.6
7	ホンダ	日	65,920	4,388	6.7
8	PSA	仏	57,159	1,676	2.9
9	BMW	独	50,136	3,611	7.2
10	Renault	仏	46,496	1,354	2.9
11	マツダ	日	29,161	701	2.4
12	Fiat	伊	26,182	▲ 1,281	▲ 4.9

資料：FOURIN

(出所：ものづくり白書 2005年版)

図表4 我が国企業の世界における位置付け

(2) 自動車メーカーの競争力確保の要因

以上のような競争力を確保している要因について考察してみよう。

①良い製品を造り出せる能力

車は高度な技術を要する「擦り合せ」の製品である。企画、設計、開発、生産準備、生産の各部門が決められた通りの仕事をすれば、良い製品ができるというものではない。如何に各部門が目標に向かって一致協力し、製品を良くするためには設計変更も積極的に協力するような仕事の進め方ができる文化が重要である。このような文化はまさに和の精神であり、目標に向かって努力する日本人の仕事スタイルになり、これが車開発に大きな武器になっていることはよく知られている。

これらにより、良い製品を効率よく開発でき、市場ニーズに合わせた製品をタイムリーに供給できるという強みがある。

日本は欧米に追いつけ、追い越せの時代から、排気ガス規制など社会からの厳しい技術開発を要求され、今は環境対応など常に技術開発を要求され続けてきたことが良いものを造り出せる能力開発につながっており、今後もより高い目標を掲げて技術開発に取り組むことが競争力の確保につながる確実な方法であると思われる。

②仕入れ先と一体的な開発とオープンな取引

仕入れ先とは長期的な関係を重要し、資本的には独立していても共に発展することを期待している。したがって、価格的には非常に厳しいが、高い目標を示して重要部品を一体的となって開発をする体制を取り、技術的にも優れた機能部品が開発される。この結果、両者に高度な技術も蓄積されることになり、競争力の確保につながる。最近では、特に機能部品のモジュール化やシステム化の取り組みも加速し、仕入れ先との共同開発も強化されている。このように一体的な共同開発を進めているが、仕入れ先が1社の自動車会社に依存する、いわゆる完全な系列化をよしと

せず、独立して成長していくことも期待している。このようなこともあり、仕入れ先も顧客を開拓し、デンソウやアイシン精機など主要な部品メーカーでは、世界シェア No.1 の部品も多くなりつつある。

また、仕入れ先の自主独立を促すために、常にオープンな取引を目指しており、良い部品の提案はまだ取引がないメーカーでも積極的に受け入れる方針である。これは仕入れ先が積極的に技術開発をすることを促すことにつながっており、たいへん効果的な方法である。

③ムダのない合理的な生産システムの開発

日本の自動車の生産システムは「リーン生産システ」と呼ばれて久しいが、多品種の自動車の生産に関して、生産のリードタイムが短く、ムダのない、高品質な製品の生産が可能であり、設計通りの製造品質を確保し、確かな競争力となっている。この源泉となっているのが、生産現場の強さを示す「現場力」の強さである。特に、組織、個人で継続的に改善を進めて進化できることが、本当の強みである。このためには人材の育成が欠かせない。各人の高い意欲と組織的な人材育成の仕組みが両輪として機能して人材の育成が効果的になされており、個人や組織としての仕事の成果に着実に結びついているのである。

以上のような強みがあるが、別の言葉で表現すれば以下のとおりである。

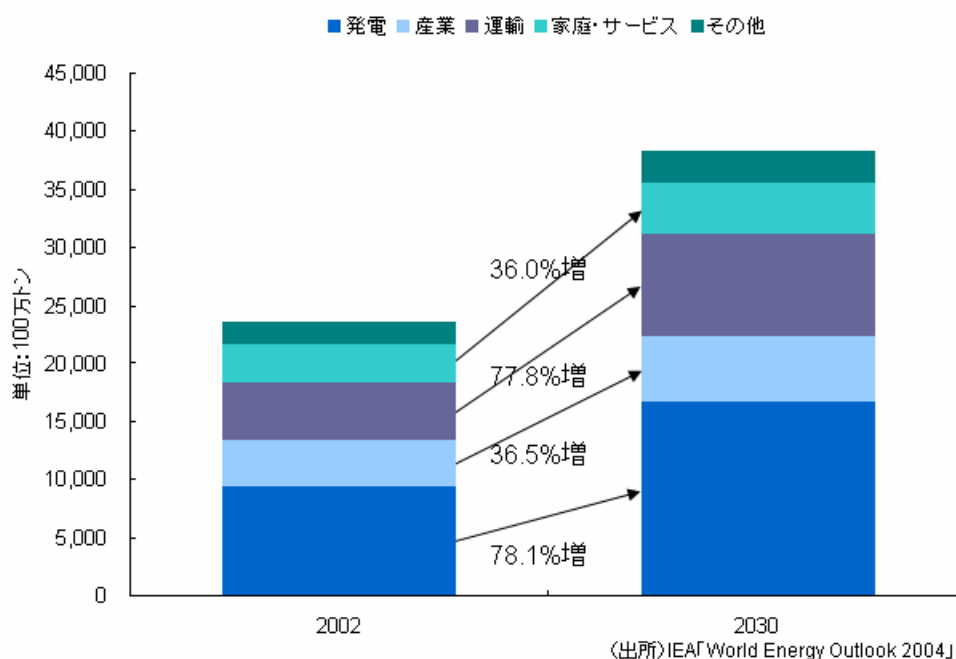
- (a) 素材や部品メーカーなどの関連会社を含めた高度な技術が集積していることやその活用を適切に行うことができることが大きな要素である。
- (b) 自動車の開発は擦り合わせを必要とする高度な技術を必要とするために、日本のメーカーが競争力を確保しやすい分野である。しかし、この競争力を維持向上するためには、(a)と関連するが、より高度な技術を必要とすることが今後も継続できることが競争力維持には不可欠である。
- (c) 集積した技術をより高め、新機軸の技術開発をするためには関連会社一体となって高い目標を持った垂直融合型の開発によって、大きな成果を生み技術的な優位をしっかりと確保している。今後、技術はますます広範囲で高いレベルが要求されるので、関連会社との適切な共同開発は重要となる。

2. もの作りの競争力を表現する指標の考察

市場・統計 WG では基本的な考え方として、日本の製造業が世界をリードし、もの作りが本来有する知的行為を、高い付加価値創造へと向かわせ、将来を照らす指標／道標となるモニタリング指標を検討することを念頭に置いた初期検討を行った。

2-1 サステナブル戦略としてのモニタリング指標の考え方

経済指標売（売上／収益等）とは異なる指標であり、且つ企業へのメッセージを込めた考え方が必要である。例えば、図表 1 は 2002 年に 230 億トンであった二酸化炭素排出量は 2030 年には 380 億トン以上に達することを示している。2002 年と 2030 年を比較すると、他の部門は 1.4 倍程度の増加なのに対し、発電部門と運輸部門は 1.8 倍に増加することを示しているが、持続可能性の観点からモニタリングが必須である。

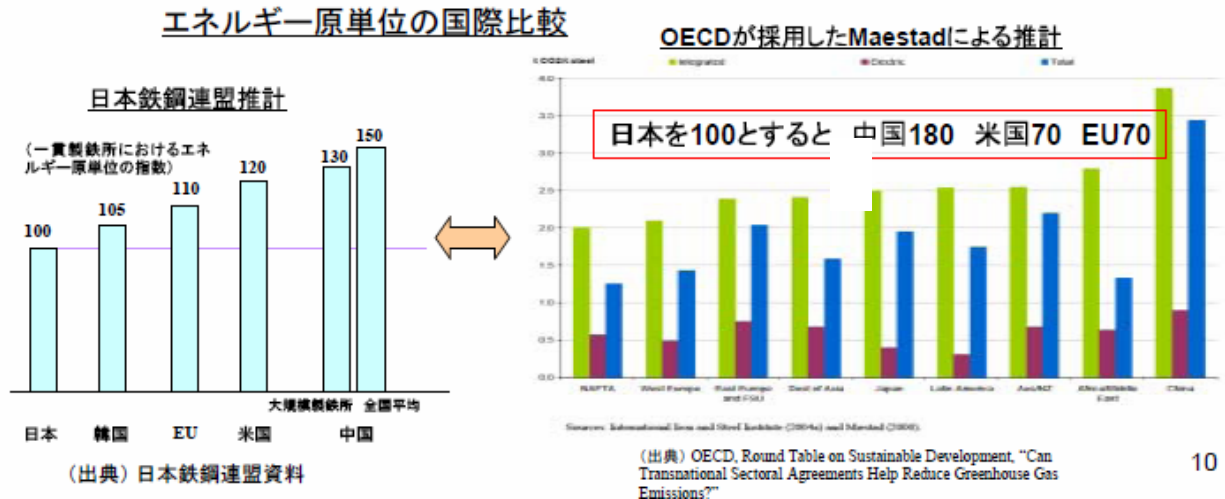


図表 1 エネルギー関連の CO2 排出量の見通し

ここでは地球環境に対する負荷状況を基準として、我が国もの作りの競争力を計測する手段を検討する方向を模索した。この場合、産業別、且つ製品別に細部の検討を要するが、例えば単位重量当りの粗鋼生産における投入エネルギーと排出ガス（地球温暖化ガス）量に関して、日本のもの作りの強みを指標化し、世界に発信できるモニタリング指標と出来ないだろうか、と考えて鉄鋼を事例に考察を行った。

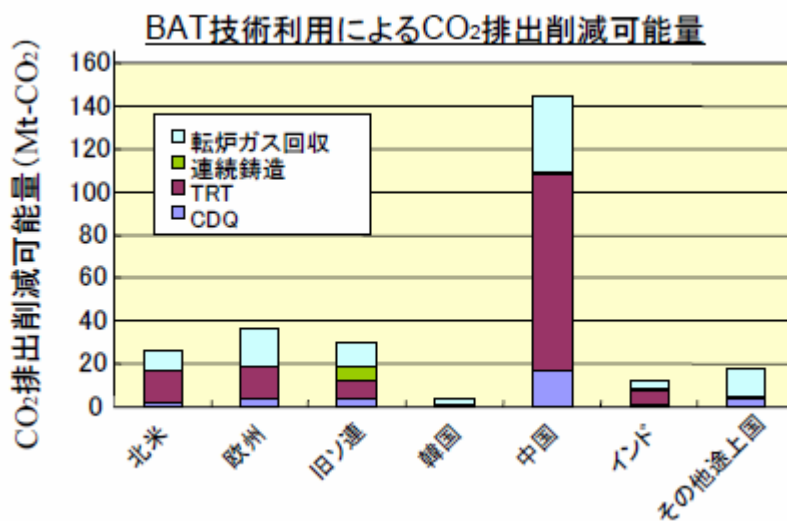
図表 2 に示す鉄鋼生産におけるエネルギー原単位の推計結果は、出典により大きな差があるが、OECD データでは高炉への石炭投入量のみカウントしており、その他の投入エネルギー（電力、ガス、蒸気等）を加えておらず、また、廃熱などの回収エネルギーを控除していない。他方、日本鉄鋼連盟のデータは、これらを考慮しようとしているが、やや古いデータが含まれている可能性があり、直近の状況とは乖離している可能性もある。

しかしながら、投入エネルギーを最小化できる生産プロセスを基準として、仮に我が国が世界に対して主導的に省エネルギープロセスを提案できるなら、もの作りの競争力を表現する指標として重要である。



図表2 鉄鋼生産におけるエネルギー原単位比較
出所) METI 資料

図表3に示すものは、ある特定技術を適用した場合の、各国のCO₂排出量削減可能量のシミュレーション結果である。地球温暖化を抑制するための指標（ここでは二酸化炭素排出量）を設定し、それに向けた日本の優れた技術を開発・提供しながら、モニタリングしていく意味は大きい。

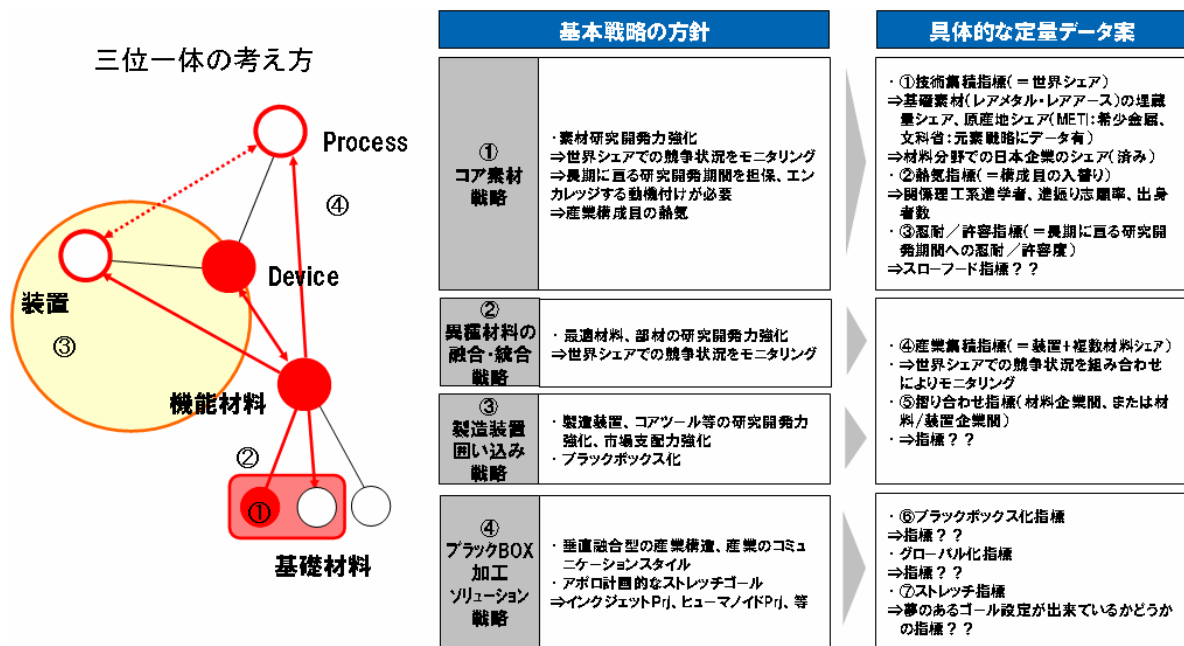


図表3 鉄鋼生産における排出ガス削減技術を適用した場合のシミュレーション
出所) METI 資料

2-2 今後の課題

市場統計 WG では、市場動向や競争力を表現し、将来に示唆を与え、洞察できる指標を検討した。持続可能性を踏まえ、様々な業種における、各種製品を、投入エネルギーや排出ガス量で計測し、我が国が世界トップレベルの省エネ・地球環境低負荷技術の開発や供給に貢献できることが重要と認識される。

持続可能性の重要なモニタリング指標でもあり、産業競争力を明確に表現できる指標を設定するためには、産業別／製品別に詳細な定義、計測、比較分析を国際的に展開していく事が課題となる。



図表 4 今後の指標検討の方向性 (案)

2. サステナブル・マニュファクチャリングWGの報告概要

2. 1 検討の経緯と作成の基本方針

サステナブルマニュファクチャリング技術マップを作成する際に、WGにおいて最初に議論された点は、既存技術マップとの違いをどこに置くかであった。なんとなれば、循環型社会という言葉が一般的となって以来、サステナブルな社会の構築に資する技術に関する技術マップ、ロードマップ作りは数多く行われてきた。それらの多くは、現在進行形の技術の発展、延長を前提としていたり、未来の社会イメージにしる、現在進行中の動きの予測に基づいていたりした。このような方法論をとる場合、細分化された要素の予測としては精度も高く、具体性もあるのだが、大きなパラダイムシフト（例えば 2050 年に日本の温暖化ガス排出量を 8 割削減するといったような合意がなされるなど）に対応できるシナリオであるかは明確でないし、ましてパラダイムシフトを生起させるものではない。このような方法論に基づく技術マップには、具体的な近未来予測に用いるには有効性であるが、個々の技術の予測精度が高いがゆえに、頻繁に作成する必要はないと考えられる。

一方、将来のサステナブルな社会イメージから説き起こすタイプの技術マップもある。2030 年、2050 年などの社会の将来像をビジュアルなイメージで示し、その中から技術要素を抽出する方法である。この方法は、誰もが思い描く「あるべき未来」の姿を想起させる意味で有効であるし、前記のパラダイムシフトをある意味おり込み済みである。しかしながら、ビジュアルなイメージをどの程度詳細に描くかで、抽出可能な要素技術は全く異なってくるし、抽出した要素技術を未来から現在まで繋ぐロードマップが描ける保障は無い。

このように、2 つに大別される技術マップ作成の方法論にはそれぞれ一長一短があり、どちらの方法を採るかによってターゲットとする年代も異なってくるであろう。その試みが結果としてうまく行ったか否かは別として、本 WG では、その両方の要求に答える技術マップを作成することを目標としたことを述べておきたい。目標に基づき 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 シナリオドリブンな技術マップとしたい。
- ② 一方、NEDO 委託の技術マップ作成委員会、ものづくり戦略技術マップ委員会には、ある程度粒度の揃った要素技術レベルのマップを報告すべきだ。
- 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、必要なだけの中間階層を考える。

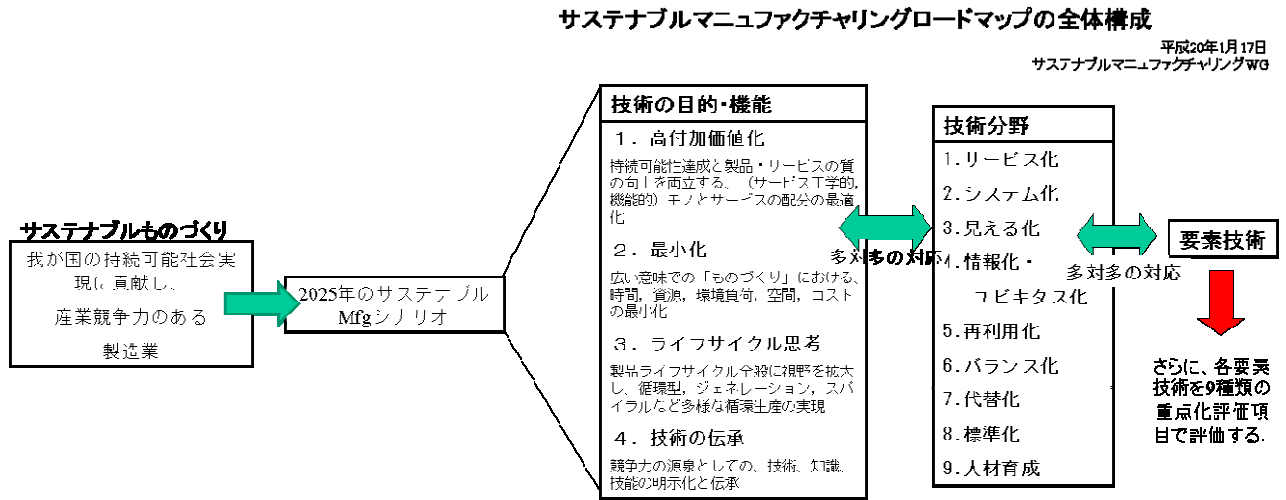
上記の考え方にに基づき、技術マップを検討してゆくにつれて、いくつかの点が明らかに

なってきた。まずはサステナブルマニュファクチャリング技術にはいくつかの系統があるという点である。「インバースマニュファクチャリングフォーラム」を中心として、これまでライフサイクル思考に基づく技術を抽出してきた。また、歴史は比較的浅いが、産総研の材料、製造分野では「ミニマルマニュファクチャリング」という名称で、製造側を中心に、環境負荷、使用材料、コスト、時間などを最小化する技術体系を提案してきた。近年では、「サービス工学」が体系化されつつあり、モノとサービスの設計や配分の最適化が、サステナブルな社会の構築に貢献することも考えられるようになってきた。さらに、社会そのもののサステナビリティという観点では、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。これらのアプローチは、重複する技術もあり、直交するベクトルでは、もちろん、無い。しかし、それぞれのベクトルでの技術の完成度を高めてゆくことで、サステナブルマニュファクチャリングの構築に資する、ことは間違いないように考えられる。

そこでWGでは、「高付加価値化（サービス工学的）」、「ライフサイクル思考（インバースマニュファクチャリング、ライフサイクル工学的）」、「最小化（ミニマルマニュファクチャリング）」、「技術の伝承（技術の見える化、技能のデジタル化など）」の4つのベクトル（技術の目的と呼ぶ）を定めて、これを技術マップの大分類に代わるものとした。さらに、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）に分類した。技術マップの全体構成について次の2節、出来上がった技術マップから特に重要と思われる技術を抜粋したものを3節に記載し、サステナブルマニュファクチャリングWGの活動内容の要約としたい。

2. 2 技術マップの基本構成

(1) 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

a. 2025年まではほぼ確からしいこと：

- 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条件設定

- 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。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、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、半導体ファブリケーション、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。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）

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、メーカーによるリユース、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。

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、小売をするの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 世紀初頭のようなの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

4つのベクトルに対して、“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”をシナリオから抜書きして記述した。前節に記載したように、以下の技術の目的は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。

- ① 高付加価値（サービス工学的、機能的）モノとサービスの配分を最適化する。）
 - ・ 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能

- ・ 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パイロットPJ
- ・ 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

② 最小化、ミニマル化（“もったいない”を時間、資源、環境負荷、空間、コストで考える。）

- ・ 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）
- ・ 真に Reconfigurable 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 ライフサイクル思考（循環型、ジェネレーション、スパイラルなど多様なサイクル指向を行う。）

- ・ 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)

④ 技術の伝承

- ・ 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) 技術分類

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、以下の技術分類でラベル付けを行った。その上で、技術分類を中分類として、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。

①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。

②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。

③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。

④情報化

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、技術や消費行動の環境配慮性を誘導するもの。

⑤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。

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、リーン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。

3. 次世代レーザー技術活用調査委員会の報告概要

1 はじめに

平成18年度ものづくり技術戦略ロードマップでは、生産システム、設計と大きな2つのカテゴリで検討を進め、それぞれの技術戦略ロードマップを作成した。本年度(平成19年度)は、より具体的な内容を示せるよう、生産システムのカテゴリを、①生産システム、②加工技術、③サステナブルマニュファクチャリング、④レーザーの4つの検討会に分けそれぞれの検討を進めてきた。そこには、参加した委員の方々の日本のものづくりの競争力強化に対する熱い思いが込められ、そのための内容をまとめた形式になっている。本来、加工技術WG内でレーザー加工に関する技術マップを作成しているが、本年度、(財)機械システム振興協会殿より受託した「高品質化した加工用レーザーと開拓される新加工領域に関する調査研究」の中で、レーザーを中心とした加工システムに関する技術ロードマップの取り纏めを行った成果であり、次年度以降も日本のフォトニクス産業育成のための調査を引き続き行っていく予定である。

本件の詳細に関しては、別途上述の調査研究報告書があるのでご参照願く、ご連絡を唯蹴れば幸いである。最後に、本調査研究を行うにあたり、ご指導ご鞭撻を頂きました経済産業省、(財)機械システム振興協会、参加頂いた大学、研究機関、企業の方々に厚く御礼を申し上げます。

「高品質化した加工用レーザーと開拓される新加工領域に関する調査研究」の抜粋
委託元：(財)機械システム振興協会

ものづくり技術分野におけるレーザー開発(技術体系化WG報告)

1. 1 要約

日本のものづくり技術分野におけるレーザー開発は、1970年代に始まっている。国家プロジェクトでは、1977年～1984年「超高性能レーザー応用複合生産システム」において20kW級CO₂レーザーの開発に取り組んでいる。1989年には10kW級のCO₂レーザーが実用化した。1984年～1988年には、「レーザー応用新加工技術に関する研究」プロジェクトが進められ、表面改質技術の開発が目標の1つになり、非晶質、アロイング、セラミックス化技術についての研究が行われた。1987年～1995年「超先端加工システム研究開発」プロジェクトにおいては、2kW級のXeClエキシマレーザーと100W級ArFエキシマレーザーの開発が行われた。1997年～2001年の「フォトン計測・加工技術」研究開発プロジェクトにおいては、10kWの半導体レーザー励起ロッド型YAGレーザーと1kW級の半導体レーザー励起ファイバーレーザー開発を進めた。その間、欧州、特にドイツでは、半導体レーザー励起ディスク型YAGレーザーの開発を進め、更に半導体レーザー励起ファイバーレーザーの開発が進められた。「フォトン計測・加工技術」研究開発プロジェクト以降、大型のレーザー研究開発プロジェクトが日本において進められなかったことが、レーザー開発技術について欧米の先行を許す結果となった。「フォトン計測・加工技術」研究開発プロジェクト終了当時、日本は、いわゆるナノテクブームであった。ナノテク自体は、非常に重要な推進すべき技術である。しかしながらブームに流されることで、日本が持続的に開発しなければならない技術、主軸となる技術の1つ、レーザー技術開発が減速してしまったのである。これから欧米に追いつき、レーザー技術を主軸となる技術の1つとし、世界をリードするものづくり技術立国になるには、これまでの経緯及び得られた知見をまとめ今後の

展開に活かすことが得策である。

はじめに、現在に至るまでのレーザー開発を含むレーザー加工分野の変化についてまとめた。次にレーザー加工の現状を踏まえ、今後進めるべきレーザー開発について3講演を通じ議論した。更に最新レーザー技術の整理・体系化を行い技術マップを作成した。技術マップにおけるそれぞれの要素技術について今後の動向を議論し、技術ロードマップを作成し、それぞれの導入シナリオについてまとめた。本技術マップ及び技術ロードマップの作成並びに導入シナリオ作成にあたり、産業界、ものづくり技術分野においてどのようなレーザー、レーザーシステム及びレーザープロセス（加工・応用）が望まれているのかを考えることから始めた。望まれている3要素（項目なし）は、フレンドリー（User-Friendly）、エコロジーコンシャス（Ecology-conscious）そしてアフォードブル（Affordable）である。フレンドリーは、ユーザーフレンドリーのことで、高操作性、高安定性、コンパクト、ロバスト性（強靱性）、高機動性、そしてメンテナンスフリーである。エコロジーコンシャスは、省エネルギーつまり電気から光への変換が高効率であること。更に高集光性であること。必要なところに必要なエネルギーを投入できる。余分なエネルギーが不要となるとともに飛散物や熱影響部を最小化することができる。コストの低減とともに環境にもやさしい。アフォードブルは、手ごろな価格という意味である。チープ（cheap）という意味ではない。ニーズ適合性を重視し、製造コストを最小化したレーザー、レーザーシステム及びレーザープロセスのことである。産業界において、レーザーの価格は「高額」である。レーザーによって、新たな加工領域を開拓できる可能性が高いのはわかるが、高額なので挑戦ができないという声をよく聞く。つまりアフォードブルでないためにチャンスを逃しているのである。レーザー開発のみのプロジェクトは、どうしてもプロセス（加工・応用）、つまりユーザーを軽視した状態になり、結局使えないレーザーを生み出しやすい。そこで、ものづくり技術分野におけるレーザー技術マップをユーザーフレンドリー化、エコロジーコンシャス化及びアフォードブル化に大分類し、それぞれをレーザー本体デザイン、レーザーシステムデザイン及びレーザープロセスデザインに中分類した。大分類したテーマをそれぞれレーザー本体デザイン、レーザーシステムデザイン及びレーザープロセスデザインの三位一体で今後の動向を示したのが技術ロードマップである。

1. 2 レーザー技術の現状と動向

1. 2. 1 2つのレーザー加工分野

約50年前にレーザー（メーザ）が発明され、出力の増大とともにレーザーを加工に使おうとする試みが約40年前に始まった。そこで問題となったのが熱伝導である。加工対象物が金属の場合、レーザー光の電界により自由電子が振動し、それが格子振動を引き起こす。次の段階ではレーザー照射領域（レーザー光侵入領域）において溶融・蒸発が生じ加工が成立するはずであった。しかしながら溶融・蒸発は起こらなかった。レーザー照射領域外へと格子振動（熱）が伝わってしまったからである。つまり、熱が周囲に逃げたため加工部が融点に達しなかったのである。ここで2つの考え方が登場した。熱は逃げても良い。逃げる熱よりも大量のエネルギーを投入し、溶融・蒸発現象をもたらす。このためには、レーザーの出力を増加（増幅）させる方法が考えられた。もう1つの考え方は、熱が逃げる前、つまり、非常に短い時間内に大量のエネルギーを投入する。熱が逃げる前に瞬間的に溶融蒸発現象を引き起こす。このためには、レーザー光のエネルギーを短い時間内に注入（圧縮）し、光ピーク出力を増加させる方法が提案された。前者はCW（連続波）レーザー加工分野の誕生で

あり、後者がパルスレーザー加工分野の誕生である。（ここで言うパルスは、ナノ秒オーダー以下のパルス幅を示す。）

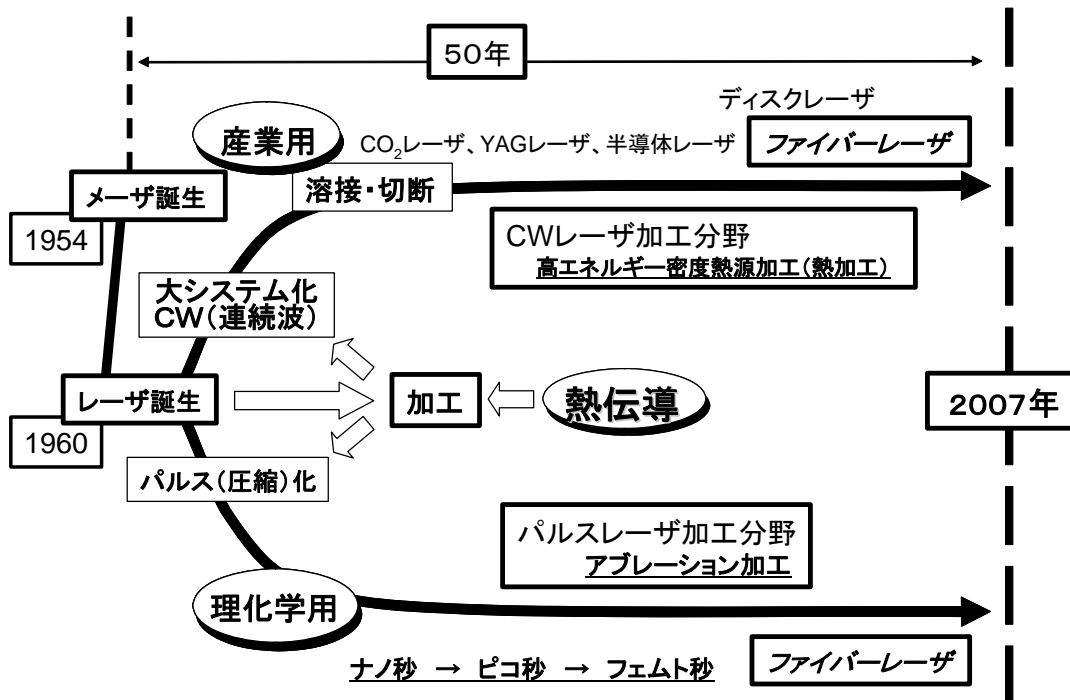
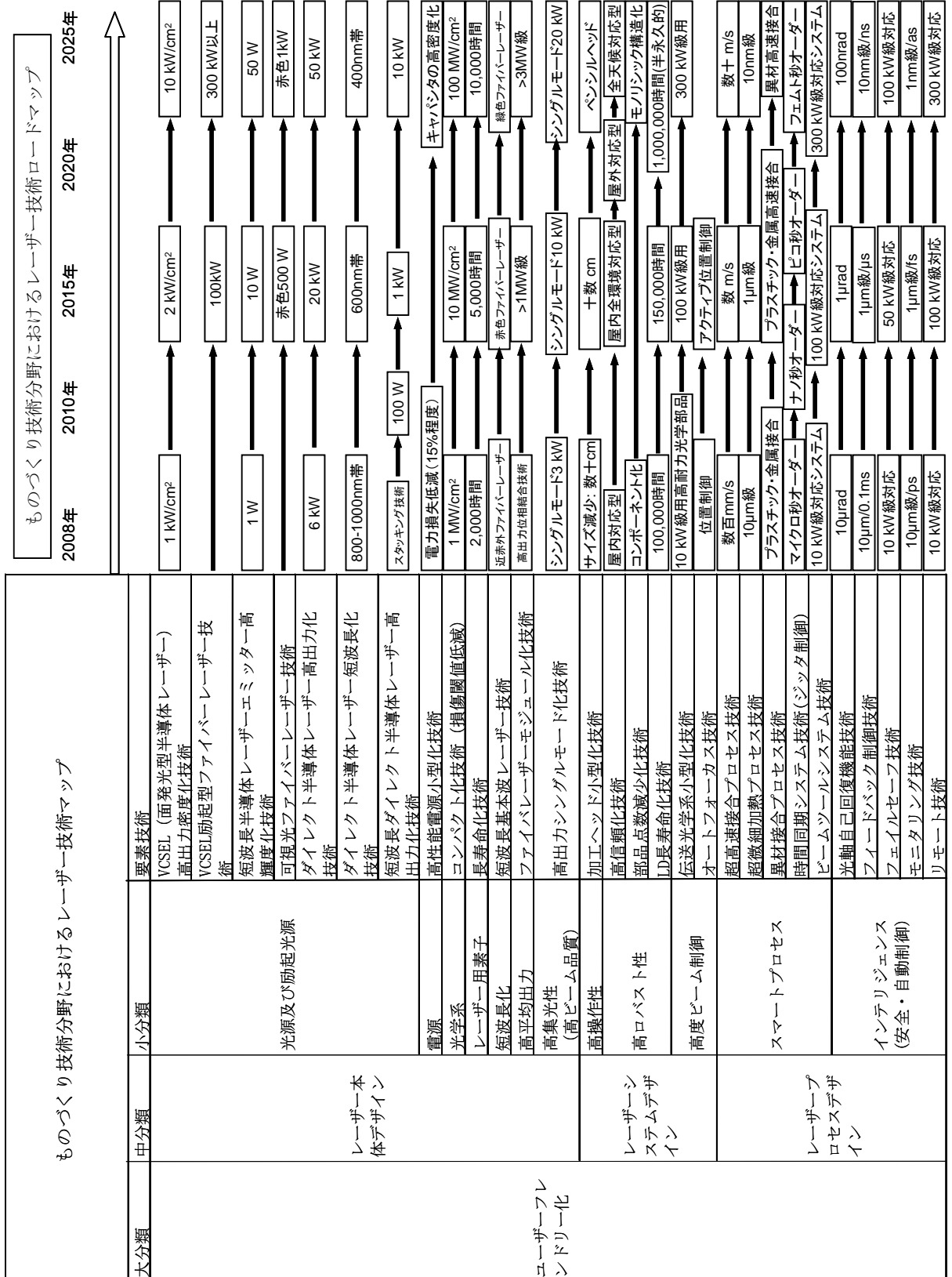


図 1. 1 2つのレーザー加工分野

図 1.1 に2つのレーザー加工分野の流れについて示した。別の言い方をすれば、前者が高エネルギー密度熱源加工(熱加工)分野であり、後者がアブレーション加工分野である。CW レーザー加工分野は溶接・切断という目的がはっきりとしていたので、産業界がレーザーの大システム化を推進した。いち早く登場したのが、大出力CO₂レーザーであった。次にYAGレーザーが登場した。YAGレーザーの波長が1.06μmであることからファイバー伝送ができるようになり、レーザーシステム室と加工室を分けることができ、更にレーザーヘッド(集光光学系)のロボットアームへの装着が容易になった。半導体レーザーはエミッターからの出力が増大するとともにスタッキング技術が向上し、大出力化へと進んだ。これにともない半導体レーザー励起YAGレーザーと直接加工を目的とした半導体レーザーシステムが登場した。そして、その半導体レーザーを基幹技術としたディスクレーザー及びファイバーレーザーの誕生を迎えることとなる。これらの流れは、前述したように産業界において溶接・切断という明確な目的の下、進められてきた。研究開発の成果については、溶接学会及びレーザー熱加工研究会(現高温学会内レーザー加工学会)で発表されてきた。一方のパルスレーザー加工分野では、アブレーション現象を利用した応用研究が、大学・研究機関を中心に進められた。パルス幅について言うとQスイッチ技術の開発からナノ秒が、モードロック及びチャープドパルス増幅(CPA)技術の開発から20世紀末には、パルス幅100fs、繰り返し1kHz、平均出力1Wクラスのフェムト秒レーザーが市販されるまでになった。近年、発振器部及び増幅器部の殆どがファイバーから構成されるフェムト秒ファイバーレーザーも開発されている。理化学用レーザーとして考えられてきたパルスレーザーではあるが、近年、産業用を目指した開発が進められている。パルスレーザー加工分野の研究発表の場は、応用物理学会及びレーザー学会が中心である。CWレーザー加工とパルスレーザー加工の2つの分野(学会)は、あまり交流のないまま今日を迎えている。

1. 3 最新レーザー技術の整理・体系化（ものづくり技術分野における技術マップ）及びレーザー技術の動向（ものづくり技術分野における技術ロードマップ）（2008年3月制定）

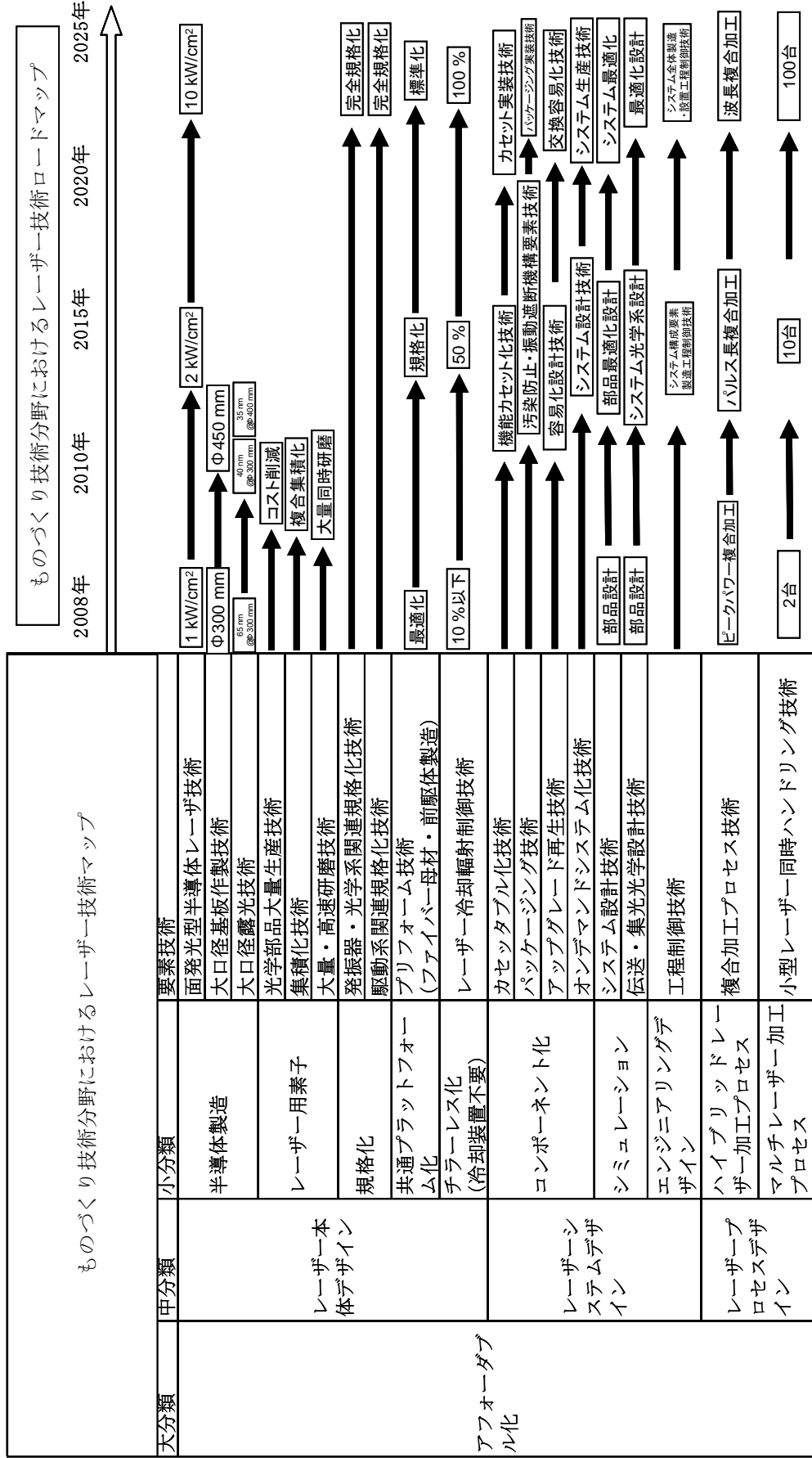
1. 3. 1 ユーザーフレンドリー化



1. 3. 2 エネルギーロシヤス化

ものづくり技術分野におけるレーザー技術マップ		ものづくり技術分野におけるレーザー技術ロードマップ						
大分類	中分類	小分類	要素技術	2008年	2010年	2015年	2020年	2025年
エロジロコ ンシヤス化	レーザー本 体デザイン	励起光源	LD高効率化技術	100 W	↑	1 kW	↑	10 kW
			エミッタチャネル損失低減	エミッタ出力1W	↑	エミッタ出力10W	↑	エミッタ出力50W
		冷却装置	VCSEL用光学系	1 kW/cm ²	↑	2 kW/cm ²	↑	10 kW/cm ²
			共振器冷却技術	強制水冷	↑	空冷または自然水冷	↑	空冷または小型自然水冷
			電源冷却技術	水冷	↑	空冷	↑	チャーレス
		共振器構造	冷却効率向上	冷却効率向上	↑	2008年時の約2倍の冷却効率	↑	2008年時の約3倍の冷却効率
			ファイバーカップリング技術	VCSEL 1 kW/cm ² 対応	↑	VCSEL 2 kW/cm ² 対応	↑	VCSEL 10 kW/cm ² 対応
		電源	共振器設計	共振器設計	↑	コンポーネント化	↑	モノリシック構造化
			LD励起化	LD励起化	↑	LD寿命 100,000時間	↑	LD寿命 150,000時間
			高効率電気素子開発	高効率電気素子開発	↑	電源損失の低減 (15%程度)	↑	電源損失の低減 (30%程度)
電源高効率化技術	電源高効率化技術		↑	VCSEL 1 MW/cm ² に対応した電源	↑	VCSEL 2 MW/cm ² に対応した電源		
省エネ リサイク ル	レーザーシ ステムデザ イン	電源小型化技術	電源小型化技術	↑	電子デバイスとのモノリツカ化 DDL(8kW)	↑	電子デバイスとのモノリツカ化 DDL(20kW)	
		エネゲロス低減技術	エネゲロス低減技術	↑	光伝送ロス数10%	↑	光伝送ロス数%	
		システム稼働率増大技術	システム稼働率増大技術	↑	非加工時省電	↑	非加工時間ゼロ	
		再利用コスト低減	再利用コスト低減	↑	再利用物質回収	↑	不純物混入低減	
		再利用可能物質の拡大	再利用可能物質の拡大	↑	限定物質	↑	広範囲物質	
		環境負荷低減	環境負荷低減	↑	装置小型化	↑	代替物質	
		RoHS対象代替物質利用技術	RoHS対象代替物質利用技術	↑	代替物質	↑	代替物質	
		REACH対象代替物質利用技術	REACH対象代替物質利用技術	↑	代替物質	↑	代替物質	
		レーザー吸収率制御技術	レーザー吸収率制御技術	↑	近赤外線ファイバーレーザー	↑	赤色ファイバーレーザー	
		超高速加熱プロセス技術	超高速加熱プロセス技術	↑	フェムト秒オーダー	↑	フェムト秒オーダー	
スマート プロセス	レーザープ ロセスデザ イン	超微細加熱プロセス技術	超微細加熱プロセス技術	↑	10 ⁶ -10 ¹⁰ K/s	↑	10 ¹⁵ K/s	
		超高速光電場プロセス技術	超高速光電場プロセス技術	↑	ミリメートルオーダー	↑	マイクロオーダー	
インテリ ジェンス 全・自動 制御	レーザープ ロセスデザ イン	超高速光電場プロセス技術	超高速光電場プロセス技術	↑	フェムト秒オーダー	↑	アト秒オーダー	
		レーザービーム制御技術	レーザービーム制御技術	↑	ミリメートルオーダー	↑	ナノメートルオーダー	
		超高速材料分析技術	超高速材料分析技術	↑	フェムト秒オーダー	↑	アト秒オーダー	
		モニタリング技術	モニタリング技術	↑	3%対応	↑	1%対応	
ファイバ バック 制御技術	ファイババック制御技術	ファイババック制御技術	↑	ミリ秒オーダー	↑	マイクロ秒オーダー		

1. 3. 3 アフォーダブル化



1. 4 導入シナリオ

1. 4. 1 ユーザーフレンドリー化

① レーザー本体デザイン

a. 光源及び励起光源

・VCSEL(面発光型半導体レーザー)高出力密度化技術

日本発の技術である面発光型半導体レーザー(VCSEL)はアレイ化が容易でかつ温度変化がレーザーの出力特性に及ぼす影響が非常に小さいことから、産業用レーザー光源として適している。VCSELを高出力化し、ファイバーレーザーの励起用に用いることにより、2025年までには300kW級の出力を得ることも可能となり、従来型のファイバーレーザーよりもコンパクトかつ高ロバスト性の高出力ファイバーレーザーが実現できる。また、ダイレクト面発光型半導体レーザーとしての加工応用も可能となり、表面改質技術等への適用が現状より更に広がる。現在約1kW/cm²の面発光型半導体レーザーの出力を2015年までには2kW/cm²、2025年までには10kW/cm²にする。

・VCSEL励起型ファイバーレーザー技術

VCSELの特徴として、低消費電力で高い出力が得られ、温度特性に対してレーザー出力特性の変動が小さい。このため、VCSELを励起光源としてファイバーレーザーを構成することにより、電気・光変換効率の向上と共に様々な環境下で安定に高出力が得られるレーザー光源の実現が予想される。2015年には100kW、2025年には300kWの出力となる。

・短波長半導体レーザーエミッター高輝度化技術

一般構造材料(金属)加工において加工効率を増大させるには、レーザーの吸収率を増大させる必要がある。現在加工に使用されている近赤外光領域より短い波長の可視光あるいは紫外光は、加工対象材料に対する吸収率が高く、近赤外光レーザーに比較して5分の1以下程度の出力で同等の加工が、また吸収効率の向上と短波長性を活かした加工精度の精度向上が見込まれる。現在、青色シングルエミッター半導体レーザーにおいて、市販量産ベースでは波長405nm帯において200mWの出力が、またサンプルとして405nm帯において出力1Wの製品が出荷されている。短波長半導体レーザーにおけるシングルエミッター出力を2015年には10W程度に2025年には50W程度まで増大させることで、直接加工用としての使用に加えファイバーレーザー励起用光源等にも用いることができる。またアレイ化することで更に高出力化が可能となる。

・可視光ファイバーレーザー技術

短波長半導体レーザーを励起光源として用いることで、可視光ファイバーレーザーが実現可能である。発光ファイバー材料として、フッ化物系材料を用いた光ファイバーが有望である。フッ化物ファイバーに対する励起用紫短波長半導体レーザーの結合効率を上げ、高効率な可視光出力を得る。VCSELを用い、かつMEMS技術を応用し、各半導体レーザーチップ上に光学回路を積層構築し、電気-光結合積層アレイを実現することが可能である。赤色600nm帯で2015年には500W、2025年には1kW級の開発が見込まれる。

- ・ダイレクト半導体レーザー(DLL)高出力化技術

高出力半導体レーザーを用い直接加工を行う DDL (ダイレクト半導体レーザー) 装置の出力は、現在 6 kW である。例えば自動車製造における車体のテーラードブランク溶接等の接合技術に DDL を用い、そのワークを高速化するためには、1 エミッターあたり高出力化を実現することで、2015 年には 20 kW、2025 年には 50 kW の出力が必要と考えられる。

- ・ダイレクト半導体レーザー(DDL)短波長化

一般構造材料(金属)加工において加工効率を増大させるには、レーザーの吸収率を増大させる必要がある。より短い波長の光は加工対象の材料に対する吸収率が高く、近赤外光レーザーに比較して 5 分の 1 程度の出力で同等の加工が、また短波長性を活かした加工精度の精度向上が見込まれる。また高出力半導体レーザーによる直接加工(DDL)を実現することで、電気-光変換効率の飛躍的な向上が見込まれる。現在の 800-1,000nm 帯の半導体レーザー出力を短波長化し、短波長ダイレクト半導体レーザーを実現することで、高効率の DDL 加工が実現できる。2015 年には波長 600 nm 帯、2025 年には波長 400 nm 帯の DDL 装置を実現する必要がある。

- ・短波長ダイレクト半導体レーザー高出力化技術

短波長半導体レーザーのスタッキングあるいはアレイ化により短波長高出力 DDL 装置が実現できる。現在 400 nm 帯において、バンドルファイバーにより高出力化が計られ、6 W の出力でサンプル出荷されている。今後は新たにダイオードチップをアレイ化またはスタッキング化を計ることで短波長半導体レーザーのモジュール化を実現する、ことならびに短波長 VCSEL をアレイ化する技術開発が行われることで出力 100W が、更に 2015 年には 1 kW を、2025 年には 10 kW の出力を波長 400nm 帯で得る。

b. 電源

- ・高性能電源小型化技術

現在使用されている電源中で電力損失の大きい部品は MOSFET、IGBT 等の大電流半導体素子である。電源の小型化を考えた場合、2015 年までに電力損失を 15%程度まで低減させ、且つ、安定した電力供給を可能とする技術の開発が必要であると考えられる。また、2025 年までには電力貯蔵タンクとしてのキャパシタを高密度化することにより、さらなる小型化を図ることができる。

c. 光学系

- ・コンパクト化技術(損傷閾値低減)

光学部品は高出力レーザーにより損傷をきたす。レーザー装置の高出力・小型化においては、ビーム径の極小化が不可欠であり、単一コンポーネントからの高出力取り出しを検討する場合には、各種光学部品の高度集積化はもちろんのこと、それに用いる損傷耐力のさらなる向上が望まれる。現在、光学部品の損傷耐力値は連続発振の光源に対しては 1 MW/cm² であり、2015 年には 10 MW/cm²、2025 年には 100 MW/cm² を実現する。

d. レーザー用素子

・長寿命化技術

現在、光学部品の寿命は 2,000 時間であり、高出力レーザーが光学材料に照射された際に不純物等が種となって誘引される欠陥と、そこから生じる雪崩的な破壊現象、また雰囲気中に存在する有機物がレーザーにより焼き付く「ヤケ」が主な要因である。光学素子に多く用いられる誘電体材料において、混入する不純物を現状の ppm オーダーを越え、ppb オーダーで制御する技術ならびに定期的に表面の有機物質を取り除く技術開発により実現できる。光学部品の寿命は 2015 年には 5,000 時間、2025 年には寿命 10,000 時間を実現する。

e. 短波長化

・短波長基本波レーザー技術

現在、主流である連続発振イッテリビウムファイバーレーザーの波長は 1 μ m の近赤外領域である。2015 年度までに波長が 700nm から 600nm 領域の出力 100W 程度の赤色連続発振ファイバーレーザーを開発する。これにより、加工対象材料へのレーザー光吸収率が約 2 倍以上に増大する。また、短波長化により吸収の向上と共に回折限界角が小さくなること BPP 値が小さくなり、集光性が向上する。微細加工・接合への適用が期待される。2025 年までには、500nm 帯緑色領域のファイバーレーザー出力を 10kW 程度まで増大させれば、自動車の車体製造時のテーラードブランク溶接等の高効率高速溶接を実現することができる。

f. 高平均出力

・ファイバーレーザーモジュール化技術（位相結合技術）

ファイバーレーザーを複数台使用し、ファイバーレーザーモジュールとして高平均出力化を図る方法がある。この際に、各レーザー出力のそれぞれの位相が不揃いであると、波面の乱れにより、集光性が悪化する結果となる。このため、各レーザー出力の位相を揃える技術として位相結合がある。位相結合に用いる光学素子の高耐力化を進めることにより、高出力対応の位相結合技術を開発し、10 台（ビーム）以上のファイバーレーザーにおいて位相結合実現する。これにより、従来の最高出力の 10 倍近い集光出力を得ることができる。

g. 高集光性(高ビーム品質)

・高出力シングルモード化技術

現在用いられている酸化物系のファイバーに比べて、フッ化物系のファイバーにおいては、熱による損失が少なく、伝送損失が低い特長を持つ。高耐力ファイバー材料の開発により、シングルモードファイバーによる高出力発振を実現し、高集光効率化を実現する。現在の出力 3kW から 2015 年には出力 10kW、2015 年には出力 20kW をシングルモードで得る。

② レーザーシステムデザイン

a. 高操作性

・加工ヘッド小型化技術

立体的な被加工物を加工するシステムでは、レーザー光を照射する加工ヘッド、または、被加工物を移動させるステージを3次元的に動かさないといけない。しかし、自動車産業などのように、被加工物が大きくなると、加工ヘッドを移動させる方が現実的であり、移動速度の高速化、移動エネルギーのエコロジー化、狭い部分への引き回しのために、加工ヘッドを小型化する必要がある。加工ヘッドサイズは、2015年には十数cm、2025年にはペンシルヘッドを実現する必要がある。

b. 高ロバスト性

・高信頼化技術

現在レーザー装置は屋内の一定環境下で使用することが推奨されている。ユーザーの使用環境により、電気回路部品や光学部品等が破損し、レーザー発振の停止に至る場合がある。ユーザー側で、使用環境を考慮しなくても良いように、2015年には屋内全環境対応型に、2025年には屋外対応を含めて、いかなる環境下でも安定してレーザー発振が得られる全天候対応型を備える。

・部品点数減少化技術

部品点数が多いと製造時の工数が増え、組付け誤差も大きくなる。また、耐環境性の低下にも繋がる。例えば、マーキングや加工ではガルバノミラーなどでレーザーを走査している。現在、コンポーネント化が進んでいるが、LDが高出力化することで、2025年にはレーザー発振器とレーザー走査部分をMEMS技術によりモノリシック構造とし、部品点数の削減による低コスト化、高信頼性に繋げる。

・LD長寿命化技術

固体レーザーやファイバーレーザーの場合、励起用LDの寿命によりレーザー本体の寿命が決まる。現在、LDの寿命は常温で約100,000時間であり、レーザー本体寿命は約10年となる。しかし、温度が10℃上がるごとに寿命は約1/2になってしまう。

マーキングや加工に使用する場合、生産性向上により24時間ノンストップラインで用いられていることが多く、かつユーザーからはメンテナンスフリーが熱望されているため、LDモジュールの寿命は2015年には150,000時間、2025年には1,000,000時間（半永久的）な寿命を実現する必要がある。

c. 高度ビーム制御

・伝送光学系小型化技術

高いエネルギー密度を実現するためにレーザー光を微細なスポット径に集光する必要がある。スポット径を微細にするためには大きなビーム径のレーザー出力を大口径のレンズで集光することが必要とされる。また光学部品の損傷を避ける観点からもレーザー出力の口径は大きい方が望ましい。しかし、レーザー加工プロセスの自由度を高めるためには伝送されるレーザー出力は小口径が望ましく、このため、伝送光学系の小型化が重要なポイントであることから、レーザーの集光効率を改善すると共に、今後小口径・高出力化が進むレーザーに対応するための技術開発が望まれる。2025年までには300kW級のレーザー装置が見込まれており、2025年の300kW級の

高出力に対応できる小型な伝送光学系を可能とする耐パワー強度の高い光学部品の開発が望まれる。それにより、狭小域に大出力のレーザー光を伝送することが可能となり、土木産業や重工産業などへの新たな用途と技術開発につなげることができる。

- ・オートフォーカス技術

通常、加工システムはレーザー光を照射する加工ヘッドと、被加工物を移動させるステージより構成され、加工結果はレーザー光の集光焦点位置からの距離によって大きく影響を受ける。しかし、レーザー加工では機械加工のように工具と被加工物が物理的に接触することがないため、原点位置となる焦点位置の決定に不確定さがある。被加工物の対象によって厚さや形状が異なる場合、この焦点位置決定の不確定さは加工結果を大きく左右する。ノズル先端と被加工物の距離を静電容量センサーにより測定する手法もあるが、ガルバノスキャナを用いるものや、ノズルと被加工物との距離が大きい場合、上記手法は適用できない。また、外気温度やレーザー出力によってレンズの温度が変化することで屈折率が変化し、加工プロセス中に焦点位置の変動が生ずる。更に、メンテナンスにより光学部品を取り替えた場合、焦点位置の調整時間が必要となる。加工ラインにおいては、実プロセス時間以外の時間短縮が望まれる。加えて、マクロ加工からマイクロ加工にいたるまで形状精度と自由度の向上が望まれている。これらの要望に対して迅速に対応できるスマートプロセスを確立するためにレーザー光軸方向の原点位置を決定することは基本となる点であり、今後開発される高機能レーザーにとって重要な要素技術となる。そのために、プロセス用レーザー光と同軸の光学システムを用いて高精度な位置決めを行う CCD カメラ方式や、レーザー測長方式等を用いる革新的アルゴリズムを有するアクティブな焦点位置制御によるオートフォーカス技術の開発が必要であり、レーザー発振器の革新的発展が始まるであろう 2015 年頃までにはその手法の確立が望まれる。このオートフォーカス技術の確立により段取り時間の削減、低出力から高出力までの出力変動への対応、マクロ加工から微細加工に至までのプロセスの信頼度の格段の向上が期待される。

③ レーザープロセスデザイン

- a. スマートプロセス

- ・超高速接合プロセス技術

レーザーの高出力化、並びに集光性の改善が進んでおり、微小スポットへ大出力のレーザー光を導くことが可能となりつつある。2007 年にはシングルモードで 3kW を達成するファイバーレーザーが開発されており、2025 年には 300kW 級のファイバーレーザーの開発を計画していることから、それらを十分に活用できるプロセスの 1 つとして高速接合プロセスの確立が望まれる。高速接合プロセスを実現するためには、被加工物や加工ヘッド等の大きな質量を有する部位を移動させるのではなく、質量を無視できるレーザー光をポリゴンミラーやガルバノスキャナ等により必要な箇所へ導く手法が有効である。しかし、高出力ビームを伝送するためには大口径の光学部品が必要となることから、精密かつ高速にレーザー光を導く手法の開発が望まれる。また、大出力高速プロセスとなることで、これまでとことなる現象になることが予想されることから、2015 年までにプロセスメカニズムの解明も進め、そのメカニズムを利用、発展させたプロセスへ繋げていく必要がある。2015 年には数 m/s、2025 年数十 m/s の高速接合プロセスを実現することに

より、生産性の飛躍的な向上が期待される。

- ・超微細加熱プロセス技術

集光性の改善と短パルス化により、微小領域に微小時間だけレーザー光を導くことが期待される。上記の特性を十分に活用するためには、パルスエネルギーとパルス幅の更なる安定化と、レーザー光のポインティングスタビリティの向上が必要である。2025年までには安定性の高いレーザーシステムの開発が期待されることから、その時期に技術展開できるだけの要素技術の開発とプロセスメカニズムの解明が求められる。現在では10mmオーダーである制御可能なサイズを2015年までに1 μ m級、2025年までには10nm級で可能とする超微細加熱システムの開発が望まれる。結晶性材料の必要とされる結晶を選択的に加熱することなどが可能となり、材料デザインの開発や結晶成長育成技術に利用できる。

- ・異材接合プロセス技術

これまで構造が似通った材料間の接合プロセスが主流であったが、工業製品の多様化にともなって異種材の接合への期待が高まっている。たとえば、高分子材料、金属材料、セラミック材料、ガラス材料、半導体材料などは構造が大きく異なっており、機械的、熱的性質も異なるが、これらを複合的に用いた工業製品は数多く普及している。現時点では、研究レベルにおいて高分子プラスチック材料と金属材料の接合プロセスの開発が進んでおり、2015年までにはその高速化が望まれる。また、その他の材料組み合わせによる異材高速接合に関しても2025年までに順次プロセス技術を確立していくことで、今後の工業製品の展開に貢献できると考えられる。これらの材料は間接的に接合されていることが多く、それらを直接的に接合できれば、製品の小型、軽量化と製品デザインの改善につながる。

- ・時間同期システム技術(ジッタ制御)

パルスレーザーの時間幅はピコ秒、フェムト秒とその時間分解能は飛躍的に向上している。それらを用いて安定したプロセスを実現するためには、レーザー発振の時間的制御を行うことが重要である。それを実現するためには、レーザー装置のジッタの制御を容易にする必要があり、レーザー光を伝送光学系にて導く時の空間的な時間制御も要求される。現在のマイクロ秒程度のジッタがあるが、2015年までにナノ秒からピコ秒のオーダーで、2025年にはフェムト秒オーダーでプロセスの時間同期システムを開発することが必要である。これにより、位相結合した複数のレーザー発振器による高出力化やあるいは複数のレーザーを用いた同時加工によるプロセス速度の向上、各種インタラクションの実現や、プロセスの安定性向上が期待される。

- ・ビームツールシステム技術

レーザー光を用いたプロセスの信頼性を向上させるため、工具となるレーザー光を一様に照射できるビームツールの開発が必要である。レーザー光の回転、強度分布の適正制御により機械加工の工具のように安定したプロセス状態を実現し、プロセスの信頼性と安定性を向上させる。現在10kW級のビームツールを2015年までに100kW級、2025年までに300kW級へ対応したシ

システムの開発が望まれる。これにより、レーザープロセス適用範囲の拡大とプロセスの安定性向上が期待される。

b. インテリジェンス(安全・自動制御)

・光軸自己回復機能技術

レーザーシステム装置全体の温度管理、もしくは熱的に安定な材料のみで装置を構成することが望まれる。大出力レーザーでは反射光学系、透過光学系によらず光学部品の熱膨張や収縮が繰り返されることから適正な箇所へレーザー光を照射するために光学部品の温度管理が求められる。そのため、光学部品のフェイズを適正なアルゴリズムを用いて制御することにより、熱的、材料的な変動に光軸が追従できる光軸自己回復機能の開発が必要である。現在の技術では $10\mu\text{rad}$ で追従できるが、2015年までに $1\mu\text{rad}$ 、2025年までに 100nrad を ns オーダーで制御できる光軸自己回復機能の開発が望まれる。これにより、微小領域への正確なレーザー光照射が可能となり、超微細加熱プロセスの実現と、プロセスの安定性向上が期待できる。

・フィードバック制御技術

レーザープロセスの安定性を向上させるために CCD カメラによる同軸観察や加工ヘッドの位置情報等によるレーザー光照射位置の検出が必要である。また、X 線透過法等を用いた材料内部のプロセス進行情報の検出も有効である。更に、プラズマからの発光、加工位置の温度や音等を検出し、特定波長域の抽出やウェーブレット変換等を用いて適正条件の範囲内でプロセスが進行しているかどうかを判別し、適正条件外の場合には各種プロセスパラメーターを適正状態に維持できるように適切に制御する。2015年まで $1\mu\text{m}$ 級の空間分解能でマイクロ秒オーダーの時間分解能、2025年までには 10nm の空間分解能でナノ秒オーダーの時間分解能を有するフィードバック制御技術の開発が望まれる。これにより、プロセスの安定性向上と製品の高機能化が期待できる。

・フェイルセーフ技術

高出力化にともない、安全性の向上は急務である。反射光の出力も大きくなることから、保護メガネや保護シート材の性能向上と視認性の両立が求められる。また、伝送光学系の位置がずれると装置のダメージにつながることから、光学系の常時モニタリングが必要である。更に、ファイバーへのダメージを低減するためのアイソレーション技術の向上も必要である。2025年までには 300kW 級のレーザー装置の開発を計画しており、現状の 10kW 級から、2015年までに 200kW 級、2025年までに 500kW 級の高出力に対応できるフェイルセーフ技術の開発が望まれる。これらにより、今後の高出力レーザーを高い安全性のもとで利用することが可能となり、作業環境と生産性の両立が実現できる。

・モニタリング技術

レーザー光照射位置、プラズマの発生状態、プロセス温度、プロセスによって発生する音、電場、磁場等のライブモニタリングが必要とされる。現状では 10mm 級の空間分解能でピコ秒オーダーでのモニタリングが可能であるが、2015年まで $1\mu\text{m}$ 級の空間分解能でフェムト秒オーダー

の時間分解能、2025年までには1nm級の空間分解能でアト秒オーダーの時間分解能を有するモニタリング制御技術の開発が望まれる。これにより、フィードバック制御技術の新たな技術展開が可能となり、プロセスの安定性向上が期待される。

- ・リモート技術

モニタリング技術とフィードバック制御技術の発達により、プロセスの状態を的確に把握できることから、リモートプロセス技術の展開が期待できる。レーザー光を安定的に長距離伝送でき、プロセスポイントにおいて高い集光性を維持できるビーム伝送技術とその小型化が必要である。現状で10kW級レーザーに対応しており、2015年までには100kW級、2025年には300kW級の高出力レーザーに対応できるリモート技術の開発が望まれる。これにより狭小箇所や遠隔地でのプロセスを可能とすることから、新たな領域への展開も期待できる。また、従来技術と比較してプロセス速度の大幅な改善も可能となる。

1. 4. 2 エコロジーコンシャス化

① レーザー本体デザイン

a. 励起光源

- ・LD高効率化技術

製造業においてレーザーは、精密な溶接や切断・穴あけ等に用いられており、高速で精密な加工ができるため、従来加工法に比べて環境負荷が低い加工である。また、アニールなどの熱処理においても、電気炉より廃熱が少ないためなどの省エネ効果があり、今後も環境の観点からこんなニーズが増えると考えられる。そのため、レーザー発振器は更に高出力化が求められ、励起源であるLDは高効率化を重ねて、次第に大出力する(2015年頃に1kW、2025年頃には10kWを達成する)と思われる。また、LDの高効率化によって、同じ出力のレーザーでもレーザー発振器は小型化すると考えられ、省スペースでの運用及び省電力の面でも環境に貢献すると思われる。

- ・エミッタチャンネル損失低減技術

エミッタチャンネルの損失の低減が進むにつれて、レーザーエミッタの高輝度化は進み、2015年には10Wくらいに、2025年にはエミッタが100Wくらいになると見込まれる。これにより、より効率的にレーザーを発振することが可能になり、レーザー発振器の熱効率の上昇すなわち省電力化が加速され、環境に貢献する。

- ・VCSEL用光学系

面発光型レーザー(VCSEL)は半導体ウエハ面から垂直にレーザーが発振されるため、素子の特性評価がLSIと同様に大量、高速かつ自動で行える。そのため素子製造コストだけでなく、製造に係るエネルギーも非常に小さく抑えることができ、環境負荷が小さい。また、VCSELを用いた場合、半導体レーザーよりも大幅にシステムをコンパクトにすることができる。今後は高出力化が進み、2015年までに1kW/cm²、2025年までには2kW/cm²までの増加が見込まれる。これに伴い2025年までには100kW級のレーザー出力が得られるとみこまれ、超厚板の溶接(例えば圧力容器など)を1パス(現状ではアーク溶接で何パスも重ねて溶接している)で溶接できるようになる。

るので、加工作業の効率化、及び有害物質(例えばヒューム)の発生低減など、環境に大きく貢献できる。

b. 冷却装置

・共振器冷却技術

VCSELは冷却の必要性が少なく、発振器で使われるLDや発振に要する熱効率が上昇するにつれて、強制的に大量の熱を奪う必要性がなくなる。したがって、現在多くの発振器で使われている冷却水をチラーで冷やして強制的に送り込むタイプから、2015年ごろには空冷もしくは普通に水を循環させるだけになると思われる。2025年ごろには発振器用の冷却器は自動車のラジエーターのように小型化している、もしくはバイクのエンジンのような空冷型になってチラーレス化していると考えられる。これにより、冷却に要していた電力は大幅に削減され、節電の観点から環境に大きな貢献をする。

・電源冷却技術

電源は比較的熱を持つため、現在大型の空冷ファンが付いており、場合によっては水冷されているが、上記のように発振器の効率化や熱効率の上昇により、電源にかかっていた多大な電氣的負荷は軽減され、発生する熱は減少する。そのため、2015年ごろには水冷の必要性はなくなり空冷化が実現すると考えられ、2025年にはその傾向が更に進み、空冷の装置の小型化やチラーレスの運転が可能になると考えられる。これによって、電力的に環境に貢献し、また、騒音防止の観点からも環境にやさしいレーザーとなる。

・冷却効率向上技術

高効率化で強制的に冷却する必要性が下がるとはいえ、特に大出力を狙うなどの極限的なレーザーや、設置場所等が極端に限られているレーザーでは、どうしても少しの水やスペースで冷却を完了しなくてはならない。そのためには冷却効率の向上は不可欠で、まず現状のチラーのみではなく、ペルチェ素子や液体窒素などの手近に入手できる冷却装置との併用が進み、2015年には現状の約2倍の冷却能力が予想される。そして、2025年までにはチラー自身の性能向上や併用している冷却装置の性能向上により、現状の3倍の冷却能力が見込まれる。これにより、レーザー設置に係る省スペース化が進み、環境負荷を減らすことが予想される。

c. 共振器構造

・ファイバーカップリング技術

端面発光型レーザーが楕円形のレーザーとして広い出射角で発振されるのに対し、共振器構造をVCSELにした場合、円形のレーザーが狭い出射角で発振される。そのためレンズが不要であり、高精度なアライメントを必要とせずファイバーと高効率でカップリングさせて伝送させることができる。したがって、2015年にはVCSELが1kW/cm²で発振しても対応できるファイバーカップリング技術ができあがり、2025年までには2kW/cm²で発振しても対応できる大出力に対応したファイバーカップリング技術ができあがると見込まれる。この結果、ファイバーレーザーの高出力化とコンパクト化が飛躍的に進み、レーザーによる高品質なスマート加工の適応範囲

が広がって、効率化、省スペースの観点で環境に貢献する。

- ・共振器設計技術

共振器の設計は、まず、モジュール化が進み、モジュールをつけるだけで整備可能な状態になると思われる。これは、レーザーの故障の復旧にかかる無駄な時間(オフタイム)を減らす上でも重要で、生産性を維持するためにも大きく貢献する。しかしながら、最終的にはモジュール化してもまだまだ部品点数は多く、更に簡略化するために、MEMS 技術なども併用しながら最終的にはモノシリック構造になると思われる。これらの技術のより、レーザー発振器のオフタイムが減少し、生産力の維持が可能になり、その結果、高速・高精度な加工が維持できるため、環境負荷を減らすことに大きく貢献する。

- ・LD 励起化技術

LD 励起は主流になりつつあるので、今後は LD の継続時間が重要な問題にある。LD の交換回数を減らし、常に運転し続けることで効率の良い加工が維持でき、環境に対して貢献できるので、2015 年には今の 1.5 倍の寿命の 150,000 時間、2025 年には半永久的な寿命の 1,000,000 時間になると予想される。この結果、よりロバストで壊れにくいレーザーになって、精密で迅速な加工ができる加工方法の 1 つとしてレーザー加工が産業界に浸透すると思われる。その結果、高速・高精度な加工が簡単に維持でき、整備・調整のような無駄な時間の少ない加工が可能であるため、環境負荷を減らすことに貢献する。

d. 電源

- ・高効率電気素子開発技術

電源の効率化を考える上で重要なのは電力損失の大きな部分を改善することで、電源部分で電力損失の大きな部分は MOSFET などの大電流半導体素子の部分である。まず、この部分の電力損失が 15%ほど改善されたものが 2015 年頃までに開発され、引き続き改善が進められて、2020 頃には 30%程度になっていると考えられる。そして、2025 頃には新しいデバイスなども用いられ電力損失は 50%以上改善されたものが開発されていると思われる。これは、電源の小型化にも直結しており、電源の高効率化、省スペース化が加速し、少ない電力、少しのスペースで動く環境に調和したレーザーになるものと考えられる。

- ・電源高効率化技術

半導体レーザーは駆動電圧が 1~2V 以下と小さいため、高効率スイッチング電源の開発は重要である。また、共振器を VCSEL にした場合、寿命は少なくとも 50 倍以上になると考えられる。よって加工用レーザー開発における電源効率化のために VCSEL を励起光に利用する必要があり、そのためのオンボード型高効率スイッチング電源を開発する必要がある。したがって VCSEL の出力に見合ったスイッチング電源が開発されると考えられ、2015 年頃には VCSEL の出力が 2kW/cm²に対応した電源が、2025 年頃には、10kW/cm²の出力に対応した電源あると思われる。このような電源の高効率化・高性能化によって、少ない電力、少しのスペースで動く環境に調和したレーザーになっていくものと考えられる。

- ・電源小型化技術

半導体レーザーは駆動電圧が1~2V以下と小さく、電流駆動が可能であるため、電源が小型化しやすい。そのため、CDやDVD(ブルーレイディスク含む)等に搭載されている半導体レーザーは電源も電子デバイスと共有化されている。しかし、加工用高出力半導体レーザーの場合、共振器駆動電源と素子の冷却装置の電源も含めて小型化する必要がある。そのためには、電子デバイスとのモノシリック構造化が必要であり、2015年頃にはDDL(20kW)相当の集積化が行われ、2025年頃までにはDDL(50kW)相当の集積化が行われると思われる。このような集積化によって、電源の高効率化、省スペース化が加速し、少ない電力、少しのスペースで動く環境に調和したレーザーになるものと考えられる。

② レーザーシステムデザイン

a. 省エネルギー

- ・エネルギーロス低減技術

レーザーシステムに用いる光学系を大別すると発振器射出口から加工対象物までの伝送光学系と照射レーザービームを所望の形状や強度分布とする加工光学系がある。伝送光学系は反射ミラー、分岐ミラー、ファイバー等を用いている。これらの光学系のエネルギーロスは加工光学系に比べ小さい。一方、加工光学系は伝送光学系と異なり照射ビームを成形する必要があるため、特に高度なビーム成形時には大きなエネルギーロスが発生する。例えばトップフラットビーム成形を用いる加工光学系のエネルギーロスは数十%となる。将来的には更なる高度なビーム成形技術が必要になるが、環境問題も考慮し2025年までにエネルギーロス数%で形状や強度分布が自由にコントロールできる光学系とする必要がある。これによって、加工点に必要な出力を出すために発振器は余分な出力を出さずにすむので、省エネの観点からも環境に貢献する。

- ・システム稼働率増大技術

レーザーシステムが実際に加工している時間は実稼働時間の半分以下である。なぜなら駆動部の加減速の非加工時間が発生し、加工する前の準備による非加工時間が発生するからである。現在は無駄な電気消費量を減らすため、非加工時間にレーザーパワーを減少させるよう制御している。2018年までにはシステムの稼働率を向上させるためレーザービームの照射と駆動系を完全同期させ加減速時にも定速加工と同じ加工を実施する技術と加工準備時間をなくす技術を確立しなければならない。この技術によって非加工時間におけるレーザー発振器の余分な電力消費等を抑えることができ、省エネの観点からも環境に貢献する。

b. リサイクル

- ・再利用コスト低減技術

現在の技術では、リサイクルすること自体にエネルギーがかかっている。回収物質を原料のレベルまで分解するという過程を経るため、場合によっては焼却処分以上にエネルギーを使う。このことから現在は、リサイクルが効率よく実施されているとは言えない。そのため少しでも再利用しやすくするため、再生目的の部品を回収しやすいデザインとする等の工夫が行われている。

また、その一方で、その他にも目的と異なる純度を下げる物質が回収物に入り品質が落ちる問題がある。2015年までには不純物混入を低減させる分離技術を向上させ、2025年までにはロスが多く完全な回収が困難なサーマルリサイクルの利用により、リサイクルコストを低減する必要がある。この技術により、リサイクル率の向上が見込まれ、環境にやさしいものになる。また、この技術はレーザーのみならず、その他の製品のリサイクル率向上の鍵にもなる。

- ・再利用率可能物質の拡大技術

現在、積極的にリサイクルを実施している物質としてはアルミ、スチール、ガラス、ペット、紙、プラスチック、塩化ビニル樹脂等である。アルミやスチールでは80%以上がリサイクルされ、ガラスも60%近いリサイクルが実現されている。一方でペットは20%程度にしかリサイクルできていない。また、これら以外の物質に関してはリサイクルするためのシステムができていない。リサイクルする物質を増大させ、再循環させるクローズドリサイクルを実現しなければならない。この技術により、リサイクル率の向上とリサイクルされる物質が多様化し、環境にやさしいものになる。また、この技術はレーザーのみならず、その他の製品のリサイクル率向上の鍵にもなる。

- c. 環境負荷低減

- ・原材料使用量減少技術

システムに使用するトータル原材料を減少させると、それを廃棄処分する時に発生する産業廃棄物も減少する。現在はシステムを小型化し、使用する原材料のボリュームを減少させている。2025年までにシステム全体の最適設計ができる技術を確認し、必要最低限の原材料でシステムが構成できるように取り組む必要がある。この技術により、原料の節約やオンデマンドな生産が加速し、現在の大量生産・大量浪費の生産スタイルが大幅に改善されて、環境にやさしい生産方式になると考えられる。

- ・RoHS 対象代替物質利用技術

RoHS は電子・電気機器における特定有害物質の使用制限についての欧州連合による指令であり、その物質には鉛、水銀、カドミウム、六価クロム、ポリ臭化ビフェニル、ポリ臭化ジフェニルエーテルがある。これら有害物質を使用せず、代替物質を使用していく必要があるが、代替物質を使用する技術が現状では完全とは言えない。例えば、鉛フリーはんだは従来の含鉛はんだより製品の歩留まりや耐久性が悪化するという問題が発生しており、廃棄物の増大を助長するという懸念がある。2013年までにはこれらの代替物質を有効に使用できる技術確立が必要である。

- ・REACH 対象代替物質利用技術

REACH は欧州連合における環境対策のための法律である。生産者は、製品の全化学物質の人類・地球環境への影響について調査し、2018年までに申請・登録する必要がある。これに伴い、2018年までに従来使用してきた化学物質よりも、高い安全性を立証した代替化学物質に置き換える必要が発生するため、代替物質の開発などが急務である。

- ③ レーザープロセスデザイン

- a. スマートプロセス

・レーザー吸収率制御技術

固体材料（金属、半導体、絶縁体）加工において加工効率を増大させるには、レーザーの吸収率を増大させ、いかに効率よく材料にレーザーエネルギーを注入できるかにかかっている。これまでに様々な応用研究の分野において、共鳴吸収するレーザー波長を用いれば、非共鳴の場合に比べて約1桁程度小さいエネルギー密度で所望の材料加工ができることが報告されている。共鳴吸収の特徴は、材料を構成している原子間の振動モードまたは電子遷移に着目し、その遷移に共鳴するレーザー波長を用いる点にある。つまり、適用材料にあった波長のレーザー装置をラインナップしておく必要がある。特に金属では530nm付近の波長にインターバンドをもつものが多く緑色が有効である。2015年までに赤色ファイバーレーザーの開発を行い、2025年までに緑色ファイバーレーザーの開発を行い、高効率レーザー吸収加工を実現する。一方、極短パルスレーザーを用いれば、本来共鳴しないはずのレーザー波長でも非線形過程により励起準位に吸収が起こる。材料に制限されない本手法は材料加工の観点のみならず加工効率向上の面からも必要な技術である。2025年度までにアト秒パルスレーザーの開発が望まれる。このようなレーザー吸収率を制御する技術によって、目的に応じた加工を必用最小限のエネルギーで行うことが可能になり、無駄な出力を使わない環境にやさしい加工が可能になる。

・超高速加熱プロセス技術

どんな固体材料でも、非晶質（アモルファス）状態よりも安定な結晶相が少なくとも一つ存在することが経験的に知られている。非晶質金属は、熱力学的に完全な安定相ではなく、自発的に結晶化する傾向がある。ただし、室温程度の温度では、その速度は著しく小さく、完全な結晶化が達成されるためには地質学的年代を経過する必要があると考えられている。しかし、個々の非晶質金属は、液体状態から急冷、金属蒸気または溶液中の金属イオンの低温表面への蒸着または電着、高エネルギー粒子線による結晶金属の照射などの方法によってつくられる。これらのなかで液体を急冷する方法が非晶質金属材料をつくる最も一般的な方法である。その際、結晶核が成長する余裕を与えないほど急速に冷却する必要がある。この条件が満足されると、過冷却液体はガラス転移点とよばれる温度で固体となり、非晶質化（アモルファス化）する。実際には、熔融金属を高速で回転する金属ローラー表面に吹き付ける、いわゆる熔融紡糸法などの方法が用いられる。このような超急冷法によって種々の非晶質金属が作られている。しかし、超急冷法による純粋金属の非晶質化はまだ成功していない。超急冷法によってつくられる非晶質金属は、金属ガラスまたは超急冷金属ともよばれる。非晶質金属は、原子配列の無秩序性を反映して張力などの異方的な外力に対して強い、酸などに侵されにくい、軟磁性特性に優れている、放射性損傷を受けにくい、などの種々の性質を示す。非晶質金属の示すこれらの特性を利用して新機能材料としていろいろな応用が考えられている。加えて多結晶または単結晶の純金属や半導体について任意の部位を選択的にアモルファス化することで電気伝導や熱伝導が変化し、これまでにはない新しい概念に基づくデバイス開発につながることを期待される。現状では、RTA(Rapid Thermal Annealing)やナノ秒レーザー加熱により冷却速度 10^6 - 10^{10} K/s で急冷固化させることは達成されている。2015年まで急冷固化の物理機構解明を目的としてフェムト秒レーザーにより 10^{15} K/s のデータベース構築を行う。2025年には物理機構を制御し 10^{16} - 10^{17} K/s の急冷固化技術の確立が望まれる。このように急速に冷却するもしくは急速に加熱することで、未知の物性を持った物質

の誕生が期待されるが、このような加熱冷却を容易にかつ効率的に作り出せる熱源の1つがレーザーであり、環境にやさしい新材料開発が可能である。

- ・超微細加熱プロセス技術

加工サイズはレーザーのパルス幅の減少とともに小さくなり、マイクロメートルサイズを切るころまできている。そして、これまで加工サイズは、レーザー波長程度に制限されるとされてきたが、最近、見出された新しい物理現象にもとづく加工を行えば、レーザー波長の10分の1程度まで微小化できることが示されている。また、レーザーを集光することにより容易に高強度化できるため、加工材料に関しては、金属、半導体、絶縁体、化合物、生体物質まで幅広く取り扱うことができる。このため、レーザーによる加工技術は、高集積化のために微細化が進行していくナノテクノロジー、情報技術、環境技術、バイオテクノロジー、製造技術など広い分野にわたって重要な技術要素となる。加えて、近年話題となっている材料組織の不均一性に着目し、特定の部位のみを局所的に加熱して特異的な組織状態を作る新しい材料科学・工学の分野が切り拓かれようとしている。2015年までにミクロンオーダー、2025年までにはナノオーダーでの超微細加熱システムの開発が望まれる。このように、レーザー加工は様々な分野に浸透し、必用最小限のエネルギーで必要な部分だけを加工する環境負荷の小さい加工を実現すると思われる。

- ・超高強度光電場プロセス技術

1010V/mの高強光電場を容易に実現できるレーザーは、高温、高圧などの従来法とは異なる新規材料創成の手法として期待されている。2025年までにはアト秒オーダーで安定して発振するレーザー装置の開発が望まれる。このような新規材料の開発にもレーザーは有効であり、難しく厳しい環境でも、容易にかつ効率的に加工できる手法の1つがレーザーであり、環境にやさしい新材料開発が可能である。

b. インテリジェンス(安全・自動制御)

- ・レーザービーム制御技術

レーザー装置は高繰返し高平均出力化を目指して開発が進んでいる。高出力化とともに、加工サイズに対する焦点は微小領域のみに留まらず、短時間に広い面積のナノ精度加工の可能性が出てきた。複数個の微小スポットにレーザーを分割し、一括大面積の微細加工の対応が必要になってくる。一括パターン加工では、レーザーの強度分布と位相とを組み合わせた位相マスクやパターン転写が有効と考えられる。2025年までにはナノメートルサイズの加工精度を保持しながら一括パターン加工を大面積に行える装置が開発できるかが今後のキーテクノロジーである。大面積加工技術は、微細形状、超平滑面、超低摩擦面を必要とする分野への寄与が期待される。一般にナノ精度加工では、大面積化は非常に難しい課題で、従来法では多大なエネルギーを要する。しかし、レーザーによる加工の場合は、従来法に比べて簡単かつ高効率に対応可能になる可能性があり、環境負荷の小さい加工であるといえる。

- ・超高速材料分析技術

レーザー吸収率制御技術、超高速加熱プロセス技術、超微細加熱プロセス技術を確立するため

には、レーザー加工による材料の変化を高速度に分析する技術開発が必要不可欠である。2015年までにフェムト秒オーダー、2025年までにはアト秒オーダーでの超高速材料分析システムの開発が望まれる。本分析装置により、材料加工の目的にあった最適レーザー条件を短時間に見つけ出すことを可能にし、同時に安定した材料開発の監視システムとしての役割を担う。このような技術の進化によって、無駄なトライ&エラーが減少し、無駄を省く観点から環境に貢献するレーザーになると期待される。

- ・モニタリング技術

安定した加工プロセスを実現するためにはレーザーエネルギー、レーザー照射サイズ、レーザー波長、スペクトル幅、レーザーパルス幅のライブモニタリングが必要である。目的とするレーザーのパラメータは電氣的に処理されるため測定精度は処理回路を構成する電子素子により決定される。2015年までに1%の測定精度を実現し、2025年までには0.1%以下の測定精度を有するモニタリング技術の開発が望まれる。これにより、フィードバック制御技術の新たな技術展開が可能となり、プロセスの安定性向上が期待される。このようにモニタリング技術とレーザー加工のロバスト化は表裏一体なので、より高いレベルのモニタリング技術が開発されることによって、更に環境にやさしい適正化されたレーザーが生まれ、環境に貢献する。

- ・フィードバック制御技術

モニタリング技術により得られた情報から、適正条件の範囲内でプロセスが進行しているかどうかを判別し、適正条件外の場合には各種プロセスパラメータを適正状態へ速やかに回復できるように制御する。2025年までにはナノ秒オーダーの回復時間で機能するフィードバック制御技術の開発が望まれる。これにより、プロセスの安定性向上と製品の高機能化が期待できる。このように、より適正化され安定したレーザー加工には、非常に高速な制御が精密に行われる必要があり、この技術の進歩によってより環境にやさしいレーザー加工の実現が可能になる。

1. 4. 3 アフォーダブル化

① レーザー本体デザイン

a. 半導体製造

- ・面発光型半導体レーザー技術

面発光型半導体レーザーは、ウエハの切断が不要であり、集積化でアレイ化が可能となる。現在、パワー密度は約1 kW/cm²であるが、2015年には2 kW/cm²、2025年には10 kW/cm²にする。

- ・大口径基板作製技術

現在、ウエハの直径は300 mmであるが、2012年に直径450 mmとする。

- ・大口径露光技術

現在、直径300 mmのウエハのフラットネスは65 nmであるが、2011年に40 nmとし、2012年には直径400 mmで35 nmを達成する。

b. レーザー用素子

・光学部品大量生産技術

2010年頃までに大量生産によるコスト削減を実現する。

・集積化技術

2010年頃までに複合集積化を実現する。

・大量・高速研磨技術

2010年頃までに職人技を数値化することによって大量同時研磨を実現する。

c. 規格化

レーザー発振器に関する規格化に関する活動は実施されておらず、同じメーカーの発振機であっても種類が異なるだけでレーザービームの出射口の位置、コネクタ、ケーブルや制御信号が異なる。当然、発振器の形状も全く異なっており、レーザーシステムを製作するためにはそれぞれの発振器に対応した設置方法や制御方法とする必要がある。一方、プロセスオートメーションの分野における駆動系に関してはフィールドネットワークを用いるといった統一規格に向けた活動があり、発振器関連より遥かに規格化が進んできている。しかしながら、この駆動系関連も完全統一規格には至ってない。これらレーザー発振器、光学系及び機械系を完全に規格化することでレーザーシステムにおける設計が容易となりコスト削減が可能となる。ハイパワー用、ミドルパワー用やローパワー用などいくつかの種類に分類する必要があるが、規格化すべき項目を列挙する。2009年までに規格化を行い、2011年までに標準化を行う。

・発振器・光学系関連規格化技術

1. レーザー出射位置
2. 発振器固定方法
3. 発振器寸法
4. 上位機器との通信方法
5. 発振器に付随するコネクタ関連
6. 発振器に付随するケーブル関連
7. 上位機器との通信ソフト
8. 上位機器とのコネクタ
9. 上位機器とのケーブル
10. 励起源交換方法
11. ハイパワー用ファイバーコネクタ etc.

・駆動系関連規格化技術

1. モーター寸法
2. モーター固定方法

3. 上位機器との通信ソフト
4. 上位機器とのコネクタ
5. 上位機器とのケーブル
6. P/C とドライバー間ケーブル
7. P/C とドライバー間コネクタ
8. ドライバーとモーター間ケーブル
9. ドライバーとモーター間コネクタ
10. ドライバーとモーター間制御信号 etc.

d. 共通プラットフォーム化

- ・プリフォーム技術(ファイバー母材・前駆体製造技術)

現在、プリフォーム設計を最適化し、2015年までに規格化し、2025年までに標準化を行い、量産システム化を実現する。

e. チラーレス化(冷却装置不要)

- ・レーザー冷却輻射制御技術

輻射率(熱→光変換効率)を2015年に50%、2025年に100%にする。

② レーザーシステムデザイン

a. コンポーネント化

- ・カセット化技術

レーザーシステムを構成機能ごとに分けてコンポーネント化し、コンポーネントを1つの取り扱い容易なカセットにすることにより、そのカセットをはめるだけでレーザーシステムにその機能を組み込んでいくことができれば、レーザーシステムを組み上げるときの時間と労力が低減され、製造及び納品に関わるコストの低減が期待できる。また、ある部品が損傷を受けた場合もカセットとなっていることにより交換が容易となる。そのためには、レーザーシステムのどの機能が分割・カセット化でき、また、どのようにカセットをレーザーシステムに接続させるかなどの技術開発が必要である。特にレーザー光の接続においては、正しく接続されていないとその部分だけでなくレーザー本体の破壊へと至る恐れがあり、不完全接続防止のための技術開発も重要と考えられる。2015年までにはカセット化に適した機能分割及びカセットへのコンポーネント組み込み技術の開発、2025年までには接続等、実際にシステムにカセットを実装するための技術開発が望まれる。

- ・パッケージング技術

レーザーシステムを機能ごとに分割・コンポーネント化し、それらを組み合わせるレーザーシステムを構成するためには、各コンポーネントの組み立て後は調整等の必要なくコンポーネントを取り扱えるようにすることが重要である。またアプリケーションによっては、レーザーシステムは非常に過酷な環境下に置かれることがあり、その中においてもレーザーシステム設置後、長期間安定動作し続けることが要求されるため、外部からの汚染防止や振動などの擾乱を遮断でき

る機構を備えている必要がある。そのためには、堅牢で安全にコンポーネントが取り扱えるよう部品群がパッケージングされている必要があり、そのためのパッケージングの技術の開発が望まれる。カセット化技術の進展の状況も踏まえ、2020年までにパッケージングに必要な汚染防止や擾乱遮断などの要素技術の開発、2025年までにはそれらを組み合わせて、必要なパッケージングを各コンポーネントに実装する技術の開発が望まれる。

・アップグレード再生技術

レーザーシステムを使用しているうちに、アプリケーションの発展により更に高い性能がレーザーシステムに対し要求されるようになり、そのシステムではその発展に追いつけなくなる事態が発生する。そのときにレーザーシステム全体を買い換えずに、レーザーシステムを構成する各コンポーネントのうち必要となった性能を満たすための最低限のコンポーネントを追加・アップグレードさせることができれば、性能向上にかかるコストを最小限に抑えられることが期待される。そのためには機能ごとのコンポーネント間の関連についての詳細な検討が設計段階から必要であり、2015年までにアップグレードを容易化するためのレーザーシステム設計技術の開発、2025年までにアップグレードを可能にするコンポーネント交換技術の開発が望まれる。

・オンデマンドシステム化技術

ユーザーが必要としているレーザーシステムはユーザーのアプリケーションごとに異なり、すべてのアプリケーションに対応できるようなレーザーシステムを開発することは困難である。また、開発したとしても当面必要としない機能を備えることとなり、製品価格を押し上げてしまう。そのため性能ごとに分けてモデル化して製造・販売されているが、それでもユーザーの望む性能に対して過剰であったり、不足していたりすることが多い。そこでユーザーの要望に合わせて、最小限のコンポーネントで最適なシステムを設計し提供できれば、過剰な設備や、不足設備の追加調達・開発にかかるコストを抑えることができ、レーザーシステムとしての価格を抑えられることが期待される。そのためには、ユーザーからの要望に合わせて素早くシステムを設計し、製品化する技術が必要で、納期短縮・製造コスト削減において重要となる。また、要求性能に合わせて様々なコンポーネントを選択、組み合わせられるようにするには、それらを構成するパーツの規格の標準化も必要となってくる。カセット化技術やアップグレード再生技術の進展状況を取り入れながら2015年までに要求性能を満たすシステム設計技術、2025年までにはその設計技術にもとづくオンデマンド生産システム技術の開発が望まれる。

b. シミュレーション

・システム設計技術

レーザーシステムにおいて必要とされる部品はアプリケーション等により形状や組み合わせが異なり、非常に多様なものとなっている。また使用に際し、アプリケーションに合わせた設計・試作・試験が繰り返され、その最適化が図られている。あらかじめ設計段階において詳細に部品の形状や性能を評価できれば無駄な試作を減らすことができ、開発コストの削減が期待される。そのためには、2015年までに構成部品の最適化設計技術、2025年までにはシステム全体の最適化設計技術の開発が望まれる。

- ・伝送・集光光学設計技術

光学系を実際に組み上げ・試験する前に、システムとしてアプリケーションで要求されるレーザー光の性能が満たされているか、また使用時の損傷対策も十分かなどを設計段階で詳細に検討することができれば、余分な光学部品の購入や試作、損傷などを抑えることができ、開発コスト削減が期待される。また、各光学部品の必要精度等を割り出すことも可能となれば、必要最小限の性能の光学部品群によるレーザーシステム構築の最適化が可能となり、製造コストの抑制も期待される。そのためには、2015年までにレーザーシステムの要求性能を満たすシステム全体の光学設計技術、2025年までにはその最適化設計技術の開発が望まれる。

- c. エンジニアリングデザイン

- ・工程制御技術

レーザーシステムを組み立て、調整し、性能を検査するための工程は個々のレーザーシステムにより異なる。そこで最適なレーザーシステムの組み立て・調整・性能検査手順がレーザーシステムをデザインすると同時に示されれば、効率的にレーザーシステムを組み立てることができ、製造、設置のための時間及びコストの削減が期待される。2015年までにはレーザーシステムの構成要素についての製造工程制御技術、2025年までにはレーザーシステム全体の製造・設置工程制御技術の開発が望まれる。

- ③ レーザープロセスデザイン

- a ハイブリッドレーザー加工プロセス

- ・複合加工プロセス技術

レーザー・物質相互作用は材料の種類（金属、ガラス、プラスチック、セラミックス等）とレーザーの特性（波長、パルス幅、ピークパワー等）によって異なる。材料によってこれらを組み合わせることにより、エネルギー的にも加工効率的にも最適な加工プロセスが得られる。まずピークパワー複合加工プロセスを実用化し、次いでパルス幅複合加工、2025年までには波長複合加工まで実用化が必要になる。

- b. マルチレーザー加工プロセス

- ・小型レーザー同時ハンドリング技術

レーザー加工は、エネルギーの集中性には優れているが大量・大面積加工が困難である。高価な大出力レーザーを導入するよりも廉価な小型レーザーを多数同時にハンドリングする方が加工プロセスのコストは低い。故障した際もスペアの小型レーザーも廉価であるため交換コストも低く抑えることができる。2008年には2台、2015年には10台、2025年には100台を導入した同時加工プロセスが有用となる。

1. 5 まとめ

短波長化、短パルス化、高ピーク出力化などでトップデータを出すようなレーザー開発は、もちろん重要で必要である。新しいレーザーから新しい応用、市場が生まれる可能性があるからである。

ものづくり技術分野においては、別の見方、特に市場からレーザー開発を見ることも大切である。欧米メーカーが開発したファイバーレーザーは、出力で CW 固体レーザーの新記録を出すとともにものづくり技術分野において重要なフレンドリーとエコロジーコンシャスの点で優位性を示した。国内メーカーもファイバーレーザー開発に着手し、製品化しているが、商品力をつけるのはこれからである。欧米メーカーに先行された理由はいくつかある。ユーザーフレンドリー、エコロジーコンシャス及びアフォーダブルについてあまり重要視してこなかった点もその1つであるし、図 1. 1 に示した2つのレーザー加工分野が殆ど交流のなかったことも原因の1つであろう。欧州は、光教育及びプロジェクトによる研究開発を長期的に行っているのに対し日本は、短期的な取り組み・プロジェクト研究開発しかない。日本のものづくり技術分野発展のための次の1手、光教育及びレーザー技術開発プロジェクトは、長期的視野を持って推進していくべきであると考えられる。

4. アカデミックロードマップ委員会WG4の報告概要

本年度、経済産業省の技術戦略マップローリング事業の元に、特定非営利活動法人横断型基幹科学技術研究団体連合（横幹連合）が、学会横断型アカデミック・ロードマップの作成作業を行った。アカデミック・ロードマップとは、テクノロジーロードマップに対して、学会を中心としてアカデミアの知恵と英知を結集し、知の創造をイノベーション創出に結びつけ社会へ還元を目指したものであり、この学会のアカデミック・ロードマップ、そして経済産業省の技術戦略マップ、産業界のロードマップが相互に活用されることにより、基礎研究から応用開発研究をつなぐ双方向の知の流れを円滑化することを目指している。また、学会横断的な取組による異分野研究の融合によって、「新たなフロンティア研究領域と価値」の創出も期待するものである。この事業の一環として、ものづくり分野のアカデミック・ロードマップの作成作業が行われたので、以下で簡単に紹介する。

ここでは、ものづくりの視点から見た未来社会の構築としてアカデミック・ロードマップの作成作業を行っている。テクノロジーロードマップが、基本的には現状技術の延長上に未来を描いていくというアプローチを取っているのに対して、このアカデミアロードマップでは、持続性社会の構築など現代社会がもつ問題点を解決する方向に社会が変化すると仮定して、そのために必要なものづくり技術はどうなっていくのか、という観点でロードマップを作成している。そのためのベースとして、まず 2040 年におけるエネルギーコスト、水コスト、食料コストはどうなっているのかなどを設定し、さらに、2040 年におけるモノのイメージ、生活のイメージをシナリオとして設定している。そのシナリオに基づいて、2040 年のものづくりの姿についての特に重要な観点として「プロシューマ社会のものづくり」と「感性価値による競争力」についてフォーカスした議論を行った。

次に、そのような社会におけるものづくり技術はどのような要素技術からなるのか、また、それらの要素技術はいかなる手順で開発されるかについて検討し、ものづくり技術の進展の方向性について、**地域社会の活用・再生という視点からの「ものづくりコミュニティ**」、製造者と利用者の新たな関係構築としての「ものづくりはもの育て」、さらには、サービスなどに着目した「ものづくりは価値作り」という三つの分野で、その技術要素の洗い出しと、マクロ的なロードマップの作成を行っている。

このように、本ロードマップでは、近未来社会を先に描き、その未来社会に到達する道をしめすことで技術の進歩の手順を示そうとしている。

非 売 品

禁無断転載

平 成 1 9 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

発 行 平成20年3月

発行者 社団法人 日本機械工業連合会

〒105-0011

東京都港区芝公園三丁目5番8号

電 話 03-3434-5384

財団法人 製造科学技術センター

〒105-0001

東京都港区虎ノ門三丁目11番15号

電 話 03-5472-2561