

## 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章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が可能であるところから、長期的な資源戦略の確立がとくに重要である。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、大学や国公立研究所等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レベルの材料研究開発システムと人材育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、

- (1) 海外からの長期的な資源確保のリスク、
- (2) 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、精錬、還元など）に関する政策、
- (3) 長期的な再資源化および資源循環計画、
- (4) 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、
- (5) 関連データベースの構築、
- (6) 知的財産化戦略、
- (7) 人材の育成と異分野交流場の提供

など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分野を超えて包括的に捉え、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。このような資源生産性向上の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、国公立研究機関（ここでは独立行政法人としての研究所も国公立研究機関に含める）、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、大学と国公立研究機関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) 国公立研究機関の役割（独立行政法人を含む）

国公立研究機関は、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

大学と国公立研究機関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、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

①大学教育において研究者、技術者を合目的的に育成し、国公立研究機関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、学部教育と大学院や付置研究所における教育を、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。

②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

①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。これに必要な人材は広く産・学・官から求める。

②国公立研究機関においては、国家の産業発展にとって重要と思われる重要課題に関して長期的・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、国公立研究機関の重要な役割は、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は国公立研究機関が中心的役割を果たすべきである。

③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、技術移転制度の他に、人材の流動性を増すための人事、給与、年金制度など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

#### ①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。

#### ②関連省庁

施策を実際に担当する文部科学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、国公立研究機関との人事交流などを考慮すべきである。

### （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、これまでは多くの金属関係の学協会活動では学問の発展への寄与が重要視され勝ちで、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、国公立研究機関は、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、以下を提言する。

##### 1) 国として、材料戦略および資源生産性向上のための中核的機関を設置して、大学、学協会、国公立研究機関等との幅広いネットワークを構築し、関連科学技術を省庁を超えて総合的に推進すること

省エネルギーやエコマテリアルの開発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、バイオ関連技術等と異なり、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おり、資源と環境の重要性が顕著になる 10,20 年後には極めて大きな武器となるはずである。また、資源生産性向上に取り組む過程で、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。

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ライフサイクルアセスメント(LCA)データ作成などがあるが、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。さらに、重要なことは、資源・環境の実態を把握するだけではなく、それを市場経済の発展につなぐ仕組みである。

資源生産性向上を推進するのは、従来の国立研究機関などだけで対応できるものではなく、大学、学協会、国公立研究機関、民間企業、一般市民などの間で広範な連携が必要である。また、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、資源から製品まで見通せる物質材料分野の人材が主導的役割を果たすべき課題であるとは言えよう。

さらに、資源生産性に関するデータには信頼性が必要である。誤ったデータの利用は大きな被害をもたらすことがある。従来のライフサイクルアセスメント・データに対してもその信頼性は必ずしも保証されておらず、そのまま使用するのは危険である。

このような状況に対応して行くためには、国家的な立場と規模から資源生産性を扱うシステムが必要である。また、そのシステムが実効を挙げるためには以下のような機能を実現する中核的機関とネットワークが必要と考える：

### ① 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、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。

### ② 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への影響や廃棄処理などによる物質の安定性変化など、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。

### ③ 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：

#### a. 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、資源輸出国との連携、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、還元など）に関する政策も重要である。

#### b. 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、新市場創出の仕組みとその支援戦略など。

#### c. 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。

### ④ 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

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、プラスチックなど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。

#### a. 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。

#### b. 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。

#### c. 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。

#### d. その他、材料リテラシー教育、新市場創出支援、ベンチャービジネス支援

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・教育し、材料リテラシーの向上を推進する。また、ソフトウェア・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) 材料技術に関する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、分野を超え包括的に捉え、総合的判断を下せる人材の育成を推進する必要がある。このため、国、大学、社会でも以下を推進すべきである。

### (1) 大学教育改革

#### (a) 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、広い視野と構想力を持った専門家を育成するという方向に変更する。
- ・ PBL など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。
- ・ 材料が使用されている実態に接し、また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ないという考えを捨てる。
- ・ グローバルに通用する技術倫理教育を行う。

#### (b) 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、学生の流動化が不可欠である。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、海外の人が参加できるインフラや予算制度等の整備が必要である。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。

#### (c) 新しい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。

## (2) 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など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。また、民間企業等との交流も必要である。

## (3) 社会人への材料リテラシー教育

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。

### a. 初等・中等教育での材料教育支援

初等・中等教育時に材料の重要性を理解させることが必要である。

### b. 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。

### c. 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、材料の基礎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：

- ・ 国として、材料戦略および資源生産性向上（省エネルギー、エコマテリアルや新市場開発を含む）のための中核的機関を設置して、大学、学協会、国公立研究機関等とのネットワークを構築し、資源生産性に関連した科学技術を省庁を超えて総合的に推進すること
- ・ 国および大学として、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。また、このための大学教育改革、人材流動化、新しい材料工学教育、教育環境の整備、社会人への材料リテラシー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、省エネルギー、エコマテリアルや新市場開発あるいは新しい価値観の創出などを含む広い意味での資源生産性の向上である。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。小資源国家の日本として、国家的戦略が立てられることを強く望むものである。



## 添付資料1 協力者名簿

本報告書の原案は、下記の協力者のご協力を得て作成されたものである。

### 意見陳述者

相澤 龍彦 (東京大学 先端科学技術研究センター 教授)  
足立 裕彦 (京都大学 大学院工学研究科 材料工学科 教授)  
岡田 雅年 (科学技術庁 金属材料技術研究所 所長)  
久保田 正明 (通商産業省 工業技術院 物質工学工業技術研究所 所長)  
高須 秀視 (ローム株式会社 半導体研究開発本部 取締役本部長)  
中島 泰夫 (武蔵工業大学 エネルギー基礎工学科 教授)  
山口 正治 (京都大学 大学院工学研究科 材料工学専攻 教授)

### アンケート回答学協会

(社)日本金属学会  
(社)資源素材学会  
(社)低温工学協会  
(社)日本鉄鋼協会

添付資料2： 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°C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°C、350気圧用耐熱鋼の開発
			高比強度・高温強度	1000°C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°C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°C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	

構造材料 (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)	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プング技術の開発		
				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(1300C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 高レベル放射性廃棄物処理技術			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			

構造材料 (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	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	
	リスク対策技術 (災害時安全対策)	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	
				高速変形に強い鉄鋼材料の開発	
			溶接部無害化技術	低温変態溶接金属の開発	
				超狭開先溶接(1mmHAZ)の確立	
		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・高剛性・高靱性	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	
	高信頼性維持技術	長寿命材料	高クリープ強度	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	
			高クリープ強度	強い耐熱性と強度を併せ持った傾斜機能材料の開発	
			耐リラクゼーション性	応力緩和の小さな高強度ボルト材の開発	
			耐食性	さびない鉄の開発	
			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(クリープ、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・クリープ機構、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	

### 構造材料（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 つくり)	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	1kmビル用材料	高温強度・高韌性	建築用耐火性高韌性鉄鋼材料の開発
		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2.5km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
知的好奇心				

添付資料 3 : 機能材料関連の重要研究課題と達成目標

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 <sub>2</sub> 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	1. 焼結磁石: (1) 高温で使用可能な希土類磁石の開発 $H_c > 2.8 \text{ MA/m}$ , $(BH)_{\text{max}} > 320 \text{ kJ/m}^3$ (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) 4f 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
		送電用材料	超伝導発電機用線材 (低交流損失、長尺化、巻線性)	$10^5 \text{ A}$ , $77 \text{ K}$ , $5 \text{ T}$ 以上を達成 交流損失 0.5%以下
			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
		電力貯蔵用材料	交流損失低減	超伝導送電線の開発 ( $10^5 \text{ A}$ , $77 \text{ K}$ , $0.1 \text{ T}$ 以上)
			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 ( $10^5 \text{ A}$ , $7 \text{ T}$ 以上)
		省エネ型デバイス	二次電池の大電力化・軽量化 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 <sub>6</sub> 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
			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
		省エネ型デバイス	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
			高リサイクル材料	接合性・導電性
環境保全		循環型システム構築 (LCA 適合技術)	半導体特性	砒素フリー高性能半導体の開発
	CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> 分解・固定用光触媒	CO <sub>2</sub> 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 <sub>2</sub> : 数 ppb、SO <sub>2</sub> : 数 ppb、CO <sub>2</sub> : 数 ppm) を有するセンサーの開発		

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	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		
高信頼性維持技術	インテリジェント材料	自己診断性 自己修復性	インテリジェント材料科学大系の構築（自己診断性、自己修復性を持つ材料の開発を目指して） テラヘルツ ( $10^{12}$ Hz) 発振・受信素子の達成		
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・受信素子	高周波数化 微細加工技術	1テラヘルツ論理素子の開発	
		超高速素子用材料	高スイッチング速度 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	
		光関連材料	高透過性	1.55 $\mu\text{m}$ 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5eV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/ $\mu\text{m}^2$ 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 <sup>2</sup> を実現するためのスピナルヘッド材料の開発
記録媒体	高密度化	20 Gb/in <sup>2</sup> 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	1km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		

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
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	複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		



## 添付資料4： 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ある。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ませている。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。

## 添付資料5： 関連学協会へ送付したアンケート

金属系各学協会御中  
関連団体御中

第17期学術会議 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  
委員長 佐久間健人  
金属材料将来展望小委員会  
主査 大中逸雄、 副主査 岡田益男

第17期学術会議では、従来の領域別研究連絡委員会<以下省略して領域研連>（推薦研連）の他に課題別研連（非推薦研連）が設置されました。そして、領域研連は、研連に登録する学協会との連絡調整を計り、学協会相互および日本学術会議との連携を強化する役割を、課題別研連は、研究分野ごとに研究連絡の実を挙げることを主目的とすることになりました。

課題別研連の一つである物質創製工学研究連絡委員会の金属材料専門委員会（以下「本委員会」と呼ぶ）では、その活動の一つとして、金属材料関係の今後10年程度における重要課題の予測、分析を行い、必要に応じてその対応をとることにいたしました。しかし、下記の委員（注1）だけで、金属材料関係すべてを網羅することは困難であり、学術会議の主旨から言っても、各関連学協会に共通する課題を取り扱いたいと考えています。

つきましては、まず、各学協会におかれまして、それぞれの分野・立場で地球的課題あるいは国際および他分野との競争上重要と考えられる課題（パラダイムシフトを含む）、すなわち：

1. 研究上の課題
2. その実施上の課題
3. 人材育成上の課題  
初等中等教育から高等教育、生涯教育まで含めて結構です、
4. その他

について、まとめて頂ければ真に幸いです。また、学術会議、第5部、物質創製工学研連および金属材料専門委員会それぞれに対するご要望があればお知らせ下さい。

なお、期限としては、平成11年5月末までに下記にご提出頂きますようお願い申し上げます。書式は特に定めません。

〒565-0871 吹田市山田丘2-1 大阪大学大学院工学研究科  
知能・機能創成工学専攻 大中逸雄  
Tel. 06-6879-7473 Fax. 06-6879-7474  
e-mail ohnaka@ams.eng.osaka-u.ac.jp

ご質問は大中あるいは岡田益男（Tel. 022-217-7334 Fax. 022-245-5543  
e-mail okadamas@material.tohoku.ac.jp）にお願いいたします。

以上 1998. 11. 11

注1：専門委員会委員 佐久間健人（委員長，東大），浅井滋生（名大），大中逸雄（阪大），  
岡田益男（東北大），北田正弘（芸大），中江秀雄（早大），東健司（大阪府大）  
小委員会委員 上記専門委員，井村亮（日立製作所），加藤理生（住友金属工業），  
佐野利男（機械技研），武下拓夫（三菱マテリアル），竹田博光（東芝），村田朋美（新日鐵），  
花田修治（東北大金研），和田 仁（科技厅金材研）