

物質創製工学研究連絡委員会有機材料専門委員会報告

# 有機機能性材料開発の展望と 人材育成への提言

平成17年6月23日

日本学術会議

物質創製工学研究連絡委員会有機材料専門委員会

この報告は、第19期日本学術会議物質創製工学研究連絡委員会有機材料専門委員会の審議結果を取りまとめ発表するものである。

## 委員会等構成員リスト

### 第19期 物質創製工学研究連絡委員会 有機材料専門委員会

委員長 岡野 光夫 東京女子医科大学 教授  
委員 小池 康博 慶應義塾大学 教授  
谷岡 明彦 東京工業大学 教授  
西出 宏之 早稲田大学 教授  
増田 優 お茶の水女子大学 教授  
染宮 昭義 (財)化学技術戦略推進機構 常務理事

協力者 牛島 敏明 (社)高分子学会 常務理事  
菊地 宣 (財)化学技術戦略推進機構 部長研究員  
熊井 清作 同上  
後藤 建夫 同上  
内藤 豊 同上  
堀内 等希夫 同上  
増田 権次 同上

## 会議開催記録

### 第19期 物質創製工学研究連絡委員会有機材料専門委員会

第1回 平成15年12月25日  
第2回 平成16年2月9日  
第3回 平成16年4月13日  
第4回 平成16年6月4日  
第5回 平成16年9月9日

### 第19期 物質創製工学研究連絡委員会有機材料専門委員会拡大役員会

第1回 平成16年9月9日  
第2回 平成16年9月10日

## 『有機機能性材料開発の展望と人材育成への提言』

### 1 作成の背景

前世紀末より資源や地球の処理能力の限界が認識されるようになった。21世紀にあってはこれまでとは異なる次元で、社会の持続可能な発展と国際競争力の確保に資することが科学技術に期待されている。材料技術の革新が社会を変革してきた過去の歴史から、今後は、ナノテクノロジー、バイオテクノロジーやインフォメーションテクノロジーを材料技術と融合することが前記要請に応える最善の方策である。本報告は、特に材料の有する特異的な機能性に着目して、我が国の学術と産業の強みを活かした新規有機機能性材料・部材の科学技術開発の展望と人材開発への提言をまとめたものである。

### 2 現状及び問題点

地球の限界が意識される時代においては、材料に期待される特性も自ずと変化せざるを得ない。これからの材料開発にとっての最重要な指針は、資源生産性及びエネルギー生産性の極限への挑戦を通しての、量的価値から質的価値への変換を実現することである。材料の研究技術開発はすでにこの方向に向けて動き始めてはいるが、世界的な競争が激化する中で、一層の変化の加速が必要となっている。そのためには、我が国の材料研究にかかる高度な学術水準と産業が有するマテリアルソリューション技術の融合の促進と、それを社会革新に結びつける仕組み作り、それを推進する多機能な人材の育成、及びそれらを支える基礎研究の一層の充実が必要である。

我が国が世界のフロントランナーを担う時代にあっては、新しい材料価値の創造が最重要課題である。しかし、我が国には永いキャッチアップの時代の名残が強固に残っており、教育、技術経営、社会システムなど広範な範囲にわたって、多くの解決すべき課題が存在する。特に、全く新しい材料・部材価値を生み出し育て社会に定着させるシステムは、米国や欧州の先進諸国と比較して未熟であると言わざるを得ない。

### 3 提言

科学技術基本法が謳う科学技術創造立国を実現するには、材料価値を創造し、社会への導入を支援・促進する仕組みが必要不可欠であり、専門領域の枠を越えて創造的企画を推進する人材の育成が急務である。さらには、材料・部材の真の可能性を見極め、人類社会の要請にいち早く応える実力を養うことが肝要である。このような努力は、21世紀の要望に応えられる大型人材の育成にも繋がる。

- 1．極限性能・機能を実現する革新的機能性有機材料・部材開発の推進
- 2．新規機能性材料・部材開発を支える基礎研究の充実
- 3．異分野の学問・技術領域を融合し新しい価値を創造する人材の育成
- 4．産官学の密接な連携の下での機動力ある研究・開発の展開
- 5．新規材料・部材の社会への導入を促進する施策の導入
- 6．将来を見据えた関連学協会の大局的な取組（統合・連合を含めた再構築）

## 目 次

1. 機能性材料開発の現状と将来展望 .....	1
1.1 はじめに .....	1
1.2 有機機能性材料開発の現状と課題 .....	3
1.2.1 産業の現状 .....	3
1.2.2 社会環境の変化 .....	3
1.2.3 研究・開発の現状 .....	4
1.3 機能性材料開発の将来展望 .....	5
2. 材料各論 .....	6
2.1 はじめに .....	6
2.2 医療・健康 関連材料 .....	6
2.2.1 背景並びに現状 .....	6
2.2.2 再生医療用インテリジェント材料 .....	7
2.2.3 ナノ構造制御材料 .....	8
2.2.4 ヘルスケア用ソフトマテリアル .....	9
2.2.5 まとめ .....	10
2.3 インフォメーションテクノロジー関連材料 .....	11
2.3.1 背景 .....	11
2.3.2 伝送用材料 .....	11
2.3.3 ディスプレイ用材料 .....	11
2.3.4 情報記録材料 .....	12
2.3.5 まとめ .....	13
2.4 エネルギー関連材料 .....	13
2.4.1 背景 .....	13
2.4.2 電池材料 .....	14
2.4.3 水素エネルギーと燃料電池材料 .....	15
2.4.4 太陽光利用材料 .....	15
2.4.5 まとめ .....	15
2.5 環境・安全関連材料 .....	16
2.5.1 背景 .....	16
2.5.2 水浄化機能材料 .....	16
2.5.3 多機能ファブリック材料 .....	17
2.5.4 まとめ .....	18
3. 有機機能性材料を支える基盤の整備 .....	18
3.1 背景 .....	18

3.2	人材育成.....	18
3.3	社会システム・制度の改善.....	19
3.4	まとめ.....	20
4.	まとめと提言 .....	21

巻末添付図表

## 1. 機能性材料開発の現状と将来展望

### 1.1 はじめに

第19期日本学術会議物質創製工学研究連絡委員会有機材料専門委員会(以下、専門委員会とする。)は、社会の持続可能な発展と日本の産業の国際競争力強化に貢献する材料・部材開発を討議して、機能性材料・部材の科学技術開発の展望と人材育成の提言をまとめた。

衆知のように我が国は、工業原料やエネルギー資源を海外から輸入して、高度な化学プロセスや、加工プロセス、組み立てプロセスにより高付加価値の製品に変換し輸出することによって、国際的な地位を確立してきた。この図式、即ち海外貿易によって我が国の富みを高めることは21世紀においても本質的に変わらないであろう。我が国の主たる輸出産品は、輸送機器、機械、電気機器類に代表されるが、これらが高品質の材料や部材で構成されていることは自明である。また、国民生活においても、建築物や輸送機器に使用される鉄・非鉄金属類やガラス、セラミックス、セメント他の無機材料、日常生活用品に使用されるプラスチック類などの有機材料や部材類は生活の基盤要素となっており、これらの材料無くして生活が存立し得ないことも自明である。

しかし一方で、資源枯渇や地球の再生能力の限界が世界的に認識されることとなり、人類社会の未来に対して警鐘が鳴らされている。21世紀の科学技術は、持続可能な社会の発展と産業の国際競争力強化を両立させるものでなくてはならない。第18期日本学術会議物質創製工学研究連絡委員会報告『「資源生産性」向上のための材料戦略』(平成15年7月15日)で指摘されたように、資源利用効率を極限まで高めることが重要で、金属材料や無機材料、有機材料に拘わらず、すべての材料や部材が極限性能や極限機能を実現することによって資源利用効率を最大化し、地球環境への負荷を最小化することが期待されている。

金属材料や無機材料は、強度や剛性などの物理的特性において有機材料をはるかに凌ぐ特性を有している。一方、有機材料は比強度などの特性に優れ、特に機能性において他材料にない多様性と柔軟性を有している。すなわち、材料はそれぞれ性能的・機能的な特徴を有しており、いずれが欠けても現代社会生活は破綻する。それぞれの材料の特質を限界まで引き出すことと、これらの複合によって新しい性能や機能を創造することが新時代の科学技術に期待されている。

当専門委員会は、特に機能性に着目して有機材料・部材の科学技術開発の将来を展望し、併せてそれを具体化するための人材育成について言及する。

我が国が国力を強化して世界に貢献していくためには、科学技術研究開発の成果を産業として着実に具現化しなければならない。世界が情報化、ソフト化していく中で、我が国の製品が厳しい国際競争の中で勝ち残るには、革新的な機能性材料・部材の開発が必要不可欠で

ある。各種のプラスチック材料や部材を供給する化学産業・プラスチック製品製造業・ゴム製品製造業などは、1980年以來輸出額が一貫して増加し、機械産業に次ぐ輸出産業に成長しており、この役割を担う実力を有していると考えられる。一方、生産される有機材料も、かつての汎用化学品から機能性化学品に重心を移している。世界の産業は、効率化、省力化とともに大型システム、大量生産の時代を経て、画一から多様へ、マクロからミクロ・ナノへ、構造から機能へと徐々にその対象を移行させてきている。これらを実現させた基盤は、高分子材料を中心とする有機機能性材料の進歩に負うところが大きい。我が国の産業が、欧米先進技術のキャッチアップの時代からフロントランナーの時代へ入って久しいが、新規な機能性材料が国力強化に果たす比重は今後更に高まると期待される。

今後、有機材料がその期待に応える為には、第2期科学技術基本計画で重点的に注力された、ナノテクノロジー、バイオテクノロジー、インフォメーションテクノロジーを武器に、新規な有機機能性材料の開発と機能・性能を一段と高める部材技術開発が重要である。資源利用効率やエネルギー利用効率を最大化した革新的な高機能性材料や機能を複合・強化した部材を開発して、持続可能な世界の実現と国力の維持強化、世界への貢献を図ることが我が国の採るべき科学技術開発戦略である。

一方、フロントランナーを指向する時代においては、新しい材料価値の創造と社会への導入を支援・促進する仕組みが必要不可欠である。キャッチアップの時代では、国外において技術や材料の社会的価値が既に認知されたものを、より早く・より安く作ることが命題であった。フロントランナーの時代にあっては、新しい材料・部材価値を創造し、社会への導入を円滑に行って、世界に先駆けていち早く事業として確立しなければならない。新規なニッチ材料群の中からひろく人類社会に貢献する材料や部材が選別され、世界に広がってイノベーションをもたらす。しかし、このようにハイリスクなニッチ材料を産みだし育てる社会システムと人材育成システムは、残念ながら我が国には欠如していると言わざるを得ない。科学技術創造立国を実現するためには、米国を始めとして先進各国が国を挙げて取り組んでいるように、新規な材料・部材の価値を正しく見通して市場に導入し拡大する仕組み（技術の実証、ベンチャー育成、市場導入期間の助成・支援・調達 他）作りが必要である。一方、新しい材料・部材を創造し、製品価値を創造する人材を育成するには、専門科学技術領域の知識・技能の深化だけでは不十分である。自然科学だけでなく人文科学や社会科学にも精通した人材の育成が望まれる。専門科学技術領域の深化のみを狙いとする人材育成は、最早社会の要求と合致せず、多分野の知恵を結集して新しい価値の創造と社会への導入を実現する人材の育成が急務である。

## 1.2 有機機能性材料開発の現状と課題

### 1.2.1 産業の現状

有機機能性材料を生み出している化学産業は、出荷額約 36 兆円で国内製造産業全体の約 13%を占め、輸送用機器、電気機器に次いで第 3 位の規模を持つ。過去数年の推移を見ると、製造業全体の出荷額が 1998 年の 309 兆円から 2003 年の 276 兆円（平成 15 年工業統計速報）へと減少傾向にあるにもかかわらず、化学産業は 36 兆円規模を維持し、この間製造産業全体に占める構成比を 12.1%から 13.2%へと拡大している。また、付加価値額で見ると、国内製造業全体が 1998 年の 113 兆円から 2003 年の 99 兆円へと減少する中で、化学産業は 17 兆円規模を維持し、第 1 位の産業になっている。この結果は、化学産業が近年他の製造産業とは異なる需要動向や市場状況を作り出してきたことを物語っている(図 1.2-1)。化学産業における部門別売上規模は、有機機能性材料を含む機能性化学品部門が 43%、汎用的な石油化学部門が 19%であり、機能性化学品部門は既に化学産業の主要分野に成長している。さらに、機能性化学品部門の内訳を詳しくみると、情報電子材料 23%、機能性樹脂 19%、タイヤ 19%、医薬品 12%、写真フィルム 9%、その他 18%となっている。かつては、タイヤやフィルムなどの国際競争力が強く売上高も大であったが、現在では、情報電子材料や機能性樹脂が主要製品となっている。

世界市場で高いシェアを有する有機機能性材料の一例を表に示す(表 1.2-1)。有機低分子材料、高分子材料を始め、バイオテクノロジーによるものやヘルスケアに用いられるものなど、多岐にわたる製品が高シェアを獲得しており、この分野における我が国産業が強い競争力を有することを表している。一方、これらの機能性材料・部材を使用する電子機械機器、自動車産業などは、現在の日本を支える産業である。今後これらの産業の国際競争力を更に高め、また、新たに国を支える有望な産業を育てることも、革新的な機能性材料・部材技術開発にかかっていると看做しても過言でない。

これまでの歴史を見ると、基盤となる材料技術が時代と共に厚みを増し、それを基に材料・部材が他の産業、社会のニーズに従って多様化、高度化することで、産業構造や社会が変革されてきた。前述のように付加価値生産額や貿易動向のトレンドを踏まえれば、今後とも発展のポテンシャルは十分にあり、化学産業の「強み」を十分に発揮させうる経営戦略及び政府の政策が適切に実施されれば、更なる発展が可能である。

### 1.2.2 社会環境の変化

現在、経済社会を取り巻く環境は、これまでの先進国間の競争から BRICs（ブラジル、ロシア、インド、中国）などの新興国を加えた新しい枠組みに変化しつつあり、グローバルな経済競争は益々激化すると観られる。



コロンビア大学のR.E.スモリー教授は、人類の次の50年間におけるトップ10課題を次の様に述べている。

1. エネルギー
2. 水
3. 食糧
4. 環境
5. 貧困
6. テロと戦争
7. 感染症
8. 教育
9. 民主主義
10. 人口

これに加えて、我が国では特に高齢社会化の問題を認識するべきであろう。高齢社会化により経済活力即ち社会活力が停滞することが懸念され、高齢者が生涯現役として活躍するための機能補助・支援機器の開発が望まれている。

これらの課題に対して、特に我が国では、エネルギー、水、食糧、環境、感染症、高齢化問題への直接的な貢献が期待される。いずれも人の生存に直接関わる課題であり、サステナビリティ確保の問題に帰着され、従来技術の限界を超えた新規な省資源・省エネルギー・高機能性の有機材料・部材開発に依存するところ大である。世界共通の課題への解決策をいち早く提供することが、即ち我が国の経済活力を高め、国際競争力の強化に貢献する。

二酸化炭素等の温室効果ガスの排出量削減を決めた京都議定書が2005年2月に発効し、世界は大きく舵を切った。排出量世界第1位の米国(26%;1999年)と第2位の中国(11%;1999年)が不参加という問題含みではあるが、国家としての対応とは裏腹に米国産業界は温室効果ガス排出量の削減に真剣に取り組んでいる。温室効果ガスの排出量削減に向けた取組は既に世界の潮流となっており、この分野で世界をリードすることは、エネルギー資源のほぼ全量を海外に依存する我が国の責務であろう。

今後とも日本が世界のリーダー国の一員であり続けるには、研究技術集約度の高い、より高付加価値の材料・部材技術の比重を高めなければならない。

### 1.2.3 研究・開発の現状

有機機能性材料に関する研究は、これに携わる大学、公的機関、民間研究所等の性格・役割の異なる多様なセクターでの複合的な成果に負っている。我が国の有機機能性材料の国際競争力が「強い」と位置づけられるのは、これらセクターがたゆまぬ努力をしてきた証である。今後、産業の競争力を更に強化し、もって文明社会の発展に貢献するには、これらセクターが学術的・基礎的成果と社会的要求とのマッチングに向けて、更なる革新的・独創的な研究・開発の継続と連携を強化しなければならない。

新規な材料・部材開発は一般的に極めて長期の基礎探索研究期間を要し、アセンブリー産業のように数年間の技術開発で達成できるものではない。また、基礎探索研究を終えても、

生産技術、成形加工技術、評価技術などが完成しなければ社会に安定的に供給できないため、ベンチャービジネスには不向きとも言われている。これは、新材料開発においては、長期的視点からの基礎的研究開発の充実が重要であることを示すものである。前述のように、我が国は各セクターがそれぞれの役割を果たすことによって複合的成果を実現してきた。しかし、世の中の変化が加速され、技術開発競争がグローバルに展開される局面においては、研究技術開発のスピードと質的側面からの更なる強化が重要となる。材料・部材及び製品に要求される性能・機能が一段と高度化されるとともに、技術が精緻化・細分化されてきている。学術研究の分野においても同様の現象が生じ、研究技術全体の見通しが得難くなっている。日本学術会議はこれまで俯瞰的視点の重要性を強調してきたが、このような視点に立った人材育成の在り方、教育の在り方を見直す時期にある。社会の求める機能を具体化し人類社会に科学技術の恩恵をもたらすには、学際、業際を超えた異分野の知識・知恵の融合と実践が不可欠である。

一方、学術的・基礎的な研究から革新的・独創的な技術開発を成功させるには、研究者個人の資質、創造力を高めなければならない。個人の資質を見抜き、活かして、創造力を育む土壌を各研究機関が整備することが重要である。自由闊達に科学的討論を行える場と過去の知見・経験を利活用できるシステムを維持・発展させることが重要であり、関連の学協会や日本学術会議がこの役割を先導することが期待される。

高機能性有機材料の研究開発の実態は、「材料をナノ構造の制御によって高機能化する努力」であり、人手と知恵の結集が正否を決める。また、有機材料の機能的な高度化は、経済性ばかりでなく今後社会が直面する諸問題にも有効な解決策を提供する。後の各論でこれらの期待効果を具体的に述べるが、例えば、IT 関連、環境関連、エネルギー関連材料では、材料の極限性能が実現されることによってバージン資源消費量の最少化や製品のライフサイクルにおけるエネルギー消費量の最小化が可能となり、また、それら化学品の使用量が削減されることによって化学品と生態系との相互作用を最小化することも可能となる。医療関連材料の開発は、高齢化や少子化によって急速に失われると予想される社会活力の維持向上、安心で豊かな社会の実現に貢献する。構造制御による材料・部材性能の最適化を実効あるものとするためには、産学官による密接な連携研究開発体制、機動力のある研究の方向付けとともに、これまで以上にきめの細かい支援、評価（アセスメント）が必要である。

### 1.3 機能性材料開発の将来展望

有機機能性材料は分子構造設計の自由度が高く、分子構造の制御、空間構造などの高次構造の制御、複数の機能性材料や金属材料、無機材料とのナノ～サブナノレベルでの複合構造の精密制御などによって、性能や機能の飛躍的な向上や新機能の創製の可能性が見いだされつつある。特に、情報技術関連、医療・健康関連、環境技術関連、エネルギー技術関連など

の、人類が直面している困難に革新的な解決策を提供することが期待される。

以下の各論で、それぞれの領域における有望な研究技術開発テーマ群を詳述する。

## 主要文献

- 1) 増田 優：「「知の世界」が創る政策の新展開」、化学工業日報社(2004)
- 2) 機能性化学産業研究会：機能性化学産業研究会報告書(2002)
- 3) 日本学会会議 社会・産業と材料研究連絡委員会：社会・産業と材料研究連絡委員会報告書(2003)
- 4) 経済産業省：2003年版製造基盤白書(ものづくり白書)(2003)
- 5) 河本 光明：化学経済, Vol. 51, No. 2, p34(2004)

## 2. 材料各論

### 2.1 はじめに

人類の歴史は用いた道具の素材で区分され、石器時代 青銅器時代 鉄器時代と時代が移り、今や機能性材料の代表である樹脂時代と言って過言ではない。樹脂時代の現代においても既に前期と後期があり、汎用材や構造材に用いられていた前期から、現在は有機機能性材料の本質を利用した機能材として利用する後期へと移行しつつある。この流れは21世紀に入り一層加速され、この中から新しい産業が出てくると見るのが妥当である。

これまで、新規な性能・機能を有する有機材料は、学を始めとするシーズ側からの提案が多かった。しかし一方で社会のニーズに応える材料の開発も重要である。ここでは、後者の立場から、今後新たな産業を創製するであろう以下の4つの分野における有機機能性材料を取り上げた。

### 2.2 医療・健康 関連材料

#### 2.2.1 背景並びに現状

バイオテクノロジーと医療の進展に伴い、人工の材料がタンパク質、遺伝子、細胞など生体成分や生体組織、臓器などと直接接触して利用される局面は極めて大きくなり、バイオメディカル関連材料はただ単に構造的な持つのみならず、機能が追求されるようになってきている。高分子系有機機能性材料を中心とする高度な機能を有するバイオメディカル関連材料は、医療分野において大きな役割を果たしてきており、「バイオメディカル関連材料」産業を構築してきた。次にその例を示す。

ポリエチレン (PE)、ポリプロピレン (PP)、ポリ塩化ビニル (PVC) などのポリマーが、輸液バッグ、血液バッグ、カテーテル・チューブ、注射筒、手術用不織布、手術用手袋、その他のディスポーザブル医療用具に用いられ、医療の高度化、利便化、安全性向上などに貢献してきており、ディスポ医療用具市場は5,000 億円規模に達している。

セルロース誘導体、ポリアクリロニトリル(PAN)やポリメチルメタクリレート(PMMA)などのポリマーによる膜透過性の制御技術と、ホロファイバー技術に裏付けされた血液をろ過、浄化する人工腎臓は、腎不全患者の命を救う必須の医療材料となっており、販売量はここ数年対前年度比 +10%の伸びを示している。

光透過性と酸素透過性を高めたレンズ材料は、コンタクトレンズの長期装用を可能とし、利便性を大きく向上させ、利用者を拡大した。現在、市場の 95%以上を占める使い捨てタイプでも、レンズ樹脂の改良により weekly さらには monthly タイプに移行すると予想されている。

生体吸収性材料を用いた薬物伝達システム (ドラッグデリバリーシステム ; DDS) でも、画期的な成果が上げられている。黄体ホルモン放出刺激ホルモン (LHRH) アナログを生分解性ポリマー粒子内に取り込ませ、徐放性を持たせた DDS 薬剤は、前立腺ガンに極めて優れた効果を発揮し、2,000 億円の市場を創出した。

このように、医療分野において高分子系有機機能性材料の担う役割は極めて大きなものがあり、DDS や再生医療などの先端的医療分野をブレークスルーするテクノロジーとしてバイオメディカル関連材料開発の進展を加速させる必要がある。また、このためには、教育体制や特許法、製造物責任法 (PL 法) などの社会システムの変革と、材料開発、基礎的研究から臨床試験までを医学と工学が連携して系統的・効率的に行うための研究開発体制の充実と治験制度の整備を急がなければならない。

### 2.2.2 再生医療用インテリジェント材料

人工臓器研究は、人工心臓、人工腎臓に代表されるように、ほぼ完成期に到達し、医療に大きく貢献した。さらに、このような物理的・機械的な機能代行から、人工肝臓、人工脾臓、人工神経などの高度な機能代行に向かう中で、人工材料の生体適合性、抗血栓性、高度な機能性の実現が必要となってきている。このような状況の中で、細胞を人工材料と組み合わせるハイブリット型人工臓器、組織工学の研究が大きく飛躍することが期待されている。

一方、移植医療は、免疫機能の制御技術が進む中でより多くの患者の治療の実現が期待されているものの、圧倒的なドナー不足となっている。

このような中で、1990 年代に入ってハーバード大学 J. Vacanti 教授とマサチューセッツ工科大学 (MIT) の R. Langer 教授が Tissue Engineering (組織工学) の系統的な研究推進

の重要性を提案した。生体内で分解する乳酸 - グリコール酸コポリマーでヒトの耳の形を作り、この足場の中に軟骨細胞を導入し、マウスの背中 of 皮下に埋め込んだ。ヒトの耳がマウスの背中にでき、衝撃的な写真を世界に示し、Tissue Engineering の重要性を主張した。これにより世界的な研究のブームを作り出した。生分解性高分子を足場にし、これに細胞を導入、成長因子の存在下で組織を誘導しようとする概念が示され、世界の研究者がこのコンセプトに基づいて組織再生に取り組むこととなった。

この Vacanti の考え方で軟骨や骨などの比較的シンプルな構造の組織再生が実現されているが、今後、生分解性高分子の機能デザインを達成する研究を高分子化学と医学・生物学を統合した領域で実現して行くことが、この新しい領域を大きく発展させて行くものと考えられる。さらに、細胞と材料の相互作用の解析を通して、新しいバイオマテリアルの技術基盤の強化とその新しい応用を進展させることが重要である。例えば、細胞の接着、増殖、分化、脱着を可能にする“インテリジェント”な機能を持つ材料の開発が重要になると考えられる。ポリN - イソプロピルアクリルアミド (PIPAAm) は温度によって親水性 / 疎水性を変化させる“インテリジェント”な機能を持つ温度応答性高分子であり、この機能を利用してPIPAAmで修飾した培養床上で細胞を増殖させその後脱着させることで、細胞シートに損傷を与えることなく細胞シートを取得する事が可能となった。この細胞シート工学の方法(図 2.2-1)により作成した角膜細胞シートで角膜再生に成功しており、また同様の手法によって得た細胞シートによる心筋の再生も試みられている。

これらの例は、目的に合わせた機能の設計によりインテリジェント化した高分子系材料の開発によって、再生医療の革新的手法が開発され得ることを示している。再生医療発展の鍵を握るキーテクノロジーである再生医療用インテリジェント材料開発の促進強化を強く提言する(図 2.2-2)。

また、これらの材料は、再生医療だけでなく、細胞チップや組織チップなどの新しいバイオセンサー、毒性、薬理効果の評価も実現させることができる。

### 2.2.3 ナノ構造制御材料

#### (1) インテリジェント DDS 材料

薬剤の血中濃度を長時間維持する DDS 技術や、薬剤を病変部位 ( 標的 ) にだけ輸送し、薬剤による副作用を低減させることのできる DDS 技術の開発が進みつつあり、今後の大きな発展が期待されている。DDS 製剤の市場規模は、米国だけで 2006 年に 670 億ドルに達するとの報告もある。

50 ~ 100nm 程度の微粒子がガン組織に集積することを利用した受動的ターゲティング等の空間的制御、生体吸収性材料を利用した持続型薬物放出等の時間的制御による DDS 薬剤が開発されているが(図 2.2-3)、今後は、必要な部位に薬剤を集積したのち外部からの刺激により薬剤を放出する“インテリジェント”な DDS であるダブルターゲティングシステムの実現

が望まれている。ブロック共重合、グラフト共重合などの共重合ポリマーの「モノマー種の選択」と「二次構造のナノレベル制御」とにより、化学物質、pH、温度、電場、光、超音波などの外的刺激にตอบสนองして相転位、形態変化、物性変化などを起こす刺激応答性をポリマーに付与することができる(図 2.2-4)。このポリマー微粒子に薬物を取り込ませることで、外部刺激に応じて薬物を放出する“インテリジェント”な DDS 製剤を開発できる。このことは、今まで使用できなかった薬剤の使用や、薬剤の使用量削減が可能となることを意味しており、医療・健康に対する寄与は極めて大きい。刺激応答性ポリマーに代表されるインテリジェント DDS 材料の研究と、これを用いた DDS 薬剤の開発促進とを提言する。

## (2) ナノ構造制御生体適合性材料

人工材料を生体や生体成分に接触させて使用する先端医療分野では、材料が異物として生体に認識されると炎症反応・免疫反応・血栓形成などの反応を生じるため、安全上の見地から生体適合性材料であることが求められている。特に、カテーテル、人工血管・人工心臓などに用いられる材料の生体適合性(抗血栓性)向上が課題となっている。現在はポリ塩化ビニル(PVC)やポリウレタン等の材料が用いられているが、セグメント化ポリウレタンといえども抗血栓性が充分とは言えず、ヘパリンを中心とする抗凝固療法により血栓形成を防いで使用を可能としている。そこで、このヘパリンを用いた生体適合性材料(例えばヘパリン化ポリウレタン)を開発するアイデアがある。

しかし、ヘパリンは正常な血液凝固反応を阻害するため、一般に短期間使用にならざるを得ないという問題を抱えており、別の方法による血栓形成の起きない生体適合性材料の開発が進められている。

例えば、ヒドロキシエチルメタクリレート(HEMA)-スチレンブロック共重合体は、約 10nm 幅の親水性・疎水性ナノドメイン構造表面を形成する(図 2.2-5)ため、血栓形成を誘発しないという優れた生体適合性材料であることが知られており、小口径の人工血管や血液保存バッグ、血液回路などへの応用が期待されている。

このことは、表面構造のナノレベル制御により生体適合性を改善でできることを示しており、優れた生体適合性を目指したナノ構造制御ポリマーの研究強化を提言する。

## 2.2.4 ヘルスケア用ソフトマテリアル

今後、高齢化社会を迎え、体力的に衰えた人が活動を行うことは多大の負荷を体にも与えることになる。そのため最近では、下肢を中心とした体力の衰え・麻痺を補助・回復させるようなアシスト機器・リハビリテーション機器が登場し始めている。現在、これら機器のアクチュエータの大半はモータである。しかし、モータを利用した駆動機構では、伝達機構・減速機構などが必須となり、機器小型化・軽量化が困難になる。また、ギアなどによる動作音や硬い構造など、高齢者が日常生活の中で身近に使用するには問題点が多い。

高齢者が人体に違和感なく装着できる柔軟な「ウェアラブルアクチュエータ」として、人工筋肉の開発に期待が寄せられている。人工筋肉で負荷を軽減し、継続的な運動を可能とするヘルスケア用材料の開発が重要である。

しかし、人工筋肉に関する研究はまだ新しく、現在のところ高伸縮を維持しながら応用可能な高い発生力を兼ね備えたものはない。人間の動きに追従する柔らかい動作が要求されるため、現状の伸縮率では不十分で、人間の筋肉のように30%近い伸縮率が望まれる。そのため、外部刺激に応じて効率的な伸縮・曲げ運動を行わせる要素技術及び材料開発が必要である。材料としては、応答性の良好なソフトマテリアルであることが望ましく、更にはバッテリーなど電源を含めてシステムとして全体が軽量かつ長寿命であることが重要である。

今後の人工筋肉の健康・運動補助具としての製品化や事業化を考える場合、福祉・介護用具市場での展開が中心となる。2000年の介護保険制度導入をきっかけにして福祉用具の認知度が向上したことにより、市場を牽引する製品分野が少しずつ変化しているが、2002年度の福祉用具の市場規模は1兆1,900億円となっている。人工筋肉を福祉用具として利用するには、公的給付制度の中での製品化と、メンテナンスまで含めたシステム化について十分に検討して取り組む必要がある。

#### 2.2.5 まとめ

以上医療・健康分野での有機材料の果たして来た役割と今後の課題を述べた。世界的に高齢化が進みつつあり、超高齢化社会の到来も目前となっている今、組織の再生や機能の回復・補助、薬剤のより安全な投与、等に貢献する材料の出現が強く求められている。従来の常識を大きく超える高度な機能を持った医療・健康関連材料の開発により世界に貢献していくことを提言する。

#### 主要文献

- 1) 岡野光夫 他：「生体適合性材料」医学のあゆみ、Vol.188、No.6(1999)
- 2) 岡野光夫：「生体材料概論」、Clinical Engineering、Vol.10、No.6(1999)
- 3) 高橋俊雄、橋田充：「今日のDDS・薬物送達システム」、医薬ジャーナル社
- 4) 岡野光夫：Drug Delivery System、Vol.10、No.5(1995)
- 5) 大和雅之、岡野光夫：機能材料、Vol.22、No.8(2003)
- 6) 金岡鐘局、青島真人：未来材料、Vol.4、No.2(2004)
- 7) 清水達也、岡野光夫：「心筋組織の再構築 - 細胞シートの作成と応用 - 」Heart View、Vol.6、No.12(2002)
- 8) Fuji-Keizai USA Inc：「米国ドラッグ・デリバリーシステム市場の全貌」(2003)
- 9) (株)富士キメラ総研：「2003年メディカルマテリアル市場の現状と将来展望」(2003)

## 2.3 インフォメーションテクノロジー関連材料

### 2.3.1 背景

インフォメーションテクノロジー(IT)は、ハードの面から区別すると伝送、ディスプレイ、記録の3つに大別され、それぞれの分野において有機材料は様々なデバイスとして使用されてきている。ここでは、今後のブロードバンド社会におけるIT分野でどのような有機材料がどのように使われていくか、更にはどのような市場が形成されるかということの概要を述べる。それぞれ3つの分野における現状と将来展望並びに今後の課題につき以下に示す。

### 2.3.2 伝送用材料

ブロードバンド化の急展開に伴って、情報ネットワークはDSL(電話線によるインターネット)、CATV(ケーブルテレビによるインターネット)及び光ファイバーネットワークによるFTTH(Fiber to the Home)が普及しつつある(表2.3-1)。なかでも、FTTHは大量の情報伝送が可能なことから今後急速に普及し、2008年頃にはDSLと同等になると予測されている。

光ファイバーは、長距離幹線系では石英光ファイバーが敷設されているが、全光ファイバーの9割以上ともいわれる末端数百メートルの部分には、低コストで供給し得る透明有機材料(フォトニクスポリマー)を用いたプラスチック光ファイバーが求められている。鍵となるフォトニクスポリマーは、屈折率分布の制御、低損失、低材料分散、耐熱性などの諸特性を満たすことが要求される。最近、フッ素化ポリマーによって帯域が1kmで1Gbpsの伝送特性が達成されているが、アクセス系に用いようとするには更なる低損失化、低材料分散化が必要である。また同時に、フォトニクスポリマーを応用した各種の光導波路デバイスも必要とされ、多くの企業が開発にしのぎを削っている。

プラスチック光ファイバー及び光導波路デバイスの市場は、2007年には我が国で1,500億円を越す規模になると予想されている。

### 2.3.3 ディスプレイ用材料

ディスプレイ分野においては、フラットパネルディスプレイが主流となっており、小型携帯から100インチを超える大型ディスプレイに至るまで高画質の動画を表示するようになってきている。具体的なフラットパネルディスプレイとして期待されるものに、液晶ディスプレイ(LCD)、プラズマディスプレイ(PDP)、有機EL等が挙げられる。特に、LCDは最近生産額が急激に伸びており、2004年度には我が国で2兆円を越え、今後10年を考えるとLCDが最も大きなシェアを持つものと予測される。

LCD技術は半導体産業と考えられがちであるが、LCDパネルの60%は有機材料であるプラスチックのコストである。具体的には、位相差フィルム、偏光フィルム、カラーフィルター、それらの支持体など、10枚に及ぶ各種ポリマーフィルム、並びにバックライトの拡散板のコ



ストである。特に LCD に使われるフィルムは 2 つの偏光板に挟まれて存在するため、わずかなポリマーの配向による複屈折も問題となる。したがって、通常使われている低コストの高速押し出し成形を用いることができず、大がかりで生産性の低いキャスト法を用いざるを得ないのが現状である。それがプラスチック部材の高コスト化を引き起こしている。押し出し成形による加工が可能な低複屈折性ポリマーフィルムの開発が急務であり、結晶ドープ法等、ナノテクノロジーを用いたハイブリッドフォトリソグラフィフィルム開発によって達成できるものと期待されている。

このような材料及び技術の革新によって、大型 LCD パネルの単位面積当たりの価格は、現在の 30 ~ 40 円/cm<sup>2</sup> から 2010 年には 5 ~ 6 円/cm<sup>2</sup> に低減されると見込まれている。有機 EL は小型携帯電話等において実用化されており、現在 40 型相当の大型パネルが試作され 2007 年に製品化される見通しである。大型ディスプレイにおいては他のディスプレイとの差別化が必要である。有機 EL は、表示輝度及びコストの点で LCD より有利であり、消費電力が PDP より優れることから、この特徴を生かした照明光としての開発を行うことが社会に大きなイノベーションを与えると考えられる。今後 10 年程度の開発期間が必要とされると考えられるが、輝度の長寿命化が達成されれば極めて大きな市場が期待される分野である。

#### 2.3.4 情報記録材料

情報記録においては、情報量の急激な増大に伴い、今後平方インチ当たり 1 テラビットを超える高密度記録が必要とされる。現在の情報記録の方式は、大別してハードディスクドライブ(HDD)、フラッシュメモリ及び光ディスクの 3 種類があり、これらの市場規模、記録密度等については表 2.3-2 に示した。現在は、半導体技術を用いた HDD が主流となっている。

プラスチック材料が多量に用いられている光ディスクは、高密度記録のために光源の短波長化と光スポットの微小化が行われ、最近登場した次世代 DVD の「Blu-ray Disc」では平方インチ当たり 20 ギガビットに達した。しかし、これらの方法では限界に達しつつあり、新たな方法の開発を必要としている。

有機材料による光記録は、その原理から考えて、従来の半導体技術をはるかに上回る高密度記録が可能であり、極めて興味深い領域である。光ディスクの高密度化には、記録ビットの微小化と記録層の多層化、同一個所に複数のデータを書き込む多重化、の 2 つの方式が挙げられる。前者では、2 光子吸収媒体あるいはフォトリソグラフィ分子の光異性化を利用した 3 次元多層記録、近接場光を用いて記録ビットの微小化を図る近接場光記録が、後者では、ホログラム原理を用いたホログラムメモリ、フォトリソグラフィホールバーニング(PHB)現象を用いた PHB 多重記録が研究されている。

IT 分野における記録密度は、指数関数的に増大することが予想(図 2.3-1)されており、従来の記録媒体の延長ではない、例えば立体光記録といった新しい概念の超高密度・小型チップ

ブの開発が精力的に進められると思われる。これら光記録においては、媒体となるフォトニクスポリマーを高精度に偏波制御し得る分子デザイン及び高次構造制御が重要となる。

### 2.3.5 まとめ

以上、IT分野における有機材料の現状と展望及び課題を述べてきたが、現在のキーボードの延長ではない、高画質でリアルタイムの双方向通信による高度なIT社会の実現のために、高性能フォトニクスポリマーの開発とこれを用いた高機能光デバイスの開発を提言する。

### 主要文献

- 1) 新エネルギー・産業技術総合開発機構:平成 15 年度調査報告書  
「電子部品産業の技術競争力に関する調査」ストレージ技術動向(2003)
- 2) 丸野 透、戒能 俊邦、杉原 興浩、伊藤 雄三、加藤 幾雄、各務 学、茨木 修:化学工学、Vol.68、No.8、p430、No.9、p487(2004)
- 3) 成富 正樹:未来材料、Vol.4、No.9、p14(2004)

## 2.4 エネルギー関連材料

### 2.4.1 背景

地球規模でのエネルギー、環境、食糧問題は、人類が今世紀まさに直面しつつある焦眉の課題である。これらの問題は、持続可能な社会発展を前提として、地域ごとの経済性にも依存し相互に錯綜しているが、問題解決のための技術開発構想の視点からは、基本的には枯渇性資源に頼らないエネルギーソースの開拓と、究極の効率でのエネルギー利用システムの開発に帰着する。他方、IT・バイオ関連技術をもとに実現しつつあるネットワーク社会を例にとっても、新しいエネルギー・パワー供給システムの開発が不可欠で、ユビキタス電子機器を支えるべきマイクロ電源の実現がその代表である。

これらの背景のもと、水素クリーンエネルギー、燃料電池、太陽電池など国家的な新エネルギー開発プログラムが施行され、その成果もあって、我が国はこれらの技術開発のフロントランナーの一角にある。しかし、ややもすれば既存の金属・無機・有機材料を改良する延長線上に企画されたものであり、新技術の一端を担うべき材料側からのブレークスルーには必ずしも多く注力されなかった。まったく新しい着想、切り口からの材料創製には、産官学が連携したより一層の取組が必要とされるところである。ここでは、エネルギー関連技術の飛躍的な展開を誘起しうる革新的な材料、特に機能性有機材料の可能性について述べる。

## 2.4.2 電池材料

コミュニティ・家庭ごとに分散したデマンドサイド電力供給源として、太陽光発電、燃料電池などが注目されている。一方、いつでも・どこでも・誰でもという小型携帯機器に代表されるユビキタスパワー源として、超小型二次電池、熱電変換素子、小型燃料電池など、近未来の電気エネルギー供給形態は幅広となり、多様なエネルギー供給システムの実現が不可欠とされている。

その中で、モバイル機器用電源、電気自動車電源用途としての二次電池にしても、現在の2倍超の体積及び重量エネルギー密度と高出力パワーをあわせもち、かつ環境適合性の高い新しい二次電池、蓄電池の出現が強く要請されている。

小型二次電池の出荷量は、表2.4-1のように2003年度予測で約30億個（5,000億円強）と近年横ばいであるが、2010年には2倍の1兆円に膨らむとの予測もある。携帯電話機器用で中国市場などが増えると共に、ハイブリッド車用途も5,000億円規模になると予測されるなど、新しい電池の出現により更なる市場開拓が期待される。しかし、既存の電池材料では、エネルギー密度だけをとっても性能向上は足踏み状態ではほぼ限界にある。実用されている一次及び二次電池は、すべて、マンガン、鉛、リチウム、コバルトなど金属または金属酸化物を電極材料として、それらのレドックス対で構成されている（空気電池の正極酸素、リチウムイオン電池の負極グラファイトを除く。）。このため、電池としての出力電位は、電極対に用いる金属、金属化合物により一義的に規定され自由度はない。また、重金属を用いていることによる廃棄手順の難しさと資源の限界は明白である。

一方、レドックス作用を持つ有機化合物は、有機ラジカル分子など多く知られており、酸化防止剤などとして汎用されている。レドックス機能と導電性をあわせもつ有機物を電極活物質、すなわち蓄電材料とする新しい着想の研究は、有機物質の分子設計により、電位の選択や極めて高いエネルギー密度も創り出せる可能性を秘めている。この方向に沿った最近の例としては「有機ラジカル電池」がある（図2.4-1）。

また、電気二重層を原理としたキャパシタでも、表面積が著しく増大したカーボン材料などの活用により大容量化に道が開けようとしている。シリコンを負極として容量が1.5倍向上したりリチウムイオン電池の出現、キャパシタ容量の1-2桁での増大、更に高速充放電可能な全く新しいラジカル電池の登場など、電池産業の姿を一変させるような我が国の独自アイデアが芽生え始めている（表2.4-2）。

高分子電解液、有機電解質などの環境・安全性の確立と、非金属化を進めることにより、安全性、生体適合性にも優れた医療用途も含めたマイクロモバイル電源としての拡がりは大きい。本腰を入れて「オール有機バッテリー」を追求する時代が到来したと言えよう。

#### 2.4.3 水素エネルギーと燃料電池材料

燃料電池実用化に向け、国などによる強い施策もあって、水素エネルギー社会が近々到来するような印象もある。経済産業省は「水素エネルギー社会の将来像」提言の中で、水素の主たる用途である燃料電池自動車、及び定置用燃料電池の導入目標を表2.4-3と設定した。

この2つの用途に対しては、固体高分子形の燃料電池(PEFC)が主に用いられると見込まれる。燃料電池関連の技術開発予算は、表2.4-4に示すように、平成16年度329億円と巨額であるが、現実には、中核となる固体高分子形燃料電池においても、新しい材料・部材の直接の充当は多くはない。次世代の要素技術の第1、第2として高温無加湿プロトン伝導膜、白金代替の卑金属触媒がここ数年謳われながら、新しい考え方やそれに基づく材料は出現していない。ナフィオンの含水相分離構造を超えて、非水系でのプロトン伝導を可能とする高分子材料を例にとっても、高分子電解質、有機イオン伝導体、ハイブリッド材料などでの知見をもとに、固相材料化学としていくつものアプローチ法が考えられよう。白金触媒の代替としては、ポルフィリンやフタロシアニンなど大環状配位子からなる金属錯体が研究されている。炭素粒子への分散担持の量や方法、耐久性など実用化への課題は多いが、分子設計の自由度が高いため炭素表面に活性卑金属元素を埋め込んだグラファイトなどと合わせ、高価で有限な白金の使用量低減に寄与する新しいカソード触媒としての可能性を秘めている。

水素貯蔵作用についても、カーボンナノチューブ、有機ハイドライド、高分子複合体など、有機材料はまだ未開拓と言えよう。

#### 2.4.4 太陽光利用材料

太陽光発電の開発成果及び導入実績の伸びは、ここ数年世界レベルで目覚しく、中でも日本は、図2.4-2に見られるようにトップランナーの地位を確保している。

国家プロジェクトで推進されている太陽光発電技術においても、グレッツェルセルを出発点とする色素増感有機系太陽電池の着実な前進が、光電変換効率10%での再現性など我が国先導でなされている。さらに、高分子電解質やホール輸送高分子と組み合わせた高分子固体型の研究がまさに揺籃期となりつつあり、「オールプラスチック太陽電池」の開発研究が近々一気に加速されるであろう。これら有機材料の取り込みが、夢の変換効率30%を実現させる可能性を秘めていると期待される。色素増感太陽電池を構成する有機材料研究の進展は、光合成のクロロフィル活性中心での光励起・電子移動プロセスを模倣する研究と両輪となって、科学と技術に大きく波及する展開となろう。

熱エネルギー関連の有機材料とあわせ、表2.4-5に機能性有機材料が革新的部材として、新しいエネルギー技術を創り出す課題を例示した。

#### 2.4.5 まとめ

エネルギー関連機能として、例えば固相有機・高分子材料での、電子、ホール、プロトン、

イオン、小分子の高密度担持、高効率またはベクトル輸送、有機物や錯体での電子授受(触媒)が課題であり、固相化学、電子・イオン移動の化学などに立脚した共通の材料設計指針が望まれる。有機材料での分子構造 - 機能相関にもとづく分子設計・精密合成の継続的な研究が起点となる。「ナノ」からボトムアップして機能性バルク部材につなげる、10 ナノmからサブミクロンの領域での、自己組織化やナノ構築法など方法論・技術への注力と挑戦が、新しい革新的部材を切り拓くものと期待される。

#### 主要文献

- 1) 資源エネルギー庁:「新エネルギーの導入拡大に向けて」(2004)
- 2) 富士経済:調査資料
- 3) 西出宏之:高分子学会ポリマーフロンティア 21 講演要旨集(2004.11)
- 4) 日本経済新聞:特集「次世代技術 本命を争う」(2004.11.12)
- 5) 新エネルギー・産業技術総合開発機構:第3回燃料電池・水素技術委員会資料
- 6) 新エネルギー・産業技術総合開発機構:「2030年に向けた太陽光発電ロードマップ」(2004.6)

## 2.5 環境・安全関連材料

### 2.5.1 背景

環境の対象は、水、大気、土壌など広範囲に渡る。現在、安全な飲料水を確保できない人々が13億人いるといわれ、世界人口増加により今後の問題の深刻化が懸念されていることから、ここでは水問題解決のための水浄化機能材料を取り上げた。

また、安全関連材料については、各種災害、バイオ・化学テロ等から人体を護る多機能ファブリックを取り上げ、これら2つの分野における有機機能材料の現状、課題及び今後の展望について述べる。

### 2.5.2 水浄化機能材料

21世紀は水の時代ともいわれている。急速な砂漠化や人口増加により、農業用水や飲料水の確保難など、中東のみならず中国も含めて世界各地で水不足の問題が指摘されている。水は地球の表面の70%を覆っているが、浄水処理無しで消費できるのは、わずか1%にすぎない。水不足問題を解決するためには、海水、下水、河川水等の水中の不純物を除去して、水の有効利用を図る必要がある。

また、世界的に工業や農業が必要とする水が益々増加しており、それに伴って水処理産業の規模が増大し、現在、世界で400億ドルの市場を形成しているといわれている。その中で、日本は優れた膜分離技術による水資源有効利用技術を開発し、半導体産業・電子工業分野、製薬・医療産業に純良な水を提供し貢献している。

水浄化に使用される膜材料は、膜の細孔サイズにより、精密ろ過(MF)膜、限外ろ過(UF)膜、逆浸透(RO)膜と分類される。図2.5-1に除去物質と膜の細孔径との関係を示す。なお、巻末にRO膜、UF膜、MF膜の市場を示した(表2.5-1、図2.5-2)。

水浄化技術に関する現状と課題は次のとおりである。

- (1) 従来、水道原水中の懸濁物質を除く目的で、凝集沈殿法あるいは砂ろ過法が使用されてきた。近年、病原性微生物の汚染が問題となっていたが、精密ろ過膜法の工業化により汚染の問題が解消し、現在1日の浄水量が1～5万トンの膜施設が稼働している。
- (2) 膜による海水淡水化については、沖縄で4万トンの設備が稼働を開始し、更に20万トン設備が稼働する予定である。上記に示したように、日本は優れた浄水技術及び海水淡水化の技術を工業化しており、この技術を水問題を抱えている各国に役立てることは日本の責務であろう。
- (3) 水処理分野での課題と期待される技術、材料  
汚染物質の吸着によるファウリングの解消法の開発  
ファウリングにより、膜材料に目詰りが生じ、水の透過速度が低下する。ファウリングの度に酸化処理等に対応しているが、純良な水の生産性を落としている。また、膜材料の中には、オゾンを使用できないものがある。  
耐酸化性(殺菌剤：塩素酸、オゾンを使用)を有する逆浸透膜  
分離膜は、オゾン等の酸化性のあるオゾンが使用できない。  
耐酸化性のRO膜が開発できれば、大幅に生産性が向上する。  
PVDF系の膜が候補材料と言われている。

### 2.5.3 多機能ファブリック材料

各種自然災害、化学工場の火災、バイオ・化学テロ等今後様々な災害から人体を保護し安全を確保するために、高弾性、高耐熱、軽量、耐薬品性等の他に難燃性、透湿性、撥水性、吸着性等を備えた多機能防御服を開発する必要がある。このような各種多機能性を衣服に求めるには、今後、ナノテクノロジーを利用したナノファイバーにナノコーティング等を施した有機材料や金属や無機材料をナノオーダーでコンポジットしたナノコンポジット材料が非常に有力である。すでに、米国では、MITの「兵員ナノテクノロジー研究所」を中心に100億円以上の基礎研究費を投入して、本目的に添った材料の開発が始められている。現在、耐薬品性、耐熱性を有する防御服の市場は年間40億円程度であるが、今後、消防服、レスキュー隊衣服、軍事用衣服、医療用衣服等への波及効果が期待されており、世界的な市場を考えると、今後数年間に数兆円規模になると考えられる。

#### 2.5.4 まとめ

- (1) 日本の機能性膜による水処理技術を世界の水不足の問題解決に役立てることが重要である。
- (2) バイオ・化学テロ等、今後様々な災害から人体を護る為に、多機能防御服を開発する必要がある。その開発には、ナノテクノロジーを利用したナノ繊維に表面処理等を施した有機材料が必要である。

#### 主要文献

- 1) (株)富士経済:「2003年版高機能膜市場の全貌と市場ニーズ実態調査」
- 2) (株)旭リサーチセンター:「環境・安全・健康に関する市場および技術動向に関する調査」(2004)

### 3. 有機機能性材料を支える基盤の整備

#### 3.1 背景

我が国の有機機能性材料の世界市場における強い競争力は、研究によるシーズの創出、市場ニーズの創出と汲み上げ、「創り込み」と「摺り合わせ」によるところが大きい。これは、産学官のそれぞれの関係者がそれぞれの領分において、しっかりと役割を果たしてきたことの証である。

しかし、今後、世界のフロントランナーとしての地位を更に確固たるものにするためには、以下に述べるように有機機能材料開発を支える基盤整備についても、新たな取組が必要である。

#### 3.2 人材育成

材料とは、社会のニーズを反映した物質(第18期日本学術会議物質創製工学研究連絡委員会「社会産業と材料研究連絡委員会報告書」平成15年3月15日)であり、要求される機能・性能を実現する手段として、科学のあらゆる分野の知恵と知識の融合が要求される。具体的には、これまで述べてきた医療・健康関連分野、インフォメーションテクノロジー関連分野、エネルギー関連分野、環境・安全関連分野の4分野について、それぞれに「化学」の知識だけでは解決し得ない、従来の枠組みを超えた開発対象が多数生まれてきている。また、医療機器などに代表される先端分野でも、医学を始めとして電子工学や機械工学他の幅広い学問分野や技術分野の知識との融合が不可欠になっており、従来の分類の枠組みを超えた新しい人材育成システムが求められている。

高機能性有機材料の開発には、特に複合的視点が重要であり、このような要請に応えられ

る人材を育成しなければならない。文明が、通常、材料名で表されるように、材料は本来人類社会の要請に応えるべく開発された物質群である。しかし、一般に材料がそのまま社会で使用されるケースは希であり、通常は部材・部品化され、更に他の部材・部品と共に組み立てられて使用される。したがって、社会で役立つ材料の開発には多分野の科学技術の融合が必須要件となっており、基礎研究の段階から複合的であることが研究力の向上に繋がる。

一方、新たに創造された材料・部材が社会で市民権を得るには、資源生産性やエネルギー消費、生態系への影響などの自然科学的要件のみならず、社会的・文化的・経済的視点からの要求も満たさなければならない。これまでの研究技術開発は、各開発段階において必要な人材が新たに加わる、あるいは交代することによって直列的・時系列的に推進されてきた。しかし、情報技術が飛躍的に進歩した現代においては、これらを並列的に推進しなければ国際競争に勝つことはできない。すなわち、高度な異分野の科学技術とそれを融合し統合的にマネジメントする人材の育成とイノベーションを推進する仕組みが必要である。材料科学の一大分野を担う化学・化学技術の領域では、専門領域別に多くの学協会が林立して、それぞれ専門性を磨いているが、これとは別に、戦略的な科学技術の融合とそれを可能ならしめる人材の教育体系を構想し、統合的に推進する組織を構築する必要がある。日本学術会議化学研究連絡委員会報告『化学者からのメッセージ』(平成15年6月24日)が提言した「学協会の統合・大連合」は、学会間の連携を具体化して融合的・統合的な研究技術開発のための支援と、多分野の知識に精通した人材を育成するうえでも極めて有効であり、その実現が切に望まれる。専門科学技術の深耕機能と学術研究に共通する機能(科学教育、技術教育、総合科学技術雑誌、学術政策提案、社会への積極的な情報発信、学会間の連携プロジェクト、国際交流と連携)を分離してそれぞれのレベルアップを図るためにも、大局的な観点から、学協会の統合・連合を含めた再構築の必要性を指摘しておきたい。

さらに、新しい価値を持った消費財が社会に広く受け入れられ、イノベーションを引き起こすには、自然科学の知識だけでなく、社会科学や人文科学の知識までもが要求される。従来の細分化された学問や技術領域での専門家を育成する教育体系では、この要望に合致する人材を育成することは困難である。課題解決能力だけでなく、課題発見能力や創造的思考力、構想力、企画力、コミュニケーション力などの総合結果として、新しい価値を創造する能力を備えた人材が求められている。

科学技術の深耕と異分野の科学技術の融合・連携は今後益々重要となり、これらを結びつける幅広い知識を有する人材を育成することが急務である。

### 3.3 社会システム・制度の改善

3.2に述べたように、科学技術の深耕と異分野の科学技術の融合・連携が今後益々必要になるに伴い、教育システムの改革以外に現在の社会システムや制度を改善することが必須である。先端分野を代表するバイオメディカル材料、医療機器分野を具体的な例として述べ



る。

これらの分野は大きな産業分野を構築しており、高齢化に伴って今後も増加すると考えられるが、この分野において日本の国際競争力は欧米に比して甚だしく劣っており、殆どが輸入に依存している（図3.3-1、図3.3-2）。この理由として、日本では高いリスクを伴う医療材料や治療機器、治療方法の開発を可能とする社会システムができていないという基本的な問題が挙げられる。

第一に、PL法の問題がある。日本では、PL法による損害賠償を恐れるあまり企業が意識的に医療材料開発を避けてきた経緯がある。米国では、医療特別措置によって問題発生時の材料供給側の経営リスクが軽減されている。日本でも、体内で使用する材料・機器に関するPL法の除外規定を作り、薬害副作用救済基金に倣った制度を作って対応しなければ、日米の格差を縮小することは困難である。

第二に、日本では、米国では認められている治療法に関する特許が認められていないため、開発者の利益が保護されないという問題がある。

第三に、大学における研究体制の問題がある。米国では、化学マイナー・医学メジャーという進学経路が定着しており、加えて、バイオメディカルエンジニアリングの学部・学科は80~90に上り、博士号取得者も数万人規模で輩出されている。一方、日本の大学ではメディカルと化学やエンジニアリングの融合領域の研究力が弱く、バイオメディカル材料の機能や安全性の基礎研究と人材供給の面で遅れを生じており、国間格差の原因となっている。

第四に、最も大きな問題として、バイオメディカル材料開発は、企業による材料開発、大学等による基礎研究、医師による臨床試験とが一体となって推進される体制でなければその成果は期待できないにもかかわらず、日本の状況はバイオメディカル材料の医工連携研究体制の整備や臨床試験の実施面で欧米に比し大きく遅れていると言わざるを得ない点である。

これらの問題点の結果が、診断及び治療機器特許取得件数（図3.3-3）の差となって現れている。

### 3.4 まとめ

今後の有機機能性材料開発のためには、目的に合った材料を開発する技術を有すると同時に、異なった分野の科学技術を結びつける幅広い知識を有する人材の育成が強く望まれる。

同時に、これまでの日本のシステムでは対応できない問題が、これから多方面で発生し、有機機能性材料開発の阻害要因になる可能性がある。日本がこの分野で国際競争力をつけ、それを維持・発展するために、問題を柔軟かつ迅速に解決できる社会システム・制度の改善が必須である。このような努力は、21世紀の要望に応えられる大型人材の育成にも繋がる。

#### 4. まとめと提言

日本学術会議物質創製工学研究連絡委員会は、第18期以降、金属、セラミックス、有機高分子などを分野毎に捉えるのではなく、材料全体として俯瞰的・総合的に捉える努力を行ってきた。(『物質・材料研究開発に関わる国家戦略確立の必要性について』日本学術会議社会・産業と材料研究連絡委員会報告、平成15年3月17日)金属、セラミックス、有機材料その他各種材料は、それぞれ構成元素・結合構造・結晶性その他が異なり、それぞれ特徴を有している。これらの材料間には、相互に置換できる部分と、置換不能な部分が存在しているため、要求性能・機能に応じて種々の用途で組み合わせられ、使い分けられているのが実情である。本専門委員会が取り上げた機能性、特に医療材料や水処理用膜材料、電極膜などに要求される機能性は、有機機能性材料に極めて特異的なものであり、有機材料が果たすべき役割が大きい領域と考えた。実際の応用の場ではこれらの機能性材料と他材料との組み合わせなどが必須になると考えられ、領域を超えた材料研究者・技術者間の連携が重要であることは論を待たない。本報告は、前期以来物質創製工学研究連絡委員会が進めてきた路線を補強するものと位置づけている。

本報告では、エネルギー、水、食糧、環境、感染症、高齢化問題をキーワードとして、21世紀における社会の持続可能な発展と我が国産業の国際競争力の強化を支える、有機機能性材料開発の展望をまとめた。

特に、我が国が最も得意とするインフォメーションテクノロジー分野、医療・健康分野、エネルギー分野、環境分野の4分野を有望技術分野として取り上げ、極限性能・機能の実現を目指した革新的材料技術開発への期待と、それを支える基礎研究の充実、異分野の学問・技術領域を融合し新しい価値を創造する人材の育成、新規材料・部材の社会への導入を促進する施策等、多面的な取組の必要性を指摘した。底辺の広がり大きなテーマであるが、国際的な競争も激しい。産学官にわたる密接な連携の下、機動力のある研究・開発の展開ができるかどうか成否の鍵を握る。

これまでの議論を踏まえ、本専門委員会は以下の項目を材料関連の政策立案者、化学者、技術者に対して以下を提言する。

科学技術基本法が謳う科学技術創造立国を実現するためには、新しい材料価値の創造と社会への導入を促進・支援する仕組みが必要不可欠であり、専門領域の枠を越えて創造的企画のできる人材の育成が重要である。さらには、材料・部材の真の価値を正確に見極め、他に先駆けて、世界のニーズを読み取る実力を養うことが肝要である。このような努力は、21世紀の要望に応えられる大型人材の育成にも繋がる。

- 1 . 極限性能・機能を実現する革新的機能性有機材料・部材開発の推進
- 2 . 新規機能性材料・部材開発を支える基礎研究の充実
- 3 . 異分野の学問・技術領域を融合し新しい価値を創造する人材の育成
- 4 . 産官学の密接な連携の下での機動力ある研究・開発の展開
- 5 . 新規材料・部材の社会への導入を促進する施策の導入
- 6 . 将来を見据えた関連学協会の大局的な取組（統合・連合を含めた再構築）

以上

巻末添付図表  
第1章

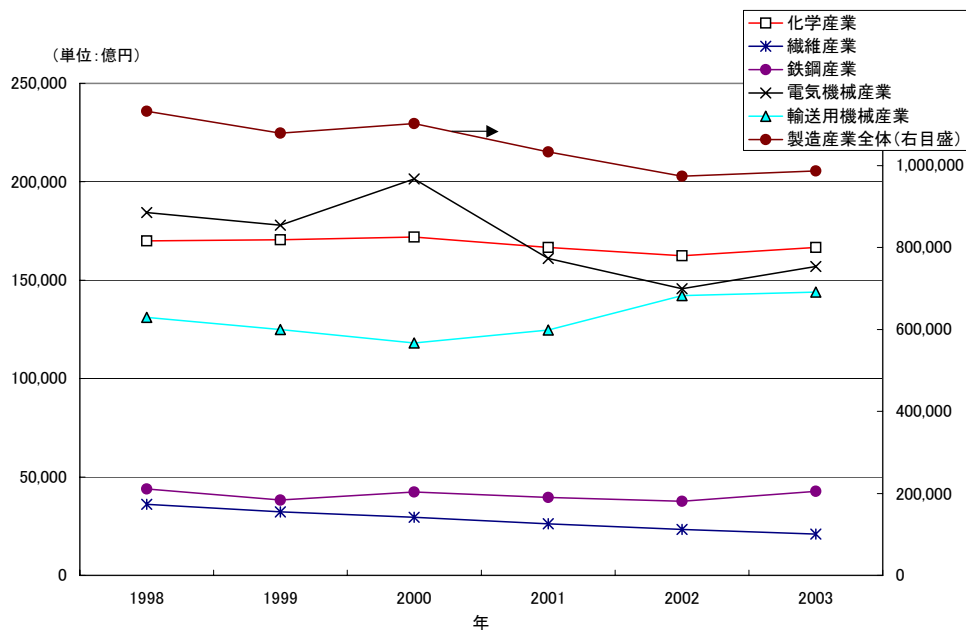


図 1.2-1 製造業の付加価値額の推移

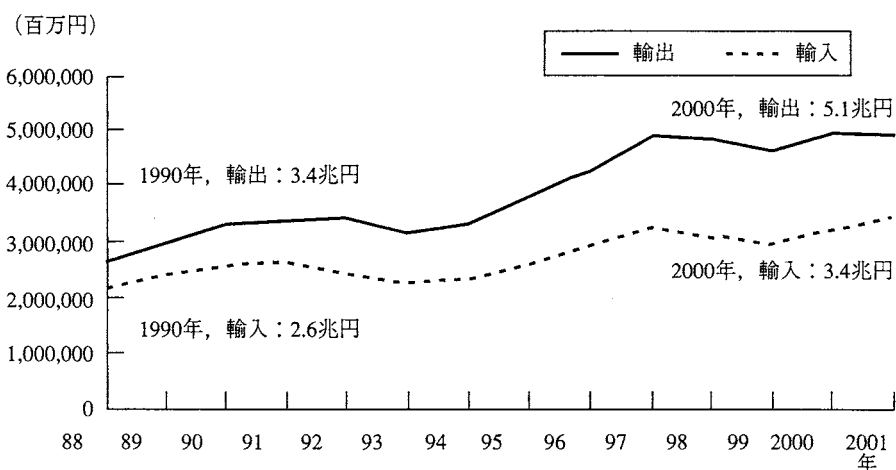


図 1.2-2 化学産業の貿易額の推移

化学産業：第28類～40類(化学工業(写真フィルムを含む)、プラスチック及びゴム並びにこれらの製品)

出典：機能性化学産業研究会報告

表 1.2-1 世界市場における日本の高シェア機能性化学品・技術

分野名	高シェア機能性化学品・技術	日本のシェア(%)
有機低分子材料	半導体封止材	90
	フォトレジスト	57
	シュガーエステル	>50
	グリセリン脂肪酸エステル	60
	りんご酸	43
	メタクリル酸グリシジル	≒50
	塩素化イソシアヌル酸	30
	パラオキシ安息香酸	>50
高分子材料	EVOH樹脂	100
	MBS樹脂	76
	高吸水性樹脂	≒50
	ポリメチルペンテンー1	100
	ポリエチレンナフタレート・フィルム	≒100
	ポリアリレート	100
	エピクロルヒドリンゴム	75
	ポリフェニレンサルファイド	55
	フッ素樹脂	32
	熱可塑性ポリイミド	100
無機材料	Siウェハー	71
	化合物半導体ウェハー	75
	リードフレーム	>70
	ボンディングワイヤー	≒100
	高純度アルミナ	60
	水晶振動子	≒100
	セラミック基板	≒100
	水素貯蔵合金	≒100
ヨウ素	57	
バイオテクノロジー	L-ロイシン	75
	L-アルギニン	87
	L-グルタミン	100
	L-リジン	60
ヘルスケア	メバロチン	
	リユーブリン	
	半合成ペニシリン中間体	50
部材・製品	炭素繊維	60
	光磁気ディスク	70
	CD-R	≒100
	カラーフィルター	≒100
	リチウムイオン電池	≒100
	ニッケル水素蓄電池	≒100
	フレキシブルプリント基板	≒70
プラスチック基板	60	
触媒・製造技術	アクリル酸酸化技術	74
	脱硝触媒	≒100

出典：産業技術戦略策定基盤調査((財)化学技術戦略推進機構，2000年)

## 第2章

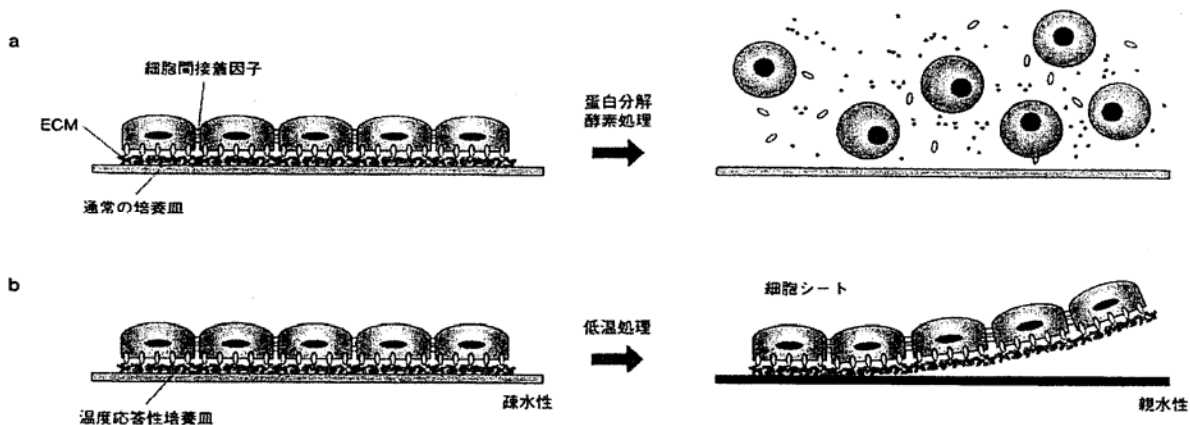


図 2.2-1 細胞シート工学

- 通常培養皿を用いた場合：蛋白分解酵素で細胞と培養皿の接着を乖離させる時、細胞間接着も破壊される。
  - 温度応答性培養皿を用いた場合：低温処理により細胞間接着を破壊することなく細胞シートを脱着させる事が出来る。
- 出典：Heart View Vol.6 No.10

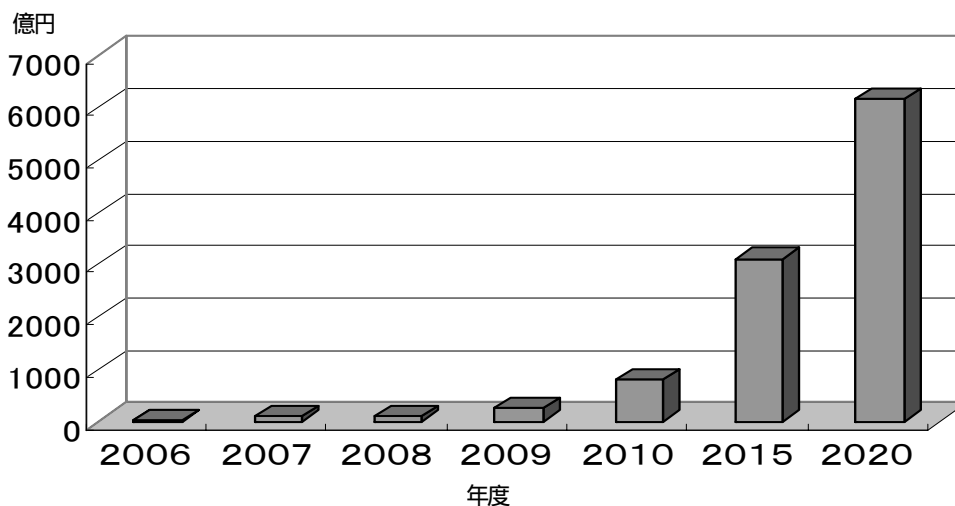


図 2.2-2 再生医療国内市場規模予測

出典：シード・プランニング home page より転写

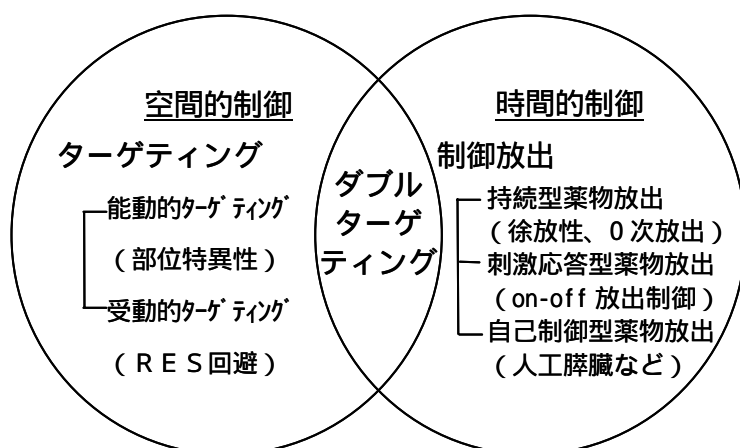


図 2.2-3 ドラッグデリバリーによる薬物治療の空間的・時間的制御

出典: Drug Delivery System Vol. 10, No.5 (1995)

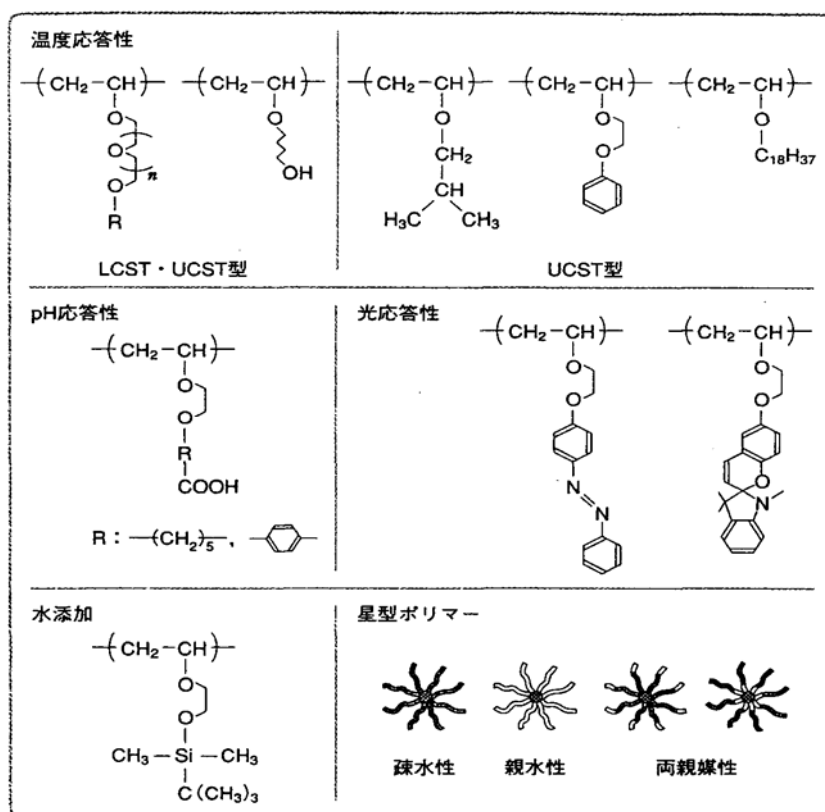


図 2.2-4 刺激応答性ポリマー

出典: 未来材料 Vol.2 No.2 2004

表 2.3-1 我が国のブロードバンド契約数の推移

(単位:万件)

(年度末)	平成11年	平成112	平成13年	平成14年	平成15年
無線(FWA等)	-	0.09	0.8	3	3
FTTH	-	0.02	2.6	31	114
ケーブルインターネット	22	78	146	207	258
DSL	0.02	7.1	238	702	1,120
合計	22	86	387	943	1,495

FTTH: Fiber to the Home

DSL: Digital Subscriber Line

出典: 平成16年 情報通信白書

表2.3-2 情報記録デバイスの現状

	HDD (ハードディスクドライブ)	光ディスク		フラッシュメモリ
記録原理	磁気記録	光記録		半導体メモリ
特徴	大容量、高速転送	記録媒体の交換が可能		小型・軽量・低消費電力
記録容量	数10~400GB(3.5インチ) 1GB~4GB(1インチ)	DVD 4.7 GB (片面1層)	次世代DVD 27 GB (片面1層)	32MB~1GB
記録密度	~70 (Gbits/inch <sup>2</sup> )	3	20	-
データ転送速度	800 Mbps	177Mbps	36又は72Mbps	80Mbps
容量単価	0.1 ¥/MB以下	0.1 ¥/MB程度	0.1 ¥/MB程度	30~50 ¥/MB
市場規模 (2003年全世界)	2兆6000億円	光ディスクドライブ: 9,400億円 光記録媒体: 4,400億円		9,700億円
状況	熱ゆらぎのため、記録密度は 限界に達している	短波長化、光スポット微小化は、 次世代DVDが上限		書換え回数の制限 書込み速度の限界
今後の動向	垂直磁気記録 光・磁気ハイブリッド記録	近接場光記録 3次元多層記録 ホログラムメモリ		次世代不揮発性メモリ (FeRAM, MRAM, OUM)

出典: NEDO平成15年度調査報告書「電子部品産業の技術競争力に関する調査」

- ストレージ技術動向 - 平成16年5月



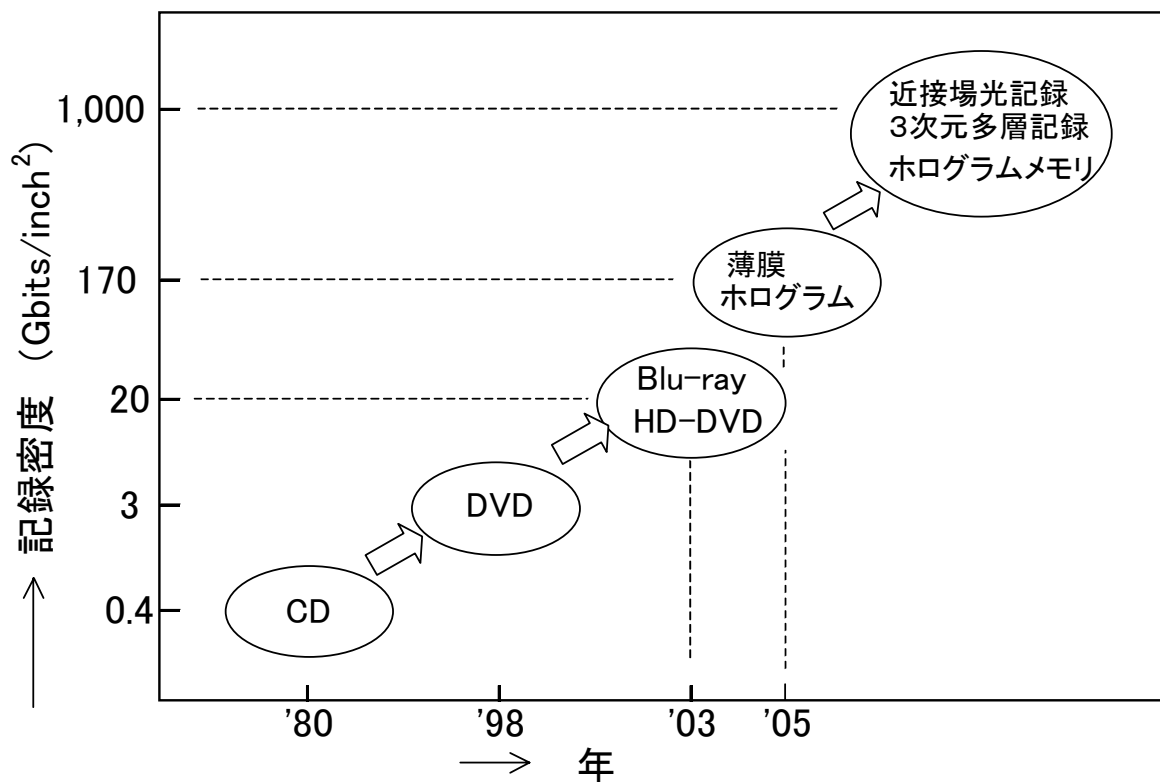


図2.3-1 光記録材料の動向

出典: NEDO 平成 15 年度調査報告書「電子部品産業の技術競争力に関する調査」

- ストレージ - 技術動向 - 平成 16 年 5 月 より加筆

表 2.4-1 世界の小型二次電池の出荷量

(百万個)

年度	2001年度 (実績)	2002年度 (見込み)	2003年度 (予測)
リチウムイオン電池	700	800	900
ニッケル水素電池	1,200	900	800
ニッカド電池	1,350	1,350	1,300
合計	3,250	3,050	3,000

出典: 富士経済

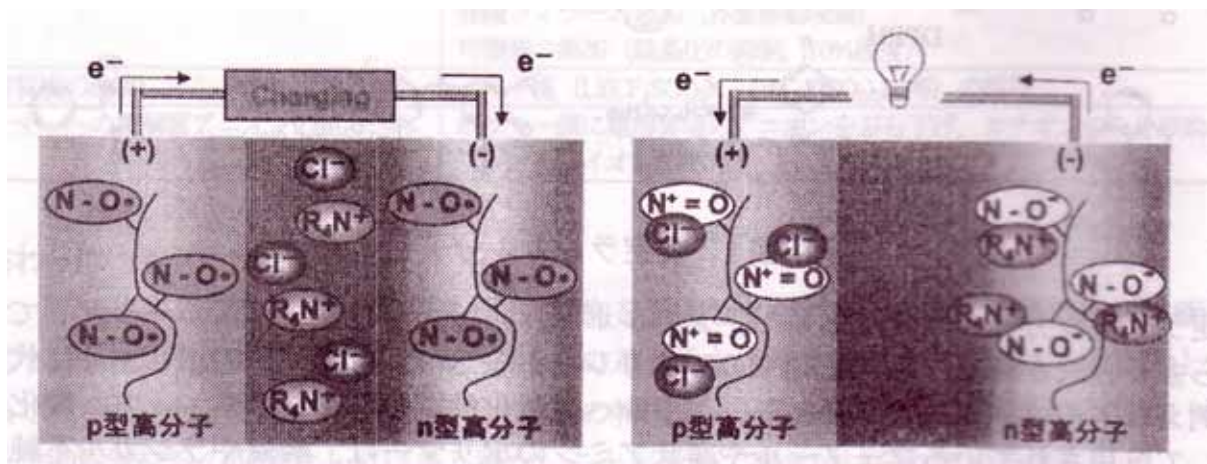


図2.4-1 有機ラジカル電池の作動原理

表2.4-2 小型電源の特徴と展望

名称	体積当りの容量	充放電速度	耐久性	寿命
リチウムイオン電池	○→◎	△→○	○	○
電気二重層キャパシタ	△→○	◎	○	◎
有機ラジカル電池	○→◎	◎	△	△→○

△:普通 ○:優 ◎:特に高い性能

出典:日本経済新聞2004年11月20日 次世代技術より抜粋

表2.4-3 用途別燃料電池の導入目標

燃料電池用途	2010年	2020年
燃料電池自動車	5万台	500万台
定置用燃料電池	~210万kw	~1,000万kw

出典:経済産業省「水素エネルギー社会の将来像」

表 2.4-4 2004 年度燃料電池技術開発関係予算

2004年度政府予算案:329億円			
主な 予算	(1)	固体高分子型燃料電池システム技術開発	41.5億円 (51.1億円)
	(2)	水素安全利用等基板技術開発	63.5億円 (45.5億円)
	(3)	固体高分子型燃料電池システム実証等研究	30.0億円 (38.6億円)
	(4)	固体高分子型燃料電池システム普及基盤整備	24.0億円 (38.7億円)
	(5)	燃料電池自動車等用リチウム電池技術開発	19.8億円 (19.5億円)
	(6)	携帯用燃料電池技術開発	7.8億円 (2.2億円)
	(7)	固体酸化物型燃料電池システム技術開発	16.0億円 (0.0億円)

( )値は、2003年度予算:総額 307億円

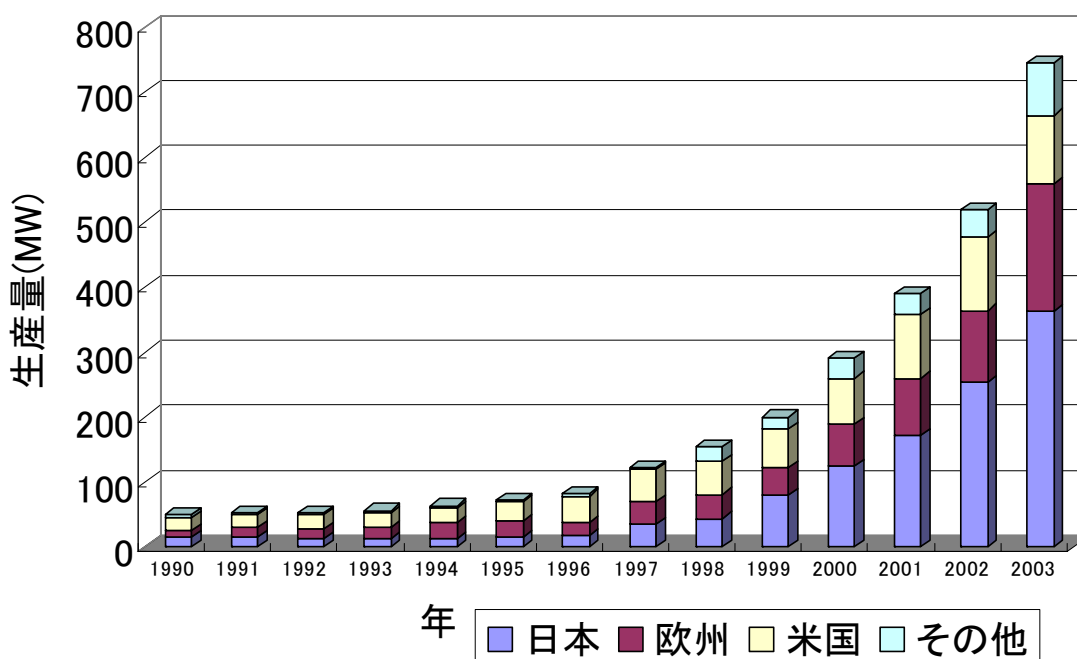


図 2.4-2 世界の太陽電池生産量

出典: NEDO 「2030 年に向けた太陽電池ロードマップ」 平成 16 年 6 月

表 2.4-5 エネルギー関連 有機機能性材料・部材

分類	技術	材料・部材テーマ
電池	二次電池	有機電極活物質レドックス導電性高分子 有機蓄電材料 超イオン伝導高分子電解質
	一次電池	空気電池用酸素選択材料
水素エ ネルギー/ 燃料 電池	固体高分子形燃料電池	高温無加湿プロトン伝導高分子膜 常温プロトン伝導高分子膜 白金代替錯体電極触媒 超精密軽量セパレータ部材
	水素燃料システム	水素貯蔵炭素・高分子複合材料 固体高分子形水分解による水素発生
太陽光 利用	有機太陽電池	高分子固体型色素増感太陽電池 超ホール輸送高分子材料
	有機光電変換素子	有機ヘテロ接合体
	光合成モデル光エネルギー変換系	アンテナ系/光電荷分離系構築 水分解酸素発生触媒
熱エネ ルギー	有機熱電変換素子	熱電変換導電性高分子材料
	有機蓄熱系	高次相転移高分子材料
	熱伝導・断熱有機部材	超熱伝導放熱材料 極低温用高分子材料

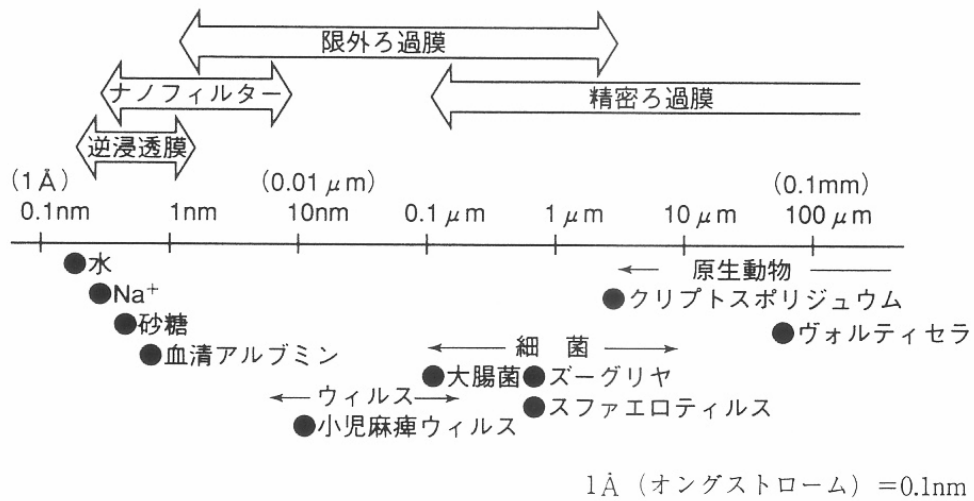


図2.5-1 物質の大きさと分離性能

出典：「初歩から学ぶ水処理技術」、福田 文治著、工業調査会、p152

表2.5-1 RO,UF,MF膜の2002年度の市場規模（数量・金額）

使用分野	RO	UF	MF
水処理プラント	7,300	6,100	170,000
食品・飲料	7,900	4,800	300,000
製薬・医療	5,600	5,300	340,000
半導体・電子工業	22,500	9,000	420,000
化学精製	0	0	290,000
その他	1,700	8,800	160,000
合計（本数）	45,000	34,000	1,680,000
金額（百万円）	6,200	9,100	46,500

出典：富士経済「2003年版高機能膜市場の全貌と実態調査」2003年5月

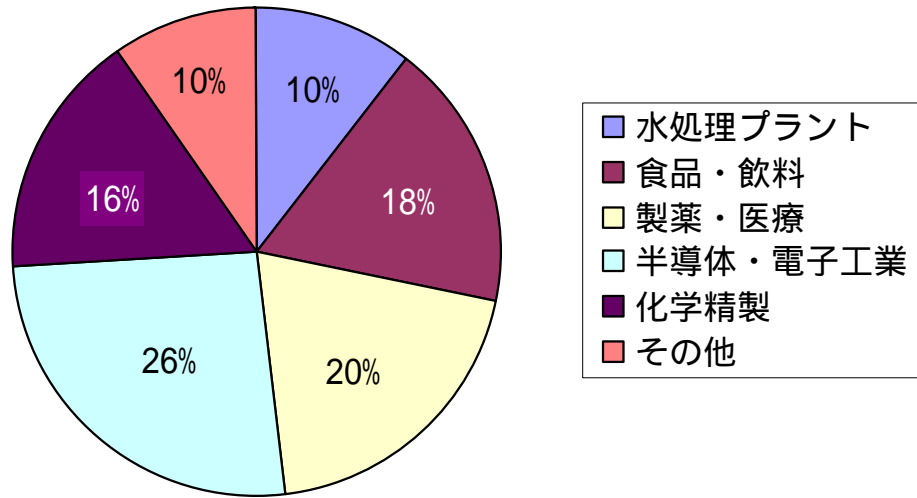


図2.5-2 使用分野別RO,UF,MF膜合計の割合(2003年数量ベース)

### 第3章

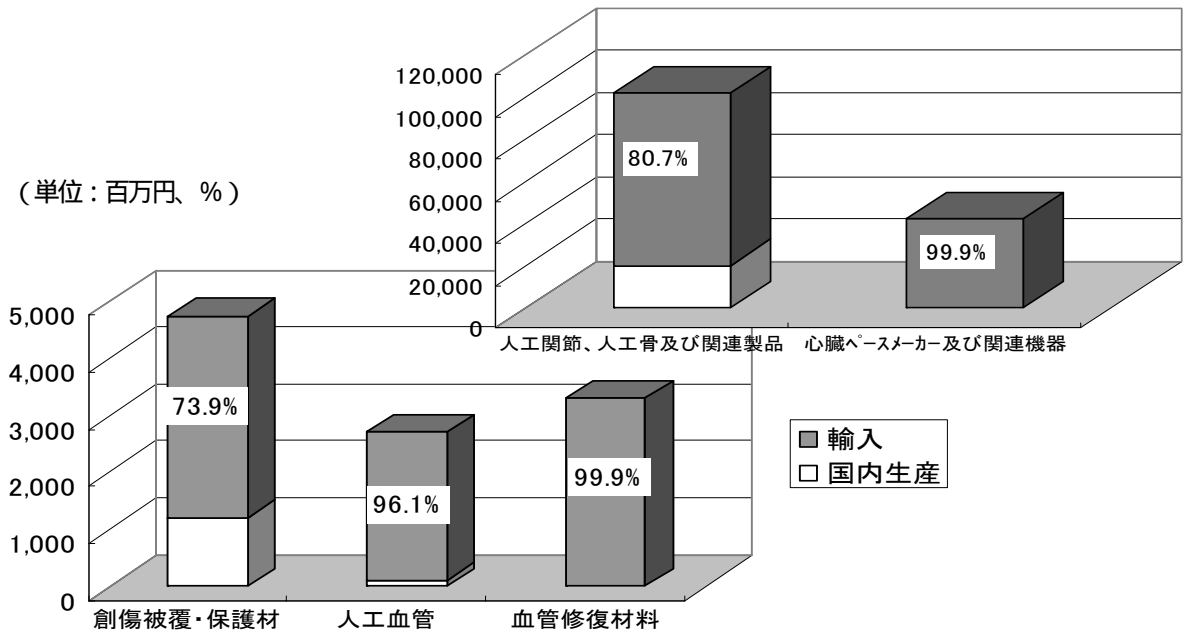


図3.3-1 治療用具・機器市場から見た海外依存

出典：厚生労働省「薬事工業生産動態統計年報」(1999)

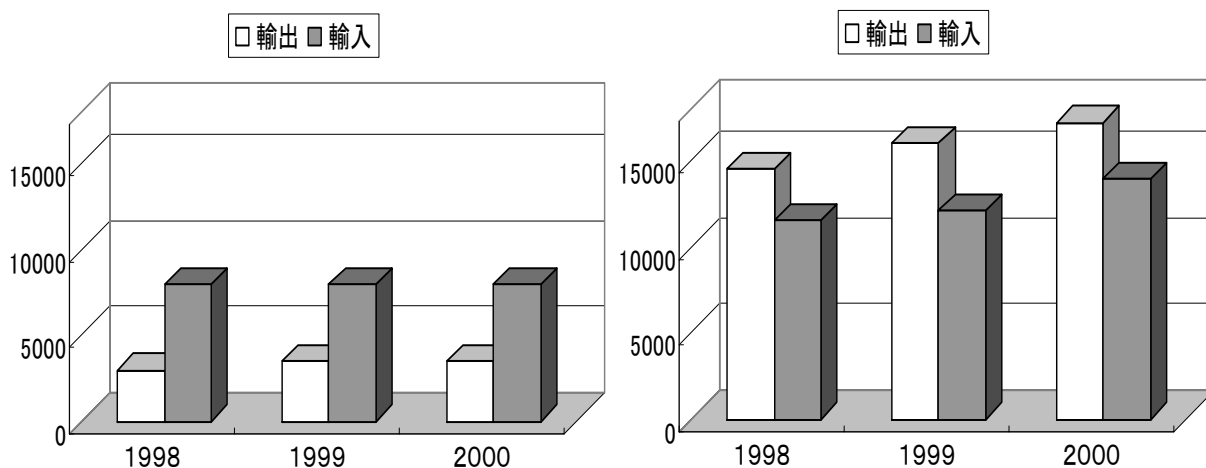


図 3.3-2 医療機器の貿易収支

出典：米国 The U.S. Department of Commerce, the U.S. Treasury,  
and the U.S. International Trade Commission

日本 厚生労働省「薬事工業生産動態統計年報」(平成 14 年)

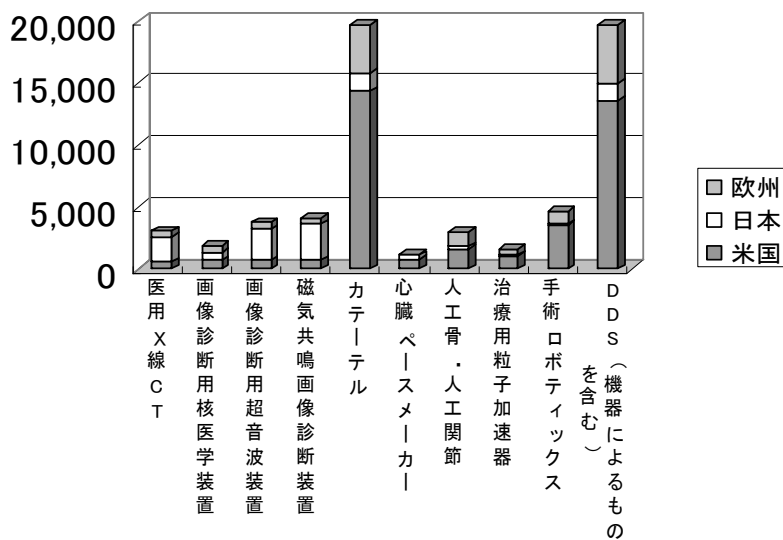


図 3.3-3 診断および治療機器特許取得件数

米国/日本/欧州の比較 (平成 2~10 年)

出典：厚生労働省「医療機器産業ビジョン骨子(案)のポイント」