

平成 1 1 年度

製造科学技術高度化に関する 調査報告書

新製造技術戦略策定会議 報告

平成 1 2 年 4 月

財団法人 製造科学技術センター

序

我が国製造業を取り巻く環境は、市場ニーズの多様化、急速な技術革新の進展、情報システムの発達など、急激な変貌を遂げております。今後の国際的な産業競争の進展、高齢化、小子化の進展の中で我が国が産業競争力を維持・向上させていくためには、「技術革新」による経済社会全体の生産性の向上が不可欠であると考えられる。また、21世紀において、我が国の経済・社会が環境制約等を克服し「持続可能な発展」を実現する上で、技術革新が果たす役割が大きいと思われる。

しかし、従来の産業技術政策は技術開発にその重点が置かれており、当該技術開発成果を有効に活用して、我が国産業競争力の強化、新規産業の創出、産業の迅速な技術変革が可能な社会構造といった視点からの取り組みが不十分であったと思われる。

このため、当財団では、製造業の産業競争力強化のため、製造・業態の分野にとらわれず幅広い産業構造の議論を行い、環境と調和した循環型経済社会の構築、エネルギー安定供給確保、地球環境保全及び経済成長の同時達成、経済社会の新生の基板となる高度情報化社会の実現、安全・安心で質の高い生活を送ることが出来る社会形成等の社会的要請の中で、「体系的な技術開発目標と道筋の明確化」、「技術開発成果の有効な活用方策の構築」等について総合的な観点から提言を行う新製造技術戦略策定会議を設置した。

本報告書は、新製造技術戦略策定会議において検討された内容についてとりまとめたものである。今後の製造業の持続的な発展に寄与できれば幸いです。

また、本事業の遂行にあたり、ご協力いただいた通商産業省ならびに日本自転車振興会には心から御礼申し上げますとともに、本事業を担当された関係各位のご尽力に対し、深く感謝申し上げます次第です。

平成12年4月

財団法人 製造科学技術センター
理事長 菊池 功

委員名簿

(1) 新製造技術戦略策定会議

委員長

古川勇二 東京都立大学大学院 工学研究科教授 (競争力強化体制検討WG 主査)

委員

稲崎一郎 慶應義塾大学 理工学部システムデザイン工学科教授
(工作機械技術戦略策定会議 主査)

稲葉 肇 ファナック(株) 常務取締役

太田 健 豊田工機(株) 専務取締役

大見孝吉 工業技術院 機械技術研究所国際研究協力官

木内 学 東京大学 生産技術研究所変形加工学部門教授
(環境・安全対応技術検討WG 主査)

小島俊雄 工業技術院 機械技術研究所物理情報部長

嶋村輝郎 (株)ニコン 常務取締役 精機カンパニープレジデント
(半導体製造装置技術戦略策定会議 主査)

永井信夫 (社)日本電機工業会 専務理事

中川威雄 豊田工業大学 客員教授 (素形材技術戦略策定会議 議長)

畑村洋太郎 東京大学大学院 工学系研究科産業機械工学専攻教授
(知能・情報化技術検討WG 主査)

馬場錬成 読売新聞 論説委員

森田 出 新キャタピラー三菱(株) 相模事業所技術本部長

(2) 競争力強化体制検討ワーキンググループ

主査

古川勇二 東京都立大学大学院 工学研究科教授

委員

赤土 肇 (株)デンソー 技術統括部長

井原 透 中央大学 理工学部精密機械工学科教授

江間賢二 HOYA(株) 常務取締役

菊地勝昭 (株)日立製作所 電力・電機グループ産業機械システム事業部
土浦製品本部副技師長開発センター副センター長

小島俊雄 工業技術院 機械技術研究所物理情報部長

斉藤敬三 工業技術院 機械技術研究所産学官連携推進センター長

福田好朗 法政大学 経営工学科教授

松島克守 東京大学 環境海洋工学専攻教授
八木和則 横河電機(株) 執行役員経営企画部長
和田龍児 摂南大学 工学部経営工学科教授
渡辺 清 三菱重工業(株) 技術管理部技術管理課主査

(3) 知能・情報化技術検討ワーキンググループ

主査

畑村洋太郎 東京大学大学院 工学系研究科産業機械工学専攻教授

委員

安宅龍明 セイコーインスツルメンツ(株) 開発戦略室部長
北垣高成 工業技術院 電子技術総合研究所知能システム部主任研究官
桑野博喜 日本電信電話(株) 第三部門 R&D 推進担当部長
下河邊 明 東京工業大学 精密工学研究所長
竹内芳美 電気通信大学 電気通信学部機械制御工学科教授
長江昭充 ヤマザキマザック(株) 常務取締役開発部長
日比 均 (株)デンソー ロボット技術部長
福田収一 東京都立科学技術大学 生産情報システム工学科教授
光石 衛 東京大学大学院 工学系研究科産業機械工学専攻教授
森 和男 工業技術院 機械技術研究所生産システム部生産情報研究室長

(4) 環境・安全対応技術検討ワーキンググループ

主査

木内 学 東京大学 生産技術研究所変形加工学部門教授

委員

堤 正臣 東京農工大学大学院 生物システム応用科学研究科教授
須賀唯知 東京大学 先端科学技術センター教授
中澤克紀 国土館大学 工学部機械工学科教授
古川 健 (株)小松製作所 経営企画室技術統括部長
上村茂弘 ダイキン工業(株) 地球環境室長
岡田光浩 三菱重工業(株) 機械事業本部環境装置第一部技術総括グループ担当部長
掛田健二 日立造船(株) 環境・プラント事業本部システム本部技術情報部長
中丸 進 (株)リコー CS・品質本部 兼 社会環境室審議役
大見孝吉 工業技術院 機械技術研究所国際研究協力官
竹内良一 (株)荏原製作所 ゼロエミッション事業統括システムコンサル室長

目 次

I. 総論

1. 機械産業における産業競争力と技術の現状	2
1. 1 機械産業のおかれた状況	2
1. 2 機械分野の技術の状況	6
2. 当該技術分野において技術革新を阻害している問題点	8
2. 1 技術革新を阻害している問題の所在	8
2. 2 産・学・官において対応すべき課題	9
3. 今後の展望と戦略	10
3. 1 技術革新の展望	10
3. 2 社会の要請・制約への対応	11
3. 3 革新性・基盤性を有する萌芽的技術	12
3. 4 総合的戦略	12

II. 競争力強化体制の検討

1. 2010年、2025年までのシナリオ	18
1. 1 2010年までの短期的シナリオ	18
1. 2 2025年までの長期的シナリオ	18
1. 3 2010年、2025年までの競争力強化の方策	19
2. 我が国製造業を取り巻く環境の変化と強み・弱み	21
2. 1 企業を取り巻く環境の変化	21
2. 2 我が国の強み	21
2. 3 我が国の弱み	22
3. 企業の競争力強化の方向性	24
3. 1 企業の競争力強化の施策	24
3. 2 今後の企業の在り方	24
4. 製造業の事業展開の方向性	26
4. 1 製造業の事業展開の方向性	26
4. 2 プロセスイノベーション（製造）の再活性化	26
4. 3 プロセスイノベーション（オペレーション）の構築	27
4. 4 プロダクトイノベーションの促進	28
4. 5 エコ・イノベーションの推進	29
4. 6 製造業の事業展開の方向性と国の施策	30
5. 国の役割	32

5. 1	企業への短期的な支援（制度面での支援を中心に）	3 2
5. 2	長期的視座からの研究開発の支援	3 2
5. 3	標準化の推進	3 4
5. 4	各公的機関の役割	3 5
6.	参考	3 6

III . 知能情報化に関する技術検討

1.	製造業における知能化・情報化の方向性	4 2
2.	プロセスイノベーションのための知能化・情報化技術	4 3
2. 1	促進させるための具体的方策	4 3
3.	プロダクトイノベーションのための知能化・情報化技術	4 6
3. 1	国民生活の向上に大きな発展が期待される分野	4 6
3. 2	プロダクトイノベーションにより生み出される製品を製造するために必要な技術	4 7
4.	重要技術の参考例	5 0
4. 1	2010 年頃までに重要となる技術	5 0
4. 2	2025 年頃に重要となる技術	5 2

IV . 環境・安全対応技術

1.	環境・安全技術に対する基本的考え方	5 8
1. 1	新製造技術分野における環境・安全技術戦略の立脚点	5 8
2.	環境対応技術戦略	6 1
2. 1	環境対応技術戦略の方向性	6 1
2. 2	環境対応技術戦略のキーコンセプト	6 3
2. 3	環境対応技術戦略の方向性	6 4
2. 4	機械分野別の環境対応技術戦略	7 2
3.	安全対応技術戦略	7 6
3. 1	戦略的安全対応技術の全体構造	7 6
3. 2	安全機械・安全製品に関する技術	7 7
3. 3	人機能支援技術	7 9
3. 4	安全対応技術の情報基盤	8 0
3. 5	分野別の安全対応技術の例示	8 1

I . 總論

1. 機械産業における産業競争力と技術の現状

1.1 機械産業のおかれた状況

1.1.1 機械産業の現状と特徴

我が国機械産業は、1970年代のNC（数値制御）工作機械等に見られるように、機械と電子技術を融合させたメカトロニクスにより、工作機械、産業用ロボット等において我が国が世界第一位のシェアを確保するなど、諸外国を一步リードしてきた。

しかしながら、現在、製造業はネットワーク化を含めたIT革命のまっただ中にあり、これを有効に活用した業態のサービス化や最適地生産体制の構築といった新たなビジネススタイルの確立において米国に遅れをとっていることが、我が国競争力の足かせとなることが懸念される。

粗鋼 (1997年)	中国 13.5%	日本 13.1%	アメリカ 12.4%	ロシア 6.1%	ドイツ 5.6%	その他 49.3%
乗用車 (1997年)	日本 21.7%	アメリカ 15.2%	ドイツ 12.0%	フランス 8.6%	韓国 5.9%	その他 36.6%
船舶 (1998年)	日本 42.0%	韓国 28.9%	中国 4.8%	ドイツ 4.2%	イタリア 3.2%	その他 16.9%
工作機械 (1997年)	日本 26.3%	ドイツ 17.7%	アメリカ 12.4%	イタリア 9.6%	スイス 5.0%	その他 29.0%
産業用ロボット (1997年)	日本 58.0%	アメリカ 10.8%	ドイツ 9.4%	韓国 4.2%	イタリア 4.0%	その他 13.6%
プラスチック (1997年)	アメリカ 30.0%	日本 10.8%	ドイツ 8.4%	韓国 5.8%	フランス 4.1%	その他 40.9%
化学繊維 (1997年)	アメリカ 15.1%	中国 14.2%	台湾 12.8%	韓国 10.0%	日本 6.7%	その他 41.2%
セメント (1997年)	中国 32.6%	日本 6.3%	アメリカ 5.3%	インド 4.9%	韓国 3.9%	その他 47.0%
パルプ (1997年)	アメリカ 33.3%	カナダ 13.9%	中国 9.8%	日本 6.4%	フィンランド 6.2%	その他 30.4%
紙類 (1997年)	アメリカ 28.9%	日本 10.4%	中国 9.2%	カナダ 6.3%	ドイツ 5.3%	その他 39.9%
合成ゴム (1997年)	アメリカ 25.7%	日本 15.8%	ロシア 7.2%	中国 5.9%	フランス 5.9%	その他 39.5%

(注) 工作機械は生産額、産業用ロボットは設置台数、それ以外は生産量の割合

Ministry of International Trade and Industry

図 1 分野別のシェア

1.1.2 生産性の分析

全要素生産性(TFP)について、日米比較をみると、一般機械、電気機械、精密機械のいずれについても、米国に劣っており、一般機械については格差が広がっている(図2、図3、図4)。

OECD加盟国における製造業の労働生産性の比較では、我が国は米国には及ばないものの欧州

諸国並と言える（図5）。

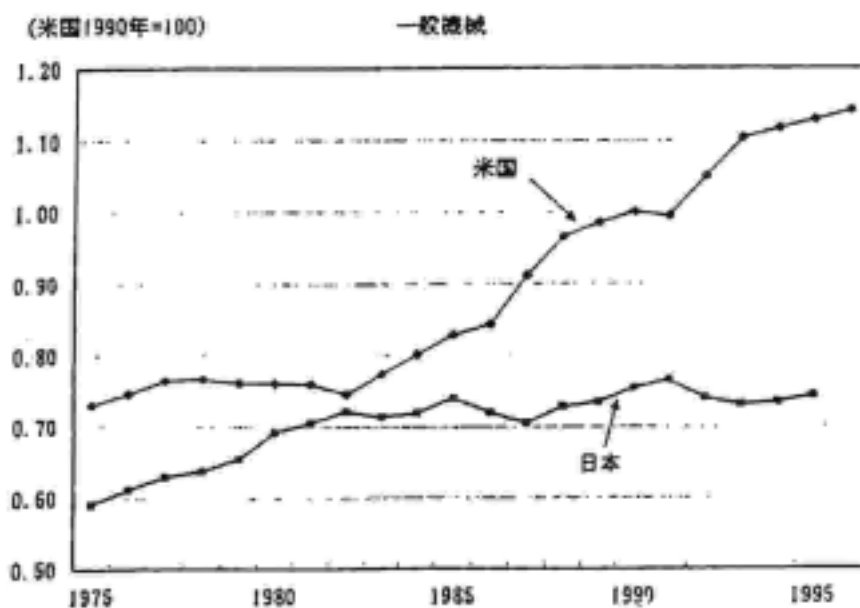


図 2 全要素生産性（一般機械）

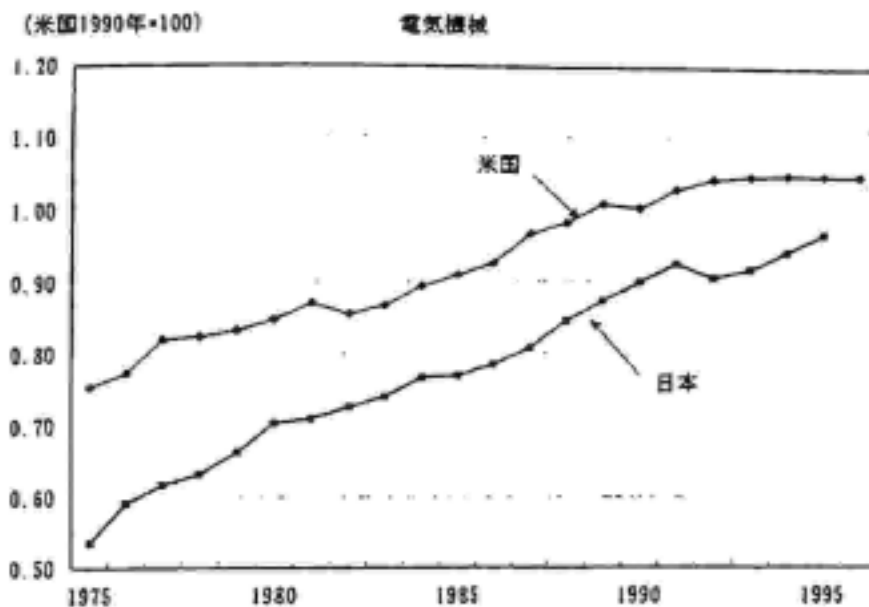


図 3 全要素生産性（電気機械）

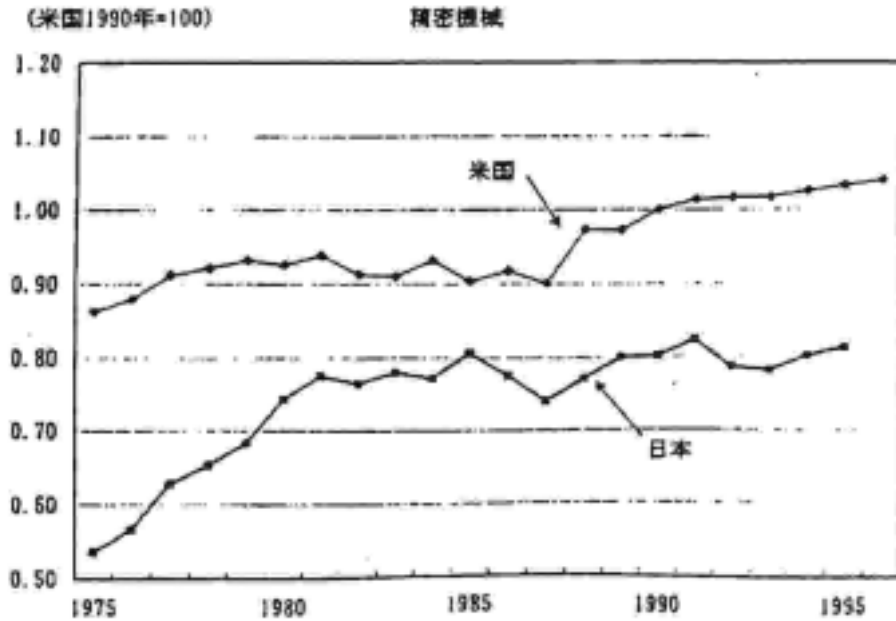


図 4 全要素生産性（精密機械）

時間当たり付加価値（米国 = 100）

	1960	1985	1995	1960	1985	1995
米国	100	100	100	カナダ	69	70
日本	19	69	73	オーストラリア	51	52
西独	56	86	81	米国・欧州	107	97
フランス	46	70	85	日本	60	90
英国	45	70	70	オーストラリア	2	24

出典：D.Pilat, Labor Productivity Levels in OECD Countries: Estimates for Manufacturing and Services, OECD Economics Working Paper No. 109, 1998. 上記の数値は複数国地域で発明等がなされたものがあるため、OECDの定義に基づき、1998年にならない。また、発明・新製品化・商品化の定義はアンケート回答者の判断による。

図 5 OECD加盟国における製造業の労働生産性

調査対象品目（38品目）

1. 1. 3	先端複合材 電気自動車用バッテリー 航空機用ブレーキ 自動車のカメラ 自動車 ハイテクテクノロジー	デジタル時計 メモリ半導体 DRAM 医薬品 ファクシミリ 光ファイバー 液晶ディスプレイ	マイクロプロセッサ 軍事用レーダー ノートブックコンピュータ 数値制御工作機 日産自動車の推進技術 ロボット	AV機器 コピー機器 デスクトップコンピュータ 半導体検査装置 シフトレジスタ 医療用画像診断装置
(1) 我が国の強み	米国商務省の調査によれば、我が国で商品化されたものは24品目とされ、通信機器、器、コピー機、CAD	また、下記の製品に、高温超電導体半導体製造装置	半導体数値制御工作機 ソフトウェア ハードウェア 自動焦点カメラ テレビ受像器	機械MQボウ(C)、テレビ受像ビデオレコーダー 等、市場シェアで日本が

米国商務省の調査によれば、我が国で商品化されたものは24品目とされ、通信機器、器、コピー機、CAD

また、下記の製品に、高温超電導体半導体製造装置

半導体数値制御工作機
ソフトウェア
ハードウェア
自動焦点カメラ
テレビ受像器

機械MQボウ(C)、テレビ受像ビデオレコーダー
等、市場シェアで日本が

出所：米国商務省（DOC）

出典：イノベーション研究会中間報告 平成10年6月 通商産業省

図 6 国際競争力

化と製品の作り方)にあることを示している(図6)。

(2) 我が国の弱み

プロダクトイノベーション

一方、同調査では、我が国で発明されたものは存在せず、新商品化されたものは2品目とされている。これは、我が国のプロダクトイノベーションが弱いことを示している。

ただし、光造形装置のように、全く新たな製造装置が我が国で発明されていた例もあり、必ずしも我が国の独創性、発想力が劣っているとは言い切れない。

ビジネスモデル

オペレーションのサービス化には、新しいビジネスモデルの構築が必要となり、現行では欧米企業に優位性がある。GEは、医療機器、航空機エンジン、重電機器等の遠隔診断のサービスを提供し、そこから利益を得るように構造転換している(製造業のサービス業化)。また、電気・電子製品については、ソレクトロンがPCメーカー、通信メーカー等の製造アウトソーシング事業を請け負っている。我が国の企業では、そのようなビジネスモデルは、顕著になっておらず、今後は、製品のオペレーションやリース、レンタル等、さらには我が国が得意な環境対応を中心に新たなビジネスモデルを構築していく必要がある。

企業体質

今日、市場の変化にいかにか早く対応するかが企業にとって最も重要なファクターであり、経営上の問題を中心に種々の弱みを抱えている我が国の製造業は、個々の事業、技術では優れているにもかかわらず、市場変化への対応ができないため、企業全体では業績が低調な企業が少なくない。

(3) 個別産業分野の強み・弱み

工作機械

日本の工作機械産業の強みとして、高い製品性能と信頼性、納期の厳守及びユーザ産業の高い競争力等がある。一方で、弱みとして、コスト競争力が低く、一人当たりの付加価値額が低いことが低いこと等があげられる。

半導体製造装置

日本の半導体製造装置産業は、1980年代に飛躍的に高い成長を遂げ、1990年には米国を凌ぐシェアを獲得。しかし、1990年代の日本における半導体不況と、米国SEMATECH等の働きにより再逆転。その後も、一貫して日本のシェアは低下傾向。

素形材

我が国の素形材産業は、技能を中心とする技術体系に支えられ、品質、納期、サービスの面が

ら競争力を有している。しかしながら、高い人件費や基盤サービスといった我が国の高コスト構造によりコスト面で弱みを有している。また、少子高齢化、アジア諸国の追い上げ等により、これまでの強みの弱体化が懸念される。

重電

日本の重電産業は、国内市場では、メンテナンス、サービス等の面で海外重電メーカーよりも競争力があるが、海外市場においては、ファイナンス、価格の面で競争力が弱い。

量子ビーム

露光装置においては、マルチビーム方式や部分一括露光方式などの技術で進んでいるが、縮小投影方式では、米国が優位である。電子線レジスト及び電子線露光機に関しては、我が国は競争力を有しているが、電子線リソグラフィ用露光機については米国が世界標準となっている。

1. 2 機械分野の技術の状況

我が国企業へのアンケート調査によると、このまま日本経済の低迷が続くと製造業も競争力を失っていくとの危機感を8割以上の企業が懸念している(1980年、図7)。また、別の調査では、製造技術について、日本側は少々日本優位、一方、米国側は日米同等と評価している(図8)。

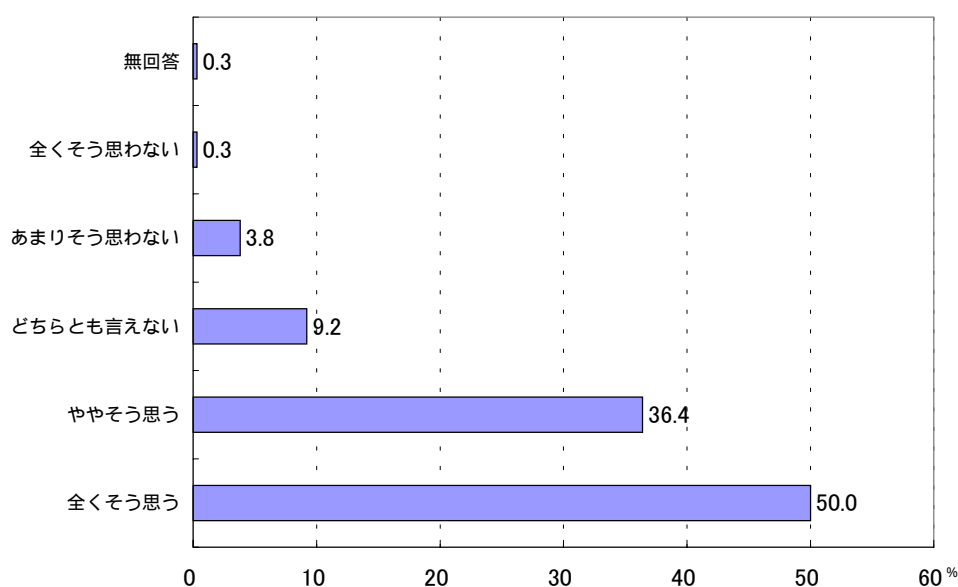


図 7 経済の低迷が続くと製造業も競争力を失っていく

技術分野		日本優位		同等	米国優位	
		相当	少々		少々	相当
日本側からの評価	エネルギー					
	環境					
	電子デバイス					
	通信機器システム					
	情報機器システム					
	ソフトウェア・システム					
	情報家電					
	バイオテクノロジー					
	医療技術					
	製造技術					
	新素材					
	電子・光学材料					
	交通・建築・インフラ					
	技術経営・技術人材等					
米国側からの評価	エネルギー	エネルギー効率 エネルギーの貯蔵・配給・送電等 新型発電				
	環境	環境監視・評価 汚染制御 環境改善・汚染除去			<	
	情報通信	構成部品 通信 コンピュータ・システム 情報管理 知的最適化システム センサー ソフトウェア・作成ツール			>	< < > >
	生産システム	バイオテクノロジー 医療技術 農業・食品技術 人間システム			> <	>
	製造技術	個別製造技術 連続材料加工 ミ加・ナ組立・工作技術			>	
	材料	材料 構造			<	<
	輸送技術	航空力学 航空電子・制御技術 推進・駆動技術 統合システム 人間とのインターフェイス			<	< >

注1) 90年から94年の間の日米の技術力のトレンド

> : 技術格差が拡大 : 不変 < : 技術格差が縮小

注2) 日本は経営者へのアンケート(1999年)。米国は産学官からなる委員会での評価(1995年)

図 8 日米の意識比較

2. 当該技術分野において技術革新を阻害している問題点

2.1 技術革新を阻害している問題の所在

(1) 人材の不足

製造現場を支えてきた技術者・技能者の高齢化が進んでおり、今後の人材を輩出すべき初等教育から大学に至るまでの教育基盤についても弱体化しつつある。特に、ものづくりを教えることのできる人材の枯渇が懸念されている。教育現場における製造技術を教えるための設備の老朽化、不足といった教育インフラの貧弱さも問題である。

また、技術者の総合的なプロジェクト管理能力等の問題から、一部では品質管理等の製造プロセスの弱体化が顕在化している。

(2) 独創力の弱さ

我が国における教育システムは均質で勤勉な学生を育てることには適しているが、個性を評価し、独創性を伸ばす教育は行っていないため、個性があり、独創性を持った研究者・技術者が育ちにくくなっている。そのため、我が国のプロダクトイノベーションの力は弱い。

(3) 産学官連携の希薄さ

製造技術の分野では、大学に应用研究的な性格を持つ共同研究となじみにくい風土があること、大学における事務処理が煩雑であること、研究者が企業の抱える技術的な課題を的確に理解することが困難であること等から、産学官の連携が不足しており、革新的技術開発やタイムリーな研究開発が行われにくくなっている。

(4) 標準化活動への取り組みの立ち遅れ

ISO（国際標準機構）ではISO 12100（機械類の安全性 - 基本概念、設計のための一般原則）がCD（Committee Draft）の段階に至っている。この国際規格への対応が遅れると、我が国の製品は安全性の低さを理由に国際市場から閉めだされてしまうこととなりかねない。これまで各企業で取り組んできた安全性への取り組みの全てが泡と消えかねないのである。この分野において、我が国企業は、国際標準作成作業を自らの問題と捉え、作業に主体的に参画すべきであるが、我が国企業の標準化に対する意識は低い。

(5) 経営上の問題点

高度情報化社会の到来による情報の共有化・即時性の急激な進展の中で、規範的経営戦略の精緻性、トップマネジメントの意思決定の曖昧さが日本企業の欠陥として浮上してきている。既存の事業の再構築、体系的な技術開発目標等について、コアコンピタンスの明確な企業と事業分野が多岐に渡る大企業との間に格差が発生している。事業の撤退、再構築等を円滑に行ってこなかったため、設備、雇用、負債の3つの過剰の問題を解消できないままである。

2.2 産・学・官において対応すべき課題

(1) 企業で対応すべき課題

経営方針、事業領域、組織運営等の観点からの抜本的な改革

(2) 大学等において対応すべき課題

プロダクトイノベーションを促進するための教育システムの改革

(3) 国において対応すべき課題

- 企業がR&D活動を円滑に行えるように、税制、法律面といった法制度の環境設備
- 環境制約に十分対応しているだけでなく、国民生活の高度化に寄与できる製品・製造技術開発の産学官連携による推進

3. 今後の展望と戦略

3.1 技術革新の展望

3.1.1 機械分野の技術の方向性

機械分野においては、(1)機械のエネルギー・環境との調和、(2)機械のマイクロ化、(3)機械の人間との調和、が重要な技術の方向性である。

(1) 機械のエネルギー・環境との調和

中長期的には、環境との調和を目指した製品開発、製造プロセス、オペレーションが重要視されてくる。国としても、中長期的な視座から、「エミッションフリーマニュファクチャリング(エネルギー・資源最少・廃棄物ゼロ生産システム)」、「インバースマニュファクチャリング(高度リサイクル対応生産システム)」を実現するための体系的な研究開発を、産官学の連携により推進することが必要である。また、地球環境問題は我が国のみならず、全地球的な課題であることから、先進各国の製造業が共通に抱える課題の解決を図る IMS (Intelligent Manufacturing Systems) 国際共同研究プログラム等の場を積極的に活用し、国際的な協調を図りながら研究開発を推進することも有効と考えられる。

(2) 機械のマイクロ化

将来、「情報・通信」「医療・福祉」分野において、マイクロマシン技術を活用した現在よりも遥かに小型で、個人のニーズにあったオーダーメイド仕様のウェアラブル機器へのニーズが高まることが予想される。そのため、これら分野に資するマイクロマシン技術開発や、これら機器を製造するために必要となるレーザーやX線等を用いたナノオーダーの超微細加工・超精密加工、新素材加工技術及びマイクロファクトリ技術によるオーダーメイド対応フレキシブル生産システムを実現するための研究開発を産学官の連携により推進することが必要である。

(3) 機械の人間との調和

安全対応技術の追求は中長期的観点から、機械に対する遠隔操作や無人化を目指した取り組みなどによって、直接作業員である人員を機械から遠ざけることに他ならない。この取り組みは、究極的には人件費の低減や安全対応に要するコストの削減に直結する。したがって、製造業にとっての安全対応技術への取り組みは、中長期的には世界的な競争力を獲得する有効な手段であり、積極的に推進すべきである。

来るべき高齢社会における安心・安全で質の高い生活を実現するためには、人間の要求を解釈しアシストしたり、必要な情報をネットワークを介して収集し、個々の人間の行動に対応して自動的にカスタマイズされるパーソナル・アシスタント機器に対応するニーズが高まるものと考えられる。製造業としてこれらのニーズに応えた介護ロボット、ペットロボット等のロボットや、ナビゲーションシステム、ネットワーク家電、知的携帯電話等の製品を提供できるよう研究開発を進めるべきである。

3. 1. 2 技術革新の促進

現在の我が国企業の競争力を強化するため、また、将来、上記に述べた技術革新の方向性を実現するため、以下に掲げる事項に積極的に取り組むことが必要である。

(1) プロセスイノベーションの再活性化

従来から我が国に強みがあるプロセスイノベーションについては、引き続きその強さを維持・強化することが、我が国企業の競争力を向上させるために必要である。我が国企業のプロセスイノベーションを向上させるため、まだ対応すべき部分が存在している。

- 技能者が持つノウハウのドキュメント化、データベース化、さらにはその知的財産化によるプロセスイノベーションの再活性化
- オペレーションのサービス化(メンテナンスノウハウ、ITを活用したシステム構築に加え、ファイナンス、リース、保険等のスキームの確立、契約手法の確立)による新しいビジネスモデルの構築

(2) プロダクトイノベーションの促進

国際競争に勝ち抜くためには、より付加価値の高い財とサービスを生み出し、より生産性の高い新事業・新市場を創出するプロダクトイノベーションが不可欠である。機械分野においても、プロダクトイノベーションを促進させることが必要。

(3) エコ・イノベーションの促進

中長期的には、世界的に環境への対応が一層厳しくなると予想される。我が国製造業が、将来、世界の市場において先進的、主導的な立場と市場ポジションを獲得するため、エコ・イノベーションを促進することが必要。

3. 2 社会の要請・制約への対応

(1) 環境と調和した経済社会システムの構築

資源の円滑な循環を図る循環型生産システムの構築

- エネルギー最少、資源投入量最少で、ゴミや有害物質を出さない「エミッションフリーマニュファクチャリング」
- 「回収 分解・選別 再利用 生産」という逆行程を重視した「インバースマニュファクチャリング」
- 製造、使用、分解、再利用等のプロセス間で環境に係る情報のネットワーク化を行う「環境対応知的基盤整備」

(2) 経済性を考慮した環境調和型エネルギー需要構造の構築

省エネ型生産システムの構築

従来よりも格段にエネルギー消費の少ない省エネ型生産システムの構築

(3) 経済社会の新生の基盤となる高度情報通信社会の実現

高度情報通信社会を実現するための製品に提供

- マイクロマシン技術を用い、現在よりはるかに小型・簡便に必要な情報を入手できるオーダーメイドウェアラブル情報機器
- これら機器を製造するために必要なマイクロファクトリ技術によるフレキシブル生産システム並びに超微細・超精密加工技術及び新材料加工技術

(4) 高齢社会における安心・安全で質の高い生活の実現

来るべき高齢社会における安心・安全で質の高い生活を実現するための製品の提供

- 介護ロボット、ペットロボット等のパーソナル・アシスタント機器
- マイクロマシン技術を用い、現在よりはるかに小型・簡便に生体情報をモニタリングするオーダーメイドウェアラブル生体機器
- 上記ウェアラブル機器を製造するために必要なマイクロファクトリ技術によるフレキシブル生産システム並びに超微細・超精密加工技術及び新材料加工技術

3.3 革新性・基盤性を有する萌芽的技術

製造業全体に幅広く適用される基盤である安全対応技術の確立

- 機械の安全性そのものを向上させる技術
- 作業者の安全性をサポートする技術
- 機械の安全性を回復させるための技術
- 安全対応情報基盤整備

3.4 総合的戦略

3.4.1 短期的な視点からの製造業の目標

機械産業（製造業）が我が国 GDP の相当量となっており、製造業の「サービス業化」の促進、これまで培ってきた優れた製造技術の革新（プロセスイノベーション）及び、魅力のある工業製品の開発・革新（プロダクトイノベーション）能力において、国際的な競争力を向上させる。

3.4.2 中長期的な視点からの製造業の目標

製造のパラダイムは環境に 100%調和していることを原則とし、そのため先進国の大企業は、自然界と人工界とが完全循環できる製造に努め、相当量が実現されている。我が国企業もこれに対応できないと競争力を失ってしまうであろう。逆に本分野で機先を制することができれば、国際競争力を確保できると考えられる。

中小企業については、企業間のネットワーク化により国際的な展開を行い、世界の大企業を相手にグローバルな展開を行っていると考えられる。そのため、単純な下請け業は一部残ると思われるが、多くの中小企業は得意とする製品・技術に特化した ONLY ONE 企業を目指した戦略を持ち、独自の製品や機能モジュールを製造するようになっている。

今日的工業製品の多くは今日の発展途上国で生産され、我が国製造業は、その開発、プロトタイプ、製造方法などに関する知的ストックを基に指導的位置にあり、また「バイオテクノロジー」「ナノテクノロジー」「ブレインサイエンス」をキーワードとする高付加価値製品の大半は我が国で発案・製造され、世界市場をリードする。

3.4.3 国の戦略

国内の多数の企業が立地するような社会基盤、産業基盤、政策基盤の一層の整備に努める。

社会基盤としては、最近多くの規制緩和と法改正がなされたが、依然として我が国における実質的な法人課税などに問題が残されていると考えられ、更なる改善が求められる。

政策基盤としては、製造技術を支える戦略的技術者と高度技能者の育成、及び我が国製造業支える中小企業の国際化支援に努めるべきである。

(1) プロダクトイノベーションの能力を有する優秀な人材の育成

エコロジー対応を含むプロダクトイノベーションの能力を有する優秀なエンジニアを育成することが、我が国製造業の持続的発展のために必要である。そのためには、大学等における工学教育は、現在のような産業分野ごとの学部・学科割りの細分化されたものではなく、人工物の創成・発案(「機能」)に力点を置いた総合的な知識の獲得、創造性を育成する教育とすることが求められる。また、新人技術者教育と就職後の技術者の生涯教育が教育機関にて一連でなされることが求められる。さらに、大学における教育や第三者機関による認定制度の在り方を検討すべきである。高等教育では、製造戦略士(MMS: Master of Manufacturing Strategy)等のように、経営と工学の双方を把握している人材を養成するためのコースを開設すべきである。

また、優秀な技術者・技能者の社会的地位を高めることが必要であり、表彰等により、若い人材が憧れを持ち、製造業の道に進むように喚起すべきである。

(2) 企業組織、ビジネスモデルの迅速な改善、事業確信を促す環境整備

企業組織、ビジネスモデルの改善、事業革新に対する遅れは、我が国企業にとって死活問題である。国としては、これまで進めてきた規制緩和をさらに推進し、税制、商法、独占禁止法等の見直しあるいは柔軟な運用を行うことが求められる。

(3) 企業の技術革新に対するインセンティブの付与

企業における研究開発を促進するようなインセンティブ付けを行うため、税制や国の委託費の運用方法の改善が求められる。

(4) 標準化の推進

標準化については、企業が主体となって進めるべきであるが、国はその組織を積極的に支援すべきである。標準化のテーマについて、欧米に先んじて深く検討しておくために、業界団体等を活用して、産学官を結集した製造技術分野における標準化戦略策定の場を設置する必要がある。また、機械の環境・安全、FAオープン化に関する規格等の基盤的かつ重要な分野については、

欧米とのネットワークを構築しつつ、産官学を挙げて取り組む必要がある。

さらに、国の研究開発プロジェクトの事前、中間、事後評価に当たり、評価メンバーに、標準化に精通している人材を含めることとし、研究開発の初期段階から国際的な標準化活動を有利に行える素地を形成しておく必要がある。

(5) 特許流通の促進

現存する特許のうち、商品化等により実施されているのは3分の1にすぎず、休眠特許がかなりの割合存在している。機械分野においても、こうした休眠特許が活用されるよう特許流通機構の整備を引き続き進めていくべきである。また、大学等の知的財産権が有効活用されるよう、引き続き、大学の技術移転機関(TLO)の事業活動に対する支援を推進すべきである。

(6) 事業の安全性・権利の保護の確保

オペレーションのサービス化を強化していくには、メンテナンスノウハウ、ITを活用したシステム構築に加え、ファイナンス、リース、保険等のスキームの確立、契約手法の確立(SLA等、料金体系も含む)が求められる。ファイナンス、リース、保険等のスキームの確立、契約手法は、モデル契約者等の知的資産の蓄積が多い米国に比べ弱い部分であり、特に中小企業のグローバル化の観点から、業界団体等でモデルスキームを検討する必要がある。

また、諸外国の企業とトラブルが生じた際に、各企業において迅速・適切な対応がとれるよう弁護士、弁理士数を拡充するとともに、質の向上を図ることも必要。

(7) 効率的、総合的な研究開発推進体制の構築

機械分野にとって重要な研究開発を体系的かつ効率的に進めるため、関係各機関が共同して、諸外国及び我が国全体の研究開発の実施状況等の把握、それに基づく我が国全体の立場に立った研究開発計画の立案・修正等を行う協議体を独立行政法人産業技術総合研究所に設置する。これにより、限られた人的・資金的リソースを効果的に使い、最大限の成果を出すことが期待できる。

(8) 民間企業を先導する大型研究開発の推進

国は、将来の国民生活の向上に大きな発展が期待され、国民に夢を与えられるビッグプロジェクトを推進し、民間企業の研究開発を先導すべきである。

プロジェクトの推進に当たっては、明確な責任と権限をプロジェクトリーダーに負わせるとともに、ある一定期間ごとに厳正な評価を下していくことが求められる。また、プロジェクトリーダーには優秀な若手研究者、技術者を積極的に採用すべきである。

(9) 知的基盤の整備

製造技術分野における研究開発の基盤要素である「計量・計測技術」に関しては、(米国においてNISTが実現しているように)知的基盤としての体系的な技術の提供が不可欠であり、独立行政法人産業技術総合研究所(計測標準領域研究部門)がそのような機能を発揮できるような体制を整備しておくことが、製造技術分野をはじめとする今後の我が国の産業技術の研究開発の推進

に必須。

また、製造技術に関する知的基盤は貧弱である。製造技術がIT技術と融合した技術体系に移行していくに従い、様々なデータや知識を知的基盤として蓄積していくことが求められる。現在、機械技術研究所が一部データベースを構築しているが、今後、中小企業等のニーズに応えた製造技術全般にわたるデータを蓄積する等、さらに拡充・発展させていくことが必要である。

3.4.4 企業の戦略

(1) 収益を上げる企業体質への迅速な転換

経営方針

- 事業ドメインの明確化（コアコンピタンス、アウトソーシング）
- 重点戦略分野への人材の傾斜配分（技術者のモビリティ）
- デジタル・エコノミー時代への積極的な対応（ネットワーク戦略）

事業活動

- 競争力確保のための新しいビジネスモデルへの転換

組織運営の方針

- 知識資産の棚卸しと事業展開への可能性の検討（ナレッジ・マネジメント）
- 明確な意思決定とアジャイルな事業展開が可能な企業運営組織の構築
- 社内外の経営資源の活用（M&A、ベンチャーキャピタル、アライアンス）
- 戦略的知的財産権の確立
- 社員のマインドイノベーションを引き起こす仕組みの導入（個人尊重、成果主義）

人材育成

- プロジェクトを総合的に管理できる能力を持った、国際的にも通用する技術者の育成

その他

- 企業活動のグローバル化に伴う各地域の生産特性を反映させた最適システムの構築

(2) プロセスイノベーションの再活性化

製造プロセスの中には、暗黙知として表面化されていないアナログ的な技術、技能、ノウハウ等が存在している。高度技術者・技能者の減少、高齢化等により、技能者が不足していることや、為替変動に対応した生産ポートフォリオを円滑に行うためには、各企業が主体となって、アナログ的な技術、技能、ノウハウ、暗黙知等のデジタル化、ドキュメント化を進めることが求められる。このうち可能なものについては知的財産化し、さらに、この結果を活用することにより、高度な情報システムを用いた製造システムの高度化や、EMS(Electronic Manufacturing Services) 事業への展開が考えられる。

この実践には、個人に蓄積した知的資産をドキュメント化するためのナレッジ・マネジメント

手法の活用、種々のプロセス改善手法の導入、高度な機器に基づく製造と測定結果の解析、高度情報処理技術、行動科学、脳科学、AI 等の他分野の科学を活用していくことが必要であろう。

将来的には、技術的に、原子・分子レベルでの機能設計が実用されていて、また人間の頭脳形式に近い非ノイマン型コンピュータの利用によって、製品の発想支援、及び製造プロセスの知的ストックが可能になることが期待される。

(3) プロダクトイノベーションの推進

プロダクトイノベーションを促進するため、企業は、早急に効率的に R&D 活動のための体制・プロセスを内部のみならず外部の資源を活用して構築しなければならない。

(4) 標準化活動等への積極的対応

特許戦略と標準化戦略は、企業にとって表裏一体のマーケティング戦略である。各企業は自らの製品がトップであれば特許で攻め、2 番手、3 番手であれば標準化で攻めるといふふうな状況に応じて適切な戦略を採用すべきである。

特に、標準化は、自分にあったルール作りであり、欧米の先手を打って標準化の提案を進めていくよう、企業が考えを改めるべきである。個々の技術、製品に関する標準化は、最終的には企業の利益につながるものであり、企業が中心で行っていくべきものである。また、環境・安全の分野についても、将来はビジネスチャンスにつながるものであり、企業は積極的に取り組むべきである。

標準化の会合において、十分な発言を確保するためには、欧米の標準化対策人材との間に、堅固な人的ネットワークを構築する必要がある。そのために、企業を中心にネットワーク化のために標準化対策人材を育成し、定着化させなければならない。そのためには、企業や大学における標準化対策人材の評価を高めることが是非必要である。

また、特許について、大学は技術開発シーズの宝庫である。企業は大学の技術移転機関(TLO)を積極的に使用し、大学での成果を商品化へ結びつけるべきである。

II . 競争力強化体制の検討

1. 2010年、2025年までのシナリオ

1.1 2010年までの短期的シナリオ

(1) 現状

我が国の製造企業は、その商品化技術と製造技術（プロセス）において依然として世界的に優位にある。しかしながら先端的商品のプロトタイプとなる基礎的発明に関しては、米欧企業に対して相当の遅れをとっている。

また1990年代の世界的市場経済化の流れにあって、企業価値を最大化するとの経営において、米国企業に大幅の遅れをとっている。

(2) 企業の対応策

商品化技術と製造技術の優位性を堅守して、国際的競争力を備える基礎とすべきである。

競争力のある商品、技術分野（ビジネス・ドメイン）に特化して企業経営し（コアコンピタンス）、所要の要素、技術、知識を積極的に外部からグローバルに調達し（アウトソーシング）、結果として企業価値を最大化するように努めるべきである。

企業利益の相当量を次世代の商品・技術の研究・開発に投資し、世界市場をリードすべきである。

(3) 国家の対応策

国内に多数の企業が立地するような社会基盤、産業基盤、政策基盤の一層の整備に努めるべきである。

社会基盤としては、最近多くの規制緩和と法改正がなされたが、依然として我が国における実質的な法人課税などに問題が残されているので、さらなる改善が求められる。

政策基盤としては、製造技術を支える戦略的技術者と高度技能者の育成、および我が国製造業を支える中小企業の国際化支援に努めるべきである。

(4) 目標

既存製造企業のサービス業態化の促進、これまで培ってきた優れた製造技術の革新（プロセスイノベーション）および、魅力のある工業製品の開発・革新（プロダクトイノベーション）を遂行し、機械産業・製造業が我が国GDPの相当量を占めるように努める。

併せて工業製品および製造業が、人間社会および自然環境と調和すべく技術革新（ソーシャルおよびエンバイロメントイノベーション）を進め、先進社会はそれまでの量産・廃棄のパラダイムから、適量生産・最少廃棄のパラダイムにかなり移行している。

1.2 2025年までの長期的シナリオ

(1) 2025年の状況

世界人口が75億人まで増加し、食糧・エネルギー問題が顕在化する。南北間隔差の縮小の動

きが強まり、このことが人工物・工業製品の利用を拡大し、結果として現在の予測を超えた自然環境の破壊が発生し得る。これを解決するために、製造技術に対する期待が増すと同時に、あり方が問われる。

(2) 企業の対応策

製造のパラダイムは環境に100%調和していることを原則とし、そのため先進国の大手企業は、自然界と人工界とが完全循環できる製造に努め、相当量が実現されている。中小企業の多くは、単純な下請け業なるものはほとんど無くなり、独自の製品や機能モジュールを製造するようになっている。

技術的には原子・分子レベルでの機能設計が実用されていて、また人間の頭脳形式に近い非ノイマン型コンピュータの利用によって、製品の発想支援、および製造プロセスの知的ストックが可能になっている。

(3) 国家の対応策

完全循環製造(インバースマニュファクチャリング、エミッション・フリー・マニュファクチャリング)を実現するため、生産と消費の近接化、および異なった業種が一地域に集積する産業クラスター化を促進する施策を展開している。そのため我が国にあっては、地域に特色をもったクラスター化が実現されるよう、今日の地方自治体が大きな区分けに再編され、地方分権による産業行政が展開されている。

技術・工学教育は今日の如き産業分野ごとの学部・学科割りの組織よりは、人工物の創成・発案(「機能」)に重点を置いた組織でなされ、新人技術者教育と既存技術者の生涯教育が教育機関にて一連でなされ、かつ遠隔教育の手法が相当量採用されるような施策を展開している。

(4) 目標

先進国の大手企業は、自然界と人工界とが完全循環できる製造に努め、相当量が実現されている。

今日的工業製品の多くは今日の発展途上国で生産され、我が国製造企業は、その開発、プロトタイプ、製造方法などに関する知的ストックをもとに指導的位置にあり、またバイオ・ナノ・ブレインをキーワードとする高付加価値製品の大半は我が国で発案・製造され、世界市場をリードしている。

1.3 2010年、2025年までの競争力強化の方策

競争力強化の方策は、企業自体がプロセスの大幅な改善をもとに競争力を強化することが主な課題で、国は制度的なサポートを行ない、2010年までには強力な企業競争力を確立することを目指す。それと同時に、2025年までに我が国及び世界が環境の保全と生活の向上の両方を達成できるような製品、生産プロセス等を産官共同で推進していくための方策を検討する。

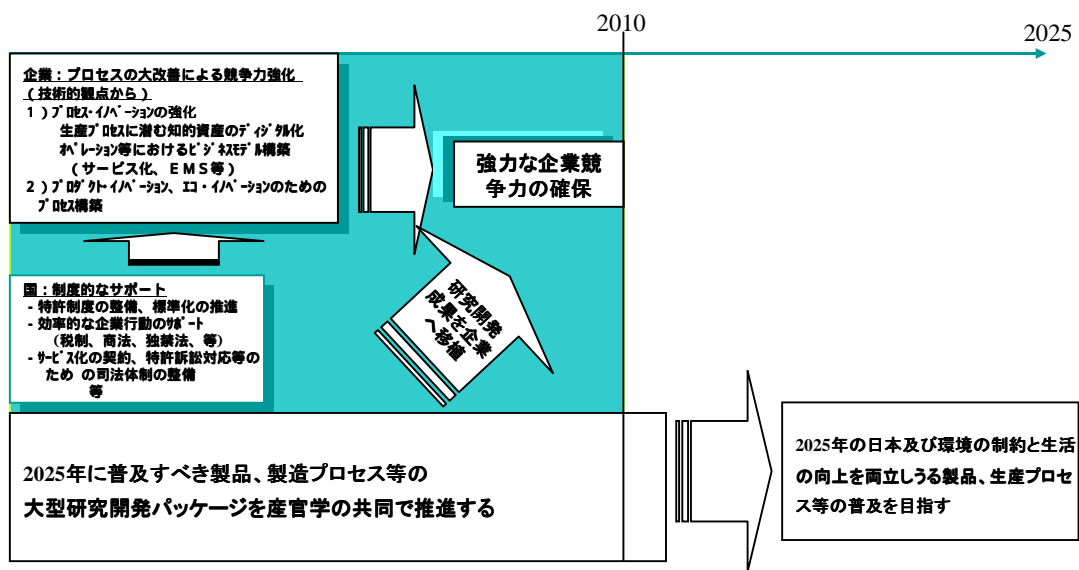


図 9 2010年、2025年までの競争力強化の方策

2. 我が国製造業を取り巻く環境の変化と強み・弱み

2.1 企業を取り巻く環境の変化

21世紀に向けて、全世界的に、社会経済の構造は、グローバル化、デジタル・エコノミー化、知識社会化、産業構造のサービス化、資本の流動化、等が進んできている。また、プラザ合意以降の為替変動リスクも製造業にとって、大きな問題として存在している。

また、国内に目を移すと、我が国はバブル崩壊に伴う長期の景気低迷から抜け出せないままである。その上、他国と同様に金融ビッグバン等により、従来からのメインバンク制、株式持合等は崩壊の方向に進んでおり、金融・資本市場は大きな変貌を遂げようとしている。

このような中で、企業を取り巻く環境は大きく変化しており、企業評価の尺度が以前とは異なってきている。最近では、従来以上に企業業績が重視されるよう変化してきており、良好なパフォーマンスは、金融・資本市場への資金調達面での重要なアピール点となってきている。また、企業は、強者(勝ち組み)連合の形成へ動いてきており、この点からも良好なパフォーマンスが求められる。

また、国・地域レベルでは、自国の主権を重視する方向に動いてきている。このような環境変化を鑑み、競争力強化のために、国、企業とも方策を検討する必要がある。

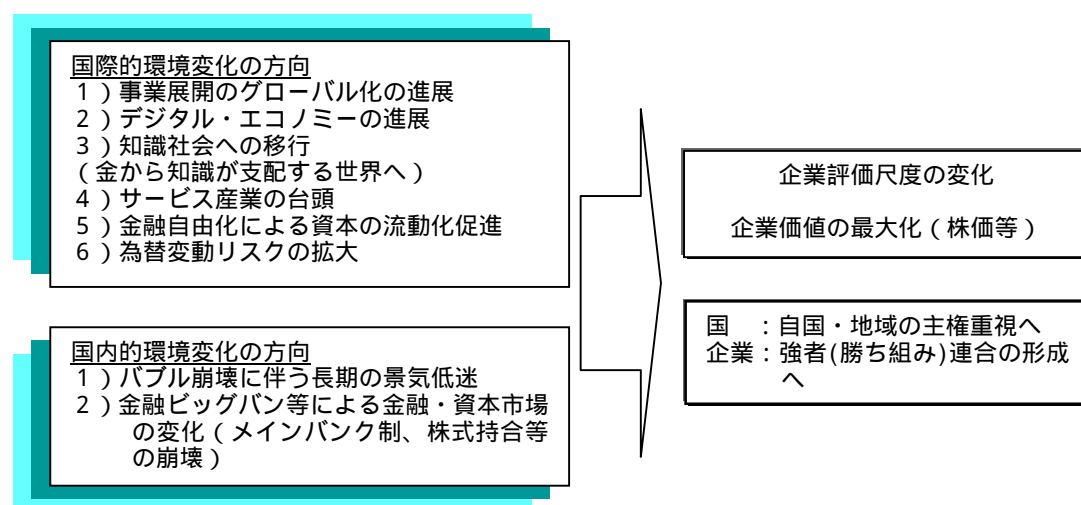


図 10 企業を取り巻く環境の変化

2.2 我が国の強み

米国の研究者が行なったアンケート調査では、以下に示した画期的製品 38 品目のうち、我が国で発明されたものは全く存在せず、新商品化されたものでさえ 2 品目とされている。これは、

米国の強みはプロダクトイノベーションにあるが、我が国の強みはプロセスイノベーションに存在する。また、下記の製品には、市場シェア等が日本が優位になった（あるいはなっている）製品が多く、我が国には、商品化と製品の作り方に強みがあったと考えられる。

表 1 発明、新製品化、商品化の数（全 38 品目中）

	米国	欧州	日本
発明	29	11	0
新製品化	30	6	2
商品化	17	3	24

注) 上記数は複数国・地域で発明等がなされたものがあるため必ずしも 38 にはならない。また、発明・新製品化・商品化の定義はアンケート回答者の判断による。

<ul style="list-style-type: none"> • 先端複合材 • 電気自動車用バッテリー • アンチストップブレーキ • 自動焦点カメラ • 民間ジェット機 • 通信機器 • CDプレーヤ • CAD 	<ul style="list-style-type: none"> • デジタル時計 • メモリ半導体 DRAM • 医薬品 • ファクシミリ • 光ファイバ • ファジイロジック応用技術 • 卓上計算機 • 高温超伝導体 • 半導体製造装置 	<ul style="list-style-type: none"> • マイクロプロセッサ • 軍用レーダ • ノートブックコンピュータ • 数値制御工作機 • ロケット推進技術 • ロボット • 半導体レーザ • ソフトウェア • スーパーコンピュータ 	<ul style="list-style-type: none"> • AV 機器 • コピー機器 • デスクトップコンピュータ • 半導体検査装置 • ジェットエンジン • 医療用画像診断装置 • TQM (TQC) • ビデオレコーダ • テレビ受像機
--	---	---	--

(出所) 米国商務省

2.3 我が国の弱み

しかしながら、今日、市場の変化にいかん早く対応するかが企業にとっても最も重要なファクターであり、経営上の問題を中心に種々の弱みを抱えている我が国の製造業は、個々の事業、技術では優れているにもかかわらず、企業全体では業績が低調な企業は少なくない。

(1) 規範的経営戦略の精緻性、トップマネジメントの意思決定の曖昧さ

高度情報化社会の到来による情報の共有化・即時性の急激な進展の中で、規範的経営戦略の精緻性、トップマネジメントの意思決定の曖昧さが日本企業の欠陥として浮上してきている。既存の事業の再構築、体系的な技術開発目標等について、コアコンピタンスの明確な企業と事業分野が多岐に渡る大企業との間に格差が発生している。事業の撤退、再構築等を円滑に行なってこなかったため、設備、雇用、負債の過剰の問題を解消できないままである。

(2) ビジネスモデルの構築能力の弱さ

GE は、医療機器、航空機エンジン、重電機器等の遠隔診断のサービスを提供し、そこから利益を得るように構造に転換している（製造業のサービス業化）。また、ソレクトロンは、PC メーカー、通信メーカー等の製造アウトソーシング事業を請け負っているが、産業機械の分野においても

同様なモデルは可能であろうか(Electronic Manufacturing Services [EMS])、いずれにせよ、我が国の企業では、そのようなビジネスモデルは、顕著になっておらず、今後は、製品のオペレーションやリース、レンタル等のエコ対応を中心に新たなビジネスモデルを構築していく必要がある。

(3) 技術上の問題点

- プロダクトイノベーションへの変革の必要性

前述で示したように、ここでは画期的製品 38 品目のうち、発明は 0 品目、新製品化は 2 品目で極めて少なく、プロダクトイノベーションの力は弱い。

- 国際的ルール作りの立ち遅れ

ISO 等の国際的なルール作りの場で主導的な立場が取れず、日本発の国際標準がほとんど存在しない。特に品質管理は、世界第一級の評価を受けた後、普及等の努力を怠り、欧州主導となってしまった。

(4) 生産活動上の問題

- 製造業における若年技術者、技能者の不足

- 技術者の倫理、総合的なプロジェクト管理能力の問題から、一部では製造プロセスの弱体化が発生している。

3. 企業の競争力強化の方向性

3.1 企業の競争力強化の施策

今後、短期的に製造業が、良質な製品・サービスの迅速な提供を行い、企業としての競争力強化を付けていくためには、経営方針、事業領域、組織運営等の観点から、以下のような施策をとっていく必要がある。

(1) 経営方針

- 事業ドメインの明確化（コアコンピタンス、アウトソーシング）
- 重点戦略分野への人材の傾斜配分（技術者のモビリティ）
- デジタル・エコノミー時代への積極的な対応（ネットワーク戦略）

(2) 事業領域

競争力確保のための新しいビジネスモデルへの転換

(3) 組織運営の方針

- 知識資産の棚卸しと事業展開への可能性の検討（ナレッジ・マネジメント）
- 明快な意思決定とアジャイルな事業展開が可能な企業運営組織の構築
- 社内外の経営資源の活用（M & A、ベンチャーキャピタル、アライアンス）
- 戦略的知的財産権の確立
- 社員のマインドイノベーションを引き起こす仕組みの導入（個人尊重、成果主義）

(4) その他

グローバル化には生産文化論的視点からの検討が必要（地域特性を反映した最適システムの構築）

3.2 今後の企業の在り方

為替変動、人件費等のコストの問題から、生産は今後ますますグローバルに展開していくと考えられる。その際に、グローバル本社には、全世界を統括するために、次のような能力を保持している必要がある。

- 全世界の組織を効率的にオペレーションできる経営ノウハウ
- 優れた伝播可能な生産プロセスのノウハウ（ドキュメント等の明示化された知的資産、等）
- 新しいプロダクトの技術開発力（エコロジー対応も含め）

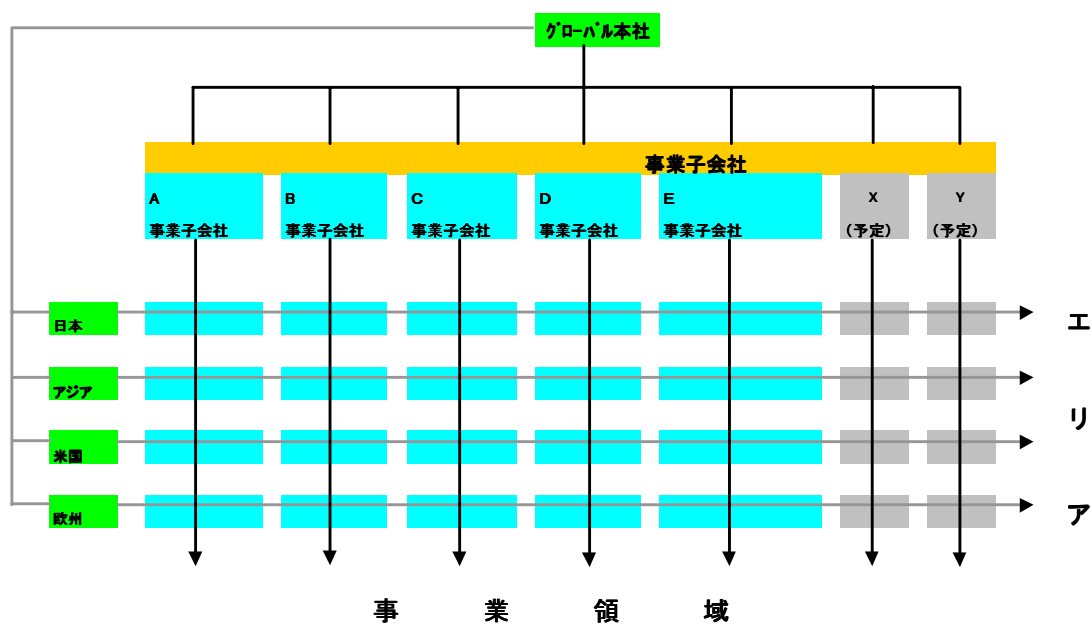


図 1 1 グローバル企業のイメージ

中小企業については、企業間のネットワーク化により国際的な展開を行い、世界の大企業を相手にグローバルな展開を行っていると考えられる。

- ONLY ONE 企業を目指した戦略
- 新しいプロダクトの技術・開発力（エコロジー対応も含め）

4. 製造業の事業展開の方向性

4.1 製造業の事業展開の方向性

前章で検討したように、我が国の製造業は、製造プロセスに強みがあった。これを基盤に業務フローの各部分（研究開発、運用、リサイクル・廃棄）への競争力を確保していく方向へ拡げていく必要がある。

(1) 2010年に向けて

主として、製造プロセスにおいて技能等のデジタル化、ドキュメント化を進め、製造のレベルの維持・向上をはかる。研究開発、運用等の部分においても、A&D(Acquisition & Development)、研究・オペレーション等のアウトソース活用・自前主義脱却等のプロセス面での改善を図っていく。

(2) 2025年に向けて

環境制約の打破と国民生活向上の観点から実施する大型研究開発パッケージの成果を活用した、製品・サービス等を考案していく。

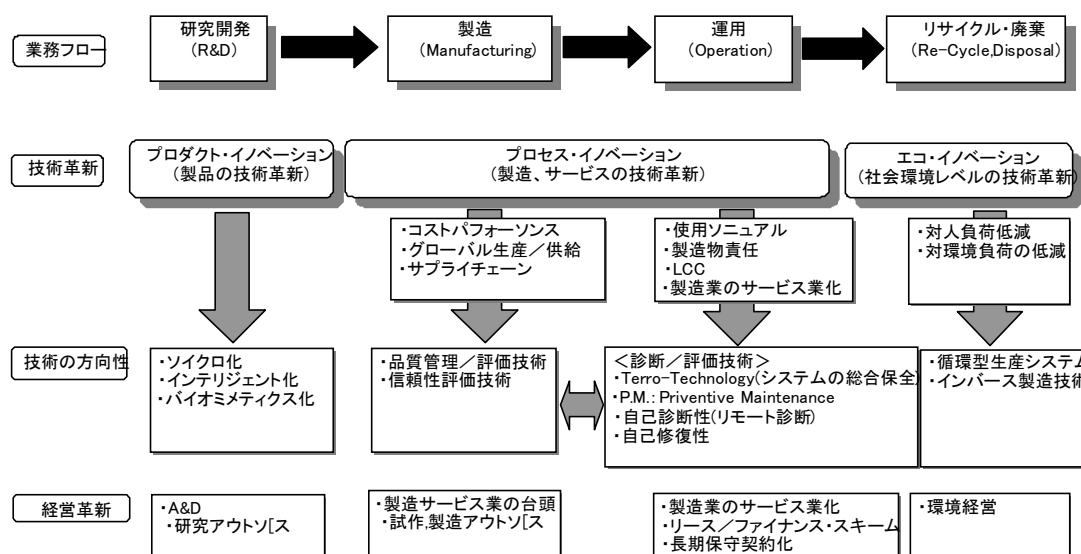


図 1.2 業務フローごとの事業展開の方向性

4.2 プロセスイノベーション（製造）の再活性化

高学歴の技術者・技能者の製造現場への関与により、製造プロセスに我が国の強みがあった。この再活性化には、ものづくり教育の推進による優秀な人材の育成やプロジェクトマネジメントの推進、製造プロセスの中には、暗黙知として表面化されていないアナログ的な技術、技

能、ノウハウ等のデジタル化、知的財産化が必要となってくる。

については、大学における教育や第三者機関による認定制度の在り方を検討すべきであろう。高等教育では、製造戦略士 (MMS : Master of Manufacturing Strategy) 等のように、経営と工学の双方を把握している人材を養成するためのコースを開設すべきと考えられる。また、就職後も再度大学等で教育を受ける機会を拡張していく必要がある。

については、各企業が主体となって取り組むべきであろう。高度技術者・技能者の減少、高齢化等により、技能者が不足していることや、為替変動に対応した生産ポートフォリオを円滑に行うためには、アナログ的な技術、技能、ノウハウ、暗黙知等のデジタル化、ドキュメント化を進めることが求められる。

さらに、この結果を活用することにより、高度な情報システムを用いた製造システムの高度化や、EMS 事業への展開が考えられる。

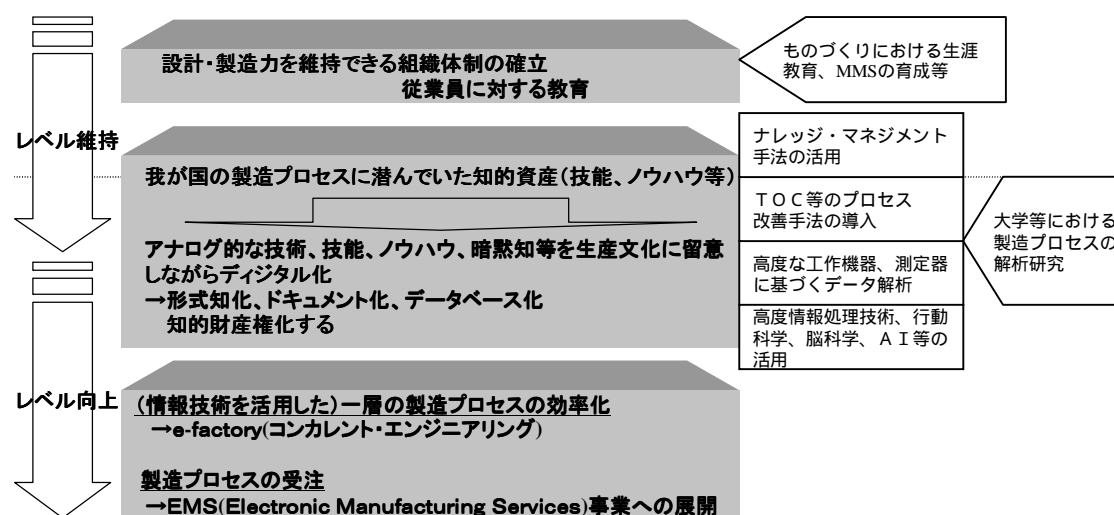


図 1 3 製造プロセスのレベル維持・向上のイメージ

この実践には、個人に蓄積した知的資産をドキュメント化するためのナレッジ・マネジメント手法の活用、種々のプロセス改善手法の導入、高度な機器に基づく製造と測定結果の解析、高度情報処理技術、行動科学、脳科学、AI 等の他分野の科学を活用していくことが必要であろう。

技術的には、原子・分子レベルでの機能設計が実用されていて、また人間の頭脳形式に近い非ノイマン型コンピュータの利用によって、製品の発想支援、および製造プロセスの知的ストックが可能になると期待される。

4. 3 プロセスイノベーション (オペレーション) の構築

オペレーションのサービス化は、新しいビジネスモデルの構築が必要となり、現行では欧米企業に優位性がある。今後、この分野を強化していくには、メンテナンスノウハウ、IT を活用した

システム構築に加え、ファイナンス、リース、保険等のスキームの確立、契約手法の確立（SLA等、料金体系も含む）が求められる。ファイナンス、リース、保険等のスキームの確立、契約手法は、モデル契約者等の知的資産の蓄積が多い米国に比べ弱い部分であり、業界団体等でモデルスキームを検討する必要があるだろう。

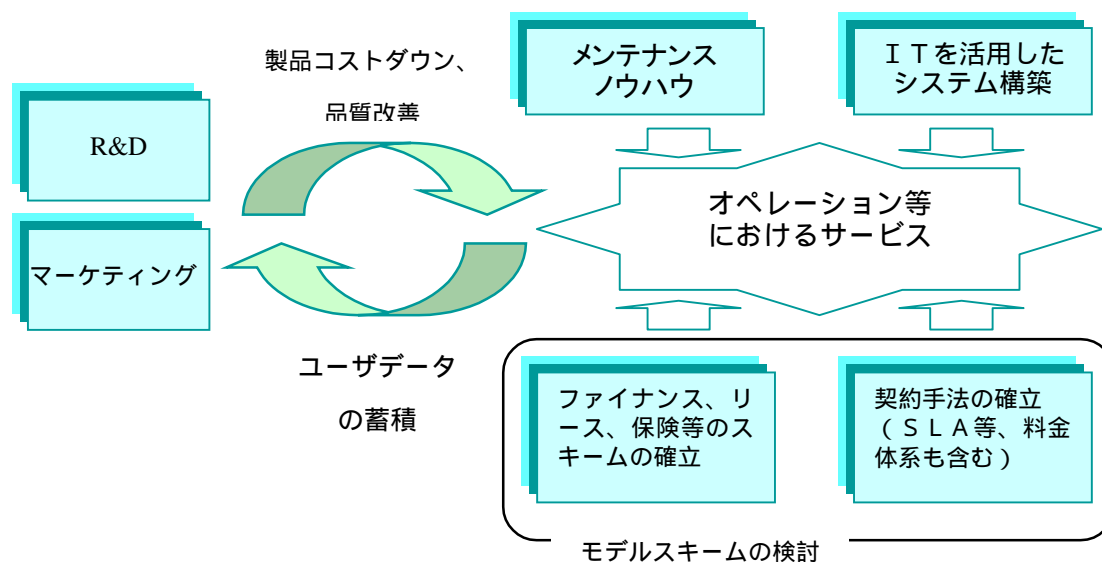


図 1 4 オペレーションに関するビジネス・モデルイメージ

4. 4 プロダクトイノベーションの促進

(1) 企業

企業は、短期的に効率的 R&D 活動のための体制・プロセスを内部のみならず外部の資源を活用して構築しなければならない。

(2) 国

- 短期的な支援

企業が R&D 活動を円滑に行なえるように、税制、法律面といった法制度面の環境整備を中心とした支援を行なっていく。

また、R&D の成果を守り強めるために、弁護士・弁理士等の増員や、産学官一体となった標準化活動の推進が求められる。

- 長期的な（2025 年に向けての）支援

2025 年には、世界的に環境への対応が一層厳しくなると予想される。環境制約に十分対応しているだけでなく、国民生活の高度化に寄与できる製品が求められる。

こうした長期的な R&D は、多くの企業の将来の目標として明示的なテーマが望ましい。また、個別的ではなく、大型パッケージとして提示できることが求められる。

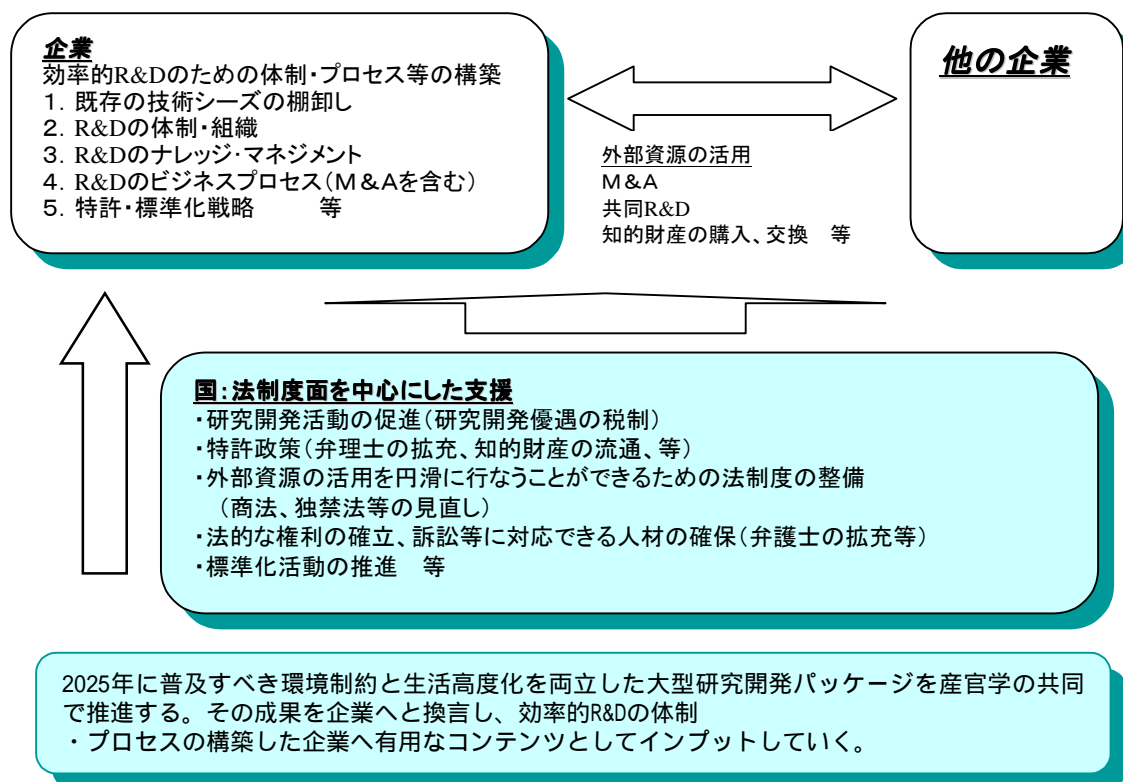


図 15 プロダクトイノベーションの促進

4.5 エコ・イノベーションの推進

2025年に向け、環境との調和を目指した製品開発、製造プロセス、オペレーションが重要視されてくる。企業もそのための体制・プロセスを整えることが求められるが、このような長期的なテーマは、大型研究開発パッケージを提示し、産官学の連携で研究開発活動を推進することが必要であろう。

また、長期的な観点から、我が国がイニシアチブを取って、製造技術の環境の国際規格を提案していくことも必要であろう。

我が国製造業が、将来、世界の市場において先進的、主導的な立場と市場ポジションを獲得するための技術戦略の基本構造を示す。環境対応の新技術戦略の大きな柱が「エミッションフリー高度工業化社会の実現」へ向けた取り組みとして捉えられる。ここでは、環境技術で我が国が世界を牽引し、循環型生産システムの構築に貢献できるための技術戦略の方向性として、環境対応知的基盤、エミッションフリー製造基盤、インバースマニュファクチャリング、の3つの

大きな柱を掲げた。通産省主導で既に取り組みが開始されている「インバースマニュファクチャリング」、「インバースロジスティクス」等の技術開発の方向性に加え、ここでは「エミッションフリー製造基盤」、「環境対応知的基盤」を掲げており、循環型生産システムを機能させるための構成要素として、技術戦略の柱と位置付けられる。

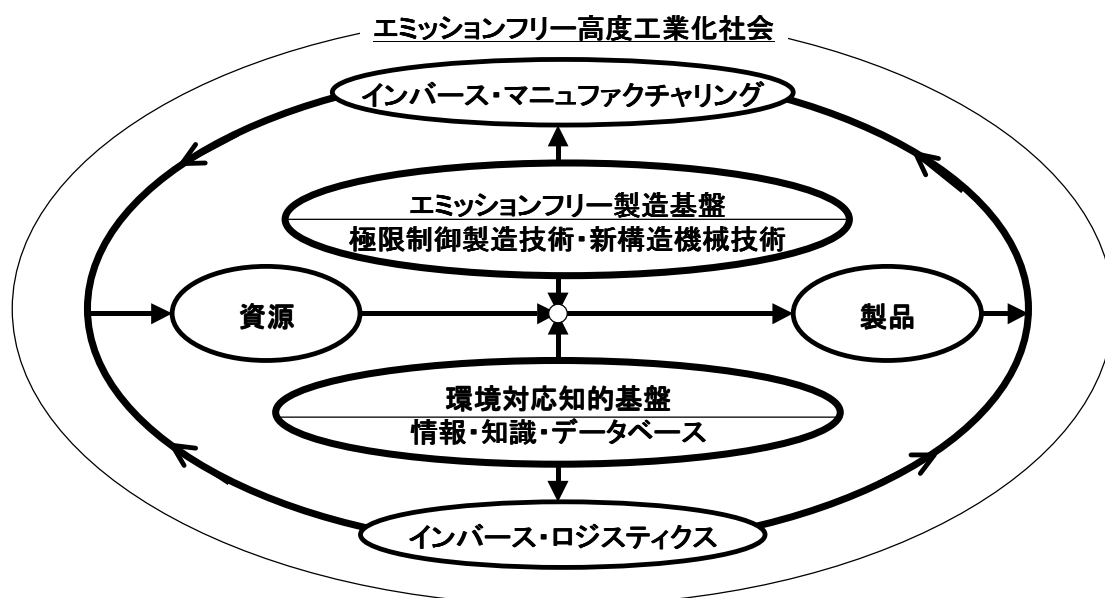


図 16 エコ・イノベーションの推進

4.6 製造業の事業展開の方向性と国の施策

企業は、自社の価値最大化に向け、プロダクトイノベーション、プロセスイノベーション、エコ・イノベーションを模索していくが、これを国は制度的支援や長期的な研究開発を通じてサポートしていく。

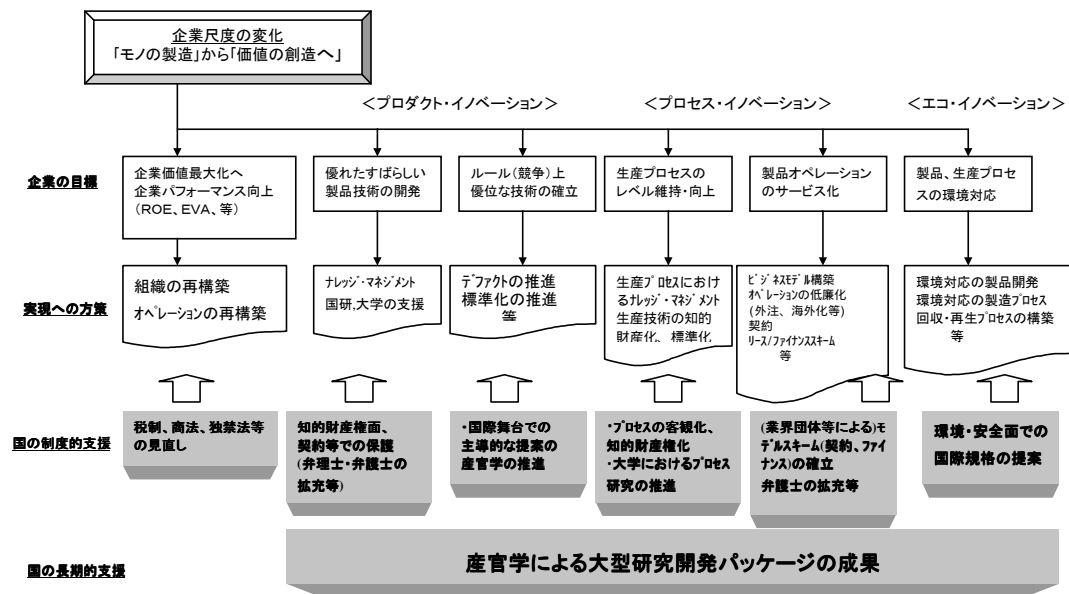


図 17 製造業の事業展開の方向性と国の施策

5. 国の役割

5.1 企業への短期的な支援（制度面での支援を中心に）

（1）企業組織、ビジネスモデル等の迅速な改善、事業革新の促進

我が国の企業の空洞化を招きかねない。税制、商法、独禁法等の見直しあるいは柔軟な運用を行うことが求められる。

例)

- 実効税率の低下
- 連結納税の導入
- 大規模会社の株式保有規制
- 100%子会社化のための強制現金買収 等

（2）企業の技術革新のインセンティブ付け

企業における研究開発を促進するようなインセンティブ付けを行う必要がある。

例) 試験研究費の額が増加した場合等の税額控除について、研究費全体は前年度と同額あるいは縮小していても、売上額に占める割合が増加した場合には、全試験研究費について一定割合を法人税額から控除する。

（3）企業の国際ルール作りに対する支援

産学官の協調により、主導的な国際標準化を推進する。（機会安全等）

（4）事業の安全性・権利の保護の確保

企業が契約等で不利にならないように、業界によるサービス事業等におけるモデル契約書の作成や弁護士、弁理士を拡充する。

5.2 長期的視座からの研究開発の支援

（1）人材の育成

エコロジー対応を含むプロダクトイノベーションの能力を有する優秀なエンジニアを育成することが、我が国製造業の持続的発展のために必要である。

技術・工学教育は、現在のような産業分野ごとの学部・学科割りの組織よりは、人工物の創成・発案に力点を置いた組織でなされ、新人技術者教育と既存技術者の生涯教育が教育機関にて一連でなされることが求められる。

国のプロジェクトのリーダーとして、若手研究者、技術者を採用することが望まれる。

また、優秀な技術者・技能者の地位を高めることが必要で、「カリスマ製造技術者・技能者（仮称）」に対し、表彰等により知名度を向上させ、若い人材が憧れを持ち、製造業の道に進むように喚起すべきである。

(2) 大型研究開発の推進

2025 年の製造業にとっての重要課題は、「地球上の全人類に適切な利便性を与え、資源・エネルギーを枯渇させることなく、地球温暖化、オゾン層保護等の地球環境問題にも適切に対応し、かつ完全循環製造の実現により、自然と調和し、グローバルな生産性を最大化すること」である。

2025 年に向け、環境との調和を目指した製品開発、製造プロセス、オペレーションが重要視されてくる。国としても、長期的な視座から、環境を中心に、個々の小さな技術ではなく大型研究開発パッケージを提示し、産官学の連携で研究開発活動を推進することが必要であろう（個別の企業が長期的な目標を持てるという意味からも必要）。また、同時に国際的な協調を図りながら、研究開発を推進することが求められる。

- 例) エミッションフリーマニュファクチャリング
 インバースマニュファクチャリング
 マイクロファクトリ

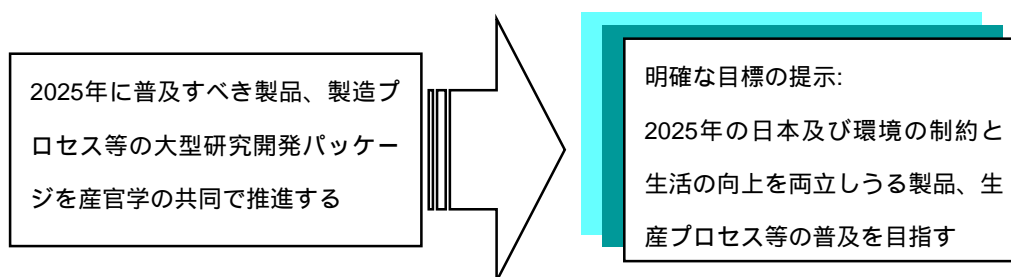


図 1 8 大型研究開発の推進

(3) 効率的、総合的な研究開発の体制の構築

今後の新製造技術分野にとって重要な研究開発を体系的かつ効率的に進めるためには、現在のように各機関が独立に行っている状況を改め、我が国全体の立場に立って研究開発計画の立案、我が国全体の研究開発に関する実施状況の把握、それに基づく計画の修正等を行う、関係機関の代表者、有識者、専門家からなるコーディネート機関が必要。これにより、限られた人的・資金的リソースを効果的に使い、最大限の成果を出すことが期待できる。

コーディネート機関は、独立法人化される国立研究所を中心として、(財)製造科学技術センター、(財)マイクロマシンセンター、関係省庁等関係機関の代表者、大学、企業の有識者・専門家により構成する。

プロジェクトの進め方は、明確な責任と権限をプロジェクトリーダーに負わせるとともに、ある一定期間ごとに厳正な評価を下していくことが求められる。また、プロジェクトリーダーに若手研究者、技術者を積極的に採用すべきである。

5.3 標準化の推進

これからの標準の捉え方は、自分にあったルール作りであり、欧米の先手を打って標準化の提案を進めていく必要がある。この点について、企業が考えを改めるべきである。

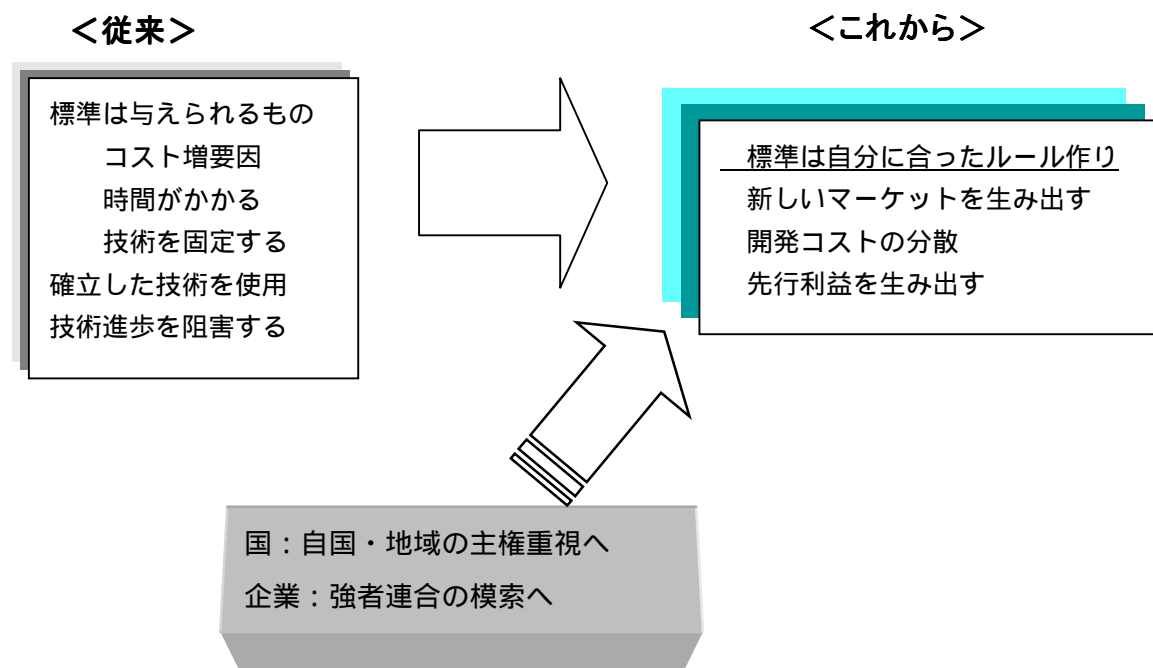


図 19 従来とこれからの標準の捉え方

個々の技術、製品に関する標準化は、最終的には企業の利益につながるものであり、企業が中心で行なっていくべきものである。また、機械の環境・安全に関する規格等の見直し等は、欧米とのネットワークを構築しつつ、産官学を挙げて取り組む必要がある。この分野についても、将来はビジネスチャンスにつながるものであり、企業は積極的に取り組むべきである。

体制については、標準化の会合において、十分な発言を確保するためには、欧米の標準化対策人材との間に、堅固な人的ネットワークを構築する必要がある。そのために、企業、官庁ともにネットワーク化のために（企業を中心に）標準化対策人材を育成し、定着化させなければならない。そのためには、標準化対策人材の評価を高める必要がある。

また、テーマは、今後取り上げられそうなものを欧米に先んじて深く検討しておくことが求められる。

こうしたことを可能にするために、産学官を結集した製造技術分野における標準化戦略策定の場の設置し、国際舞台における提言力をつけるために、産学官を結集した製造技術分野における標準化戦略策定の場の設置する必要がある。

なお、国のプロジェクトを評価するメンバーには、標準化に精通している人材を含め、研究の段階から国際的な標準化活動を有利に行える素地を形成しておく必要がある。

5.4 各公的機関の役割

現状では、大学、国立研究機関、公設試験場等について、重複している機能も存在するため、機関の役割付けを明確化することと機関・個人に対する公正なかつ厳格な評価方法の検討が必要である。

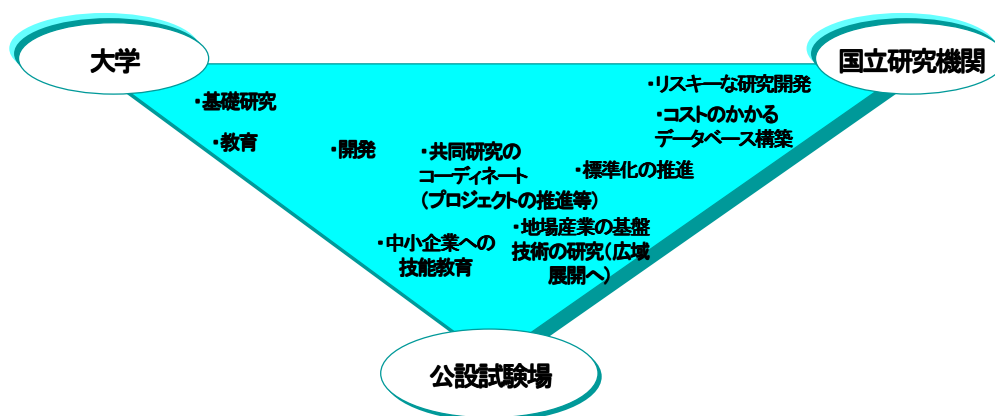


図 20 各公設機関の役割

6. 参考

(1) 過剰設備、過剰雇用

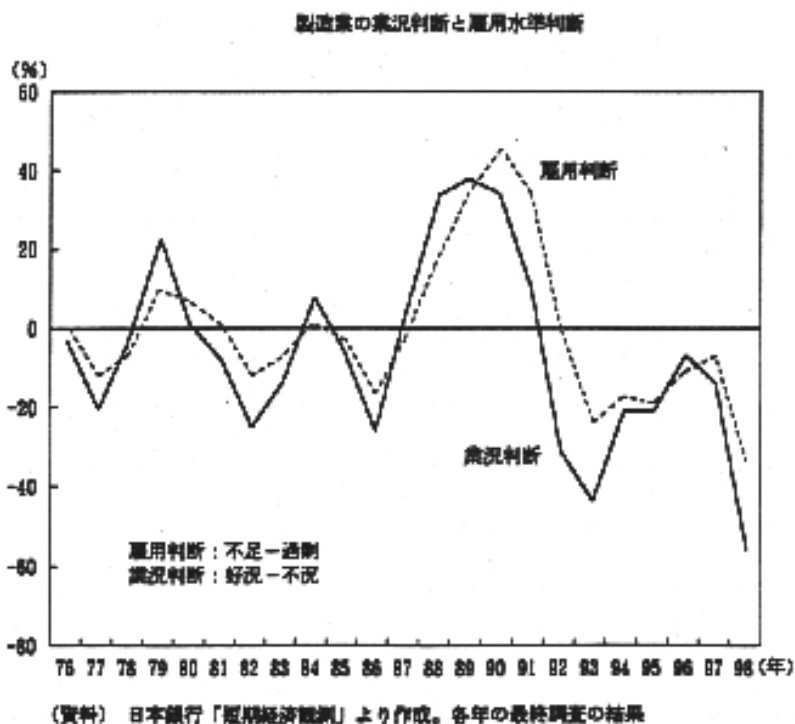
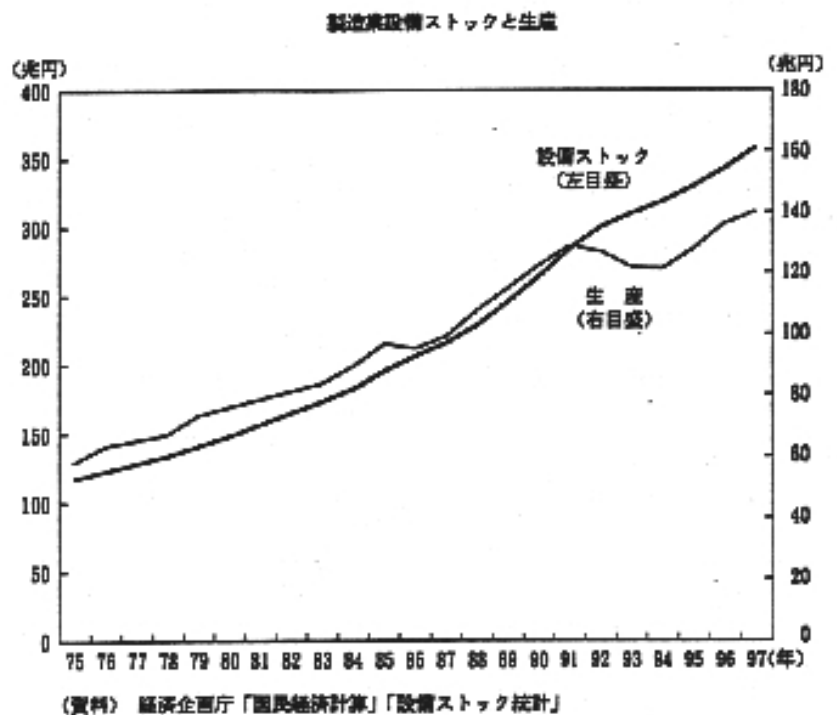
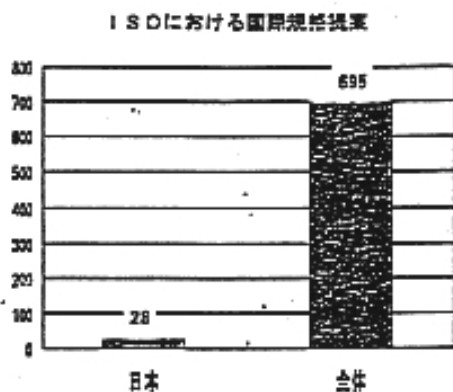


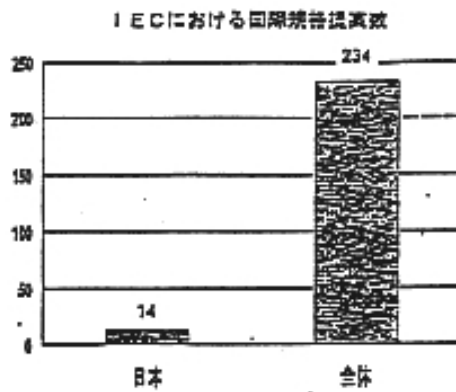
図 2 1 過剰設備、過剰雇用

(2) 国際標準化への対応の遅れ

＜国際規格採択数＞

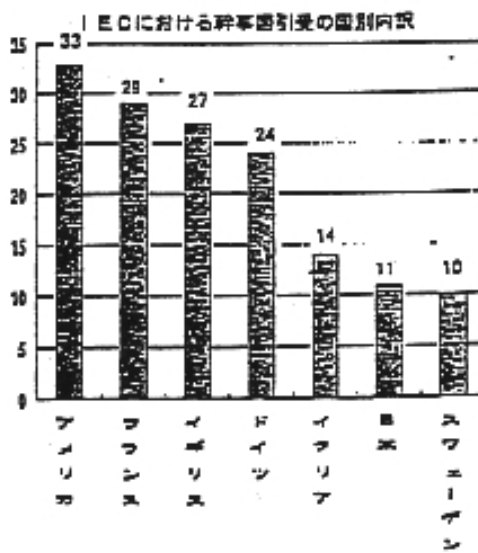
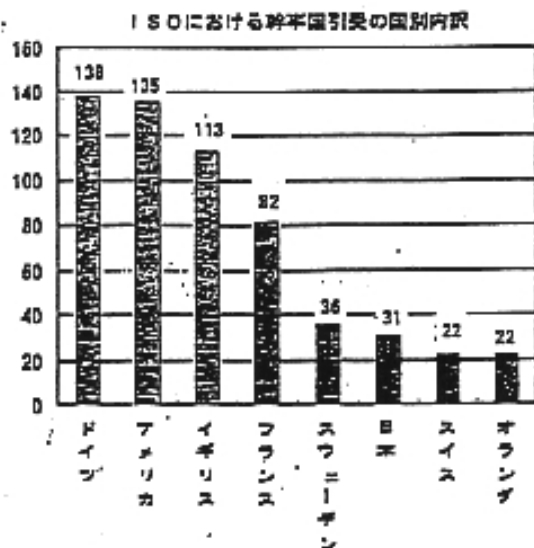


出所：全体) ISO/IEC中央事務局 (1998年)



日本) 工業技術院標準部 (1998年度)

＜採択国引受の国別内訳＞



出所：全体) ISO/IEC中央事務局 (1998年)

図 2 2 国際標準化への対応の遅れ

(3) 学生の製造業離れ

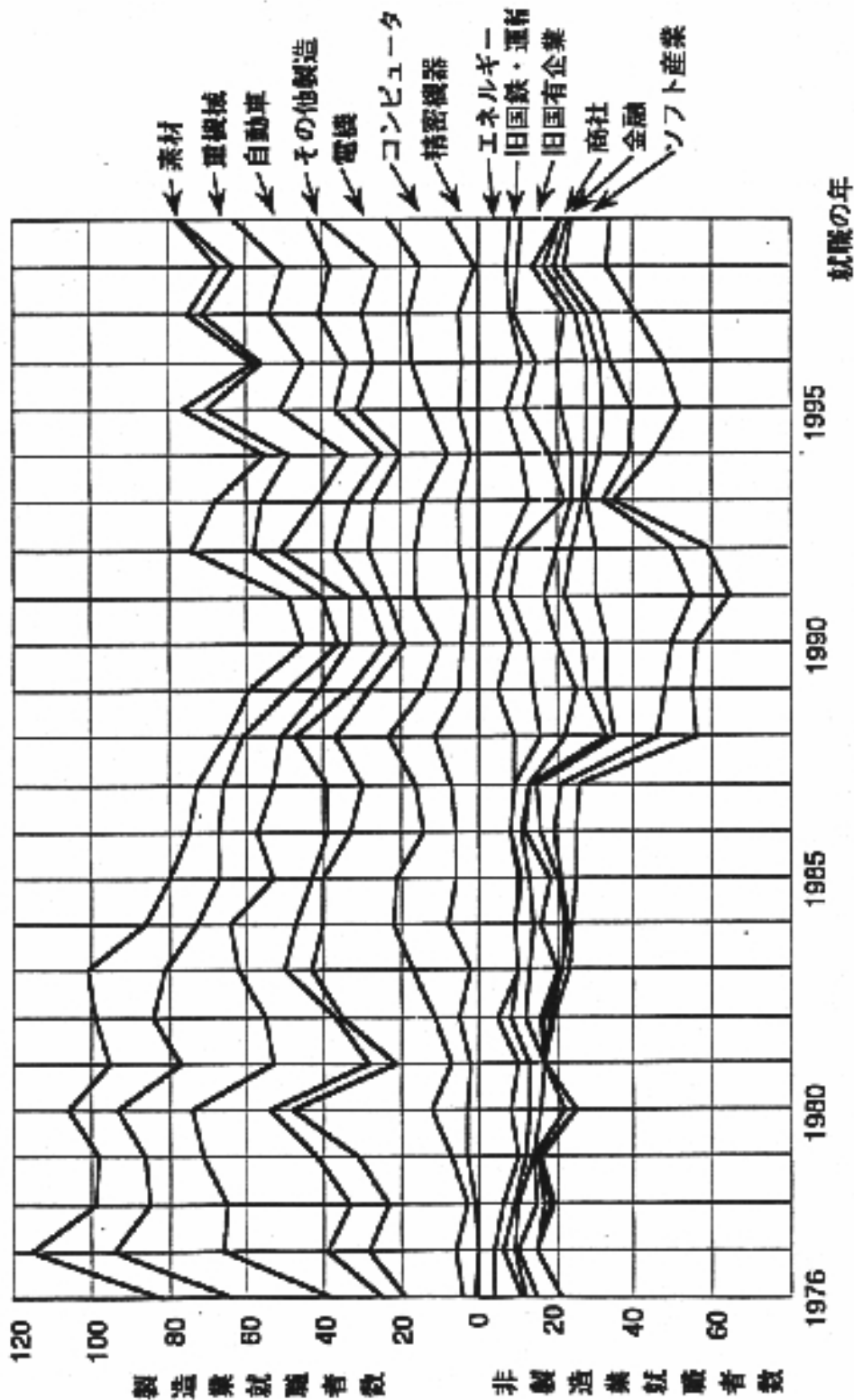


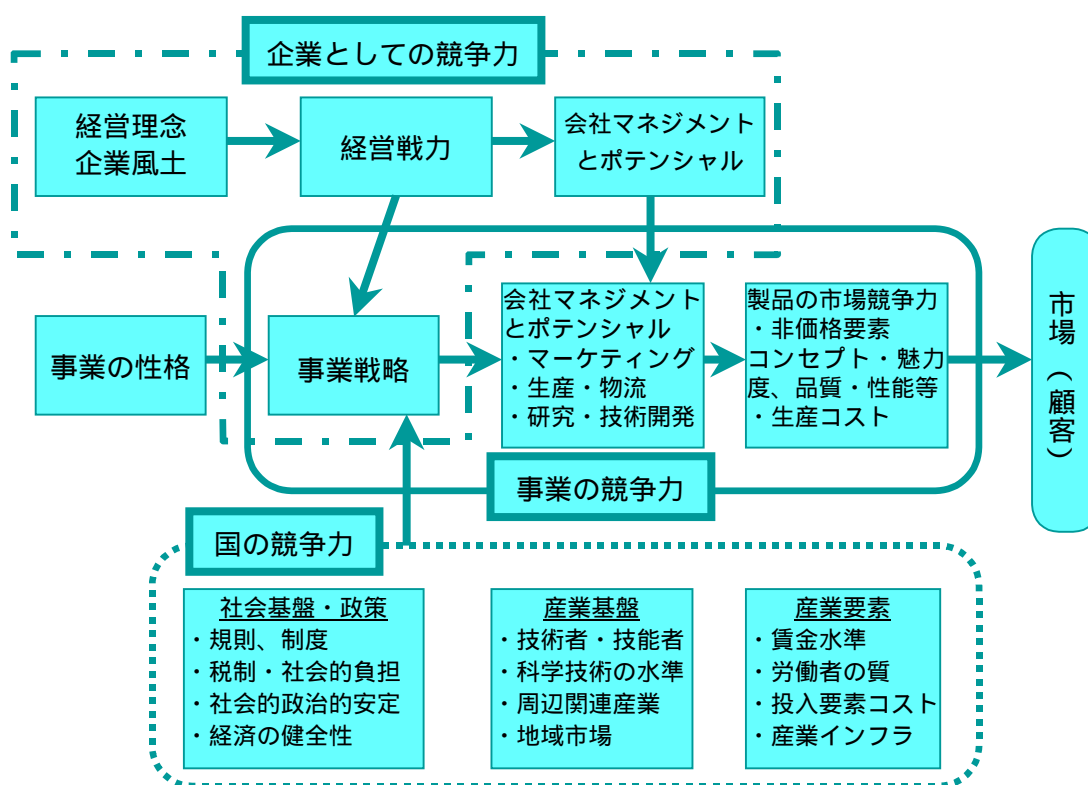
図 東大機械系3学科学生の就職先の変化
—1976年～1999年—

図 2 3 学生の製造業離れ

(4) 企業競争力と国家競争力

企業としての競争力を国の競争力が有効に支援することにより、製品・サービスを市場に供給する事業としての競争力を強くすることができる。国の競争力の要素としては、社会基盤・政策、産業基盤、産業要素が挙げられる。

自立的に競争力を強化しようとする企業に対し、国は有効な支援を行う必要がある。



(出所) 原陽一郎「国際競争力と産業高度化のイノベーション」

図 2 4 企業競争力と国家競争力

III . 知能情報化に関する技術検討

1. 製造業における知能化・情報化の方向性

過去の 10～20 年間で工業・産業を中心とする技術や経済であったのに対し、今後は人間を中心とする技術に方向性が移っていくと思われる。このような流れの中で、情報を取扱う技術と高度情報化の進展とともに求められる製造に関する技術がともに変化してくると考えられる。

また、若者の製造業離れが懸念され始めて 10 年を経た今日、製造立国を標榜する我が国における製造技術者と技能者の不足は慢性化している。とりわけ個々の技能者に培われている伝統的製造技能は、我が国製造産業の根幹であるにも拘わらず、その伝承が極めて困難になっている。例えば試作金型のように、熟練金型工が生産現場の状況を熟知しながら、現場との調整を経て金型を完成させていくプロセスの創意工夫には、膨大かつ高度な製造知識が内在しているが、これを科学的手法をもって獲得し体系化できるには至っていない。このように現場に隠されている製造知識を客観化し体系化することは、単に技能の伝承を可能とし、製造業の競争力を強化するばかりでなく、製造知識の発展途上国への移転という重要な側面も併せ持っている。

従来、我が国の強みはプロセスイノベーションに存在し、商品化と製品の作り方に強みがあったと考えられている。従って、短期的観点から企業の国際競争力をつけるためには、製造プロセスの中に潜んでいる、暗黙知として表面化されていない知的資産などアナログ的な技術、技能、ノウハウのデジタル化、知的財産化が必要となってくる。長期的な観点からは、世界的に環境への対応が一層厳しくなると予想されるため、環境制約に十分対応しているだけでなく、国民生活の高度化に寄与できる製品が求められる。さらに、優秀な人材の育成とともに、人間頭脳形式に近い非ノイマン型コンピュータの利用によって、製品の発想の支援、および製造プロセスの知的ストックが可能になっていることであろう。

(注) 知能化・情報化とは

情報化とは、例えば、設計・製造プロセスにおける膨大な暗黙知のような、知的資産であるが、組織内部や個人の中に潜んでいて、顕在化せず知識化していないものについて、デジタル化やドキュメント化することである。

知能化とは、起こる現象についてのモデルと知識を持ち、現在起こっている現状の情報と知識を使って所望の現象を起こさせ、しかもシステム自体が自動的に進化することである。特に、現象が所望のものとは異なっている場合、そこにある情報を知識に追加するとともに、モデルに新たなインプットとして入力する、あるいはモデル自体を更新するプロセスを構築することである。

2. プロセスイノベーションのための知能化・情報化技術

日本はこれまで、高学歴のエンジニア・技能者の製造現場への関与により、製造プロセスに強みがあった。しかし、日本の若者の製造業離れによって、この強みもなくなったという見方もあり、製造プロセスの再活性化が必要となっている。そのために企業においては、設計・製造力を持った技術者を維持できる組織体制の確立が重要となるが、加えて、我が国の製造プロセスに潜んでいるアナログ的な技術、技能、ノウハウ、暗黙知等を生産文化に留意しながらデジタル化することによって形式知化、ドキュメント化、データベース化した知的財産化することが必要不可欠となる。

一方で、技能者の回りを中心に、設計・生産過程での膨大な情報として存在している知的資産である暗黙知は、組織内部や、個人の中に潜んでいて顕在化せず、知識化していない。

製造機械、測定機械等の機械や情報処理技術等の高度化とともに、技能をあからさまにする活動を通じて、技能者が有している技能を技術化あるいは知的財産化していくことが必要と考えられる。

さらに、この結果を活用することにより、高度な情報システムを用いた製造システムへの高度化（コンカレントエンジニアリング）、EMS（Electronic Manufacturing Services）事業への展開が考えられる。

2. 1 促進させるための具体的方策

（1） 設計と生産の統合

製造業の設計を行う際に使用されている3次元CADは、主要なものが現在6種ほどあるが、それらはすべて米国製である。また、CADの周辺のソフトウェアも米国製が多くなっている。企画、開発、試作、試験の演算には英語が用いられ、日本語では実践できなくなっており、日本語という「言葉」を介して活動している日本人にとっては、設計を行う際に必ずしも有利な状況にはなく、大きなマイナス材料となる。しかしながら、「言語」を介して設計される新たな日本語CADを開発することは、既存のCADとの互換性等の観点から、得策ではない。また、現状のCADは、形状情報でしか取扱いができないため、使用効率が悪いという側面も有している。情報化の進展とともに、設計・生産システムは、設計と生産の両者を統合したものへと進んでいくが、その方向性として、次の2つが考えられる。

- (A) 設計段階から生産工程までを共通のデータで一貫し、一気に生産する。
- (B) 生産を行うとともに、その結果をさらには製品を使用するユーザからの情報やメンテナンス情報などをフィードバックして、設計を変更する。

(A)については、2次元データの場合、JISの製図規格に従いデータの互換性（会社間、部署間）は保たれていた。

3次元データの場合については、事実上1社のシステムでなければデータ交換が不可能、あるいは困難な状況にある。3次元の設計データについて事前に設計・生産上の問題点を洗い出し、その対策を検証する必要がある。しかしながら、実現すれば、大幅な開発リードタイムの短縮を図ることが可能となる。

システムとしては、設計・生産のあらゆる局面で現れる素材、部品、製品のすべての3次元データおよび製造装置、工具、治具などに至るまでのデータを準備するとともに、生産プロセスそのものを事前検証する必要がある。

異なる会社・部署の3次元データの交換フォーマットとしては、製品モデルの表現と交換に関する標準（Standard for the Exchange of Product Model Data = STEP）が提唱されているが、完全な形での実現は困難と考えられている。データの構造とCADとしての機能が密着に関連しており、データ交換に労力を費やしているのは人類の大きな無駄であるので、統一された統合CAD/CAMを整備する必要がある。そのためには、データ交換の標準化とオープン化が重要となる。

(B)の場合は、逆に生産へと進めていく過程で生じる種々の不都合を設計へフィードバックし改善していくシステムであり、今後、ユーザの変化するニーズに細かく対応するオーダーメイド製品には有効となる可能性がある技術である。

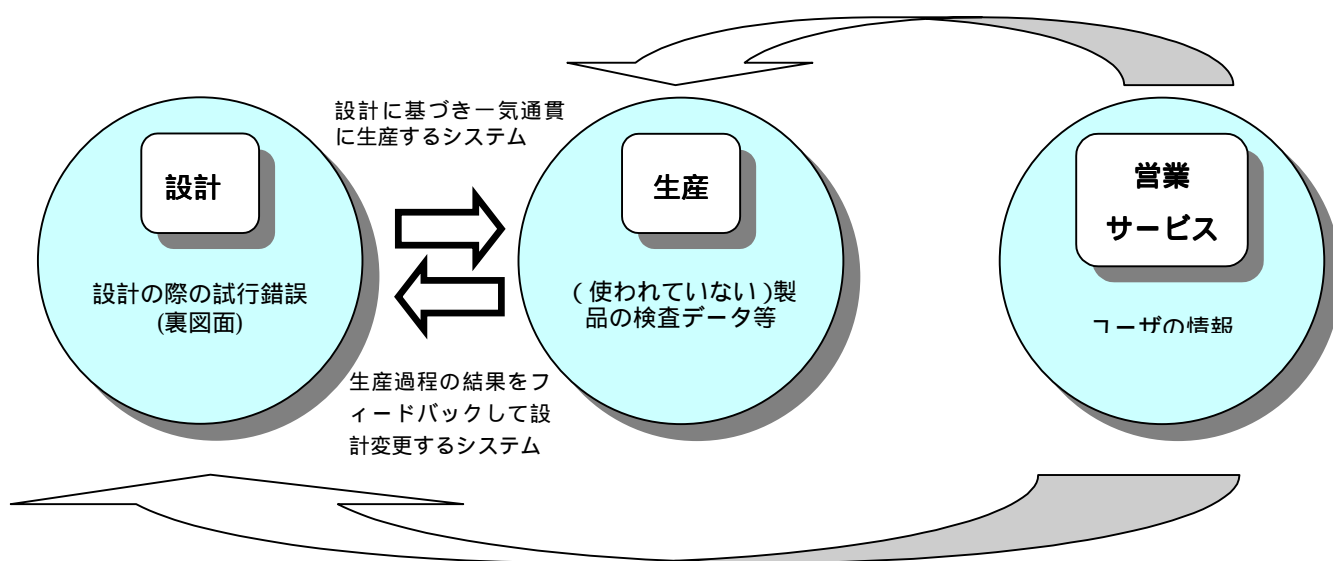


図 2 5 設計と生産の統合

(2) 隠れた情報(裏図面)を活用した創造的設計支援システム

さらに、設計、生産の両工程の背後には、活用されていない情報(知識化されていない情報)が多く隠れている。多くのものを作りたくさんの経験を積んでいるにもかかわらず、設計工程、生産工程にはそれらが散逸していくために、世の中では技能の伝承や技術思想の伝達が大事だと

言われるようになっている。

以降では、設計、生産のそれぞれにおいて、活用されていない情報の把握を試みるとともにその活用を検討する。

従来設計者やシステム構築者の頭の中に何となく貯まっていたものをきちんとした図や言葉で表現することが必要となる。設計の場合は、下図のように、製作指示用の図面(表図面)以外に、「迷い図」、「決定理由図」、「伝承図」、「省察図」、「結果図」等のように、最終的には残っていない情報(これらを「裏図面」と呼ぶことにする)も膨大な量で存在している。裏図面をも積極的に取り込み活用できるようなことが望まれる。

また、生産過程での製品の検査結果、試行錯誤の結果等は、そのまま捨てられてしまって活用されていない。検査データは、製造が順調にオペレーション(安定流動)し不良品が出なくなると、不要感が強くなり用いられなくなるが、幅広く活用できる可能性を秘めていると考えられる。

検査データは、必要な部署にリアルタイムで転送され、生産、販売、設計へのフィードバックが迅速に行なわれる必要がある。膨大な検査データを集計・処理・分析するとともに、改善策の作成、フォローアップを行うための解析方法やソフトウェアを確立していくことが求められる。

活用の方向性としては、設計者が設計のヒントや参考となる情報を引き出せるように形状特徴等での設計例を検索システム、不備な点を補うような代案生成システム等が考えられる。また、工作機械の学習機能が充実し、知能化した場合には、その情報をデータベース化し、技能者の作業の参考になる情報を検索できるような使い方が考えられる。

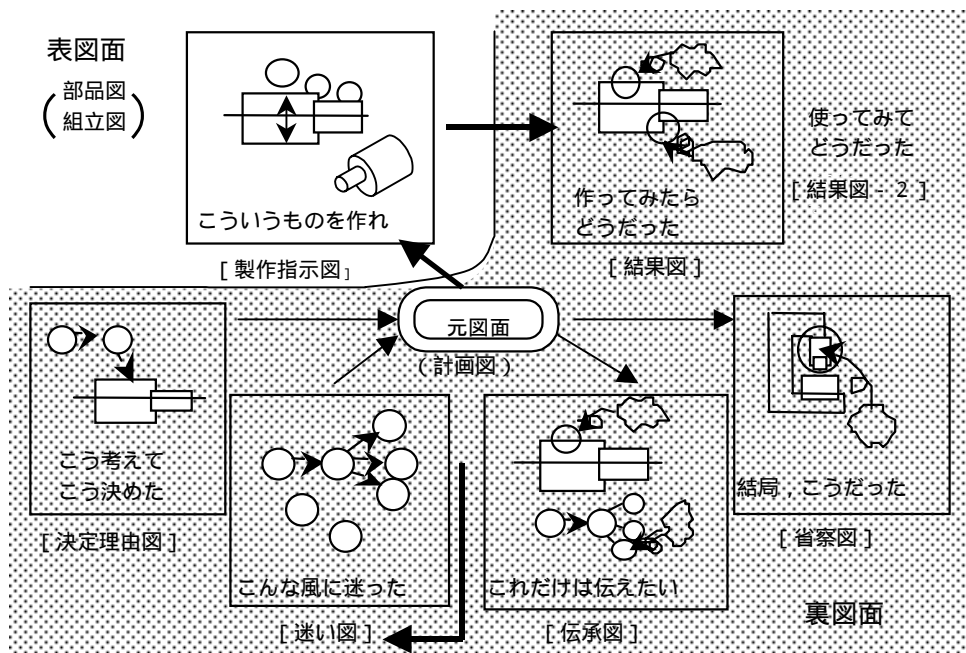


図 2 6 表図面と裏図面

3. プロダクトイノベーションのための知能化・情報化技術

当然のことながら、生活の基盤を支えるのは従来の延長線上の技術である。一方、新しい技術に対する要求は、重さや形で表されるものではなく、機能で表されるもので顕在化するであろう。そしてその求められる機能を一番短い言葉で言うとおそらく「気持ちと命」と表されると考えられる。

これを技術の分野に当てはめてみると、プロダクトイノベーション（製品の技術革新）において、大きな発展が期待されるのは「情報・通信（高度情報化）」及び「医療・生命（高齢化社会）」の分野になる。具体的には、「情報・通信（高度情報化）」の分野では、ウェアラブル情報ツールが、「医療・生命（高齢化社会）」の分野では、ウェアラブル生体・環境モニタとパーソナル・アシスタントに対するニーズが高まるであろう。

また、これらウェアラブル製品はオーダーメイド生産となることも予想される。このような製品の生産に当たっては、従来の生産システムとは全く異なるマイクロファクトリを含む新たな微細加工技術となるであろう。

さらに長期的な観点からは、プロダクトイノベーションの促進のため、設計の上位工程のソフトウェア化が方向性として存在するとすると考えられ、言葉の上位層に位置するコンセプトなどを具現化できるソフトウェアを検討していく必要がある。人間の頭脳形式に近い非ノイマン型コンピュータの利用により、装置プロセスの知的ストックなどが期待できる。そのためには、脳の働きと設計との結びつきを見知して、イメージ、感性等に関する人間の頭の自然な働きに率直に応じる機能を備えたソフトウェアを、脳科学と連携をとって開発していく必要があると考えられる。

なお、プロダクトイノベーションを推進するためには、知能化・情報化を活用しながら、企業は、効率的 R&D 活用のための体制・プロセスを内部のみならず外部の資源を活用して構築しなければならない。

また、国としては、短期的な支援として、企業が R&D 活動を円滑に行えるように、税制、法律面・法制度面を中心とした支援を行い、R&D の成果を守り強めるために、弁護士・弁理士等の増員や、標準化活動の推進が求められ、長期的な支援として、2025 年に普及すべき環境制約と生活高度化を両立した大型研究開発パッケージを産学官の共同で推進し、その成果を企業へと換言し、効率的 R&D の体制・プロセスの構築した企業へ有用なコンテンツとしてインプットしていくことが求められる。

3. 1 国民生活の向上に大きな発展が期待される分野

(1) ウェアラブル情報機器

プロダクトイノベーションにより、国民生活向上の観点から期待される具体的な製品の方向性の一つとして、今後は「いつでもどこでも情報を入手できる」ツールへのニーズが高まっており、「ウェアラブル情報機器」が有望とされる。

「情報ツール」は、コンピュータ、携帯通信端末等の情報機器として現在よりさらに小型化を極め、また、現在よりもはるかに簡便に移動中も含めた日常生活のいかなるときでも、すぐに必要な情報を取り出せる機能を有するものである。

(2) ウェアラブル生体機器、環境モニタリング機器

「ウェアラブル生体機器・環境モニタ」は、生体や環境の情報を物理センサ、化学センサ及びバイオセンサでモニタリングする機能を持ち、人間の場合は現在よりもはるかに小型・簡便に、高齢者の心拍、血圧、呼吸等を常時モニタリングし健康状態をチェックすることを可能とする機能を有している。その実現のためには、小型化に加えて、情報インフラの整備と個人データのセキュリティの確保や得られた個人データをいかに、どこに構築（分散データベース）するかが課題となる。

ウェアラブル化する際の問題点として、メモリの大容量化と電源の問題がある。そのため、必然的に光メモリ等の次世代超高密度メモリへの需要が発生する。また、電源に対しては、さらなる大容量化のみならず、エネルギー管理技術、さらには超小型発電器システムの実用化が望まれる。

(3) パーソナル・アシスタント機器

来るべき高齢社会における安心・安全で質の高い生活を実現するためには、人間の要求を解釈してアシストする、必要な情報についてネットワークを介して収集してくる、個々の人間に自動的にカスタマイズされていくような、「パーソナル・アシスタント機器」に対するニーズが高まるものと考えられる。この「パーソナル・アシスタント機器」は、ナビゲーションシステムやネットワーク家電、知的携帯電話、介護ロボット、ペットロボットなど多岐にわたり、新規市場の創出にもつながるものと考えられる。

3.2 プロダクトイノベーションにより生み出される製品を製造するために必要な技術

(1) マイクロファクトリ等の微細加工

今後上記に述べたような、ウェアラブル機器等の小型製品のニーズが高まってくるものと考えられる。しかしながら、以下のように現状では、小さな製品といっても、100m²を下回る面積で製造システムを構築することができない。このことは、逆に、小さな商品は大きさに割に環境負荷が大きいことを示している。

ナノファブリケーションに対応できる加工法として活用できるようになれば、当然のことながら、小さな製品に適したマイクロファクトリが求められてくると考えられる。この製造システムには、マスク等を用いた、スタンピング等の転写手段、放射光及びレーザ等を用いた微細加工技術が、その主要な構成要素として考えられる。この結果、超高速 CPU、超高密度メモリ等のナノ領域の現象を利用できるデバイスの創出が期待される。

(2) 3次元ナノ・マイクロ加工装置

3次元の微細加工を実現するために、下図のような装置が考えられる。装置全体が真空チャンバ内に設置されている。この装置は、ビーム加工、レーザ加工、コイニング等のためのヘッドを有している。工作物は、 piezo素子等を用いたZ方向微動テーブルと3軸方向加工力検出装置を兼ねたものの上にのせられており、超局所電子顕微鏡を通じて、観察しながら加工できるようになっている。位置決め装置(テーブル)は、磁気浮上、リニアモータ等により、高速、高加速度、広範囲に位置決めできるようになっている。さらに、機械自身の変形を検出するためのセンサが取り付けられている。

(3) 表面張力を利用した自動組立技術

製造プロセスにおける組立技術としては、「組立なしの組立」、または「組立なしの統合」といった技術が使われることになる。表面張力による微小部品の自動組立、位置の違う光ファイバについて表面張力を使って曲げ、接続させてしまうような光ファイバーの自動接合、また表面張力を用いた微小粒子の結合制御や超臨界を使った分散などが考えられる。

(4) 製品出荷検査の全自動化

製造プロセスにおいて、例えば自動車メータの出荷検査工程では、あまりにも流動機種が多く、検査規格も多岐多様であるため、外観・美観チェック以外は自動化している。

しかし、全自動検査し生産履歴を残すことは今後更に必要となると思われるが、官能検査(外観、触感、異音、振動等)における数値化、規格化が行われておらず、自動化ができていない。また、検査結果はそのまま捨てられ、全く活用されていない。

製品の出荷検査の全自動化は、海外生産になっても後は必要となるが、その検査実績は生産実績と共に、ネットワークで必要な部署にリアルタイムで転送され、生産へのフィードバック、販売へのフィードバック、設計開発へのフィードバックが迅速にされるようになる。膨大な検査データや特性値が集計されるが、それを処理し、分析し、改善策の作成、フォローアップなどを行う為の技術やソフトが今後開発され、これにより開発のデータベースも加速的にレベルアップしていく。また、このデータベースを活用して新規開発のスピードとレベルも飛躍的に向上する。

(5) 超加工法(ナノメータ転写・超高速加工)

ここで紹介する知能化された加工法とは大きく異なった加工法も、知能化や情報化を実現するために必須の加工技術として出現してくるのではないかと考えられる。それらが従来の加工法に比べ、通常とは違った現象を使っているため、まとめて「超加工法」とでも呼ぶべきものではないかと考えられる。

超加工法の例として具体的に考えられるものは、ナノメータ転写と超高速加工といったものである。

ナノメータ転写は、3次元ナノ・マイクロ転写とも呼ぶべきもので、例えばロールによるナノ・マイクロ転写、レジストへの形状転写に続いて行われる高速原子線(FAB)によるナノエツ

チング、近接場光による光の波長限界以下のプリンティング等が考えられる。

もう1つの例が超高速加工である。超高速切削ではすべての熱が切り屑に移転されるため、切削抵抗は小さくなり、被削材は熱影響を受けないため無変形切削が実現できる。これによって、非常に精度の高い複雑な形の加工が可能となり、コンピュータ用のセラミックス基板やその他多くのディスプレイなどでセラミックス基板の打抜のようなものが考えられる。超高速の打抜では、すべての熱が打抜ピンの先端に集中するため、打抜抵抗は小さくなり、また周辺の部分に熱が伝わらないので非常に精度の高い打抜が実現する。

4. 重要技術の参考例

4.1 2010年頃までに重要となる技術

2010年までは、国際競争が今以上に激化することが予想される。そのような中で、わが国の製造業の国際競争力を維持・向上させていくためには、IT技術を積極的に取り入れ、製造技術の知能・情報化を強力に推進する必要がある。このため、今後開発すべき技術としては例えば下記のようなものが考えられる。

(1) 暗黙知のデジタル化技術

一流の職人の技能を効率良く伝承するために、製造現場にてドキュメント化されていない暗黙知をデータベース化することが必要である。そのため、今後、温度・圧力等の高感度センサ技術、3次元位置座標検出技術等を開発することが必要である。

(2) 切削機械の知能化技術

加工機械そのものの変形を検出する変形センサ(a)、加工力のXYZ方向の力とXYZ軸回りのモーメントを同時に検出できる6分力検出テーブル(b)、また、過大な力が加わったときに加工物が自動退避して加工系全体のフェイタルダメージ(破滅的破壊)を起こさないようにするフェイルセーフテーブル(c)といったものが考えられる。

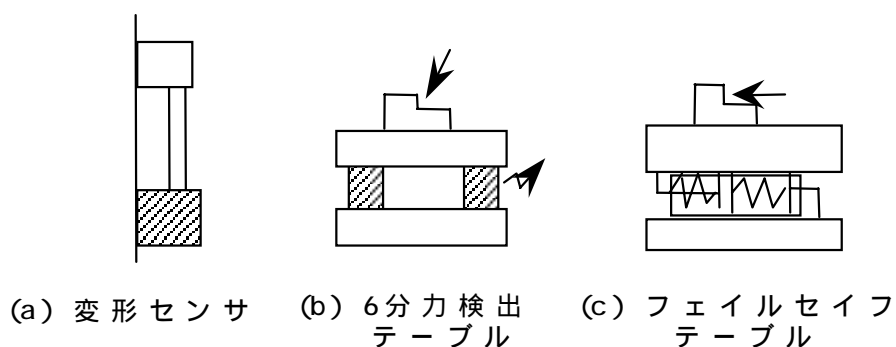


図 27 切削機械の知能化技術

(3) 射出成型機械の知能化技術

射出成形の成形機自体を知能化する場合に必要な新しい機能素子の例を下図に示す。たとえば、3次元的に自由に冷却用の流路を取り、金型の必要部分ごとに温度のむらが制御可能となるような知能化金型というものの出現が望まれる。一方、金型のある部分だけ加圧したり分離したりできるためのセンサとアクチュエータが一体化したアクチュエートセンサといったものが必要となる。また金型の表面温度と熱流束を測ることができるような表面温度・熱流束計といったものも必要となる。

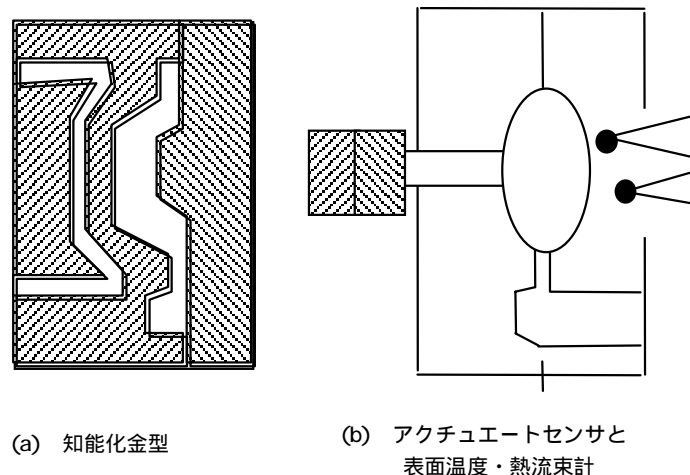


図 2 8 射出成型機械の智能化技術

(4) 工具の智能化技術

逃げ面摩耗量を検出するためのセンサが一体化されたスローアウェー型切削工具が考えられる。摩耗センサ付切削工具は、セラミック母材上に切れ刃稜線に平行な数本の細線パターンをもつ TiN 製センサ薄膜が一体化された構造を有する。細線は逃げ面摩耗の進行とともに断線するので、細線両端間の電気抵抗もそれに応じて不連続に変化する。この不連続回数をメジアンフィルターを用いた信号処理により求めると、細線間隔の分解能で逃げ面摩耗幅が切削をしながらオンラインで知ることができる。

製品開発の際には、直接モニタリングの実現、機械的、電気的特性を満足する 3 次元微細パターンをもつ薄膜を形成する技術、デジタル的情報検出により確実性の高い情報の抽出、等が要件として求められる。

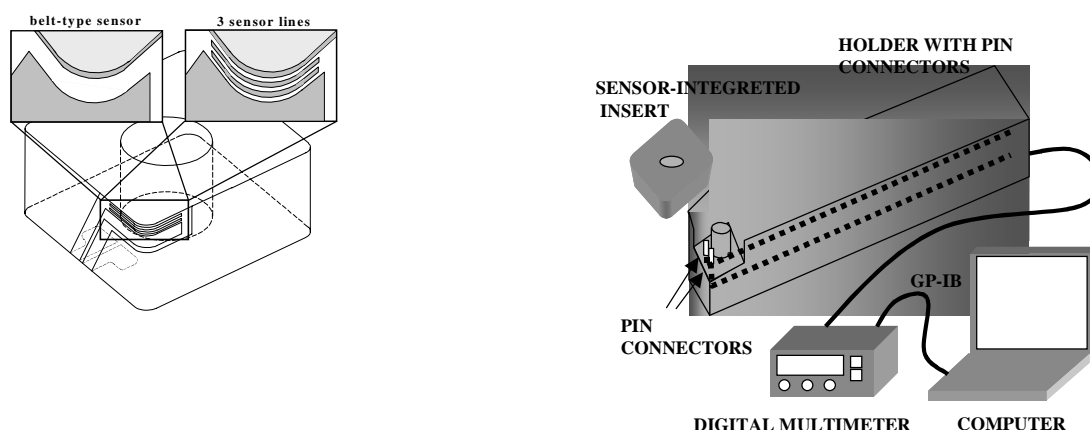


図 2 9 工具の智能化技術

(5) 超高速切削技術

超高速切削ではすべての熱が切り屑に移転されるため、切削抵抗は小さくなり、被削材は熱影響を受けないため無変形切削が実現できる。これによって非常に精度の高い複雑な形の加工が可能となる(a)。コンピュータ用のセラミクス基板やその他多くのディスプレイなどでセラミクス基板の打抜(b)のようなものが考えられる。超高速の打抜では、すべての熱が打抜ピンの先端に集中するため、打抜抵抗は小さくなり、また周辺の部分に熱が伝わらないので非常に精度の高い打抜が実現する。

(6) その他の重要技術例

- 全自動検査、生産履歴を残す手法の開発、官能検査(視覚、嗅覚、聴覚)の自動化、全自動検査により得られた、莫大な検査データや特性値を処理、分析して改善策の作成やフォローアップを行うための技術
- 多品種少量生産型システム
- in-situ で加工対象物(物性、形状等)を検出し、加工法、加工条件にフィードバックする技術
- 柔軟物ハンドリング技術

4.2 2025年頃に重要となる技術

2025年頃には、資源の枯渇や地球規模での環境問題の高まりから資源・エネルギーの制約が今以上に一層厳しくなることが予想される。また、このような制約のもと、製造業は国民生活の向上に資する製品の提供が求められるものと考えられる。このような設定のもと、重要と考えられる技術開発の例としては下記のようなものが考えられる。

(1) 消費財の智能化技術

高度情報化の進展により、「いつでもどこでも情報を入手できる」ツールへのニーズが高まっており、その実現のひとつとして「ウェアラブル情報機器」のような消費財の分野でも、智能化が進んでいくと考えられる。具体的なマーケットをふまえたウェアラブル機器として、「情報ツール」と「生体・環境モニタ」が考えられる。

情報ツールは、コンピュータ、携帯通信端末等の情報機器としての小型化を極め、移動中も含めた日常生活のいかなるときでも、すぐに必要な情報を取り出せる機能を有するものである。

また、生体・環境モニタツールは、生体・環境情報を物理センサ、化学センサでモニタリングする機能で、人間の場合は、高齢者の心拍、血圧、呼吸等を常時モニタリングし健康状態をチェックすることが可能になる。

(2) マイクロファクトリ

今後高度情報化の進展とともに、ウェアラブル機器等の小型製品のニーズが高まってくると考えられる。しかしながら、以下のように現状では、小さな製品といっても、100m²を下回る面積

では製造システムを構築することができない。このことは、逆に、小さな商品は大きさの割に環境負荷が大きいことを示している。

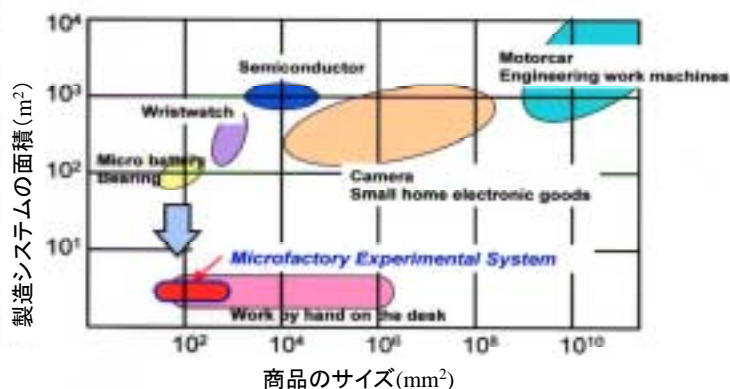


図 3 0 商品のサイズと製造システムの面積との関係（現状）

この製造システムには、マスク等を用いた、スタンピング等の転写手段、放射光及びレーザー等を用いた微細加工技術が、その主要な構成要素として考えられる。この結果、超高速 CPU、超高密度メモリ等のナノ領域の現象を利用できるデバイスの創出が期待される。

（ 3 ） 超加工法

超加工法の例として具体的に考えられるものは、ナノメータ転写と超高速加工といったものである。

ナノメータ転写の例を下記に示す。3次元ナノ・マイクロ転写とでも呼ぶべきもので、たとえばロールによるナノ・マイクロ転写 (a)、レジストへの形状転写に続いて行われる高速原子線 (FAB) によるナノエッチング (b)、近接場光による光の波長限界以下のプリンティング。(c)等が考えられる。

さらに、表面張力と超臨界という概念を用いた「組立なしの組立」、または「組立なしの統合」といった技術が使われることになる。表面張力による微小部品の自動組立、位置の違う光ファイバについて表面張力を使って無理やり曲げ、接続させてしまうような光ファイバの自動接合、また微小粒子の結合制御や超臨界を使うことによる表面張力なしの分散などが考えられる。

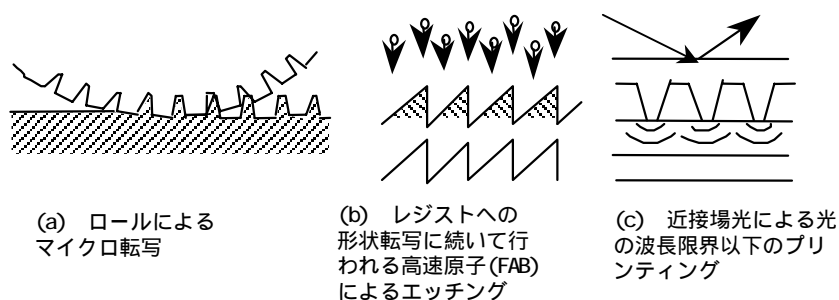


図 3 1 超加工法の例

(4) 3次元ナノ・マイクロ加工装置

3次元の微細加工を実現するために、下図のような装置が考えられる。装置全体が真空チャンバ内に設置されている。この装置は、ビーム加工、レーザ加工、コイニング等のためのヘッドを有している。工作物は、 piezo素子等を用いたZ方向微動テーブルと3軸方向加工力検出装置を兼ねたものの上にのせられており、電子顕微鏡を顕微鏡を通じて、観察しながら加工できるようになっている。位置決め装置(テーブル)は、磁気浮上、リニアモータ等により、高速、高加速度、広範囲に位置決めできるようになっている。さらに、機械自身の変形を検出するためのセンサが取り付けられている。

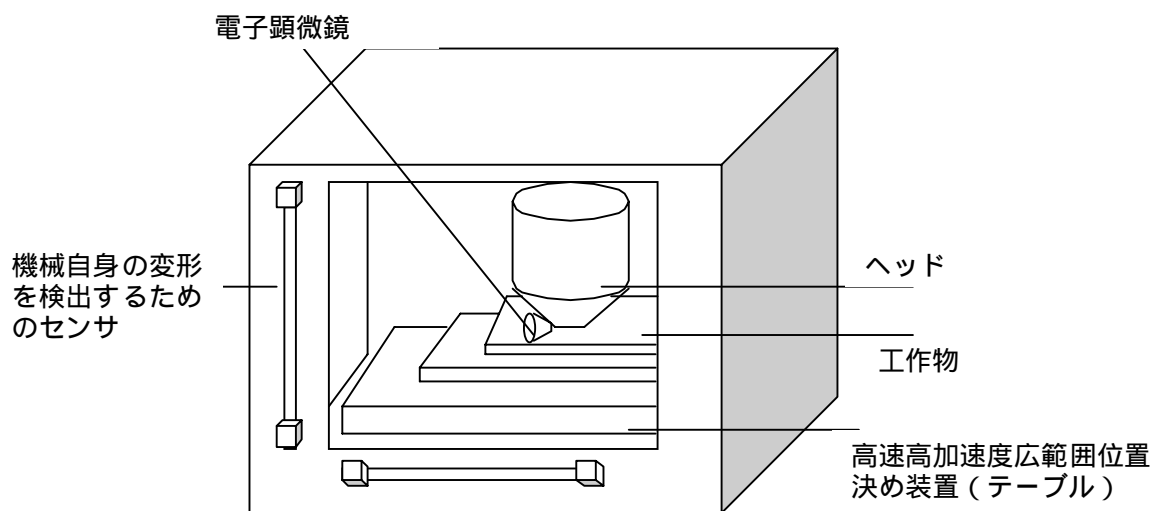


図 3 2 3次元ナノ・マイクロ加工装置の例

(5) 非ノイマン型コンピュータ

曖昧な情報から解を連想したり、直感を働かせたりする人間の頭脳形式に近い非ノイマン型コ

ンピュータの利用によって、製品の発想支援、及び製造プロセスの知的ストックが可能となる。

(6) その他の重要技術例

- あいまいな情報の処理
- 人の考えや表情を読みとる技術（リモコンやボタン操作を必要としない技術）
- パーソナルアシスタント
- 人間と共存可能な知的機械システム、人間の知的情報処理、人間の認知能力の性質と限界の研究、人間との親和性を高めるマンマシンインターフェース
- 人間の振る舞いに関する知見の蓄積、それらの工学的手法による認識や理解、模倣などのための基礎理論や技術、自己学習型（進化型）デバイスの開発

IV . 環境・安全対応技術

1. 環境・安全技術に対する基本的考え方

1.1 新製造技術分野における環境・安全技術戦略の立脚点

(1) 環境対応技術は、中長期的に製造業が取り組むべき不可避の課題である

地球環境問題は経済活動や社会生活に深く根ざした問題であり、その影響が地球規模の広がりを持つとともに、将来の我々人類子孫に対する悪影響を及ぼす問題として顕在することが明確である。

経済活動における天然資源の使用量、使用頻度が上昇する中で、天然資源に恵まれず、且つ、経済活動における製造業のウェイトが大きい我が国にとって、地球資源の制約への対応は大きな課題といえ、世界的視野で見ても、天然資源は有限であることは明らかである。また、経済活動から排出される廃棄物の処理過程での環境への影響、新規立地の困難化等による最終処分場の受け入れ能力の制約の問題が顕在化しつつあり、同時に不法投棄等による環境破壊が社会問題として顕在化している。

さらに、多岐にわたる化学物質が使用され、同時に廃棄されている中で、有害物質のみならず、有害性を発現するメカニズムが十分に解明されていない物質も多く残されており、生態系の破壊や人体へのリスクが増大していく社会不安も顕在化しつつある。エネルギー利用についても、石油・石炭等の化石燃料の有限性は言うに及ばず、これらの燃焼に伴い発生する温暖効果ガスである二酸化炭素が地球温暖化問題を顕在化している。

生態系等の自然環境の保全や人の健康の保護、生活環境の保全、将来の生存・生産基盤の維持は、環境分野において実現すべき重要な課題であり、近年の環境問題の状況を鑑みると、これらは、資源循環・廃棄物問題、化学物質問題、地球温暖化問題の背景にある経済社会システムと自然界の受容能力等のシステムとのミスマッチと言う今日の問題に起因していることから、これらの環境問題へのアプローチと解決が大きく寄与するものと考えられる。これら3つの問題の解決を実現する経済社会の実現に重点的に取り組むことにより、自然環境保全、健康保護・生活環境保全、将来の生存・生産基盤の維持の実現を目指すことが重要である。

この資源循環・廃棄物問題、化学物質問題、地球温暖化問題に代表される環境問題の顕在化と、これらの問題への対応に関する経済社会的負担の拡大が経済社会の持続的発展への大きな障害になることが懸念される。一方で、業界活動や企業活動が、この3つの環境対策を行い、環境と調和した経済社会システムを目指すことは、資源の利用効率を最大化することを目指すこととなり、引いては、我が国経済活動の競争力強化に寄与することが期待される。

長期的視座に立つと、地球資源の枯渇、食糧問題の顕在化等の中で、我が国製造業が地球環境問題への制度的取り組み、技術的対応策を具体的に掲げ、且つ業界、企業が利潤を追求できるための取り組み課題を明確にすることが喫緊の課題として表面化していく事は明確である。

(2) 環境・安全対応技術は、長期的に経済合理性に適合した競争優位性の源泉である

環境や安全への対応といった取り組みは、従来、企業活動から見ると、営利性や利潤を獲得し難い、いわば経済合理性には適合し難い活動として捉えられて来ている。しかし、長期的視座に立つと、「環境対応」、「安全対応」への指向は、世界的に我が国製造業の優位性を主張すべき立脚点であると捉えることが可能であると認識される。

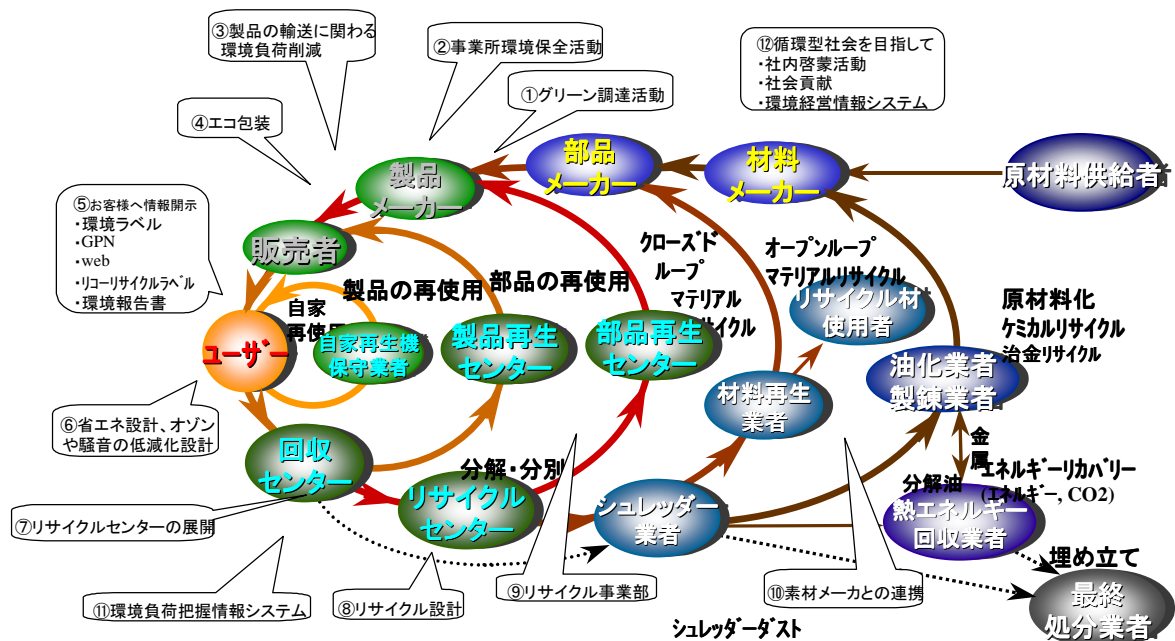
すなわち、製造業における環境対応技術や制度的取り組みの追及は、目的とする人工物の製造に掛かる資源やエネルギー投入量の最小化を目指すものであり、引いては人工物のトータルライフサイクルコスト低減への実現に繋がっていくものと確信され、製造業が本来目指す経済合理性を付与することにつながる。また、安全対応技術の追求は長期的観点から、機械に対する遠隔操作や無人化を目指した取り組みなどによって、直接作業員である人員を機械から遠ざけることに他ならない。この取り組みは、究極的には人件費の低減や安全対応に要するコストの削減に直結していくことに他ならない。したがって、製造業にとっての環境・安全対応技術への取り組みは、我が国製造業の義務であると同時に、長期的には世界的な競争力を獲得する有効な手段と位置付けることができる。

(3) 循環型生産システムの実現

今後は、これまでの経済社会システムを改革し、資源制約や環境負荷制約に対応した持続的な発展を可能にする環境調和型の経済社会システムへの転換を目指すことが必要不可欠であることに間違いはない。すなわち、有限な資源を用いて人工物を創出する製造業が目指すべき方向性は、資源の円滑な循環を図る循環型生産システムの構築に他ならない。

このような循環型生産システムの広範囲な概念図として、製造業の中でも循環型生産システム構築で先行的取り組みを行ってきている事務機械の事例に注目し、事務機械メーカーが提唱しているモノの流れが彗星に例えられるため「コメットサークル」と称されている循環型生産システムのサンプルを例示する。コメットサークルの概念を基に、製造技術分野における全ての業務活動領域で循環型生産システムを目指すことをシミュレーションすると、この実現の条件は、次の5点に集約される。特に、循環型生産システムにおいては、回収や再利用、再資源化のフィードバックループが小さいほど、資源利用の効率が高まると言われている。

- 全ステージでの環境負荷の把握と削減を図る必要がある
(製造者は全ての工程に関与する必要が生じる)
- 小ループサイクル、内側ループのリサイクルを優先させる
- 重層のリサイクルにより資源節約や廃棄・排出物抑制による環境汚染の低減を図る
- 物の流れとお金の流れは逆方向となる
- 全てのステージとのパートナーシップ・情報の共有を図る



出所) リコー

図 3 3 事務機械メーカーの循環型生産システムの概念事例

製造業は、「モノを作って売る」までのビジネスで留まるのみならず、ユーザーが購入あるいは借用してモノを利用していく側面にも目を向け、製造物の利用状況を把握し、部品再利用、材料再生、再生産に向けたビジネスモデルの構築を指向すべきであろう。その際、1社単独では不可能な課題は多いが、複数企業によるコンソーシアムや、業界単位での取り組みが必要であることは間違いない。ルールや規制などの法制度面での国の取り組みに加えて、このような循環型生産システム実現に向けて鍵を握る要素技術開発において、我が国製造業が世界に対して優位性を獲得していくための方向性を模索していくことも、同時に重要である。

2. 環境対応技術戦略

2.1 環境対応技術戦略の方向性

循環型生産システムの実現を念頭に置き、製造活動全般に関わる、あらゆるモノの流れ、工程を想定し、新しい製造技術のあり方を検討した結果、環境対応技術の概念を抽出し、これらを整理すると、下記の5つで捉えることができる。

- 環境生産性：製造と物流のエミッションフリー化
- 環境品質性：再生産、再利用、資源リサイクル実現の新たな品質基準
- 環境（自然）保全性：廃棄物や排出物の徹底した無害化
- 環境（社会）持続性：製品の回収/再生/再利用/再生産による長寿命化
- 環境公示性：循環型の製造物循環に関わる情報及び情報開示の新たな基準

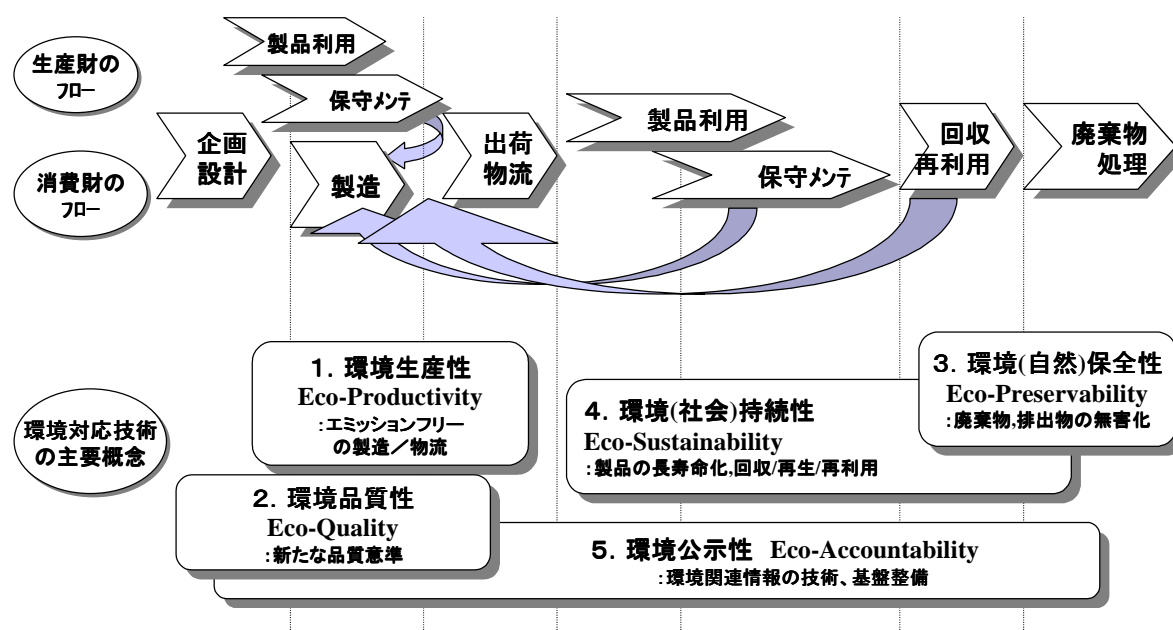


図 3 4 循環型生産システムを前提とした環境対応技術のキーコンセプト

我が国製造業が、将来、世界の市場において先進的、主導的な立場と市場ポジションを獲得するための技術戦略の基本構造を示す。環境対応の新技術戦略の大きな柱が「エミッションフリー高度工業化社会の実現」へ向けた取り組みとして捉えられる。ここでは、環境技術で我が国が世界を牽引し、循環型生産システムの構築に貢献できるための技術戦略の方向性として、下記の3つの大きな柱の確立が必要であると思われる。

- インバースマニュファクチャリング
- 環境対応知的基盤
- エミッションフリー製造基盤

通商産業省で既に取り組みが開始されている「回収 分解・選別 再利用 生産」といった逆工程を重視した新しいモノ作りの形態である「インバースマニュファクチャリング」の技術開発の方向性に加え、製造機能に物流機能を融合させて物流プロセスにおけるエミッションフリー化を目指す「インバースマニュファクチャリング(インバースロジスティクス)」、このインバースマニュファクチャリング、そして、最小エネルギーで、なるべく物質投入量を最小とし、廃棄時点でもゴミや有害物質を出さないような次世代工場、次世代生産システムである「エミッションフリー製造基盤」、さらには、これらを実現する為に必要となる環境情報を規定する「環境対応知的基盤」を掲げており、循環型生産システムを機能させるための構成要素として、技術戦略の柱と位置付けた。

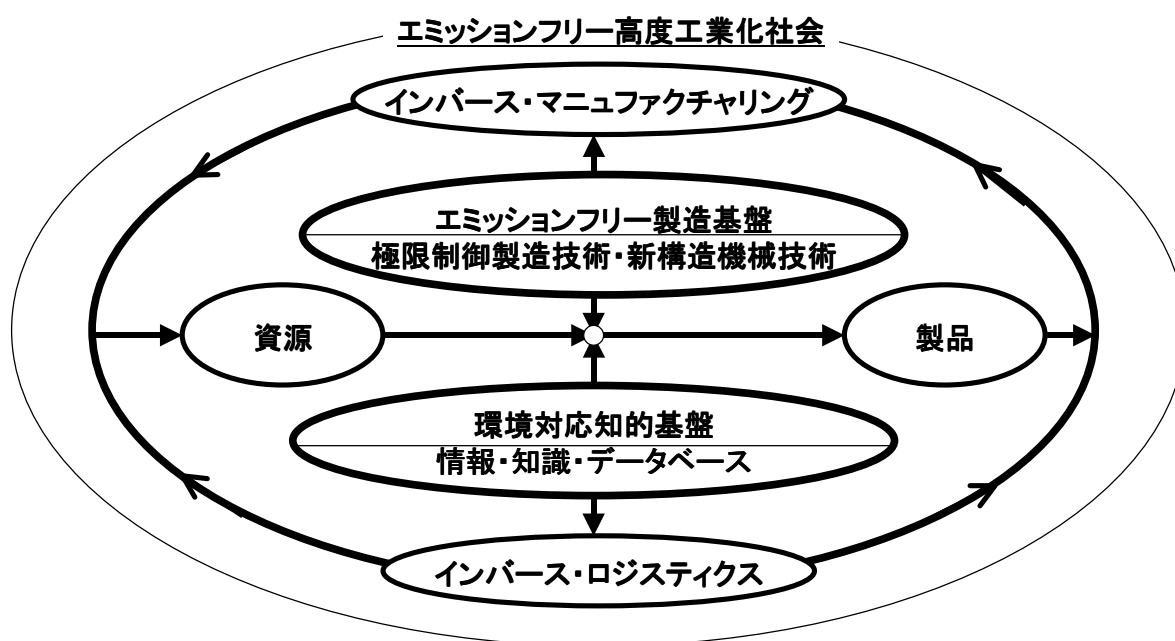


図 3 5 環境対応新技術戦略の基本構造

「エミッションフリー高度工業化社会」は、製造過程でのインバースマニュファクチャリングと物流過程でのインバースロジスティクスの二つのドライブ要因によって機能すると捉えている。また、インバースマニュファクチャリング製品の製造技術であるエミッションフリー製造基盤を掲げた。このエミッションフリー製造基盤の構成要素として、「環境負荷を極限まで低減する加工技術・加工システム」、「極限エネルギー消費型の加工技術・加工システム」、さらには廃棄物を処理するための「極限制御製造技術」を掲げた。インバースマニュファクチャリングの確立に向けた要素技術としては、「環境対応知的基盤」をあげ、ここでは「インバースマニュファクチャリング」及び「エミッションフリーマニュファクチャリング」を実現するための情報・知識・データベースの確立を目指す取り組みとして捉えた。

環境技術は、既存の技術を組み合わせて実現できるテーマも多く存在するが、長期的／戦略的視点に立つと、基礎的／科学的取り組みを必要とする根源的テーマも少なくない。且つ、技術開発を成功させると、従来の技術アプローチでの状況が産業応用的には一変するような、根底的テーマを実現していくべき長期の技術開発が必要である。

研究開発及び技術開発を推進する企業や大学等にとって、1社や1業界での取り組みでは困難なものもあり、研究開発推進のために、国を挙げたプロジェクト化が必要である。また、環境問題は人類共通の課題であるため、我が国のみの取り組みに留まらず、国際共同開発などを通じた世界への貢献も念頭に置きながら、我が国の技術戦略として実現していくべきである。

2. 2 環境対応技術戦略のキーコンセプト

(1) 環境生産性 (Eco-Productivity, Eco-Logistics)

エネルギー・資源の超効率的活用、エネルギー・資源の100%回収再生、無欠陥・不良率ゼロの実現、等を目指した概念である。高度な生産性の追及は環境負荷の大幅な低減につながる。むしろ環境への適合への適合化と生産性の高度化は同義である。その典型的事例はエネルギー・資源の超効率的活用に見られる。

製造と物流に係わるエミッションフリー化は、これからの製造技術分野における技術戦略のキーコンセプトであると言える。究極的生产性の追求は環境に適合するという考え方に立脚している。高度な生産性を実現すると、無駄の無い生産と物流が実現することになり、投入する有限資源の有効活用、生産プロセスにおけるエネルギー消費の低減、資源あるいは製造物(中間製品)の物流に掛かる投入エネルギーの最小化を図る活動全般を示している。エコ・プロダクティビティとエコ・ロジスティクスの実現を目指すための技術開発テーマについて我が国のプロジェクトとして取り組むべきテーマと言える。

(2) 環境品質性 (Eco-Quality)

有害物質の排除、無害資源の活用、分離性・分解性の高度化、無害化設計の体系化、等を目指した概念である。使用時あるいは廃棄時に環境への害を及ぼさない、自然環境の中で分解し、無害な物質に転換する、有害物質を含まない、等の環境特性と、本来求められる強度をはじめとする機能とを両立せしめることは、製品品質評価の重要尺度である。

リデュース、リユース、リサイクルを実現するための環境対応の新しい品質基準としてのキーコンセプトである。製品の分解性をあらかじめ考慮した構造、構成を設計段階から意図したモノ作りの思想である。また、廃棄時には無害物質に転換できるように、廃棄手段を前提とした材料選択、構造設計を図る。さらに、スマートディスアセンブリ性を担保し、分解時に逆工程を円滑化するという概念を有している。

加えて、製造された人工物の長寿命化を図った構造と構成を設計する概念でもある。また、物作りの標準化という活動として捉えると、環境を前提とした品質基準の策定こそ、我が国の取り組むべきテーマと言える。

(3) 環境 (自然) 保全性 (Eco-Preservability)

廃棄物・排出物の極小化、廃棄物・排出物の無害化、インプラント処理、等を目指した概念である。製造時の廃棄物や排出物が極小である、それらがプラント内で処理され無害化される、等を実現できている技術やシステムは環境保全にとって極めて望ましい。

また、高温高圧(1200 超)における処理技術、低温低圧下での極限処理技術により、従来技術のアプローチとは全く状況の異なる状態変化を実現し、新しい処理技術の体系を標榜する技術概念である。これにより、廃棄処理のプロセスがエミッションフリー化できる可能性がある。

(4) 環境 (社会) 持続性 (Eco-Sustainability)

製品のリサイクル、リユース、リデュース、製品の長寿命化を意図したフラクタルデザインシステムやモジュールインテグレーション等、製造物の回収/再生/再利用/再生産に掛かる技術開発のキーコンセプトである。豊かな社会や生活を持続させるためには、物財の長寿命化、回収・再生・再利用の徹底、などが限られた資源やエネルギーの超効率活用が重要である。

今後の製造業は、「作って売る」営みに加えて、「使いながら最適な運用条件を顧客に提示し、且つ製造物の寿命を長期化する」といった、運用委託や保守サービスなどの業務・工程で、付加価値の高い製品とサービスをくみ合わせて、顧客に価値を提供するような事業を行っていくべきであり、その際の製造業のサービス化の鍵として、LCA に掛かる計測・診断技術、製造物の部分置換を可能とする互換要素設計 (例えばフラクタルデザイン) などの取り込みを必要とする技術概念である。

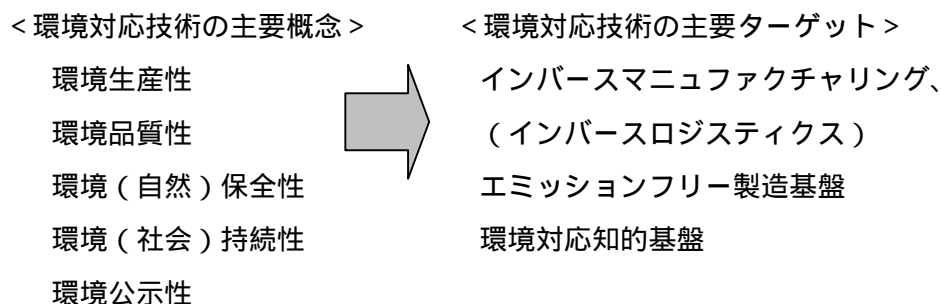
(5) 環境公示性 (Eco-Accountability)

環境を守るためには、社会や製造の場を流動する物財の材種や履歴を管理できる情報システムが必要である。従来は工場出荷までは綿密に情報管理されているのみであったが、今後は、工場出荷後の、ユーザの利用状況の履歴情報を掌握し、製造物の状態変化に関する情報を効率的、容易に取得できるインターフェイス技術であり、そのための環境対応情報に係わる情報開示のあり方を提供するという技術概念である。

特に材料や構造物、部分品などの利用状況等をトラッキングするための情報技術であると捉えることができ、ラベリング、マーキング、読み取り、認識システム、データ分析、データ搬送、データベース活用システム、エコチップ、スマートタグ、等の技術開発テーマであり、環境情報を如何に製造物に付与するかのルール作りを提示している。

2. 3 環境対応技術戦略の方向性

ここでは上記の各概念を念頭に置きながら、環境技術で我が国が世界を牽引し、循環型生産システムの構築に貢献できるための技術戦略の方向性として、インバースマニュファクチャリング、エミッションフリー製造基盤、環境対応知的基盤、の3つの大きな柱を抽出し、今後、我が国が取り組むべき技術課題を検討した。



（１）インバースマニュファクチャリングに向けた技術戦略

「エミッションフリー高度工業化社会」を達成するために必要な要件は、製造過程（インバースマニュファクチャリングシステム）と物流過程（インバースロジスティクス）の両面における取り組みの推進である。インバースマニュファクチャリングとは、製品の高度なりサイクルのことであるが、インバースマニュファクチャリングの視点で製品を捉えると、長期間の利用を可能とする長寿命化、部分的な保守メンテナンスを繰り返すことができるための構造設計、等の実現が必要である。高精度な界面制御技術、すなわち界面創製・保護・接合／分解等のいわゆる「面を造り、守り、分離／分解する」技術の覇権を握る事により、例えば、「大面積ナノ精度平滑面」など、構造制御においてサブミクロンからナノ精度への転換が実現できると、従来の構造制御技術上、大きな変極点を迎える事ができよう。これによって、長寿命な構造創製、界面保護、接合／分離技術等の技術覇権を握る事が出来ると認識される。ここでは、結合分離技術に関する技術戦略テーマを以下に示す。

また、インバース・ロジスティクスとは、例えば、薄板工場から自動車工場までの物流に拘わるエミッションフリー化についても検討の余地があり、製造から物流に至る一貫したエミッションフリー化、最小エネルギー化、等を図る技術開発が必要であると認識される。

表 2 分離・結合技術関連

大項目	中項目	小項目
[接合・分離技術] 分離用知的材料・構造の開発：スマートディスプレイアセンブリ	環境（雰囲気、温度）の変化によりアクティブに結合が解かれる接合手段	水素吸蔵合金を用いた接合部の分離
		形状記憶合金を用いた分離（接合）
		界面偏析・脆化を利用した分離
		熱応力を利用した分離（パイメタル）
		熱膨張、収縮を利用した分離
	非接触型の分解ツール（マイクロ波、紫外線、磁場など）の利用	マイクロ波による内部加熱を利用した分離
		紫外線等による有機接着材の分離
		振動・音響による構造振動を利用した分離
		火薬等を用いたアクティブ分離素子の開発
		超音波利用接合技術
新接合技術	軽量材料（Al, Mg等）の接合技術	
	テラーメイドプランク用接合技術	
	（積層）複合材料の剥離・分離	
[実装技術] 可逆的集積化手法	高密度実装技術におけるリペア可能・分離可能接合技術の適用	熱可塑性樹脂を用いたリサイクル可能プリント配線板の開発
		樹脂/銅等異種材料界面の接着性向上
		装置レベルでの易解体性評価手法
	実装技術の分離性を主体とした環境適合性設計のための評価手法の開発	実装レベルでの易分離性評価手法
		実装レベルでの環境調和性評価技術
	超微細接続の高信頼性化と分離可能技術	鉛フリーはんだ技術の信頼性向上
		微細接合部の信頼性評価技術
常温接合技術		
		接合強度の異方性を利用した易分離コーティング樹脂
		ソルダレス接合技術（樹脂等を使った接合技術）
[解体・分別技術]	自動解体システム	廃品識別技術（形状、色、材質）
		廃製品の固定・位置決め技術
		分解ツールの開発
	解体経路決定	分解ロボットの開発
		分解アルゴリズムの開発
	高精度・高効率分離	分解戦略データベース
		超高速衝撃破砕による異材分離技術
		レーザー切断、ウオータージェット等の開発利用技術
		プリント配線板からのはんだ・銅等の低コスト回収技術
		比重選別、静電選別、磁力選別等の高精度化
		真空蒸発法による分離
[再生技術]	高品位化技術	再生材料の履歴と各種特性に関するデータベース
		低品位リサイクル材料の加工・利用技術
		難除去材料を含有しない高機能材料の開発
		製造プロセスのみに依存した広範囲な機能特性を有する材料の開発
[知的基盤]		専門用語の定義、規格の整備

（ 2 ） 環境対応知的基盤確立へ向けた技術戦略

環境対応新技術戦略の柱である「インバースマニュファクチャリング」の構成要素である「環境対応知的基盤」の確立は、マーキング、コーディング、トラッキング等の、環境・安全対応技術における根底的な全ての情報支配を狙った情報形態、情報インターフェイス、情報取出し、等の従来技術のみで成立しない記録方式、記録媒体、情報取得のインターフェイス等の開発が肝であると認識される。

環境対応知的基盤のイメージ

製品 / 部品環境情報：環境影響)、リサイクル処理支援R)

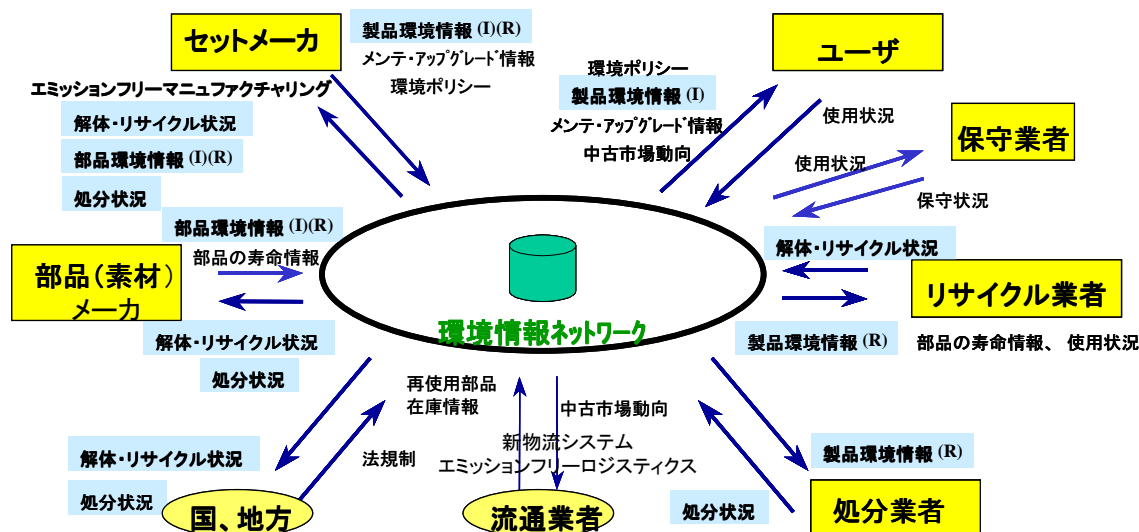


図 3 6 製品環境情報システムのイメージ

ライフサイクルエンジニアリング技術の知的基盤

工業製品のライフサイクル全体を支援して、製造 - 使用 - 分解 - 再利用等のプロセス間で連携を行うための基盤技術である。

- 材質 / 部品コード表示技術
分解、再利用、分別、再資源化等の静脈側工程が必要とする材質情報をコード化して部品レベルでマーキングしておく技術である。
- 部品表示コード体系 / 材質 I D システム
表示すべき部品情報の規定とコード化、コードから材質を判定するためのネットワーク化 D B 等を指す。
- マーキング技術
これは下記の技術群を包含している。
 - 長寿命カラーマーキング
 - 小型長寿命低価格バー / 2 次元コード
 - 高密度マーキング技術
 - 特殊 / 不可視マーキング - 隠しマーキング法
- 履歴トラッキング I D 技術
製品とコア部品の使用履歴、熱環境等を自動的に記録し、次工程に継承する技術である。
これは、下記の技術群を包含している。

- 製品熱履歴記録媒体 - 熱塗料マーキング、
 - 製品稼働・保守記録媒体 - 小型長寿命データキャリア / ICタグ、
 - 製品履歴 - 部品履歴換算モデル / 情報システム
 - コア部品（エンジンパーツ）用履歴自動記録タグ
 - 廃製品時状態の表示方法
- ライフサイクルサポート情報システム
製品ライフサイクルのどの段階の工程からもアクセスでき、動脈側と静脈側が相互に必要な情報を登録・利用できる情報ネットワークである。下記の技術群によって成立すると考えられる。
 - 製品コードから構成、部品種類 / 設計寿命 / 組み付け等の情報を引き出せる公開DB
 - 製品環境情報システムの開発・普及 - 添付参考図
 - 廃製品 / 分解部品動向DB
 - 余寿命判定技術
上記の技術を総合して製品の余寿命診断を行う下記の技術群を含む。
 - 製品履歴から再利用対象部品（劣化水準と余寿命）を判定する技術情報システム
 - コア部品（エンジンパーツ）用履歴 - 余寿命推定モデル / 計算システム
 - エミッションフリーマニュファクチャリング及びロジスティクス情報システム
 - エミッションフリーマニュファクチャリング（製造プロセス）関連情報
 - エミッションフリーロジスティクス（物流プロセス）関連情報
- 静脈物流システム化技術の知的基盤
- 静脈物流システム化技術における知的基盤は、下記の技術群を含んでいる。
- 産業別・メーカー別回収システムの確立
 - 業界ごとのメーカー別 / 業界共通の回収システム設計
 - 業界共通回収システムの投入 / 引き取りルールの確立
 - 業界共通回収システムの開発補助制度
 - 分解・再利用 / リサイクルレベル判定技術
 - 製品履歴、部品履歴から再利用性を推定する寿命DB
 - 再利用資源としての分解部品のID法
 - 再利用部品用追加加工技術の開発・公開 - 部品依存
 - 低価値品大量運搬・仕訳技術
 - 大量平積み輸送手段としての水運利用
 - 廃製品ストックヤード / 簡易棚置きシステムの開発
 - 静脈物流の経済性支援 - 廃製品用高速道路の割引など

(3) エミッションフリー製造基盤の成立要件

エミッションフリーマニュファクチャリングは、最小エネルギーで、なるべく物質投入量を最小とし、廃棄時点でもゴミや有害物質を出さないような次世代工場、次世代生産システム概念であり、その構築が望まれている。例えば、マイクロファクトリーの概念などが将来の覇権を握るための重要な技術開発テーマとなり得ると考えられる。

ここで、「エミッションフリー製造基盤」確立の詳細については更に別途検討が必要であるが、本WGでは「極限制御製造技術」について検討を行った。

極限制御製造技術

製造、物流のエミッションフリー化の延長には、あらゆる工程における処理技術の極限化が挙げられる。現状の問題点・課題である最適な炉材選択が困難である点、及び低い熱効率（高コスト）といった技術課題の克服の延長上には、高温高圧処理(特に1,200 以上)における状態制御(加熱制御、常温常圧状態との連動)、高温炉材、熱効率（コスト）、蓄熱、伝熱、極限燃焼、リーンバーン等の状態制御、極限処理のインプラント化、等の技術、超臨界技術を掌握することが肝であると認識される。

特に、我が国において、鋳物産業や鉄鋼業が元来 1,600 での状態制御技術を活用した製鉄、製錬、鑄造技術等のナレッジを蓄積してきており、技術のベースとしての取っ掛かりとする事が期待される。

例えば、ゴミ発電は、発電システムとしては飛躍的に発電効率を向上させ、発電品質を改善できる為の技術コアは、燃焼と伝熱技術が大きな柱となると考えられ、極限状態変化の技術戦略は燃焼プロセスや伝熱・断熱プロセスを根底的に革新する技術開発テーマであると捉えることができる。次世代処理技術について技術戦略の技術体系を以下に示す。

表 3 廃棄物用発電技術関連

大項目	中項目	小項目	備考
高温燃焼技術	・低空気比燃焼 ・酸素富化燃焼技術	・高効率燃焼	・完全燃焼の維持
		・酸素製造技術	・廉価な酸素製造
	・焼却炉構造/高温耐火材	・高温対応新素材 セラミック等	
		・熱回収率向上技術	・耐高温腐食材料 ・熱伝導効率の高い耐火材と 金属材料の組みあわせ
運転の安定化技術 (最適運転制御システム)	・学習機能付燃焼制御システム		
	・計測・分析技術	・ごみ加りの分析技術 ・ダイナミック等のリアルタイム計測技術	

表 4 廃棄物の低分子化（加圧ガス化技術、超臨界水応用技術）技術関連

大項目	中項目	小項目
高温高圧 腐食対策	新素材	<ul style="list-style-type: none"> ・耐食金属 ・セラミック ・高温劣化防止材料 ・リサイクル可能素材
	素材の複合化	<ul style="list-style-type: none"> ・複合材の接合方法 ・複合材の分離方法
運転状態 予測制御	炉内温度一定制御	<ul style="list-style-type: none"> ・ごみ質の連続分析方法 ・炉内全域の温度分布監視
	プロセス内温度制御（DXN 対策）	<ul style="list-style-type: none"> ・有害物質連続計測方法
	省エネ型運転制御	<ul style="list-style-type: none"> ・運転状態と連動した回転機器の回転数制御
故障・寿命 予測	音響・振動診断	<ul style="list-style-type: none"> ・周波数パターンと故障個所のデータベース
	故障来歴による統計手法からの予測	<ul style="list-style-type: none"> ・取り扱い品目と運転状況別類似機器運転状況のデータベース化と解析手法
	ユーティリティ使用来歴からの予測	<ul style="list-style-type: none"> ・使用量変化と運転のデータベース化と解析手法
高温高圧 下への供給 排出	連続供給技術	<ul style="list-style-type: none"> ・連続供給のための固形物前処理方法 ・固体の液化もしくは液体との混合による連続供給 ・連続機におけるシール方法 ・固形物の定量供給方法 ・シール材料
	連続排出技術	<ul style="list-style-type: none"> ・連続機におけるシール方法 ・シール材料
ガス精製	塩素除去	<ul style="list-style-type: none"> ・小型化とコストダウン
	ガス改質（H ₂ ）	<ul style="list-style-type: none"> ・小型化とコストダウン
触媒技術	DXN(環境ホルモン)分解、再合成防止	<ul style="list-style-type: none"> ・再生可能型触媒技術 ・酸化金属等の廃棄物利用型触媒
吸着技術	吸着材	<ul style="list-style-type: none"> ・高機能型 ・機能は落ちるが低価格な廃棄物利用型吸着材 ・簡易な再生が可能な吸着材

表 5 廃棄物分別・リサイクル・リユース関連技術

大項目	中項目	小項目	備考
高純度・高回収率技術 (複合材・混合材から純度99.9-99.99% 回収率80%以上)	荒分野・前処理技術 (純度90%、回収率95%) ・複合材分離 ・混合材分離 ・精密分離 (純度99.9%、回収率80%)	(多量、低価格、安全重視:既存技術高度化) 接合材溶解・低価格材分離 乾式分離(風選、磁選、トロンメル他) 湿式分離(水、溶剤、選鉱技術) (中小量、対バージン材競争価格) 乾式分離(磁選、静電気) 湿式分離(水、溶剤、選鉱技術) 特定物質除去(塩素、接着剤、重金属他)	
測定・計測技術	微量物連続測定技術 (運転制御、製品品質) 知的検出、分解ロボット 労働環境安全性確保	固形物測定(非接触型、雰囲気外ソウ) 気体、液体 形状・材質認識 粉碎分別時の有害物質発生予測・検出 (粉塵、ガス、溶剤)	レーザ 知的検出
社会的・技術的合意形成	データベースの構築・公開	バージン・リユース品購入・引取基準の明確化 使用有機溶剤・材料データの公表・規制 解毒・解体作業(UV、電磁波、レーザ他) 材料劣化情報(環境中変化他)	

表 6 熱有効利用での省エネルギー技術関連

No	大項目	中項目	小項目
1	エネルギーの貯蔵	・蓄熱密度(容積あたりの蓄熱密度)が大きい蓄熱材 ・高効率熱伝達技術 ・耐久性、安全性(毒性、燃焼性等)の確保技術	・蓄熱材の開発 顕熱型、潜熱型、濃度差型、化学型、その他(光化学、バイオマス) (水、氷が一般的) ・輸送媒体の開発 顕熱利用、相変化利用(水が一般的) ・蓄熱、輸送の両機能をもった材料の開発 氷水スラリー、潜熱マイクロカプセル、潜熱マイクロエマルジョン (開発中乃至は一部実用化中)
2	エネルギーの輸送	・熱輸送密度(容積あたりの輸送密度)が大きい媒体の開発 ・輸送動力低減技術 ・高断熱輸送管	・高断熱材料、工法の開発 共通的な差別化技術として考えられるのは、多元的機能性材料の開発 ・熱特性、流動特性を兼ね備えた複合(混合)材料 例えば 流動抵抗軽減材混合熱流体 マイクロカプセル化 ・化学反応利用材料 例えば、メタノール合成分解利用 物性予測設計技術
3	低エネルギー利用	・ヒートポンプの高効率化技術(圧縮式ヒートポンプ、吸収・吸着式ヒートポンプ) ・高性能熱交換器技術	・要素機器の高性能化 ・未利用エネルギー活用システム技術(ムーンライト、ニューサンシャイン成果の活用)
4	エネルギーマネジメント	・熱利用の時間的、空間的な拡大 ・利用時の量、質(温度レベル)の最適化 ・エネルギーローカルネットワーク構築	・負荷予測制御技術 ・遠隔監視技術 ・デマンド制御技術 ・熱の多段階利用(温度によるカスケード利用)技術(情報化技術の活用)

2.4 機械分野別の環境対応技術戦略

以下に、工作機械分野、OA 機器分野、建設土木廃棄物リサイクル建設機械、建設機械の低公害駆動源・パワーライン（移動型あるいは小中規模離散型システム対応）の分野別の環境技術戦略の体系を提示する。

表 7 工作機械分野・環境安全技術関連（環境）

大項目	中項目	小項目	備考
在来型工作機械 (含むNC)	99%以上がリサイクルされている	NC 装置のリサイクル コンピュータのリサイクル	LCA 評価技術
省エネ形工作機械	電源電圧 400V 化 油圧レス ATC / APC 低発熱高トルクモータ 低待機電力 移動体質量の低減	絶縁技術 / 法的整備 空気シリンダ利用 高速リラクタン্সモータの実用化 軽量 / 高剛性テーブルの開発	省エネ工作機械の 省エネ性評価技術
熱変形フリー工作機械	完全循環型液冷方式の開発 熱的にロバストな設計方法の開発 仮想空調技術による熱変位補償の開発 低発熱案内面の開発 低発熱主軸の開発	熱対象構造設計技術 低摩擦材の開発 電源電圧 400V 化による低発熱モータの開発, 低熱膨張主軸の開発	
環境対応形工作機械	無給油案内面, 無給油主軸 ドライ加工 低消費電力	無潤滑案内面, 軸受の開発 高速工作機械の開発 高効率モータの開発	環境対応形工作機械の 評価技術
ドライ切削加工技術	高速切削技術 ドライ加工対応工具	微量ミスト (MQL) 加工技術 省エネ冷風加工技術 窒素ブロー加工技術 コーティング工具の開発	
ドライ研削加工	微量冷却水研削加工技術		
切削油剤の低エミッション化	脱塩素切削油剤の開発 加工液のリサイクル性向上	塩素フリー切削油剤の開発 ノニルフェノールとアミンのフリー化 極圧添加剤代替材料の開発 分離 / 処理技術, 固化 / 有効資源化	
切りくずの回収技術	切削油剤と材料との分離・処理技術	固化 / 有効材料化	
環境対応放電加工	気中放電加工技術	気中放電加工の高効率化	

表 8 OA 機器分野の環境対応技術関連

大項目	中項目	小項目
アプライアンス技術	・人間工学	・使い勝手の良さ ・軽薄短小
	・バリアフリー技術	・アクセシビリティ技術 (障害者、高齢者、若年者、異文化)
省資源化技術	・物質と技術の循環技術	・リサイクル対応設計、LCA技術 ・マテリアルリサイクル技術 ・リユース品の需給マッチング技術
	・長寿命設計技術	・信頼性設計 ・部品共通化設計 ・単純化設計 ・マン・マシンシステム設計
	・長寿命予測・判定技術	・全数検査技術(音・光・電磁波診断等) ・品質情報技術(稼働品質履歴把握利用技術) ・稼働及び故障履歴からの統計的予測技術 ・自己診断・モータ診断技術 ・稼働履歴、環境影響履歴の内臓化・利用技術 ・部品・ユニット毎の稼働履歴把握・記録・利用技術
	・5R技術	・Refuse:ゴミになる物は買わない ・Return:購入先に戻せるものは戻す ・Reduce:ゴミをへらす ・Reuse:再使用する ・Recycle:資源化する
省エネルギー技術	・製品待機時省エネ技術	・省エネ回路設計 ・製品・部品・ユニット小型軽量化 ・LCA技術
	・エネルギー再利用技術	・分散エネルギー集約技術 ・エネルギー蓄積・搬送技術
汚染予防防止技術	・有害物質削減技術 ・有害物質代替技術	・鉛フリー接合技術 ・無洗浄技術 ・防錆技術
	・製品稼働時の排出物削減技術	・有害物質無害化技術
	・有害物質管理技術	・P R T R

表 9 建設土木廃棄物・リサイクル建設機械の技術関連

NO	大項目	中項目	小項目	備考
1	分離解体技術（種類別にコンタミを少なく分離解体する コンクリートと鉄骨・木質系構造物、石膏ボード、プラスチック、金	解体ロボット 搭乗操作型解体ロボット リモートコントロール操作型ロボット 自動解体ロボット	高所や狭隘な場所で作業可能な構造 自由度の高い作業機構造 高精度操作制御、バイラテラル制御 協調作業操作制御 自動化	機械構造の設計技術的な改良が必要 制御技術 リモートコントロール、自動化は安全の面からも重要
		接合部分離	機械的分解ツール ウォータージェット、プラズマ、レーザなどの利用	機械構造の設計技術的な改良が必要
		材料認識	現場での簡単な分析技術 建設土木材料マーキング	建設土木分野に關係する技術
		分解リサイクルを考慮した建築構造		建設土木分野に關係する技術
2	廃棄物改質技術（建設土木廃棄物特有の改質技術 - 現場循環型処理が望ましい） コンクリートガラ再利用のための調質 （骨材として再利用するためには砂利分、砂分を高純度で取り出す必要がある） 開削土砂、汚泥の改質 汚泥の改質 利用できない細粒度部分の処（脱水したうえで、埋立て処分される）	クラッシング ふるい分け分級 骨材として再利用するためのセメント成分の分離	（既存技術） （既存技術） （低コストで生産性の高い技術未開発）	プラント技術としては、従来の延長線上にある技術も多いが、現場循環型処理をするためには装置のモジュール化、小型化が必要のためには機械構造の設計技術的な改良が必要
		石灰、モルタルを均質に加えて、締め固めできる土砂に改質	（既存技術）	
		脱水	（低コストで生産性の高い 現場処理型の脱水技術は未開発）	
3	タストとして処理される廃棄物を可燃物と不燃物に分別す（分別できれば、通常 可燃物は焼却あるいは管理型埋立 不燃物は安定型埋立て処理さ 分別できない場合はすべて管理型埋立て処理されるの 管理型埋立て処分量が著しく増大する）	可燃物と不燃物の分別（比重選別） 石膏ボードの紙成分と石膏成分の分別	（低コストで生産性の高い 現場処理型の分別技術は未開発）	
4	既埋立て処分廃棄物の再資源（一般的に既埋め立て処分廃棄物の2/3は コンクリートガラと土砂でリサイクル可能 ふんごんすんぷんはくともサマルリサイクル可能）	既埋立て処分廃棄物リサイクルシステム 移動型で、既埋立て処分廃棄物を掘削、分別、改質するプラントシステム	（個々には上記技術課題）	
4	広域汚染地域浄化技術 汚染土壌浄化技術 汚染地下水浄化技術	アバタイト処理 バイオ処理 溶融固化処理 広域のオンラインモニタリング技術		広域の汚染浄化技術として各種の技術が提案されているが、まだ実績は少ない 建設土木分野に關係する技術もふくめて技術開発必要
5	有害物質除去技術 防虫剤、殺虫剤などの成分 重金属除去	構造物に付着、含浸した有害物質の除去、無害化 粉砕したうえで分解、安定化処理 超臨界水応用処理、アバタイト処理		定置型のリサイクルプラントとしての技術課題
6	分別技術 （解体時に混入した異種材料を分別しリサイクル用に高品位化する技術） プラスチック、金属類			
7	回収した材料の有効利用技術 建設土木特有の問題としては廃木材等リサイクル材料のリサイクルプラスチックの用途開発			（廃木材に関しては堆肥化、木材チップ化、家畜用しきわら燃料化等があるが発生量を消費するだけの実用途未開発）

表 10 低公害駆動源・パワーライン（移動型あるいは小中規模離散型システム対応）の技術関連

NO	大項目	中項目	小項目	備考
1	電動ハイブリット技術	建設機械用電動ハイブリット用電池 建設機械用高効率モータ/発電機 大容量インバータ 大電流スイベル	建設機械特有の仕様は、 中容量（100 Kw ~ 1000 Kwクラス） 多アクチュエータ対応 大負荷変動（負荷変動の絶対値が大きく、変動周期が短い） 耐環境性（耐水、耐振動、耐熱） エンジン=モータ/発電機=多アクチュエータの最適ハイサイクル充放電制御	自動車用は 数10 Kw ~ 100 Kwクラスが中アクチュエータは走行システム 負荷変動は比較的緩やか
		エンジンとの最適マッチング制御 動力分割制御 複合作業制御	エンジン=モータ/発電機=多アクチュエータの最適ハイサイクル充放電制御	
		建設機械用作業機用電動アクチュ	建設機械特有の仕様は、 中容量（数10 Kw ~ 数100 Kwクラス） 低速高トルク（直動型も望ましい）	
2	低NOx・低パーティキュレートディーゼル技術	燃焼改善	高圧噴射（既存技術） 燃焼改善（希薄予混合燃焼、EGR=排気ガス再循環） 燃料改質（DME=ディ・メチル・エーテル等）	（自動車技術と類似した課題）
		排気ガス中のパーティキュレートトラップ	パーティキュレートトラップ（DPF=ディーゼルパーティキュレートフィルタ）	セラミックあるいは金属材料技術
3	燃料電池による電動化技術			（自動車技術と類似した課題）
4	エネルギー回生技術	熱回収	排気タービン 熱電素子発電	
		電動システムによる回収	モータ回生（既存技術） キャパシタによるエネルギー回	
		油圧システムによる回収	作業機油圧回生	

3. 安全対応技術戦略

3.1 戦略的安全対応技術の全体構造

近年、我が国においては、原子力発電所や鉄道などの事故を契機に、機械の安全神話が根底から問い直されている。また、機械システムがより高度に、複雑化する過程において、機械の製品安全を確保することは、従来の安全性向上に向けたフェールセーフ思想での設計概念などでは回避しきれない、安全を脅かす複合的な要因が顕在化してきている。このような状況において、機械利用者の安全を確保することが、技術的に求められていると認識される。そこで、機械産業における安全対応技術の方向性を、「高安全先進工業化社会」として捉え、機械の製造側面と利用側面で安全技術を捉え、これらの安全性向上技術として、「安全機械・安全製品」のあり方を検討した。

我が国機械産業の安全対応技術戦略としては、従来、「労働安全」の問題や、作業者の「人的ミス」に起因すると考えられる「労働安全」上の課題解決手段を、機械製品に積極的に取り込んでいくことにより、作業や労働環境が持っていた安全性向上の機能をできるだけ機械へ移管し、機械自体の製品安全を技術的に提供するとともに、機械が稼働している環境や作業者の安全向上を図る技術的必然性を提供する取り組みを行っていくべきであると考えられる。

同時に、作業者の安全性確保を支援する「人機能支援技術」を技術テーマとして捉えた。また、安全対応に関連する情報技術、情報基盤として、安全対応技術の情報基盤を重要テーマとして抽出した。

人間による機器・システムの理解、状況認識、対応の支援を強化するシステム作りを行っていくために、どのような手段が講じられるかを検討していく必要があると思われる。そもそも機械/システムの危険要因とは何かを検討したものが下図である。ところで、機械の安全性とは機械/システムに含まれる危険要因の拡散・暴走の防止ならびに故障/破損に伴って拡大する危険要因に対する対人安全保障技術であるとする事ができよう。

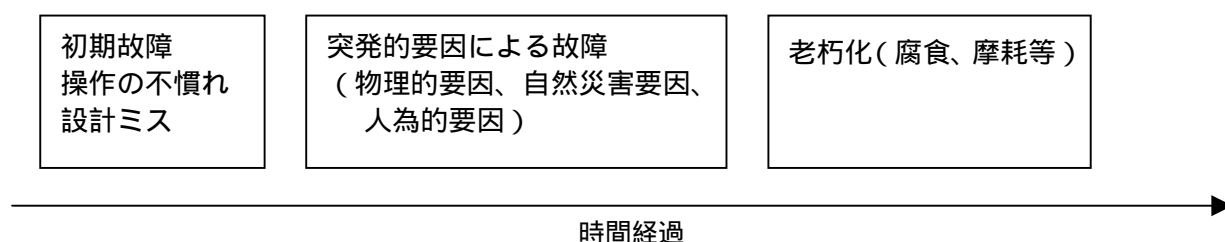


図 3 7 機械/システムの危険要因

安全対応技術は大変に広範な概念であるため、製造技術に立脚して検討を進めた結果、製造の現場を中心とした安全対応技術に絞り込んで下記の4つの技術が重要であるとの認識に至った。

- 人機能支援技術：作業者の安全性を技術的に提供する技術群
- 機械の製品安全向上技術：機械の安全性そのものを向上させる技術
- 安全回復技術：機械の安全性を回復させるための技術
- 安全対応の情報基盤：安全対応の基礎となる情報基盤整備

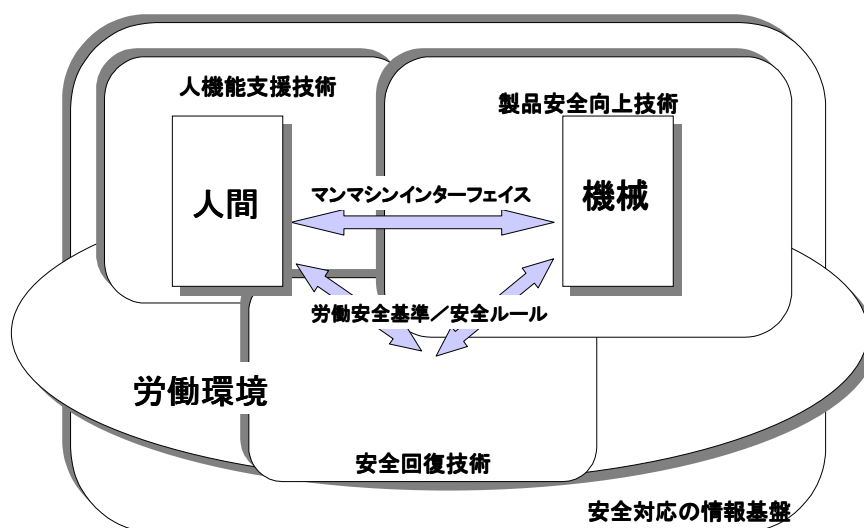


図 3 8 安全対応技術のコンセプト抽出

特に、我が国機械産業は、従来、労働安全の問題や、作業者の人的ミスに起因すると考えられる「労働安全」上の課題解決手段を、機械製品に積極的に取り込んでいくことにより、機械自体の製品安全を技術的に提供し、且つ安全向上を図るための取り組みを行っていくことが重要であると思われる。

3. 2 安全機械・安全製品に関する技術

安全機械・安全製品に関する技術は、機械自体の安全性を確保・向上させるための技術であるのみならず、近年複雑化の一途を辿る機械システムのフェールセーフのあり方を改めて見直す取り組み全体を意図し、製造現場で利用される機械の生産主要国である我が国が、世界に対して発信できる新しい機械安全のパラダイムとして標準化及び安全規格に対する根本的な見直しを図る技術概念である。

特に、我が国機械産業は、従来、労働安全の問題や、作業者の人的ミスに起因すると考えられる「労働安全」上の課題解決手段を、機械製品に積極的に取り込んでいくことにより、機械自体の製品安全を技術的に提供し、且つ安全向上を図るための取り組みを行っていくことが重要であると思われる。これまで日本は、安全規格や標準化において欧米に主導権を握られてきているが、今後は、生産財の主要生産国である我が国も積極的に機械分野におけるルールを世界に提唱し、定着させていくべきである。このため、ルール作りに長けている欧米企業に対して、わが国が一定の発言力を確保していく為にも、技術的な代替案の余地が無い先進的技術をベースとしたルー

ル提案こそが必要であると思われる。

システムの改良・改造・変更・拡張と言った仕事は付き物であるが、異常事態に人間が関与しづらいシステムでは本来使いモノにならないため、人間が常にマスターになれる状態を保持するための技術開発課題や、機械の安全規格自体を日本が世界に向けて発信していくことは、技術戦略上、極めて重要な意義を担っていると思われる。機械・システムの安全に関する技術戦略の課題を以下に列挙する。

表 1 1 機械・システムの安全に関する技術課題

大項目	中項目	小項目
初期故障 (設計ミス等)に対する高信頼性/安全化技術	高強度・高信頼性機械構造材料・システム化技術	スーパーメタルなど新しい構造材料開発
		機械特性データベース化
		スマート構造化技術(ヘルスマonitoring/知的制御・アクチュエータ技術)
	環境に優しい材料技術	重金属汚染フリー化技術、リサイクル化技術、エコマテリアル技術
	高信頼性機能材料・部品化技術	高信頼性センサー・アクチュエータ材料プロセス技術
		高信頼性トライボロジー技術、エコトライボロジー技術(代替フロン化、鉛フリー化など)
		軸受など機械要素の信頼性向上技術
安全システム化技術	部品点数の必要最小化技術	
	可動部・危険部を人間から遮蔽する設計	
	機械が人間に対して安全に動作する技術	
機械・システムのもつ副作用的要因(弱点)に対する安全化技術	物理的要因に対応する安全化技術(携帯電話などの電波ノイズ問題、2000年問題、ハッカー、ウイルスなどによる制御システムの暴走などを含む)	多重系による冗長設計化技術
		故障/破壊など危険要因の伝播/拡大防止設計技術
		N D T (広域高精度超音波探査技術など)
		危険要因の拡散に対する広域モニタリング技術・ネットワーク監視技術
		危険拡散のアラーム技術、早期救援・復旧技術
環境化学的要因に対応する安全化技術(環境ホルモン、CO2、代替フロン対策など)	機械の付随する化学物質の安全性の迅速試験法	
	安全な物質を使用した機械の高性能化技術	
突発的要因による危険の回避技術(フェール・セーフ設計技術)	自然災害要因に対応する安全化技術(地震など)	耐震・免震・制震技術、レトロフィット防災技術
		リアルタイム地震防災技術(ユレダス、キューブなど)
		早期救援・復旧技術
	人為的要因に対応する安全化技術(操作ミス、マニュアルなど)	フルブルー設計/修理し易い保安全性設計技術 認知心理学を組み込んだ人間信頼性工学
老朽化に対する安全化技術	劣化防止技術	耐摩耗性、耐食性向上表面処理
		レトロフィット強化技術
	メンテナンス技術	インテリジェントメンテナンス技術、スマート構造化システム化技術
		ヘルスマonitoring技術(メンテナンスフリー化) レトロフィット補強技術
安全基準・制度・規制など	事故予測・危険予測	危険度シミュレーション技術
		危険要因の影響度予測データベース
	事故調査	事故調査による原因究明・資料・データベース化
		事故例に学ぶ安全技術・基準の見直し、再発防止
安全指針の策定	I S O 12100 などへの対応、操作マニュアル/点検マニュアルの検討	
安全教育の実施/資格認定制度	安全工学の体系化、安全研修制度、保安資格、危険物等保安管理者	

3. 3 人機能支援技術

情報システムに囲まれ、流通する情報を活用でき、生身の人間より圧倒的に高機能化できる人

機能支援技術の開発は、製造現場における安全対応技術という側面に加え、製造現場における人的リソースの高機能化という側面をも持ち得る技術である。人機能支援技術や労働環境（IT ショップ）の安全工場及び高機能化を目指した技術開発テーマの方向性は、以下のように3つに整理することができる。

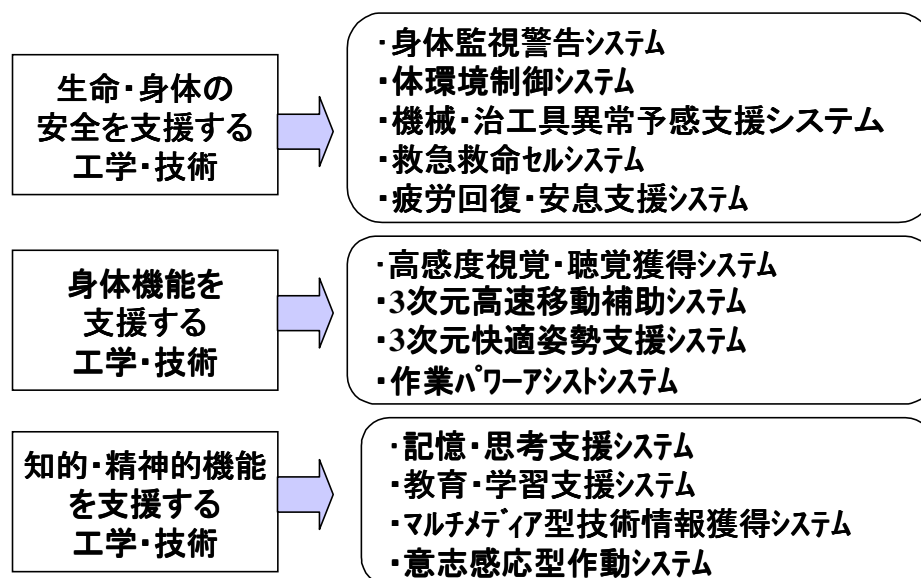


図 3 9 技術開発テーマの方向性

(1) 生命・身体の安全を支援する工学・技術

作業者の安全性を確保する為の技術テーマであり、機械システムから能動的に作業者に対して警告や異常予知を行う、作業者の安全性向上を、機械システム側の技術として提供する技術群である。

(2) 身体機能を支援する工学・技術

作業者の能力、安全に対する感覚を補強する技術テーマである。安全性のみならず、作業者の加工精度を向上させたり、作業者の能力を最大限に発揮、または能力以上の機能を発揮させることを支援する技術を提供することを目的とする。

(3) 知的・精神的機能を支援する工学・技術

作業者の知的活動、学習・教育活動の支援などを行う技術テーマである。

3. 4 安全対応技術の情報基盤

安全対応技術の情報基盤は、前述の環境技術と関連し、製造物（機械）が工場から出荷され、ユーザの手で利用されていく履歴を、安全対応という視点から追尾できる情報技術、及び製造物（機械）の安全性を長期間保持できる長寿命化技術に関する情報技術として捉えている。

環境技術の情報技術や新構造技術との融合により、製品の長寿命化、製品の安全・信頼性保証の

新しい制度体系を提示すると期待され、LCA、検査・診断技術、余寿命判定技術、等における根本的な情報基盤を提供する。

3.5 分野別の安全対応技術の例示

以下に、分野別の安全対応技術の例示を行う。

表 1 2 工作機械分野・環境安全技術戦略（安全）

大項目	中項目	小項目	備考
ISO 16000 の水準をもつ安全管理システム フェールセーフ / インターロック / 安全確認システム 安全立証用のエキスパートシステム	望ましい安全水準の設定 安全確保のための各種装置及び制御回路等に関する情報整備 安全立証支援ツール	広大領域を対象とした安全確認装置の開発 非対称誤り特性をもつプログラマブルな電子制御装置の開発 安全分野における制御部品や制御システムの標準化 自立分散形安全制御システムの開発 生産性に配慮した安全制御システムの開発	EC 機械指令（安全規格） ISO 16000 シリーズ
			EC EMC 指令
			EC 機械指令 ISO 230-5（騒音：DIS） ISO 230-7（振動：研究中）

表 1 3 OA 機器の安全対応技術

大項目	中項目	小項目
・安全技術	・本質安全確保技術	<ul style="list-style-type: none"> ・危険要因の排除 ・より安全な代替設計、材料選択技術 ・危険個所の排除技術（突起、エッジ、挟み込み、転倒、落下、衝突等々） ・危険個所の隔離・密封化技術（活電部、稼働部、高温部、電離放射等）
	・危険レベル低減技術	1）事故発生時の危害低減 <ul style="list-style-type: none"> ・フェイルセーフ設計 ・エネルギー制限 ・難燃化技術（環境安全との両立）
		2）危険状態の発生確率低減 <ul style="list-style-type: none"> ・フルプルーフ技術 ・タンパーレジスト（いたずら防止）技術 ・高信頼性設計 ・冗長設計（多重設計、チレーイング確保、安全率） ・危険材料の隔離・密封、使用制限等
	・安全装置技術	危険状態の検知と危険レベルの低減 <ul style="list-style-type: none"> ・センサーによる安全装置 ・過剰エネルギー防止装置（温度ヒューズなど） ・機械的安全装置（抑止装置、ガードカバーなど）
	・警報・警告・注意装置	危険の顕在化設計 <ul style="list-style-type: none"> ・警報装置・取説、ラベル、色彩表示、音声、光
・電波障害防止技術	電磁気コンパチビリティ技術	

表 1 4 空調機器分野の安全技術戦略課題

No	大項目	中項目	小項目
1	設計、製造時の安全	<製造> ・製造工程のリスクアセスメント ・人機能支援 <設計> ・製品安全リスクアセスメント(リスクとベネフィットの関係) ・寿命設計(信頼性)技術 ・有害環境改善技術(付加機能)	有害使用物質の代替化、廃棄物の無害化処理、火炎なし製造(溶接、ロー付)等 標準化 規格化 (安全設計基準、物質使用基準) 化学物質の安全使用 (例:冷媒 環境性と安全性の両立) レトロフィット可能化 (老朽化部品を交換しての長寿命化) V O C 除去、除塵、殺菌等
2	輸送、据付時の安全	・梱包材設計技術 ・軽量化	環境性と安全性の両立
3	使用、保守・メンテナンス時の安全	・故障診断技術 ・故障予知技術 ・不安全低減技術	検知技術(亀裂、摩耗) 危険状態回避(室内ガス漏れ検知 室外での強制放出) 洩れ防止剤
4	廃棄時の安全	・安全解体技術(燃焼性、爆発性、有害物質)	火気なし解体、低騒音化

表 1 5 車両系産業機械（建設機械）の技術関連

NO	大項目	中項目	小項目	備考
0	(設計、製造に関する安全技術) 高信頼性・安全性 設計 ／製造／メンテナンス技術	高信頼性・安全性に関する管理技術＋固有技術 アセスメント(FTA、FMEA) 規格 標準 ＋ 固有技術		今回はこの領域についてはボーリングせず
1	危険情報表示、警報 技術	①運転視界・視認性向上支援システム	通常のTVカメラ～VR	
		②車両周辺情報入手・警報システム	対人・対物近接センシング	
		③危険状態警報システム	過負荷状況センシング 地盤危険状態センシング	地盤の崩壊による転倒事故が多いが、 地盤の危険状況をセンシングする技術
		④外部への情報伝達・警報システム		
2	事故回避技術	①事故回避運転制御	アンチスキッドブレーキ、トラクションコントロール 過負荷自動停止システム 対人・対物近接自動停止システム 地盤の危険状態に対応した自動安全停止システム	自動車と同 クレーンではすでに実用化されている
3	リモート運転技術	①リモート運転技術	高精度制御 一部の操作作業の自律運転 バイラテラル技術 テレイクジスタンス	単純なリモート運転はすでに実用化 高度なリモート運転技術は今後の課題
4	全自動運転技術	①自律運転システム	ガイドあるいはGPSによる自動走行 衝突防止・安全停止システム 自動掘削、積込み運転 複数の機械の協調制御	ダンプトラックの無人走行は試行中
5	事故が起きたときの安全技術	①乗員保護	エアバッグ 保護システム(保護バー、車両からの 転落防止等)	
		②対人保護	対人被害軽減システム	
		③対物保護	衝撃吸収システム	
6	その他	①火災防止システム	不燃材料 火災自動消火システム	
		②事故発生時自動通報システム		
		③運転者への特性対応システム	運転者特性センシング・評価 可	技術的には未知の部分多い



この事業は、競輪の補助金を受けて実施したものです。

禁無断転載

平成11年度
製造科学技術高度化に関する調査報告書

発行 平成12年4月

発行者 財団法人 製造科学技術センター
東京都港区愛宕1-2-2(〒105-0002)
電話 (03)5472-2561