

平成11年度調査報告書

NEDO-P-9952

平成11年度長期エネルギー技術戦略等に関する調査「産業技術戦略策定基盤調査
(分野別技術戦略〈材料技術分野〉)」

平成12年 3 月

NEDOBIS

E97034

新エネルギー・産業技術総合開発機構

NEDO 図書・資料室

財団法人 金属系材料研究開発センター



010015239-6

平成 11 年度長期エネルギー技術戦略等に関する調査
「産業技術戦略策定基盤調査（分野別技術戦略＜材料技術分野＞）」

委 託 先：財団法人 金属系材料研究開発センター

提出年月：平成 12 年 3 月

頁数：186

調査目的：金属、無機、有機・高分子および繊維等、材料分野における学術・
科学・技術動向（技術革新）の変化、産業競争力および技術競争力
の現状分析と見通し等、技術戦略の提言に資する調査を行い、材料
分野の産業技術が今後対応すべき社会的課題や目標を明確にして、
その目標達成に必要な手段を技術戦略として提言する。

平成11年度長期エネルギー技術戦略等に関する調査「産業技術戦略策定基盤調査
(分野別技術戦略 〈材料技術分野〉)」

平成12年 3 月

新エネルギー・産業技術総合開発機構

委託先 財団法人 金属系材料研究開発センター

序

わが国の金属材料、無機材料、有機・高分子材料及び繊維材料等の材料産業の生産技術は、着実に進歩しているが、欧米をはじめとする世界の生産能力もあらゆる意味で強化されており、グローバルな市場の変化と相まって、産業としての競争は国際的に一段と厳しさを増している。こうした中で材料産業の競争力について、より精緻な分析が求められている。特に、通商産業省におかれては、技術競争力分析と長期技術戦略の検討が行われており、わが国の産業政策上重要な材料産業についても、その競争力の実態を国際的視点から評価しつつある。

このような背景のもと、当センターは、平成 11 年度に新エネルギー・産業技術総合開発機構 殿から『平成 11 年度長期エネルギー技術戦略等に関する調査「産業技術戦略策定基盤調査(分野別技術戦略<材料技術分野>)」』の委託を受け、当センターに大学、国立研究機関及び産業界の研究所等の各機関の第一線の方々からなる「材料国家産業技術戦略検討委員会[委員長：岸 輝雄 東京大学教授]」、及び「WG1(戦略の体制整備)[主査：福田 裕 川崎製鉄(株)技術総括部主査]」、「WG2(重点化技術の抽出)[主査：足立芳寛 東京大学教授]」、「WG3(ネットワーク)[主査：荒井和雄 電子技術総合研究所材料科学部長]」、「WG4(産学官の連携強化)[主査：井口泰孝 東北大学教授]」の4つのワーキンググループを設置し、調査及び検討を進めた。これらの委員会及びワーキンググループにおいては、材料分野における学術・科学・技術動向(技術革新)の変化、産業競争力および技術競争力の現状分析と見通し等、技術戦略の提言に資する調査を行い、わが国材料産業が今後対応すべき社会的課題や目標を明確にするとともに、その目標達成に必要な手段を技術戦略として提言している。

本調査報告書は、岸委員長をはじめ関係者の皆様方に多大なるご協力、ご尽力をいただくとともに、通商産業省の皆様方にも産業政策の動向等、適切なご指導をいただき取りまとめられたものであります。ここに心より厚く御礼申し上げます。

本報告書が、関係各機関にとって今後の戦略的アプローチのための幅広い方面での基礎資料としてご参考になることを期待しています。

平成 12 年 3 月

財団法人 金属系材料研究開発センター

専務理事 鍵本 潔

Technology Strategy for Japanese Materials Industry

(Summary)

The materials industry has been an important one in Japan. In the recent trend of globalization, profitability of the materials industry begin to decline, so it is desirable to bolster its global competitiveness and respond to social needs. This research work has carried out with the following objectives:

- 1) to survey the changes of academic, scientific and technical trends
(technological innovation) in the materials technology;
 - 2) to survey the present condition and prospect for industrial / technological competitiveness, and other items;
 - 3) to clarify the social issues and targets which should be pursued by the materials industry from now on;
- and
- 4) to propose the means for achieving those targets as a technological strategy.

The Materials Industrial Technological Strategy Committee and four working groups -i.e.WG1 (Establishment for the strategic organization), WG2 (Priority materials technology), WG3 (Network), and WG4 (Cooperative research between the industry, universities and the government) were organized in the Japan Research and Development Center for Metals (JRCM). They were composed of the representatives from universities, corporations and national research institutes. And with the participation of related sections in Ministry of International Trade and Industry, the survey and research were carried out with respect to the following areas: 1) the present industrial competitiveness and technology, 2) problems hindering technological innovation and, 3) future prospects and general strategy for their realization, etc.

The results of this work are briefly described below.

The present materials industry is one of Japan's core industries and possesses the highest level technology in the world. However, lately the rate of producer's shipments, productivity and research and development has decreased in the manufacturing industry overall. So it is anxious about beginning to fall off its

competitiveness. Problems hindering technological innovation are as follows:

- 1) Lack of strategies (all-purpose research and development)
- 2) A little cooperative work among the industry, universities and the government
- 3) No improvement of the intellectual basis (data base, etc.)
- 4) Lack of strategy for international standardization
- 5) Absence of the intellectual property rights system
- 6) Poor in natural resources
- 7) Competition and cooperation in the materials research and development
- 8) Budgetary and the other institutional regulations

The foundation technologies to bolster the future competitiveness in the materials industry are as follows:

- 1) Manufacturing processes for improving the efficiency of resources and energy
- 2) Design and evaluation technology on the fine structure and atomic levels
- 3) Bipolarization of high-purity and complex
- 4) Smart materials
- 5) Surface treatment and coating technologies
- 6) Computer aided development of new materials and manufacturing technologies

In response to social needs and restrictions, it is desirable to ask for the materials technologies which make contribution to a circulatory economic society in harmony with the environment, the stable supply of energy, the information-oriented society, and a society that enables safe and peaceful lifestyles to be led.

We propose the following five strategies industry based on the common understanding so that the materials industry ample research and development and lead to the best materials technological innovation in the world by 2010.

- 1) Materials technological strategy planning
- 2) Cooperative work among the industry, universities and the government
- 3) Construction of the intellectual basis and strategy for standardization
- 4) Reform of intellectual property rights
- 5) Resources strategy planning

平成 11 年度長期エネルギー技術戦略等に関する調査

「産業技術戦略策定基盤調査(分野別技術戦略<材料技術分野>)」

要約

わが国の材料産業は、わが国の基幹産業の一つである重要な産業である。近年の産業のグローバル化の中で、材料産業は低収益体質になりつつあり、競争力強化と社会的要請への対応が望まれている。そこで、材料分野における学術・科学・技術動向(技術革新)の変化、産業競争力および技術競争力の現状分析と見通し等、技術戦略の提言に資する調査を行い、材料分野が今後対応すべき社会的課題や目標を明確にして、その目標達成に必要な手段を技術戦略として提言を行うことを目的として調査を始めた。

(財)金属系材料研究開発センターに、大学、企業、国研の代表者からなる材料国家産業技術戦略検討委員会および WG1(戦略の体制整備)、WG2(重点化技術の抽出)、WG3(ネットワーク)、WG4(産学官の連携強化)の4つのワーキンググループを設置して、通商産業省関連各課室からの参加もいただき、①産業競争力と技術の現状、②技術革新を阻害している課題、③将来展望及びそれを実現するための総合的戦略等を調査・検討した。

調査結果の概要は以下の通り。

現在の材料産業は、わが国の基幹産業の一つであり、世界に最も通用する技術を有しているものの、近年になって、製造業全体に占める材料分野の出荷額、生産性や研究開発等の割合が低減してきており、産業競争力の低下が懸念される。技術革新を阻害している課題としては、①戦略の欠如(総花的な研究開発)、②産学官における研究開発の連携の希薄さ、③知的基盤(データベース等)の未整備、④国際標準化戦略の欠如、⑤知的所有権制度の不整合、⑥資源の乏しさ、⑦研究開発の競争と協調、⑧予算等制度上の制約が挙げられる。

今後の材料産業の競争力強化に必要な基盤技術は、①資源・エネルギー効率を向上させる製造プロセス、②微細組織や原子レベルでの設計と評価技術、③高純度化と複合化の二極化、④機能性向上、⑤表面処理技術の向上、⑥コンピューター利用による新材料、製造技術の開発である。社会的要請・制約への対応としては、環境と調和した循環型経済社会、エネルギーの安定供給、高度情報化社会、および安全・安心な生活を送ることができる社会に資する材料技術が望まれる。

2010 年までに、材料産業が十分な研究開発を行い世界最高の材料技術革新を生み出させることを材料共通の認識とし、①材料技術戦略、②産学官の連携強化、③知的基盤の整備及び標準化戦略、④知的財産権改革、⑤資源戦略の5つの戦略(strategy)を推進することを提言する。

委員および調査者

材料国家産業技術戦略検討委員会 <その1>

	氏 名	所 属
委 員	(委員長) 岸 輝雄	東京大学 先端科学技術研究センター 教授 (日本鉄鋼協会 会長)
	安部 明廣	東京工業大学 名誉教授 (日本学術会議材料工学研究連絡委員会委員長)
	石櫃 鴻吉	京セラ(株) 取締役部品研究開発本部長
	掛斐 敏夫	通商産業省 大臣官房審議官
	大山 尚武	工業技術院 機械技術研究所所長
	岡田 雅年	科学技術庁 金属材料技術研究所所長
	小野田 武	三菱化学(株) 顧問
	神尾 彰彦	東京工業大学 教授 ((社)軽金属学会会長)
	神頭 真平	昭和アルミニウム(株) 常務取締役
	木村 茂行	科学技術庁 無機材質研究所所長
	久保田 正明	工業技術院 物質工学工業技術研究所所長
	児玉 皓雄	工業技術院 電子技術総合研究所所長
	佐久間 健人	東京大学 教授 (日本学術会議金属材料専門委員会委員長)
	島 司	旭化成工業(株) 常務理事
	杉本 繁利	トヨタ自動車(株) 第3材料技術部部長
	鈴木 英夫	三菱マテリアル(株) 常務取締役
	數土 文夫	川崎製鉄(株) 常務取締役
	諏訪 基	工業技術院 大阪工業技術研究所所長
	曾我 直弘	滋賀県立大学 教授 (日本学術会議無機材料専門委員会委員長)
	田中 鐵二	旭硝子(株) 専務取締役

材料国家産業技術戦略検討委員会 <その2>

	氏 名	所 属
委員	田中 良平	東京工業大学 名誉教授 ((財)大阪科学技術センター-附属ニュー・マテリアルセンター-所長)
	種村 榮	工業技術院 名古屋工業技術研究所所長
	寺沢 計二	科学技術庁 研究開発局材料開発推進室長
	遠山 幸三	鹿島建設(株) 常務取締役技術研究所長
	中浜 精一	東京工業大学 教授 ((社)高分子学会会長)
	中原 恒雄	住友電気工業(株) 特別技術顧問
	村上 正紀	京都大学 教授 (日本学術会議材料デバイス専門委員会委員長)
	山岸 千丈	太平洋セメント(株) 常務取締役
	山崎 禎昭	石川島播磨重工業(株) 常務取締役技術開発本部長
オブザーバ	塚本 修	通商産業省 非鉄金属課 課長
	福島 洋	" " 総括班長
	板谷 憲次	" 鉄鋼課 技術振興室 室長
	江口 純一	" " " 企画調整班長
	戸井 朗人	" ファインセラミックス室 室長
	入澤 博	" 工業技術院 地域技術課長
	葉賀 史	" " 研究開発官
事務局	鍵本 潔	(財)金属系材料研究開発センター 専務理事
	嶋田 雅生	" 総務部 部長
	白井 善久	" " 総務課長

ワーキンググループ(WG)

(1)WG1(戦略の体制整備)

	氏 名	所 属
委員	(主査) 福田 裕	川崎製鉄(株) 技術総括部 主査(部長)
	泉 洋一郎	(財)化学技術戦略推進機構 常務理事
	伊藤 節郎	旭硝子(株) 中央研究所 特別研究員統括主幹
	古賀 和憲	京セラ(株) 総合研究所 所長
	千葉 文紀	昭和アルミニウム(株) 研究開発部・開発企画室 次長
	足田 和康	三菱マテリアル(株) 開発本部 開発戦略部 副部長
	松本 和久	住友電気工業(株) 経営企画部 部長補佐
オブザーバー	塚本 修	通商産業省 非鉄金属課 課長
	福島 洋	" " 総括班長
	板谷 憲次	" 鉄鋼課 技術振興室 室長
	畠中 正人	" " " 技術班長
	佐藤 嘉晃	新エネルギー・産業技術総合開発機構 基盤技術研究開発室 総括主任研究員
事務局	鍵本 潔	(財)金属系材料研究開発センター 専務理事
	嶋田 雅生	" 総務部 部長
	白井 善久	" " 総務課長

(2)WG2(重点化技術の抽出)

	氏 名	所 属
委員	(主査) 足立 芳寛	東京大学 工学部 製鉄環境システム工学専攻 教授
	幾原 雄一	東京大学 工学部 総合試験所 助教授
	奥山 博信	工業技術院 大阪工業技術研究所 光機能材料部長
	染宮 昭義	(財)化学技術戦略推進機構 部長研究員
	高松 信彦	新日本製鐵(株) 技術総括部部長代理 技術総括グループマネージャー
	田中 秀尚	三菱総合研究所(株) 科学技術産業環境研究室 室長
	田中 良平	東京工業大学 名誉教授
	中浜 精一	東京工業大学大学院理工学研究科 教授
	三島 良直	東京工業大学 大学院総合理工学研究科 教授
	和田 仁	金属材料技術研究所 強磁場ステーション長
オブザーバ	塚本 修	通商産業省 非鉄金属課 課長
	福島 洋	” ” 総括班長
	板谷 憲次	” 鉄鋼課 技術振興室 室長
	畠中 正人	” ” ” 技術班長
	村越 正毅	” 工業技術院 物質プロセス技術課 総括班長
	佐藤 嘉晃	新エネルギー・産業技術総合開発機構 基盤技術研究開発室 総括主任研究員
	上野 清隆	” ” 主査
事務局	鍵本 潔	(財)金属系材料研究開発センター 専務理事
	嶋田 雅生	” 総務部 部長
	白井 善久	” ” 総務課長
	宮川 亜夫	” 研究開発部 主任研究員

(3)WG3(ネットワーク)

	氏 名	所 属
委 員	(主査) 荒井 和雄	工業技術院 電子技術総合研究所 材料科学部 部長
	勝田 順一郎	(株)神戸製鋼所 鉄鋼カンパニー 生産本部 生産技術部 企画担当部長
	河本 洋	(財)ファインセラミックスセンター 試験研究所 副所長
	野中 秀彦	工業技術院 電子技術総合研究所 材料科学部 主任研究官
	藤井 兼栄	工業技術院 大阪工業技術研究所 統括研究調査官
	吉岡 亮二	旭化成(株) 繊維技術企画室 課長
	吉澤 昭男	古河電気工業(株) ネットワーク事業部 技術部 統括部長
	和美 廣喜	鹿島建設(株) 技術研究所 企画管理室 担当部長
オ ブ ザ ー バ ー	塚本 修	通商産業省 非鉄金属課 課長
	福島 洋	〃 〃 総括班長
	板谷 憲次	〃 鉄鋼課 技術振興室 室長
	畠中 正人	〃 〃 〃 技術班長
	戸井 朗人	〃 ファインセラミックス室 室長
	市原 秋男	〃 〃 開発振興班長
事 務 局	鍵本 潔	(財)金属系材料研究開発センター 専務理事
	嶋田 雅生	〃 総務部 部長
	白井 善久	〃 〃 総務課長
	渡部 正孝	〃 21世紀のあかり推進部 主任研究員

(4)WG4(産学官の連携強化)

	氏 名	所 属
委員	(主査) 井口 泰孝	東北大学 未来科学技術共同研究センター 教授
	五十嵐 一男	工業技術院 名古屋工業技術研究所 産学官連携推進センター長
	加藤 理生	住友金属工業(株) 技術部 専任部長
	加茂 睦和	科学技術庁 無機材質研究所 総括無機材質研究官
	剣持 潔	工業技術院 物質工学工業技術研究所 複合材料部長
	武下 拓夫	三菱マテリアル(株) フェロー
	長井 寿	科学技術庁 金属材料技術研究所 フロンティア構造材料研究センター 材料創成ステーション 第3ユニットリーダー
	中川 幸也	石川島播重工業(株) 技術本部 副本部長
	武田 義信	住友電気工業(株) 伊丹研究所 所長
	松崎 邦男	工業技術院 機械技術研究所 変形工学研究室 主任研究官
オブザーバー	塚本 修	通商産業省 非鉄金属課 課長
	福島 洋	” ” 総括班長
	板谷 憲次	” 鉄鋼課 技術振興室 室長
	畠中 正人	” ” ” 技術班長
事務局	鍵本 潔	(財)金属系材料研究開発センター 専務理事
	嶋田 雅生	” 総務部 部長
	白井 善久	” ” 総務課長
	大園 智哉	” アルミニウムリサイクル推進部 主任研究員

目 次

第1章 材料分野における産業技術動向と戦略

1. はじめに	1
1.1 調査目的	1
1.2 調査の内容	2
1.3 調査体制	3
1.4 調査経緯	4
2. 材料産業における産業競争力と技術の現状分析	7
2.1 材料産業のおかれた現状	7
2.1.1 材料産業の現状と特徴	7
2.1.2 日米の生産性比較分析	13
2.1.3 材料産業の国際競争力	18
2.1.4 個別産業ごとの現状と特徴	22
2.2 材料産業技術の状況	25
2.2.1 材料産業技術の特徴	25
(1) 材料技術	25
(2) プロセス技術	25
2.2.2 材料産業技術を巡る国際比較	26
(1) 研究費および売上高研究費比率の推移	26
(2) 研究本務者数	30
(3) 主要学会の会員数の推移	36
(4) 特許の出願状況	37
(5) 論文数の動向	38
(6) 技術貿易の推移	41
3. 材料分野において技術革新を阻害している課題	45

4. 材料産業技術の今後の展望と戦略	48
4.1 技術革新の展望	48
4.2 社会的要請・制約への対応	51
4.3 総合的戦略	55
4.3.1 目 標	55
4.3.2 総合戦略	55
5. 材料産業技術戦略の具体化	59
5.1 戦略の体制整備	59
5.2 産業技術の重点化	64
5.3 ネットワーク化	76
5.4 産学官の連携強化	82
6. まとめ	86

第2章 大学における材料科学技術動向調査

1. まえがき	87
2. 将来の社会と材料	88
2.1 産業のグローバル変化とその対応	88
2.2 資本生産性から資源生産性へのシフト	90
2.3 「資源生産性」と長期戦略の位置づけ	90
2.4 材料の生産側問題と利用側問題	91
2.5 産官学連携と起業育成の課題等	93
3. 挑戦すべき課題	94

3.1 社会に必要な材料技術	94
3.1.1 環境と調和した循環型経済社会の構築	94
3.1.2 エネルギー安定供給、地球環境保全および経済成長(3E)の実現	96
3.1.3 経済社会の新生の基盤となる高度情報化社会の実現	97
3.1.4 安全・安心で質の高い生活を送ることができる社会の形成	99
3.2 学術・研究	101
3.2.1 金属・材料系科学技術推進の為の着眼点と方向性	101
3.2.2 戦略的に研究開発を行うべき金属・材料系科学技術課題	102
3.2.3 金属・材料系科学技術課題を具現するための方策	104
3.3 人材育成	107
3.3.1 求められる人材とその育成・教育	107
3.3.2 従来の大学における材料教育	108
3.3.3 問題点	109
3.3.4 今後の対応と方向	111
4. 戦 略	113
4.1 資源生産性コンセプトの確立	113
4.2 国の研究開発基盤の再構築	114
4.3 採るべき方向	115
4.4 提 言	117
5. あとがき	122
委員名簿	123
添付図表	124
大学教育方法のパラダイムシフト	134
[付属資料]	
1. 材料分野の産業技術に関するアンケート調査結果	137
2. 米国技術動向及び共同研究の調査	154

第 1 章 材料分野における産業技術動向と戦略

1. はじめに

1.1 調査目的

わが国の材料産業は、基幹産業の一つであり、産業基盤としての役割や雇用確保の観点から欠かすことのできない重要な産業である。しかし、最近の産業のグローバル化の中で、わが国の材料産業は、装置産業であること、系列ごとにあらゆる材料を取り扱っていることおよび過剰設備であること等のために、一般的には差別化や付加価値の高度化が困難で、過当競争による低収益体質になってきており、材料産業の競争力を強化することが望まれている。

また、今日の社会的要請として、世界の共通かつ最大の課題は、エネルギー・環境問題であり、経済の持続的な発展を阻害することなく、いかにしてCO₂を始めとする温室効果ガスを低減せしめるかが極めて重要になっている。特に、わが国では、化石燃料をいかに効率的に利用するかが最も重要な技術課題である。具体的には、石炭液化・ガス化、火力発電の高効率化や燃料電池の開発、さらに、自動車や航空機等の軽量化等、輸送機器による省エネルギー等の技術課題が挙げられる。これらの技術課題のいずれにおいても、新材料の開発が必要である。

このようにわが国の材料産業の競争力強化と社会的要請への対応を図るためには、わが国のエネルギー、情報化技術、環境技術等に資する材料分野の研究開発を戦略的かつ効率的に推進する必要がある。このためには、現状及び将来のニーズを正確に分析し、研究開発のあるべき姿や開発目標を明確にして政策資源の効率的かつ重点的な配分を行うことが必要不可欠である。

そこで、材料分野における学術・科学・技術動向(技術革新)の変化、技術競争力の現状分析と見通し等、技術戦略の提言に資する調査を行い、材料分野が今後対応すべき社会的課題や目標を明確にして、その目標達成に必要な手段を技術戦略として提言を行うことを本調査の目的とする。

なお、ここで対象とする材料は、大別すると金属材料(鉄鋼、非鉄(アルミニウム、半導体材料等))、無機材料(セラミックス、ガラス、セメント等)、有機・高分子材料(プラスチック等)及び繊維材料であるが、重要なカテゴリーである複合材料、耐熱材料といった区分もある。

1.2 調査の内容

本調査では、下記のように、材料分野の産業競争力と技術の現状および大学を中心とした学術・研究や人材育成について調査するとともに、材料分野の大学、企業や国立研究機関の学識者、技術者や研究者に対して、材料産業技術に関するアンケートを実施した。そして、それらの結果を基に技術革新を阻害している課題を抽出し、将来の展望およびそれを実現するための総合的戦略を検討し提言を行った。

(1) 材料産業における産業競争力と技術の現状調査

- ・材料産業のおかれた現状と特徴
- ・材料産業の国際競争力
- ・材料産業技術の特徴
- ・材料産業技術を巡る国際比較

(2) 大学を中心とした材料科学動向調査

- ・将来の社会と必要な材料技術
- ・金属・材料系科学技術の現状、課題と方向性
- ・大学における材料教育の現状と課題

(3) 材料分野の産業技術に関するアンケート

- ・産業競争力と技術競争力
- ・材料・プロセス技術に関する現状認識
- ・材料・プロセス開発における阻害要因
- ・将来必要となる材料・プロセス開発、技術ニーズおよびシーズ

(4) 材料分野において技術革新を阻害している課題

上記(1)～(3)の調査や検討を基に、現状の技術革新を阻害している課題を抽出した。

(5) 将来展望及び総合的戦略

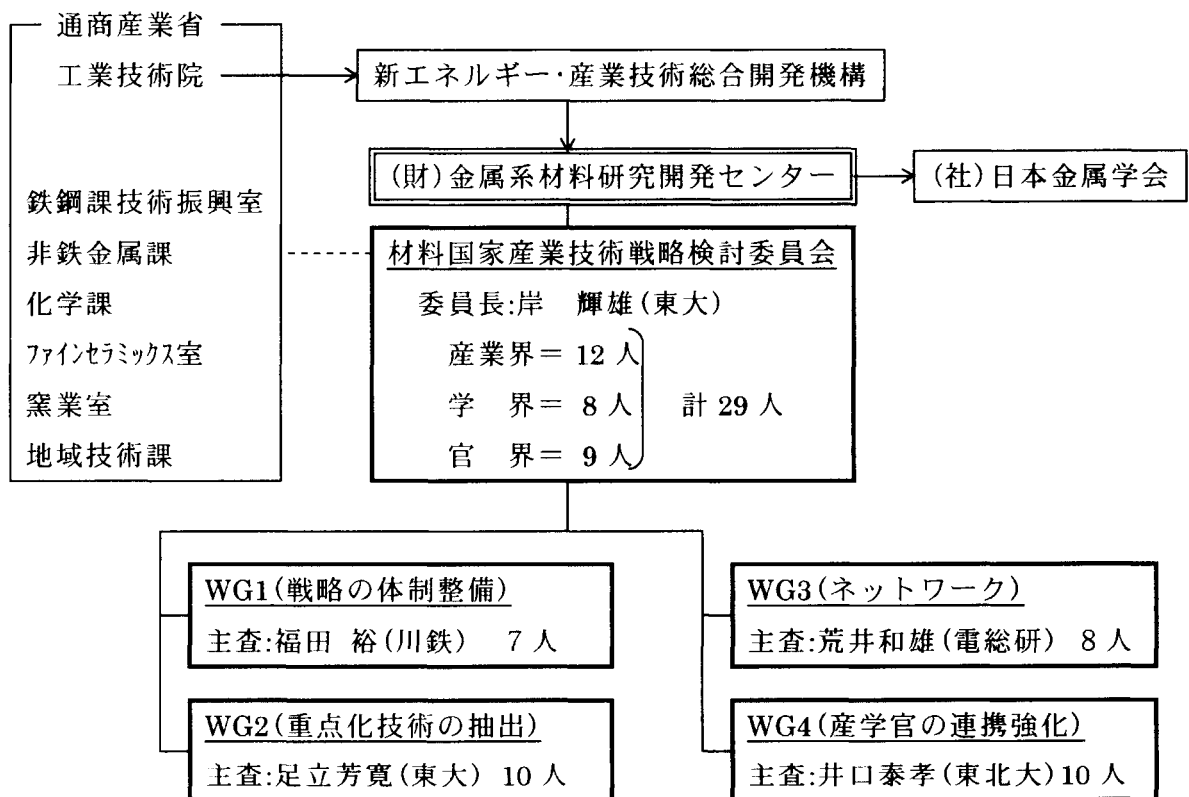
上記の結果をふまえ、今後(2010年頃)の材料分野が対応すべき技術的目標(シーズ)や社会的要請を明らかにした。さらに、技術革新を阻害している課題等の対策を検討し、産業技術戦略の提言を行った。

- ・技術革新の展望
- ・社会的要請や制約への対応
- ・総合的戦略の提言
- ・戦略の具体化

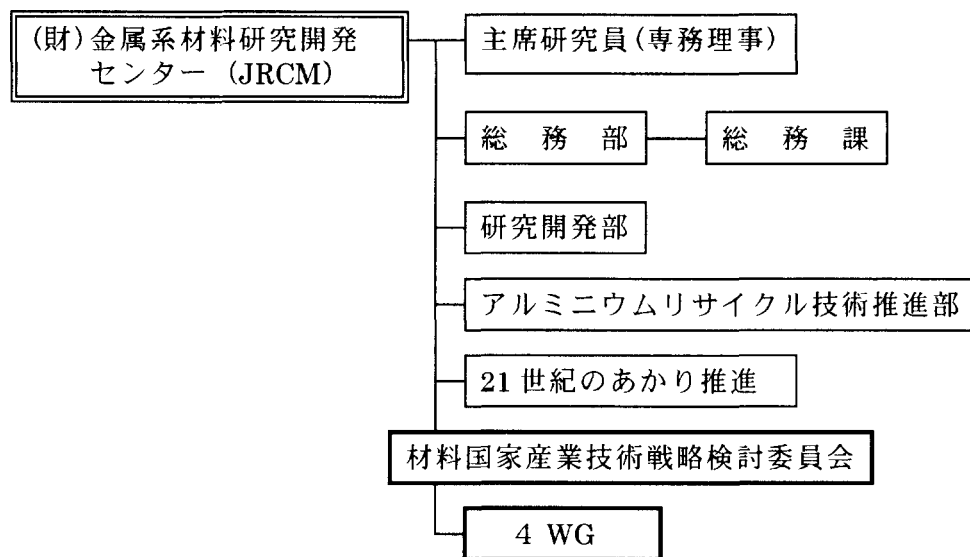
1.3 調査体制

産官学の英知を結集するために、金属、化学、無機材料等の各材料分野における学識経験者を大学、国研、企業等から委員の推薦を求め、(財)金属系材料研究開発センター(JRCM)に本調査研究を推進する「材料国家産業技術戦略検討委員会」を設置し、本調査の運営方針を討議するとともに、具体的な調査を行い総合的戦略の提言を行った。さらに、本委員会の下に4つのワーキンググループ(WG)を設置して、提言された戦略を進めるための具体的な方法・手段について調査・検討を行った。調査のうち、大学を中心とする材料科学技術の動向については、(社)日本金属学会に依頼して調査・検討を行った。

(1) 全体体制



(2) (財)金属系材料研究開発センター体制



1.4 調査経緯

平成 11 年 9 月に、材料分野の産業や技術の競争力の現状、材料(プロセス)開発における課題及び将来必要となる材料(プロセス)等について、材料分野の大学、企業や国立研究機関の学識者、技術者や研究者に対してアンケート(付属資料 1)を実施した。

(1) 材料国家産業技術戦略検討委員会

平成 11 年 9 月より産学官の代表者からなる委員候補の選出を開始し、10 月上旬には委員名簿を作成した。以後、下記のように委員会を開催し、産業競争力と技術の現状を調査し、技術革新を阻害している課題、将来展望及び総合的戦略を検討した。

・第 1 回委員会：平成 11 年 10 月 14 日

国家産業技術戦略について、および材料分野の産業技術戦略の必要性について、趣旨説明が行われた。また、上記アンケート結果について報告があった。材料分野の産業や技術の現状について討議され、産業技術戦略の必要性が認識された。

・意見交換会：平成 11 年 11 月 4 日及び 5 日

材料分野の産業や技術における課題、今後の展望およびそのために必要となる技術戦略について、2 日間に分けて各委員、オブザーバーおよび事務局が自由に討議した。

・第2回委員会：平成11年11月19日

材料分野の技術革新を阻害している課題、材料（プロセス）技術分野の技術革新の展望および総合的戦略について、各委員が各自の調査資料を用いてプレゼンテーションを行い、討議した。

・第3回委員会：平成11年12月1日

将来の社会展望を調査・検討するとともに、材料分野の産業技術の現状や課題をふまえた総合的戦略を提言した。

(2)ワーキンググループ(WG)

平成12年1月に、委員会で提言された総合的戦略を具体化するためにWGを設置することになり、委員候補の選出を行った。2月上旬には委員名簿を作成し、2月中旬以降下記の4つのWGを順次開催した。

○WG1(戦略の体制整備)

平成12年2月16日に第1回WGを開催し、上記委員会で提言された材料分野の産業技術戦略の趣旨説明が行われた。始めに、他産業分野の戦略の体制の例として、財団法人化学技術戦略推進機構の設立の経緯および現状について調査を行った。材料分野の戦略策定の必要性、体制の役割やその規模について討議し、「材料産業技術戦略研究所(仮称)」の創設を提言した。

○WG2(重点化技術の抽出)

平成12年2月28日に第1回WGを開催し、上記委員会で提言した材料分野の産業技術戦略の趣旨説明が行われた。始めに、技術と産業の連関の強さを評価する方法や重点化技術の抽出方法について過去の事例を調査した。2010年を目標として国の公的資金を配分して、重点的に取り組むべき材料産業技術を社会ニーズの観点より抽出した。また、材料産業技術を定量的に評価して重点化する方法について検討を行った。

○WG3(ネットワーク)

平成12年2月21日に第1回WGを開催し、上記委員会で提言した材料分野の産業技術戦略の趣旨説明が行われた。始めに、現在既にある材料産業技術関連のデータベースやバーチャルラボラリーについて調査した。共通研究基盤としてのファクトデータベースのあり方や産学官が一体となった研究開発を支援するバーチャルネットワークの構築などについて検討を行った。その結果、材料研究開発を創造・基盤研究から応用・実用研究開発段階まで一貫して支援し、産業競争力強化や新産業創出・育成を推進するため

の「材料産業技術ネットワーク」の構築が必要であるという結論を得た。

○WG 4（産学官の連携強化）

平成 12 年 2 月 22 日に第 1 回 WG を開催し、上記委員会で提言した材料分野の産業技術戦略の趣旨説明が行われた。産学官が連携して進めているプロジェクト事例について調査し、その課題について討議した。また、(社)日本金属学会に依頼した「大学を中心とする材料科学技術動向調査」報告書について説明が行われた。これらを基に、産学官の役割分担や連携すべき領域、連携の方法や人材教育（大学教育と CPD（継続専門教育））について提言を行った。

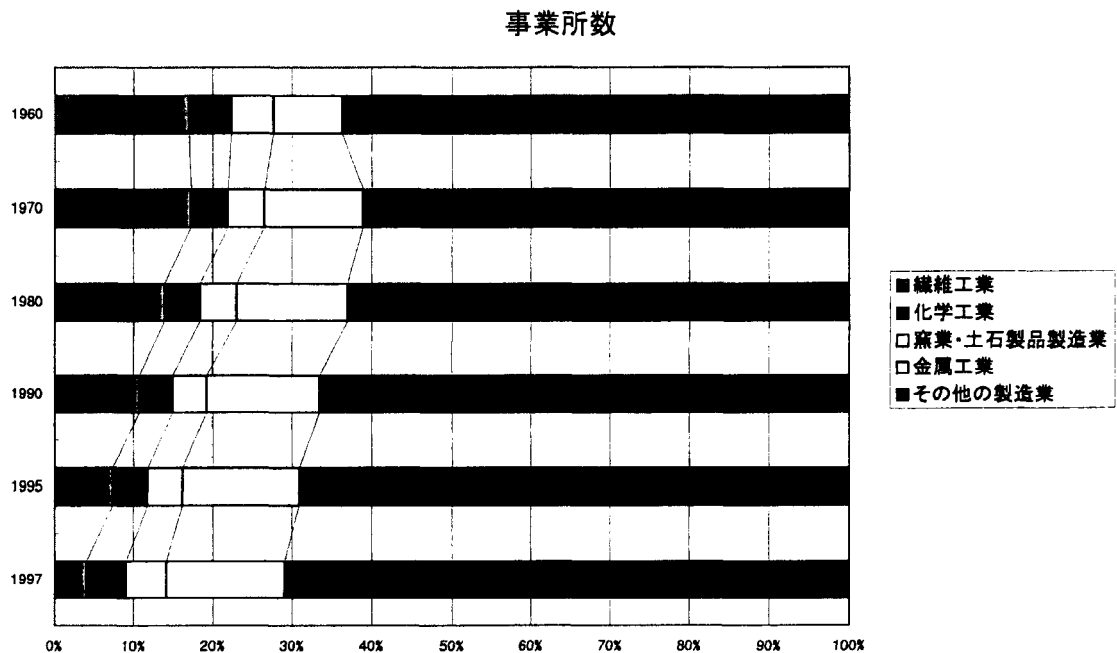
2. 材料産業における産業競争力と技術の現状分析

2.1 材料産業のおかれた現状

2.1.1 材料産業の現状と特徴

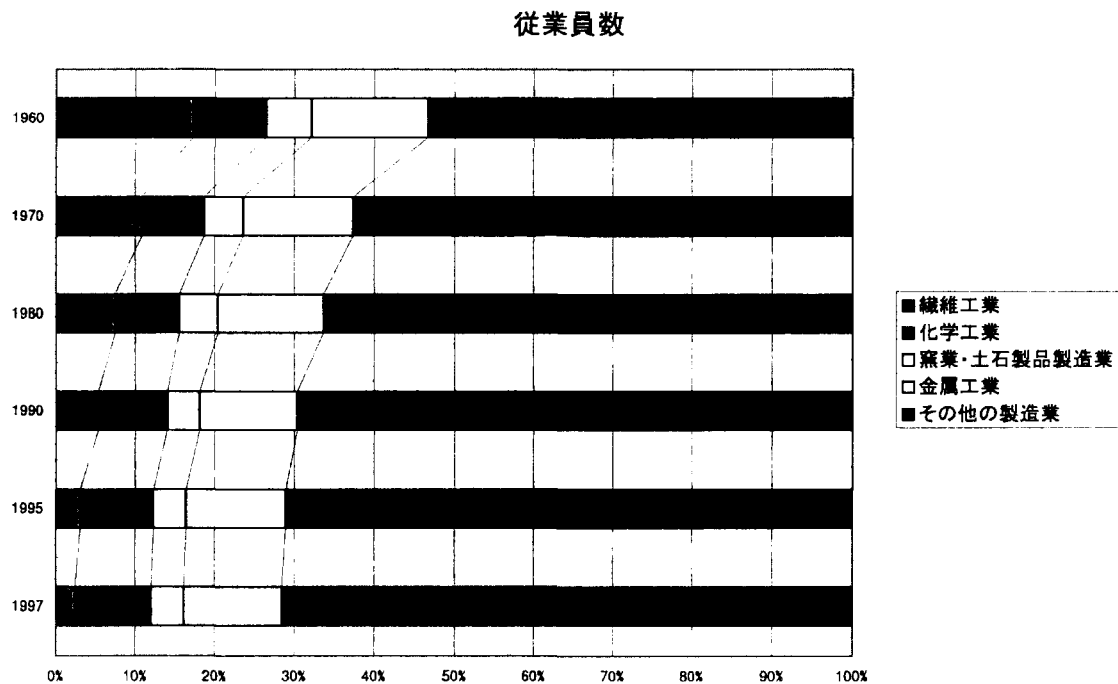
工業統計によるわが国の材料産業の事業所数、従業員数、出荷額および付加価値額の全産業に占める割合を見ると、わが国の材料産業は 1997 年現在、出荷額 93 兆円（製造業全体の 29%）、従業員数 282 万人（製造業全体の 28%）、付加価値額 40 兆円（製造業全体の 33%）となっており、1960 年（出荷額 45%、従業員数 47%、付加価値額 44%）に比べるといずれも低下している。しかし、いずれも依然として全産業の 30 %程度を占めていることから、材料産業は、わが国の基幹産業の一つであり、雇用確保や産業基盤としての役割の観点から欠かすことのできない重要な産業である。

2.1 材料産業の事業所数が製造業に占める割合の推移



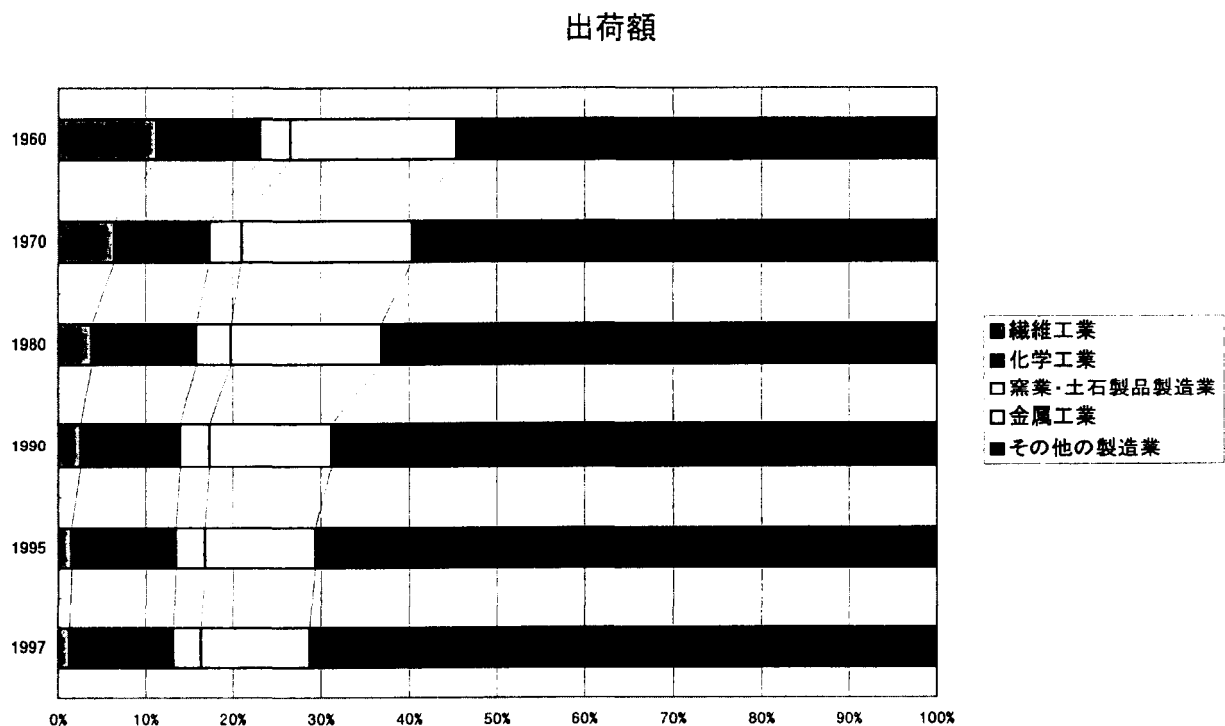
【出典：工業統計より】

2.2 材料産業の従業員数が製造業に占める割合の推移



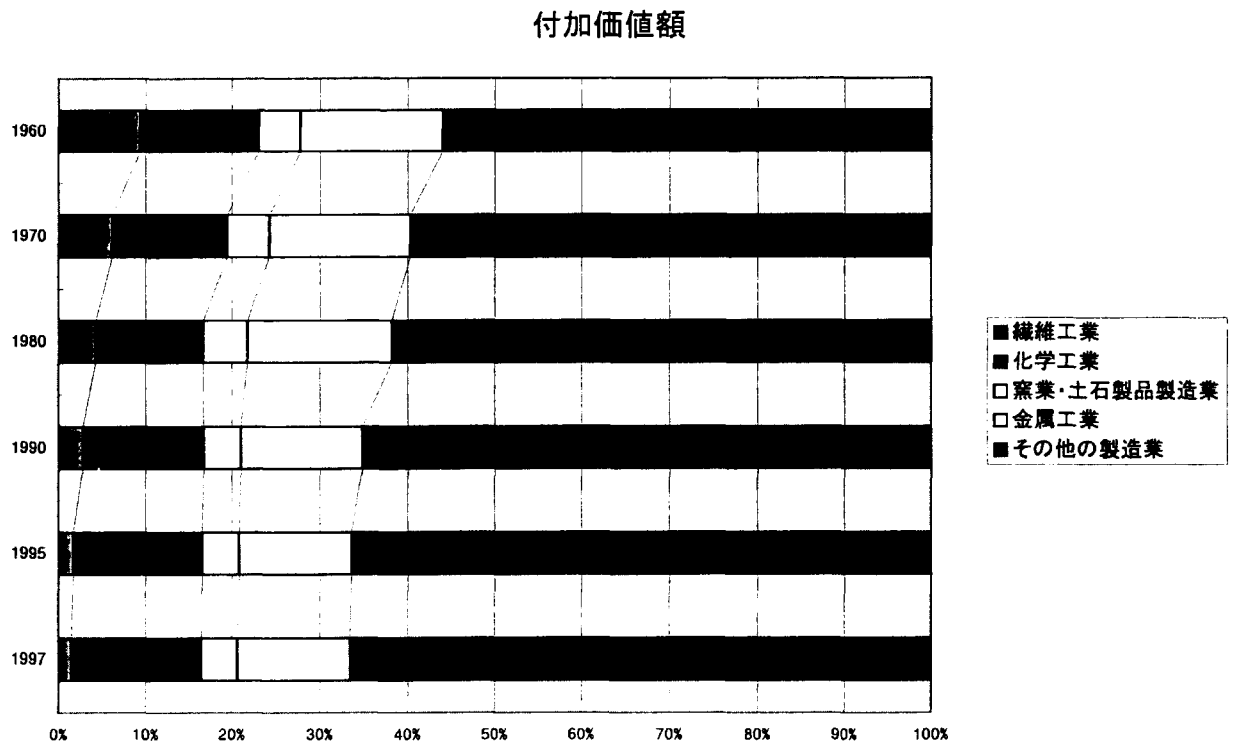
【出典：工業統計より】

2.3 材料産業の出荷額が製造業に占める割合の推移



【出典：工業統計より】

2.4 材料産業の付加価値額が製造業に占める割合の推移



【出典：工業統計より】

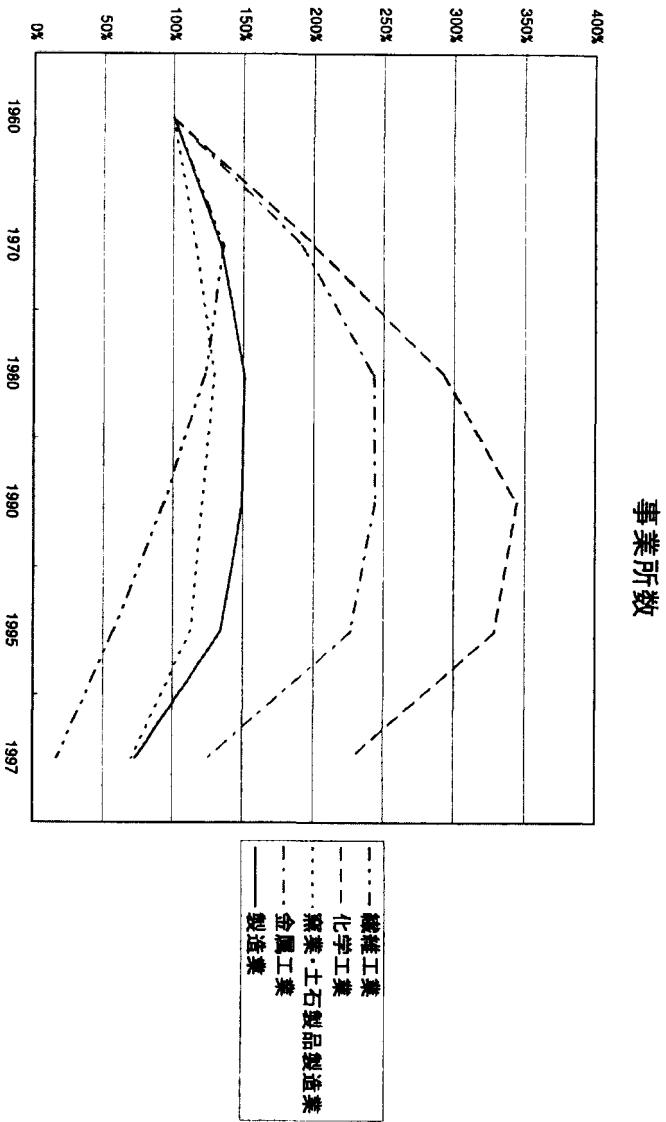
個別産業（繊維、化学、窯業、金属）ごとに 1960 年と比較すると、繊維産業のシェアにおいて、出荷額が $1/11$ 、従業員数が $1/8$ 、付加価値額が $1/9$ となったことが大きく影響しており、それ以外の産業については、金属産業が若干シェアを減らしているものの、大幅な変化は見られない。

1960 年を 100 として、材料産業を個別産業ごとに、出荷額、事業所数、従業員数および付加価値額の推移を見てみる。

1997 年現在、従業員数については、繊維が 20 に減少しているが、窯業が 100、金属が 115、化学が 145（製造業全体は 136）となっている。製造業全体も含めて、いずれも 1990 年以降は減少傾向が見られる。

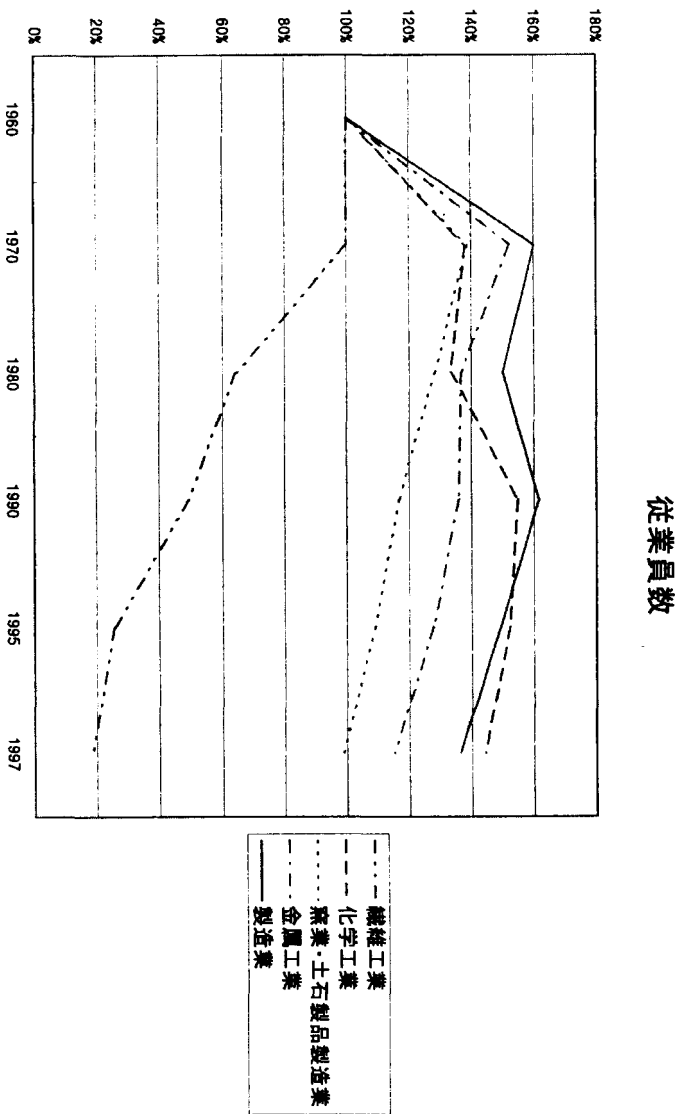
出荷額および付加価値額については、繊維産業を除いて 1970 ～ 1990 年に 15 ～ 25 倍の大幅な増加が見られるものの、1990 年以後はほぼ安定している。繊維産業は、1960 年と比較して 2 ～ 3 倍の伸びにとどまっている。

2.5 材料産業における事業所数の伸び率の推移



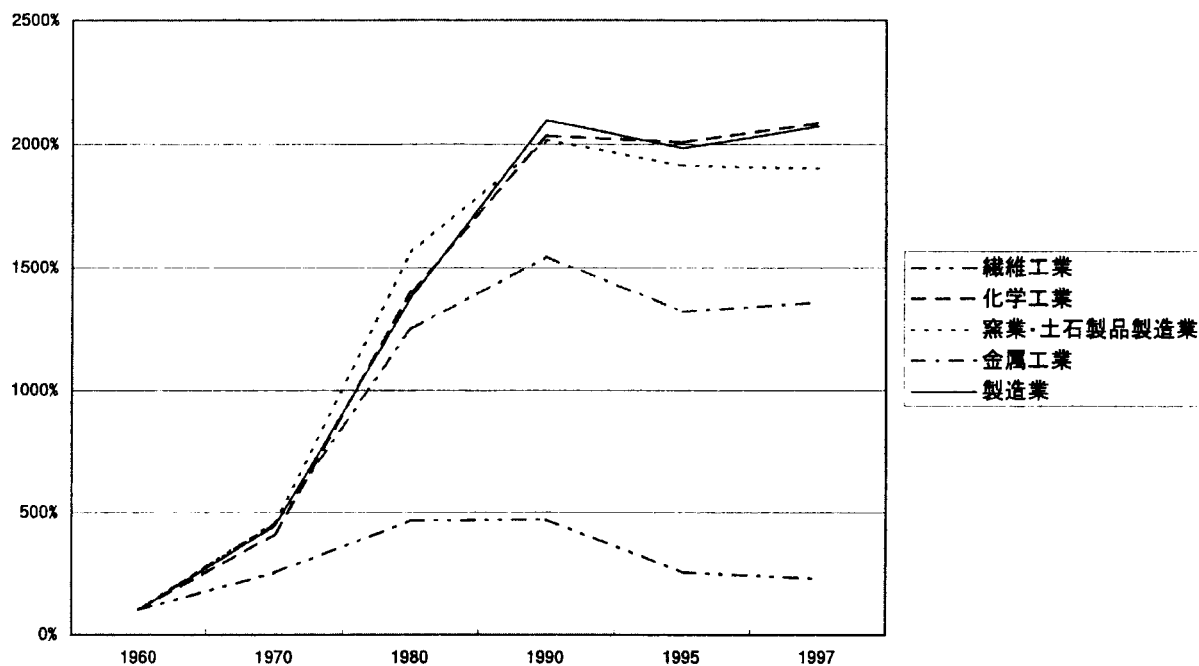
【出典：工業統計より】注）1960 年を 100 % とする。

2.6 材料産業における従業員数の伸び率の推移



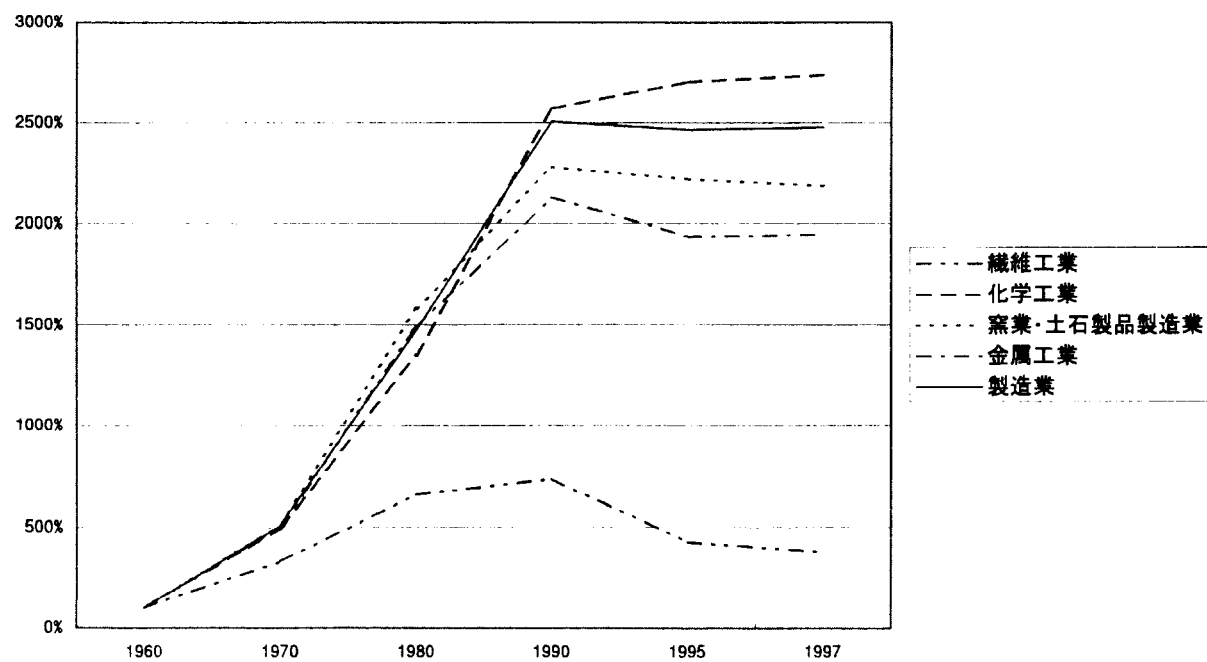
【出典：工業統計より】注）1960 年を 100 % とする。

2.7 材料産業における出荷額の伸び率の推移



【出典：工業統計より】注）1960 年を 100 % とする。

2.8 材料産業における付加価値額の伸び率の推移



【出典：工業統計より】注）1960 年を 100 % とする。

材料産業は、組立加工産業、建設業等に素材としての材料を提供する産業であり、材料産業の産業連関係数は、2.03 となっている。これは、精密機械の 2.01 や建設の 1.94 等と比較して高く、他の産業への影響が大きい基幹産業と言える。材料産業の内訳は、鉄鋼が 2.54 と最も高く、次に化学の 2.14 であり、プラスチック、ゴム製品が 1.37 と低くなっている。【出典：平成 7 年度産業連関表逆行列係数】

材料産業は、わが国が世界第二の市場規模を有することから安定的に発展してきた。基本的には嵩が張ること、ユーザーの品質要求が高いことや流通が複雑であることから輸入を抑圧する傾向にあり、安定的な発展をしてきた。しかし、繊維やセメントなど内需のみに依存しているため、内需が伸び悩んでいる産業もある。また、ユーザーの高いスペック要求から鉄鋼(電磁鋼板等)やアルミニウム(ハードディスク等)などのように高級品に強い産業もある。

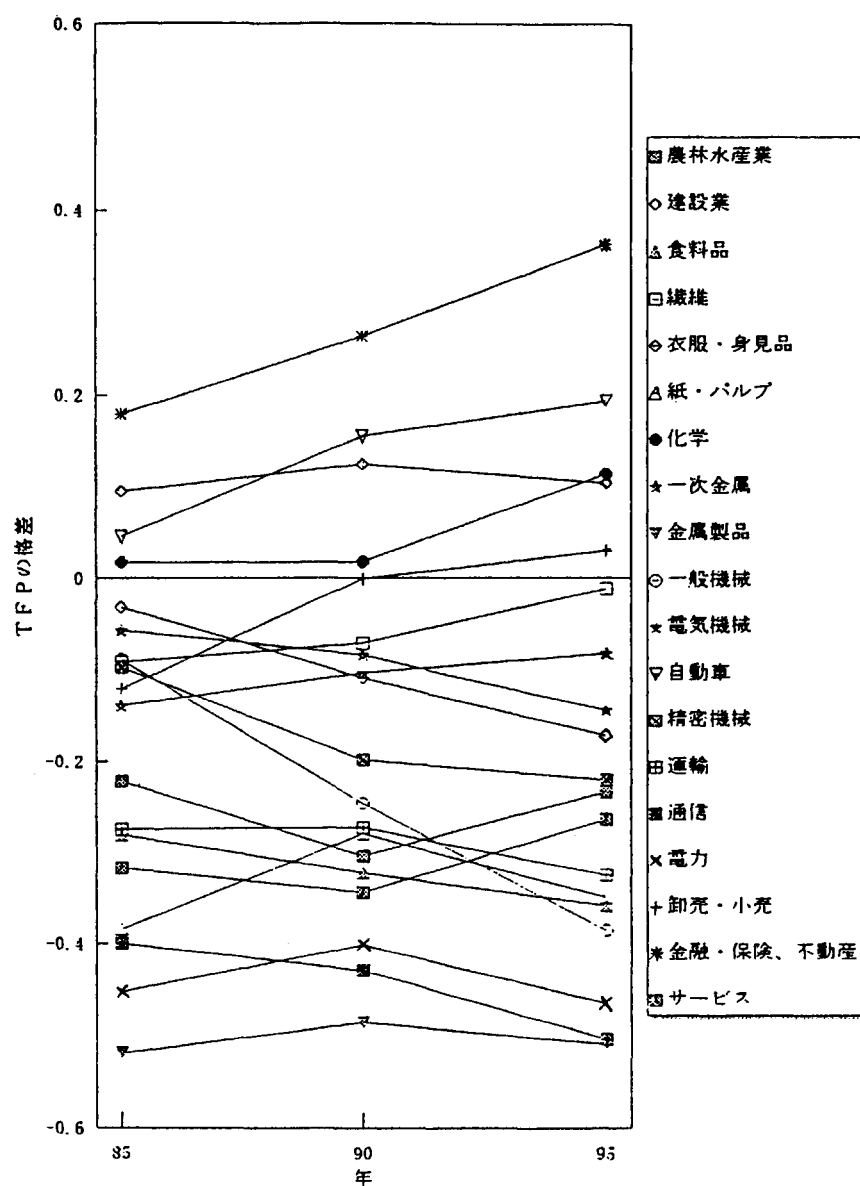
一方、材料産業は、低収益体質、デパート操業および流通コストが大きいという課題を有している。装置産業である一方、差別化や付加価値の高度化が困難なことから、過剰生産による過当競争により低収益体質となっており、資本系列の存在やメインバンク制度が淘汰を阻んでいる。また、系列毎にあらゆる材料を取り扱っている(デパート操業)ことや、古くからある流通構造もコスト削減の制約要因となっている。さらに、企業の横並び意識が強いことも集中と選択を阻害している。【産業構造審議会総合部会基本問題小委員会報告書の我が国経済及び産業の「強み」と「弱み」、素材産業構造問題研究会から抜粋】

自動車、家電メーカーの大型再編を受けつつ、欧米では材料産業の事業再構築が急速に進んでいる。具体的には、鉄鋼産業はEUで1国1社となり米国では集中が進み、化学産業は、総合型、スペシャリティー型、ライフサイエンス型への特化、アルミニウム産業では巨大な2社への統合といった大胆な事業再編が進んでおり、わが国でも事業再構築が喫緊の課題になっている。【素材産業構造問題研究会から抜粋】

2.1.2 日米の生産性比較分析

慶應大学 黒田教授とハーバード大学 Dale W. Jorgenson により、1975 年から 1995 年までの日米の生産性 (TFP) を比較分析した結果は以下の通りである。

2.9 各産業の生産性 (TFP) の日米格差の推移



注) 正値は日本が優位、負値は米国が優位の場合である。

1985 年と 1995 年の各産業の日米格差より、米国が優位であるものは一次金属、金属製品、窯業・土石であり、同水準は繊維、日本が優位であるものは化学のみである。材料産業の生産性は総じて米国が優位となっている。

2.10 各産業の生産性(TFP)の日米格差

米 国 が 優 位	格差拡大	・一次金属：米国の生産性上昇、日本の生産性も上昇 ・通 信：" ・一般機械：" ・精密機械：" ・運 輸：" ・食 料 品：米国の生産性上昇、日本の生産性は低下 ・衣服,身見品："
	格差同程度	・農林水産業：米国の生産性横這い、日本の生産性も横這い ・金属製品：" ・電 力："
	格差縮小	・紙, パルプ：米国の生産性上昇、日本の生産性も上昇 ・電気機械：" ・サービス：米国の生産性低下、日本の生産性は横這い
同 水 準	格差同程度	—
	格差縮小	・繊 維：米国の生産性上昇、日本の生産性も上昇 ・卸売, 小売：米国の生産性横這い、日本の生産性は上昇
日 本 が 優 位	格差拡大	・化 学：米国の生産性横這い、日本の生産性は上昇 ・自 動 車：米国の生産性低下、日本の生産性は横這い ・金融, 保険, 不動産："
	格差同程度	・建 設 業：米国の生産性横這い、日本の生産性も横這い
	格差縮小	—

注 1) 30 業種中、主要 19 業種の格差を分析

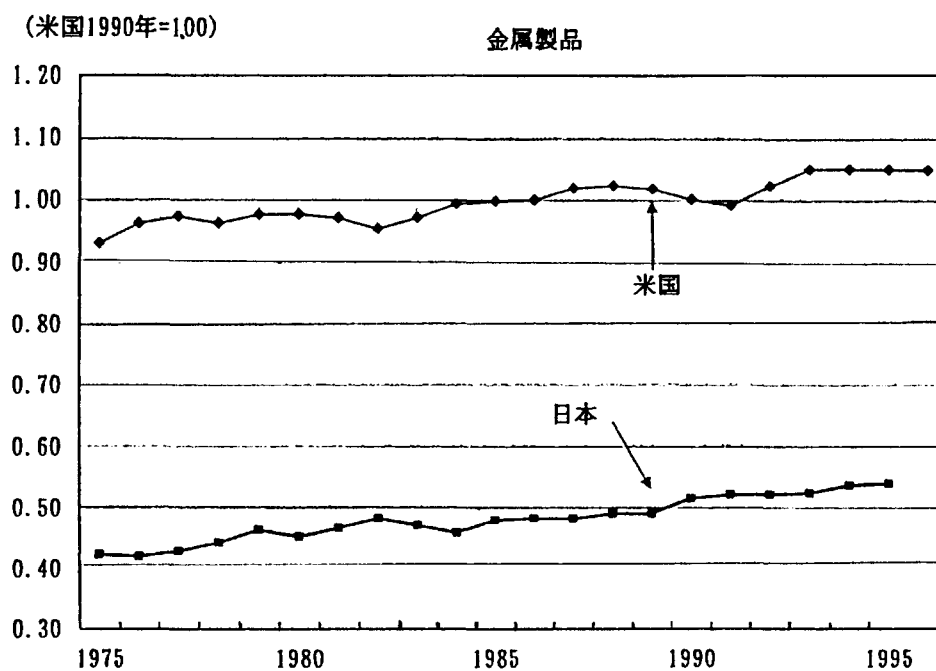
注 2) 上記分析は、1985 年と 1995 年の比較

1990 年の米国の生産性を 1.00 として、個別産業ごとに 1975 年から 1995 年の生産性の推移を見てみる。

金属製品が最も格差があり、約 2 倍の格差（米国 1.05 に対し日本 0.55（1995 年））がある。一次金属と窯業・土石は 1990 年頃は格差が 0.1 より小さくなったが、その後拡大し現在 0.1 以上の格差がある。繊維は、1990 年頃に 0.1 程度の格差があったが、現在は同程度となっている。化学は、1990 年頃に同程度であったが、その後日本が優位になり、現在 0.1 程度の格差がある。このように、日米生産性分析から、わが国の化学以外の材料産業の生産性は、米国より劣っており競争力は低くなっていると推察される。

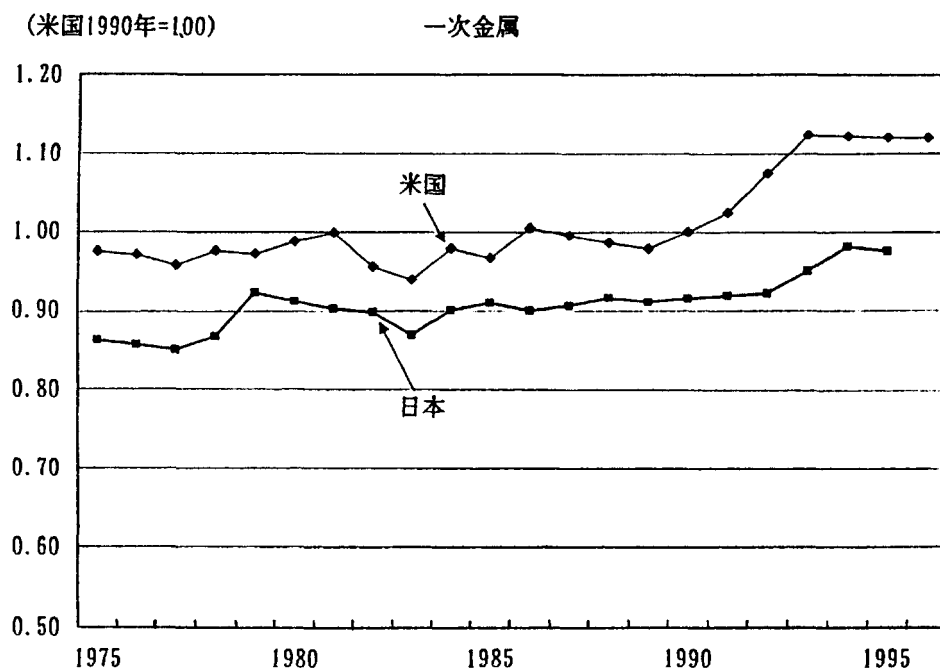
2.1.1 個別産業ごとの日米の生産性(TFP)の推移 <その1>

(a) 金属製品

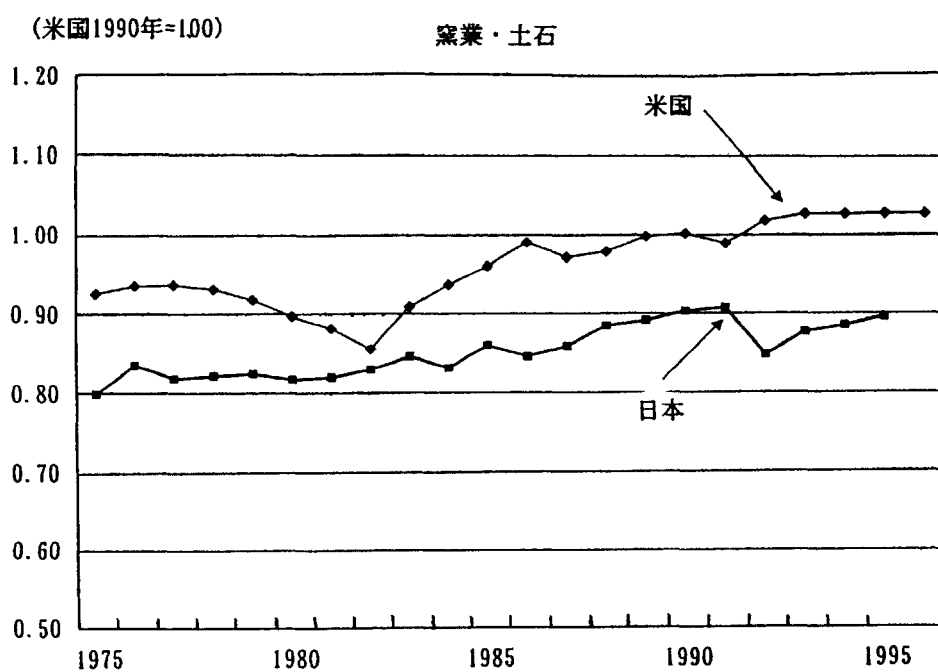


2.1.1 個別産業ごとの日米の生産性(TFP)の推移 <その2>

(b) 一 次 金 属

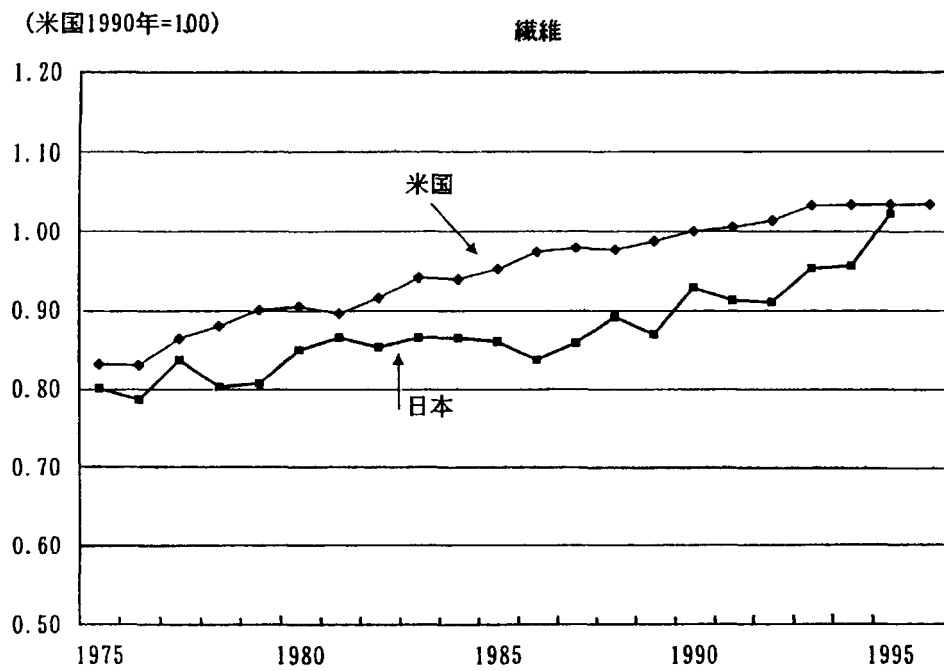


(c) 窯 業 ・ 土 石

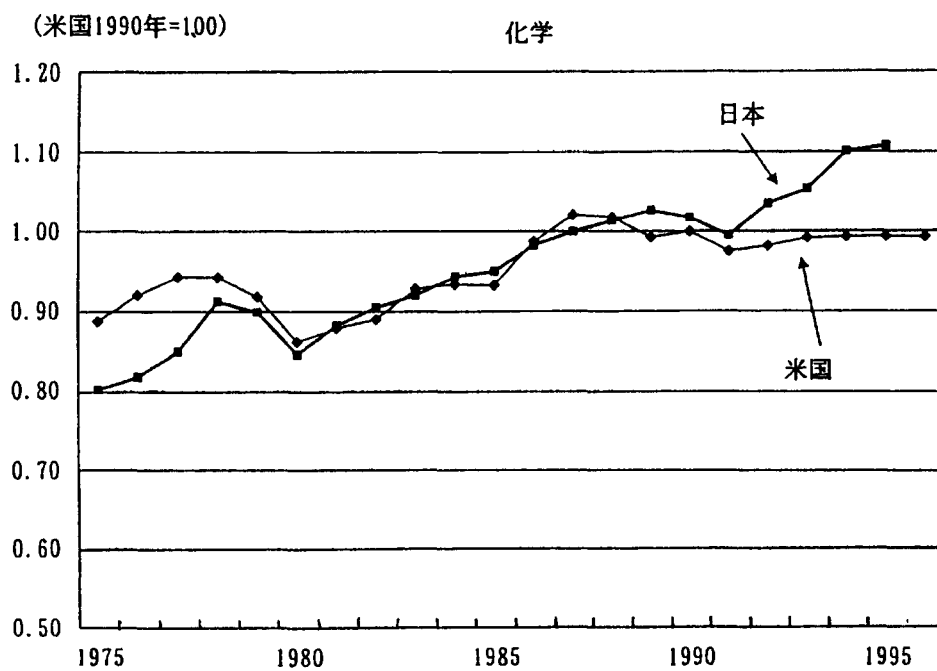


2.1.1 個別産業ごとの日米の生産性(TFP)の推移 <その3>

(d) 繊維



(e) 化学



2.1.3 材料産業の国際競争力

1990 年の材料産業全体の輸出比率(輸出額／出荷額)は 5 %、輸入比率(輸入額／出荷額)は 6 %であったものが、1997 年には各々 8 %となっており、輸出入がほぼバランスしながら貿易が活発化していることがわかる。特に、繊維は輸出比率が 12%から 24%、輸入比率が 25%から 70%と輸入が急増しており、化学は輸出比率が 9 %から 13%、輸入比率が 7 %から 9 %と輸出が比較的増加している。

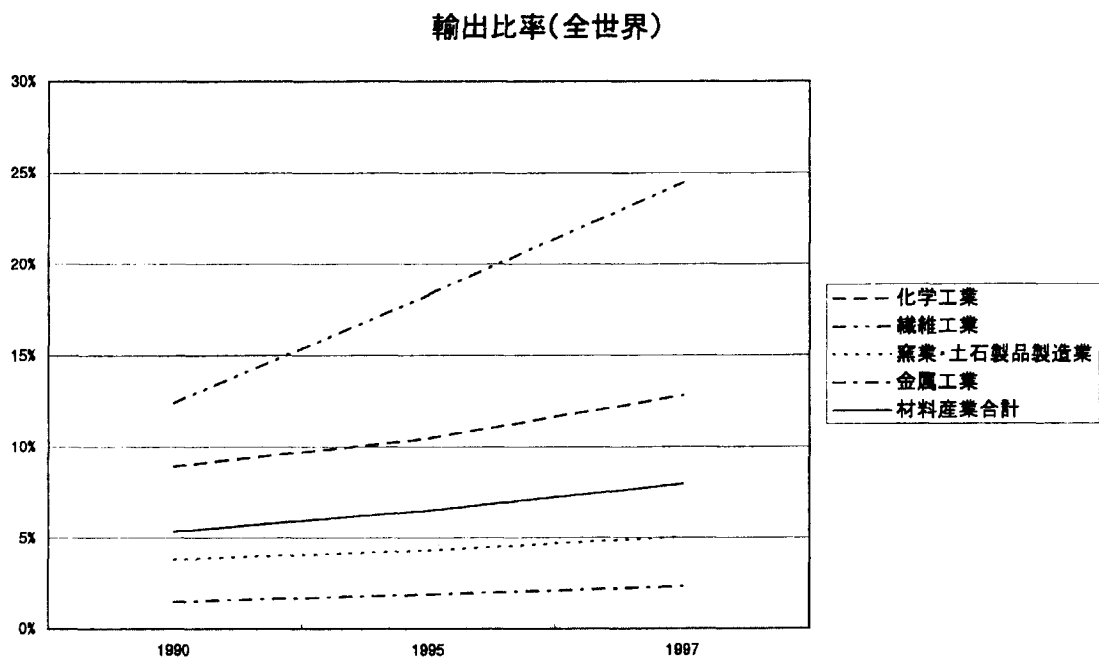
米国との貿易を見ても輸出入はほぼバランスしており、化学の貿易量が最も多く、また金属産業については輸出超となっている。

このように、わが国の通関統計からは、材料分野全体では輸出入はほぼバランスしている。個別産業ごとに見ると、輸入が多くなっている繊維は競争力が低下、輸出が増加している化学は競争力が強いと考えられる。

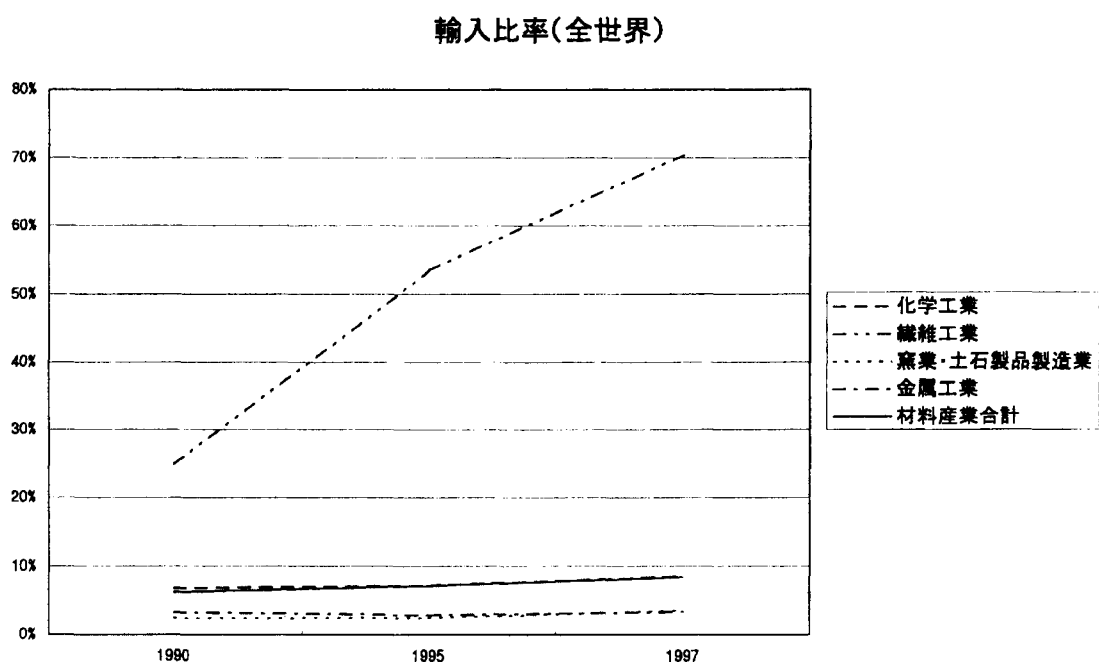
ただし、個別材料で比較すると、わが国ユーザーからの品質要求が高いこと等を背景に、シリコンウェーハ、化合物半導体、セラミックスコンデンサー、高張力鋼板、電磁鋼板、軸受鋼、チタン、液晶材料、石英ガラス、炭素繊維等の先端材料分野においては、わが国が圧倒的に高いシェアを占めている。

2.1.2 材料産業の全世界に対する貿易額の推移

(a) 輸出比率(輸出額／出荷額)

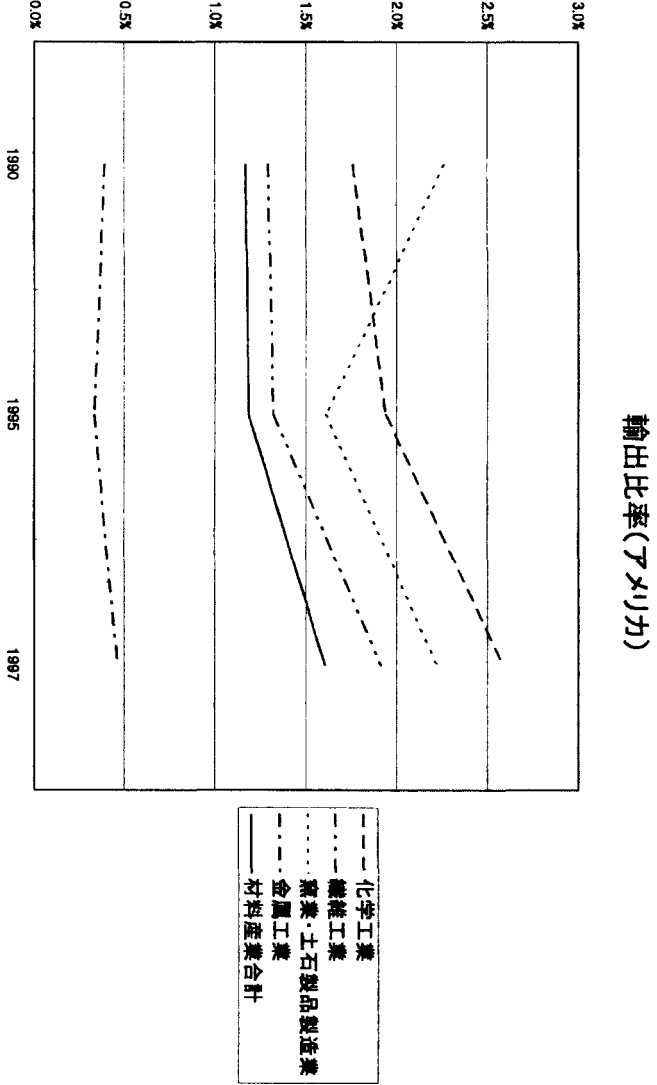


(b) 輸入比率(輸入額／出荷額)

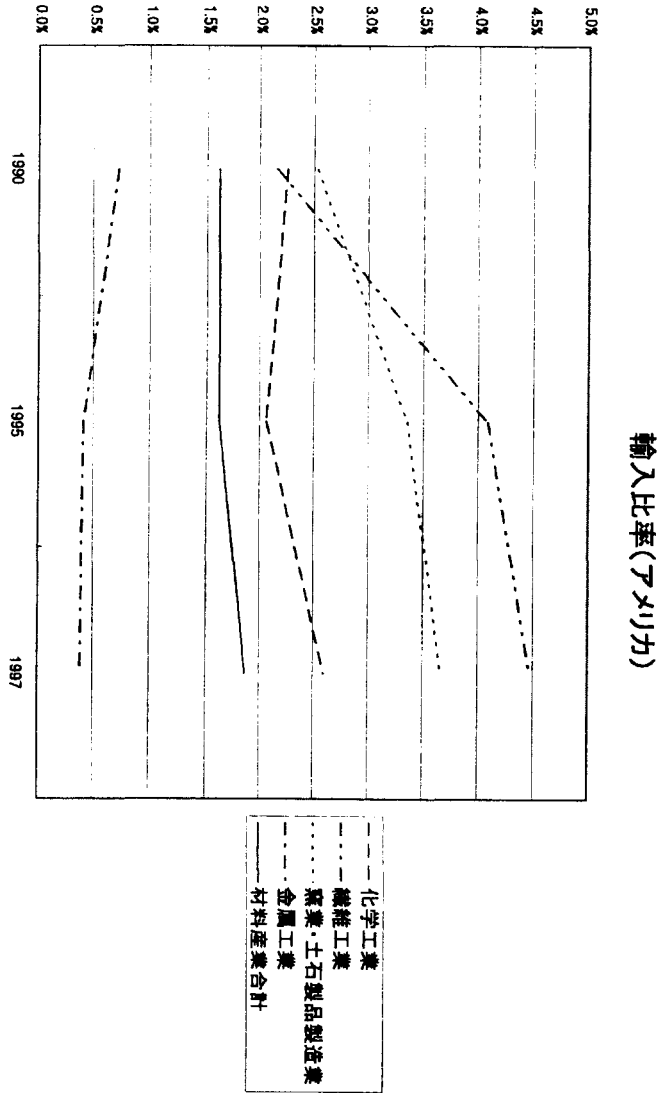


【通関統計、全世界の輸出入の推移より】

2. 1 3 材料産業の米国に対する貿易額の推移
(a) 輸出比率(輸出額／出荷額)



(b) 輸入比率(輸入額／出荷額)



【通関統計、全世界の輸出入の推移より】

製造業全体に占める材料産業のシェアについて、OECD 統計を用いて日本、米国およびドイツの3国について比較を行った結果を見ると、材料分野のシェアは、任意で数値をとった3ヶ年(1986、1990、1993 年)の全てにおいて、日本が最も高く(20.97 %)、次いでドイツ(19.35 %)、米国(15.57 %)の順となっている。

2.14 OECD統計による日、米、ドイツの材料産業の比較

		1986 年	1990 年	1993 年
355 Rubber Products ゴム製品	日本	2,686	3,376	3,196
	米国	20,970	25,645	28,866
	ドイツ	16,942	18,538	18,318
356 Plastic Products, nec プラスチック製品	日本	8,391	10,768	10,994
	米国	52,313	78,253	96,291
	ドイツ	36,482	55,341	61,337
36 Non-Metallic Mineral Products 非金属鉱物製品	日本	8,669	10,671	10,233
	米国	57,233	66,463	69,002
	ドイツ	40,327	49,806	63,705
37 Basic Metal Industries 基礎金属産業	日本	18,497	23,927	19,161
	米国	96,550	134,281	128,644
	ドイツ	85,125	97,800	79,704
381 Metal Products 金属製品	日本	14,273	20,032	20,079
	米国	124,306	145,025	154,819
	ドイツ	90,716	121,089	134,444
材料分野 Total	日本	52,516	68,774	63,663
	米国	351,372	449,667	477,622
	ドイツ	269,592	342,574	357,508
製造業 Total	日本	253,620	325,163	310,345
	米国	2,245,240	2,861,273	3,112,415
	ドイツ	1,416,080	1,770,327	1,855,503
製造業に占める 材料分野のシェア (%)	日本	20.71	21.15	20.51
	米国	15.65	15.72	15.35
	ドイツ	19.04	19.35	19.27

【出典：INDUSTRIAL STRUCTURE STATISTICS 1995 (OECD)】

注) 自国通貨建て；単位は、日本＝10 億円、米国＝百万ドル、ドイツ＝百万マルク

2.1.4 個別産業ごとの現状と特徴

(1) 化学（高分子）産業

- ①原料樹脂の生産量は、1967 年から米に次いで世界第 2 位の位置を占めている。
しかしながら、1998 年の生産量は 1,390 万トンで前年比 8.7 % 減となり、主要国の中では唯一減少し、3 位のドイツとの差が均衡してきた。成型加工品の生産量も 1,120 万トンと前年比 7.5 % 減と 3 年前の水準になっている。
- ②同産業は、原料から成型加工まで含めると 95 % が国内需要であり、国内景気の影響を受けやすい。
- ③供給サイドの世界的な集約化が進んでおり、低密度ポリエチレン／ポリスチレンの DowChemical、高密度ポリエチレンの Equistar、ポリプロピレンの Montell 等いずれもわが国の生産能力を 1 社で上回っている。
- ④高分子産業は、わが国のリーディング産業である電子・電気機器産業、自動車産業等の部品の素材として重要な位置を占めている。
- ⑤汎用樹脂のみならず高機能樹脂についても、廃棄・リサイクルを視野に入れた環境問題への対応が課題である。

(2) 繊維産業

- ①世界の化学繊維生産量は、ここ 10 年間で 1.4 倍の伸びを示しているが、日本の化学繊維生産量は、この間は横ばいであり、全世界に占めるシェアは約 10 % から 7 % に低下している。
- ②しかし、日本の化学繊維企業は、グローバル化を進めており、ポリエステルを生産設備においては、海外生産設備が国内生産設備を上回っている等、グローバルに見れば、日本の化学繊維企業のシェアは低下していない。
- ③技術水準の点では、現在でも世界のトップレベルのあるが、コスト競争力では、近年、近隣アジア諸国からの追い上げで厳しい環境にある。
- ④日本の繊維産業は、他国に見られない素材からテキスタイルまでの垂直連携方式により、国内の高度な品質要求に応える製品作りを行い、また新機能素材開発の面でも優位にある。
- ⑤繊維産業は世界的に過大な需給ギャップが存在し、世界の市場サイズを検証し、その上で各国が需要拡大のための役割分担を持つことが必要である。

(3) セメント産業

- ①セメントの需要は 1990 年度の 8,629 万トン进行ピークに下落傾向で推移し、1998 年度は 7,072 万トンまで減少している。国内メーカーにとってセメント市場の見通しは極めて厳しいのが現状である。

- ②輸出比率は 10 % 程度、輸入比率は 1 % 以下であるが、海外進出に関しては、欧州の有力企業に比べ日本のセメントメーカーは立ち後れている。国内基盤の確立が不十分で、本格的な海外展開を実行できるだけの企業体力も乏しい。
- ③ここ数年来、上位セメントメーカーによる大型合併等が相次ぎ、業界構造の抜本的改革に向けた取り組みがまさに進んでいる。
- ④セメントは製品差別性がない上、技術上の差別化も困難であり、競争は自ずと価格競争が中心となる。コスト削減のためには、物流コスト、商流コストの削減が課題である。

(4) ガラス産業

- ①わが国におけるガラス材料の市場規模は 2 兆円である。特に、わが国の電子情報産業の進展に呼応して各種ディスプレイ、光ファイバー等の産業規模拡大は顕著である。
- ② CRT、液晶等のディスプレイ用ガラスにおける激しい技術開発競争に牽引される形で、わが国の板ガラス・電気ガラス・光学ガラス等は国際競争力を備え、電気ガラスおよび光学ガラスではそれぞれわが国の企業とその系列企業が全世界の 50 % 以上をカバーし、板ガラスについては旭硝子とその系列企業が世界第 1 位にある。
- ③びんガラスや特殊ガラスでは企業の合併、倒産等により、寡占化が進行している。
- ④現在わが国では電子情報分野を除き、過剰設備等による過当競争により低収益体質となっており、業界再編が今後の課題である。

(5) 鉄鋼産業

- ①鉄鋼材料は、資源が豊富に存在すること、広範な性質を容易に与えられること等から、国内の全素材の約 50 %、金属系素材の約 90 % を占める。
- ②わが国の粗鋼生産量は、戦後、高度経済成長とともに拡大し、1973 年の 1.2 億トン をピークに概ね 1 億トンレベルで推移するも、1998 年は内需の低下等により前年比 10.5 % 減の 9,355 万トンと急激に落ち込み、価格低下と相まって鉄鋼業各社の経営状況は大きく悪化している。
- ③高炉業界において、EU 各国では 1 国 1 社体制化が進行するとともに、アジアでも POSCO 等大手が出現するなか、わが国の高炉業の企業体制は変化しておらず、生産量の順位は低下するとともに、国際的にみて売上高利益率は低水準である。また、電炉業界では、限られた国内市場で激しい競争が続いている。
- ④わが国の鉄鋼業は、製品の品質、エネルギー原単位等で世界のトップレベルの技術力を有しており、高級品や特殊品に関しては他国の追随を許さないとの評価が定着している。また、技術貿易収支は、1974 年以来黒字で推移している。
- ⑤今後、設備集約等による生産性の向上等、技術力に加えたコスト競争力強化、省エネルギー化の実現等の地球環境負荷低減等が課題である。

(6) アルミニウム産業

- ①アルミの使用量は、1960 年から約 17 倍に急増（21.5 万から 378.7 万トン）。しかし、エネルギー多消費産業（電力）のため、第 2 次石油危機を契機に、アルミ製錬は急激に競争力を失い、規模を縮小して現在 1 % 未満である。
- ②圧延業は、輸出比率 7.3 %、輸入比率 3.6 % と競争力を維持しているが、国際競争力は鉱山開発から製品開発まで一貫生産している欧米メジャーに劣る。世界第 1 位（アルコア）、第 2 位（APA）の会社は、わが国全体の生産量より規模が大きい。
- ③ 1999 年 8 月に、相次いで大型合併（世界第 1 位、第 2 位）が発表され、上位 2 社で世界の 40 % の地金生産を占め、寡占化が進行している。
- ④現在わが国では過剰設備等による過当競争により低収益体質となっており、業界再編が今後の課題。

(7) ファインセラミックス産業

- ①情報、環境、エネルギー等の広範な産業の発展、人々の生活水準の向上の鍵を握る必須の材料・部品を供給する成長産業である。国内市場規模は必ずしも大きくない（1.7 兆円、GNP の 0.4 %）が、国際的に高いシェア（世界市場の 50 % 強）を占める。材料および部品として貢献している産業・利用範囲は広い（約 50 兆円）。
- ②他の材料に比し、多様な機能、高耐久性、豊富な原料資源等の長所を有する一方、短所としては、低信頼性、低加工性、極めて高いコスト等が挙げられる。
- ③優れた材料技術、生産技術、経営戦略を背景に、IC パッケージ（シェア約 85 %）等、世界のトップシェアを占める製品群を供給、高い国際競争力を有している。
- ④わが国における窯業の歴史、高い品質管理技術、ユーザー企業との密接な連携等が日本のファインセラミックス産業の強みである。今後、基礎的技術、新しい利用技術（ソフトウェア）あるいは革新的な生産プロセスの開発等により創造的な取り組みが必要と考えられる。

(8) セラミックス産業

- ①先進セラミックスの市場規模は 1996 年で 1.6 兆円と小さいが、システムへの波及効果は 50 兆円と推定され、今後も発展が見込まれる。構造材料は現在全体の 20 % 強であるが、製造プロセス技術に優れ、世界シェアは 50 % を占める。
- ②セラミックス単体ではなくシステムとして構築する必要があり、他分野（特に、自動車、電子情報産業）との協力体制が必要である。
- ③セラミックス全般と同様に耐熱セラミックスの分野は、製造プロセス技術に関して日本は強い競争力を持つが、アジア諸国とのコスト競争が問題である。
- ④新シーズの発掘、システムとのマッチング、技術の伝承、データベースの構築等が課題となる。

2.2 材料産業技術の状況

2.2.1 材料産業技術の特徴

わが国材料産業技術の特徴は、一般的には材料開発は弱いがプロセス開発に強く、欧米から基本技術の導入を行い、プロセス技術に改良を加え、高品質、歩留まりの向上などを実現することにより、産業競争力を強化してきた。特に、数次のオイルショック、公害問題への対応により、省エネルギー化技術等のプロセス開発に強さを有している。また、近年では、鉄鋼・化学等の分野においてわが国発の材料産業技術が開発されている（ex. 鉄鋼産業における溶洗予備処理技術等）。

(1) 材料技術

材料は、その特性から「構造材料（建設・建築用、自動車用、発電用、航空機用…）」、「機能材料（電子材料、生体用材料…）」に大別され、現在、材料産業の生産量の大部分は構造材料である。

技術的特徴として、基本技術の開発は欧米でなされたものが多く、わが国においては、商業化できるかどうか不明なものを含め技術導入し、商業化する技術力に優れている。さらに、性能の向上、歩留まりの改善等ユーザーニーズに的確に対応するための技術開発が積極的に行われている。この結果、生産性を高め、高品質な材料生産のための鍛造・圧延技術や合金開発、樹脂製造技術等、わが国は世界トップレベルの技術を有することとなった。

また、機能材料としては、近年、機器の省エネルギー化の実現や情報通信分野の進展とともに大量の情報量の蓄積や高速処理等に対応するため、シリコンウェーハ、セラミックスコンデンサー、シャドウマスク用鋼板等の電気特性、磁気特性、温度特性等に優れた機能材料の開発が進められている。これらの機能材料の市場規模はまだ小さいが、成長率は極めて高く将来が期待されている。

(2) プロセス技術

材料需要が大幅に拡大した高度成長期には、一貫製鉄所の建設をはじめとした装置の大型化、連続化、高速化、自動化システムの導入等、大量生産・生産性の向上によるコスト低減等を可能とする技術開発が行われ、この結果、わが国は国際的に強い競争力を身につけた。さらに、鉄鋼業、化学産業等の材料産業の多くがエネルギー多消費型産業であることから、数次のオイルショックの経験により、排出エネルギーの再利用等、大幅な省エネルギー技術の開発、導入が行われるとともに、公害問題の解決を図るための有害物質排出抑制の技術の開発、導入も進められる等、世界トップレベルの技術が実用化されている。また、ユーザー産業等との共同開発により、国際的に優位性を保っている。

2.2.2 材料産業技術を巡る国際比較

わが国の材料分野の研究費は、2.7 兆円（製造業の 27%）で、売上高研究費比率は 3.4%と製造業平均（3.7%）より低く、今後さらに低下する傾向にある。また材料分野における大学の研究者数およびその全体に占める割合は若干増加しているものの、企業における研究者数およびその割合は減少している（割合は 1980 年:47%→1998 年:28%）。

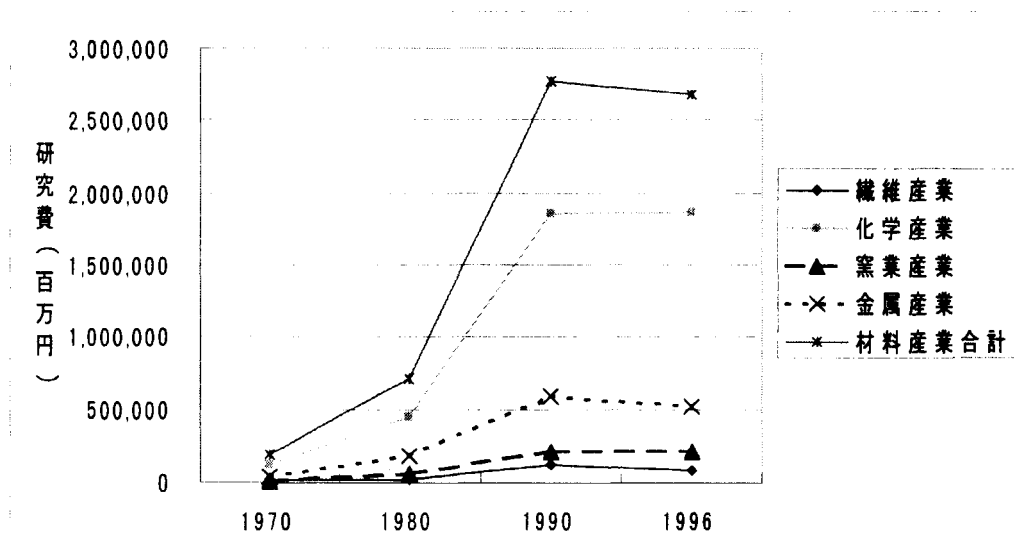
一方、世界を含めた材料関係の技術論文のシェア及び引用件数のシェアは他の分野に比較して最も高く、わが国では最も世界に通用する技術分野であるといえる。

（1）研究費および売上高研究費比率の推移

わが国の材料産業における研究費は、1970 年の 4,066 億円から 1997 年には 2 兆 6,796 億円と 6.6 倍に増加している。同時期で、米国 8.9 倍、ドイツ 5.7 倍、フランス 13.5 倍といずれの国も大きく増加している。いずれの国も化学産業の研究費の増加が著しい。

2.1.5 主要国の材料産業別研究費の推移 <その1>

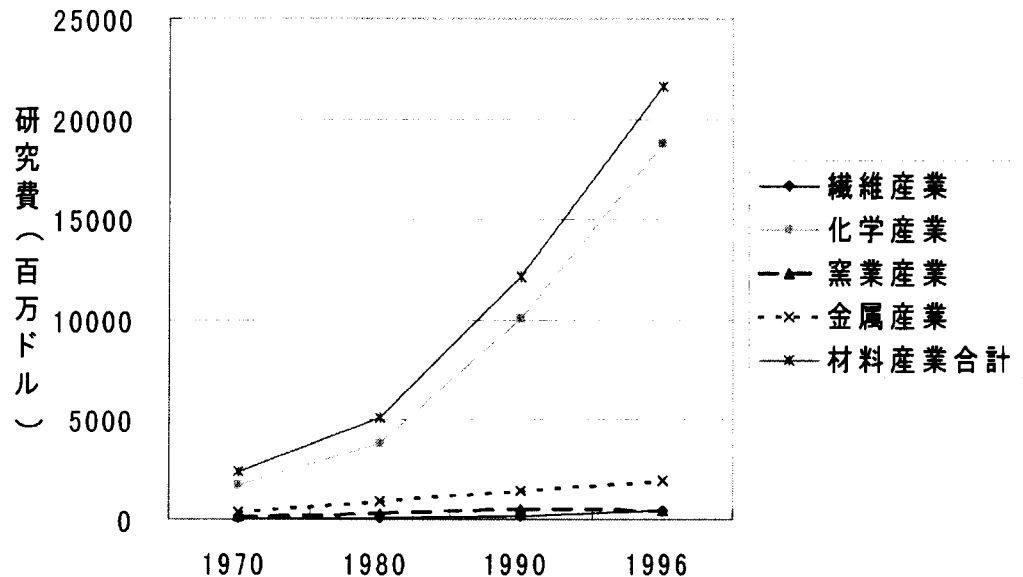
（a）日本の材料産業別研究費の推移



【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

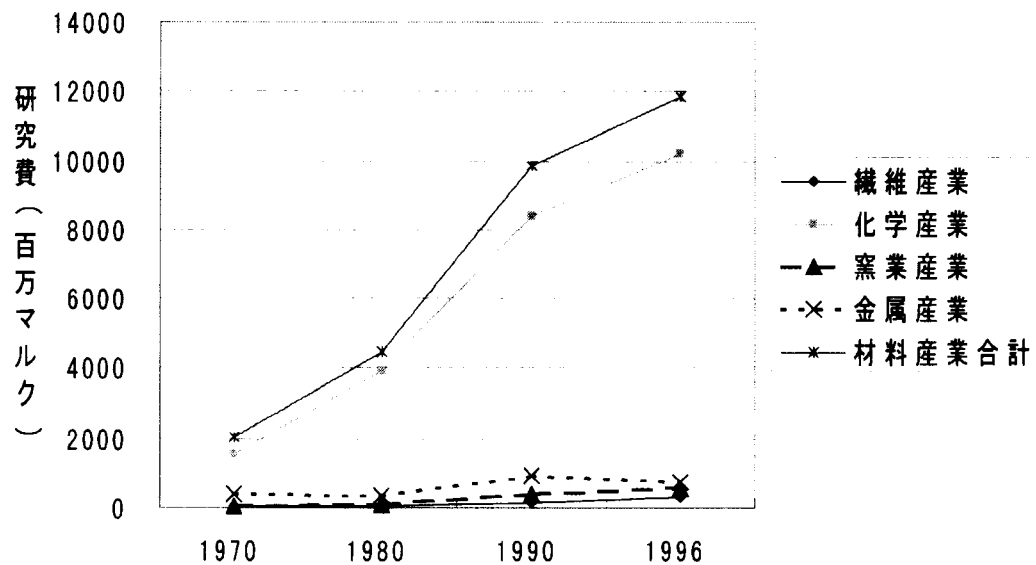
2.1.5 主要国の材料産業別研究費の推移 <その2>

(b) 米国の材料産業別研究費の推移



【出典：科学技術庁 各年「科学技術統計要覧」】

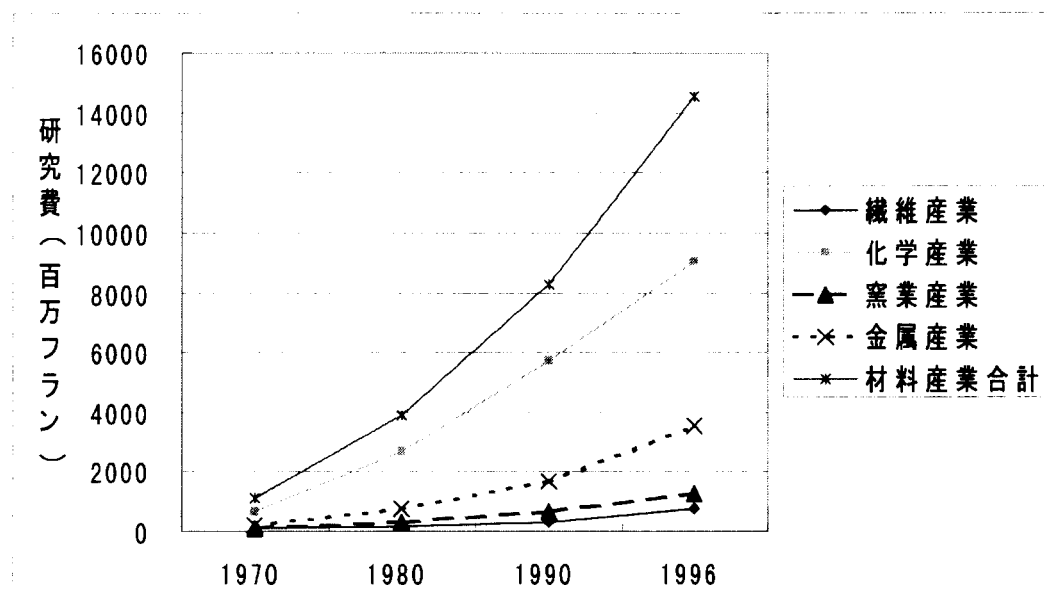
(c) ドイツの材料産業別研究費の推移



【出典：科学技術庁 各年「科学技術統計要覧」】

2.1.5 主要国の材料産業別研究費の推移 <その3>

(d) フランスの材料産業別研究費の推移



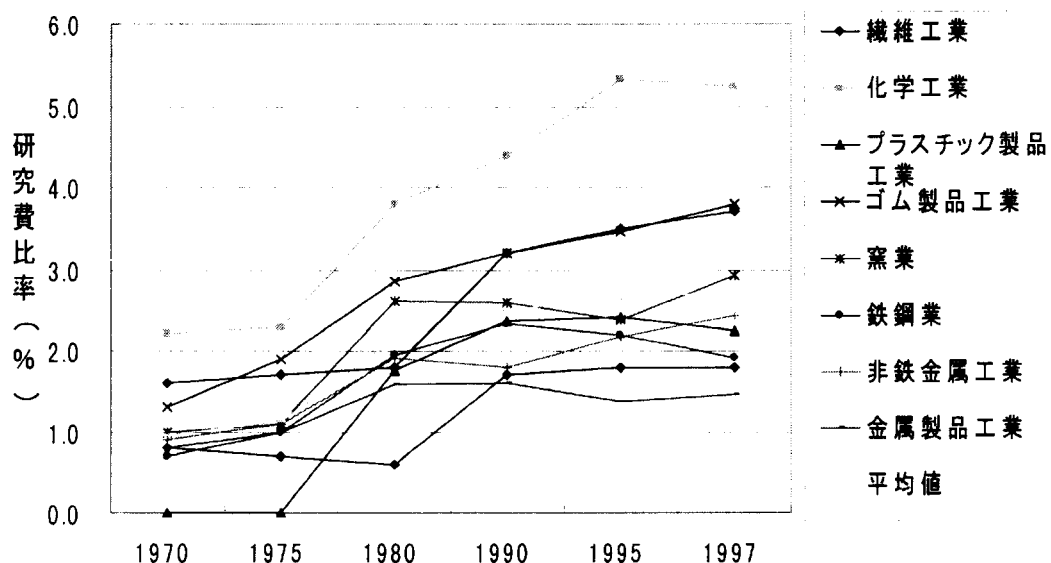
【出典：科学技術庁 各年「科学技術統計要覧」】

わが国の材料の個別産業ごとの売上高研究費比率は、1997 年において化学 5.2 %、ゴム製品工業 3.8 %や窯業 2.9 %が高く、その他の材料産業はおよそ 2 %前後(1.5 ~ 2.4 %)で推移している。

材料産業全体で見ると、1970 年の 1.4%から 1997 年には 3.4%と増加しており、製造業全体とほぼ同じ傾向である。ただし、全製造業の研究費に占める材料産業の割合については、1970 年の 34.2%から 1997 年は 27.3%と低減しており、1970 年以降相対的に減少している。

一方、諸外国における製造業全体の売上高研究比率は、米国 4.0 % (1996 年)、ドイツ 4.0 % (1995 年)となっており、いずれもわが国より高い。

2.1.6 材料産業別の売上高研究比率の推移



【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

2.1.7 材料産業と製造業全体の売上高研究費比率の比較

(単位：億円)

	1970	1975	1980	1990	1995	1997
材料産業						
売上高	283,164	401,662	348,229	640,692	751,918	795,535
研究費 (A)	4,066	6,711	6,878	20,408	26,462	26,796
比 率	1.4%	1.7%	2.0%	3.2%	3.5%	3.4%
製造業全体						
売上高	721,281	1,127,322	1,147,982	2,143,977	2,434,526	2,677,824
研究費 (B)	11,894	19,170	20,918	67,546	84,545	98,164
比 率	1.6%	1.7%	1.8%	3.2%	3.5%	3.7%
$\frac{(A)}{(B)}$	34.2 %	35.0%	32.9%	30.2%	31.3%	27.3%

【出展：総務庁統計局 各年の「科学技術研究調査報告」を加工して作成】

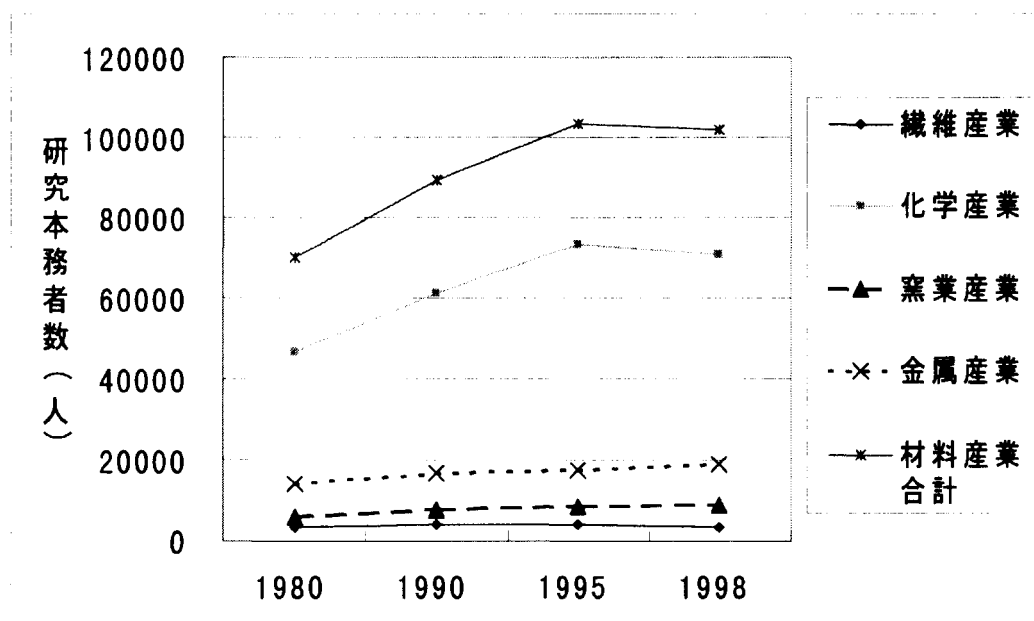
(2) 研究本務者数

わが国の民間、大学および国立研究機関における材料分野の研究者数の推移をみると、民間の研究者数は、1980年から1995年にかけて約1.5倍(69,952 → 101,888人)に増加しているものの、大学や国立研究機関の研究者数は大きな増減は見られない。

個別産業ごとにみると、1995年から1998年にかけては、窯業と金属産業で若干増加しているものの、化学と繊維産業では減少している。

2.18 わが国の材料分野の研究者数 <その1>

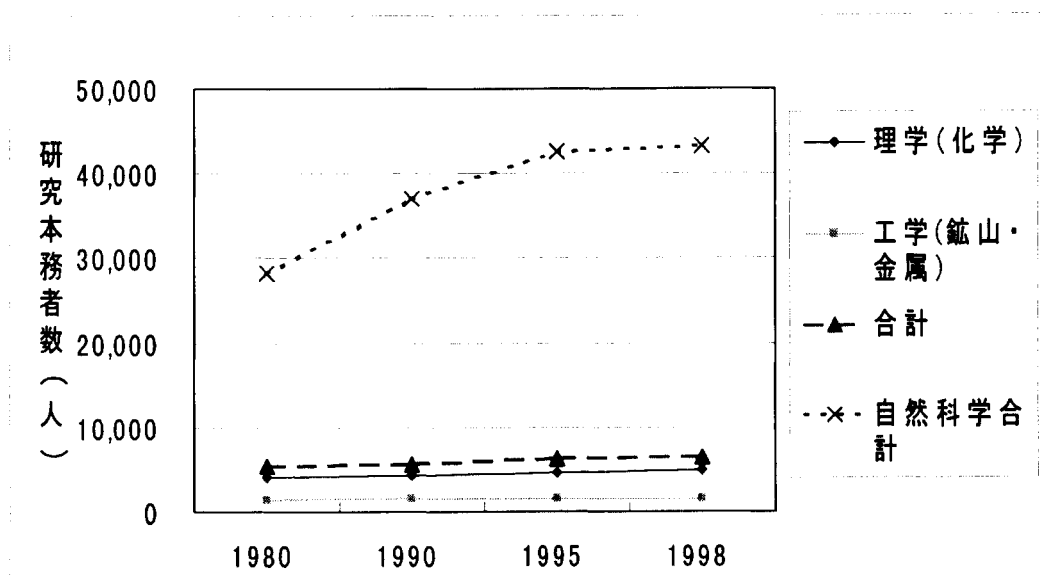
(a) 会社等民間の研究本務者数



【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

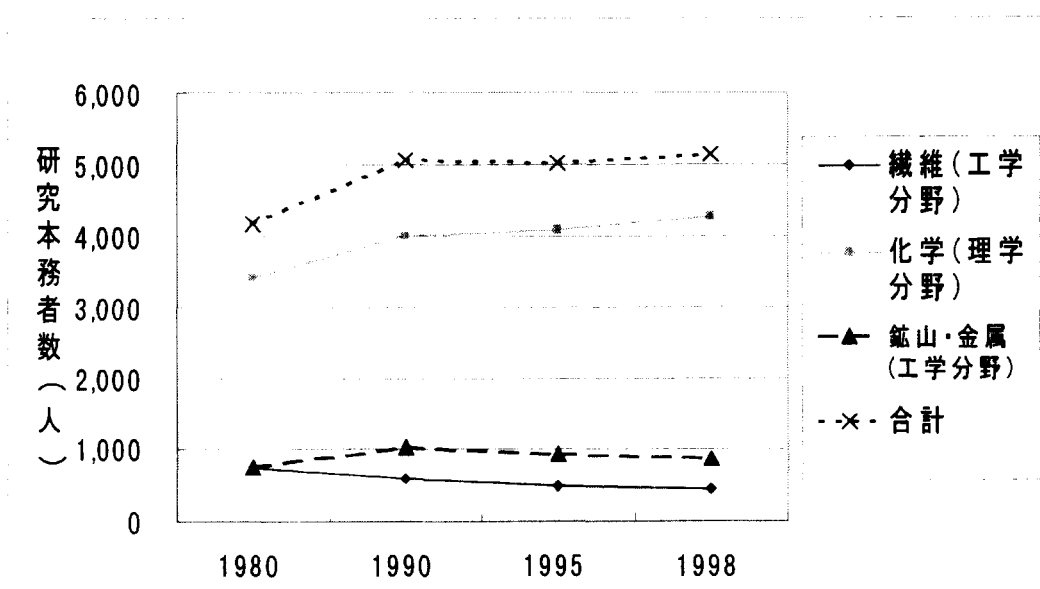
2.1.8 わが国の材料分野の研究者数 <その2>

(b) 大学等の研究本務者数



【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

(c) 研究機関の研究本務者数

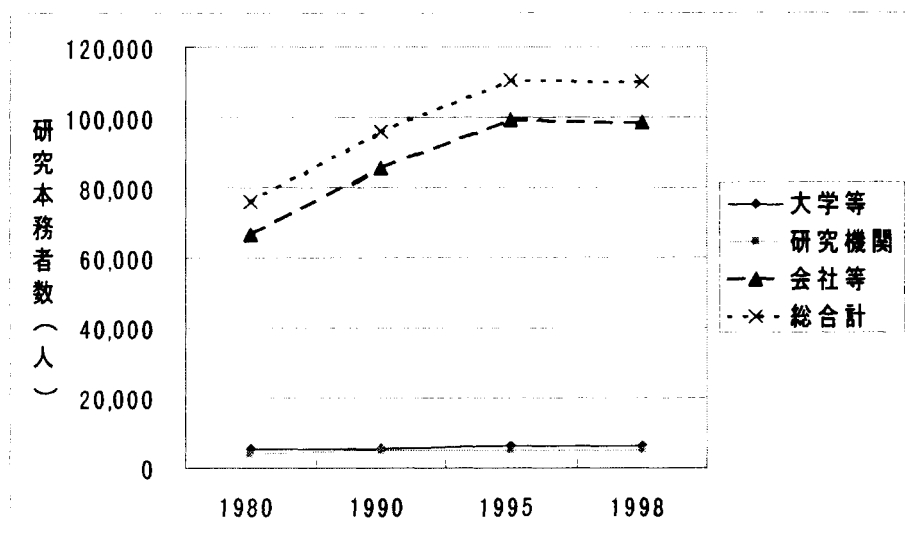


【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

材料分野の研究者数（民間、大学、国研の研究機関の合計）は、1980 年の 79,538 人から 1998 年には 109,924 人と増加している。

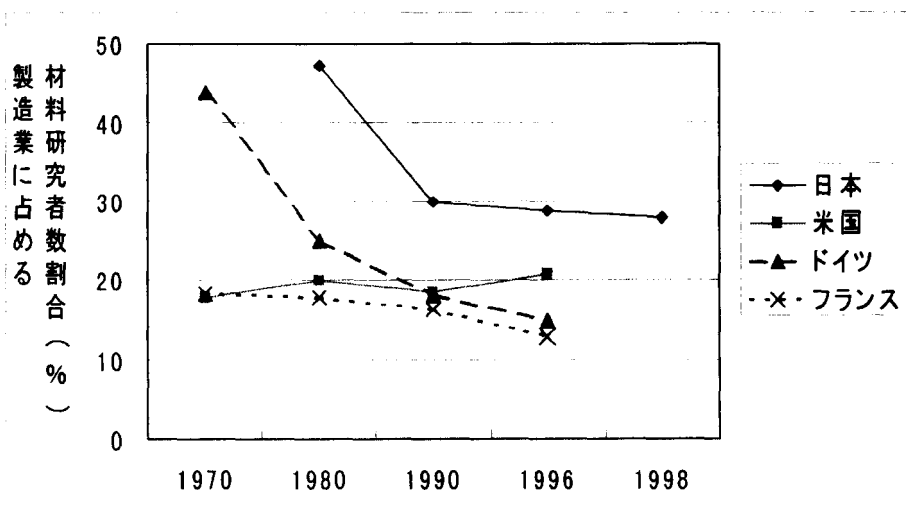
一方、他の産業分野での研究者数の伸びはさらに著しいために、製造業全体の研究者数（民間）に占める材料産業分野の割合は、1980 年の 47.2%から 1998 年には 27.7%へと低下している。

2.19 わが国の材料分野の研究本務者数の推移



【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

2.20 各国の製造業全体に占める材料産業分野の研究者数割合の推移



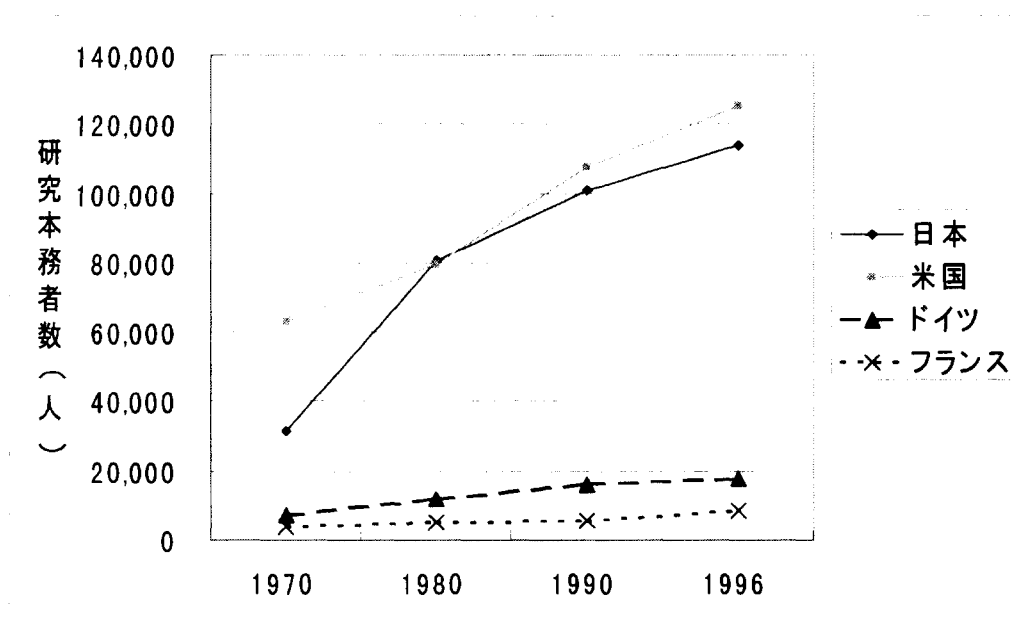
【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」、科学技術庁科学技政策局「科学技術統計要覧」】

諸外国の状況をみると、材料産業分野の研究本務者数は、1996年まではわが国と同様、米・ドイツ・フランスいずれも増加しており、特に、わが国と同様、米国の伸びが著しい。

米・ドイツ・フランスの個別産業ごとの研究本務者数の推移を見ると、わが国の場合と同様、いずれの国も化学産業の占める割合が最も多い。

製造業全体に占める割合は、ドイツ・フランスはわが国と同様減少傾向にあるが、米国においては20%前後で微増傾向にある。ただ、1996年段階ではまだ、わが国の材料産業分野の研究者の割合は27.7%と、米国(20.7%)よりも多い。

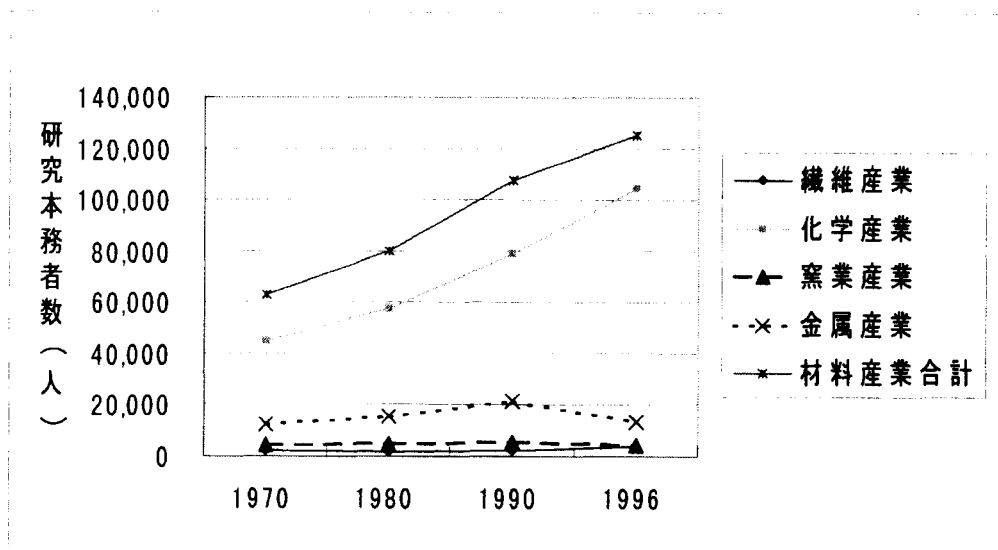
2.2.1 各国の材料産業分野の研究本務者数の推移



【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」、科学技術庁科学技政策局「科学技術統計要覧」】

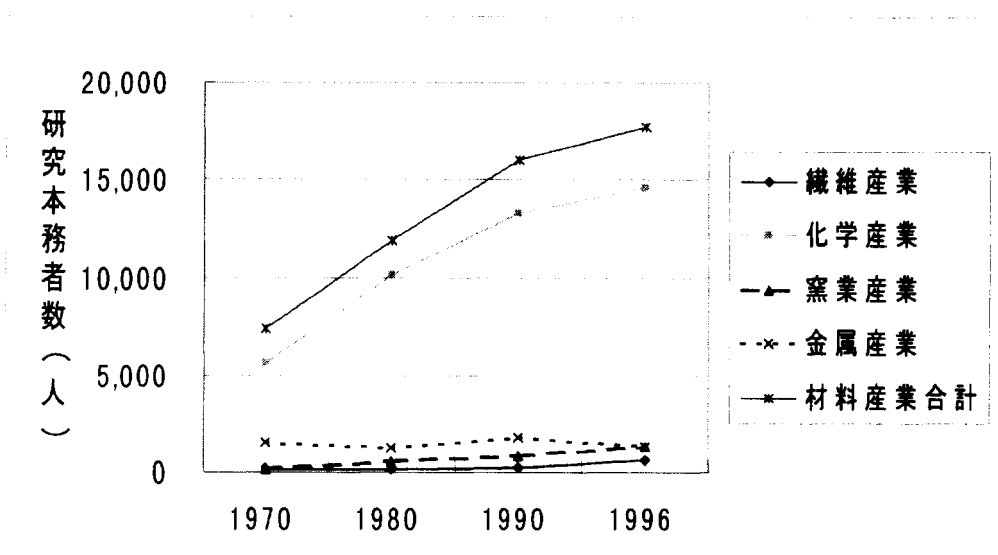
2.2.2 米・ドイツ・フランスの材料産業研究本務者数の推移＜その1＞

(a) 米国の材料産業の研究本務者数の推移



【出典：科学技術庁科学技政策局「科学技術統計要覧」】

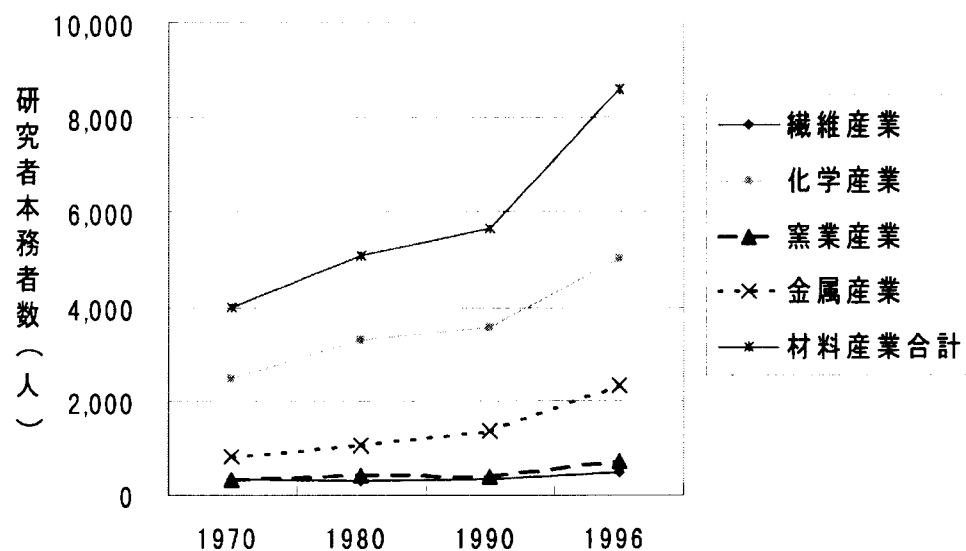
(b) ドイツの材料産業の研究本務者数の推移



【出典：科学技術庁科学技政策局「科学技術統計要覧」】

2.2.2 米・ドイツ・フランスの材料産業研究本務者数の推移＜その2＞

(c) フランスの材料産業の研究本務者数の推移



【出典：科学技術庁科学技政策局「科学技術統計要覧」】

(3) 主要学会の会員数の推移

わが国の主要材料産業における学会の会員数（日本金属学会、日本鉄鋼協会、高分子学会等）は、各学会ともに増減を繰り返しているものの、1990年以降は延べ人数で約45,000人前後で推移している。

日本学術会議研究連絡委員会の登録学協会の会員数で見ると、金属工学研連 53,207 人、材料工学研連 105,243 人、有機・高分子材料と関係の深い化学研連 70,196 人となっている。

2.2.3 材料分野の主要学会の会員数

(単位：人)

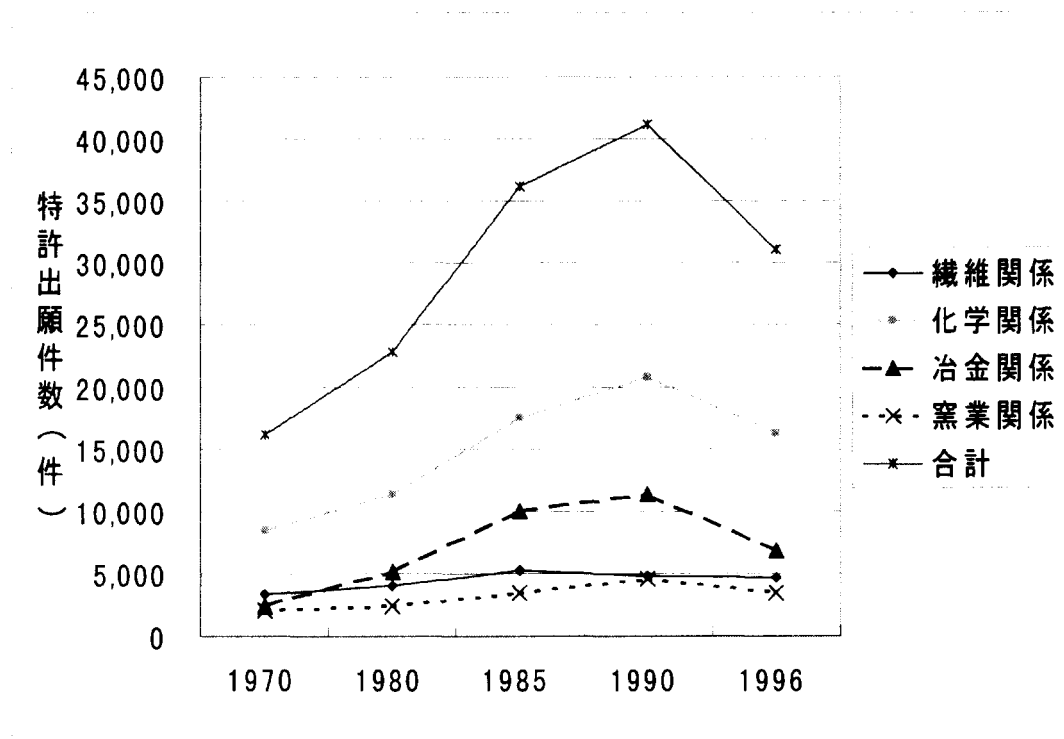
対象分野	学会名	1980	1990	1995	1998
繊維産業	繊維学会	2,075	2,613	2,567	2,399
化学産業	高分子学会	8,198	12,443	12,801	12,628
窯業産業	セラミック協会	5,291	7,111	6,976	6,263
鉄鋼産業 非鉄金属産業	鉄鋼協会	9,980	10,247	10,220	10,355
	金属学会	11,118	10,928	11,601	11,058
	軽金属学会	2,070	1,777	2,195	2,222
合 計		38,732	45,119	46,360	44,925

【出展：各団体からヒアリング】

(4)特許の出願状況

1996 年における材料産業の特許出願件数（31,029 件）は、特許出願件数全体の 8.8%を占める。材料産業の特許出願件数は、1970 年以降（16,071 件）増加傾向を示したが、1990 年（41,202 件）をピークに大幅に減少している。

2.2.4 わが国における材料産業の特許出願件数



【出典：特許庁 1998 年度版「特許行政年次報告書：特許庁公報」】

(5) 論文数の動向

わが国の材料分野の主要学会の論文数は、1980 年(11,370 件)以降、1995 年(22,797 件)まで増加しているものの、最近(1998 年)ではやや減少傾向にある。

2.2.5 材料分野の主要学会の論文数

(単位：件数)

対象分野	学会名	1980	1990	1995	1998
繊維産業	繊維学会	114	78	89	86
化学産業	高分子学会	10,300	15,600	21,600	20,000
窯業産業	セラミック協会	111	181	182	200
鉄鋼産業	鉄鋼協会	322	320	421	351
	金属学会	337	362	457	343
非鉄金属産業	軽金属学会	68	93	77	85
合 計		11,252	16,634	22,826	21,065

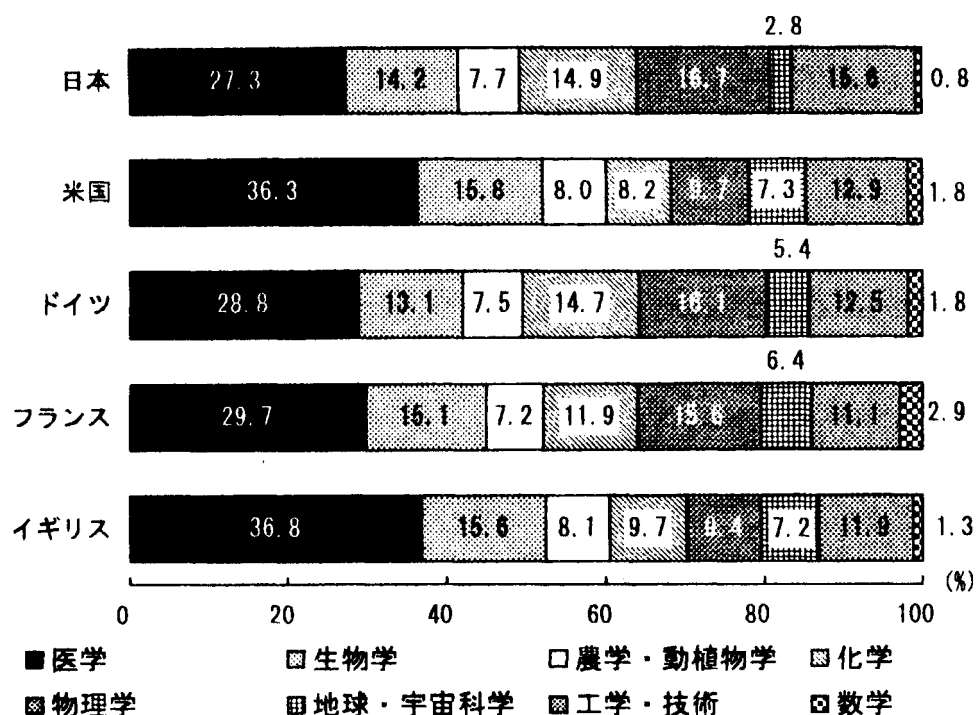
【出展：各団体からヒアリング】

わが国の分野別論文数の割合を見ると、材料科学を含む工学・技術分野の論文数の割合は 15.6 %と、医学(27.3 %)、物理学(16.7 %)に次いで多い。

諸外国では、医学、生物学および農学・動植物学といったライフサイエンス分野といわれる研究分野の論文数が多く、特に、米・英では 60 %を越えている(わが国では 49.2 %)。一方、材料科学を含む工学・技術分野は 12 %前後とわが国に比べ少ない。

世界の材料科学分野に占めるわが国の論文数のシェアは、15.1%であり、分野別では最も高い(全分野平均は 9.7%)。また、わが国の論文が引用された件数(シェア)は、材料科学で 13.5%(米は 38.1%)であり、わが国における分野別では最も高い(全分野平均は 7.8%)。

2.2.6 主要国の分野別論文数の割合(1993～1997年)

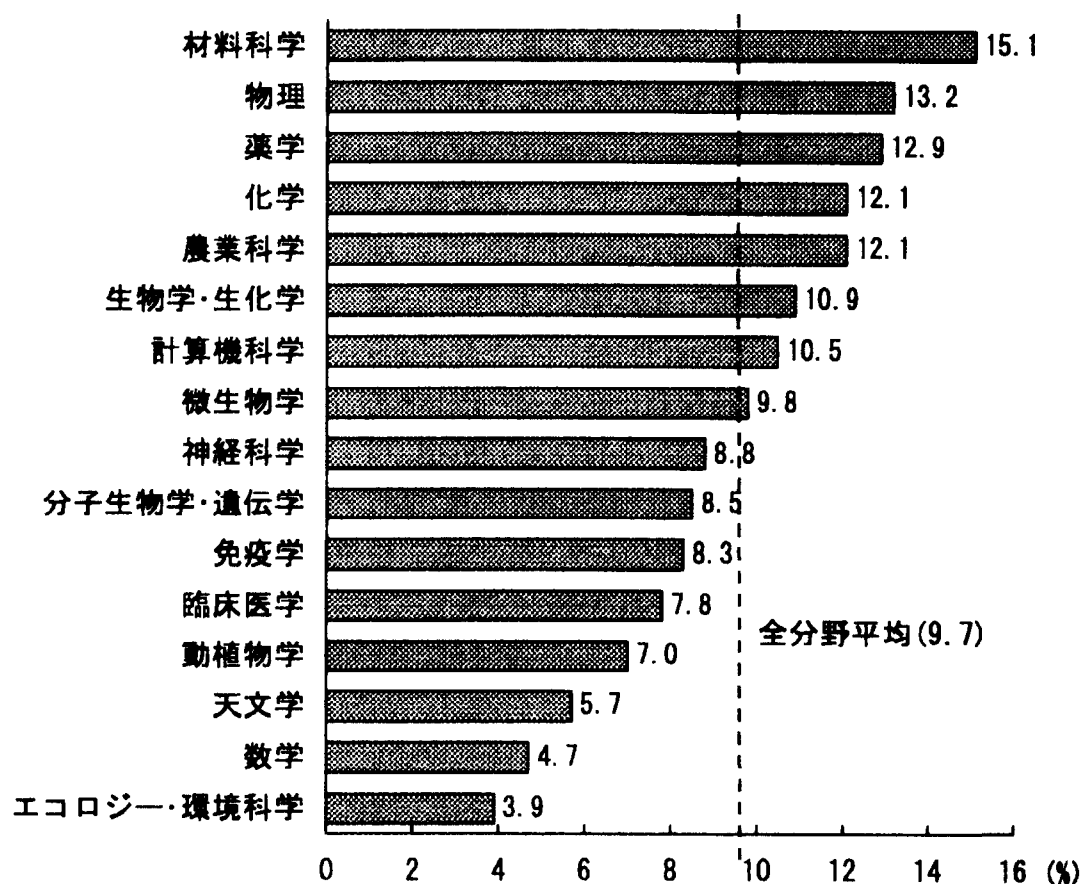


【出展：Institute for Scientific Information, 「National Science Indicators on Diskette, 1981-1997」】

注) 各分野の構成は、以下の通り。米国科学情報研究所の National Science Indicators データベースにおける 18 分野を 8 分野に組み替えている。

- ①医 学 : 臨床医学、免疫学、神経科学、薬理学
- ②生 物 学 : 生物学・生化学、微生物学、分子生物学・遺伝学
- ③農学・動植物学 : 農学、動植物学
- ④化 学 : 化学
- ⑤物 理 : 物理学
- ⑥地球・宇宙科学 : 天文学、生態学・環境、地球科学
- ⑦工学・技術 : 計算機科学、工学、材料科学
- ⑧数 学 : 数学

2.2.7 わが国の世界に対する分野別論文数のシェア



【出典：米国科学情報研究所「National Science Indicators on Diskette, 1981~1997」】

平成 10 年度 科学技術の振興に関する年次報告】

注) 1. シェアの数値は 1993 ~ 1997 年の集計値から算出

2. シェアの数値は各分野の世界に対するわが国の論文数シェアである。

2.28 わが国の論文が引用された回数のシェア

分 野	シェア (%)	順位	備 考
材料科学	13.5	2	1 位＝米国 38.1 %
農業科学	11.7	2	1 位＝米国 36.2 %
物 理	12.2	3	1 位＝米国 43.7 %、2 位＝独国 14.3 %
化 学	11.4	3	1 位＝米国 38.9 %、2 位＝独国 11.5 %
薬 学	9.4	3	1 位＝米国 43.6 %、2 位＝英国 14.6 %
生物学・生化学	8.7	3	1 位＝米国 56.0 %、2 位＝英国 10.6 %
自然科学・ 工学分野全体	7.8	4	1 位＝米国 52.1 %、2 位＝英国 10.9 % 3 位＝独国 8.8 %

【出典：米国科学情報研究所「National Science Indicators on Diskette, 1981~1997」】

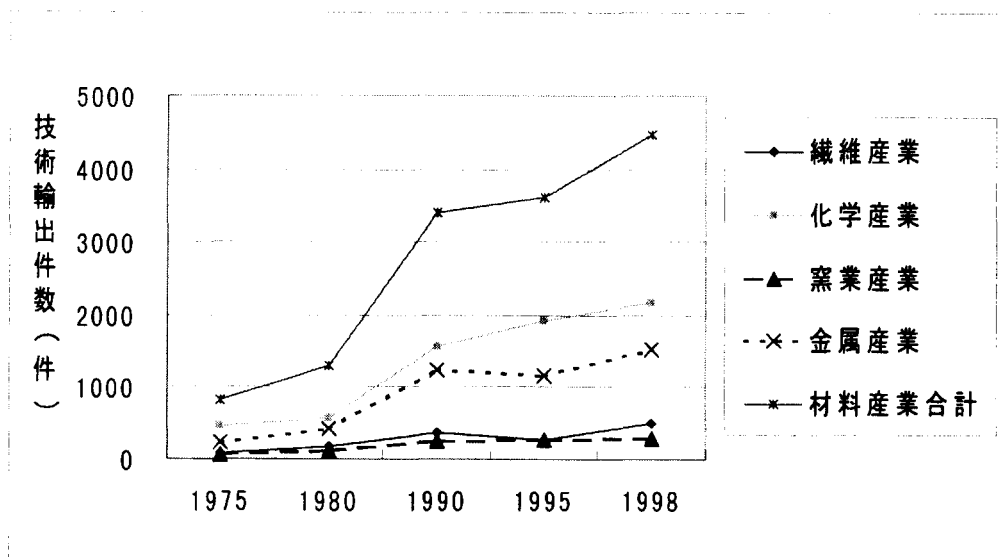
注）シェアの数値は 1993 ～ 1997 年の集計値から算出

(6) 技術貿易の推移

材料産業の技術輸出および技術輸入の件数と受取(支払)額に注目してみる。 1975 年以降、材料産業における技術輸出件数、輸出対価受取額はともに増加を続け、1998 年には 1,631 億円、4,476 件になっている。特に、化学産業は件数、受取額ともに増加している。しかし、1 件当たりの技術輸出受取額は、1975 年の約 4,450 万円から 1998 年には約 3,640 万円とやや減少している。

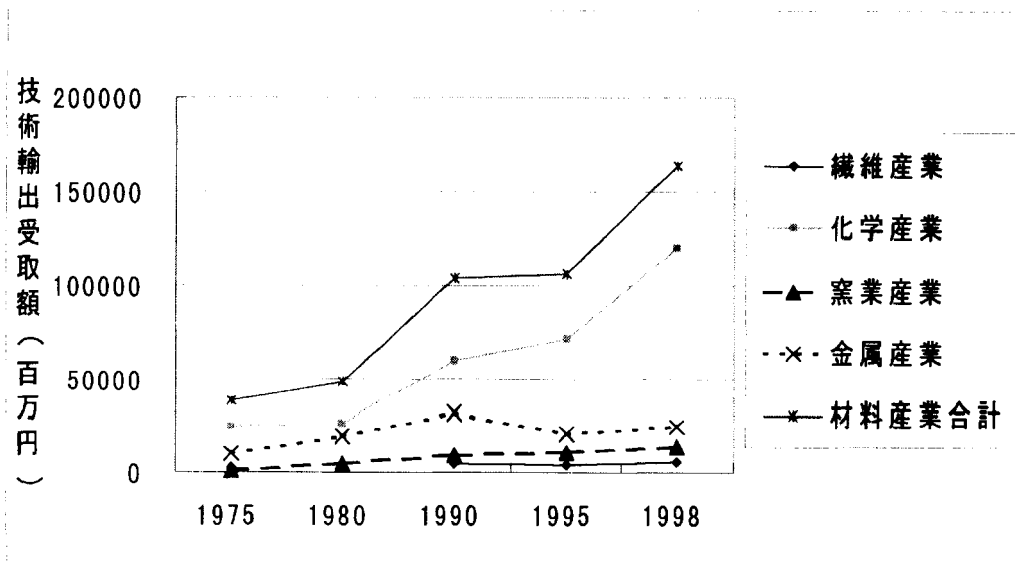
一方、1998 年の材料産業における技術輸入件数は 2,146 件と 1975 年以降大きな変動はないものの、技術輸入対価支払額は 1,063 億円と 1975 年より増加している。つまり、1 件当たりの技術輸入対価支払額は増加している(約 2,580 万円→約 4,960 万円)。

2.2.9 材料産業(会社等)における技術輸出件数の推移



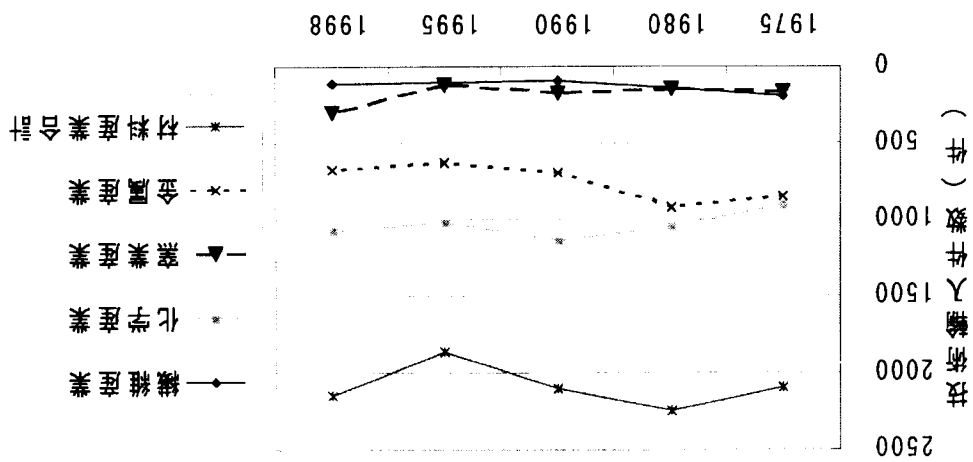
【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

2.3.0 材料産業(会社等)における技術輸出受取額の推移



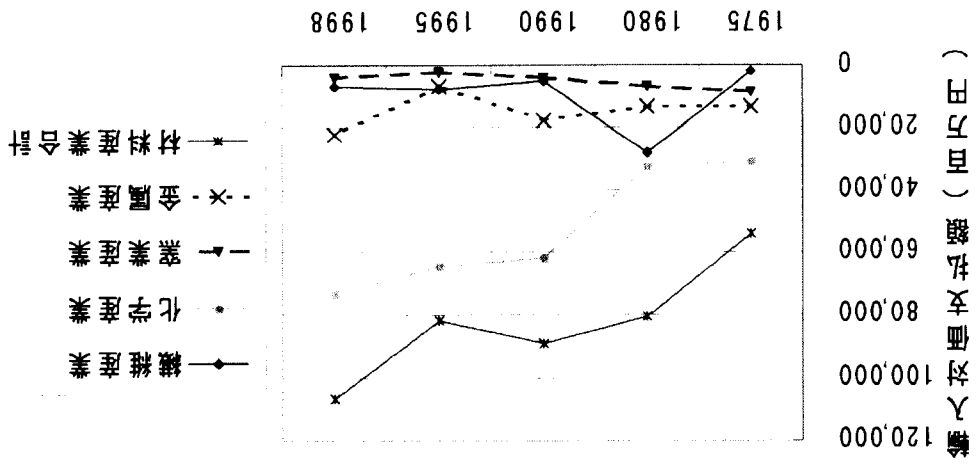
【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

2.3.1 材料産業における技術輸入件数の推移



【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

2.3.2 材料産業における技術輸入対価支払額の推移



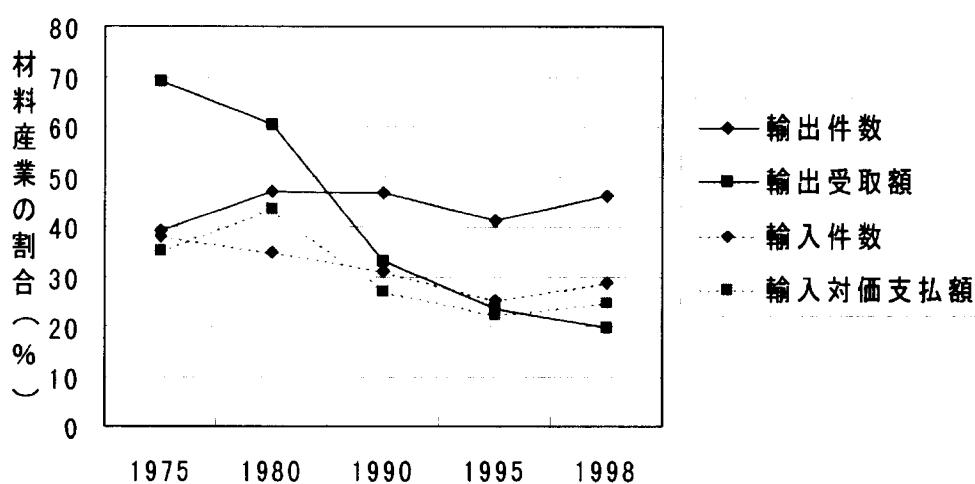
【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

製造業全体に占める材料産業の技術輸出対価受取額および支払額の割合は、他の製造業全体の伸び率が大きいことから減少している（対価受取額：1975年 68.9%→1998年 19.8%（1631億円）、支払額：1975年 35.0%→1998年 24.7%（1063億円））。

技術貿易の相手国については、1997年の全産業を対象とした技術輸出額（8,316億円）は、受取額で北米が約 47%、次いでアジアが約 34 %を占め、2地域で全体の8割以上を占めている。

【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

2.3.3 製造業全体に占める材料産業の技術輸出入割合の推移



【出典：総務庁統計局「科学技術研究調査報告」】

3. 材料分野において技術革新を阻害している課題

これまでに述べた材料分野の産業や技術開発の調査結果、材料分野の学識者・技術者等に対する材料分野の産業技術に関するアンケート結果(詳細は付属資料1)および「米国技術動向及び共同研究の調査」(詳細は付属資料2)に基づいて、現在の材料分野において技術革新を阻害している課題について検討を行った。その結果、主な課題は以下の8点であると考えられる。

①戦略の欠如

これまでの材料に関する研究開発については、企業、大学、国立研究機関等の産学官の各々がその時点での技術トレンド、ニーズ等を勘案し、鉄鋼、アルミニウム、プラスチック等の個別材料ごとに研究開発が行われてきたため、重点分野が明確でなく総花的な研究開発となっており、研究開発の効率が悪いものとなっている。

このため、効率的な研究開発の実施の観点から材料に求められるニーズや国際的技術動向等を十分に踏まえた材料横断的な戦略を策定し目標の明確化を図るとともに、戦略の計画を含めたフォローアップ体制を構築することが求められている。

②産学官における研究開発の連携の希薄さ

一般に、材料は基礎研究から最終製品として実用化されるまでに、莫大な研究開発投資(期間、コスト)を要するため、技術開発リスクが大きく、事前に投資効果を推計することは困難である場合が多い。したがって、これまで企業規模の大きさが材料技術の強さに直結する場合が多かった。

大学における材料研究は、学生の人気の低迷等から質の低下が懸念されるとともに、大学内および大学間での連携の希薄さや、研究内容の情報発信の少なさ(学会、論文のみ)から、企業ニーズと大学のシーズが噛み合っていないとの指摘が多い。さらに、予算管理や兼業規制などの制度上の問題があることから、大学が企業の受託研究を受けるインセンティブが少ないのが現状である。

材料技術を担当する国立研究所は、科学技術庁には金属材料技術研究所および無機材質研究所が、通商産業省でも多数の研究所があるが、一部の成功例を除き産業界との連携は薄く制度的問題もあり、必ずしも十分な成果をあげていないのが現状である。

産業界における技術研究も、大学や国立研究所側から見ると、研究内容やノウハウ(企業秘密を踏まえても)等、情報公開が不十分であり、産業界のニーズがわからないが故に、産学官の連携が進まないといった指摘もある。

また、大学や国立研究所と産業界の技術開発目標は必ずしも一致しておらず、逆に同様の研究を重複して実施しているといったケースも見受けられ、資源の効率的な活用ができ

ていないとの指摘も多い。

従って、効率的な技術革新を展開する上で、基礎・応用・実用化の産学官の役割分担を明確にさせるとともに、相互に連携するための機能を強化することが必要である。特に、国の研究機関には、国家戦略のもと総合的に材料を扱う研究機関として、産学官連携の核となることが期待される。

③知的基盤の未整備

材料の知的基盤は、新材料開発における研究基盤であることはもとより、広範な産業に使用される産業基盤として極めて重要である。しかしながら、わが国の材料分野の知的基盤は、欧米と比較してデータ数およびデータベース数、試験評価方法、標準物質数さらにはその質に関しても見劣りするのが現状である。その結果、企業における研究開発の重複投資を招き、研究開発費が効率的に使用されないなどの問題を生じさせている。

④標準化戦略の欠如

材料は広範な産業に使用されるとともに、ユーザー側からの信頼性を強く求められることやその利用促進の観点から標準化が重要である。また、新材料の開発等を促す観点からも、標準化は重要な役割を担うものである。

しかし、これまで産業界においては、標準に対し投資するという意欲が薄かったこと等から、わが国からの標準の発信は欧米に比べ極めて少ない状況にある。近年、わが国においても標準の重要性が再認識されてきたところであるが、今後さらに、新材料について、いち早い標準化（その改訂を含む）の実施、国際標準への発信等、標準化戦略を明確に位置づける（投資を含む）ことが必要である。

⑤知的所有権制度の不整合

材料技術分野は新たな材料そのものが特許化されることから、基本特許が成立しやすい分野である。このため、材料技術に関する特許については、各国整合的な制度となるよう調整することが重要である。

また、材料については特許に抵触するかどうか判断が難しいため、特許の範囲を明確にするためにも、これまでの判例の整理（データベース化）が求められている。さらに、材料技術の開発投資の大きさやロイヤリティの高さの割に、損害賠償額が過少（特許に抵触して損害賠償金を支払ってもロイヤリティを払っても同じ）であるとの声も強い。

特に、米国の特許制度は、早期公開制度が制度化されていないため、材料技術のように長期間にわたり莫大な開発投資を必要とする分野では、他社の動向を把握することが困難であり、開発戦略を立てにくいといったことが指摘されている。国内においては、審査期間の短縮化とともに、質の向上を目指した体制整備が求められている。

さらに研究開発成果については、研究実施者が知的所有権等を保有できるシステムが十

分に整備されていないことから、研究成果が実用化されにくいといった指摘もある。また、材料技術は基礎的性格が強いことから、大学での研究成果の特許化することに期待が大きい、大学教授の特許化の動機付けが低いことから、さらなるインセンティブ付与を期待する声が多い。

⑥資源の乏しさ

わが国は狭隘の国土の制約から、資源の多くを輸入に依存している。材料産業は資源を直接加工していることから、その安定供給は極めて重要な問題である。安定供給の課題は技術開発によるところはそう多くはないが、資源循環型社会の構築に向けての観点からは技術的課題が多い。材料産業の国際競争力強化の観点からは資源の安定供給は重要な課題であり、この観点から戦略を考えることも重要である。

⑦研究開発の競争と協調

材料分野における研究開発は、基本的には個別企業ごとに実施されているが、近年の景気の悪化を受けて研究開発費は大幅に削減されており、基礎研究に資金が十分に配分されない状況である。米国では、基礎研究等の外部化（ベンチャー企業の活用）をうまく活用しながら効率的な研究開発が行われており、わが国でも基礎研究や要素研究を中心に外部化の試みがなされてはいるものの、外部化の相手の多くは海外研究機関となっている。このため、わが国においても材料分野での基礎研究の外部化に対するニーズは景気の低迷等を受け、年々高まっていることから、研究ベンチャー企業の育成および国立研究機関や大学が外部化の受け皿となれるような体制整備が必要である。

また、新材料開発については、業界一丸となった研究開発体制ではなく、目標を明確にした上で、競争を活発化させるような研究開発の仕組みが必要である。さらに、研究開発の成果については厳正に評価することが必要である。

⑧予算制度上の制約

研究開発は、複数年度にわたる計画を策定し、予算規模を定めているものが通常であるが、毎年度の査定により予算が縮小され、当初の研究計画を変更せざるを得ないといった様々な問題が生じている。このため、効率的な予算使用を図る観点から、次年度繰越し等について、弾力的な運用を図るとともに、計画変更についても予算額や内容等について、十分な理由があれば柔軟に変更できるよう運用改善を行うことが必要である。また、切れ目のないプロジェクト進行のためには、年度当初の早い時期に契約を行う必要がある。

4. 材料産業技術の今後の展望と戦略

4.1 技術革新の展望

今後の材料技術に関する技術革新で重要なことは、産業競争力強化のためのプロセス開発および環境適合性、高機能性等の極限への追求等についてブレークスルーを果たし、技術イノベーションを創出していくものであると考えられる。これらを実現するために必要な基盤技術として期待される技術は以下のとおりである。これらは、材料間で競争的であることが望ましい。

① Process (cost)

材料技術はプロセス（製造）技術が競争力の鍵となる。プロセス技術推進の主な理由は低コスト化であるが、今後は、低環境負荷の観点からも重要である。Factor 4（資源・エネルギー効率 4 倍）を目指す。例えば、次世代コークス製造技術、アルミニウム新接合技術、大型複合材料製造技術、低温焼結技術、超大型金属系部材鍛造技術等がある。

② Atom

材料技術は、解析技術、操作技術等の進歩により、微粒子→分子→原子→電子レベルへとミクロの時代に移行していく。環境との調和が求められるなか、ナノ粒子等それぞれのレベルで新たな機能発現の萌芽が存在する。例えば、スーパーメタルの実現（結晶粒径を $1/10$ にし、強度を 2 倍へ）やマイクロカプセル材料、高効率レーザー発振ガラス、ナノ構造超高感度センサー、原子レベルでの設計・評価技術がある。

③ Pure&Complex

材料技術は、未知の材料機能の探索の観点からの高純度化と、より適切な機能性を組み合わせる観点からの複合化の双方のアプローチが 1 つの柱となる。例えば、高純度化では、鉄鋼について純度 6 N (99.9999 %) を実現し、錆びない鉄等といった新たな機能を発現させたり、複合化では、抗菌性金属とセラミックスの複合化、超高透過率ガラス、長繊維複合材料がある。

④ Smart

材料技術は、機能性を重視した材料への発展も大きく期待されており、構造材についても安価かつ大量というだけでなく、機能性を付与させることが求められている。例えば、環境浄化酸化チタン触媒、自己劣化診断・修復機能、超格子材料、シナジーセラミックス、超高温オプトメカニカル複合材料がある。

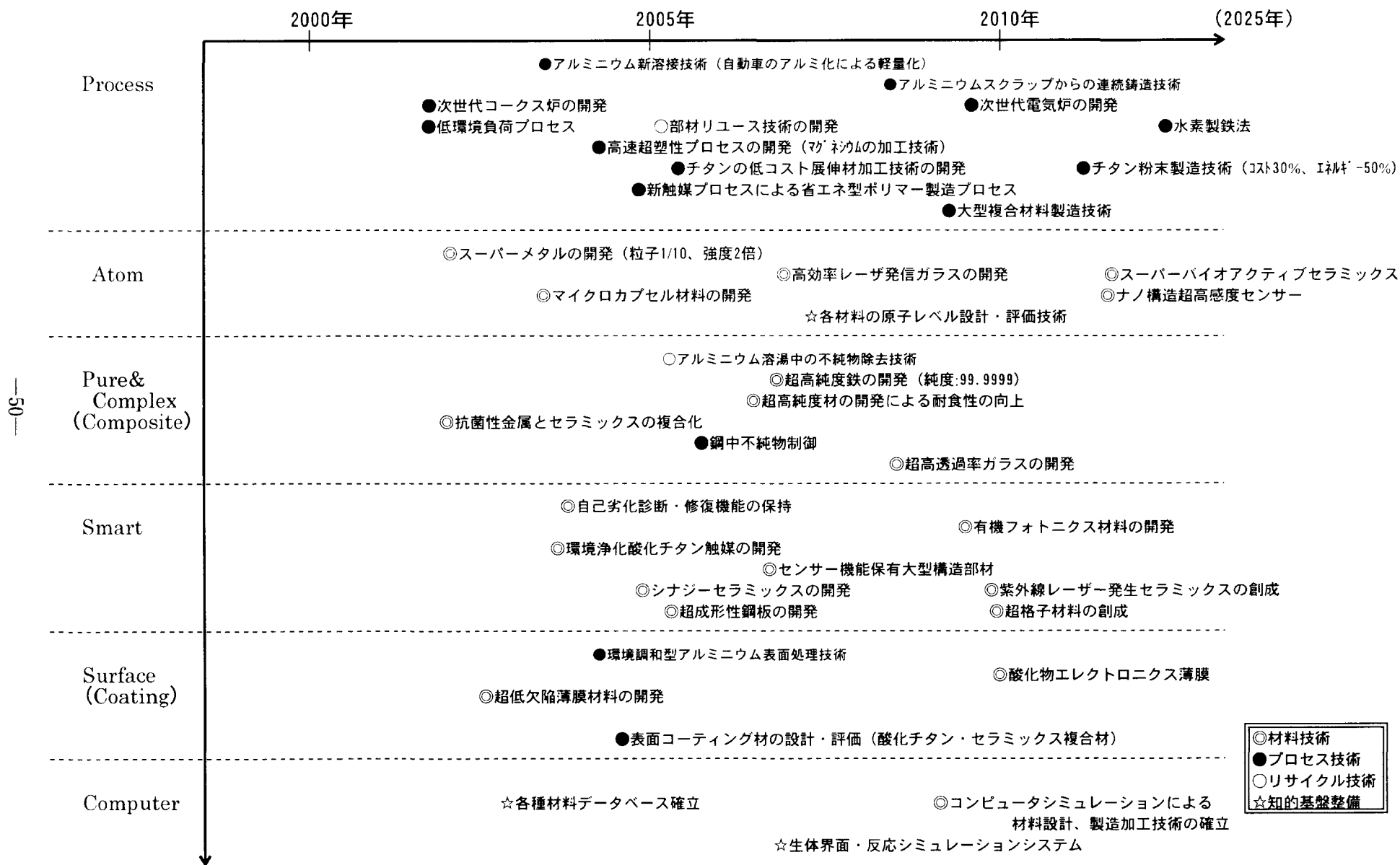
⑤ Surface (Coating)

バルクとして機能と構造を求めるのではなく、表面に機能を付加させる表面処理技術が進む。例えば、酸化チタン膜やセラミックス膜、先端電子材料用電気めっき等の表面処理や超低欠陥薄膜材料、酸化物エレクトロニクス薄膜、表面コーティング材の設計・評価がある。

⑥ Computer

計算機科学の進展に伴い、材料のデータ蓄積や、これを用いた設計、製造、加工等あらゆる場面でコンピュータの利用が必須となる。例えば、知的基盤で整備されたデータを駆使し、コンピュータシミュレーションで新素材、新製造技術を開発したり、界面の構造解明や化学反応のシミュレーションにも応用できる。

4.1 材料分野の技術シーズイメージ



4.2 社会的要請・制約への対応

材料は、新たな製品の創出、機能の改善等、生活の質の向上に資するとともに、材料産業以外の産業の競争力強化にも貢献している。このため、社会ニーズや最終製品の製造等を行う他産業のニーズをいち早く吸収し、利用技術を含め、これらを満たす材料の開発を行い、安価かつ安定的に供給することが必要である。社会的要請・制約の観点から技術革新が期待される分野、および材料産業として今後、市場の拡大が期待できる分野として以下の代表的な技術領域を抽出した。

①環境と調和した循環型経済社会の構築

循環型経済社会を実現するためには、法的整備を含めたシステム設計（法規制と規制緩和）が最も重要ではあるが、それを裏打ちする技術開発を推進するとともに、結果を正當に評価するために LCA（ライフサイクル・アセスメント）の推進（データベース化と情報公開）も重要である。

○廃棄物ゼロと経済成長とを両立する経済社会の実現

技術課題を抽出するためには、循環マップ及び需給見通しの作成が必要であるが、下記の点についての技術開発を進める必要がある。

- ・廃棄物の排出抑制のための技術（リサイクルしやすい素材への転換：樹脂や合金の種類の低減、ユニ・マテリアル化、マグネシウム等の金属の利用拡大、ガラスの無色化等）
- ・リサイクル技術の開発（樹脂（PET、FRP）のマテリアルリサイクル、建材リサイクル（サッシ、内装材等）、セメント原料化技術等）

また、需要拡大のためにリサイクル製品の市場創造（再生アルミニウムの自動車への利用、鉄鋼スラグの護岸材利用、エコセメントの利用、スクラップの高度化利用等）も併せて行う。

○有害化学物質のリスクを低減し 100 %管理する経済社会の実現

製造工程等からの有害物質の排出抑制（ダイオキシン排出抑制技術（電炉、アルミニウム、塩化ビニル等）、フッ素、ホウ素除去技術（めっきの排水対策等）、廃棄物最終処分の硝子化技術）を進めるとともに、有害物質を含む製品の転換（ポイズンフリー技術（はんだ、ブラウン管シールガラス、電線、伸銅品等））も進める。

②エネルギー安定供給、地球環境保全および経済成長(3E)の実現

3Eの実現のためには、材料産業がエネルギー多消費型産業であることから、産業部門でのエネルギー効率を高める必要がある。このため、下記の技術開発が望まれている。

- 高効率生産プロセス技術（次世代化学プロセス、次世代高効率鉄鋼製造プロセス、超臨界流体利用、アルミニウムや伸銅品の連続鑄造技術、チタンの直接還元等）
- 耐熱向上技術（次世代高効率火力発電用耐熱材料技術）
- 材料の機能を活用した廃熱等の未利用エネルギーの有効活用技術（熱電素子・システムの開発等）
- 超低損失電力素子(SiC、SOI；耐高温)や無機膜等を用いた高効率分離システムの開発

民生部門でも、材料は機能提供技術で貢献可能であり、例えば、照明分野（高効率電光変換化合物半導体の開発；21世紀のあかり）や液晶分野（超低消費電力液晶用材料の開発）、電源分野（分散型電源(電池等)の材料開発）がある。また、運輸部門でも軽量材料の観点から、超高張力鋼、アルミニウム、マグネシウム、チタン等を用いた自動車軽量化の推進や航空機用機体軽量化材料(複合材料)の開発がある。

③経済社会の新生の基盤となる高度情報化社会の実現

高度情報化社会の実現では、電子部品材料としての貢献が大きく、次のような開発が望まれている。

- 情報通信機器、AV機器の小型化、高機能化に対応した材料開発
（セラミックスコンデンサー等）
- 超高周波化する電子機器の開発に伴い、不要電波の吸収を目的とした材料開発
- 膨大化する情報量に対応した記憶素子用材料(シリコン等の高度化等)やレーザー発振材料(化合物半導体、セラミックス等)の開発
- 表示機能特性を向上させるための材料開発(液晶、発光ダイオード等)

インフラ整備の観点からは、長距離化、大容量化、ネットワーク化に対応した通信インフラ用材料の開発（光ケーブル、電線共同溝化等）がある。

④安全・安心で質の高い生活を送ることができる社会の形成

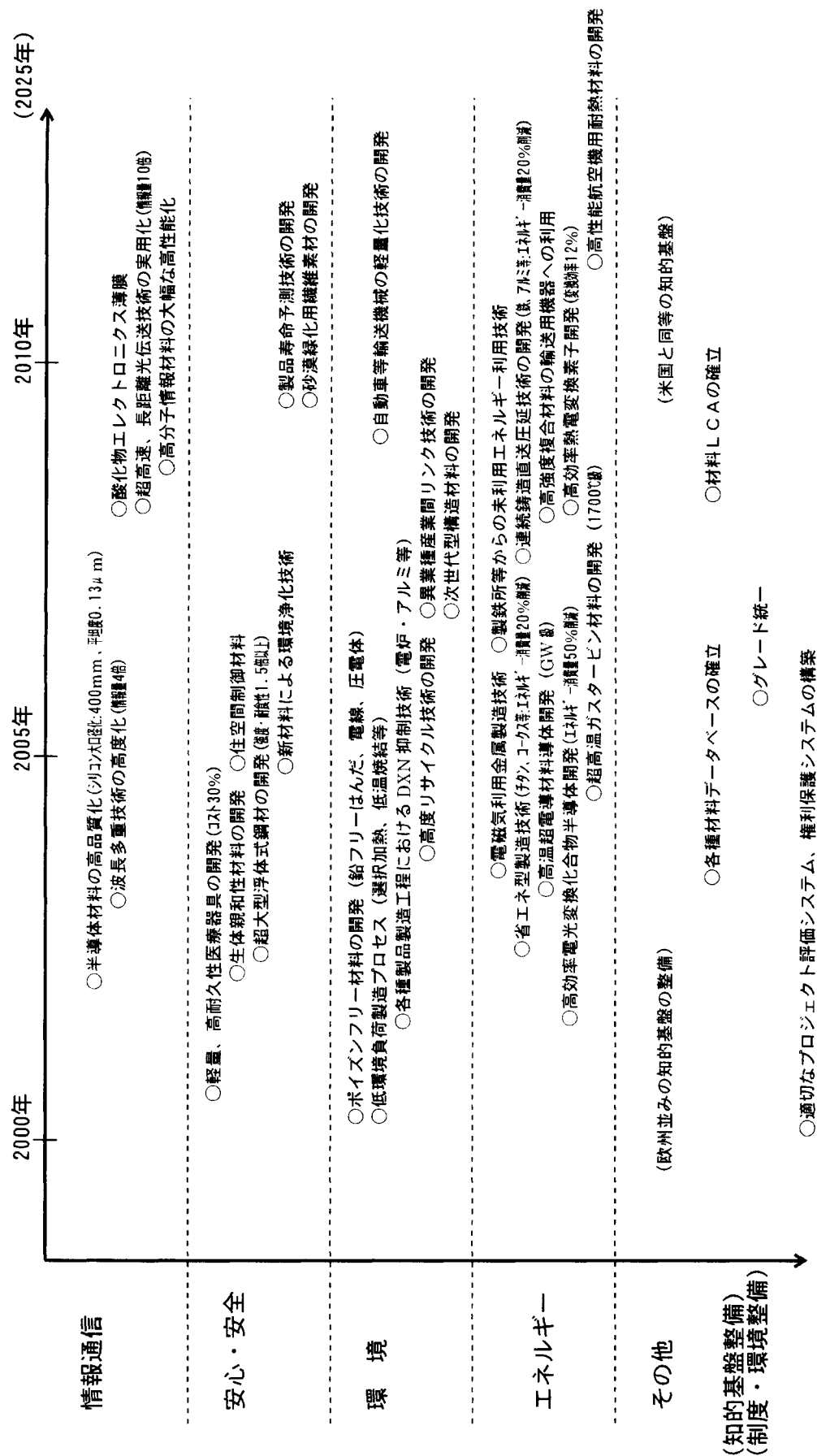
安心して暮らせる環境づくりのためには、下記のような開発が望まれている。

- 災害に強い(ライフラインを含む)、高寿命・免震性に優れた材料の開発(次世代 100 年住宅用鋼材等) およびその利用による街づくり
- 防災拠点等、海洋域への生活の拡大に伴い、メガフロート用鋼材、メンテナンスフリーの材料の開発
- 材料の劣化(疲労、クリープ、腐食等)の診断技術の開発
- 高度交通インフラ(橋梁等を含む)の整備に資する高強度鋼材の開発およびその利用によるインフラ整備
- 完全防音用建築材料の開発
- 安全・安心に資する利用技術(接合、潤滑等)の開発

また、健康の保持、寿命の延伸のためには、次のような開発がある。

- 福祉・介護機具の軽量化に資する低価格軽量材料の開発・提供
- 高度医療の発展に資する人工臓器、人工皮膚、人工骨等に利用可能な生体適合材料の開発
- 抗菌、滅菌材料の開発

4.2 社会的要請への材料産業技術の対応イメージ



4.3 総合的戦略

4.3.1 目 標

2010 年までに、材料産業が十分な研究開発投資を行えるまでの企業体質に改善させ、世界最高の材料技術イノベーションを生み出させることを材料共通の認識とする。材料技術は広範な産業分野に大きな波及効果を及ぼすことのできる基盤性を有するものであることから、社会の持続的発展のために材料産業に求められる役割を十分に認識しつつ、産学官の各々の特徴を活かした研究開発を推進させるとともに、相互連携の強化を図り、技術的諸課題へのブレイクスルーを進める。また、材料は国際的に広く利用されるものであることから、研究段階から欧米やアジアとの共同研究を視野に入れるとともに、人的交流も一層活発化させる。

<産学官の役割>

企業：社会的要請、加工組立産業等からの要請を把握し、短期的のみならず中長期的な計画の下、プロセス技術のみならず、材料技術全体の一層の向上を図る。また、企業秘密に配慮しつつ、産学官連携強化のために情報開示にも努める。人材育成についても大学教育や生涯教育へ一定の役割を果たす。

大学：基礎研究及び人材育成を担う機関として教育及び技術的移転を視野に入れて研究の質の向上を目指す。

官：研究開発の競争と協調を促すための環境整備を行うとともに、市場原理のみでは戦略的・効果的に達成し得ない研究開発領域に対する資源の重点的投資を行う。また、国研は知的基盤・標準化の充実に加え、産学官連携の中核研究機関としての役割を担う。

4.3.2 総合戦略

産業技術政策と科学技術政策の連携のもと、材料分野の産業技術戦略は5つの戦略（strategy）を以下の取り組みをもって推進するのが望ましい。

①材料技術戦略の策定

産業界における研究開発投資が低下するなか、基礎研究の共同化など研究開発の効率化を図り、戦略的に研究開発資源を集中投資することが求められている。このため、産学官が連携して戦略を策定し、ロードマップの策定や産学官の役割分担などの共通認識を醸成する。特に戦略の策定にあたっては、個別材料の利益のみを代弁するのではなく、産学官がイコールパートナーシップで、英知を結集させ、強力なリーダーシップの下、材料

全体を鳥瞰した戦略を策定できるような体制及び制度構築を図る。

また、その際、欧米を始めとする諸外国の材料産業の技術政策及び技術戦略、そしてユーザーニーズや社会的要請も十分に把握することも重要である。

なお、近年複合材料のような従来の業界団体等には含まれない、新しい材料が注目されていることも材料全体の戦略が必要な理由の一つである。

②産学官の連携強化

○独立行政法人化に伴う連携強化

材料産業において技術革新を生み出すためには、基礎理論の解明、新たな技術シーズの発掘及びその実用化等、たゆまない研究開発が必要である。これらを効率的に進めるため材料産業技術戦略に基づき、大学においては基礎研究と人材育成を担い、独立行政法人に移行する国研においては知的基盤整備や先端研究を視野に入れた積極的なミッション研究を指向し、産業界の要請を柔軟に取り込むことができるようにすべきである。さらに独立行政法人は欧米の公的機関のような民間の基礎研究の委託・共同研究を実施できる機関となることが期待されており、米国の CRADAs のような産業界との契約の概念導入も必要である。

独立行政法人化に伴い、これまで分散的に行われてきた材料研究を各機関に付設されるセンターを中核として、集中と選択を図ることにより、産業化に向けた技術開発を強力に推進する。また、地域の特性を活かしながら、材料別の専門領域を持つことにより、各地域の民間の研究機関や大学と連携しながら、各材料ごとに世界に向けて情報発信できるような研究の中心的存在（グローバル・センター）となるための体制整備を図る。

○材料研究所ネットワークの構築（材料バーチャラトリリー）

研究資源の二重投資等の弊害を排除し、研究開発の効率化、集約化を図るため、材料開発に関する技術情報の交換や人的交流を深め、産学官の研究機関を有機的に結ぶネットワーク網を構築する。特に、金属・化学・セラミックス等各個別材料ごとの研究者が一同に会し、情報交換が行われるような場の設定について検討を行う。

具体的には、既存の産学官の材料関連研究所をリストアップし、現在実施している研究内容や研究員、予算規模などの情報を共有化し、企業が求めるニーズと国研や大学が有するシーズをコーディネートする機能を付与する。

また、海外への情報発信及び情報交換も重要なことから、海外の主要材料研究所ともネットワークを構築し、かつ、世界のユーザーが情報入手可能なシステムとする。

③知的基盤の整備および標準化戦略

2010 年までに、世界トップレベルの材料知的基盤の整備を進めるため、既存材料(特許が確定しているもの、学会発表されているもの)については、データ項目の統一化(フォーマットを作成)を図り、民間主導でデータの整備を進める。高純度化による材料機能の極限追求等、有望な次世代新技術について、省庁の枠を越えて大学・国立研究所等を中心にプロジェクト方式を採用して、新材料開発のための共通基盤的情報として材料特性等のデータベースを整備する。

さらに、材料の組成分析等に必要な標準物質や試験評価方法についても、整備方法、必要な体制等の検討を行い、必要なものを対象に整備を行う。また、新材料の開発や、研究開発成果の市場化を円滑に進めるため、標準化を視野に入れ、業界団体、学会、関係省庁、関係機関等はその推進に努める。

④知的財産権改革

日米欧の各国特許制度の整合化に関しては、技術標準に関する特許を広く利用できるようにさせるとともに、米国の先発明主義、早期公開制度についても WIPO(世界知的所有権機関)等との関係機関を通して改善が図られるよう努力する。一方で、判例のデータベース化、審査・訴訟の迅速化、損害賠償額限度額の引き上げ、審査基準の明確化等を図り、あわせて大学の研究成果に関する特許化を TLO 制度等の活用を含め、さらなるインセンティブ付与を検討すべきである。

⑤資源戦略(資源輸入の最小化：リサイクル、廃棄物減量化の推進)

わが国の材料産業は、海外資源にそのほとんどを依存しており、国内資源の有効活用を図ることは、環境(廃棄物)問題を含めた今後の我が国の資源戦略として重要である。特にわが国は、高度経済成長を経て国内に膨大な資源を製品等として蓄積していることから、これを廃棄物としてではなく再資源化することにより有効利用を図ることが必要である。

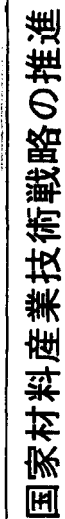
また、新機能発現のために材料の複合化が進んでいることから、これらに用いられる希少金属の使用量の低減を図るとともに、分離回収を容易とする材料構造設計・回収技術の開発が必要である。

⑥その他(研究ベンチャー育成、予算制度改革)

材料分野において研究ベンチャーに対する期待は大きく、大学、国研の研究成果を活用したベンチャービジネス起業に向けた制度の活用のみならず、企業の成果もベンチャー化するような方策も検討すべきである。

予算制度についても、効率的な予算使用や次年度繰越しの弾力化、早期契約の実施にも努めるべきである。

材料産業技術戰略策定体制



5. 材料産業技術戦略の具体化

材料国家産業技術戦略検討委員会においては、材料産業分野における「産業競争力と技術の現状分析」「技術革新を阻害する問題点及びその対策」「今後の技術革新の展望及び総合的戦略」について検討が進められたが、特に今後その取り組みが必要なものとして4.3で述べたように、①材料技術戦略の策定、②産学官の連携強化、③知的基盤の整備及び標準化戦略、④知的財産権改革、⑤資源戦略、⑥予算制度改革等が報告された。

これを受け、具体的なアクションプランを策定するため、4つのワーキンググループ（以下、WG）（戦略策定のための体制整備：WG1、重点化技術の抽出：WG2、産学官連携のためのネットワーク構築：WG3、産学官連携強化のための方策：WG4）が設置され検討が進められた。各WGは、産業界、学識経験者、国研等の専門家により構成され、3～4回のWGを開催するとともに、4WGの主査を集めた主査会合を開催し、それぞれのアクションプランについて検討を進めた。

5.1 戦略の体制整備

5.1.1 はじめに

材料国家産業技術戦略検討委員会では、産学官がイコールパートナーシップのもと、英知を結集させ強力なリーダーシップにより、産業技術ロードマップや産学官の役割分担等の共通認識を醸成し、材料全体を鳥瞰した戦略を策定できるような体制および制度構築を図ることが重要と指摘された。

また、欧米をはじめとする諸外国の材料産業の技術政策および技術戦略、そしてユーザーニーズや社会的要請も十分に把握することが重要と指摘された。

5.1.2 意義

近年、産業界の研究開発費が低下していることから、基礎研究の共同化による研究開発の効率化等、戦略的に研究への集中投資をすることが必要であり、そのためにも恒常的に材料産業技術戦略を策定する機関は必要である。

また、複合材料のような従来の業界団体等には含まれない、新しい材料が注目されていることも材料全体の戦略として横断的な組織が必要とされる理由の一つである。

現在、検討が進められている次期科学技術基本計画の議論においても、「ライフサイエンス」「情報通信」「環境」と並んで、「材料」が重点技術とされており、今後、総合科学技術会議、関係省庁（通商産業省、科学技術庁等）、（社）経済団体連合会（経団連）等に対し、材料産業技術戦略を適切にインプットしていくためにも、材料産業技術戦略を検討する機関が必要である。

5.1.3 具体的組織

- ①材料産業を俯瞰した材料産業技術戦略を策定するために「材料産業技術戦略研究所」を創設する。
- ②事務局員は2～3名とし、必要最小限度の規模とするために既存の団体に付設する。
委員会やWGでの検討が中心であり、事務局はとりまとめ機能が主。
 - ・材料産業技術戦略委員会
 - ・常設WG（企画・戦略、産学官連携、ネットワーク、調査）
 - ・特別WG：ad Hoc（規格、知的財産権、資源戦略等；必要に応じ設置）
- ③参加者は、産学官がイコールパートナーとの趣旨から、産業界（業界団体等）、学界（学協会や学術会議）、官（通商産業省、科学技術庁等、行政官と独立行政法人の研究者）がバランス良く参加することが重要。
- ④個別材料（鉄鋼、アルミニウム、ファインセラミックス、繊維等）に関する産業技術戦略は、個別業界団体ごとに作成し、この個別戦略を基に、材料技術戦略を策定する。
- ⑤最初は最小規模から出発し、将来の適切な規模および検討内容については、必要に応じて再検討する。 発足から5年後に、その存続の必要性も含め見直しを行う。

5.1.4 目的

- ①材料を俯瞰した戦略の策定および国への提言
- ②戦略策定による産学官の共通認識の醸成
- ③産・産（異材料産業間、異業種材料間）、産・学（シーズとニーズの交換）、学・官（学術の産業政策への反映）、産・官（産業ニーズの産業政策への反映）等、交流を通じての人的ネットワークの形成

5.1.5 具体的検討内容

- ①材料横断的な技術シーズの方向（atom、pure&complex etc.）
- ②社会ニーズ（環境、情報通信、ライフサイエンス）ごとの整理
- ③諸外国の材料技術戦略調査
- ④ユーザー業界（自動車、電気・電子、建築・土木等）の求める材料技術ニーズ（機能）

5.1 材料産業技術戦略研究所(案) <その1>

材料産業としての基本認識

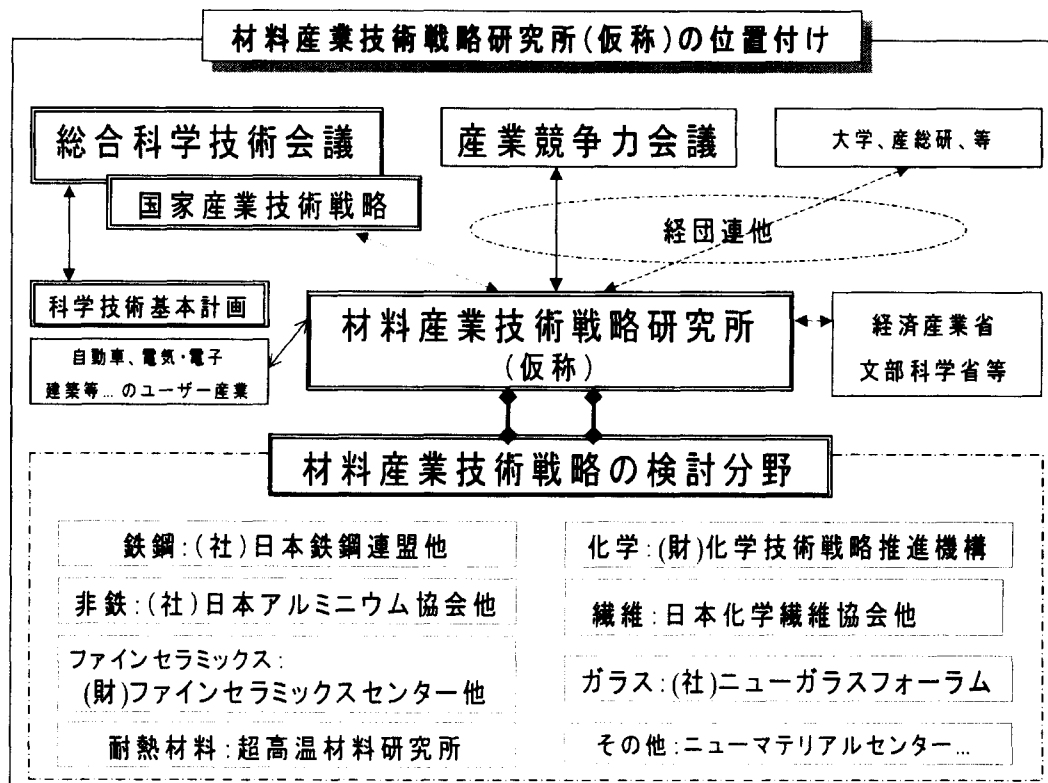
- ◇ フロンティア創造型の技術革新システム
- ◇ 効率的な研究開発投資
 - 戦略的な「選択・集中」を実行
- ◇ 社会的要請・制約への対応
 - 環境と調和した循環型社会の構築
 - エネルギーの安定供給、地球環境保全及び経済成長の実現
 - 経済社会の新生の基盤となる高度情報化社会の実現
 - 安全・安心で質の高い生活を送ることができる社会の形成
- ◇ 萌芽的技術シーズへの対応
 - nano, pure&complex, surface, etc...

5.1 材料産業技術戦略研究所(案) <その2>

ミッション

- ◇ 日本経済・日本産業の持続的成長を支える基盤産業として、
- ◇ 産業技術力強化(と経営革新の相乗効果)により国際競争力を確保し、
- ◇ 材料産業の持続的発展を狙うために戦略研究を行う。

5.1 材料産業技術戦略研究所(案) <その3>

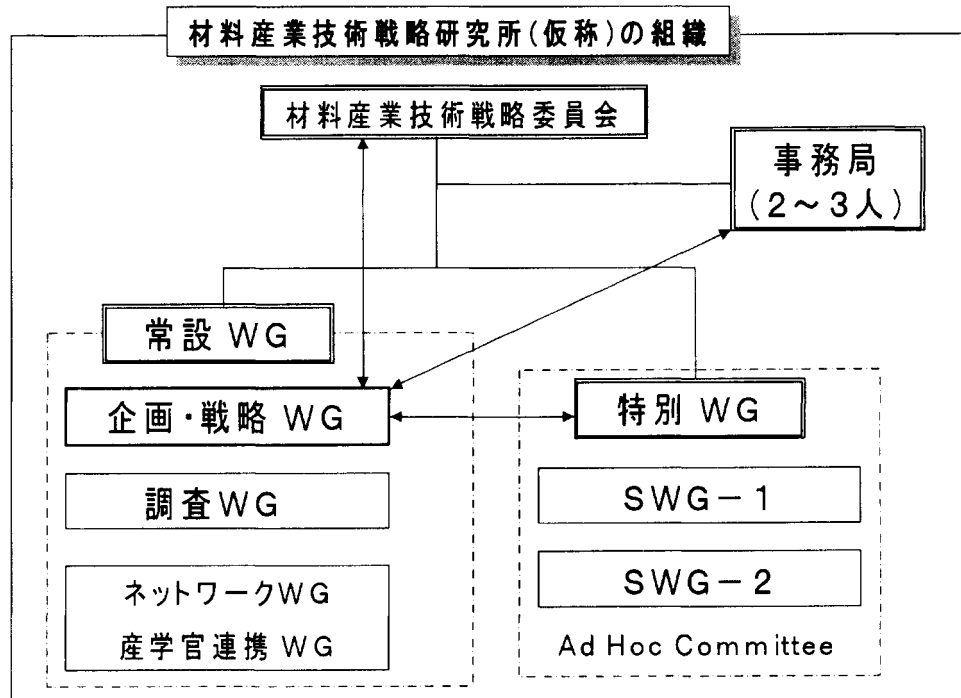


5.1 材料産業技術戦略研究所(案) <その4>

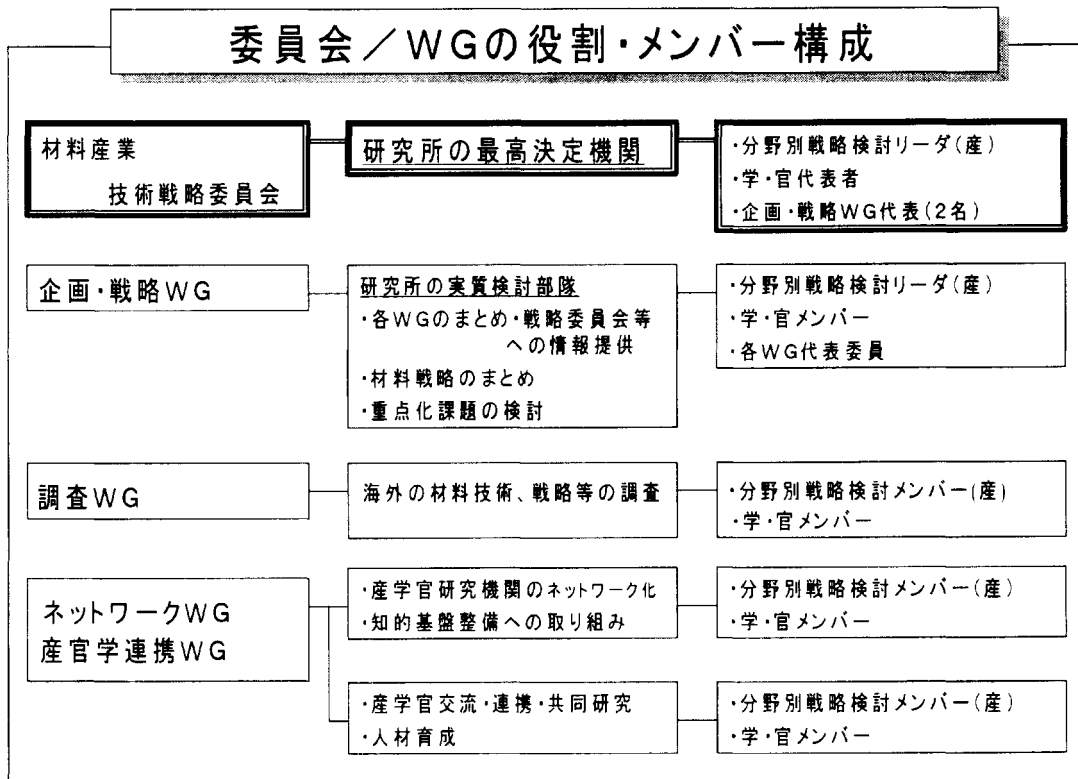
材料産業技術戦略研究所(仮称)の機能

- ◇ 材料産業分野における分野別技術戦略をベースに、材料産業を俯瞰した「材料産業技術戦略を策定」し、
- ◇ 国家技術戦略をはじめとする政府施策へ「材料産業としての提言」を行う。
- ◇ 併せて、材料産業分野間のみならず、重点3分野(情報通信、環境、ライフサイエンス)をはじめユーザー分野との連携を図る。
- ◇ 海外の材料分野の動向(技術政策、戦略...)等についての調査・分析。

5.1 材料産業技術戦略研究所(案) <その5>



5.1 材料産業技術戦略研究所(案) <その6>



5.2 産業技術の重点化

5.2.1 はじめに

国家産業技術戦略では、政府の研究開発投資の重点化が必要とされ、

- ①市場の創出につながる社会的ニーズをにらんだ研究開発投資
- ②革新性・基盤性を有する萌芽的技術に関する研究開発投資
- ③産業技術の発展のベースとなり公共財としての側面を有する知的基盤への投資

の3つをその領域とした。

材料国家産業技術戦略検討委員会においても、上記整理に基づき、4.で述べたように、重要な技術を「社会的ニーズ」および「技術シーズ」ごとに、2010年を目標にして達成できる年次と併せて抽出した。しかし、材料の中で重点化を図る際に、社会ニーズで取り上げられている「環境」「エネルギー」「情報」「安全・安心」の4項目について、重要度に応じた整理が必要でないかとの指摘が委員からあった。

また、科学技術会議の科学技術基本計画に関する論点整理においては、重点化すべき技術分野として、「情報通信」「環境」「ライフサイエンス」の3分野に、これらを支える基盤としての「材料」分野が指定された。

このように、材料分野は重点分野として位置付けられようとしているが、材料分野の中での重点化が必須であり、この検討を実施した。

5.2.2 前提条件

- ①国の公的資金を配分すべき重点技術を抽出する。
- ②研究開発の達成時期は2010年を目標とする。

5.2.3 材料技術の特徴

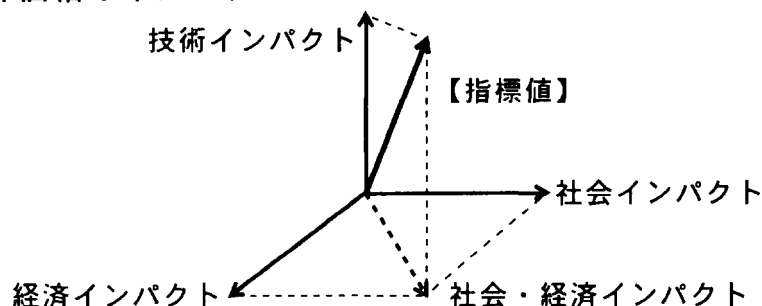
- ①基礎研究（science）要素が強い。
- ②基盤技術（platform）である（産業・技術波及効果が大きい）。

5.2.4 重点化の方法

始めに、国家産業技術戦略で提示された「社会的ニーズ」と「技術シーズ」のいずれに重点を置くかの議論を行った。材料分野は、基礎研究要素が強く技術シーズが重要であるが、目標年次が2010年と近いこと、産業技術に関する重点化であることから、「技術シーズも踏まえた形で社会ニーズからアプローチすることが適切である」との結論を得た。

科学技術基本計画策定において、①技術インパクト、②社会インパクト、③経済インパクトの3軸で最も高い点を示す技術領域を重点化する試みが行われ、例えば、「電子・光学材料」と「エネルギー・環境材料」が重点化されている。この試みを材料技術戦略で例

5.2 評価軸のイメージ



示された個別技術についてデルファイ法で試みようとしたが、そもそも例示された技術が必要十分ではなく適切ではない、評価軸が階層的になり定量化、相互比較が困難との意見が多く、今回は見送った。

材料の重点化としては、以下の3つのアプローチがあるとの意見もあった。

- ①人類への貢献－サイエンス・基礎研究
→関係論文の加速度（微分値が大きいほどよい）
- ②産業技術への貢献－産業競争力強化
→海外動向、欧米との比較、マーケットサイズ
- ③持続的発展への貢献（環境・エネルギー社会）－未来の潮流と理念
→材料の改善などの効果の定量化（LCAによるアプローチ）

なお、この手法は確立できれば極めて定量的な評価が可能のため今後の検討課題とする。

従って、4つの社会ニーズ（安心・安全、情報通信、環境、エネルギー・資源）それぞれについて目標をブレイクダウンし（大目標→中目標→小目標）、この小目標ごとに材料技術の技術シーズを書き込んでいく手法を試みることにした。

このようにして抽出された技術シーズについては、大きく6つのキーワード

- | | |
|--------------|------------------|
| ・マテリアルデバイス技術 | ・環境循環型材料 |
| ・環境再生型材料 | ・エネルギー効率改善型技術 |
| ・新エネルギー創出材料 | ・ヒューマン(フレンドリー)材料 |

で大括りされ、今後、材料分野において重点的に進めるべき技術領域を社会ニーズから整理することができることから、これらを材料産業技術の重点化技術として提言する。

なお、材料技術が「科学技術」としての要素が強いこと、「基盤技術」としての位置付けがあることから、材料技術戦略で整理された技術シーズからの重点化も試みると、例えば「ナノ：nano (atom)」および「界面・表面膜：surface、interface,coating」に関する

技術シーズが多く抽出されており、「材料ナノテクノロジー」、「界面・表面膜材料技術」等のように表現することもできる。

5.2.5 今後の方向と提言

今回重点化された材料技術を、現在「次期科学技術基本計画」について審議されている科学技術会議に反映することに努める。

その他、提言された事項は以下のとおり

- ① 3軸の定量的な評価を可能とする手法の開発の必要性。特に、環境を軸とする LCA については材料ごとの LCA に関して検討を実施する。
- ② 欧米等の政府による材料技術の重点化に関する調査（戦略を含む）。
- ③ 産学交流サロンの開設（ニーズとシーズのマッチング）。
- ④ 重点化技術の抽出

5.3 材料産業分野における重点化技術 <その1>

A マテリアルデバイス技術

- ・テラヘルツ発振素子用高温超伝導材料
- ・ナノ構造磁性体素子
- ・量子計算用超伝導位相制御技術
- ・磁性・超伝導ハイブリッド材料
- ・量子デバイス
- ・高機能デバイスシミュレーション技術
- ・高度計算解析技術
- ・ナノ構造材料設計技術
- ・超微細成形加工技術
- ・X線レーザー技術
- ・非線形光学材料
- ・ナノ構造フォトニクス材料
- ・量子計算材料
- ・磁気光学材料
- ・スピニクス材料
- ・青色発光材料
- ・単電子デバイス材料
- ・ナノチューブ材料
- ・巨大磁気抵抗材料
- ・ナノ構造高密度光記録材料
- ・酸化物エレクトロニクス薄膜
- ・超低欠陥薄膜材料
- ・液晶表示材料
- ・高輝度発光体材料
- ・超格子材料
- ・記憶素子用材料
- ・レーザー発振材料（化合物半導体、セラミックス）
- ・有機フォトニクス材料
- ・有機モノリシック光回路材料
- ・有機高感度センサー
- ・有機ナノチャンネル・ナノファイバー
- ・有機光電子機能材料
- ・有機光電変換素子材料
- ・有機EL素子材料
- ・配向制御フィルム
- ・選択バリア高分子材料
- ・ソフトアクチュエーター
- ・高分子情報材料
- ・高耐熱性樹脂
- ・高効率レーザー発振ガラス
- ・超高透過率ガラス
- ・超分散フラットガラス
- ・アサーマルガラス
- ・超広帯域光増幅ガラス
- ・通信用赤外発光ガラス
- ・紫外線レーザー発生セラミックス
- ・ナノ構造超高感度センサー
- ・希土類イオン発光素子
- ・先端電子材料用電気めっき等の表面処理

B1 循環型環境材料技術

- ・低環境負荷材料設計技術
- ・ポイズンフリー技術
- ・磁気分離技術
- ・高純度金属製錬技術
- ・大型複合材料製造技術
- ・超大型金属系部材鍛造技術
- ・アルミニウム加工新接合技術
- ・アルミニウム溶湯中の不純物除去技術
- ・マグネシウム合金の超塑性加工技術
- ・鋼中不純物制御
- ・超高純度鉄
- ・着色容易なガラス材料
- ・超臨界流体利用技術
- ・高強度繊維
- ・環境制御繊維
- ・軽量高強度高分子材料
- ・耐摩耗高分子材料
- ・再生微分散高分子アロイ材料
- ・回収高分子複合材料
- ・化学種限定高分子材料
- ・高性能コーティング高分子材料
- ・高性能セルロース系材料
- ・高性能ポリアミノ酸材料
- ・脱塩素型廃プラスチック処理技術
- ・有機無機ナノ複合材料
- ・生分解性樹脂
- ・熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂の解重合
- ・高配向制御技術
- ・有機廃棄物の減量化技術
- ・精密制御高分子材料

5.3 材料産業分野における重点化技術 <その2>

B2 環境再生型材料技術

- ・触媒設計技術
- ・環境浄化酸化チタン触媒
- ・酸化チタン膜
- ・高効率 CO₂ 分離膜
- ・スーパーバイオアクティブセラミックス
- ・環境調和型アルミニウム表面処理技術
- ・高性能/高機能ナノポーラス分離膜
- ・スラグによる CO₂ 固定化技術
- ・中低温型廃熱利用水素製造技術
- ・微生物担体材料（バイオレメデーション）
- ・CO_x ポリマー

C1 エネルギー効率改善型技術

- ・次世代コークス製造技術
- ・次世代高効率鉄鋼製造プロセス
- ・電磁気利用金属製造技術
- ・製鋼用電気炉の革新的省エネ技術
- ・低温焼結技術
- ・低温熔融技術
- ・水素製鉄法
- ・スーパーメタルの開発
- ・アルミニウムや伸銅品の連続鑄造技術
- ・チタンの直接還元技術
- ・チタンの粉末製造技術
- ・軽量構造体用高強度材料
- ・軽量高温高強度材料
- ・超低損失電力素子の開発
- ・電光変換素子の開発
- ・超低消費電力液晶用材料の開発
- ・超電導エネルギー貯蔵技術
- ・軽量、高強度透明材料
- ・高強度材料設計シミュレーション技術
- ・セラミックスコーティング技術
- ・セラミックスガスタービンの開発
- ・大型複合材料製造技術
- ・超耐熱材料の開発
- ・高強度複合材料の開発
- ・次世代高効率火力発電用耐熱材料技術
- ・超高温オプトメカニカル複合材料
- ・大型鍛造材製造技術
- ・高効率無機分離膜
- ・次世代化学プロセス
- ・マイクロリアクター
- ・ナノ構造制御
- ・非線形／非平衡化学プロセス
- ・ナノ／マイクロ発泡高分子材料
- ・ナノ構造超強力磁石材料
- ・低誘電損失高分子材料
- ・高分子傾斜材料
- ・高選択性、高効率触媒技術
- ・高度省エネルギー分離精製技術
- ・反応成形技術

C2 新エネルギー創出材料技術

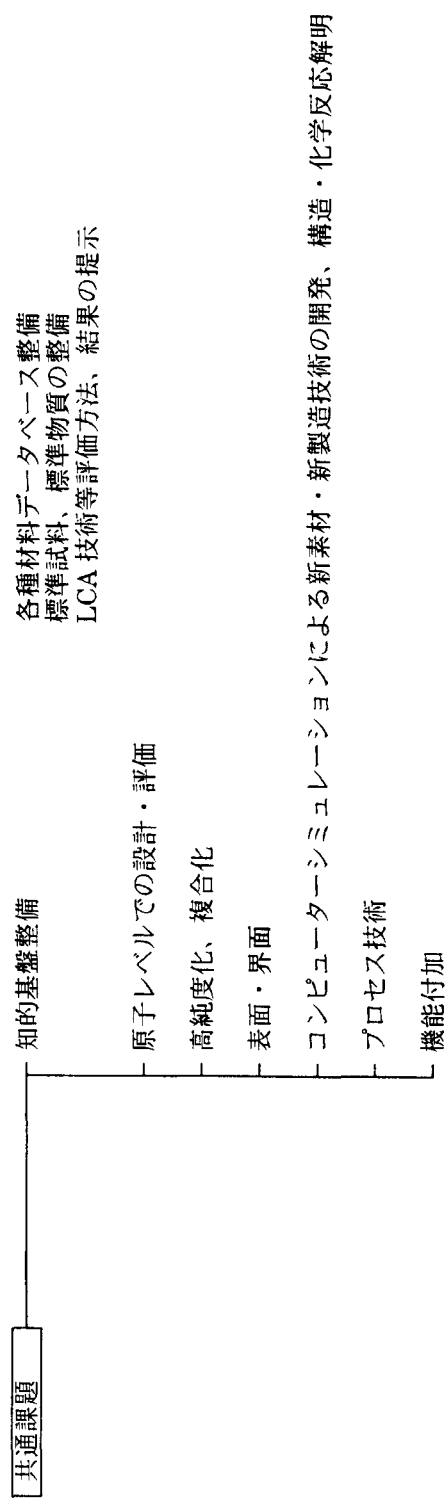
- ・アモルファス材料設計技術
- ・太陽電池材料の開発
- ・固体電解質燃料電池
- ・有機太陽電池材料
- ・ポリマーバッテリー材料
- ・高分子固体電解質膜
- ・核融合炉用超電導材料の開発
- ・核融合炉用プラズマ対向材料
- ・水素貯蔵合金の開発
- ・超電導材料
- ・熱電発電素子の開発
- ・送電用高温超電導材料の開発
- ・超高性能電磁鋼板
- ・耐放射線電子素子材料
- ・耐放射線センサー
- ・風力発電用高性能複合材料

5.3 材料産業分野における重点化技術 <その3>

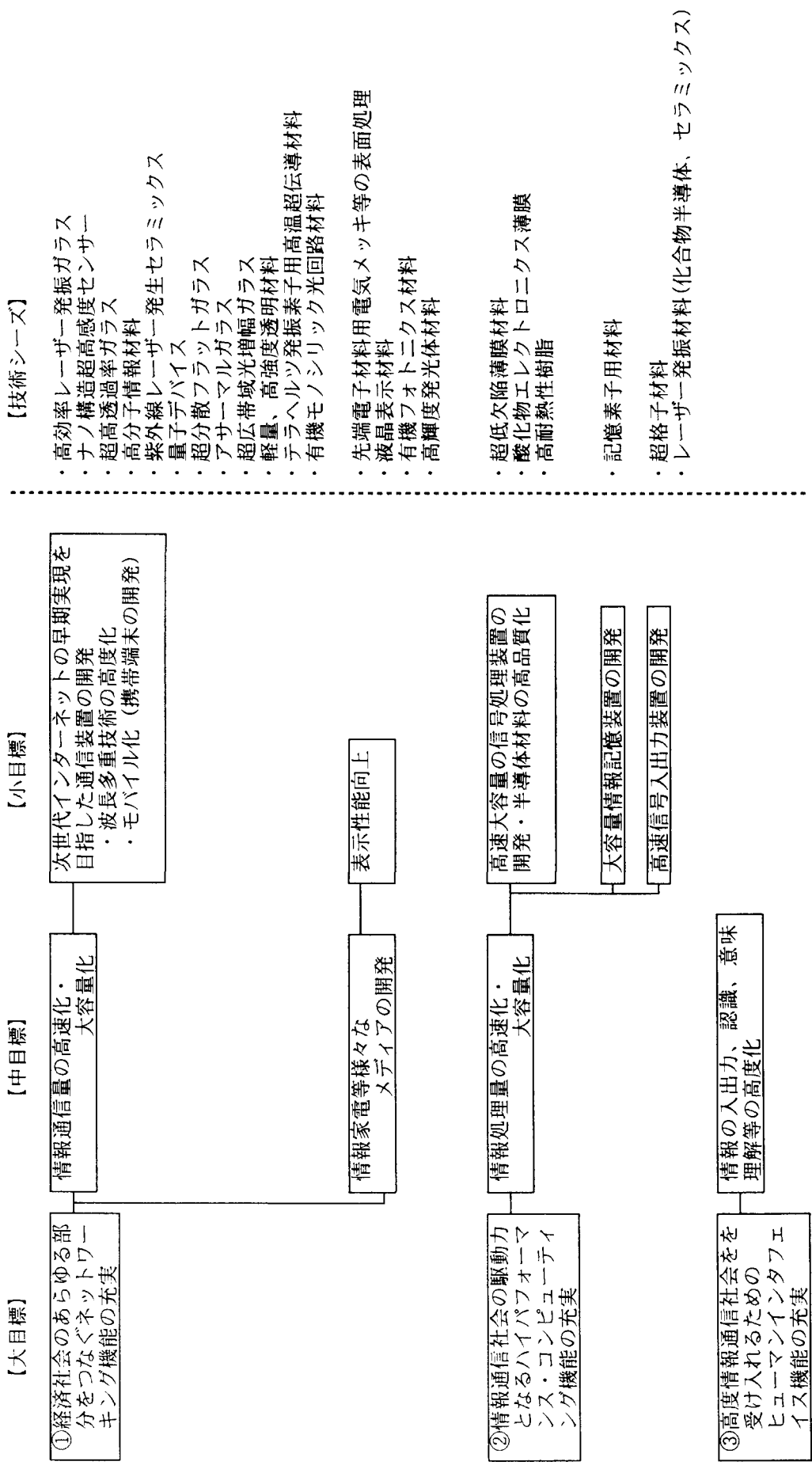
D ヒューマン（フレンドリー）材料技術

- | | |
|--|--|
| <ul style="list-style-type: none">・圧電材料（超音波発振素子）・シンプレタ-材料（X線検出器）・超高感度NMR／MRI技術の開発・抗菌性金属とセラミックスの複合化・人工皮膚、臓器、骨材料・ガフト用鋼材・超高強度、高剛性鋼・合金レス鋼・自己劣化診断、修復機能材料・メンテナンスフリー材料・完全防音用建築材料・マイクロカプセル材料・超長期疲労保証材料・ナノ構造磁気抵抗材料・低放射化材料開発 | <ul style="list-style-type: none">・マイクロ／ナノロボット用材料・インテリジェントマテリアル・自己組織化、自己修復性高分子材料・環境浄化酸化チタン触媒・酸化チタン膜・砂漠緑化用繊維素材・高機能繊維材料・環境浄化用分離膜・長繊維複合材料・耐熱鋼（耐火鋼）・軽量高強度高変形能材料・水素脆化抑制技術・調温/調湿高分子材料・透明断熱高分子材料 |
|--|--|

5.4 共通課題



5.5 「情報通信社会」に求められる技術シーズ

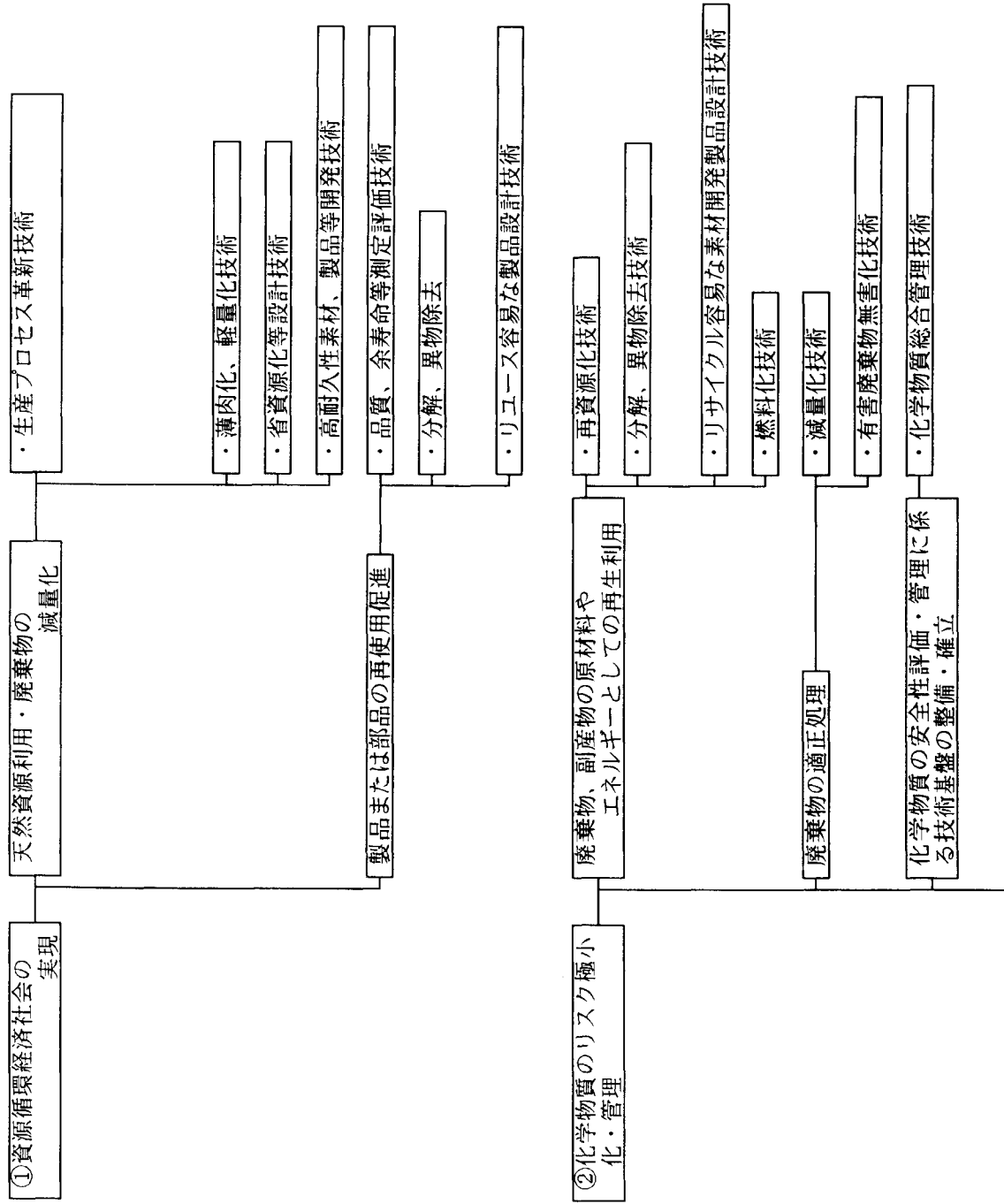


5.6 「環境」に求められる技術シーズ <その1>

【大目標】

【中目標】

【小目標】



【技術シーズ】

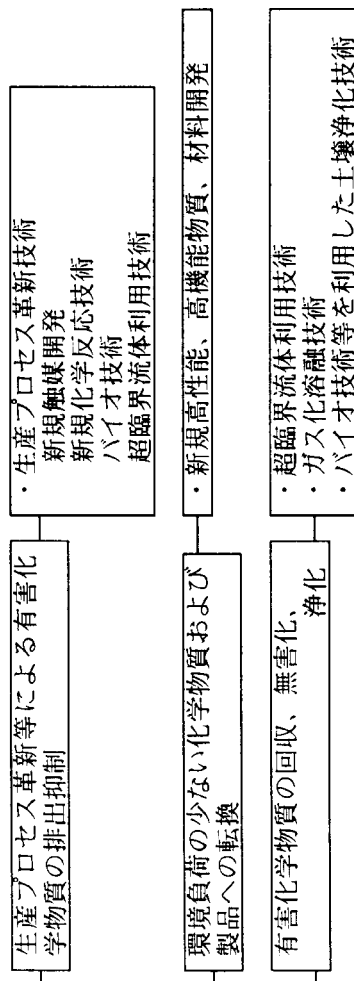
- 大型複合材料製造技術
- 低温焼結技術
- 超大型金属系部材鍛造技術
- アルミニウム加工新接合技術
- 高速超塑性プロセス
- 高純度製錬技術
- 製鋼用電気炉の革新的省エネ技術
- 超高性能電磁鋼板
- マグネシウム合金
- 超塑性加工
- スーパーメタルの開発
- 原料転換技術
- スーパーメタルの開発
- 超耐熱材料の開発
- 高配向制御技術
- アルミニウム溶湯中の不純物除去技術
- 鋼中不純物制御
- 超高純度鉄
- 高精度材料設計技術
- 超臨界流体利用技術
- 有機廃棄物の再減量化技術
- ポイズンフリー技術
- 着色容易なガラス材料
- 熱可塑性樹脂、熱硬化性樹脂の解重合
- 天然高分子とシリカとのナノ複合材料
- 脱塩素型廃プラ処理技術
- 磁気分離技術

5.6 「環境」に求められる技術シーズ <その2>

【大目標】

【中目標】

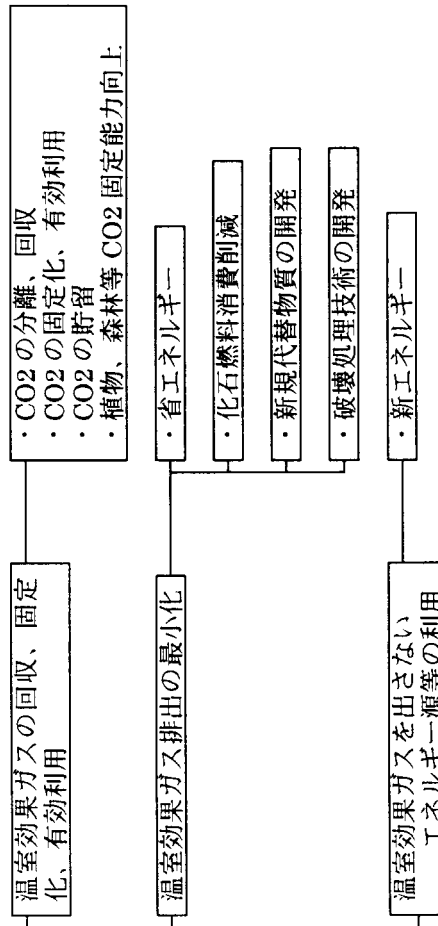
【小目標】



【技術シーズ】

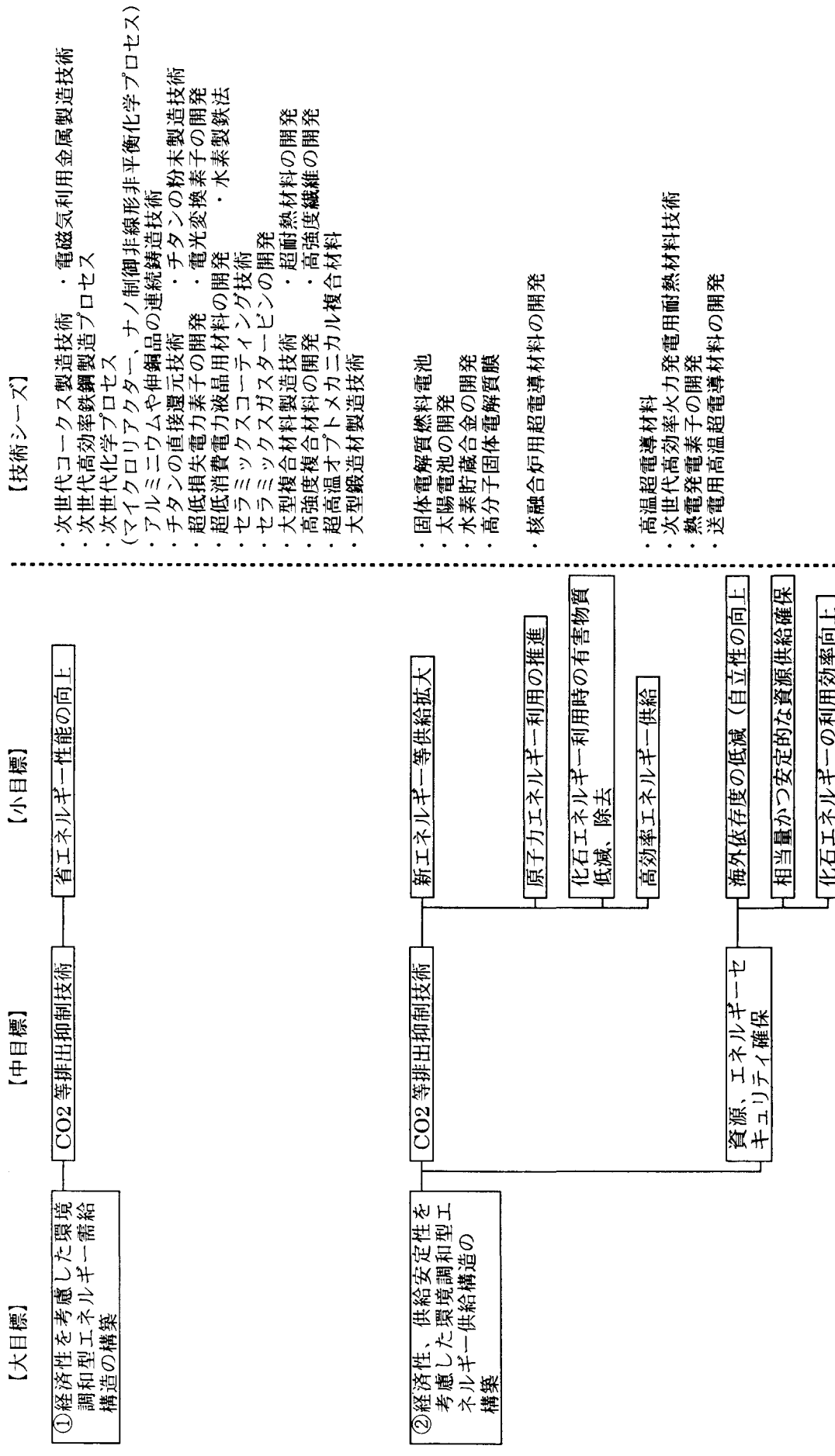
- ・環境浄化酸化チタン触媒
- ・酸化チタン膜
- ・スーパーバイオアクティブセラミックス
- ・環境調和型アルミニウム表面処理技術
- ・高選択性／高効率触媒技術
- ・生分解性樹脂
- ・高度省エネルギー分離精製技術
- ・環境制御繊維
- ・次世代化学プロセス技術
- ・マイクロリアクター技術

③地球温暖化抑制

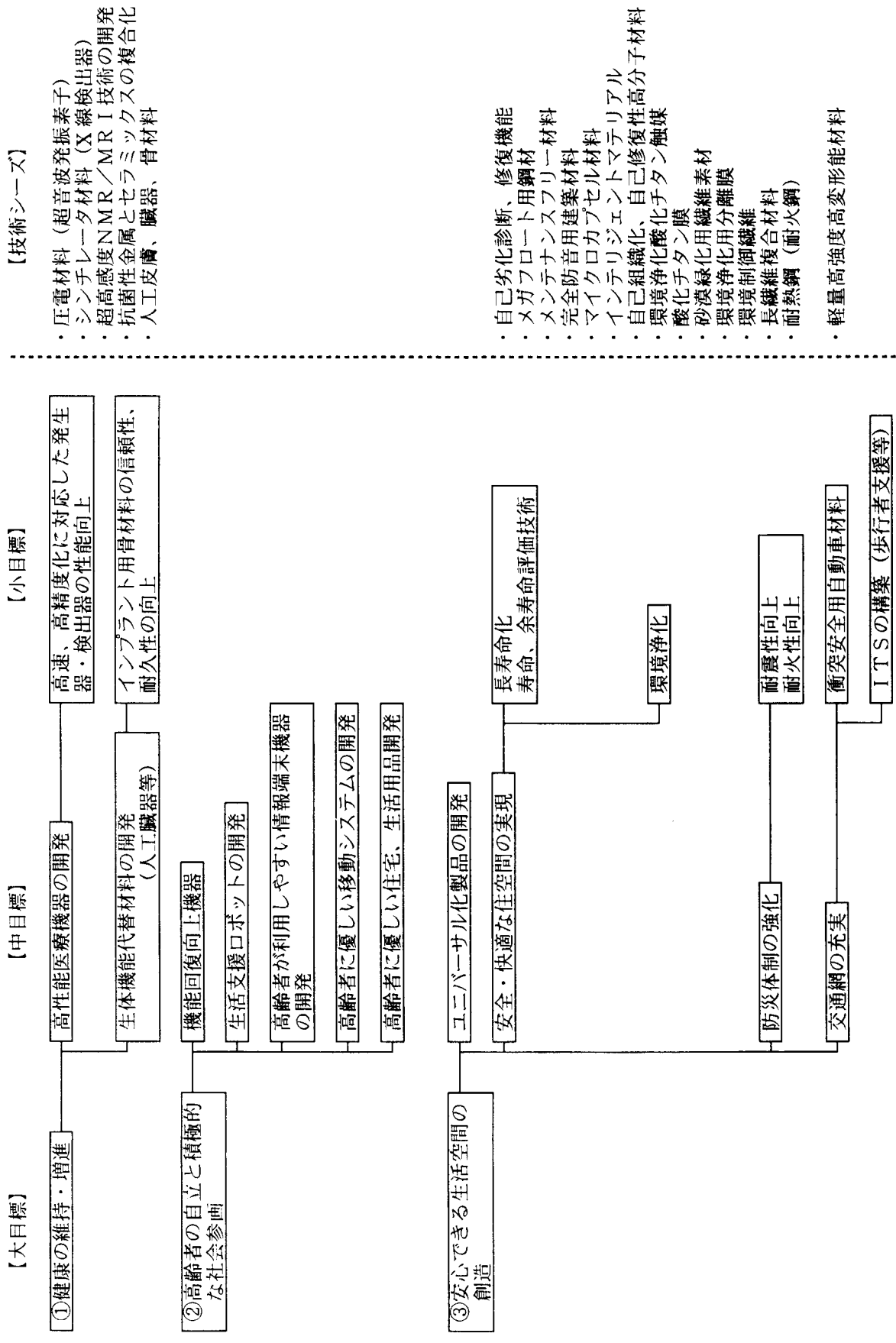


- ・CO2分離膜
- ・高効率無機分離膜
- ・スラッグによるCO2固定化技術
- ・反応成形技術
- ・中低温型廃熱利用水素製造技術
- ・超耐熱材料の開発
- ・太陽電池材料
- ・燃料電池材料

5.7 「省エネルギー」に求められる技術シーズ



5.8 「安全・安心な社会」に求められる技術シーズ



5.3 ネットワーク化

5.3.1 はじめに

国家産業技術戦略では、技術システムの改革の一つとして、技術革新を産み出す真の産学官連携の実現が必要との提言がなされた。

材料国家産業技術戦略検討委員会においても、産学官の連携不足によるニーズ・シーズの不一致、研究資源の二重投資等を始めとする非効率的な研究開発が問題として挙げられ、産学官相互の連携強化が必要不可欠とされた。

産学官連携強化の方策としては、材料開発に関する技術情報の交換や人的交流の促進等、各研究機関を有機的に結ぶネットワーク網を構築するとともに、金属・化学・セラミックス等、各個別材料ごとの研究者が一堂に会し、情報交換を行える場の設定について検討が必要とされた。特にネットワーク化に関しては、各研究所および研究者がもつ情報・ノウハウを如何に開示していくかが重要な検討課題である。また、研究開発効率化の観点から共通基盤情報としての知的基盤データベースの整備等についても検討が必要との提言がなされた。

5.3.2 検討内容

産学官の連携強化による研究開発の効率化を大目標として、①材料開発およびこれらの材料を用いた製品開発における共通研究基盤としてのファクトデータベースのあり方、②技術シーズとユーザーニーズとのマッチングを図り、産学官が一体となった研究開発を支援するバーチャルネットワークの構築などについて検討を行った。

その結果、以下に述べるような材料研究開発を創造・基盤研究から応用・実用研究開発段階まで一貫して支援し、産業競争力強化や新産業創出・育成を推進するための「材料産業技術ネットワーク」の構築が必要であるという結論を得た。

(1) 材料産業技術ネットワーク構想

材料研究開発の効率化を妨げている大きな要因は、材料そのものが極めて多種多様であるだけでなく、多くの産業分野にわたって多様なバックグラウンドを持つユーザーからのニーズが数多くあることにある。従って、材料開発推進のためのネットワークは、それらの多様性に対応するために、例えば、研究開発のフェーズに対応してニーズを分類し、それぞれに対して有効なネットワークを構築する必要がある。また同時に、各ネットワークはどのフェーズのユーザーからもアクセスが可能であり、ネットワーク間の運用が可能であるようなものでなくてはならない。

そのようなネットワーク形態の概念をさらに具体化したものが、「材料産業技術ネットワーク」構想である。そこでは、新現象・新物質探索で代表される最も基礎的な研究フェーズに対応する「創造ネットワーク」をベースにして、材料プロセス開発に対応する

「開発ネットワーク」、デバイス・システム開発に対応する「調達ネットワーク」、デファクトスタンダードの確立に対応する「標準化ネットワーク」というように、各フェーズに対応したユーザーニーズと研究開発リソースのマッチングを促進するサブネットワークが構築される。

各サブネットワークは、研究開発の目標達成、ユーザーの満足度・要望、市場における材料の成熟度・必要度等を指標として相互に連係し、全体として材料研究開発推進ネットワークとして機能することが求められるが、その運用を統一的に管理・支援する機関が「材料産業技術ネットワークセンター」である。同センターではネットワーク技術の専門家はもとより、産学官連携の仲介、特許・会計などを専門とするスタッフがさまざまな角度からユーザーを支援する。

この材料産業技術ネットワークの具体的なモデルの一例が、オンラインデータベースネットワーク「MONOLITH」(Materials all Over the Nation OnLIne Technical information wareHouse Network；材料国家産業技術オンラインデータベースネットワーク)である。MONOLITHには以下のような機能が付与されている。

- ①ユーザーニーズと材料シーズとのマッチング(お見合い)を進めるため、双方向で情報交換可能な機能付加。
- ②異分野異業種との連携を進めるため、技術シーズの翻訳機能、コーディネート機能等を有した、技術アドバイザー機能の付加。
- ③ファクトデータベースを共通プラットフォームにより2次情報化させたデータベースの整備および2次情報データベースの維持更新。
- ④チャット機能等を利用した「新材料創製」機能。

各サブネットにおいても、以下にあげるような材料研究開発推進を目指した仕組みを積極的に取り入れる必要がある。

①バーチャル・ラボラトリー（創造ネットワーク）

今後の材料開発を進めるにあたっては、これまで同様、研究者同士が1対1で顔を合わせながらの研究開発は必要不可欠であり、ユーザー側とのさらなる連携を進め、より一層の研究開発の効率化を進めるため、インターネット上で「バーチャル研究所」を設置。このバーチャル研究所は、材料関係者での情報交換のみならず、ユーザーとの連携強化を指向したものとする。

②材料eコマース（開発・調達ネットワーク）

ユーザーニーズと材料シーズのマッチングを図るため、必要に応じたインセンティブの提供を伴った材料情報仲介取引市場（材料情報eコマース）の創設が必要である。

材料を利用しようとするユーザーは、自らの分野や業界における用語を用いたキーワード

により二次情報が蓄積されている材料情報データベースにアクセスして必要とする情報を検索する。データベースシステムでは、ユーザ・キーワードをそれぞれの専門分野の用語にキーワード翻訳してから一次情報である各研究所等に整備されつつあるデータベースから必要な情報を取得し、ユーザに無償または有償で提供すると共に、ユーザニーズ情報を材料一次情報提供者に提供する。ニーズ側とシーズ側の情報の取引に当たっては、必要に応じてアドバイザーが介在する。

各研究所や業界団体の一次情報データベースとユーザがアクセスするセンターの二次情報データベースとの間で情報を伝達するネットワークにはセキュリティの観点からインターネット VPN を用いるのが望ましい。

(2)産学官連携の推進

- ユーザーニーズと研究開発リソースの探索、マッチング仲介から契約、技術トランスファーまでの一貫した支援体制の強化。
- これまでの縦割りの支援体制を改め、基盤から開発・実用化までのシームレスな支援体制を確立する。
- 当事者にはテーマ内での一貫性、類似テーマの括り、研究開発パスの見通しを明確にするなどの努力が必要。

(3)材料知的基盤整備およびネットワーク化

わが国のこれまでの材料データベース整備については、JICST データベースをはじめとする「論文」データベースや特許庁の特許流通データベースの整備が中心であった。これらを含め(財)日本テクノマートは、技術取引アドバイザーや特許庁流通アドバイザーによる指導助言事業を行い、マッチングサービスを実施している。論文や特許情報等は比較的整備されつつあるが、研究開発期間の長期化や研究開発コストの増加する中、研究開発を効率的に実施するためには、「材料ごとのファクトデータベースの整備」の充実が必要とされた。このファクトデータベースについては、材料ごとに知的基盤整備として進められているが、まだ緒についたところでもあり、さらなる整備が必要である。また、材料間での物性データ等が相互比較可能な材料統合データベース整備が必要である。なお、ファクトデータベースの維持管理およびサービス体制等については、基本的には業界団体において進めるのが望ましい。

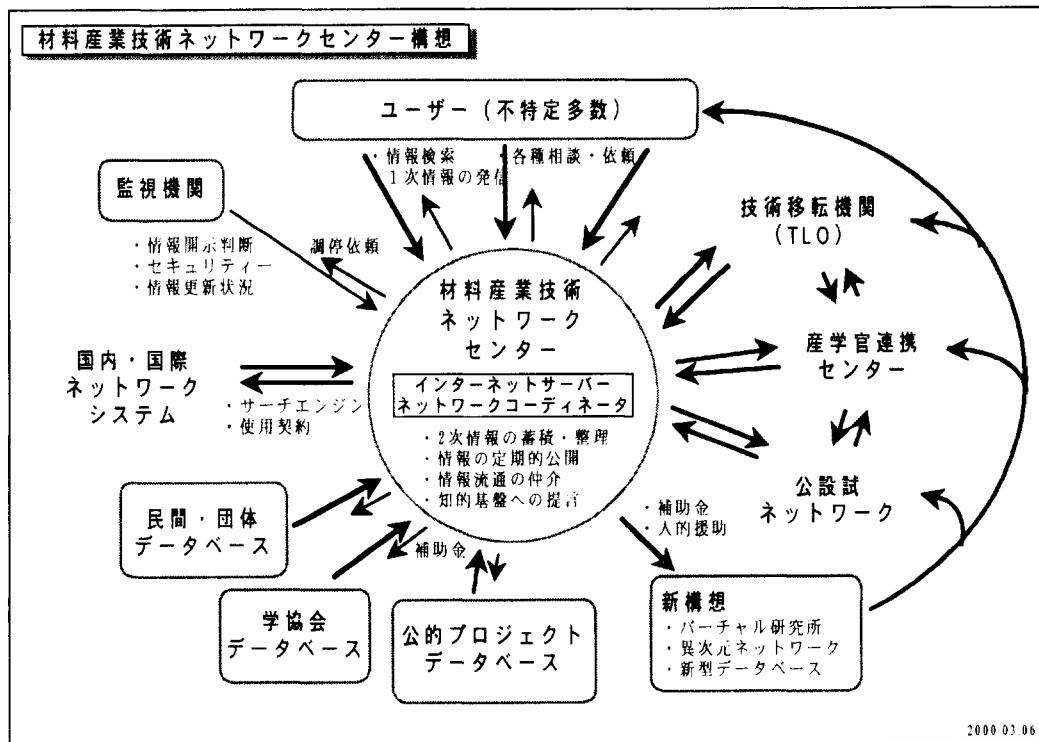
- 各材料ごとに進められているファクトデータベースの整備の加速化
- 材料データベース整備を進めるにあたって、「ものさし」でもある試験評価方法の確立、規格化、国際整合化
- 材料ごとのファクトデータベースを2次情報に加工し、材料ごとの特性を相互比較可能とし、ユーザーが必要な特性の材料を検索できるような材料統合データベースを作成。

また、産学官連携を効率よく進めるために、大学や国立研究所、公設試験研究所の保有する設備の稼働状況をネットワーク上で見られるようにし、産業界がその稼働状況に応じ、タイミングよく利用可能とすることも効率的な研究開発には必要である。

(4)その他

- 上記のネットワークにおいては、データベースおよびネットワークの維持・管理の観点から課金システムを設ける。
- 大学の研究内容・成果をネットワーク上において公表することで、外部からの研究評価や人事評価を行う機能を付加し、研究の活性化を図る。
- 官の研究所においては、研究費目にデータベース整備費の計上を設け、研究成果のデータベース化をミッションとする。

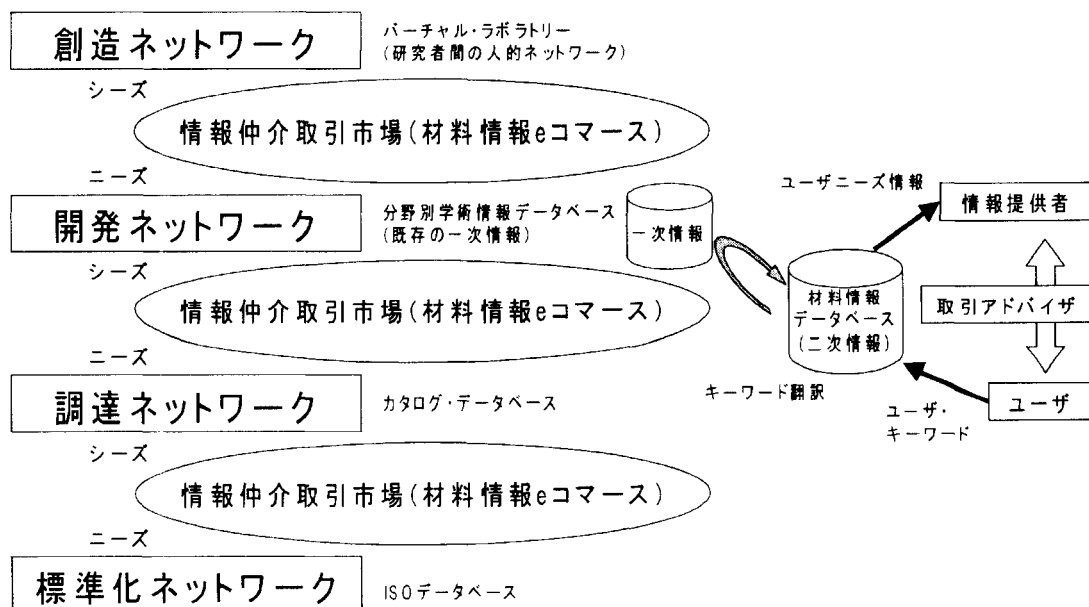
5.9 材料産業技術ネットワークセンター



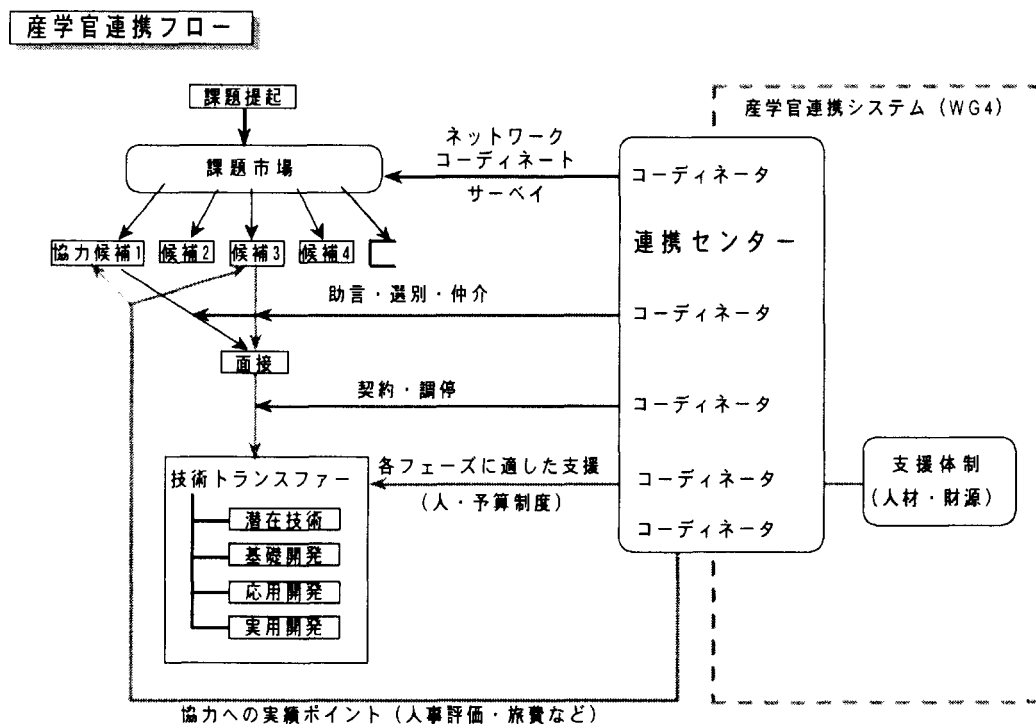
5.10 MONOLITH データベース

MONOLITHデータベース

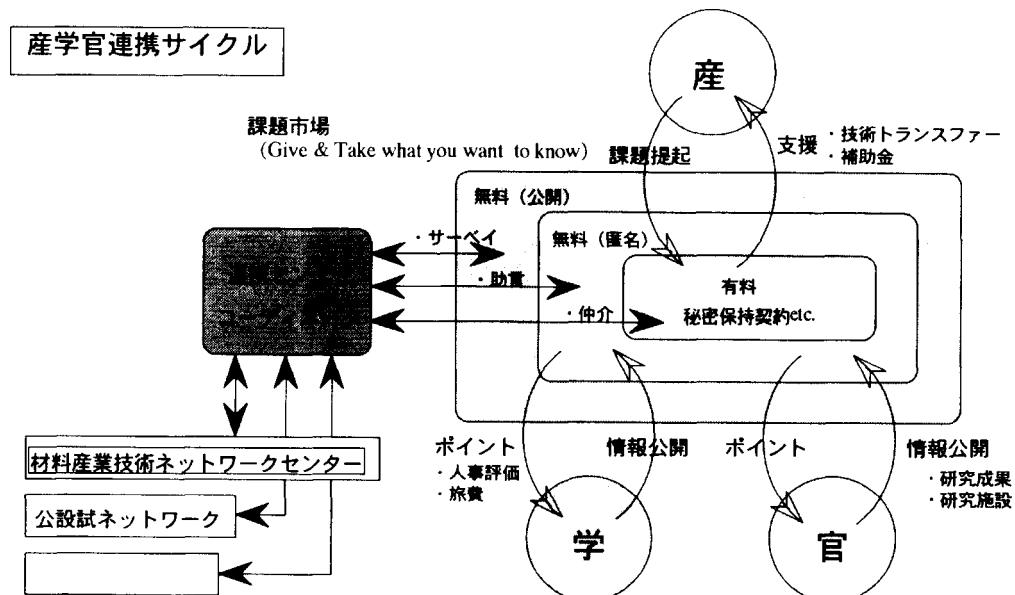
(Materials all Over the Nation OnLine Technical information wareHouse Network)



5.1.1 産学官連携フロー



5.1.2 産学官連携図



5.4 産学官の連携強化

5.4.1 はじめに

国家産業技術戦略では、技術システムの改革の一つとして、技術革新を産み出す真の産学官連携の実現が必要と提言された。

材料国家産業技術戦略検討委員会において、材料産業は、これまで企業・大学・国研等でそれぞれ独立して研究開発が行われ、十分な連携が図られず、非効率な研究開発が実施され、また、それぞれの情報開示が不徹底であるとも指摘されている。

わが国の産業競争力を強化していくためには、人材および資金面において、わが国の研究開発資源を効率的に配分し利用することが重要であり、明確な産学官の役割分担のもと、お互いの連携強化が必要不可欠である。特に材料分野は、これまでのキャッチアップ型からフロントランナー型への転換、改良型から創造型への転換が求められており、共通目標のもと、さらなる産学官の連携を進めることが重要である。

ここでは、科学技術力(立派な論文発表・受賞等による国の存在感)の向上も踏まえた上で、産業技術の競争力(技術に立脚した経済力による存在感)強化のための産学官連携強化の方策について検討を実施した。

5.4.2 産学官の役割分担

(1) 企業

- ・企業は、材料供給者としての社会的責任を果たすため、社会的要請および加工組立産業を始めとするユーザー産業の要請を十分に把握し、プロセス技術を含めた材料技術全体の一層の向上に努める。
- ・産学官連携強化を進めるため、企業秘密に配慮し企業ニーズ等の情報開示に努める。
- ・大学教育や生涯教育などの人材教育・育成についても一定の役割を果たす。
- ・国の施策決定や実施過程の際にも積極的に関与する。

(2) 大学

- ・社会ニーズの汲み取りに積極的に関わり、社会的に求められる工学教育、工学的基礎研究とは何かを十分に把握する。
- ・技術シーズの発掘、人材育成、技術移転等を行う中核機関として、研究の質の向上を目指す。
- ・大学院までの一貫したカリキュラムにより、人間性豊かで倫理観を併せ持つ優れた研究者、技術者を育成する。
- ・熱処理、鋳造、溶接等の「もの作り」に関する基盤技術の教育・伝承についても、知の継承機関としての役割を果たす。

- ・兼業規制の緩和、民間企業からの登用等、新人事システムの定着を図るため、報酬システムの抜本的改正、その他必要な環境整備について今後検討を進める。

(3)官（行政と独立行政法人）

[a]行政

- ・研究開発の競争と協調を促すための環境整備を行うとともに、市場原理のみでは戦略的・効果的に目的を達成し得ない研究開発領域に対して、重点的な資源の投入を行う。
- ・国家的な中長期的技術戦略の策定を行う際には、周辺諸国の研究開発動向を把握し、民間の議論・判断を尊重しながら、その策定を進める。

[b]独立行政法人

- ・国家戦略に基づいた研究開発、知的基盤の充実、国際標準化への対応等、産学官連携の中核的研究機関としての役割を担う。
- ・産業界のニーズを踏まえ、開発リスクの大きい技術シーズの実証研究を実施。
- ・実証研究の実施により得られた成果の技術移転機関、技術継承の支援機関として、産・学を結びつけるインターフェース機能を充実させる。
- ・産業界の知的基盤・標準化を充実させる支援機関として、「度量衡の発展と維持」機能（国家の産業競争力の礎）を充実させる。

5.4.3 産学官が連携すべき領域の設定、連携の方法

○産学官の連携領域としては、①将来のための共通基盤となる研究開発分野、②標準、規格等の知的基盤整備分野、③省エネ技術、地球環境問題対応技術等、特定グループの努力のみでは対応不可能な領域を、産学官が連携して戦略的、効率的に取り組むべき技術開発領域とする。

①共通基盤となる研究開発については、現実に産業界が抱える問題に直結した基礎研究的な基盤技術（例えば、表面・界面、ナノ・アトム）が必要。

特に、材料研究分野においては、インキュベーション時間が長く、種まきから芽生えまでの探索研究も必要であり、ブレークスルーを産み出すためには、誰もが成功するようなテーマでなく、100人に1人くらいにしか思いつかぬようなテーマに挑戦することも必要である。

②標準、規格等の知的基盤整備については、材料が全産業の基盤材料であることを踏まえから、材料データベースの構築等、国としての戦略的支援が必要。また、建材のような性能規定化が進められている分野については国が積極的に規格化を進める。

③省エネ技術、地球環境問題対応技術等の人類共通課題についてはいうまでもなく、産学官一致して国全体としてあたるべき課題である。その他にもプロセス技術、自動化技術、分析技術のような共通基盤技術もその対象となる。

- 材料分野では、集中研究方式と分担研究方式をバランス良く進めることが必要。総論としては、シーズ発掘は分担研究方式にて広く薄く実施し、成果が得られ、実用化の可能性があるものについては、具体的プロジェクトごとに検討が必要であるが、集中研究方式にて産学官が一致団結して実施することが適切である。

研究開発領域

萌芽的技術開発(技術シーズ発掘)：学中心



シーズとニーズのクロス部分：産学官



社会ニーズ実用化：産

知的基盤：産学官がそれぞれ

- 産学官連携として、実際に集中研究ができる場が必要である。個別企業や大学、国研では集中研究の場が実状では十分ではない。産学官が共同研究や実証・試作研究を行うことが可能な施設（オープン・スペース・ファクトリー）の設置について検討することが必要である。

- 材料産業技術戦略研究所において、①産学官における意見交流の場の設定、②研究開発に関するニーズとシーズのマッチング、③人材育成や教育などの重要な課題について、産学官連携として検討を進める。

さらに、①国立研究所/独立行政法人での常勤・非常勤の枠の柔軟化、②国立研究所/独立行政法人からの民間への出向の緩和、③国立研究所/独立行政法人や大学等のポスドクや企業 OB などの受入れの柔軟化、④官庁の枠を超えたプロジェクト立案(ユーザーサイドに関連する官庁の参加)について検討する。

5.4.4 人材育成（大学教育と CPD(Continuing Professional Development)）

(1) 大学教育

- ①材料横断的な技術とともに、基礎的必須学問である、物理、化学、数学の履修を徹底させる。また環境などの法律にも通じ、倫理観を有する人材を育成する。
- ②具体的には JABEE(日本技術者教育認定機構)を活用し、カリキュラムについては学協会が連携・策定する。
- ③カリキュラム策定作業にあたっては、産、官(国研および行政)も必ず参加することとする。産業界においては、どのような卒業生を望むか、そのために産業界がどのような協力をするか積極的な提言を行う。
- ④特に生産技術の向上には、技術的な課題解決と生産システム(商品の販売の段階まで)の効率化の2点が必要であり、履修した専門分野の実地問題を解決できる能力を開発

するため、教育カリキュラムにそのための実習を組み込むことが必要。

- ⑤また、教員の質の向上を目指し、これまでのような主として論文数で評価されるシステムを改め、大学内部、社会からの連携により業績評価システムを構築する。

(2)CPD（継続専門教育）

- ① CPD の担い手は学協会である。会員を中心として、CPD システムを構築し、資格制度を含め、ステップアップできるようなシステムを検討する。 また、企業 OB を活用し、技術伝承の観点からの教育も検討する。
- ② CPD を受けるインセンティブとして、産業界は、知識・能力に応じた昇給や昇進等を検討すべきである。

(3)インターンシップ

- ①大学のカリキュラムにインターンシップ制度を位置付けるべきである。
- ②学生に企業センスを学ばせる場とともに、企業にとっても優秀な学生を選択できる場として活用する。

(4)材料分野における技術者認定制度

- ①上記(1)～(3)を踏まえ、材料分野における技術者認定制度の創設を検討。
- ②日本では一度定着してしまった技術士に対する認識、評価を変えることが非常に困難なことから、JABEE と対応した新しい制度の制定が望ましい。

6. まとめ

材料分野における学術・科学・技術動向(技術革新)の変化、産業競争力および技術競争力の現状の調査を行い、材料分野が今後対応すべき社会的課題や目標を明確にして、産業技術戦略を提言することを目的として調査を始めた。

(財)金属系材料研究開発センターに、大学、企業、国研の代表者からなる材料国家産業技術戦略検討委員会およびWG1(戦略の体制整備)、WG2(重点化技術の抽出)、WG3(ネットワーク)、WG4(産学官の連携強化)の4つのワーキンググループを設置して、通商産業省関連各課室からの参加もいただき調査・検討を行った。

調査結果の概要は以下の通り。

○現在の材料産業は、わが国の基幹産業の一つであり、世界に最も通用する技術を有しているものの、近年になって、製造業全体に占める材料分野の出荷額、生産性や研究開発等の割合が低減してきており、産業競争力の低下が懸念される。

○技術革新を阻害している課題としては、①戦略の欠如(総花的な研究開発)、②産学官における研究開発の連携の希薄さ、③知的基盤(データベース等)の未整備、④国際標準化戦略の欠如、⑤知的所有権制度の不整合、⑥資源の乏しさ、⑦研究開発の競争と協調、⑧予算等制度上の制約が挙げられる。

○今後の材料産業の競争力強化に必要な基盤技術は、①資源・エネルギー効率を向上させる製造プロセス、②微細組織や原子レベルでの設計と評価技術、③高純度化と複合化の二極化、④機能性向上、⑤表面処理技術の向上、⑥コンピューター利用による新材料、製造技術の開発である。

○社会的要請・制約への対応としては、環境と調和した循環型経済社会、エネルギーの安定供給、高度情報化社会、および安全・安心な生活を送ることができる社会に資する材料技術が望まれる。

○2010年までに、材料産業が十分な研究開発を行い世界最高の材料技術革新を生み出させることを材料共通の認識とし、①材料技術戦略、②産学官の連携強化、③知的基盤の整備及び標準化戦略、④知的財産権改革、⑤資源戦略の5つの戦略(strategy)を推進することを提言した。

○具体的には、戦略の策定や国への提言とともに、材料産業技術ネットワーク化や産学官連携の強化を推進するための「材料産業技術戦略研究所(仮称)」の創設を提言した。また、国の公的資金を配分すべき重点技術の抽出を行った。

第 2 章 大学における材料科学技術動向調査

1. まえがき

科学技術は、20 世紀において飛躍的な進歩を遂げ、人類の生活に大きな変革をもたらすこととなった。科学技術の進歩が、日常生活の便利さ、快適さをもたらした人間生活を豊かにしていることは論を待たない事実である。しかし一方では、科学技術には負の側面があり、これを悪用するかあるいは無知のまま誤用すれば、人類を破滅に導きかねないとの危惧もある。21 世紀を迎えるにあたって、われわれは科学技術の有効利用を通じて人類の幸福な未来、あるべき姿は何かを真剣に考えていかねばならない。科学技術と産業に関して言えば、限られたエネルギー資源の有効利用、従来の石油、石炭などに代わる新しいエネルギー資源の確保、エネルギー多消費などによる環境破壊を防止し、持続可能な産業社会をいかにして構築していくかが問われている。

このような状況の下では、既存の産業あるいは新規産業に利用される素材や材料の利用に関しても抜本的な変革を求められる可能性がある。資源小国であるわが国としては、金属をはじめとする材料あるいは素材資源の確保や備蓄と産業基盤材料の有効利用に関する長期的な国家戦略が不可欠である。特に、今後は資源生産性の概念が重要である。資源生産性の向上は単に LCA や資源節約ではなく、量に変わって質を市場価値とする市場改革であり、新市場を開拓するものである。また、米国等に対抗し得るフロンティア産業技術創成に繋がる極めて重要なものである。

このような観点に立って、金属材料等の材料を取り巻く社会的現況や将来の材料国家戦略について時間をかけて討議し、その成果としてまとめられたものが本報告書である。ここでは、社会における材料の役割と資源素材としての重要性を討議し、材料科学が挑戦すべき課題についてまとめている。

2. 将来の社会と材料

資源・環境問題が顕在化して社会の価値観が変りつつある。経済的な発展がもたらしたこれらの課題は私達に、豊かさとは何か、人間社会の幸福とは何か、という基本的な疑問を投げかけている。私達の社会を動かしている市場経済は現在貨幣価値のあるもののみを対象とし、社会の持続性を前提とする価値創造の場ではない。21世紀にかけて持続可能な社会を構築するために産業は社会および生態系と共生し生物循環、資源循環を可能にする Industrial Ecology を確立しなくてはならない。

さて材料は、家電や自動車等の耐久消費財および橋梁、高速道路、ドーム球場、集合住宅等の耐久財による利便性、効率性、快適性、安全性、そして資産性を構築し、経済的な豊かさを社会に提供してきた。一方、その製造過程、使用過程、再資源化、廃棄過程においては多量のエネルギーと鉱物資源を消費し、環境に負荷を与える二律背反の性格を有している。したがって、材料問題をどう扱うかということは資源・環境問題の根幹に関わる問題であり、社会の価値観、国の将来計画のみならず地球社会の存続に繋がる根深さを持っている。多様な材料の中でも、金属系材料は使われる量の多さ、社会、産業インフラなど社会の骨格を形成する重要な役割、デバイスなど情報化社会構築での重要な役割、家電や自動車など多様な応用先、そして再資源化が容易であることなど、将来の資源循環型社会を描く上で中核的な位置を占めている。このため、金属材料に関する戦略は、市場経済に依存した短期的判断に任せず、長期的な国家戦略を明確にしておくことが国家的な立場上極めて重要である。

本章では、材料と市場経済、産業や社会との関わりを概括し、将来社会における価値創造の基軸としての「資源生産性」という考え方と国の「長期資源戦略」の必要性について述べ、材料の果たす役割を明らかにしたい。

2.1 産業のグローバル変化とその対応

市場経済のグローバル化が広がり、組み立て加工産業、情報産業を中心に海外シフトが進む中で、国内市場においても海外企業との国際的な連携が始まり、その潮流は製造業のみならず金融、保険、投資分野にまで及ぼうとしている。また、日本経済が長期にわたって停滞している間に地球規模の資源・環境問題が国際的に重要なテーマになり、持続可能な発展に向けて量から質への革新が競争の激しいグローバル市場で急速に進んでいる。そして、最近の情報技術の進歩と普及は、先進諸国では労働集約型の産業から知識集約型

産業へのシフトを早め、正確で迅速な情報収集と判断が新たな市場を創り始めた。

こうした変化を受けて、携帯電話、パソコン、自動車などのフロー型耐久消費財を製造する産業は、市場の変化にすばやく対応し成長している。それに比較し、鉄鋼などの基礎素材、化学プラントなどの産業インフラ、高速道路、橋梁、建設などの社会インフラに関わっている重厚長大型の産業は、国内経済の停滞、発展途上国の不況、投資回収にかかる長い時間、製品の低付加価値と規模の経済への依存体質などのため対応遅れが目立ち、抜本的な構造改革、経営改革を余儀なくされている。

以上の状況を踏まえ、国家的な立場での施策と材料の関り合いを端的に述べる。

- ① 短期的には日本産業の経済基盤を見直し、技術基盤として材料の新機能開発やそのシステム化、デバイス、家電製品、自動車など耐久消費財の国際市場競争力を高める支援システムを整備し、安定した経済成長を長目指すことが重要であり、特に環境問題に関しては規制の緩和（場合によっては強化）、補助手段や税制優遇措置など、関連する社会システムを見直し、産業が国際市場の変化にタイミング良く対応出来、かつ生み出した工業製品が国際的に評価される仕組みを具体化することが急務である。
- ② 長期的には持続可能な社会構築に貢献できるよう、資源利用において長期戦略を明確にすると共に、材料利用に関連した社会システムの思い切った改革を進め、新市場（ベンチャー起業）の創生を促し、優れた産業技術を育成することである。言い換えれば、エネルギー創出、資源循環、情報・コミュニケーション技術、医療技術、産業・社会インフラの安全と長期信頼性向上等、未来を支える広い分野において材料の新機能開発とシステム設計が重要である。

例えば、本四連絡橋の100年設計においては約2キロメートルの世界最長スパンを可能にした超高張力鋼線の開発と防食技術、湿度センサーとワイヤーストランド全域に亘る乾燥空気循環システムが寿命設計の鍵を握っている。このような技術開発が結果的に資源確保とその利用を効率化し、環境負荷の低い製品で国際市場競争力を確保する戦略につながる。その意味で影響力の大きい金属系材料の長期戦略と基盤整備は喫緊の課題である。

①について言えば市場経済（内部経済）によって動く領域であり、基本的に民間企業主導の対応とならざるを得ないが、税制や金融など、市場経済に関連したシステムをグローバル標準という視点から徹底的に見直し、産業の国際競争力を支援する必要が有る。しかし、②の領域は今日の貨幣価値が明確でない（外部経済）ため、市場経済の仕組みが役立たない。したがって国の政策が極めて重要な役割を果たすことになる。産業の基盤

を形成する材料産業技術戦略においては、①における今日的支援を進めつつ、②の長期的な戦略を検討しなくてはならない。

2.2 資本生産性から資源生産性へのシフト

資源・環境問題の源流は資本(労働 とも言える)生産性を向上させることが正であり全てであるとし、そのための技術開発を徹底して進め、規模の市場経済を生み出したことに端を発している。

結果的に大量の資源(鉱物、エネルギー資源)を必要とし、市場を拡大することによって利潤を生む仕組みが資源・環境問題を誘発した。それは、利潤を生む現生産・消費システムに限界がみえてきたことを意味する。したがって技術開発の基本的な拠り所を資本生産性から、資源生産性の向上(資源の効率的な使い方、生かし方)にシフトさせ、その変化を支援する社会の仕組みを整備していくことが求められる。それが持続可能な社会を構築する必要条件だからである。

自動車の軽量化や、液晶使用による情報機器の省エネ等、利潤を上げられる範囲ではあるが、資源生産性向上の兆しは現われはじめており、21世紀が「資源・環境問題」を中心に動く世紀であるとする理由がここにある[1]。本文では再生不可能なエネルギー資源と鉱物資源を対象として資源生産性を述べている。しかし、再生可能な生物資源、情報資源、そして人的資源についても適用できる考え方である。

資源に恵まれない日本は、手段として科学技術創造立国でいくしかないといわれているが、それだけでは資源保有国の方策と大差がない。将来、資源が逼迫してくるという認識は冷戦後の米国にもあるのである。日本が頼みとする資源の多くが発展途上国にあることを考えると、何を基軸に科学技術の開発を進めるのかという独自の着眼点を持たなくてはならない。

2.3 「資源生産性」と長期戦略の位置づけ

「資源生産性」には、(A)効率的な使い方に関する要素と(B)安定供給に関する要素があり、特に後者については静的蓄積と循環を利用した動的蓄積がある。どちらにしても①長期的な資源政策とそのリスクマネジメント、特に②資源問題の上流側(探査、採取、精練、還元等は付加価値が低く市場原理が適切に働かない領域)に関する政策、③再資源化技術開発および資源循環システムの整備、④資源選択、材料設計、生産、加工、評価、

製品機能設計、利用(使用)システム、解体、廃棄(再資源化)という材料のライフサイクルに関する効率的で包括的なシステム技術開発と、そのマネジメント、⑤関連データベースの構築と整備、⑥知的財産化戦略、⑦人材育成と異分野交流の場の提供等、多様な構成要素がある。その意味で「資源生産性」は多くの分野に関わる包含性と、時間・空間軸における広域性を持ち、国の長期戦略と不可分の関係に有る。

「資源生産性」として特に重要な要素は、上述したように材料のライフサイクルを、製品の市場価値、社会的な意味との関わりから把握し、総合的な判断を下すことであり、その任に堪える人材育成である。長期戦略実施に当たっては、現在独立行政法人化が検討されている大学や国立研究所の力を結集し、国のミッション型研究として推進するのが最も適切である。

日本の産業構造は、最終製品に向かって縦系列に構成されてきたため、材料技術の実態も材料の使い方についての情報もそこから外に開示されることは少なかった。資源生産性の考え方は、これらのデータや情報をデジタル化し、製品のライフサイクル効率を高める方向に利用することでもある。ここに情報技術(IT)による材料の社会的な意味と役割を明確にする機会が訪れようとしている。

2.4 材料の生産側問題と利用側問題

材料の製造過程での資源・環境問題は、生産部門で直接把握して対応できる生産側問題として扱えるが、製品を含めたライフサイクルの問題を把握するためには、材料フローに沿って顧客や最終的な顧客である社会の協力を得る必要がある。これは材料の利用側問題ということができる。資源生産性を考える上で、このような材料の両面性を整理することが極めて大切になってくる。幸い、利用側について日本では過去40年に亘り、産業資材の動きが産業連関表として量的に記録されており、データベースという意味では先進諸国のなかでは例外的に優位に立っている。

まず、使用側問題がどのようなものかについて、具体例を以下に述べる。社会インフラ、産業インフラ等のストック型製品に使われる構造材料と、日常生活を潤している耐久消費財等のフロー型製品に使われる機能材料(一部構造材料も含まれる)に分けて考察することにより製品に組み込まれた材料課題が見えるようになる。例えば、材料(資源)のフローをみると、時間的に停滞するのは製品として使用される期間つまり製品の寿命であることに気付く。ここで製品の生涯エネルギーを解析してみると、パソコン、自動車、建造物の何れもこの期間の消費が全体の7～9割、材料の生産や製造過程の消費が1～2

割を占め（製品よるが）、組み立て過程の消費は比較的少ない事が判明する [2]。ここでは詳細は省くが、ストック型の構造物では初期投資を 2、3 割増やすことによって寿命を 2 倍以上に伸ばし、生涯消費エネルギーと生涯コストを大幅に削減出来る。課題はそれを可能にする材料、設計やメンテナンスシステムであり、それらに応分の対価を払うことである。

実際の製品寿命の多くは相対的な経済価値で決められ、製品の機能そのものの劣化ではない。ちなみに最近の乗用車の平均寿命は 9.6 年であり、車検制度の影響が類推される。では材料の付加価値は製品として何処に生きたのであろうか。ここに資源生産性と製品の経済性との相克があり、市場における価値が何によって決まるか、材料関係者が価値創造に何処まで関わっているのかが問われる。

生産側問題としては、資源から基礎素材を生産する過程と、それを基に製品からの要求に応えようとする材料設計・生産・加工という過程がある。前者では、省エネ・省資源プロセス技術、環境負荷低減技術、再資源化技術の開発が研究のフロンティアである。後者では、解析機器とデバイス技術の急速な進歩によってよりミクロな世界から物性を発現させる仕組みに集中している感があるが、ミクロ物性を製品の機能としていかに再現し周辺のシステムに馴染ませるか、構造体や製品の生涯性能、機能にどのように生かせるか、分野を超して LCA 的に考え適切な選択をしているのか、資源再生は可能か、社会的な責任を果たしているか等、多様な領域にフロンティアが広がってきている。

製品開発においては多様な技術群が階層を成しているが、材料という階層が価値創造の底辺にあっては資源生産性を論じることが難しい。問題は何処に資源問題や材料問題があるか明確にすることである。材料開発に絞っても電子、原子、ミクロ、マクロという階層構造が存在しているが、研究者や技術者は自分の得意な階層で安住しがちである。人間の叡智はその階層を繋ぐことにあったのは物理学者ファインマンであるが、材料に関わる研究者や技術者がそれらの階層壁を超して製品の縦系列に入り込み、価値創造に関われるか、あるいは材料循環の横系列の何処まで責任を持って関われるかが問われている。それが付加価値創造の原点だからである。

2.5 産官学連携と起業育成の課題等

日本の産官学連携は、組織の立場が個人の立場に優先し様々な制約を生んできた。これからは目標達成の考え方を共有し、損得を客観的に確認して相互に連携のメリットを享受できるように見直さなくてはならない。これまで個人と組織の関わり合い、伝統と進歩のバランスについて曖昧な理解のまま市場経済の「見えざる神の手」が優先してきた。その遺伝子が新しい挑戦の壁になっている。これは、ベンチャー育成の壁と同根である。異分野交流においては相互の文化的な要素を重視しなくてはならない。

予算という手段と国という旗振りがあっても、戦後の産官学連携が必ずしも有機的に働かなかったのは何故かという歴史的な反芻と、新世紀にかける技術革新の強い志と判断力が無くては資源生産性を高いめる連携を生み出す事は難しい。多様性と自由と責任を骨格とする米国と対等に戦うには、日本は根源的な風土課題を先送りしてはならない。ただし、材料は複合化されて使われるため、金属材料のみで議論を括ってはならない。セラミックスや化学系材料と目標と戦略を共有し、強調と競争の中で連携を組まねばならない。ベンチャーが生まれる場もそのような出会いからである。

材料分野は、技術階層の下位にあるという認識があって、価値創造に参画したい若者にとって夢が描きにくいという印象を与えてきた。これは、われわれ材料関係者が反省しなくてはならない点である。本章で述べてきたように分野、技術、制度や慣習の壁を越した連携と協調が、材料の社会的な価値を高め、持続性にある社会構築に貢献できる機会を生むのである。従来存在していた様々な社会的な拘束や習慣の紐が緩んだ時、新しい技術、文化や文明が生まれることは歴史が教える処である。

参考文献：

- [1] 「資源の未来」― 21 世紀の日本の資源に関する調査報告、科学技術庁
資源調査会編、1999、大蔵省印刷局。
- [2] 「工業製品のライフサイクル価値」、EAJ、74,日本工学アカデミー、1998

3. 挑戦すべき課題

3.1 社会に必要な材料技術

わが国の産業を取り巻く国際環境はますます厳しさを増すとともに、産業自体も大きな転換期を迎えている。すなわち、国際環境については先進工業国との先端技術分野における競争力の低下、後進工業国の激しい追い上げによる既存型産業の衰退あるいは後退という国際競争力の問題がある。また内部の問題としては、企業の構造改革や産業廃棄物をはじめとする環境、エネルギー問題等がある。さらに、産業およびその製品による地球環境への影響も大きな問題である。

これらによって、産業界は再構築に迫られ、直接的には企業倒産・雇用不安等が生じ、安心できる生活、豊かな生活や高度な知的・文化的社会等にかげりが生じている。一方、資源の乏しいわが国は引き続き科学技術によって立国しなければならない。科学技術立国の基本はこれを支える材料にあり、材料およびこれを利用した高度なデバイスの発展なしには、わが国の将来はあり得ない。

材料に関連する産業技術は多岐にわたるが、ここでは、特に重要な地球環境、エネルギー、高度知的情報化、安全で安心できる社会を実現するための課題あるいは問題点、技術限界とその打破について述べ、21世紀のわが国を持続的に発展させるための戦略を考える。これらについては技術面での取り組み以前に、経済的に成り立つことおよび社会的に受容されることが必須で、税制、補助金、法規制等の対策もあわせて取られる必要がある。

3.1.1 環境と調和した循環型経済社会の構築

地球環境問題は、大量生産／大量消費（使い捨て）とグローバル化（汚染の拡散）の両面で考える必要があるが、全ての工業製品や食品ゴミ等が関連するきわめて社会システムのおよび政治的な問題である。CO₂問題は、放っておくと地球の温暖化が避けられないというところにまで来ている。また多くの資源について可採限界が見えてきており、一方では埋め立て場所も限界に近づいている。すなわち人類の活動が宇宙船地球号の収容力の限度にまで達しており、誰かが何かをしたら、従来なら無関係で済んだところにまで影響が出るような時代になってきているということである。これらのことを考えると、環境と調和した循環型経済社会の構築は、持続的発展を維持するためには必須のものになってきている。

循環型社会の構築にあたっては、これまで行われてきたリサイクルのみに頼るのではなく、リデュース（省資源化、長寿命化、リペアによる廃棄物の発生抑制）、リユース（再使用）、リサイクル（再資源化）の 3R が必要とされている。これらの実行には一般市民の意識改革も必要であるが、実際の推進については製造業のスタート点である素材産業に大きな期待がかけられる。

循環型社会の構築のためにとりわけ重要なのが、リサイクルを考慮した産業システムの構築と廃棄物極小化社会の実現である。LCA 的評価とともに、トータルコストを算定する LCC (Life Cycle Cost) 的観点も重要である。

①循環型産業システムの構築

それぞれの産業において取り組まれているが、個別の産業だけで取り組むのでは限界があり、異業種間で共同研究をして産業間リンクを構築する可能性を追求する必要がある。副生物、廃棄物等の発生量や安全性データについての情報を交換し、業種を超えて全体としての有効活用をはかっていく必要がある。地域的な交流から全国的なネットワークが構築されると、持続型資源循環の推進が期待される。

②リサイクル

製品設計の段階から産業システムとしてリユース、リサイクルへの配慮が求められるようになる（インバースマニュファクチャリング）。これまでのような素材の複合化による機能の発現の追求だけでなく、合金元素を用いず、基本成分だけで強度や耐食性を実現することもリサイクルの容易化の観点から重要になり、ユニマテリアル化の方向に行く可能性もある。その場合には接合技術、接合材料の開発が必要になろう。また、分離が容易な表面処理技術等のニーズも出てこよう。再資源化のための回収、分別技術が重要になってくるが、精錬において高いポテンシャルを有する素材産業の果たすべき役割は大きい。

一方では不純物が混ざっても使いこなせるような材料技術も重要になる。

また、有害物質の排除は必須であり、Cd や Pb 等を使わない代替技術の開発も求められる。リサイクルプロセスにおける有害物質の発生抑制も必須であり、排ガスのダイオキシン対策等も必要になってくる。

③廃棄物極小化社会の実現

副生物、廃棄物の 100 % 資源化を目指す必要があり、特に未利用スラグの用材化と新規需要開拓が重要である。また、汚泥、ダストの固化等による減容技術も必要である。

④その他

省資源化：従来から取り組まれてきたところであるが、材料の高強度化、合金元素を使

わないでより高い強度を得ること、等の技術開発への要請がさらに高まることになる。

長寿命化：耐食性の向上、表面処理技術の他、防食技術、さらには寿命診断技術等も重要な課題である。また長寿命化のための補修技術も重要であるが、補修が容易な素材への切り替えという方向も出てこよう。

回収システム：リユースのためには、素材自体の長寿命化以外にも、解体分離が容易な構造設計、また回収部品の品質保証技術等も必要になってくる。

3.1.2 エネルギー安定供給、地球環境保全および経済成長(3E)の実現

課題としては、エネルギー資源の有効活用、代替エネルギー、CO₂削減、有害物質対応、プロセス技術の開発等があげられる。

①エネルギー資源の有効活用

発生段階と消費段階：両面でエネルギー効率の改善を考える必要がある。発生段階の効率改善では、超々臨界圧発電、コジェネや、燃料電池等の高効率分散型発電システムの開発が必要である。これらに関しては、材料開発がキーとなっているものも多い。また消費段階の効率改善では、トランス、モーターのエネルギーロスを減らす超低鉄損電磁鋼板の性能高度化等があげられる。また、超高強度鋼板の採用による自動車の軽量化なども広い意味でのエネルギー効率の改善に寄与する。

②代替エネルギー

重要な課題であり、メタノール利用技術、石炭液化技術、深海のメタン回収技術等、取り組むべき課題は多いが、経済的に成り立つものでなければならない。また、CO₂削減の観点ではLNG等への燃料転換もあるが、原子力発電の拡大も重要な課題であり、信頼性のある、長寿命原子炉用材料の開発が重要である。その他にも、新エネルギーとして太陽光発電や風力発電が広まりつつあるが、特に太陽電池用半導体の高効率化および安価化が求められている。

③CO₂固定化技術

CO₂削減と対になる技術としてCO₂固定化技術がある。植林等による固定化は既に行われているところであるが、ずっと固定能が高いものとして、海水を鉄鋼スラグで富栄養化して藻類によるCO₂固定ということも注目される技術である。また、液化して深海に固定するという技術や、ガスを直接深海水中に固溶させるという技術も注目される。

④水素エネルギー

製造～貯蔵～利用技術の開発のみならず、経済性の成立する供給システムの構築が必要であり、WE-NET プロジェクトとして取り組まれている。水素エネルギーが自動車用に使われるようになると社会的な広がり大きい。水素エンジン型、燃料電池型やハイブリッド型等のいろいろな開発が行われているが、水素貯蔵合金や燃料電池等、材料開発が重要な位置を占めている。

⑤有害物質

Cd や Pb などを使わない代替技術の開発が必要になってくる。Pb を使わないハンダや快削鋼の開発が求められる。ダイオキシン、PCB 等の有害物質の分解処理技術も必要である。また、有害性のデータベースの充実も必要である。

⑥プロセス技術

鉄鋼業をはじめとする素材産業は、製造工程において大量のエネルギーを消費しており、一層の省エネにつとめねばならない。これまで利用が進んでいない中低温排熱の回収は重要な課題である。また、熱エネルギーのカスケード利用も重要な課題であり、製鉄所の中低温排熱を都市の民生用に使うようなことも検討しなければならない。

例えば、熱延工程における無酸化加熱や酸洗省略等の革新的省プロセスが確立できれば、高効率生産プロセスとして競争力があり、かつ地球に優しいものとなる。また、地球に優しいという点では、設備の長寿命化も大事な技術であり、そのための設備診断技術等も大事になってくる。

3.1.3 経済社会の新生の基盤となる高度情報化社会の実現

1980 年代後半からその兆候が見られはじめた高度情報社会は、好むと好まざるとに拘わらず 21 世紀には全世界がその中に埋まり、一般生活から東西・南北の勢力均衡まで支配することになる。基本となる情報伝達量の大きさを表す接頭語は、現在の M (メガ = 10^6) から G (ギガ = 10^9) あるいは T (テラ = 10^{12}) へと移行する。これらの量を扱えるデバイスは n (ナノ = 10^{-9}) スケールとなり、時間単位も p (ピコ = 10^{-12}) あるいは f (フェムト = 10^{-15}) となり、すべてが超・極の世界になる。

これら超・極の世界は材料の開発無くして実現することは不可能であるが、従来技術の延長では解決できない領域に来ており、新たな発想とステップアップ技術の開発が必須である。

①通信装置

無線・有線共に高速・大容量通信の要求に応えるために、素子の高性能化が図られねばならない。超高速周波帯域でも十分に利得の取れる、半導体に替る酸化物変調素子の開発を初め、端末の小型化に伴う受動部品の小形高性能化、低コスト化が進められることで新たなメディア文化が開花し高度情報社会の一層の進化が起る。

②信号処理装置

情報の伝達に動画像が多用されることが予想されるが、高速大容量の信号を処理できなければならない。対応する CPU(中央演算装置)の技術開発項目は、回路の配線幅および材料である。この開発項目の主眼には単にクロックの高速化だけでなく、省エネルギーの思想も強く反映されるべきである《注1》。

③記憶装置

記憶方式は多様化するが、共通していえることは大容量化と高速信号入出力である。光学系では青あるいは紫外のような短波長の発光・受光素子と光学材料、磁気系では高性能なヘッド材料と媒体の開発がキーとなる。半導体メモリは微細化に伴い各セルの容量が取れなくなるため、新たな誘電体材料を開発せねばならない。

④画像表示装置

大画面および高精細がターゲットとなり、さらにフラット化と省エネルギー化が必須項目となる。CRT、PDP や FED のような自発光型のディスプレイでは高効率の蛍光体が必要であり、FED ではエミッターの性能向上も重要な開発要素である。LCD のような非発光型のディスプレイでは低抵抗の透明導電膜が望まれる。

《注1》わが国におけるパソコンの個人普及率(15才以上を対象)が60%を超えるとすると、パソコンが消費するエネルギーは(オフィスでの使用も含める)年間50億kWh程度となり、10%の効率化を達成すれば5億kWh(石油換算約15万トン)の省エネルギーが図られる。

3.1.4 安全・安心で質の高い生活を送ることができる社会の形成

少子・高齢化が顕著となる 21 世紀のわが国においては、医療・介護への関わりが日常の生活の中でも大きな比重を占めることになる。この際の負担軽減をハードウェアでカバーすることは重要なことである。

また、安全・安心で質の高い生活を実現するためには、快適な都市空間の構築や安全・安心かつ長寿命な住宅の実現を含めた震災・火災等に強い環境の実現が必須である。また、交通網の快適化、利便化も重要である。

①医療・介護

診断装置：高速・高精度化には発生器および検出器の性能向上が必須であり、あらたな圧電材料(超音波発振子)、シンチレータ材料（X線検出器）の探索とその成形技術の確立が望まれる。

治療装置：非切開あるいは微小切開による外科手術が、病気の態様によっては可能になってきている。高性能な圧電材料およびマイクロマシン用材料の開発でさらに大きな進展が期待できる。

生体材料：高齢化とともに近未来人の運動不足は深刻なものとなり、骨材のインプラントによる補填・補強は多用されることが予想される。現用のものでは信頼性・耐久性に問題があり、その解決が必要である。

②快適な都市空間の構築

建材等において、既にいくつかの景観材料が開発されているが、道路用の通水性コンクリートや植物の育つコンクリート等、快適な都市空間を形成する、生活に優しい素材の開発が要請されよう。

③安全・快適な長寿命住宅の実現

安全な生活空間の確保の例としては、次世代型住宅モデルの展開があげられる。住宅の寿命は、構造材の寿命がくるよりも、家族構成が変化していく中で間取りが合わなくなっ立て替えになる場合が多い。長期にわたって使っていくためには家屋内の間取りを任意に変えられるようリフォーマブル住宅が必要である。この考え方を進めた集合住宅が S / I(Skelton / Infill)住宅であり、スケルトンは耐久性のあるものにし、インフィルだけそっくり取り替えられる構造にして、100 年以上の寿命を目指すものである。所有権をどうするか等、法制面で解決すべき点があるが、技術面でも実際にやってみて問題点を洗い出すための実証試験が必要である。

一方、環境負荷対策としては、例えば雨水を集めてトイレ洗浄用の中水に利用する等の手法の適用が求められる。

④防災体制の強化

災害時に家の中が一番安全というのが望ましく、そのためには防災街・住宅作りが重要なコンセプトである。まず第一は、不燃性・耐震災住宅で、上記のS/I住宅はこれに該当し、都市再開発に採用されると延焼防止の防火壁にもなる。またスチールハウスもこれに該当し、その急速な展開が望まれる。

また、S/I住宅でなくとも一般住宅にも既に鉄鋼材料が多く使われ、長寿命、リフォームبلを売り物にしているが、これらも含め当然耐火性、耐震性が要求される。耐火性については、火災の際にも一定時間内は耐えられるような耐火鋼が開発されている。また、耐震性に対しては衝撃吸収能を確保するために、低降伏比の高靱性鋼材や降伏比が一定の範囲内に入る鋼材が開発されている。さらに、低降伏点鋼材を使用した衝撃吸収部材も開発されている。

また、ライフラインとしての貯水槽等も、災害時を想定すると鋼構造のものの方が優れている。

生活空間施策としては、安全な生活空間の確保とともに、防災体制の強化も必要である。その一つとして、海域を利用した浮体式防災基地の全国展開が考えられる。すでにメガフロートの実証試験が実施され、空港としての利用可能性の検証が行われつつあるが、さらに災害発生時の救済基地として使うことも考えられる。そのためには外洋へ曳航可能なタイプの開発が必要になる。その他にもいろいろな利用の可能性が考えられ、実証試験が待たれるところである。メガフロートの実現の要素技術としては、海水中での接合技術の開発、メンテナンスフリーな防食技術ないし耐食鋼材の開発が必要である。

⑤交通網の充実

快適に生活する上で交通の利便性は絶対必要であるが、第2東海道新幹線用にリニアモーターカーが実験されており、採用が決定すると磁気特性、軽量化等、材料面での開発課題は多い。

わが国では高速道路網の建設が不十分で、特に都市部の交通渋滞はひどいため、自動車専用道路の建設が緊急課題となっている。既存道路を利用して立体的に建設する検討が進んでおり、省スペースおよびロングスパン床板を実現するため高強度鋼材が要求されており、ヤング率が高い鋼材が開発できると優れた剛性が実現されるといわれている。

3.2 学術・研究

3.2.1 金属・材料系科学技術推進の為の着眼点と方向性

わが国の資源・エネルギーの乏しさは、わが国が科学技術によって新たな未来社会を構築しなければならないことを示唆している。この科学技術立国の具現化のためには、科学技術の基盤と位置付けられる金属・材料系科学技術を強力に推進する必要がある。特に、新たな産業の創出に繋がる新材料開発はシーズ研究として必須であり、これからの基礎研究、応用研究特に、探索型研究であるベンチャー的研究が果たす役割は重大である。

新しい時代に向けて科学技術が果たすべき役割は、新しい時代に相応しい経済社会基盤および生活社会基盤の構築に寄与しなければならない。具体的に要請されている課題としては、エネルギー資源の不足と新エネルギー、地球規模の公害防止と環境保全、資源集約と廃棄物の共生循環（リサイクル）、安全・安心である社会生活、豊かで潤いをもたらす為の情報の蓄積・選択・利用と情報量の高密度化とものづくり、人類の活動圏の拡大、人間の文化の深化など数多い。

これらの要請を具現化するための技術課題、材料関連課題、材料機能・技術、達成目標を添付表1、表2にまとめて示す。

すなわち、これらの要請に答えるために、科学技術が目指す方向性は、研究・技術の質的な向上である。新材料・新現象発見、既存材料の高機能化、環境保全を前提とした材料・技術開発、軽薄短小より極超省信化《注2》を目指した材料・科学技術研究、既存の材料機能の複合化・システム化、材料の標準化などの方向性を持ち対象となるベンチャー的材料開発を推進する。

《注2》「極」とは、理論値に限りなく近づける技術：極真空、極純度、極微粒子等。

「超」とは、理論上の限界はないが、現在の性能を大幅に超えたもの：超高温、超高速、超強度、超弾性、超塑性等。

「省」とは、省資源、省エネルギーに関する技術：簡素化、小型化、代替化、自然化、サイクル化の技術を含む。

「信」とは、信頼性や安全性に関する技術：物理的信頼性、安全・健康や平和も含む。

3.2.2 戦略的に研究開発を行うべき金属・材料系科学技術課題

現代社会を支える基盤としての金属系材料は、限られた資源とエネルギーを有効利用しながら、効率的な生産技術により生産されることが求められている。さらにリサイクル性の向上等、環境負荷軽減も必須である。

①構造材料：合金系、金属間化合物、セラミックス

→高強度、長寿命、超耐熱、広耐環境、超塑性、超弾性等

構造材料は強度と靱性が求められるが、一般的に強度が増加すると靱性は低下する。高強度化と高靱性を同時に実現する方策として組織の超微細化があり、超塑性が付加できる等、今後の挑戦が期待される。また、構造材料は長時間様々な使用条件に晒されると、経年変化が生じ最終的には破壊・破損に至る。画期的な長寿命強度材料が開発されることが期待される。

超高温から極低温までの温度環境、海水や地下熱水等の腐食環境、中性子等の放射線環境等の様々な苛酷な環境下での使用条件に耐えうる次世代構造材料の開発が不可欠である。

②電子材料：磁性材料（ハード、ソフト、記録材料等）

光関連材料（光ファイバー、センサ、光学素子等）

半導体、導電材料・超伝導材料（金属、酸化物）

誘電体（圧電体、強誘電体メモリ、センサ等）

→高機能化、高密度化等

急速に技術革新がなされている情報・通信技術を支える電子機能材料の開発は、今後のわが国の国際競争力を左右する。半導体、磁性体において素子を微細化し、より高密度に集積化した高密度記録材料が求められている。また、不揮発メモリ素子として強誘電体薄膜も重要である。

大容量、高速情報伝達用光学関連素子もさらなる高機能化が要求されている、

超伝導は、エネルギーの効率的利用等に関して、革命的な変化をもたらす可能性があり、世界各国が開発研究を強力に推進しており、より高温で超伝導を発生する新しい合金や酸化物などの探索と応用展開等を推進させる必要がある。

③生体材料：金属系、セラミックス、高分子

→生体との親和性、安全性、耐久性

高齢化社会を迎えて、生体材料の要請水準からすると極めて遅れているのが現状である。

今後、生体との親和性、安全性、耐久性を兼ね備えた金属、セラミックス、高分子などの生体材料の開発を推進する必要がある。

④エネルギー材料：熱電、電池（水素吸蔵合金、電極材料、太陽電池等）

→高効率、高容量

エネルギー変換材料は、環境重視の 21 世紀には増々重要度が増加するだろう。二次電池の小型化、高容量化のための正極と負極用材料の開発、燃料電池を低温でも作動させるための固体電解質の開発、高変換効率の太陽電池やペルチェ素子の開発等、強力に推進する必要がある。

⑤新機能材料探索：ナノスコピックスケール構造制御、カーボン材料（フラーレン、ナノチューブ、ダイヤモンド、活性炭炭素等）

→新機能

長期的な新機能材料の探索プログラムを設定する必要がある。この種の研究は研究者個々の発想を基礎にするが、組織的にかつ持続的に遂行する必要がある。そのためには、例えばナノスコピックスケール構造制御により、新材料機能を探索するプログラムがある。また、フラーレン、ナノチューブ、ナノファイバー等は、元素添加等によって種々の特異な構造と構造に対応した特異な物性と機能を発現する。系統的な研究は着手されたばかりであり、今後、種々の構造を創製してその物性を調査し、新しい機能材料としての可能性を検討する。

⑥材料システム化：インテリジェント材料 →アダプティブ材料へ

インテリジェント材料は、知的機能の一部を材料の一部に付加するものであり、外的条件の変化に自ら対応する機能を有する。センサー機能、アクチュエーター機能や知的機能をシステム化して、その応用範囲は広く、今後の展開が期待される。人間社会や自然を害する場合等に環境負荷を低減するよう自らのデバイスを制御したり、環境調和を考慮したアダプティブ材料も期待される。

⑦資源循環型材料使用技術の研究：資源効率、エネルギー効率、環境負荷、ニーズ対応等の視点から

材料に対する社会的ニーズが極めて多様化し、広い視野に立った総合的なニーズが求められている。特に、材料ニーズに対応し使用するに際し、資源生産性、エネルギー効率、環境負荷や資源循環等を考慮した資源循環型材料使用技術の研究が必要である。

⑧新材料・既存材料の標準化：超伝導体、カーボン材料、金属間化合物等

新物質や新材料が合成・発見された場合に、それらの特性評価について研究者や研究場所により、その結果に大きな差異を生じる場合が少なくない。そこで、それらの特性を評価する方法の標準化が必要となる。また、既存材料であっても用途が広範囲であったり、実用例が少ない場合に、材料の信頼性の確保のために標準化が必要である。

⑨材料環境負荷アセスメントシステム：エコマテリアル概念の具体化

エコマテリアルには、材料の特性を保持しながら環境負荷を低減する環境調和材料と環境浄化のための材料がある。それらの概念を具体的に定着させるためには、材料や製品のライフスタイル全体を通じて、環境負荷を評価できる環境ライフサイクルアセスメント方法を確立する必要がある。

3.2.3 金属・材料系科学技術課題を具現化するための方策

全科学技術の基盤である材料科学技術で革新的な成果を創出するためには、材料理論、プロセス理論・技術、極限環境の簡易利用、加工技術、構造制御技術、解析評価技術等の材料開発の要素技術をいっそう高度化しなくてはならない。特に、最近の計算科学の急速な発展を積極的に導入し、より効率的な材料開発研究を推進する必要がある。

①計算科学の充実

急速な発展を示す計算科学による材料研究は、新材料開発において指針を与える可能性があり、省資源・省力につながる効率的な研究を推進するためにも今後、戦略的に増強すべき領域である。特に、

- ・第1原理、分子動力学、モンテカルロ計算等の粒子系の計算
- ・熱力学的、動力学的、流体の動力学的アプローチ等、熱、流体等の関連現象のシュミレーション、
- ・有限要素法、マイクロメカニックス、破壊等の連続体の材料学計算
- ・原子レベルの動きを可視化し、マクロレベル、例えば組織等の発達と物性の関係等の解析等の材料設計の総合的研究

等の分野において一層の発展が期待される。

②極限環境の応用（超高压、無重力、超強磁場、超高真空、超高温、超急冷等）

物質は極限的な条件下で特異な物性、機能を初めて発現させる可能性があり、各種の極限環境を利用した新材料探索研究の展開が期待される。磁場、真空、圧力、温度、重力等の超常化した環境場において、

- ・原子、分子レベルの量子状態に起因する物性を顕在化させ、材料レベルで新機能として発現させる。
- ・極限を反応場として材料作製に適用し、通常と異なる物性や新機能を発現させること等、今後極限環境を積極的に活用できるよう整備する必要がある。

③新機能プロセス（気相・液相・固相状態からの作製新技術、薄膜作製技術、微細化技術）

最適化された材料の組成、組織、純度等を具現化するためにはプロセス技術の高度化と総合化が重要である。材料作製には、気相、液相、固相等種々の物質状態間の変化や化学反応等がプロセスとして利用されている。超急冷凝固によってアモルファス合金が発見されたように、新プロセスが新物質探索につながる可能性がある。特に、超高真空下における MBE、MOCVD、イオンクラスタービーム、励起ビームによる原子流や分子流の制御方法の発展が際立っている。これらのプロセス技術によって化合物半導体、高品質単結晶などが作製されており、今後は種々のプロセスを複合化することにより、新物質が創出される可能性が期待できる。

④サブナノ加工・融合技術の推進（STM による原子レベルでの加工、複合技術）

半導体、磁性体において素子を微細化し、より高密度に集積化するためには、100nm 以下レベルの制御が可能な電子線、イオン線、X 線リソグラフ技術等、超微細加工技術が重要である。例えば、単一電子トンネル効果デバイス、量子井戸構造によるレーザー発振、超格子構造による巨大磁気抵抗ヘッドデバイス、原子マニピュレーションによるスーパーアトムの実現等、ナノ構造と量子効果による新機能を有するデバイスや物質の開発が期待される。

⑤解析・分析技術の高度化（原子レベルでの観察・分析）

材料における原子 1 個 1 個の実像を観察できる TEM、STM の解像度の向上は驚嘆すべきものがある。一層の高分解能化を進める必要がある。電子プローブによる分析技術には AES、ESCA、RHEED 等があり、1 原子層以下の分析が可能になっている。イオンプローブによる分析技術は SIMS、PIXE、ERDA、RBS チャンネリング等があり、ppb レベルの超感度分析や原子配列情報を与える。今後は電子、光、イオン等の励起プローブを高分解能化し、原子、分子レベルの原子構造および電子構造を多面的に解析する技術開発が期待される。

⑥材料の標準化の為のデータベースの確立

新物質や新材料が合成・発見された場合に、それらの特性評価について研究者や研究場
所により、その結果に大きな差異を生じる場合が少なくない。そこで、それらの特性を
評価する方法の標準化が必要となる。また、既存材料であっても用途が広範囲であった
り、実用例が少ない場合に、材料の信頼性の確保のために標準化が必要である。

⑦材料環境負荷アセスメントシステム機関の設立（エコマテリアル概念の具現化）

エコマテリアルには、材料の特性を保持しながら、環境負荷を低減する環境調和材料と
環境浄化のための材料がある。それらの概念を具体的に定着させるためには、材料や製
品のライフサイクル全体を通じての環境負荷を評価できる環境ライフサイクル評価方法
を確立する必要がある。また、資源生産性を向上し循環型社会を構築するには、信頼で
きる LCA データの蓄積と長期的戦略が必要である。

3.3 人材育成

3.3.1 求められる人材とその育成・教育

前述のように、材料に関する科学技術は、今後の日本経済のみならず、国際的な循環型社会を構築するためにも極めて重要であり、まずこれを担う人材の育成が必要である。特に、材料問題を製品のライフサイクルを通し、holistic に捉え、総合的判断を下せる人材の育成を急がねばならない。

また、フロー型の機能材料では、IC やセンサー、マイクロマシンなど単に既存の材料を組み合わせるのではなく、ミクロからマクロまでの融合化、あるいは材料とシステムの融合化が進んでいる。ストック型の構造材料でもこのような傾向が見られる。従って、これらに対応できる人材が必要である。

さらに、科学技術の細分化により、材料知識のない利用者や市民が増えている。特に、資源生産性の向上と循環型社会の構築のためには材料専門家と材料利用者のみならず市民との対話、政策者やその他種々の専門家との連携が必要であり、非専門家に事実を分かりやすく説明できる人材が求められている。

以上のようなことから、今後、以下のような多様な人材の育成・教育が望まれる。

- ・物性からプロセス、リサイクルや法律的知識等幅広い専門的知識を持ち、これらの知識を統合化して社会の要求を解決するための構想力や判断力を持った人材
- ・複雑な問題に対して課題を設定し、創造的に解決する能力を持った人材
- ・材料のみならず、システムまで開発できる人材
- ・材料物性、プロセス、利用など複数分野の専門知識と応用力を持った人材
- ・材料利用者や社会に対して材料に関する情報を分かりやすく説明できる人材

これらの人材には、専門的知識・能力以外に、自分が関係する科学技術の社会・自然におよぼす影響を予測し、責任を持って、自律的に行動できる倫理的能力と自立性が要求される。また、価値観さえ変わりつつある社会では、人間の福祉・幸福とは一体何なのかについて考える能力も問われる。さらに、応用力のある幅広い知識を獲得することは容易でなく、生涯に渡る自己学習能力と他の専門家と協調して活躍できるチーム活動能力が必須である。また、材料系以外の学生や社会人への教育も重要である。

なお、材料系のみならず、最近の高等教育修了者には、自分の頭で論理的・批判的に考える能力や日本語能力、英語力、コミュニケーション能力などが不足しているとの意見が多く、これらの訓練も大学等に要求されている。

3.3.2 従来の大学における材料教育

高等教育では世界で最も優れているといわれている米国では、材料に関する教育は、Department of Materials Science and Engineering あるいは Department of Metallurgy and Materials Science 等（これらを〈MSE〉と言う）の他に、物理系や化学系、機械系、電子系の学科等でも行われている。しかし、材料技術者教育は MSE が主となって育成している。この MSE は、50 年近い昔に開始された Materials Science のエンジニアリング版である。すなわち約 30 年前に、材料ごとではなく、原理、現象あるいは研究手段中心の捕らえ方、学際性と他分野への侵略、未来への焦点という 3 つの特徴を持った材料科学科が大学院に設立され（飯井政博、日本金属学会報、11(1972),470, M.C.Flemings and R.W.Cahn, Acta mater.48(2000),371）、その後、伝統的冶金学科等を巻き込み学部教育をも行うようになったものである。このような学科の教員は、当初は冶金学、物理学、化学工学、高分子やセラミックス等の専門家であり、学生も物理、冶金、化学等、種々の学部学科の修了者であった。さらに約 40 年前には、Materials Research Laboratory が大学に設置され（1985 年には 14 の大学に設置）、学際的研究・教育を推進してきている。

MSE では、特定の材料ではなく、全ての材料に共通する構造(structure)、プロセス(processing)、特性(properties)および性能(performance)の 4 要素を主として教育している。performance には、材料の利用や経済性が含まれているが、実態としては必ずしも十分な教育にはなっていない印象がある（なお、英国の材料教育は米国と似ており、ドイツ等では一般により細分化された教育がなされている。しかし、米国的な方向に向かっているようだ）。

このような米国の教育により、どの程度優れた材料技術者が育成されたかは不明であるが、少なくとも MIT 等の一流大学の学生は日本の学生より幅広い知識を持っているという意見の人は少なくない。ただし、このような米国の制度も最近はある種の行き詰まりを示しているように思われる。これは、① Materials Science がある程度確立し、また、冷戦構造の消失による戦略的研究の減少等により前述の 3 つの特徴が失われつつあること、②米国の教育と言えども、本当に役に立つ幅広い知識を従来の講義・演習という教育方法で学生が獲得するのは容易ではない等による。このため、全材料の総合的教育をあきらめ、金属工学的教育・研究に専念する大学、バイオあるいは医用材料を積極的に研究・教育する大学、材料系学科に在籍のまま電子工学を学べる等、柔軟な制度とする大学など多様化の方向にあるようだ。さらに、遠隔地教育による社会人の材料に関する教育も盛んになりつつある。ただし、高分子材料に関する教育・研究は米国あるいは欧州でもかなり独立性を保っており、他の材料教育との融合化は進んでいない。また、資源生産性向上を目指した人材育成に関する取り組みもまだほとんどなされていない。

一方、日本でも、形の上ではこのような米国の動きに数十年遅れで追随している。す

なわち、冶金系の学科は、金属材料、金属工学へ、さらに材料工学科あるいはマテリアル科学科等に変更した大学が多い。そして、カリキュラムとしては金属材料のみならず、セラミック材料、有機材料およびバイオ材等も取り扱うようになりつつあるが、単にこれらに関する講義があるといった程度の大学が多い。また、依然として教員は冶金あるいは金属関係の専門家が多い。また、大学院学生、特に博士後期学生は少なく、しかも他学科を修了した学生は少ない。例えば、米国では MSE の修了者数は、学士 1100 名、修士 600 名、博士 450 名程度で、日本の博士に比較して約 3 倍と多い（日本では約 150 名）。

また多くの大学において、材料系は学生にとっては人気がなく、優秀な学生を集めるのに苦慮している。ただし、卒業生の就職先は、1970 年代までは鉄鋼・金属産業が多かったが、最近では、電気・電子産業関係や自動車・重工業・機械関係の方が多く、分野が広がっている。

なお、化学系学科でも最近では材料教育を行っているが有機材料に特化しており、種々の材料の性質、加工、利用について教育している学科は極めて少ない。

3.3.3 問題点

以上のような、日本の教育には以下のような問題点がある。

- ・教員から学生への一方的で定性的講義が多く、演習が少ない。このため、応用力のある基礎知識が少ない他、定量的取り扱いが弱い学生が多い。例えば、熱力学や状態図をも十分に理解していない、弾塑性論の単位を取っていても梁等の材料力学的計算ができないといった材料系学生が少なくない。
- ・種々の材料に関する講義はあるが、単なる講義が多い。このため、本当の材料を知らない材料系卒業生が多い。プロセスに関しても同様である。
- ・学生は学部卒論、修士課程と同一研究室に所属することが多く、同一課題での研究主体の教育を受けるため、専門が狭い。また、これまでに学習してきた材料と異なる材料に関する研究に取り組む積極性が欠けている。
- ・前述の人間の安全・福祉・幸福とは何かについて考える能力、自分の頭で論理的・批判的に考え、自立して行動できる能力、科学技術の社会・自然に及ぼす影響を予測し、責任を感じる倫理能力、コミュニケーション能力、生涯に渡り自己学習する能力等に関する訓練が極めて少ない。また、課題設定能力や応用力、創造性、構想力等の訓練、実習や設計などの実技訓練も不足している。
- ・材料系学科出身の教員が多く、学際的教育が容易でない。

この他、材料系の学生に限ったことではないが、以下のような、指摘がある：

- ・知的好奇心、抽象力、想像力が低下している。
未知の概念や事柄に出会う「驚き」や、言葉により紡ぎだされた抽象的・象徴的な世界に触れる「喜び」を感じる力が弱く、抽象化能力や想像力が不足している。
- ・自立していない。精神的に子供で、学習意欲が少ない。
- ・読書習慣が不足している。
- ・「なぜか」をじっくり考える能力、論理的思考力が不足している。　また我慢ができず、すぐ諦める。
- ・即戦力にならない。大学院修士卒でも、昔の学部卒と変わらない。
- ・リーダーシップ力が不足している。

上記のうち、材料系に特有の問題は下記のような材料関係の事情によるところが少なくない。

- ・材料に関連する科学技術は非常に広い範囲に渡っているため、広い知識を与えようとして、知識の詰め込み教育になり勝ちである。
- ・最終利用時の問題、環境・資源問題が想像・予想しにくく、物性のみ、あるいは加工のみといった狭い観点からの研究に陥りやすく、研究のための研究が増大し勝ちである。このため、教育としても有効でない場合がある。
- ・材料開発的研究には長期間かかり、地道な試料作製・試験が要求されることが多い。このため、学生が安価な労働力として利用される危険性があり、研究と教育の両立が容易でない。
- ・材料が技術階層の下位にあるため、目立ちにくく、また意識されず、興味を引きにくい。そのため優秀な人材が集まりにくい。

なお、学生の流動性が少ない理由は日本全体の問題であり、学生に研究室を移動するインセンティブが少ないこと、博士後期学生が少なく修士あるいは学部学生まで研究要員として組み込まれていること、所属学科の変更が容易でない等の理由によるものである。

また、New Nikkei Materials のアンケート調査（1991 年 11 月 25 日号）によると、回答者の 80 % 以上が新しい材料工学体系を望んでいる。そして、回答者の 55 % が高分子・金属・無機の垣根を取り除くこと、40 % が機械工学、電子工学など周辺工学との融合、29 % が原材料から廃棄物処理まで総合的に扱う工学が必要としている。しかし、これに十分対応した材料工学系の学科は未だにほとんどない。要するに日本では少なくとも結果的には単なる名称変更ですましてきたというのが実態に近い。

この原因としては以下が考えられる。

- ・鉄鋼業等が健在で、材料工学の内容を米国ほど変化させる必要性を大学が感じていなかった。
- ・最近では是正されつつあるが、教員人事に対して学科内あるいは学内の人材を優先する傾向があり、教員の大学間あるいは学科間移動が少なかった。
- ・自分の専門を積極的に変える研究者が少ない。
- ・米国の Materials Research Laboratory のような学際的研究・教育施設の設立がなかった。

いずれにしても、現状のままでは、循環型社会の構築に必要な人材の養成が困難であるばかりか、日本の国際競争力は大きく損なわれるであろう。

3.3.4 今後の対応と方向

以上のような問題点を克服し、社会が要求する人材、特に資源生産性を高め、循環型社会の構築に要求される人材を養成するには、大学、社会の意識改革、施設の整備および制度改革が必要である。

特に、前述の幅広い知識と人間力を持った人材をいかに養成するのか、また、本当に応用できる知識を持った創造的人材をいかにして養成するかが問題である。このためには、本当の知識は、具体的経験、深い観察・思考、抽象的概念化、積極的体験（追体験）というサイクルを繰り返す必要があるということをまず認識する必要がある（経験的学習理論）。単に多くの講義を聞かせてもあまり意味がない。実物に触れ、実験や観察、演習等を組み合わせた、能動的学習が必要である。また、4年間の学部教育のみで幅広い教育を実施するのは時間的に非常に困難であり、大学院教育や継続教育が重要である。さらに、良い人材を集めるための、社会へのアピール、資源生産性向上と関連した社会教育等が望まれる。

従って、以下のような対応が今後望まれる。

- ・教育内容を厳選し、複数分野の専門家により、複数の分野での着実な基礎知識、応用力、自己学習能力を身につけさせる。これができれば、その後の自己学習と他分野での経験で幅広い知識と能力を身に付けることができるはずである。

上記の教育では、知識の詰め込み的教育（教員中心の教育）から、経験的学習理論に従った学生の能動的学習（学生中心の学習）に変更する。特に、チームで課題を解決する過程で学習する PBL (Project-Based Learning) の導入が望まれる（後述の「大学教育改革」参照）。

- ・一つの学科で、幅広い分野に対応することは容易ではない。 学生が、種々の分野を渡り歩き、その分野の知識と応用力、創造性を学ぶことができるようなシステムが必要である。 また、学部教育、大学院教育、企業内教育等を通しての計画的学習意識を持たせることも必要である。
- ・初等中等教育、大学低学年教育、一般社会人教育での資源生産性と材料に関する教育を支援し、社会における認識を深める。
- ・学生の就職に際して、社会が教育機関での教育成果を評価し、効果的な改革を援助する。

4. 戦 略

21 世紀のわが国は、科学技術を最も重要な手段として、環境に調和した持続可能な資源循環型社会を作り上げて行かなければならない。 その場合、資源に恵まれないわが国には、2.において述べた資源生産性という立場への技術シフトと長期的な資源戦略が求められる。 あらゆる技術開発はこの資源戦略を踏まえたものでなければならない。 金属系材料は比較的容易に再資源化可能であるところから長期的な資源戦略の確立が特に重要である。

一方、多くの国家において研究開発のレベルが向上した結果、21 世紀における国際的な技術開発競争がさらに熾烈なものとなることは必至である。 その備えとして、わが国は、1990 年代に科学技術基本法および基本計画を制定し、「科学技術創造立国」のための環境を整備した。「科学技術創造立国」を実現するには、研究開発およびその基盤となる教育に、時代の進展に即した戦略をうち立てねばならない。 このためには、現在進められている社会の構造改革に呼応する形で、研究開発に関する産・学・官の役割分担を再構築し、大学・国研で行われる研究開発が産業の発展に効率的に結びつく体制をビルトインすることが求められる。 材料分野においても、新たな産業技術を産み出すための国家レベルの材料研究開発システムと人材養成への支援が必要である。

4.1 資源生産性コンセプトの確立

資源の効率的な使い方、生かし方を追求する資源生産性は、

- ・ 海外からの長期的な資源確保のリスク
- ・ 付加価値が低く市場原理が適切に働かない資源問題の上流側（探査、採取、精練、還元等）に関する政策
- ・ 長期的な再資源化および資源循環計画
- ・ 材料の生産、加工、評価、機能設計、利用（使用）システム、解体、廃棄（再資源化）の効率的で包括的な技術開発とマネジメント
- ・ 関連データベースの構築
- ・ 知的財産化戦略
- ・ 人材の育成と異分野交流場の提供

等、多様な要素により決まる。 しかし資源生産性として特に重要な要素は、材料問題を製品のライフサイクルを通して holistic に捉え、総合的な判断を下すシステムの確立とその任に堪える人材育成である。 コンセプトの実行に当たっては、独立行政法人化が予定

されている国立研究所や大学の力を結集し、国のミッション型研究として推進することが適切である。

4.2 国の研究開発基盤の再構築

研究開発を担う大学、付置研、国研・独法、企業の役割と関係を明確にし、結果的に産業の発展に対して合理的な投資が行われるようにすべきである。このために、大学と国研・独立行政法人で行われた研究開発を発展させ、産業に反映させるシステムを確立する。

(1) 大学の役割

科学技術力は国家の基礎体力であり、教育がこれを養成し、維持・発展させる。大学は基本的には教育機関であり、科学技術を担う人材育成が使命である。一方、研究開発における大学の基本的役割は、新たな学問領域の開拓と科学技術の裾野育成・形成にある。そこでは個別的・探索的課題が中心となり、相対的には、現状技術の単純な延長線上にない、革新的な技術の創製を目指した研究開発が多く行われる。大学院・付置研究所の役割も研究者の戦略的育成という視点から定義されるべきである。

大学は人材育成とともに、時代を導く文化文明論を提示する役割を担う。科学技術に関する社会コンセンサスの形成、科学技術リスクの評価に主導的立場を発揮し、先見的な技術文明指針を提示して行くことが求められる。

(2) 国立研究機関・独立行政法人の役割

国立研究機関あるいは独立行政法人は、基本的には特定ミッションの実施機関である。従って、それぞれのミッションが要求する領域において、長期的・組織的に対応する必要がある課題を担当する。人的、物的集中投資が可能な場であるところから、とくに、産業界にとって投資リスクの大きい、大型、先進分野における研究開発が求められる。

(3) 産・学・官の連携

大学と国研・独法の役割に関する以上の定義に基づき、持続可能な資源循環型社会の実現というコンテキストの中で、産業発展のための条件設定、人材育成、科学技術の裾野形成、集中投資すべき重要領域の決定、産業界への技術移転等に関する研究開発の国家戦略が、産・学・官の合同協議によって策定されなければならない。

4.3 採るべき方向

以上の議論から、以下の問題に関する戦略の確立が必要である。

①長期資源戦略の確立

資源の効率的な使い方、生かし方を追求する資源生産性に基づき、資源確保、資源処理、再資源化および資源循環などに関する長期的戦略を確立する。これに基づいて材料の生産、加工、評価、機能設計、利用(使用)システム、解体および廃棄(再資源化)の効率的で包括的な技術開発を行うとともに、関連データベースの構築を図る。

一方、わが国の産業構造の現状は、最終製品に関する縦系列構造となっているため、これまで材料技術や材料の使い方についての情報が、系列外に開示されることは少なかった。この状況を資源生産性の考え方に拠って変革し、情報技術(IT)を通してこれらのデータや情報をデジタル化し、製品のライフサイクル効率を高める方向に利用する。

以上の長期資源戦略を実現して行くために、製品のライフサイクルを通して材料問題を検討し、総合的な判断を下すシステムの確立を図る必要がある。

②教育：人材育成システムの確立

大学教育において研究者、技術者を合目的的に育成し、国研・独法あるいは産業界に提供して行くシステムを確立する必要がある。すなわち、学部教育と大学院・付置研における教育を、長期資源戦略を含む科学技術創造立国の基本戦略に整合させる必要がある。科学技術のトレンド追求と技術継承のバランスなども重要な問題である。

その前提として、大学の教員を、その役割を定義した上で育成するシステムが必要である。これは、大学の活性化および(国全体で見たときの)効率的な人材活用という視点からも重要で、産・官に開かれた形、すなわち、競争原理の導入と人事交流を実現しなければならない。

③研究開発：産・学・官連携システムの確立

大学院・付置研究所では、時代を担う優れたレベルの研究者、技術者を育てるとともに、概ね、新たな産業創出に結びつく研究に力点を置いた個別的・探索的研究を実施する。これに必要な教官人材は広く産・学・官から求める。

国立研究所・独立行政法人においては、国家の産業発展にとって重要と思われる重要領域に関して長期的・組織的研究を実施する。また、大学において萌芽した新技術を戦略的に発展させる研究を実施する場となる。さらに、国立研究所・独立行政法人の重要な役割は、産・学へのインターフェースとなることである。重要科学技術に関する産・学・官を巻き込んだ国家規模での取り組みに中心的役割を果たすべきである。

このような研究開発システムが確立されるためには、研究支援の体制を強化するとともに、技術移転、人事、年金等、基本的な問題に関する制度整備が必要である。

④政策チャンネルの確立

○総合科学技術会議

研究現場と政府の科学技術施策立案部局の間にチャンネルを確立することが必要である。今回の行革により、内閣府の総合科学技術会議が最高レベルの施策決定機関となるが、この下部組織として物質材料系の専門委員会を設置するべきである。材料の研究は全ての科学技術の基盤であり、真に革新的な技術は新しい材料の存在なくして成立し得ないことから、総合科学技術会議所掌における基本構成分野となるべきである。

○関連省庁

施策を実際に担当する通商産業省や文部省等関係省庁の関係部署との連絡・協議チャンネルを確保することが重要である。また、施策準備段階への研究現場意志の反映という観点からは、科学技術施策調査検討専門部署である科学政策研究所（現在、科学技術庁にある）ともその機能をさらに充実させた上で、大学、国立研究所・独立行政法人との人事交流等を考慮するべきである。

⑤学会の再構築

学会の使命は、学問の発展と産業の発展に対する先導的貢献および生涯学習への寄与であるが、これまでは学問の発展への寄与が重要視されがちで、学問発表の場としての機能に偏っている面がある。今後は、産業創出への貢献を重視し、開かれた学会として産業界を重視した活動を展開すべきである。その際、大学、国立研究所・独立行政法人は、人材的サポート、学問的レベルの維持向上、客観性・中立性の保証のための役割を積極的に果たすべきである。

このような（科学技術創造立国に整合する）学会の再構築には、学会活動の企画段階における産業界の主導的参加が重要である。また、学会活動に企業活動（exposition、研修など）を積極的に取り込み、研究成果を社会に還元して行く窓口の役割を果たすべきである。

なお、産業界の人材が上記のような活動に参加するためには、生涯教育とも絡めて個人が自由に活動できるという社会的コンセンサスが必要である。

4.4 提 言

以上の戦略を達成するために、以下の提言を行う。

①国家としてコア組織を設置し、資源生産性向上と資源・材料循環を推進すること

エネルギーを含む資源生産性の向上は、資源小国の日本にとって不可欠である。また、情報、バイオ等と異なり、資源生産性に関しては現在でも日本は米国をはるかに凌駕している。この強みをさらに発展させることにより、資源と環境の重要性が顕著になる将来、国際的な主導権を握ることができ世界に貢献できる。また、資源生産性の向上の取り組みの過程で、新たな科学技術のフロンティア、新たな市場、新たな価値観が創出されるはずである。

コア組織が必要な理由は以下の通りである。

(a)「資源生産性」は、下記のような多くの分野に関わっており、何らかの国家的コア組織が必要である。

- ・ 長期的な資源政策とそのリスクマネジメント、特に資源問題の上流側（探査、採取、精練、還元等は付加価値が低く市場原理が適切に働かない領域）に関する政策
- ・ 再資源化技術開発および資源循環システムの整備
- ・ 資源選択、材料設計、生産、加工、評価、製品機能設計、利用（使用）システム、解体、廃棄（再資源化）という材料のライフサイクルに関する効率的で包括的なシステム技術開発と、そのマネジメント
- ・ 関連データベースの構築と整備
- ・ 知的財産化戦略
- ・ 人材の育成と異分野交流場の提供等

(b) まず、資源生産性に関連する事実の把握、すなわち、関連データベースの構築と整備が必要であるが、これには、資源から材料製造、最終製品製造、その利用といった材料の全フローにかかわる関係者の協力が必要であり、国家的組織で対応すべきである。

(c)「資源生産性」として特に重要な要素は、材料のライフサイクルを、製品の市場価値、社会的な意味との関わりから把握し、総合的な判断を下すことであり、その任に堪える人材育成である。このような人材の育成は大学等での教育のみでは不可能で、本コア組織等での活動と計画的な他組織への異動等を通じて育成する必要がある、独立行政法人等の公的機関で行うべきである。

なお、資源生産性に関連した従来の研究・調査として鉄鋼材料のLCAデータ作成等があるが、これだけでは実際の製品に適用し、資源生産性を向上することはできない。使用する最適な材料・加工法は製品毎に異なるからである。従って、基礎データベースの構築だけでも、個々の製品の使用状況と寿命、廃棄、商品を構成している部品・材料の製造工程、材料資源等膨大な調査・研究が必要であり、その手法さえまだ確立していない。従来の国研などだけでは対応できるものではなく、大学、国研、民間企業などの間で広範な連携が必要である。

また、資源生産性向上には利用者の意識や税制、法的規制等もからむため、技術者や科学者だけあるいは経済学者や法律家だけでは、その長期的戦略さえ立てられないし、ましてその推進、普及はできない。ただし、主導的役割は、資源から製品まで見通すことが可能な物質材料分野の人材が担うべきである。

コア組織の機能（添付図1，2参照）には以下の機能が望まれる。ただし、必ずしも下記全ての機能をコア組織自体が持つ必要はなく、他の組織とネットワークを組んで実施してもよい。しかし、その活動状況や成果等の情報はコア組織で把握し、必要に応じたリーダーシップを取る必要がある。

（a）資源生産性データベースの構築

個々の建造物や商品等に使用されている材料の資源採取から循環、廃棄にいたるまでのライフサイクルにおける、エネルギー消費、コストなどの現状を正確に把握し、データベースを構築する。また、その評価方法の開発と知識ベース化、わが国のマテリアルフロー・ストックなどの基礎情報の整備等を含む。単に材料として整理するのではなく、その加工方法、保全方法等個別情報も必要で、この手法自体の研究が急がれる。

（b）環境プロファイルデータベースの構築

原料、製造方法、処理条件等の相違による環境影響や廃棄処理等による物質の安定性変化等、材料の環境プロファイルの実データ取得および評価方法の開発と知識データベース化を行う。

（c）資源生産性向上のための長期的資源戦略（資源確保を含む）の構築と推進、評価

資源小国として、また世界の一国として、資源生産性の向上、資源循環社会の構築を市場経済を支えながら実現する戦略を、正確な情報を基に構築し、推進、評価する。このために以下の業務を行う。

○資源確保戦略の構築：

資源確保の手段として、長期的な再資源化、資源循環、資源国との連携、静的資源備蓄のみならず循環過程での動的資源備蓄も対象とする。なお、付加価値が低く市場原理が適切に働かない資源問題の上流側（探査、採取、精練、還元等）に関する政策も重要である。

○資源生産性向上戦略の構築：

材料の生産、加工、評価、機能設計、利用（使用）システム、解体、廃棄（再資源化）の全てで資源生産性を向上させるための技術、利用、材料選択方法、普及等の戦略的なガイドラインの提示、ガイドライン策定のための資源・材料確保、代替材料開発、プロセス・イノベーション課題の抽出と先導的・総合的なプロジェクト研究の提案。

○戦略実現の推進と評価：

戦略を推進させると共に、研究・開発の評価方法の開発と評価を行う。現在、膨大な科学技術資金が消費されつつあるが、その客観的評価が極めて不十分で、資金が浪費されている可能性が大きい。材料関連の客観的評価を推進する必要がある。

(d) 材料利用および上記関連情報の社会への提供と普及啓蒙、人材育成

資源生産性を向上させる材料の選択や開発において考慮すべき背景に対する情報や評価を、材料のユーザーや材料開発者、材料技術者が容易に行えるための環境を提供する。また、ユーザーの材料選択における自由度を飛躍的に拡大するために、従来の材料の特性や属性の間にあった材料領域毎の垣根を取り払い、最適の材料を最適の用途に結びつけるユーザー・インターフェースを確立する。このために、構造用金属、軽量金属、無機材料、複合材料、プラスチック等にわたる材料データの統合利用システムを構築する。さらに、製品の概念設計、詳細設計の段階におけるユーザーへの材料情報の受け渡しを円滑にする情報技術の開発を促進する。その際、たたら製鉄や文化財などの過去の技術も新しい視点からの再評価が可能となるようにデータ蓄積を進める。

○材料データベース統合利用システムの構築

諸所に異なる観点から構築、管理されている材料ファクトデータベース、非ファクトデータベース構築の支援、それらの統合的利用を可能とするための共通プラットフォームなどのシステムの整備、およびそれに必要なソフトウェアなどの技術基盤を確立する。

○材料－製品設計インターフェースの構築

材料情報データと製品設計者の情報の円滑な受け渡しのため、ユーザーが必要とする概念設計や、詳細設計段階での材料選択を支援するインターフェースを構築する。

○材料適用ケーススタディ

循環型指向材料など短期的なコスト要請面から実用化開発リスクの大きい素材に関して、製品として適用したケースの検証実験を行い、設計に必要な情報を提供する。

○ユーザー教育

材料の選択と利用においてユーザーが必要とする基礎知識を提供する。

また、ソフトウエア・ベンチャービジネス支援、特殊材料ベンチャービジネス支援、材料保守・点検ベンチャービジネス支援、などの企業化支援を行う。

②国家として、材料技術に関する幅広い専門知識と視野を持った人材育成を推進すること
循環型社会を構築するため幅広い専門知識と広い視野、創造性、科学技術倫理感を持った人材、特に材料問題を製品のライフサイクルを通し、holistic に捉え、総合的判断を下せる人材の育成を急がねばならない。

(a) 大学教育改革

○教育方法のパラダイム・シフトを推進する。

- ・知識を教授するという教育から、専門家を育成するという方向に変更する。
- ・PBL等、経験的学習理論を取り入れた能動的学習法をより採用する。
- ・個人学習のみならず、グループによる協調学習を取り入れる。
- ・材料の面白さを分からせる教育法を工夫する
- ・全て教えなければならぬという考えを捨てる

○人材流動化の促進

幅広い材料の分野をカバーするには、教員、研究者、学生の移動が不可欠である。このためには、評価方法、研究資金、奨学金等の工夫による流動化促進の仕組みが必要である。また、研究者が、年齢、経験、専門分野、研究開発のフェーズ等に関して、産・学・官の最も適切な場において研究活動が実施できるように、産学官の人事交流をスムーズに実現する人材活用システムを確立する必要がある。

○統合的材料工学教育の推進

資源循環、資源生産性という新しい観点から材料教育を見直す必要がある。このための新たな教育体系の構築が望まれる。また、教育法に関する研究が望まれる。

(b) 教育環境の整備

科学技術基本法により膨大な国費が研究開発に注ぎ込まれた。しかし、この膨大な資金のほとんどは研究設備の購入と維持等に使用され、教育環境の整備は遅々として進んでいない。多くの大学の教育用施設としては講義室と学生実験室程度しかなく、しかも老朽化しており、国際的水準以下である。現状の大学等での上記のような教育改革、特に、PBL や実物に触れる教育、統合的材料工学教育を実施することは極めて困難である。早急に教育施設を整備すべきである。

また、教育は結局のところ少人数教育でなければならないが、定員削減でますます教育を支援するスタッフが減っている。TA 制度も待遇が悪く、また規制が多いため、米国のような効果を上げていない。この制度の改善やボランティアの活用、企業との教育における連携等のための費用が必要である。

さらに、循環型社会を構築する幅広い専門と視野の人材養成には、博士後期学生数の増加も必要であり、博士後期学生数を増やすための経済的援助を増やすため、研究費に人件費を含めるなどの対応が必要である。

(c) 社会人への材料教育

環境、資源の問題は材料に深く関わっている。環境、資源問題と共に、材料に関する教育も含ませるべきである。このために大学や企業からの協力も必要である。

○初等・中等教育での材料教育支援

○大学一般教育での材料教育の充実

大学でも材料系以外の学生に、一般教育として材料の重要性を資源循環や資源生産性と関連付けて教育すべきである。

○一般社会人および継続教育

一般社会人あるいは材料のユーザーでさえ、材料の知識が不足している。特に中小企業、ベンチャー企業では材料まで手が回らないことが多い。これらに対して、学協会、大学、前述の推進機構等での対応が必要である。

③総合科学技術会議における材料政策チャンネルを確立すること

研究現場と政府の科学技術施策立案部局の間にチャンネルを確立することが必要である。このため総合科学技術会議の下部組織として物質材料系の専門委員会を設置すべきである。材料の研究は全ての科学技術の基盤であり、真に革新的な技術は新しい材料の存在なくして成立し得ないことから、総合科学技術会議所掌における基本構成分野となるべきである。

5. あとがき

以上、材料の科学技術と人材育成に関連した将来課題とその戦略についてまとめ、以下の提言を行った。

- 国家として、コア組織を設置し、資源生産性向上と資源・材料循環を推進すること。
- 国家として、材料技術に関する幅広い専門知識と視野を持った人材育成を推進すること、このための大学教育改革、人材流動化、統合的材料工学教育、教育環境の整備、社会人への材料教育等を推進すること。
- 総合科学技術会議における材料政策チャンネルを確立すること。

従来と異なる新しい視点は、エネルギーを含む資源生産性の向上の重要性である。今後、循環型社会を構築して行く上で、資源生産性の向上が不可欠であるが、資本生産性の向上とは相反する場合が多く、国家的にかつ長期的・戦略的に取り扱わねばならない。無資源国家として、国家的戦略が立てられることを強く望むものである。

なお、本報告書は、新エネルギー・産業技術総合開発機構より、平成11年度長期エネルギー技術戦略等に関する調査「産業技術戦略策定基盤調査(分野別技術戦略<材料技術分野>)」の委託を受けた財団法人金属系材料研究開発センターからの依頼により、社団法人日本金属学会を幹事学会として、学術会議第5部 物質創製工学研究連絡委員会金属材料専門委員会(佐久間健人委員長)に設けられた金属材料将来展望小委員会での討議、および関連学協会や協力者のご協力を得て作成されたものである。関係各位に厚くお礼申し上げます。

委員名簿

佐久間	健人	東京大学	大学院新領域創成科学研究科	教授
大中	逸雄	大阪大学	大学院工学研究科 知能・機能創成工学専攻	教授
岡田	益男	東北大学	大学院工学研究科 材料物性学専攻	教授
浅井	滋生	名古屋大学	大学院工学研究科 材料プロセス工学専攻	教授
井村	亮	日立製作所	中央研究所ストレージ研究部長	
加藤	理生	住友金属工業株式会社	東京本社 技術部 専任部長	
北田	正弘	東京芸術大学	大学院美術研究科	教授
佐野	利男	通商産業省	工業技術院 機械技術研究所 生産システム部長	
武下	拓夫	三菱マテリアル株式会社	総合研究所 フェロー	
竹田	博光	東芝リサーチコンサルティング株式会社	シニアフェロー	
中江	秀雄	早稲田大学	理工学部 物質開発工学科	教授
花田	修治	東北大学	金属材料研究所	教授
東	健司	大阪府立大学	大学院工学研究科物質系専攻	教授
村田	朋美	新日本製鐵株式会社	顧問	
和田	仁	科学技術庁	金属材料技術研究所 総合研究官	

協力者

相澤	龍彦	東京大学	大学院工学系研究科 金属工学専攻	教授
足立	裕彦	京都大学	大学院工学研究科 材料工学専攻	教授

添付表1 構造材料関連の重要研究課題と達成目標（その1）

人類的要請	技術課題	材料関連課題	材料機能・技術	達成目標
エネルギー ・環境	省エネルギー化	高効率火力発電およびエンジン部材用材料	高温強度・耐酸化性	1100℃大気中で137MPaの荷重に1000時間以上耐久性を有するNi基耐熱合金の開発
			高温強度・耐酸化性	耐熱軽量タービン翼材料の開発
			高温強度・耐酸化性	室温延性を有する新金属間化合物の開発
			自己修復性	自己修復性を有する高温ガスタービン用セラミックスの開発
			高温強度・耐酸化性	650℃、350気圧用耐熱鋼の開発
			高比強度・高温強度	1000℃で使用可能なTi-Al系金属間化合物の開発
			高温強度・耐酸化性	1500℃大気中で137MPaの荷重に1000時間以上耐久性を有するセラミックスの開発
			高温強度・耐酸化性	1800℃大気中で137MPaの荷重に1000時間以上耐久性を有する高融点超合金の開発
			高温強度・耐酸化性・耐摩耗性	加圧流動床炉用耐摩耗性材料の開発
			耐熱性・耐食性	LNG燃料電池複合発電用耐食材料の開発
		輸送・交通媒体用軽量材料	複合技術	金属基（アルミニウム、マグネシウム、チタン）複合材料の開発
			高比強度・高剛性	高強度アルミニウム・マグネシウム合金の開発
			高比強度	セラミック基複合材料の開発
			高強度技術	高強度鉄鋼材料の開発
		「その他」		
	新エネルギーシステム創出	核融合炉用材料	低放射化性	低放射化フェライト鋼、バナジウム合金の開発
			高信頼性	放射線下での高信頼性材料（クリープ、疲労）の開発
			セラミックス等新素材開発技術	核融合炉用セラミックス等新素材開発
			力学特性	力学特性への核変換ヘリウム効果
			低放射化性	低放射化SiC/SiC複合材料の開発
		自然エネルギー用材料	風力発電技術	風力発電用低摩擦動力伝達部材の開発
			太陽電池発熱技術	太陽電池発熱用耐候性大規模架台の開発

添付表1 構造材料関連の重要研究課題と達成目標（その2）

人類的要請	技術課題	材料関連課題	材料機能・技術	達成目標
エネルギー ・環境	環境保全	有害物質の無害化プロセス	フロン分解技術	耐ふっ化物材料の開発
			酸性雨対策技術	排煙脱硫装置用露点温度付近での耐硫酸腐食材料の開発
				高温水素／硫化水素の耐腐食材料の開発
			ダイオキシン対策技術	高温耐塩酸腐食材料の開発
	循環型システム構築 (LCA適合技術)	高リサイクル材料	高効率リサイクル性	単純組成・多様組織高性能材料の設計、開発
				省元素高性能材料の設計・開発
				リサイクルを考慮した複合材料の設計、開発
		低環境負荷プロセス	プロセス単純化技術 (低エネルギー プロセス技術)	電解法によらないアルミニウム金属精錬法の実用化技術の開発
				チタンの連続精錬プロセスの開発
				粉末バルク化のプロトタイピング技術の開発
				アズキャスト材ネット成形化技術の開発
				常温・常圧材料化プロセスの開発
				低エネルギー材料創製プロセスの開発
			加工容易性	難加工材料の高速(変形速度 10^{-3}s^{-1} 以上)超塑性化技術の開発
				難加工性セラミックスの超塑性加工温度(1300℃以下)低下技術の開発
				超快削材料の開発
				長寿命切削材料の開発
		核燃料リサイクルプロセス	核燃料リサイクル技術	核燃料リサイクルシステムの確立
			高レベル放射性廃棄物処理技術	高レベル放射性廃棄物の固化体の処分技術の確立
		廃棄物の低減プロセス	排ガス処理技術	高温燃焼用耐熱・耐食材料の開発
			スクラップ利用技術	車、家電廃棄物から重要金属(鉄、銅、アルミ等)を99%以上の純度で分離・回収する技術の開発
				自動車の部品、材料の90%のリサイクルの実現技術の開発
				FRP船等の安全で簡易な廃棄物処理技術の実用化
		ミニマムメンテナンス材料	耐候性	塗装不要の耐候性鋼の開発

添付表 1 構造材料関連の重要研究課題と達成目標（その3）

人類的要請	安全・安心	高度医療技術	材料関連課題	材料機能・技術	達成目標
			生体適合材料	耐食性	高耐食性生体用金属材料
			耐摩耗性	高耐久性生体適合型人工関節の開発	
	リスク対策	耐震建築用材料	高強度・高靱性	高強度高靱性鉄鋼材料の開発	
	技術（災害時	溶接部無害化技術	高速変形に強い鉄鋼材料の開発		
	安全対策）	耐震建築用材料	高強度・高靱性	高強度高靱性鉄鋼材料の開発	
		耐火建築用材料	高温強度・耐酸化性	耐火建築用高強度鉄鋼材料の開発	
		衝突安全用自動車材料	高強度・高靱性・高剛性	高衝撃吸収用高強度鉄鋼材料の開発	
		安全設計・評価	適正材料設計技術	データベース確立	
			適正材料評価技術	安全性評価技術の高度化	
	高信頼性維持	長寿命材料	高クリーブ強度	オーステナイト系耐熱鋼に匹敵する高強度フェライト系耐熱鋼の開発	
			高クリーブ強度	強い耐熱性と強度を併せ持った傾斜機能材料の開発	
			耐リラクセーション性	応力緩和の小さな高強度ボルト材の開発	
			耐食性	さびない鐵の開発	
			耐酸化性	650℃以上水蒸気中での耐酸化性に優れたフェライト系耐熱鋼の開発	
			高疲労強度	超長期疲労強度の優れた高強度鉄鋼材料の開発	
			耐腐食疲労性	SCC感受性の低い高強度材料の開発	
			高遅れ破壊強度	水素無害化高強度材料の開発	
			耐摩耗性	耐摩耗化技術の開発	
			耐照射損傷性	放射線下での高信頼性材料（クリーブ、疲労）の開発	
			自己修復性材料	疲労クラック自己修復材料の開発	
	寿命・余寿命評価	寿命予測技術	データベース確立	疲労亀裂の非破壊検査による残存寿命のin situ評価	
			加速試験法の確立	疲労機構・クリーブ機構、水素割れ機構、SCC機構、腐食機構の解明	
			事故解析技術	事故事例データベースの確立	
				シミュレーション技術の高度化	

添付表1 構造材料関連の重要研究課題と達成目標（その4）

人類的要請	技術課題	材料関連課題	材料機能・技術	達成目標
豊か・潤い (情報、ものづくり)	情報システム			
	の高機能化			
	新情報デバイスの創出			
	情報システム			
	の高信頼性化			
	生産システムの高度化	ロボット用材料	高強度・高剛性	慣性力低減のための軽量ロボット材料の開発
			低熱膨張・高剛性	高精度達成のための低熱膨張・高剛性合金の開発
		超微細化プロセス	ナノ粒子プロセス技術	ナノ粒子プロセッシングによるナノ構造体化の開発
			バルクアモルファス化技術	高性能バルクアモルファスの開発
			クラスタービーム高度利用技術	クラスタービーム堆積法によるナノ構造体の開発
			強加工プロセス技術	強加工プロセスの利用によるナノ構造体の開発
	教育・福祉	廃棄物の低減プロセス	スクラップ利用技術	リサイクル・リユースしやすいLCA的製品設計概念の普及
		介護機器用材料	高強度・高剛性	軽量化のための高比強度・高剛性材料の開発
活動圏 の拡大	巨大構造物	1 kmビル用材料	高温強度・高靱性	建築用耐火性高靱性鉄鋼材料の開発
		超長大橋・メガフロート・海上ロケット発射台用材料	高強度	中央スパン2.5 km以上吊り橋実現のための引張強度220キロのワイヤーケーブルの開発
			高強度・溶接性	余熱フリー100キロ級溶接構造鉄鋼材料の開発
			耐食性	錆びない鉄の開発（塗料による汚染からの脱却）
			耐食性	スプラッシュゾーン用の高耐食クラッド鋼材の開発
	宇宙工場	耐微小隕石・スペースデブリ用材料	軽量・高強度／高衝撃吸収性	宇宙大型構造物用次世代外装シールド用材料の開発
	海洋	深海潜水艇用材料		
	大深度地下			
	超高速輸送システム	リニアモーターカー用材料	非磁性・高比強度・高疲労強度	低サイクル疲労特性に優れた軽量非磁性極低温材料の開発
		スペースプレーン用材用	軽量・高強度／高衝撃吸収性	宇宙大型構造物用次世代外装シールド用材料の開発
知的な好奇心				

添付表 2 機能材料関連の重要研究課題と達成目標 (その1)

人類的要請	技術課題	材料関連課題	材料機能・技術	達成目標
エネルギー・環境	新エネルギーシステム創出	太陽電池	光-電気変換効率	低価格で変換効率 30%以上の太陽電池を開発
		水素エネルギー利用材料	燃料電池用触媒の長寿命化	CO 被毒に強い新触媒の開発
			水素貯蔵用材料の軽量化	可逆水素含有量 5mass%の軽量合金開発 水素吸蔵用カーボンナノチューブの開発
			水素精製処理速度の向上	水素精製処理速度 10 倍の分離膜材料の開発
			水電解用触媒の高効率化	光による水電解能力が TiO_2 より高い新触媒の開発
		核融合炉用マグネット材料	強磁場発生技術、耐放射線損傷性、高信頼性	25T 超級超伝導マグネット用線材の開発
		「その他」		
	省エネルギー化	発電・モーター用材料	高エネルギー積磁石	焼結磁石： (1) 高温で使用可能な希土類磁石の開発 $H_c > 2.8 \text{ MA/m}$, $(BH)_{\max} > 320 \text{ kJ/m}^3$ (2) 電気抵抗を高くして渦電流による温度上昇を抑える。比抵抗 $> 10^{-5} \Omega/\text{m}$
				2. ナノコンポジット磁石 $> 480 \text{ kJm}^{-3}$
				3. 新磁石 (1) 4 f 遷移金属以外の結晶磁気異方性の利用による酸化しない磁石。 $> 320 \text{ kJm}^{-3}$ 、価格 $< 10\text{¥/g}$ (2) 打ち抜き加工可能な薄板高性能磁石の製法開発。 $> 320 \text{ kJm}^{-3}$ でステンレス鋼並み強度
			低コアロス軟磁性材料	磁化 $> 1.8 \text{ T}$ 、透磁率 $> 1,500,000$ 、コアロス $< 200 \text{ kW/m}^3$ の実機での経済的実使用の実現 (ナノ結晶軟磁性材料の機械的特性の改善)
			超伝導発電機用線材 (低交流損失、長尺化、巻線性)	10^5 A 、 77 K 、 5 T 以上を達成 交流損失 0.5%以下
		送電用材料	トランス用材料の高透磁率化、軽量化	Fe のナノ結晶化による高磁化 ($> 2 \text{ T}$)、高抵抗、高強度板材の開発
			導線の高導電性化	IACS100%に近い高強度送電線の開発 送電用高温超伝導線材の開発
			交流損失低減	超伝導送電線の開発 (10^5 A 、 77 K 、 0.1 T 以上)
		電力貯蔵用材料	大電力エネルギー貯蔵システムの低損失化	超伝導電力貯蔵システムの開発 (10^5 A 、 7 T 以上)

添付表 2 機能材料関連の重要研究課題と達成目標 (その2)

人類的要請	技術課題	材料関連課題	材料機能・技術	達成目標
エネルギー・環境	省エネルギー化	電力貯蔵用材料	二次電池の大電力化・軽量長寿命化	Li イオン電池 ・正極：Mn ベース、Fe ベース正極材料の開発 ・負極：LiC ₆ を超える容量を持つ負極材料の開発
				Ni-水素電池 負極：軽量・アルカリ耐食性水素吸蔵合金の開発
		省エネ型デバイス	電子デバイスプロセスの簡素化	Wafer 上に全てのデバイスを配列する微細加工、ヘテロ接合プロセスの開発
			回路用材料の消費電力低減化	トンネル型トランジスタと電気良導体からなる回路の三次元配線による、消費電力 50%の削減
	循環型システム構築 (LCA 適合技術)	高リサイクル材料	接合性・導電性	鉛フリー高性能はんだ用材料の開発
			半導体特性	砒素フリー高性能半導体の開発
	環境保全	CO ₂ 排出低減に資する材料	(新エネルギーシステム創出の項目全て)	
		CO ₂ 分解・固定用光触媒	CO ₂ 分解反応の高効率化	高効率な光吸収体、電化分離機能、触媒機能を備えた超分子もしくはナノ構造体の開発
		脱フロン冷凍用材料	常温磁気冷凍技術	空調システムで使用可能な磁気冷凍物質の開発
			熱電素子の高効率化	変換効率が 2 倍の素子開発
		環境汚染物質除去用材料	分解触媒の高効率化	有害ガス分解触媒の開発 ダイオキシン分解触媒の開発
			吸収性能増大	吸収固着用カーボン材料の開発
		ガスセンサー用材料	高感度化	大気環境レベル以上の検出機能 (NO ₂ : 数 ppb、SO ₂ : 数 ppb、CO ₂ : 数 ppm) を有するセンサーの開発

添付表 2 機能材料関連の重要研究課題と達成目標 (その3)

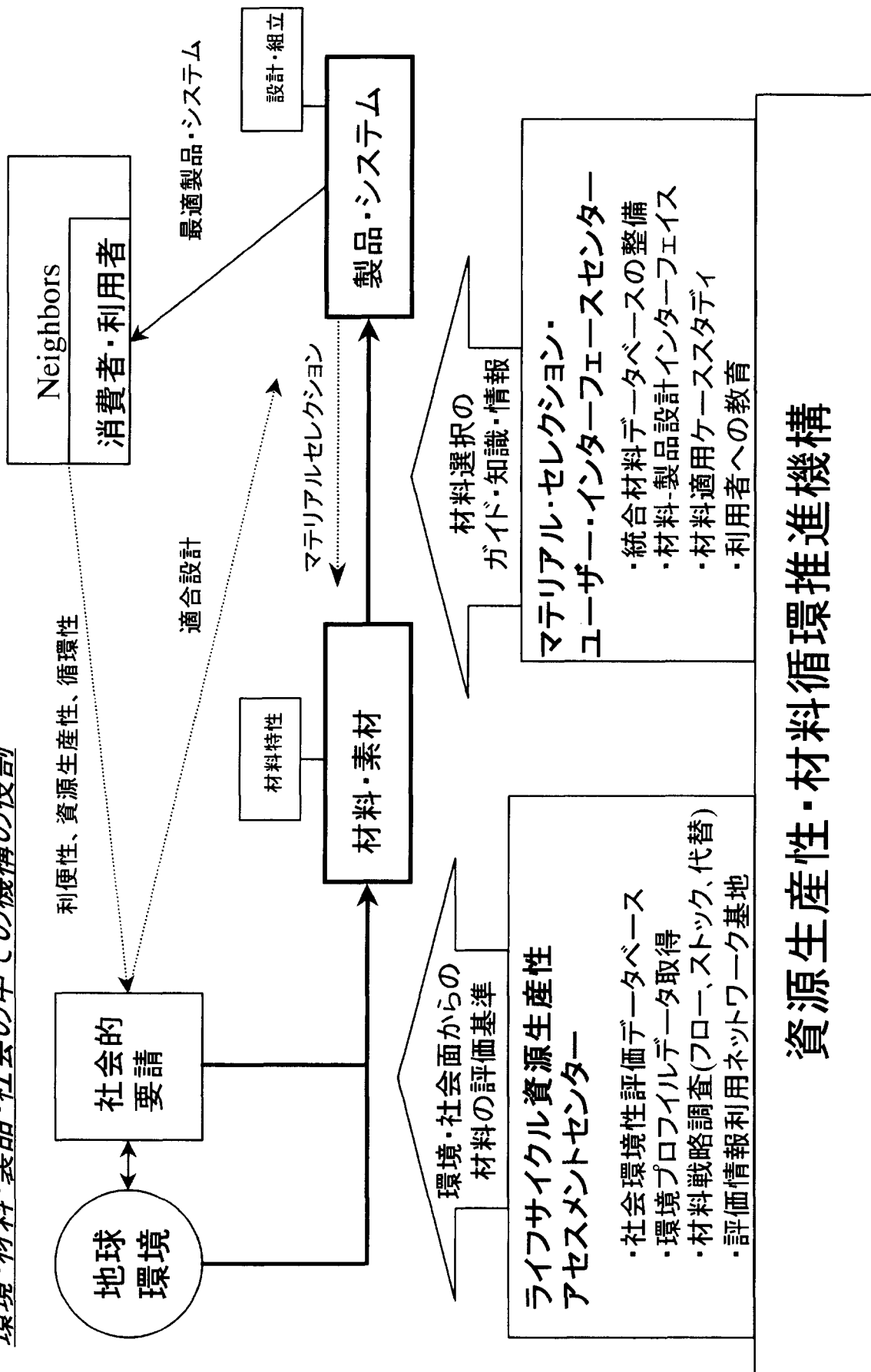
人類的要請	技術課題	材料関連課題	材料機能・技術	達成目標
安全・安心	高度医療技術	マイクロマシン用材料	高応答性、 長寿命化 微細加工技術	実用的マイクロマシンとしてのシステム構築 ・アクチュエーター用形状記憶合金薄膜の開発 ・薄膜磁石の開発 ・微細押し出し加工用アモルファス材料の開発 ・多様な材料に対応可能な新加工成形法の開発
		軽小システム用電池材料	単位重量当たりの蓄電量の向上	超小型軽量2次電池の開発
		生体材料	耐久性	可動部のある材料の寿命を人の寿命並へ
			生体適合性	1週間で生体となじむインプラント材開発
			インテリジェント化	生体の症状を感知して、それに対応する材料の開発
		医療用 SQUID 脳波計	高温超伝導 SQUID 素子の開発、多チャンネル化	77K で動作する 32 チャンネル SQUID 素子の開発
		医療用 MRI	高温超伝導線材の高臨界電流密度化・長尺化	高温超伝導磁石の適用、77K、5 T の発生
		遺伝子構造解析用 NMR システム	強磁場 NMR 技術、30 テスラ級静磁場発生技術	1.2GHz-NMR システムの開発
		高分子設計・制御用軌道放射光システム	超高速・高感度・高輝度・高分解能 X 線構造解析技術	高分子構造解析技術の開発
				高分子合成過程その場観察技術の開発
	リスク対策技術	地震予知センサー用材料	SQUID 素子用材料の汎用化	高感度磁気センサーの開発
豊かさ・潤い (情報・モノづくり)	新情報デバイスの創出	未踏周波数領域発振・受信用素子	高周波数化 微細加工技術	テラヘルツ (10^{12} Hz) 発振・受信素子の達成
		超高速素子用材料	高スイッチング速度	1 テラヘルツ論理素子の開発
			微細加工技術 接合界面制御技術	nm スケールでのセルフアセンブル技術
		量子計算機 CPU 用素子	微細加工技術	単原子・分子操作技術の確立
			有機分子利用技術	有機分子の高機能化、有機分子間の高精度接合を可能にする合成技術開発、有機分子デバイスの開発

添付表 2 機能材料関連の重要研究課題と達成目標 (その4)

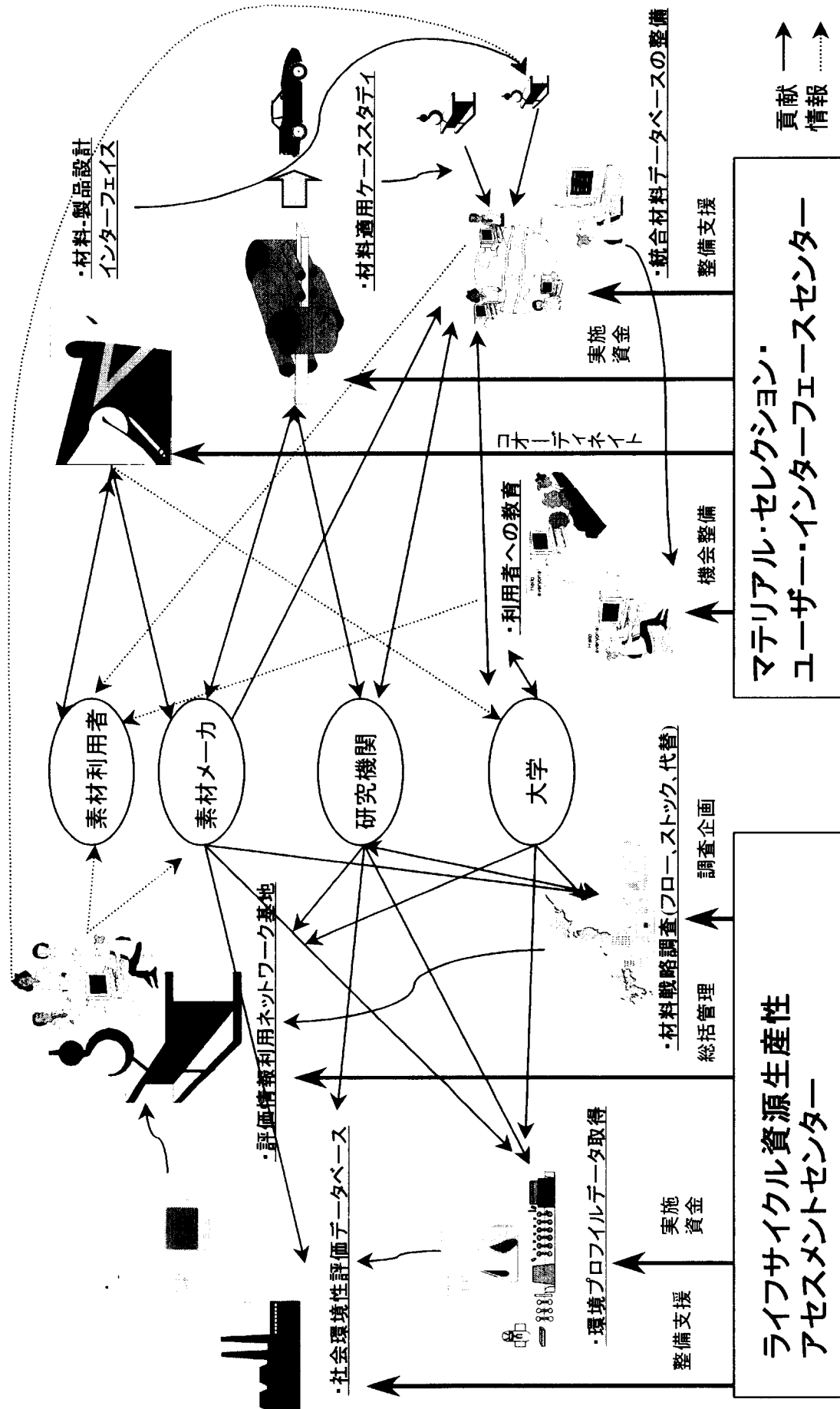
人類的要請	技術課題	材料関連課題	材料機能・技術	達成目標
豊かさ・潤い (情報・モノづくり)	新情報デバイスの創出	光関連材料	高透過性	1.55 μm 以上全波長領域のファイバー用材料の開発
			高感度化	光の波長以下の電磁場検出用センサーの開発
			高感度化・微細加工技術	nm サイズ光―電子変換構造の開発
	情報システムの高機能化	ディスプレイ関連材料	電子線源の高輝度化	仕事関数 5 eV 以下のエミッター材料の開発
			電子線源の高密度化	電子線源/ μm^2 密度の二次元マイクロ電子銃開発
		ヘッド用材料	軟磁性・磁気抵抗効果	20 Gb/in 2 を実現するためのスピナルブヘッド材料の開発
		記録媒体	高密度化	20 Gb/in 2 を実現するための低ノイズ記録媒体の開発
	生産システムの高度化	ロボット用材料	センサーの高感度化	ファジー圧力センサーの開発
		マイクロマシン用材料	高応答性、長寿命化、微細加工技術	実用的マイクロマシンとしてのシステム構築
	教育・福祉	介護機器用材料	アクチュエーターの高応答性・繰り返し寿命	高強度・高応答性・長寿命形状記憶合金の開発
			センサーの高感度化	高性能匂いセンサーの開発 高感度光センサーの開発 高感度触覚センサーの開発 高感度温度センサーの開発
活動圏の拡大	巨大構造物	1 km ビル用材料		
		メガフロート超長大橋		
	宇宙工場			
	海洋			
	大深度地下			
	超高速輸送システム	超伝導磁気浮上列車	超伝導磁石用線材の大電流化	液体窒素温度以上で動作する 5 テスラ (500km/h) 級超伝導磁石の開発
		超伝導電磁推進船	超伝導磁石用線材の大電流化	液体窒素温度以上で動作する 20 テスラ (100 ノット) 級超伝導磁石の開発
知的好奇心		新物質の探索	非周期系物質、準安定物質、新化合物	非周期系物質、準安定物質、新化合物と機能特性の探索
		材料の機能とメカニズム	材料の機能特性と構造・組織の因果関係確立	極限構造制御による材料機能の向上
		量子多体効果の全貌解明	磁性	量子スピン液体の基本法則の確立
			超伝導	高温超伝導機構の解明
			低次元電子系	新しい量子効果の探索

添付図1 コア組織の例(役割)

環境・材料・製品・社会の中での機構の役割



添付図2 コア組織の例(ネットワーク)



資源生産性・材料循環推進機構

大学教育方法のパラダイム・シフト

(1) 専門家の育成

大学教育を単なる知識教育から、専門家を育成するという方向に変更すべきである。何をもって生涯の職業とするのかという意識を学生に喚起させ、単に卒業すれば良いという考え方から脱却させ、専門家意識を持値、自立した学生を卒業させる必要がある。

(2) 経験的学習理論を取り入れた教育法の採用

統一化された学問体系を講義で伝授するのは一見効率的に見えるが、卓上の学習のみで本等の知識にできる人材は少ない。演習のみならず、具体的体験や実物に触れさせる教育を増やす。例えば、超合金の化学組成、性質を単に教えても、学生には実体の認識ができない。タービン翼の使用状況、機能、実物、組織等を自分で調べさせ、その後で高温強度の発現機構などを説明すれば興味が湧き、理解も容易になる。あるいは古い自動車を分解させ、使用されている材料、製造法を調べさせることで、材料と加工法を学習させる方法もある。

また、応用力、想像力、問題設定力、解析力などを養成するには、まねでも良いから、それらの能力を発揮する機会を学生に与えることが必要条件である

(3) グループによる協調学習の重視

学生同士で学び合うことは極めて効果的である。

(4) PBL (Project-Based Learning) の導入

PBL は、学生をグループ分けして、できれば実社会で役に立つ課題を与え（場合によっては学生に設定させ）、グループで解決策を出させ、実証させる過程で、種々学習させる方法である。教員には知識を伝えるより、学生が知識を獲得するのを手伝うコーチ的役割が要求される。また、単なるチームワークのみならず、チームで学んだ内容を個人でも全て学ぶよう指導・評価する。この方法で、コミュニケーション能力、自己学習能力、種々の学問の応用および統合化能力等前述の現在大学等であまり訓練されていない多くの能力を養成できる。また、これは OJT の教育的方法とも言え、企業活動にもなじみ易い。

PBL の一例として、例えば、超軽量化マウンテンバイク・フレームのプロトタイプ開発がある。この場合、まず、既存自転車を分解・調査させ、使用されている材料、加工方法を調べると共に、機械力学、材料力学などを学ばせ、設計、試作（炭素繊維プリプレグを使用すれば学生でもフレームを製作可能で、場合によってはボール紙製でも可）、評価させることなどが考えられる。

（５）材料の面白さを分からせる教育法の工夫

現状のほとんどのカリキュラムは基礎科学を講義した後で技術的問題に取り組みさせている。従って、学生は何のために学ぶのか分からず、学習意欲もわからないし、基礎科学も身に着きにくい。大学入学直後でも、高校程度の知識で十分社会に役立つ技術的課題は与えられるはずである。また、材料以外の分野の学生とも交流させ、材料系の学生にも活躍のチャンスがあるという自信をつけさせる工夫が望まれる。

（６）全て教えなければならないという考えの放棄

全て大学で教育できるわけではないし、教える必要もない。それより、最小限必要なことを確実に身につけさせることと、自己学習能力をつけることが重要である。現在および将来は少なくとも学部講義程度の知識は大学でなくてもインターネット等で容易に入手できる。問題は、非常に多くの情報から本当に必要な知識を自分でいかに探し出し、身に付けるかである。現在、講義で２単位の講義科目を履修し、単位を得るのに必要とされている「60 時間のその他の学習」を無視している大学が多いが、これは貴重な自己学習時間を活かしておらず、大きな問題である。

付 属 資 料

材料分野の産業技術に関するアンケート調査結果 (主な意見)

実施年月：平成 11 年 9 月

対 象 者：下記の官庁および団体を通して、企業、大学および国立研究機関の学識者、技術者ならびに研究者に配布し、無記名で回収した。

○アンケートの配布にご協力をいただいた官庁・団体 (順不同)

・通商産業省

基礎産業局	鉄鋼課技術振興室
"	非鉄金属課
"	化学課
機械情報産業局	素形材産業室
"	産業機械課
"	電子機器課
"	電気機器課
"	自動車課
"	航空機武器宇宙産業課
生活産業局	繊維課
"	窯業室
"	ファインセラミックス室
資源エネルギー庁	鉱業課
工業技術院	地域技術課

- ・（社）日本鉄鋼連盟
- ・（社）日本鉄鋼協会
- ・（財）大阪科学技術センター附属ニューマテリアルセンター
- ・（社）日本アルミニウム協会
- ・軽金属製品協会
- ・（社）新金属協会
- ・（社）日本チタン協会
- ・日本伸銅協会
- ・（社）日本電線工業会
- ・（社）電線総合技術センター
- ・全国鍍金工業組合連合会
- ・日本化学繊維協会
- ・（社）繊維学会
- ・（財）ファインセラミックスセンター
- ・（社）日本ファインセラミックス協会
- ・日本鋳業協会

○アンケートに回答いただいた方の産業分野

- ・金属（鉄鋼、アルミニウム、銅、シリコン、貴金属、レアアース、半導体）
- ・ガラス
- ・ファインセラミックス
- ・耐熱材料
- ・メッキ
- ・電池
- ・家電、重機械、自動車
- ・繊維
- ・化学

以下に、アンケートの質問事項ならびに回答のあった主な意見を示す。

0. 産業競争力と技術競争力について以下の質問にお答えください。

(1) 産業競争力の向上と技術競争力の向上の相関関係についてどのようにお考えになりますか？（特に材料分野について記述願います）

- 技術競争力は産業競争力のキーポイントである。
- 産業構造が過当競争である場合、本質的な技術競争力を醸成しがたい。
- 材料開発の産業発展への貢献は、新産業の創出、既存産業の活性化、伝統産業の再生など多くの産業分野と係わる。材料開発なくしては、他産業分野での技術進歩はない。
- 産業競争力は、販売力及び収益力が物差しとなる。技術競争力は必要条件であるが、十分条件ではない。他社で作れぬ（独占特許）という状態の実現は素材産業では難しいので、コスト競争力が一番、ついで品質競争力。また、開発品の普及には認知作業に多くの労力を必要とし、開発しても産業競争力に結びつかないケースも多い。
- システムソリューション力（技術成果を多様な商品に繋げる）が重要。
- 先端材料産業は強い相関関係、成熟材料産業は弱い相関関係である。
- 技術競争力と産業競争力は相関があるが、装置産業においては、技術が設備の形で展開されれば、産業競争力は労務費によって決まってくると考える。
- 品質・性能の差別化が困難な条件下で、製造コストの削減に取り組み続けて技術力は向上し続けているにも関わらず、製品の伸び率にほとんど変化がない。高性能・高機能といった差別化が可能な分野においては、技術開発による技術競争力の向上が産業競争力の向上に結びつくものと考えられる。

(2) 技術競争力の向上を産業競争力の向上につなげるためには、どのようなことが必要だと思われますか？

- 材料技術はあらゆる産業技術の発展を支える基本技術である。他産業を含め、国全体への影響力は大きいことから、的確な国策が必要な分野であろう。
- 市場・ユーザー動向及び技術動向に関する将来への的確な読みをベースにした、経営戦略と結びついた明確な技術戦略の立案と実行が不可欠。
- 開発した技術をいち早く事業化することが必要。このため、産学官による国家プロジェクト等の共同研究を推進する等により、開発、実用化を効率化することが必要。
- 市場動向・技術動向を的確に把握し、コンセプト構築とマネジメントができるアントレプレナー的技術者、企業家人材を育成する仕組み作りが必要。

- 製品メーカーと連携し、設計段階からニーズにあわせた材料開発を行うことが必要。
- マーケットオリエンティッドで独創的な技術開発に寄与するベンチャー企業を育成することが必要。
- 短期的には産業界への動機付け、長期的に幅広い基盤技術の蓄積向上が必須。
- 収益をバランス良く技術競争力強化に向けていくことが必要（欧米や韓国・台湾の産業強化策）。
- 産業競争力の中に占める固定費的部分の割合が高いことが最大の問題。市場ニーズに即した製品が適正な価格で評価されるような社会の仕組みが重要。
- 新しい技術を用いた新しい市場の発掘・開拓が必要。技術が社会に受容されるためには、一般に安全性、信頼性、人間と自然への負荷低減といった側面からの評価がアクセプトされ、市場ニーズとコストのバランスと相まって始めて普及促進する。パブリックサポートが得られる基盤技術と利用技術（トータルシステム）の開発が重要。
- 我が国から生まれた新材料を国際材料標準、あるいはデファクトスタンダードとしてイニシアチブがとれるようにすることが必要。
- 規制緩和、性能規定化及びそれらが受け入れられる環境整備が不可欠。
- 民間の技術開発成果の公的機関による技術評価については、迅速化が望まれる。

Ⅰ．材料・プロセス技術に関する現状認識を深めるため以下の質問にお答え下さい。

(1) 材料・プロセス開発が新製品の開発や低コスト化等の技術革新の要素となった事例を挙げてください。

- 高張力ワイヤー仕様の明石大橋（吊り橋径間長1990m）
- 高張力厚板鋼による高層建築（ランドマークタワー等）
- 高張力薄板鋼板による自動車の軽量化
- 表面処理鋼板による自動車の長寿命化。
- 電磁鋼板の磁区制御技術による低鉄損化
- 高強度、高耐食性の鉄鋼材料開発によるメガフロート。
- 高張力鋼の開発による大型船建造技術
- 80～90年代初頭に行われた化合物半導体LSI開発の成果が携帯電話用化合物半導体の優位性に繋がる。
- ジュラルミン、チタン合金のによる航空機等
- セラミックベアリングの開発（スペースシャトル）
- Al-Si-Mg合金の開発による建材への利用（サッシ）

- 大型一体化鍛鋼軸材、リング材の開発による大出力火力・原子力発電所、大容量石油精製プラント。
- タイヤ用スチールコードの開発による安全性の向上。
- 低熱膨張コーゼライト材料の開発とハニカム状に製造するプロセス技術の開発で、自動車用排ガスシステムが向上。
- 国と企業の共同開発によるSiCファイバーの実現によって、スペースシャトルの耐熱タイル目地材に採用された。
- 原爆材料製造の為に希土類元素精製技術
- 強力な磁石の開発は、モーターや発電機の高性能化、小型化、軽量化につながり、様々な産業分野に多大な貢献をした。
- セラミックス誘電体材料の開発は、通信機器分野の超小型軽量化を促進した。
- セメントと超微粉体の均一混合プロセスの開発・実用化による超高強度コンクリートの商品化及び安定供給。
- 超軽量骨材によるコンクリート軽量化技術やコンクリートの高強度化技術の橋梁上部工への採用により下部工を軽減し、建設のトータルコストを低減。
- 量産プロセスの確立による高品質・低コスト材料の安定供給を実現
- セメント製造における焼成行程への仮焼炉および低圧損5段サイクロンの導入による燃料原単位低減の達成（製造コスト低減）
- ハニカム触媒の開発を軸とするボイラー排煙脱硝技術も世界に先駆けて実用化。
- 湿式排煙脱硫技術において、「種晶石膏の添加」がスケール防止に対して有効なことが実証され、我が国はこの分野で世界をリードした。
- コンピュータシミュレーションによる材料設計技術の高度化は、医薬品合成（分子動力学法）や構造体設計（有限要素法）などの高効率化に寄与している。
- ポリオレフィン、ポリプロピレンの反応プロセスにおいて、高活性・高立体規則性触媒の開発が、無脱灰プロセス開発を生み、後処理設備を削減してコスト低減に貢献。
- リチウムイオン二次電池が開発され、パソコン、携帯電話が急速に普及し、大量生産による価格低下も可能になった。
- レアアースマグネットの高性能化によるMRI診断法の普及。
- 発泡スチロール材料開発による軽量土木ブロックの開発が、軟弱地盤工法など土木工法革新を生んだ。
- 高性能フォトレジスト、高純度試薬の開発による半導体集積度が飛躍的向上し、電子機器の小型化、軽量化に貢献。
- 各種の特殊プラスチックの開発でレトルト食品、即席食品が可能になりライフスタイルが大きく変わった。
- 半導体パッケージ材料の高性能化技術が進んだことにより、パソコン・家電の高性能低コスト化が進み、普及が促進された。

- 情報通信産業の発展は光ファイバーというガラス材料の開発によって実現した。また、この分野では光ファイバーアンプの実現によって長距離通信をより簡単なものにした。
- フォトマスク用シリカガラスの開発で IC の高密度化が年々進み、大容量のコンピューターを実現し、コストの低減を実現した。
- 生体活性な結晶化ガラスの材料開発が、革新的な人工骨の発明につながった。

(2)わが国の材料・プロセス開発力（技術水準／技術力）について、諸外国と比較して優位だと思われますか、それとも劣っていると思われますか？
また、そのようにお考えになる理由及び具体的事例は？

- 新材料を創製するための基礎科学力（原理、原則の発見）は、諸外国に比べて一歩譲るが、新材料の特性を効果的に引き出し産業応用する我が国の開発力は極めて優れている。
- 研究者、開発に関わる技術者の層の厚さ、質の高さいずれにしても世界最高レベル。
- 研究開発費の対売り上げ比率が2%台へと低下してきているものの、0.5～1.9%レベルの諸外国と比較して依然として高いレベル。また、今のところ、まだ要員数が他の先進国よりも多いだけに優位と思うが、将来の保証はない。
- エネルギー原単位の低減等、生産技術では優位である。革新的技術では欧米は侮れない。
- 材料技術に関しては、世界トップの技術力を保っているものの、諸外国での製品メニューや製品特性値から見るとその優位差は縮まりつつあると認識。
- 自らがパイオニアとなり未知の分野を開拓していくのではなく、例えば情報技術、生命科学のように欧米と比して後れを取っている技術を開発して技術水準を高めていく方法に甘んじており、こうした傾向は将来的にも日本の技術力の低下を招く。
- かつては基本技術が外国で開発され、我が国において改良改善されたものが多かった。最近は我が国独自で開発された技術・製品も多い。
- 高分子分野では大半が導入技術の消化。しかし顧客ニーズに合わせたきめ細かい開発力はある。
- 高分子分野では基本特許に比べ応用特許や防衛特許が多い。
- 一層の競争力強化に必要な基礎研究と応用・実用化研究を繋ぐ産学官の役割分担と連携が不十分であり、早晚開発力の衰えを招くことが懸念される。
- 高分子製造における触媒反応プロセス基礎化学品分野の開発力は劣ると考える。

- 多くの材料は開発時点では高価である場合が多く、したがって、経済性原理の影響の少ない、軍事用等の特殊な用途での使用が開始され、その後、一般用に展開されることが米国等の材料開発の成功につながっていることが考えられる。

(3)これまでのわが国(政府及び産業界における)の材料・プロセス開発の実施方法についてどのように評価されていますか？

- 世界の技術動向把握が政府レベルで弱い。
- 材料開発に対する学の寄与が物足りない。最近、新材料分野への学の興味が特定分野に偏っているように感じる。
- ナショプロの成果については、技術の蓄積、波及効果(例えば要素技術の応用や基礎研究でのレベルアップ等)が大きいと判断している。
- ここ数年間での政府機関からの委託研究についてはほとんど成果があがっていない。
- ナショプロはリスクの高いテーマを実施してきたため、これまで実験成功は収めても実用化までは至っていないケースが多い。
- ナショプロについては、業界全体が協調して参加するために最大公約数的な開発課題が設定され、結果的に成果が実用化されてこなかった点は反省する必要がある。実用化に対しての観点をさらに高めることが望ましい。
- 国プロジェクトの材料開発の最近の成果はいまいちである。素材メーカー業界は最終用途のニーズ情報が不足しており、エンジニアリングメーカー及びエンドユーザー業界は素材情報が不足している。したがって、技術開発の上流側と下流側をブリッジングした開発体制を当初から組んで推進することが重要である。これまで個別の要素技術に特化しすぎていたきらいがある。
- 欧米のキャッチアップ型の研究開発が多い。
- 公募形式により共同研究先の民間企業を募集するケースがあるが、既に共同研究先が内定しているケースがあり、より透明性が求められる。
- 産業界のこれまでの研究開発は顧客のニーズを満足させるためのものが主。ブレークスルーをするためにも強烈的なニーズ創出に加えて、シーズ開発が必要。
- 基礎資材の最大の競争力は価格競争力と適切なパフォーマンス。高度成長期における開発の実施方法については、外部(もしくは外国)に対抗できるコスト、品質競争力の獲得という明確な目標があり、成功を収めた。安定成長期に到達すると、需用者は過剰品質を楽しむゆとりをもっていたので、コストよりも付加価値を加えることに開発目標がシフトした。

- 民間での研究開発では、材料関係では差別化商品の開発、プロセスではコストダウン課題が主になる。技術力とニーズを持った企業（材料メーカーとユーザー、あるいはプラントメーカーというような組合せも含む）が社会のニーズに対応した共同研究開発を行うこと、またはいかに基礎研究分野で研究開発力を維持できるかが課題。
- 護送船団方式で行ってきた面があり、各社とも開発技術に大きな差がなく、競争意識が少なかった。
- 産学官の共同研究が有効に機能してきた。
- ユーザーと密接に結びついた取り組みが開発の効率化に結びついた一方、開発側の主体性が欠如。
- 実用材料の共同開発はほとんど実施されていない。
- 環境問題に対応し資源循環型社会構築の視点からの技術開発がやや欠けていたと思われる。
- 産業界、需要家のニーズとの合致、実用化の点からの評価は十分ではない。

(4)わが国政府の材料・プロセス開発について、現行のままで良いと思われますか？

- 競争国の政策と海外企業の開発動向把握を強化することが必要。
- 欧米先進国の技術レビューを国が定期的に実施、公開し、国内の企業に開発ターゲットを認識させる必要がある。
- 大学、国研は技術シーズには比較的強いが、産業界ニーズ特に先取りのニーズの認識が希薄である。我が国の政策は、D O E等に比べて研究ニーズの長期展望の企画力がやや弱い感がある。長期大型テーマ（10～20年）を設定し、その中で幾つかの個別テーマ（5年程度）が相互に関連情報を共有しながら進めるのも一つの方法である。
- 材料（プロセス）の開発に対する国の支援は他分野に比して小さい。従来にも劣らぬ技術開発支援の仕組み作りが必要。
- 実用化時の採算性、経済性を十分に考慮した技術開発が少ないようである。
- 米国の情報ハイウェイのような産学官に共通する材料研究の上位概念となる国としての技術戦略を明示し、プロジェクト的な研究開発の強化を期待。各対象への資源配分バランスの適正化についても配慮いただきたい。
- 異業種間の連携が必要。商品開発などの分野にも必要であれば公的資金の投入を検討すべき。
- 産官学一体となった対応策（プロジェクト）を強力に進める必要がある。
- 政府の研究機関（国研や大学）において、ハイリスク、新規性、独創性の高い研究開発を積極的に行う制度、評価するしくみを早急に整備すべき。

- 成果の評価をもっと厳しくすべき。
- 開発目標の設定が重要である。
- 研究開発コーディネーター制度の導入。
- 従来は長期的なテーマが多かったが、中期的なテーマも取り上げてみてはどうか。
- ニーズ等に関して大学や国研との情報交換を積極的に行うことにより、大学や国研での独自性のある研究課題の設定を行うことが必要。
- 技術の実用化、産業化に重点移行すべき。
- 我が国で育成された材料（プロセス）の世界標準化が望まれる。
- 国の材料開発プロジェクトはもっと基礎研究、基盤整備、国際連携に注力すべき。
- 長期的競争力強化に向けた革新技術開発と応用・開発型研究の両面の促進が必要。
- 産業技術ではなく、サイエンスの分野での独創的な研究を期待する。

（５）わが国の材料・プロセス開発における阻害要因（産学官の連携の弱さ、知的基盤整備の不足、規制等）をどのようにお考えになれますか？

- 学官の基礎研究の底辺が弱い。
- 大学の研究費の不足、若年層の理工系離れによる開発能力の弱体化。
- 企業体力の低下により、産業界では将来を見据えた研究よりも直近の収益改善が見込める技術開発を進めざるを得ない状況。高度な知識を有した研究者が少なくなり、企業の研究開発の基盤が軟弱化。国研、大学が企業の研究者をタイムリーに受け入れ、高度な専門知識を有した人材の育成が図れる制度作りが必要
- 良いアイデアがあっても、実機でテストされていなければ取り上げられない傾向がある。実用化のための環境整備が必要。
- 産学官の連携は、諸外国よりも強いと考える。
- 産学官で一体となって協議する場が少なく、連携は十分ではない。
- 上工程のプロセス開発は、各社で種々実施されているが、投資額の大きさ、成功可否のリスクを考えると実機規模のテストプラントまでは、なかなか踏み切れない。一方材料開発は企業間の競争そのものなので、共同開発の実施は今後とも難しいと思われる。
- 材料開発を成功させるためには、明確な目標やテーマ設定が不可欠であり、企業秘密に関わる産業界のニーズ等も、大学・国研等へ明らかにすることが必要と考えられる。しかし、秘密開示に対して、保証するシステムがないことから、一般的なニーズで材料開発を実施することとなり、研究成果が事業的成果に結びつく可能性が小さくなっていることが考えられる。

- 企業では、相互に特許面でしのぎを削る面があり、ネガティブデータが開示されず、無駄を発生させている面がある。
- 鉄鋼分野では、世界トップレベルのデータベースを保有しているが、他の非鉄、高分子、セラミックス材料分野では知的基盤が弱い。鉄鋼分野でのデータベースの体系化と他の素材分野での知的基盤の強化（評価技術を含む）に向けて国の支援が必要。
- 税制、TLO、特許の権利問題への取り組みは研究資金を効果的に活用する上で必要。
- 省庁間を越えた具体的な技術政策の提示が必要。
- 過去の画期的な開発は個人のひらめきや力量に負うところ大なので、その面での工夫をどうするかが課題。
- プロジェクト推進に当たってのリーダーシップの弱さ、連携の際の責任分担、境界のあいまいさが問題。
- 材料開発の成果を使えるようにする規格化（改訂を含む）の迅速化が必要。
- 技術開発において規格、規制への適合上の問題が多い（自由度が少ない）。性能規定への移行を促進すべき。
- 国が100%補助するプロジェクトの存在（健全な企業の実感と合わない、知的所有権が実行機関のものにならない、）

（6）2010年および2025年頃にはどのような材料・プロセス開発が必要であると考えられますか？ 予想される社会背景もあわせてご記入下さい。

- 廃プラスチックの再利用（モノマー化、ガス化、化学原料化）およびリニューアル原料からのプラスチック開発プロセス。
- 2010年頃：あらゆる分野で、環境が重要なファクターとなり、環境負荷が小さな材料やその製造プロセスの開発が進展するものと推定される。
- 2025年頃：エネルギーや情報関連で、光が重要な役割を担うこととなり、その結果光に係わる材料開発が重要となると思われる。
- 2025年：グリーンケミストリーに基づくプロセス革新。
- 良質資源の不足、高齢化社会、地球環境問題、エネルギーの多様化等の社会を予想し
2010年頃には、高成形性鋼板・高衝撃吸収性鋼板開発、耐熱鋼材開発。また低品位鉱石の使用技術開発、スクラップ利用技術、超高速鋳造技術、高度自動化技術等。
2025年頃には超微細結晶粒創製技術、拡散接合技術及び新鉄源製造方法の開発、水素還元製鉄、中低温廃熱利用技術等。

○エレクトロニクス、バイオ・ライフサイエンス、材料開発が産業・経済・社会構造に変革をもたらす。

- ・省エネ、省資源、環境負荷低減材料の開発（社会受容型高機能材料）
- ・高齢化に対応したバイオ材料の開発
- ・食料問題、砂漠化防止・緑化に係わる材料の開発
- ・画期的な表面改質用セラミックス材料設計技術の開発

これらを達成する材料技術としては、材料のハイブリット化、バイオメメディック技術（自己修復機能など）、耐環境性コーティング技術、環境応答技術（自己診断機能など）、粒界を利用した機能発生技術、原子レベルの量子特性を生かした技術などが考えられる。

○既存のインフラを時代環境に適合したインフラに低コストで再整備してゆく必要性が高まることから、容易にリメイク（解体→リサイクル）できる材料開発、施工・解体技術開発が求められる。

○その他、技術の例

- ・少量多品種の製品を安価で製造可能な生産プロセス。
- ・物質循環を基盤とした材料技術体系の構築
- ・組織制御に基づく特性制御技術開発。
- ・耐久性向上材料

(7)(6)に関連して、貴社における材料・プロセス開発の取り組み、中長期的戦略を差し支えない範囲でご記入ください。

○エネルギー供給構造の変化、環境保護、資源循環社会、安心・安全・快適さの等の社会ニーズに合致するとともに需要創出と市場開拓に資する新規材料の開発。

○フェーズとしては、実用化に近いテーマにシフト。

○技術基盤整備と連動した材料特性評価・解析技術、標準物質開発、データベース構築

○物づくりの基本となる材料プロセス基礎技術、材料設計技術の開発

○材料のインテリジェント化の設計技術

○国際コスト競争力を向上させるためのプロセス開発。

○省エネ等の環境対応型プロセスの開発。

○リサイクル技術の開発。

Ⅱ、材料（プロセス）分野における技術シーズ（現在、2010年、2025年頃）をどのようにお考えになられますか？ 以下の例示も含め、思いつくままにご記入ください。

＜方向性＞

- 20世紀に見出された、原理と発見を巧妙に組み合わせて材料の設計やプロセスの設計が行われるように思える。人類の発見したものを巧妙に利用し組み合わせて環境負荷を減らしながら、今後人工の増加が予測される発展途上国を巻き込みながら、人類社会の持続を目指す、地球環境の世紀となると思う。
- 構造材料（量産品）と機能材料（特殊品）の二極化。
- 凝固、変態時の原子・分子配列に関する計算手法の進展及びデータベース化の進展により、計算材料設計の開発が進む。
- 自己修復機能をもった材料開発
- インテリジェント材料（疲労の履歴、腐食の履歴を記憶していく材料、負荷荷重を表示・記録する材料）
- 高純度化、機能付加、傾斜機能化等による超耐久性構造物用材料、海洋開発用材料の開発。
- 完全リサイクル可能材料の開発
- 材料（高分子）は機能を更に向上させることで減量化へ。
- 材料（高分子）は全てリサイクルへ（ポリマー／モノマー）。
- 分子レベルでの材料設計が重要。
- 分子・原子レベルでの材料設計
- 材料複合化によるナノコンポジット材料開発
- 特に大量消費材料分野での低環境負荷材料技術が必要
- （高分子の）超精密成型技術を実現する材料、プロセス
- （高分子の）非ハロゲン化、無溶媒、炭酸ガスの活用
- 環境問題に対応した材料設計（非ハロゲン材料、易リサイクル材料の開発）
- マイクロマシン技術
- 新規な精密整形技術の開発
- 生産性向上の観点からの、製造高速化技術開発。簡易製造設備開発。
- ニーズに応える開発の方が現実的。シーズ指向の基礎研究はあまりにやりすぎた。

＜技術シーズ例＞

①分子・原子レベルでの材料設計

- ・比重が大きく異なる金属同士の合金の製造
- ・凝固、変態時の原子・分子配列に関する計算手法、応力歪解析技術の進展及びデータベース化の進展等による計算機材料設計技術の開発
- ・メカニカリングや強磁場利用による結晶粒微細化技術、結晶粒制御技術
- ・より高精度な制御（薄膜形成における原子配列、多幸室材料における空孔、有機材料の立体構造制御、触媒の活性点制御、セラミックス粒径制御、等）
- ・ナノコンポジット材料（分子、原子レベルでの有機材料設計を行い、新たな機能を付与）
- ・精密重合用触媒開発（立体制御、耐熱性向上、高機能化）
- ・高分子ゲル技術

②新材料開発

- ・レーザー等を活用した材料の in-situ 計測・評価技術（非破壊診断技術）の開発及びデータ蓄積等による寿命予知可能材料の開発

③新製造技術

- ・数 ton 単位で品種の作り分けが可能でかつ省エネ、省コストの生産技術の開発。
- ・超高圧加工、超臨界技術による
- ・流動解析（ガス、液体）の進展による高生産プロセスの開発
- ・自然エネルギー活用技術、水素製造技術等による省エネルギー製造技術の開発
- ・無人化技術の開発（ロボット、コンピケムを取り入れた製造及び研究開発評価技術の無人化）
- ・無重力、高真空、超臨界条件等、極限条件での製造技術、新規な材料の開発。

④高純度化技術

- ・純鉄の性質・性能の基礎調査・研究による新機能機能付与技術。
- ・超高清浄度化技術（鋼中の非金属介在物を極限まで低減）

Ⅲ. 材料（プロセス）分野における技術ニーズをどのようにお考えになりますか？

また、その理由についてお答えください。

1. 環境分野

- 複合材・合金のリサイクル技術
- 有用物質（金属、液体、ガス）回収技術
- 環境負荷低減材料。
- 高品質リサイクル技術
- 産業廃棄物の再資源化技術
- 貯蔵（廃棄）中の有害物質の無害化
- 途上国対応低コスト・簡易型SO_x、NO_x、煤塵除去技術
- 砂漠緑化用材料・システム技術
- 過酷環境対応材料
- 省エネルギー、環境負荷低減プロセス技術
- 地球温暖化防止のための自動車燃料変換技術（ガソリンから水素、等）
- 地球温暖化防止のための二酸化炭素吸収材料、変換材料
- グリーンケミストリー（ゼロエミッション）
- 分解性を制御した生分解性プラスチック（廃プラスチック処理）
- 住宅用断熱材料（省エネルギー材料）

2. エネルギー分野

- 原子力用材料開発
- 高効率発電システムに適合した高温耐熱材料
- エネルギー貯蔵システム用材料
- 自然エネルギーを利用した中小規模多用途発電材料（高性能の光－電気、熱－電気変換材料）
- 超電導材料等の開発。
- 非磁性鋼開発
- 水素貯蔵合金
- 超低鉄損電磁鋼板
- 高張力パイプ材
- 低温度の未利用廃熱の利用拡大
- 水素製造技術
- 化学プロセスの省エネルギー化に適した無機膜技術とプロセス技術
- 膜分離技術（蒸留塔代替による省エネルギー）

- 自動車用として注目されている高分子固体電解質型燃料電池用の固体電解質開発
- 住宅用高効率断熱材料（省エネ）

3. 情報化分野

- 高速かつ大容量データ処理に対応可能な半導体材料、記憶媒体材料
- ガラス磁気ディスク（超平坦、高弾性率により、大容量化と信頼性向上）
- 誘電体等電磁気材料の特性向上（超高周波帯など）と小型化
- 高周波の電磁波遮蔽技術
- 大口径シリコン単結晶製造技術
- 情報通信用の材料（光ケーブル等）
- 表示機能特性の向上（液晶、発光ダイオードなど）
- フラットディスプレイ基板ガラスの開発（高品質画像の実現）
- ディスクヘッドなど耐摩耗対策技術
- 高速刺激応答材料
- 電子・光インターコネクション技術の開発

4. 安心・安全等、生活・社会分野

- 生体適合材料の開発（人工骨、人工関節等）
- 介護用具材料（高強度、軽量）の開発
- 高耐久性材料（建材、コンクリート等）の開発
- 耐火鋼、耐震構造鋼の開発
- 材料の劣化（疲労、腐食等）の診断技術
- 高強度高加工性材料の開発
- 環境ホルモン対策技術（食器、食品の安全対策）
- バイオミメティック材料の開発
- 健康管理用個人センサー
- 抗菌、滅菌材料の開発。
- 食糧確保のための生産システム及び保存技術
- （臓器移植の増加に対応する）人工臓器形成用材料の開発
- エアバック用インフレーター開発（交通安全）
- 完全防音用建築材料（快適生活）
- 易開封包装材料（食品など）

Ⅳ．政府の研究開発制度のあり方等、今後の政府の技術施策に対して期待すること
（国研・大学も含め）をご自由に記入してください。（特に材料（プロセス）分野
を中心に）

①産学官の連携

- 基礎・応用・実用化の役割分担を明確化すると同時に、相互に連携するための役割分担重複も重要。
- 研究シーズの提供者（大学・国研）と製造技術の提供者・エンドユーザ（産業界）をバランス良く構成した連携体制の構築すべき。
- 国の研究機関には、国家戦略のもとで総合的に材料を工学的に扱う研究機関として、産学を繋ぐ役割としての注力を期待。
- 産学官における人事交流（転籍を含む）の活発化。
- 産学官一体で社会ニーズ、目標、実用化対象、時期を明確にした戦略を練ることが必要。
- 国研と大学の役割分担の明確化すべき（同じことをやっているケース多い）。

②予算制度

- 大枠取りをして配分するようなプロジェクトの推進。
- 研究は進捗によって変更が必要になることが多い。次年度繰越や設備費などの弾力的な運用を可能にし効率化を図るべき（単年度主義から複数年度にまたがる予算制度への変更。国研、大学での裁量をアップ）。
- ばらまき予算は効率がよくない。重点化を推進すべき。
- 材料はシステム全体のネックになることことが多い部分であるにもかかわらず、産業面ではペイしない場合も多く、公的な推進策が必要。
- 具体的な社会資本整備計画や実施案件との組み合わせで、材料開発を必要とするようなプロジェクトを実施すべき。
- 実用化に対しての助成制度を設けるべき。また、競争原理を取り入れるべき。
- 会計検査院制度は大変重要な制度として認識しているが、指摘を恐れるあまり必要以上の規制・制約や書類作成の要求がなされて無駄な労力を費やしていないか。

③知的所有権

- 知的所有権ルールの国際的統一化を図るべき。
- ナショプロについては、国の取り分を緩和すべき。
- 財団などは特許の経費に係わる負担が問題となる場合がある。
- 国有特許の利用普及のための広報。

④知的基盤

- 材料分野全体に渡る幅広い知的基盤の整備を国の事業として取り組むべき。
- 標準化においては近年デファクトスタンダードなど「競争」の部分と見られるモノも標準化の動きがあるが、コンセプトを明確にして対応すべき。
- 認証・認定、検査に係わるいわゆる第三者機関の育成と強化を図るべき。

⑤規制緩和

- 規制における性能規定化及び定着するための環境整備
- 国プロジェクトの成果報告書は人手し易くすべき。

⑥ユーザとの連携

- 成果は実用化に役立ててこそ価値があるので、ユーザとの連携は極めて重要。

⑦業界での連携

- 同一業界から複数の企業がプロジェクトに参加することを原則としてはどうか。
- ナショプロについて、業界一体での参加はやめるべき。
- 同一テーマを2グループで同時進行させるなどの競争原理の導入。

⑧その他

- 研究成果を広く社会に還元する事が重要。そのためには成果が参加メンバーの独占にならない様にする仕組みが必要。具体的には、情報開示の一助としてデータベース化や技術移転し易い報告形式など義務化してはどうか。
- 構造材料研究及び研究者の減少防止を政策的行うべき。
- 国に対しては、国家プロジェクトの企画／立案／選定に関わる仕組み・プロセス及び目的・目標を含めたトータルマネジメントの一層の充実に期待。
- 実用化のためのフォロー（生分解プラスチック普及のための認証機関設置支援）
- 省庁間の連携を強化すべき（関連した法整備での調整等）。
- 創造性のある人材を育成するために、知識教育を主体とした学校教育を改め、自分自身が体験したり創造していく教育への変更を行うことが必要。

以 上

6F, No.17 Mori-Building,
1-26-5 Toranomon, Minato-ku,
Tokyo, 105-0001 JAPAN
PHONE: 03-3592-1283
FAX : 03-3592-1285
URL [<http://www.jrcm.or.jp/>]

JRCM The JAPAN RESEARCH and DEVELOPMENT CENTER for METALS

米国技術動向及び共同研究の調査報告書

＜ 項 目 ＞

1. 訪米調査結果の概要と出席メンバーリスト
2. 調査スケジュールと主要な Agenda
3. (1) SRI International 訪問結果 (11/15)
4. (2) JETRO/SF 訪問結果 (Silicon Valley Network) (11/16)
5. (3) University of Texas at Austin 訪問結果 (11/18)
6. (4) SEMATECH 訪問結果 (11/19)
7. (5) IRI Inc. 訪問結果 (11/22)
8. (6) ATP, NIST 訪問結果 (11/22)
9. (7) MSEL, NIST 訪問結果 (11/23)

出張者：三菱マテリアル㈱フェロー 武下拓夫
JRCM 研究開発部長 間湊秀里

平成 1 1 年 1 2 月 1 6 日

(財) 金属系材料研究開発センター

訪米調査結果の概要

出張目的：共同研究の効率的な進め方、金属材料・半導体等将来課題の調査

出張期間：平成11年11月14日(日)～25日(木)

出張者：三菱マテリアル(株)武下拓夫、JRCM 研究開発部間瀬秀里

訪問先：SRI, JETRO, Univ. of Texas, SEMATECH, IRI, ATP/NIST, MSEL/NIST

①印象と技術動向

- ・強い米国に自信を回復している。(資料提供・綺麗な公共施設)
- ・研究のスピード、Cost Performance が厳しく問われる。(National Lab. 批判大)
- ・Coating Tech. (CVD/EC Spark Ox. /Laser), Nano Scale (Materials, Morphology, Structure), Theoretical Modeling (疲労・Si Wafer・Formability・Pb Free LT Solder) が共通基盤技術。
- ・疲労破壊の逆問題・使用済み核燃料用 3%B-Ni Free 鋼・HIP 代替 Selective Laser Sintering・Thermal Spray by Laser・NNS-Foamed Metal・Supercritical Water Oxidation of Waste/Sludge・半導体(450mm, 50nm Lithography, 100nm gate stack) が新規技術。
- ・Materials Science の内容が大きく変貌 (Metallurgy, Ceramics, Polymers, Semiconductor, Electrochemicals, Bio-Technology)。
- ・CPU Software の発達により Combinatorial Chemistry 手法の材料・触媒開発への応用。

② Cooperated R&D について

- ・日本(JRCM)の Joint R&D は例外を除き、Applied Research に留まり、Process/Product の Commercializing (Competitive Development) をあまり意識していない。
- ・米国の Cooperated R&D においては Consortium が Pre-Competitive Development (Applied Research) を行い、Industries が同時並行的に Competitive Development (Product/ Process Development) を実行している。一方、大学 は Long Range Creative Efforts (Exploratory Research) を分担している。
- ・日米(SRI)には Culture の大きな差異があるとの指摘。
 - 1) 米国では Center of Excellence を狙う大学が積極的に出す Creative な Top Researcher を Joint R&D に Surround する。成功すると、彼らは Center of Excellence に戻って行く。(米国 TLO が成功する理由と同根か?)
 - 2) Intellectual Property (IP) の帰属は本当に Creative Job をした人に限るべきだ。今回(10月)の MITI(NEDO)による改善は Great Step だが。
 - 3) 日本では失敗を評価しないが、米国では Challenge の結果であり失敗した事のある人の方を評価する。特に Small Business では重要な見方だ。

③ Mission and Policy

* SRI

- ・ What Do We Do (Create Technology, License Technology, Create New Venture) で Pre-competitive Research を行う。然し、SRI Consultant や Spin out させた Small Business に IP の Royalty や Expertise を担保する方針に変更。
- ・ Peer Review での Proposal 評価や Work Shop で Performance が実質的に評価される。
- ・ SRI は Contract 契約率で研究者評価(低ければ駄目, 高くても能力不活用の評価)

* NIST

- ・ What Does NIST Do, to promote economic growth with industry
MSEL: Promote the more effective production and use of materials
- ・ Contract を取るのが管理者・研究者の仕事で、Work Shop や Conference を利用して自分達の Expertise と Market Needs が合うか常に交渉している。

* SEMATECH

- ・ The mission has changed from protecting the US industry from Japan, to helping the industry stay on the Moore Curve.
- ・ Consortium は Catch up するには良い組織体だが、Top Runner となるには Mission とそれを実現する Road Map 作成と組織体がいる(二ヶ月後に新 RM, 入手依頼)
(Strategic, Tactical, Operational の峻別と Totally Customer driven Operational Model 作成)

* UT

- ・ 企業や Consortium にはライフがあり再活性化(Re-Innovating)タイミングが重要。
- ・ 現在は市場技術優先でスピードが要求されるが米国は明日の研究が欠けている。

* IRI

- ・ 大統領・政府に対する Position Statement の発表、R&D Management Program の提供

④ JRCM に対する反響

- ・ Recycle 事業に反響大(NIST, SRI)特に、ダイオキシン面で(Cleaning 法の質問)
- ・ Super Metal が Cost Effective なら Great Research(NIST 細粒化法, SRI 磁場配向)
- ・ SEMATECH は「Light for the 21st Century」に関心大。

今後の課題

- ・ JRCM の組織はどうあるべきか(Mission, Road Map, Operational Model 推進)
- ・ JRCM/Pre-competitive Research と Industry/Competitive Development との役割分担

謝辞

訪米調査の機会を与えて下された JRCM / 藤原理事長・鍵本専務理事及び三菱マテリアル(株)吉住取締役に感謝致します。

訪米調査における会議出席メンバーリスト

11/15(月)13:00 ~ 17:30 SRI International 訪問 (窓口：Dr. Takao Kobayashi)

出席：Dr. Paul J. Jorgensen, Executive Vice President
Dr. Donald A. Shockey, Associate Director of Poulter Lab
Dr. Takao Kobayashi, Senior Staff Scientist, Metallurgy&Fracture Mechanics, Poulter Lab.
Dr. Iouri Balachov, Senior Research Engineer, Poulter Lab.
Dr. Gopala Krishnan, Program Manager, Materials Research Lab.
Dr. Matt. Henneberg, Senior Consultant, SRI Consultant Inc.
Dr. Eugene A. Thiers, Director of Specialty Materials, SRI Consultant Inc.

11/16(火)13:00 ~ JETRO / S F 訪問 (窓口：Mr. Hidetaka Fukuda)

Dr. Ruben Barrales, President, Silicon Valley Network (JETRO 紹介)

11/18(木)8:30 ~ 16:30 University of Texas 訪問 (窓口：Prof. Glenn Masada)

出席：Dr. Robert E. Hebner, Director of center for Electromechanics (元 NIST の Director)
Dr. Glenn Y. Masada, Vice Dean, Engineering and Professor, Mechanical Engineering
Dr. John Goodenough, Professor of Chemistry in Materials Science
Dr. Eric. M. Taleff, Assistant Professor of Materials Institute
Dr. Suman Das, Selective Laser Sintering, Lab. for Freeform Fabrication

11/19(金)9:00 ~ 13:00 SEMATECH 訪問 (窓口：Mr.Gupta/Mitsubishi Silicon America)

出席：Dr. Howard Huff, Senior Fellow, Gate Stack Engineering (Road Map 筆頭作成者)
Dr. Chi Shih Chang, Senior Fellow, Strategic Technical Assessment
Mr. Peter Zeitzoff, Program Manager of Process Integration Analysis
Dr. Kenneth A. Monnig, Associate Director of Interconnect Division
Mr. Chris Daverse, Manager of Government Affairs
Mr. Robert Ruliffson, Industry Analyst of Internal Technical Support
Mr. David B. Anderson, Director of Supplier Relations, International SEMATECH
Mr. Ashwin Ghatalia, Director of International 300mm Initiative, Int'l SEMATECH
Mr. Randy Goodall, Assoc. Director of International 300mm Initiative, Intn'l SEMATECH

11/22(月)9:30 ~ 11:00 IRI Inc.訪問 (窓口：Dr. C. F. Larson)

出席：Dr.Charles F. Larson, President of Industrial Research Institute, Inc.(元 MPC)

13:30 ~ 15:30 ATP, NIST 訪問 (窓口：Ms. Joy Brooks)

出席：Dr. Claire M. Saundry, Chief, Office of International and Academic Affairs
Ms. Joy Brooks, Information Specialist, Office of International and Academic Affairs
Mr. Marc G.Stanley, Assoc.Director, Policy & Operations, Advanced Technology Program
Ms. Carolyn A. Van Damme, Senior Advisor, Marketing and Communications, ATP

11/23(火)09:00 ~ 17:00 MSEL, NIST 訪問 (窓口：Ms. Dawn Bradley)

出席：Dr. Leslie E. Smith, Director of Materials Science and Engineering Laboratory
Dr. Kenneth L. Jewett, Scientific Advisor to the Director
Dr. Carol A. Handwerker, Chief of Metallurgy Division
Dr. Robert J. Schaefer, Deputy Chief of Metallurgy Division (昼食のみ)
Dr. Stephen D. Ridder, Process Metallurgist of Thermal Spray, Metallurgy Division
Dr. Richard J. Field, Metallurgical Engineer of Materials Performance, Metallurgy Division
Dr. Lyle E. Levine, Physicist of Formability, Metallurgy Division
Dr. Dale D. Berkley, Licensing and CRADA Officer (Partnership の説明)

米国技術動向及び共同研究の調査スケジュール

平成11年12月1日
研究開発部 間渕秀里

1. 目的

今般、21世紀における弊センターのあり方を検討する一環として、

- ①金属系材料（鉄・非鉄）、半導体関係の現状及び今後の開発課題の調査
- ②環境・省エネ関連の開発課題と金属系材料開発等に及ぼす影響調査
- ③米国における共同研究の現状（プログラム・組織等）調査
- ④併せて米国における技術移転、Small Businessの実態調査

を目的として、シリコンバレー地区（SRI International, Silicon Valley Network）・ワシントンDC地区（NIST, IRI Inc.）・サンベルト地区（SEMATEC, Texas 大学）について調査した。

2. メンバー

三菱マテリアル（株）フェロー：武下拓夫
JRCM 研究開発部長：間渕秀里

3. 期間

平成11年11月14日～11月25日

4. 米国出張スケジュール概要

月 日	訪問先	主要訪問目的等概要
11/14(日)	成田発→SF着(NW-28)	出国
11/15(月)	SRI International	材料関連の動向調査と共同研究の進め方
11/16(火)	JETRO-SF(SVN 社)	Small Business の現状調査
11/17(水)	SF 発→Austin 着(UA-1972)	Austin/Texas へ移動
11/18(木)	University of Texas	材料関連課題と将来動向の調査
11/19(金)	SEMATECH	半導体の動向調査と共同研究の進め方
11/20(土)		
11/21(日)	Austin 発→DC 着(UA-414)	Washington-DC へ移動
11/22(月)	IRI Inc.	産官学共同研究の進め方
午後	ATP, NIST	Advanced Technology Program
11/23(火)	MSEL, NIST	材料関連課題、共同研究の進め方
11/24(水)	DC 発 Detroit 経由(NW-265)	帰国
11/25(木)	成田着(NW-11)	成田着

SRI International

AGENDA

for
Dr. Hidesato Mabuchi, General Manager, JRCM
and
Dr. Takuo Takeshita, Fellow, Mitsubishi Materials

Date: November 15, 1999
Meeting Location: Room AA298

13:00-13:30	Introduction to SRI	Dr. Paul J. Jorgensen Executive Vice President
13:30-14:00	Introduction to JRCM	Dr. Hidesato Mabuchi
14:00-15:30	Open Discussion on Four Topics	Dr. Paul Jorgensen Dr. Eugene Thiers Dr. Matt Henneberg Dr. Angel Sanjurjo (Mr. Brock Hinzmann)
15:30-15:45	Break	
15:45-16:10	Recent Topics on Non-Ferrous Materials in Japan	Dr. Takuo Takeshita
16:10-16:30	Soviet Technologies on Metal Coating and Thermal Neutron Radiation Shielding	Dr. Iouri Balachov
16:30-17:30	Three-Dimensional Fracture Surface Analysis and New Approach to Material Development	Dr. Takao Kobayashi
17:30	Meeting Adjournment	



COLLEGE OF ENGINEERING

THE UNIVERSITY OF TEXAS AT AUSTIN

Department of Mechanical Engineering • ETC II 5.160 • Austin, Texas 78712-1063
Telephone (512) 471-1131 FAX (512) 471-8727

SCHEDULE

Dr Hidesato Mabuchi, Director of R&D, Japan Research Center for Metals
Dr. Takuo Takeshita, Fellow Mitsubishi Materials Corp.

8:30 Professor Glenn Masada, Meet at Hyatt Regency

9:00 Center for Electromechanics, PRC

10:00 Dr. Suman Das, selective laser sintering, PRC

11:30 Professor Eric Taleff, ETC 8.180

12:00 Lunch

1:30 Professor John Goodenough, ETC 9.184

2:00 Martin Wohler, tour of metals-related research, 8th and 9th floor ETC

2:30 Melanie Violette, composites-related research, WRW 103

3:00 Refreshments served for Seminar

3:30 Seminar, ETC 9.130

Dr Hidesato Mabuchi, "The Segregating Behavior of Alloying Elements Based on the Divorced Coincident Segregation in 5% Ni Steels by the Application of FE-TEM"

AGENDA

November 19, 1999

9:00--9:15	Welcome & International SEMATECH Overview Anderson
9:15--10:15	Semiconductor Materials Overview Takeshita/Mabuchi
10:15--10:45	Silicon Materials: Issues and Challenges Huff
10:45--11:15	Device Trends and Implications for Materials Zeitsoff
11:15--11:35	Interconnect Materials Challenges Monnig
11:35--12:00	Discussion All
12:00--13:00 (追加)	Cooperated R&D Daverse

- **Dr. Takuo Takeshita, Fellow, Mitsubishi Materials Corp.
Tokyo, Japan**
- **Dr. Mabuchi, R&D Director, Japan Research Center for
Metals (JRCM), Japan**
- **Dinesh Gupta, Mitsubishi Silicon America, Palo Alto, CA**



UNITED STATES DEPARTMENT OF COMMERCE
National Institute of Standards and Technology
Gaithersburg, Maryland 20899-0001

Agenda
for Visit of
Dr. Hidesato Mabuchi and Dr. T. Takeshita
The Japan Research and Development Center for Metals
Tokyo, Japan
Tuesday, November 23, 1999
Room B307/Materials Building

8:30 a.m.	Arrive NIST
9:00 - 10:00	Leslie E. Smith Director, Materials Science and Engineering Laboratory (MSEL)
10:15 - 11:15	Steve Ridder Metallurgy Division Thermal Spray
11:15 - 11:30	Break
11:30 - 12:15	Dale Berkley Office of Technology Partnerships Technology Services NIST-Industry Partnerships (CRADAs)
12:15 - 1:15	Lunch, NIST Lunch Club Ken Jewett, MSEL Robert Schaefer, Leader, Metallurgical Processing Division, MSEL
1:30 - 2:15	Presentation by JRDCM Dr. Mabuchi and Dr. Takeshita
2:15 - 3:15	Carol Handwerker Chief, Metallurgy Division, MSEL
3:20 - 4:10	Tour Stop, Room B256, Materials Building Richard Fields, Leader, Materials Performance Group Metallurgy Division Lightweight Materials for Autos
4:15 - 5:00	Tour Stop, Room A119, Materials Building Lyle Levine, Materials Performance Group Metallurgy Division Fundamental Studies of Formability
5:00	Depart for Dinner

NIST

(1) SRI International 訪問 (11 月 15 日 13:00 ~ 17:30)

①出席者

Dr. Paul J. Jorgensen, Executive Vice President
Dr. Donald A. Shockey, Associate Director of Poulter Lab.
Dr. Takao Kobayashi, Senior Staff Scientist, Metallurgy and Fracture Mechanics, Poulter Lab.
Dr. Iouri Balachov, Senior Research Engineer, Poulter Lab.
Dr. Gopala Krishnan, Program Manager, Materials Research Lab.
Dr. Matt.Henneberg, Senior Consultant, SRI Consultant Inc.
Dr. Eugene A. Thiers, Director of Specialty Materials, SRI Consultant Inc.

② SRI International について

- ・ SRI は 1946 年 Stanford 大学の付属研究所 (Stanford Research Institute) として発足。1970 年に大学から独立、1977 年に SRI International と名称変更。Menlo Park 市にある SRI 本部と Princeton 市郊外にある子会社 Sarnoff Corp. において情報・通信、化学・材料、医薬、社会政策の分野で非営利の組織として研究開発を実施。尚、調査・コンサルタント業務は SRI 内に設置した子会社 SRI Consulting Inc.で行っている。
- ・ 全世界で従業員 3000 名 (内研究者 2000 名) であり、予算規模は SRI (160M\$/Y)、Sarnoff (130M\$/Y)、SRIC (60M\$/Y) である。

③ SRI の Mission

- ・ What Do We Do の Policy で, Create Technology, License Technology, Create New Venture を Mission とする。コア技術として物理科学・医薬品の設計・バイオ技術の開発・政策立案があり、この Expertise をベースに Pre-Competitive Research を実施。
- ・ 政権交代や景気の波で、Non-Profit 活動に影響が大きく、SRIC や Spin Out させた Small Business で Intellectual Property (IP) の Royalty や Expertise の担保に方針変更。

④ 研究開発実績

- ・ 過去の実績としてマウスの開発・電子バンキング用磁気インキ・UCLA に次ぐ二番目の WWW 導入拠点としてのセキュリティー技術・燃料電池用プロトン導体。
- ・ 日本関係は通産省 (C60 の触媒としての応用, Carbon Nano Tube の FED としての応用)、NTT (光記憶用ペロブスカイト)、大阪ガス (天然 Gas Linepipe 用 Monitoring)
- ・ 誇るべき技術として耐食性向上・熱伝導度向上を図る Coating Technology を保有。Chemical Vapor Deposition (CVD), Fluidized Bed (FB) CVD, Plasma CVD, Dip Coating, Electrochemical Spark Oxidation (ESO) Coating 等により SiO₂, Cr, TiO₂, Si₃N₄, TiN, Si 単結晶膜の Coating 可能。特に FB-CVD では大型槽で IGCC の熱交換パイプの Cr Coating 実施。Turbine Blade への Si₃N₄ Coating や H₂S, NH₃, HCl 触媒等の表面改質も実施。又、Anion 空孔導入のために Er, Y を添加する SOF 電解質 Bi₂O₃ に保護膜 Coating、燃料電池用固体高分子膜に 1 μm 程度の Pd 膜付加も可能。

・その他開発テーマ

Smart Materials (50%Ti-Al 形状記憶), Fuel Cells (Polymer with Thin Metal), Metal/ Intermetallic Matrix Composite, Micro-Machining, Economical Cleaning of Scrap Metal (Dioxin), EAF Dust Recycle (Hoogobens, CSIRO), Bio-Catalysis, Bio-Materials, Bio-Polymers, Bio-Sensors Conductive Polymers, Diamond Thin Films, Solid State Micro-sensors

⑤今後の課題

- ・ CPU Software の発達によって Combinatorial Chemistry 手法のような同時並行的試験 (データ採取・処理) が可能となったので、材料・触媒開発等 Speed Up の実行。
(Design of Parallel Conducting and Multi-Experiments to Speed Up under Limited Capability)
- ・ DARPA Pre-Proposal: 疲労強度に強い Ti/Al 材料開発 (1) 不明な破壊荷重を三次元破面解析により逆問題として推定 (2) 破壊荷重より正問題として材料モデル開発。
- ・ Advanced Metal Compound for Catalysis or Bio-Chemical by Chemical Control of High-Purity, Nano-Morphology Control, Complete Nano-Structure Control
- ・ Nickel free Corrosion Resistant 3% Boron Steel for Spent Fuel Assemblies & Transportation Cask as Thermal Neutron Shields. (ソ連の 2%B 均一化技術の応用、日本との共研希望)
- ・ Advanced Coating Technology (ESO Coating, FB-CVD)

⑥産官学の共同研究

- ・ Social Benefit を追求する昨今では、One Company Funding はなくなり、大型プロジェクトでも Cofunding Cooperative Program (官民半々) になってきた。例: Advanced Battery Consortium, Integrated Combined Cycle Program, LNG Transportation Program, Reduced Emission Program, Nano Bio-Ceramic Materials, Semi-Conductor Manufacturing Technology
- ・ 大学は Specified Task の Joint Consortium の Sub-Contract として参加。
- ・ こうした Joint R&D で中央研究所方式の採用は良い成果が出ない。理由は競合企業が参加する時良い人材を派遣しないからである。一方、大学のセンター方式 (Center of Excellence) では良い成果が出ている。理由は長期的なターゲットであり良い人材がいるからである。

⑦知的財産について (政府投資 IP の取り扱い)

- 1) 開発企業に IP 所有権付与。
- 2) 企業が Commercialize しても政府が使いたい時は Royalty Free で使う権利保有。
- 3) 開発企業が Commercialize しない時は IP を取り上げる (Marching Right)

⑧政府機関の研究提案 (Proposal) の採用

* Peer Review (分野別専門家の評価): NSF Contract や小さな Project に採用され五人の審査員が評価する。(審査員には Sabbatical Leave の大学教授がなるケース多)
大学からの提案は 3 人が良いと言えれば採用されるが、SRI 等では全員が良いと言わねば採用されない。

* Congress (公聴会) : 大きな Project になると公聴会で審議されて競争も激しい。研究者の Work Shop や中堅レベルの官僚で組織された Coordinated Committee で Research Performance が議論され自ずと評価や次の Step が決まる。

・従って、上級管理者は根回しや PR のために大変忙しい。SRI では Contract 契約率で成績が評価され、率が高すぎると能力を活用していないと圧力がかかる。

・然し、政権が変わると官僚も替わるので評価の一貫性に欠ける。又、大学の研究はスピードが遅いという批判が現状ではあり、国立研究所では運営の問題が大きく指摘されている。

* Small Business R&D : 米国には Small Business Administration (SBA) があって、Small Business Set a Side Law により一定枠 (10M\$?) が確保される。然し, Innovative Research の Technical Capability や Expertise に政府は Fund しないので、Company が Fund を行う。政府は Sample として Fund するのみである。

⑨日米の Culture の違い

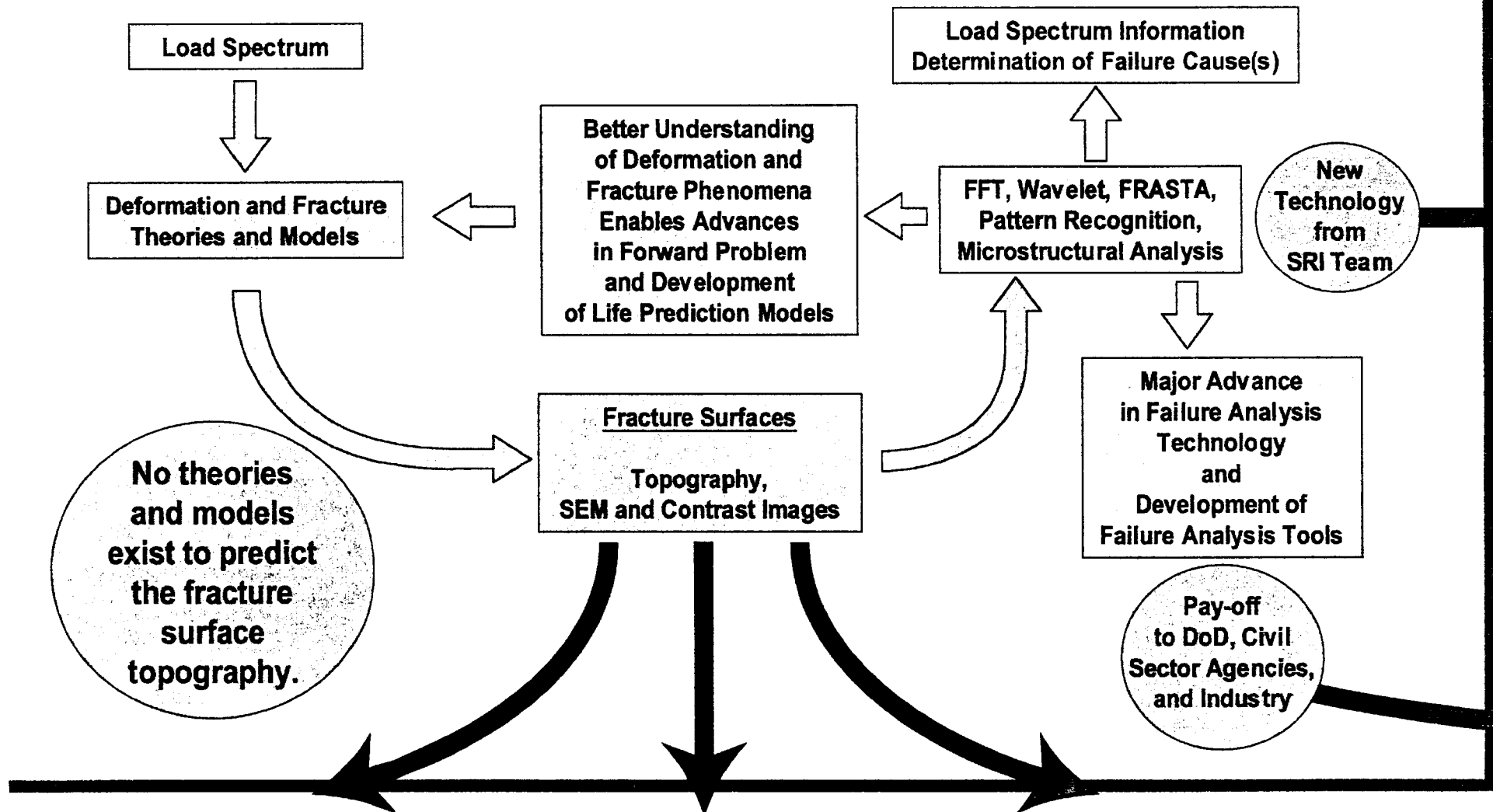
- 1) 米国は Center of Excellence を狙う大学が出してくる Creative な Top Researcher を Surround する。彼らは経験を積んで又、大学に復帰する。
- 2) IP の帰属は Creative Job をした人に限るべき、MITI (NEDO) 改善は Great Step だが。
- 3) 日本では失敗を評価しないが、米国では Challenge の結果であり失敗した事のある人の方を評価する。特に Small Business では重要な見方だ。
- 4) 殆どの Innovation は企業で行われる。米国政府は 50% の研究投資だが日本は 25% だった。日本も投資額を上げたので結果を注目している。(科学技術基本法だとすると企業への投資は増えていないのでは?)

Objective: Develop mathematics and technology for extracting information encrypted on fracture surfaces

Approach

Forward Problem

Inverse Problem



(2) JETRO/SF 訪問 (11 月 16 日 13:00 ~ 14:30)

福田秀敬氏の紹介によって、 Dr. Ruben Barrales / President, Silicon Valley Network の Joint Venture's Internet Clusters in Identified Eight Regions を調査。

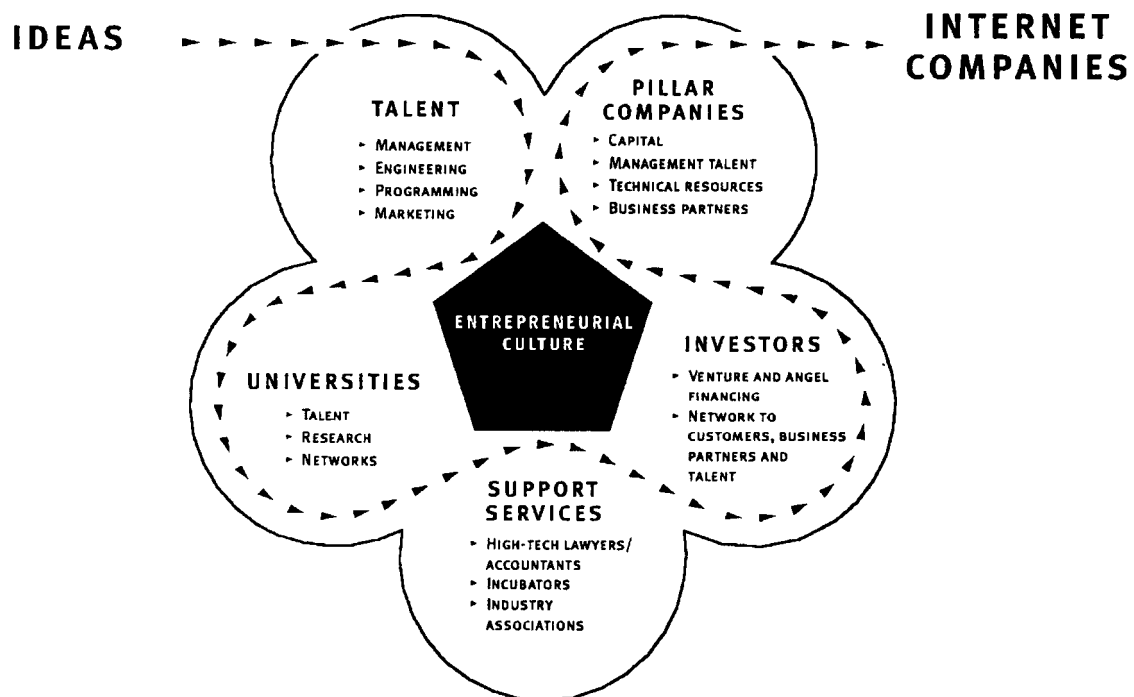
① Internet Cluster Regions の特徴と Established Industries の関係

- Silicon Valley : Silicon Valley : Hardware, Software, Semiconductor
- San Francisco : Multimedia Gulch : Media, Financial Service, Retail
- Seattle : Silicon Forest : Software
- Los Angeles : Digital Coast : Entertainment, Aerospace and Defense
- Austin : Silicon Hills : Hardware, Software, Research
- Washington DC : Silicon Dominion : Telecom, Government
- New York : Silicon Alley : Media, Publishing, Advertise, Financing
- Boston : Route 128 : Hardware, Software, Research, Venture-capital

② Paradox and Re-align 周期

- The past dominance in high-tech will not ensure the future dominance of the Internet industry.
- Moving on Internet Time may mean changing your business model every six months through re-design, re-construct and re-align.
- Silicon Valley faces a paradox as below:
how to remain in the geographic center of an inherently location less media.

③ Characteristics of Internet Cluster are five factors with Entrepreneurial Culture (企業家文明)



(3) University of Texas at Austin 訪問(11月18日 8:30 ~ 16:30)

①出席者

Dr. Robert E. Hebner, Director of Center for Electromechanics (元 NIST の Director)

Dr. Glenn Y. Masada, Vice Dean, Engineering and Professor, Mechanical Engineering

Dr. John Goodenough, Professor of Chemistry in Materials Science

Dr. Eric. M. Taleff, Assistant Professor of Materials Institute

Dr. Suman Das, Selective Laser Sintering, Lab. for Freeform Fabrication

② Texas 大学 Austin 校 (UT) について

金属鉱業事業団小林純一特別調査員のご紹介で副工学部長の Glenn Masada 教授を窓口として UT を訪問。Austin は Texas 州の州都(人口 60 万人)であるとともに、Silicon Hills と呼ばれる全米屈指の High-Tech 都市 (Internet Cluster) であり、UT を中心に半導体関係の Consortium が SEMATECH と MCC (Microelectronics Computer Consortium) と二つ存在する。UT は全米一の学生数 5 万人を誇るとともに、ランキング 10 位以内に Center for Electromechanics (予算 107M\$) を初めとして 3 学科が入っており、Center of Excellence を目指している。小型原子炉保有 (1MW)。

③ 共同研究の進め方について

● Dr. R. E. Hebner, Director of Center for Electro-Mechanics (CEM) (元 NIST の Director)

* CEM センターの Mission

主に Flywheel を使用したエネルギー貯蔵の研究であり、Lawrence Livermore Lab. で行っている核融合発電の電力貯蔵法の一つとして Flywheel 法の研究を元々始めた。その後、この応用として Homopolar Pulsed Welding (Line-Pipe の同時周溶接) を開発。

* 今後の研究開発

グローバルな経済は急激な変化をしているが、技術が経済の牽引車 (Driver) であることに変わりはない。これに関連した台湾での学会に参加して一層その意を強くしているとの事。又、次の二点の特徴がある。

・米国の R&D の変化が大きい。かつての科学と工学の重視から生産技術に R&D の重心が移っている。即ち、1950 年以降では Bell Lab. のような大きな中央研究所や研究大学が R&D の中心であった。最近の生産技術重視の考え方は実は米国が日本から学んだことである。即ち、日本は世界から有用な研究成果を手に入れて、それを実用化することに長けていた。

・現在は市場技術 (市場に出せる物を造る技術) にスピードが要求される。一社で全ての技術をカバーすることが不可能な時代になった。最近の傾向は 1) 研究よりも 1 ~ 2 年で成果の出る開発重視。2) コア技術への特化。3) チャーン経済化 (Churn Economy : 次から次ぎに物や職業が変わる経済))

* 産学の共同研究について：

- 1) 企業は新しい分野を開拓することが困難になってきている。
- 2) 大学の一番重要な使命は学生を企業に送り出すことである。
- 3) 大学が開発した IP の取扱いは企業がそれを使って成功することを主眼とする。
- 4) 企業は収益を上げることが重要である。IP を企業に渡した後に数年経っても企業がそれを利用しないならば、大学の IP を返却して貰うべきである。
- 5) 研究の市場メカニズム

・自由市場モデルは日米では異なるかも知れない。アメリカのモデルがベストかどうか確信を持っていない。当 CEM センターの生残りは生産(研究成果)を維持できるかどうか懸かっている。

* 企業－大学の共同研究は直接契約をした短期間で研究の成果が出ると思う。

(Austin に事業所のある 3M は六ヶ月、三ヶ月で結果を求める研究依頼がある)

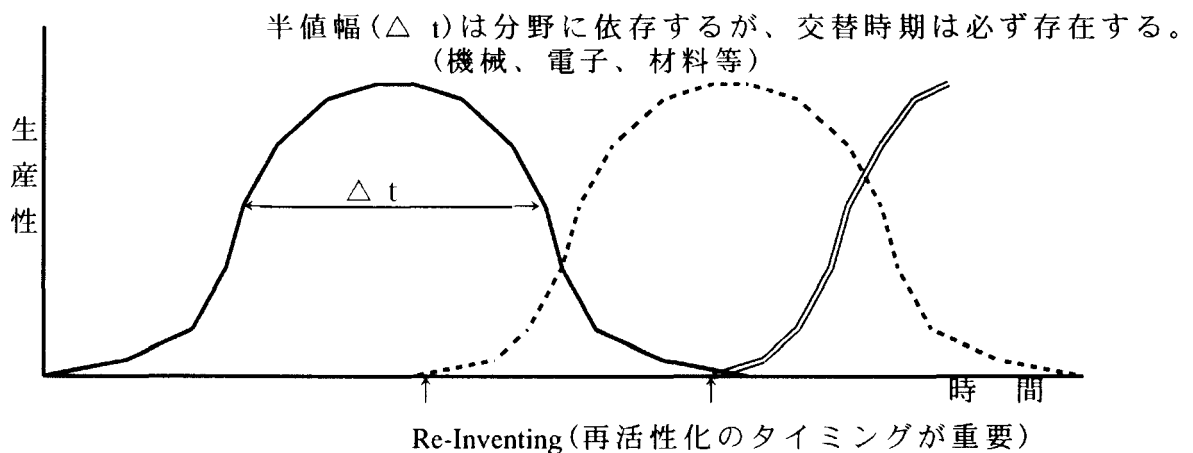
* 企業－大学－政府間の研究は長期的な研究をする方が成果が上がるであろう。

* EPRI, MCC, SEMATECH 等の Consortium は初期には良い成果を出す、次第に尻
窄みになるので、駄目になる前に再活性化(Re-Inventing)する事が必要である。

(再活性化に決まった方法はないが幹部交代・分野再検討・自分で判断等がある)

大学(CEM のようなセンター?)も同じような考え方で運営すべきである。

Performance



④現状の開発テーマ

- ・ Pearlite in Ultrahigh Carbon Steels with 1.6%Al Doped
- ・ Warm-Temperature Super Plasticity in Al-5%Mg Alloys (Solute Drag Creep)
- ・ Composite Fabrication/6Al-4V-Ti by Flywheel, Rail Gun, Electric Gun
- ・ Oxygen Enriched Aqueous Waste and Sludge Treatment by Supercritical Water Oxidation
- ・ Homopolar Pulsed Welding (Simultaneous Resistance and Forged Girth Welding) of Linepipe Steel
- ・ Electrochemical Flywheel Battery and Active Vehicle Suspensions

⑤今後の開発テーマ

- ・ Selective Laser Sintering of Polymers, Ti6Al4V and Inco 625
(Freeform Manufacturing of Turbine Blade, Jet Nozzles and Cubic Balls by 3D Controlled Laser)
- ・ Homopolar Pulsed Consolidation of Powder Materials

⑥研究者の資質

● Dr. J. Goodenough, Chemistry in Materials Science (77 歳で UT の Chair Professor)

- ・ 教授は日本の JRCAT (Joint Research Center of Atom Technology) の技術誌を見せて、このような活動は大変好ましいと前置きして、最近の米国は今日の研究ばかりで明日の研究をしていないのが問題だと指摘。
- ・ 大事なことは技術者・研究者が重要な技術の Goal を良く認識している事と同時に自由が与えられていないといけない。(Foresight が重要という意味か?)
- ・ 電気自動車のエネルギー源にバッテリーは実用的でなく燃料電池が好ましいと考えた。燃料電池の燃料にはアルコールが良く、これを分解して水素を取り出すには触媒が要る。彼は 1974 年にエネルギー問題が起こる事を予想して、原子力か太陽光発電による電力の貯蔵が必要と考えた。最適なエネルギー貯蔵法は化学エネルギー即ち C に貯蔵することであり、化学エネルギーを電気エネルギーに変換するために燃料電池が必要になると気付いた。
- ・ Na 電池は高温で Molten Na を使う本質的に困難な問題があった。Li Battery にしても Li Metal/TiS₂ を使う問題があり LiMnO₂ を提案したが、英国は全く興味を示さなかった。日本(ソニー?)がこの特許を買って実用化した。ここで TiS₂ を LiMnO₂ に変えるアイディアは両者とも Layered Compound である点に気付いたからである。尚、カナダの Hydro-Quebec が Li_{1-x}FePO₄ で商業生産しているとの事?。

* 優れた科学者について: 1) 想像力がある。2) 広い知識を持っている。3) 科学と工学の素養を併せ持つ。の三点が必要である。これらは大学で教育できないので自分で身につける (Develop) ことである。

* 発見について: 1) 環境、2) 競合 (科学者対工学者)、3) タイミング、の三点が良い発明には必要である。例として Bell Lab におけるトランジスターの発明がある。

* 自分の体験

- ・ 核物理で学位を取り MIT の Lincoln Lab. に職を得たが、物理学者としての能力の限界を悟り工学者との架橋に役割を求めた。
- ・ 大予算のついたフェライトコアの開発に従事して上司と二人でこれを二年間で完成させた成果を研究所長に報告した。その時所長は [Now, you worked out yourself, you are out of job.] と言われた。研究が終われば人は要らなくなるのだが、科学者と工学者の両方の良い経験をした。
- ・ DOE は管轄下の研究者雇用の為に金を使っており成果が出ない。(Moral hazard)
- ・ 日本の研究者のリタイアは早すぎる。

(4) SEMATECH 訪問(11月16日9:00～13:00)

①出席者

Dr. Howard Huff, Senior Fellow, Gate Stack Engineering (Road Map の筆頭作成者)
Dr. Chi Shih Chang, Senior Fellow, Strategic Technical Assessment
Mr. Peter Zeitzoff, Program Manager of Process Integration Analysis
Dr. Kenneth A. Monnig, Associate Director of Interconnect Division
Mr. Chris Daverse, Manager of Government Affairs
Mr. Robert Ruliffson, Industry Analyst of Internal Technical Support
Mr. David B. Anderson, Director of Supplier Relations, International SEMATECH
Mr. Ashwin Ghatalia, Director of International 300mm Initiative, International SEMATECH
Mr. Randy Goodall, Associate Director of International 300mm Initiative, International SEMATECH

② SEMATECH について

Mr. D. Gupta, Mitsubishi Silicon America のアレンジで Mr. D. Anderson を窓口として SEMATECH (SEMiconductor MANufacturing TECHnology) を訪問。SEMATECH (13 charter members) 自体は 1987年に設立されたが、300mm Si Wafer を開発するために1998年に100%子会社の International SEMATECH (Hyundai/Philips 等14社) を新設した。両組織は来年1月に統合されることが決定している。予算規模(50M\$/Y)。

一方、SEMATECH は別組織である SRC (Semiconductor Research Corporation) 及び SRC (Intel, Compaq, IBM 等13社) の子会社である MARCO (Microelectronics Advanced Research Corporation) と役割を分担しており、役員会・戦略会議等に互いに出席を認めて、共通の目標に向かって一体的な研究開発活動を行っている。

③ SEMATECH の Mission (日本の Catch Up から Top Runner に狙いを変更)

～1998: SEMATECH and International SEMATECH will create shared competitive advantage by working together to achieve and strengthen manufacturing technology leadership, with the vision of world's premier consortium, accelerating the semiconductor revolution.

1999～: The consortium's mission has changed from protecting the US industry from Japan, to helping the industry stay on the Moore Curve, by expanding membership to include non-US members about 50% world's share, in a win/win scenario.

- We face several expensive and critical technology challenges, such as Advanced Lithography, Copper Wire Bonding, Low K Dielectrics, Gate Stack Changes.
- We need to accelerate the technology roadmap, Move to 300mm and more.
- Pre-competitive cooperation is the most cost effective way to attack these challenges.

④ Cooperated R&D of SEMATECH

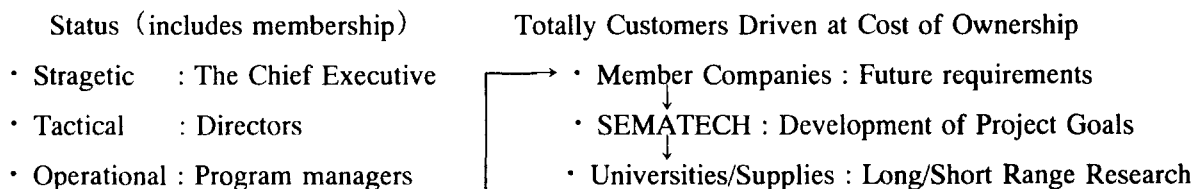
(SEMATECH is not funded by Government anymore.)

* Industries / SRC / SEMATECH / MARCO の役割分担 (別紙参照)

Production Generation

- N+3 or more MARCO : Exploratory Research (Basic Creative Research)
- N+2 to N+3 SRC : Cooperated Research (Specified Applied Research)
- N+1 to N+2 SEMATECH : Pre-competitive Development (Applied Research)
- N to N+2 Industries : Competitive Development (Product/Process Commercializing)

* Decision Making with Operational Model (別紙参照)



* SRC Mission

- SRC's mission is to cost-effectively exceed member's expectations, being guided by the International Technology Roadmap for Semiconductors (ITRS : 一例参照).
- Collaboration to enhance commercialization and leveraged research.

* Focus Centers by Funding of 10M\$ annually (50% SIA, 25% DOD, 25% Suppliers)

(SIA : Semiconductor Industry Association)

- UC-Berkeley Group : Design and Test (Prof. R. Newton) → 9大学
- Georgia Tech Group : Interconnect (Prof. J. Meindl) → 5大学

⑤ 現状の課題

- Advanced Tool Development Facility (Lithography, Interconnect, Front End Process)
- 200mm/300mm Wafer
- 20 to 30% manufacturing cost improvement per year

⑥ 今後の課題

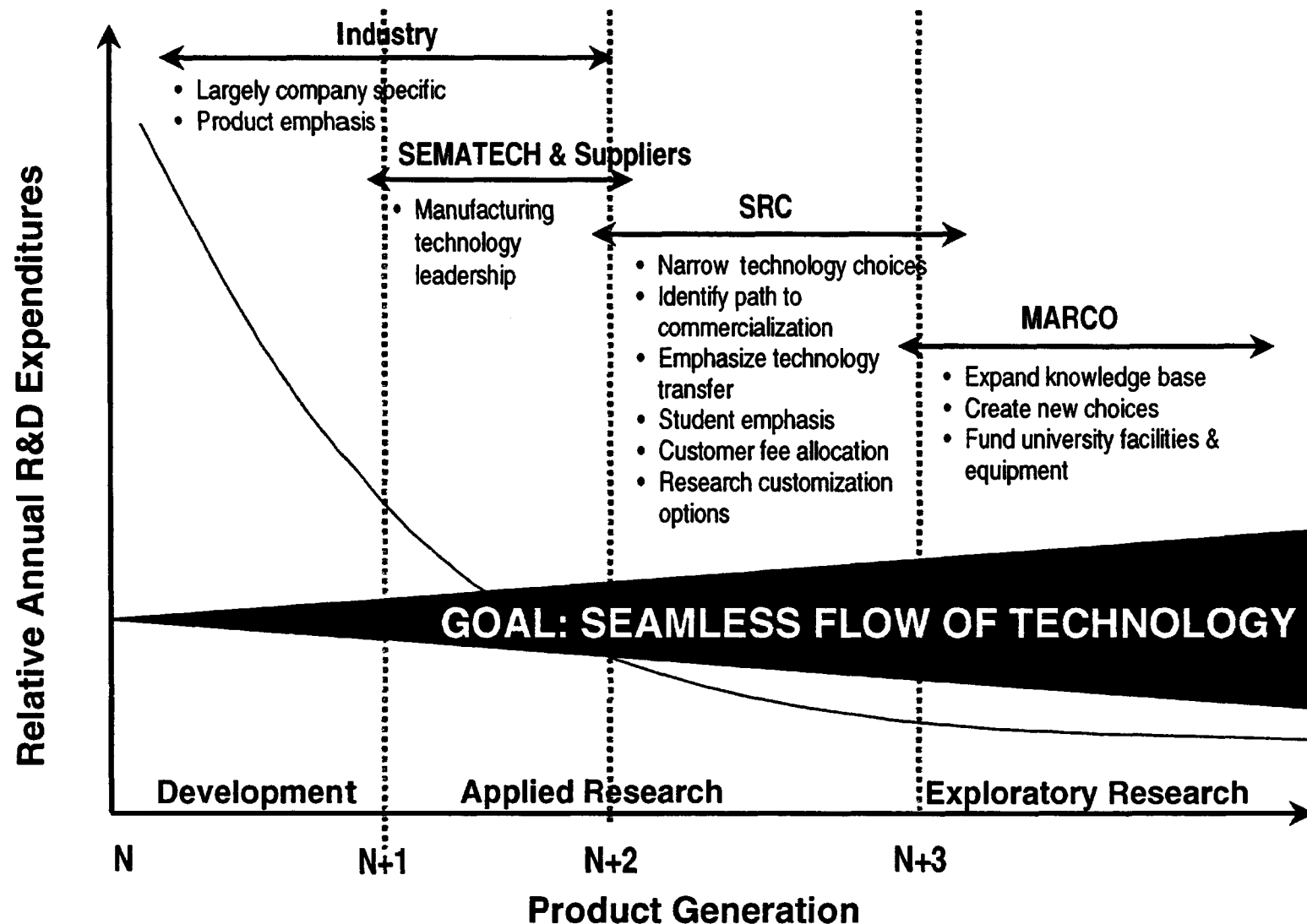
- CMOS 用次世代 Lithography 技術 (180nm/1999 to 100nm/2004, further 50nm/2010)
- Cu 配線技術, 低誘電率物資, 100nm 未満 Gate 集積技術の開発
- 300mm Wafer の早期戦力化、450mm or 675mm Wafer
- SiO₂ Gate Dielectric, High K Gate Dielectrics (Si₃N₄, TiO₂, Ta₂O₅)
- 70nm Lithography には B 拡散防止や高 Doping Layer を実現する Rapid Annealing 必要
- 素子微細化 (Interconnect) には 100~70nm で配線から Si Wafer への Cu 拡散防止

(入手資料) Howard R. Huff : Materials (Front-end)

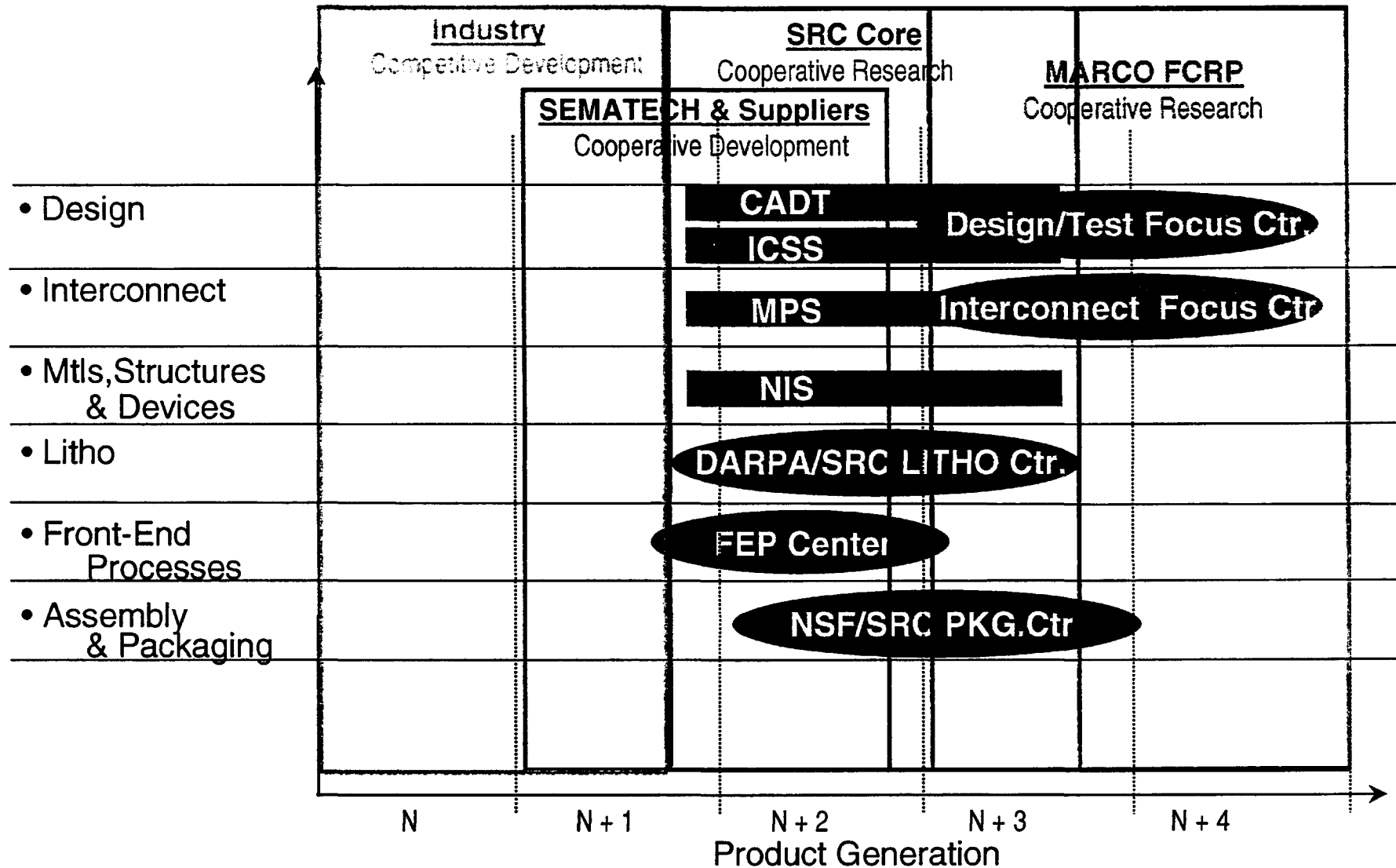
Peter Zeitzoff : Device Scaling Trends and Implications

Kenneth A. Monnig : The Coming & Ongoing Changes in IC Interconnect Fabrication

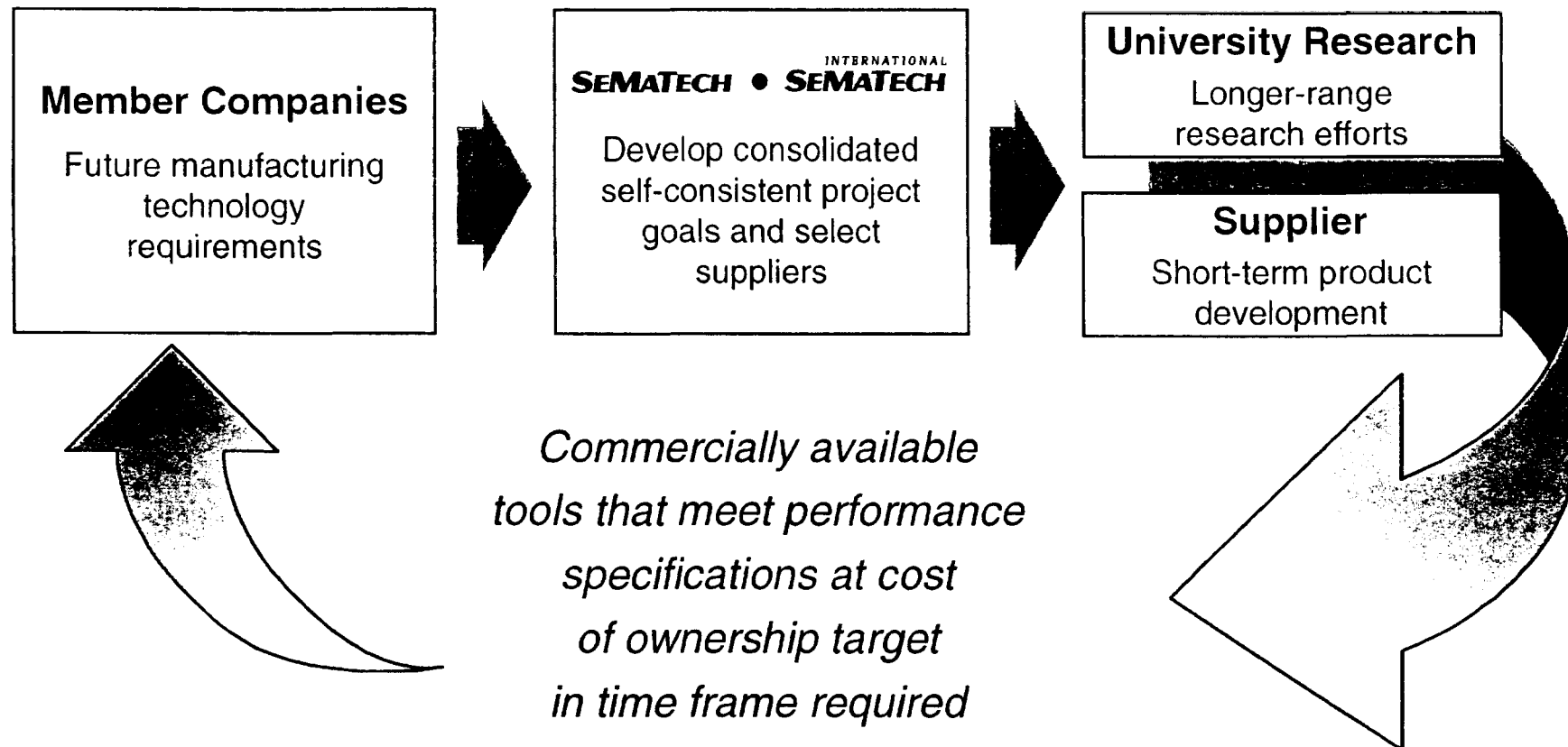
SRC/SEMATECH/MARCO Roles



Inventory of Research



Operational Model

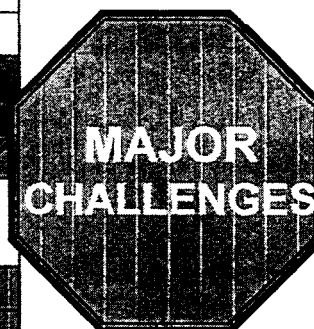


Totally Customer Driven

Condensed 1999 Draft ITRS

Year of First Product Shipment Technology Generation	1999 180nm	2002 130nm	2005 100nm
Number of metal levels—DRAM	3	3-4	4
Number of metal levels—logic	6-7	6-7	8-9
Reliability—logic (FITs/meter) x 10 ⁻³	1.5	0.8	0.5
Planarity/dishing requirements	250/ 158	200/ 130	175/ 112
Minimum interconnect pitch—DRAM (nm)	360	260	200
Minimum interconnect pitch—logic (nm)	450	325	230
Metal h/w AR—logic (Cu Minimum features)	1.4	1.5	1.7
Intermediate interconnect pitch—logic (nm)	560	405	285
Metal h/w AR—logic (Cu DD Intermediate features)	4.1	4.3	4.6
Global interconnect pitch—logic (nm)	900	650	460
Metal h/w AR—logic (Cu DD Global features)	3.8	4	4.3
Contact aspect ratio—DRAM maximum	6.3	7.5	9
Min metal effective resistivity ($\mu\Omega\text{-cm}$) *****	2.2	2.2	2.2
Barrier/cladding thickness (nm)	23	13	3
Minimum interlevel metal insulator—effective dielectric constant (k)	4.0-3.5	3.5-2.7	2.2-1.6

2008 70nm	2011 50nm	2014 35nm
4	4	4
9	10	11
9,200	17,000	-
0.3	0.1	-
175/-	175/-	-
140	100	70
165	120	85
1.9	2.1	2.2-2.3
210	145	110
4.8	5.1	5.4
330	240	170
4.5	4.9	5.2
10.5	12	13.5
1.8	1.8	1.8
0	0	0
1.5	1.5	1.5



- * Computed at 30% metal coverage for the sum of M1 - Mn
- ** FIT—failure in time
- *** Metal and via Ars are additive for DD process flow
- **** Computed for the M2 wiring level assuming a conformal barrier

(5) IRI Inc.訪問(11月22日9:30～11:00)

①出席者

Dr. Charles F. Larson, President of Industrial Research Institute, Inc.(元 MPC)

② IRI Inc.について

IRI Inc.(Industrial Research Institute: 全米産業研究所)は NRC(National Research Council)の支援の下に、他の技術協会とは異なる Research Director の協会として産業界・政府・大学の代表者を集めて 1938 年に設立された。更に、大学・政府・産業界の連携を促進するために非営利の機構(Non-Profit Organization)として 1945 年に NRC から独立した。IRI は個人会員ではなく企業会員からなる協会(292 社・予算 3M\$/Y・スタッフ 11 名)で、日本からは新日鐵・トヨタ・三菱電機等が加入している。

③ IRI の Mission

- 1) To enhance the effectiveness of technological innovation in industry.
- 2) To identify the management of Research, Development and Engineering for business growth.
- 3) To declare IRI Position Statement on US Economic and Technology Policy since 1978.

(A Message to the Presidential and Congressional Candidates in 1999)

- *Improve the economic climate for technological innovation and competitiveness in private sector.
- *Develop a technology policy appropriate for the global marketplace and the competition.
- *Maintain the strong role of government in supporting undirected basic research in universities aimed at advancing human knowledge in science and engineering.

④ Cooperated Programs of IRI(支援と連携)

- IRI provides professional programs/symposium to develop the technological innovation and the management of R&D, but any financial assistance is not provided by IRI.
- University Relation Committee is to foster interactions between companies and universities, and to continue discussions on the future of the research universities.
- Federal Science and Technology Committee serves as the primary liaison between IRI and Federal Agencies on policies and programs of national interest.
- Similar Organization: IIR(Institute for International Research), IPQC(International Productivity and Quality Cooperation), PDMA(Product Development Management Association)
- Dr. Martin Prager (MPC-WRC) can provide future research subjects, he is the real expert in materials and cooperated R&D in the US.

⑤ On the R&D(スピードと効率)

- *We must take a risk to succeed a business, then it is needed to have 3000 ideas to produce a commercial product.
- *Intellectual capital is the most important asset for companies. The property of GM is much more than that of Microsoft, but the share value is entirely adverse.
- *75% of the US economic growth is supported by the technological development.
- *The basic research in USA is being done by the private corporations with the increase of 79% in the past five years, while Federal support is decreased.
- *R&D leader should access everywhere technology development in the most cost-effective manner, treat effectively intellectual capital of own company and focus on speed in the commercialization of new technology.
- *CRADA (Cooperated Research and Development Agreement) are not welcomed by industries due to many paper working and reporting.
- *Japanese Professors now can work outsidess of universities by the change of government.

(入手資料)

- *1999 Annual Report of Industrial Research Institute
- *Research / Technology Management
- *R&D Trends Forecast for 2000
- *Critical Success Factors for R&D Leaders
- *Technological Innovation and Global Competitiveness in the United States
- *Integration of Manufacturing with R&D and Marketing for Global Competitiveness
- *Industrial R&D in 2008
- *R&D Industries

(6) ATP, NIST 訪問(11月22日 13:30 ~ 15:30)

①出席者

Dr. Claire M. Saundry, Chief of International affairs, Office of International and Academic Affairs

Ms. Joy Brooks, Information Specialist, Office of International and Academic Affairs

Mr. Marc G. Stanley, Associate Director, Policy & Operations, Advanced Technology Program

Ms. Carolyn A. Van Damme, Senior Advisor, Marketing and Communications, ATP

② NIST 概要

・ NIST(National Institute of Standard and Technology)は商務省の所属機関(Non-Regulatory Federal Agency)であって、四つのプログラムの実行を通じて、その Mission を果たす。

第一のプログラムは、MSL(Measurement and Standards Laboratories) Program による測定及び標準のインフラ整備と要素技術の確立における Technical Leadership を発揮する事を目的とする。MSL には8つの研究所が存在する。

- | | |
|--|--|
| *Electronics and Electrical Engineering Laboratory | *Manufacturing Engineering Laboratory |
| *Chemical Science and Technology Laboratory | *Physics Laboratory |
| *Materials Science and Engineering Laboratory | *Building and Fire Research Laboratory |
| *Information Technology Laboratory | *Technology Services |

NIST には三つの Cooperated Program が存在し、ATP(Advanced Technology Program)、MEP(Manufacturing Extension Partnership) 及び NQP(National Quality Program) の特徴は下記。

ATP : High Risk Technology を産業界主導で NIST との Partnership(コスト分担)で開発。

MEP : 500 人以下の Small Business の競争力を世界的にする。全米に 78 Centers 存在。

NQP : Exceptional Quality Program として、Quality Management and Award を通じて競争力ある製品、サービス、プロセス面の改善でインセンティブ向上を図る。

・ 予算規模 : 768 M \$ (1999FY)

NIST Laboratory Program:275M\$, Research Facilities:57M\$, MEP:128M\$, ATP:197M\$,

NQP:5M\$, Other Federal Agency:68M\$, Sales Fees:37M\$(標準物質等の売上げ)

Other Federal Agency 内訳 (DOD:39%, DOE:10%, NASA:9%, DOC:11%, Others:31%)

・ スタッフ構成(1999)

Full Time Staff : 2942(外数で Part Time : 400)、

管理(Administration) : 20 %、研究(Professional) : 54 %、技能(Technician) : 26 %

Professional Staff の内訳

物理:22%、化学:12%、工学:26%、CPU 科学:20%、数学: 4%、その他:16%

博士:51%、修士:22%、学士:23%、None:4%

③ NIST Mission について

What Does NIST Do? NIST's Primary mission is to promote economic growth by working together with industry to develop and apply technology, measurements and standards.

Then, NIST carries out its mission through a portfolio of four programs.

*Cultural Underpinning of NIST

*Challenge is to be the best in the world

④ ATP について

本年は ATP 開始 10 年周記念、468 Projects, 157 Joint Ventures, 3B\$

*Policy: ***Bridge the Gap between the Laboratory and the Market***

*Mission: Accelerate the development of innovative technologies for broad national benefit through partnership with the private sectors.

*ATP funds the R&D challenges of industry for the 21st Century.

- ・Impact : High Risk, Leap-Frog Technology, Multiple Applications, Broad Diffusion
- ・Funded only to Prototype Innovative Technology, National Benefit, Partnership with industry
- ・Aiming Longer-Term Development of Technology than the Focus on Short-Term Return by Global Competition
- (Rapid Development and Commercialization of Technology more than ever)

*Rules for Single Applications : Max 3 年, 2M\$上限, IP is owned by for-profit companies.

Rules for Joint Ventures : Max 5 年, 最少 2 for-profit companies, 金額無制限,
IP is owned by for-profit companies.

* Project としての Proposals 選択基準と選択プロセス

- 1) Evaluation Criteria : 技術的効果 (Scientific and Technological Merits) : 50%
経済的効果 (Broad-Based Economic Benefits) : 50%
- 2) Selection Process : Full Proposal → Screening → Classification → Peer Review through 1)
→ Oral Review (Semifinalists Identified) → Final Selection

⑤ ATP 成功例 : Success Story

*Nanophase Technology (Nanosized Ceramic Powder for Cosmetics, Semiconductors, Polishing Slurry), Manufacturing Composite Structures, Premium Power for Fuel Cell, Motor Vehicle Manufacturing Technology, Vapor Compression Refrigeration Technology, Materials Processing for Heavy Manufacturing

*Printed Wire Boards of Semiconductors, Component-Based Software, Photonics Manufacturing, Digital Data Storage, Digital Video Information Networks, Microelectronics Manufacturing Infrastructure

*Catalysis and Bio-Catalysis

*468 ATP Awards

Materials and Chemistry:23%, Electronics and Photonics:22%, Biotechnology:17%,
Manufacturing:12%, Information Technology:26%

⑥現状 Project

1) Discrete Manufacturing

*A system solution to a quality problem in auto body manufacturing (Auto Body Consortium)

*Robot navigation technology

*New models to speed the development of electronics components

*Better precision for machine tools through thermal-error correction

2) Materials and Environment

- *High-temperature superconducting coils for electric motor efficiency
- *New materials for new-generation thermal insulation
- *Thallium/Lead thin films for advanced superconducting electronic devices
- *Recycling mixed plastics
- *A process for making ceramics parts
- *Making low-cost, high quality glass microlenses at low temperature
- *Methods for making new optical switches
- *Highly sensitive detectors for biomedical and environmental diagnosis
- *Process for growing large, single silicon carbide crystals
- *Flat fluorescent for displays

(入手資料)

- Guide to NIST
- Performance of Completed Projects
- Business Planning and Progress of Small Firms in Technology Development through ATP
- ATP Eligibility Criteria for US Subsidiaries of Foreign-owned Companies
- Proposal Preparation KIT for ATP

(7) MSEL, NIST 訪問(11 月 23 日)9:00 ~ 17:30

①出席者

Dr. Leslie E. Smith, Director of Materials Science and Engineering Laboratory (所長)
Dr. Kenneth L. Jewett, Scientific Advisor to the Director
Dr. Carol A. Handwerker, Chief of Metallurgy Division (部長)
Dr. Robert J. Schaefer, Deputy Chief of Metallurgy Division (昼食のみ)
Dr. Stephen D. Ridder, Process Metallurgist of Thermal Spray, Metallurgy Division
Dr. Richard J. Field, Metallurgical Engineer of Materials Performance, Metallurgy Division
Dr. Lyle E. Levine, Physicist of Formability, Metallurgy Division
Dr. Dale D. Berkley, Licensing and CRADA Officer (CRADA Partnership の説明)

②材料科学工学研究所(MSEL)の概要

NIST の MSEL (Materials Science and Engineering Laboratories) は中性照射用の小型原子炉 (10MW?) を保有して、ASTM の材料や硬度の標準化等も実施する旧 NBS (National Bureau of Standard) 時代からの伝統ある研究所であり、4 部 2 センターで構成されている。

- 1) Div. of Materials Reliability (Boulder 本拠) : Materials Characterization/ Process Sensing and Modeling/ Structural Materials/ Materials Evaluation
- 2) Div. of Metallurgy : Electrochemical Processing/ Magnetic Materials/ Materials Performance/ Materials Structure and Characterization/ Metallurgical Processing
- 3) Div. of Polymers : Electronic Applications/ Polymer Blends and Processing/ Polymer Composites/ Polymer Characterization/ Dental Medical Materials
- 4) Div. of Ceramics : Powder Characterization and Processing/ Mechanical Properties/ Film Characterization and Properties/ Materials Microstructural Characterization/ Surface Properties
- 5) Center for Neutron Research : Cold Neutron Project/ Neutron Condensed Matter Science
- 6) Center for Theoretical and Computational Materials Science : Phase Diagram/ Modeling for Formability/ Influence of Thermal Stress on Si Wafer/ Thermo Calc etc. (only by 3 staffs)
ここは予算 0.5M\$ の 3 名による Virtual lab. 組織である。Work Shop 等で課題抽出して WG 結成により Theoretical Modeling で貢献。(例: Solder Interconnect Design)

* 予算規模: 55M\$、人員: 320 名 Total Staff (270 名 Technical)、400 名 Guest Researchers

* Collaborated Research : 67 Active CRADAs (④注記) 及び 3 Consortia (下記)

3 Consortia (Lead free solder, Aerospace casting, Forming sheet steel and aluminum)

③ MSEL Mission と Contract の採用方法

- Promote the more effective production and use of materials through the development and implementation of a measurements and standards infrastructure for materials.
 - *Fundamental understanding of important materials (Phenomena and Technologies)
 - *Materials Characterization and Leadership to Standards
- * Program 選択基準(別紙) : Need, Mission, Prospect, Impact, Capability, Opportunity
- * Performance 評価基準(別紙) : Accomplishment, Output, Significance, Effect, Impact
- * NIST の管理者・研究者は Contract を取るのが重要な仕事であり Work Shop や Conference の機会に、NIST の Expertise と Market Needs が合うかテーマ発掘・Contract 獲得に努力。

④ Industrial Partnership としての CRADAs

- CRADAs (Cooperative Research and Development Agreements) は 1986 年に発足, 328 件
- IP や Confidential matter の Joint R&D を目的 (Guest Researcher には Agreement 締結)
 - NIST の設備や他の National Lab. の人的資源や設備を使つての Collaboration を認可
 - NIST は CRADA Collaborator に資金を供与する事は許されていない。
 - NIST の IP は排他的利用且つ特許出願から 1 月以内に Industrial Partner が知る権利保有
 - 成果の発表は NIST の許可がなければ最長 3 年間、あつても 1 年間は抑制される。
 - 米国政府は CRADA 発明の IP に対して、Royalty Free で使用する権利を有する。
 - 問題は CRADA を通じての発明は米国内で製造された物の販売と使用に限定される。

⑤ Div. of Metallurgy の活動について

- * PNGV Consortium の一部として高張力鋼と Al 合金との加工性 Modeling によって、材料をデザインするための加工性予測モデルを研究開発中。
 - Steel must be dominant, since Al is too small and the trend is to lighter materials like Mg or Polymer through Al. Final trade off is recyclability among materials.
- * Metal Processing Group は 11 成分系計算状態図、拡散、Modeling (Thermo Calc) 担当
 - Ni-based super metal/single crystal (Howmet) for turbine blade を GE 向けに短期間に開発
 - Environmentally Friendly Pb-free Solder は状態図も含め 1997 年に開発完了 (Report 入手)
半導体関係の熱歪みをもっと少なくしたいというニーズによって、EMI (National Electric Manufacturing Initiative) が新しい Task Force を結成。NIST は Phase Diagram 及び Failure Analysis について Expertise 面から参加。日本 2001 年・欧州 2004 から Pb フリー化。
- * 環境、省エネ、情報等 Market Needs に近い分野ばかりに政府は Fund して、Industries も Long-Term Issue をしない。JRCM のような環境を考慮した Recycle の研究開発は個人的には重要と思うが、長期的な分野には政府は金を出さない。
(これは MSEL の本来の仕事だが、コストと環境の Trade Off となる。)

⑥現状の研究開発課題

* Electronic Assembly

Solder Interconnect Design/ Stress Analysis in Electronic Package/ Dislocation Behavior in Si Wafer/ Metallurgy of GaN Semiconductors/ Critical Properties of Low-K Dielectrics

* Metal Characterization

Thermal Properties of Multilayered Materials for Power Generation/ Performance of A841 and A844 Steels and Al Alloys for Structural Uses and Ti-Al-Nb Alloys for Air Force/ Materials (Duplex Stainless Steels, Highly Nitrogenated Stainless Steel and ASTM G61/G48 by Powder Metallurgy in Corrosive Media

* Magnetic Materials

Micromagnetic of Thin Magnetic Films for Hard Disc and Anti-lock Brake Systems/ Magnetic Properties of Nanomaterials/ Magnetic Properties of Superconductors

* Metals Processing

Powder Atomization and Thermal Spray Process for White Cast Iron, Ferritic Stainless Steel and Inconel 625/ Electrodeposited Coating on Al Alloys/ Electrogalvanized Coating on Steel/ Electrodeposited Cr and Cr Alloys from Trivalent Electrolytes/ Electrochemical Processing of Nanoscale Materials (Cu/Co on Si or GaAs)

⑦今後の課題

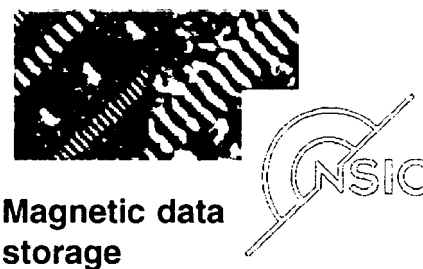
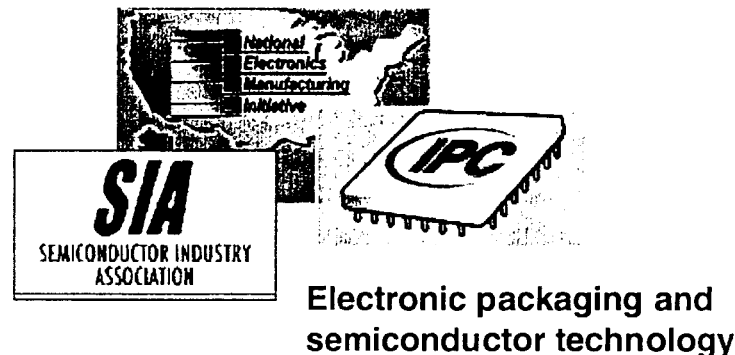
- Suppression of Abnormal Growth in Cu-ED (Electrodeposited?) on Tip Metallization
(by Additives such as Organic, NaCl, MPSA, PEG)
- Thermal Barrier Coating by Newly Introduced Laser Thermal Spray Method
- Nanoscale (Nanophase, Thin Structure) Magnetic Materials with Layers
- NNS Foam Metals (低誘電材料半導体、医療歯科用)
- Phase Transformation in Polymers

(入手資料)

- Final report on Lead Free Solder Project
- Metallurgy, 1998 Programs and Accomplishments, MSEL, NIST

NIST's Program Selection Criteria

- Industrial need
- Match to mission
- Prospect for change
- Anticipated impact
- Capability to respond
- Scientific opportunity



Measures of Performance

Accomplishment

Scientific hypotheses validated or disapproved
 New questions raised, promising new avenues for development
 Data produced
 Test developed
 Instrument built

Did we do or learn anything?

Output

Publications, reports
 Talks, presentations to companies
 Standards published or produced
 Data published

Did we tell anyone?

Significance

Paper citations, awards
 Invitations to speak at meetings or to companies
 Significance of meetings where talks are invited
 Other recognition by the technical community

Did anyone notice?

Effect

Comparable industrial research stimulated
 Collaborative research initiated, CRADA's established, consortia formed
 ATP proposals made based on NIST work, funded by ATP

Did others take action as a result?

Impact

Product performance improved
 New products developed
 Process improved, cost savings
 Market growth
 Company sales growth, employment growth, profitability

Did good things happen from the whole chain of events?

本報告書の内容を公表する際には、あらかじめ
新エネルギー・産業技術総合開発機構企画部の
許可を受けて下さい。

電話 03-3987-9402