

■ 展 望 ■

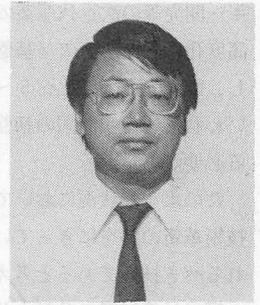
新材料研究開発の現状と展望

——次世代産業基盤技術研究開発制度を中心として——

Overview of Advanced Materials R&D

青 木 信 也*

Sinya Aoki



1. 新材料開発の必要性と現状

技術革新は、社会の発展の原動力であり、新たな未来を開く契機となるものである。

80年代を迎え、我が国は、エネルギー制約の下に、社会活力を維持し、国民生活の質を一層向上させる課題に直面している。産業構造審議会のいわゆる「80年代の通産政策ビジョン」(55年3月)において、資源小国である我が国がその脆弱性を克服するためには「経済安全保障の確立」と「技術立国への道」のための政策展開が不可欠であると指摘されているように、技術立国こそ我が国が目指すべき目標である。

また、今後、国際的に通用しうる独創的な技術を開発していくことは、我が国の国際社会に対する貢献として重要である。

現在、我が国の技術水準は、先進工業国の平均的水準に達し、鉄鋼、自動車、電機産業などの技術分野では世界のトップレベルにあるものも生れている。しかし、これらは戦後欧米先進工業国との技術格差を埋めるため、先進国から積極的に技術導入を図り、改善・改良を進めてきた結果であり、残念ながら我が国は革新的な独自の技術を開発するという点では、欧米先進国に立ち遅れているといえる。

今後、我が国が技術立国を目指すためには、90年代

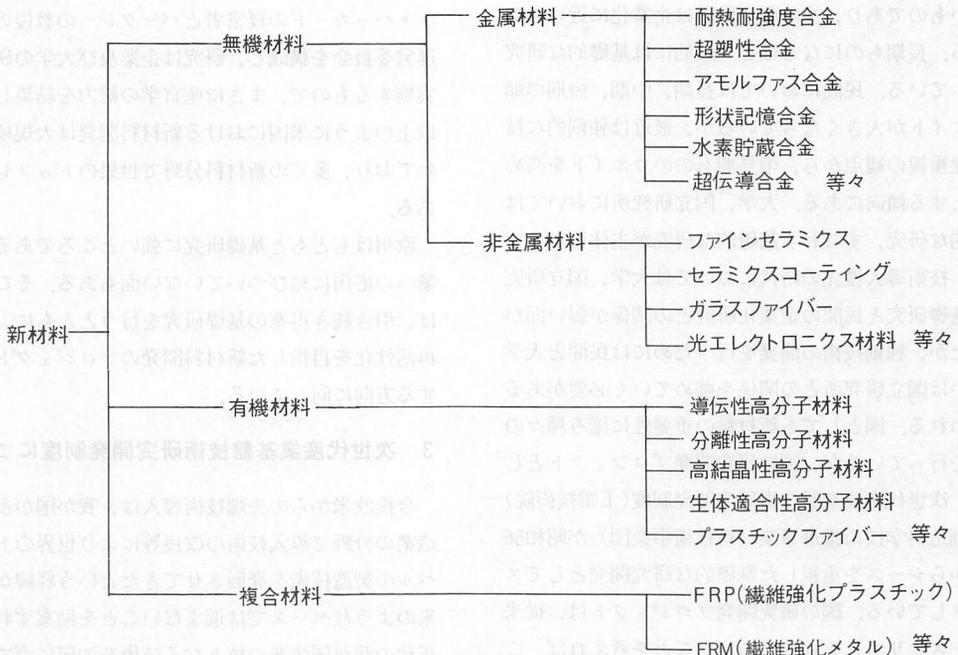


図-1 新材料の分類と代表例

* 通商産業省工業技術院・次世代産業技術開発官

〒100 東京都千代田区霞ヶ関1-3-1

に発展が期待できる航空・宇宙、情報処理、新エネルギー開発等の次世代産業の確立及び広範な既存産業の高度化に必要な不可欠な基盤技術の研究開発を特に推進し、欧米先進国に比べ5～10年の遅れをとっているといわれている我が国の基盤技術水準を早急に引き上げる必要がある。

このような状況において、新材料の開発は従来から技術革新の鍵をにぎっているものであり、最も力を入れるべき技術であると考えられる。

図-1は新材料の分類と代表例であるが、材料は無機と有機に大きく分かれており、無機材料は金属材料と非金属材料に分れる。新金属材料の代表例は種々の機能を有する新合金である。また、新非金属材料はファイナセラムに代表される。新有機材料は代表例にみられるように種々の機能を有する高分子材料である。また、新複合材料として代表されるものは繊維とプラスチックの複合であるFRP (Fiber Reinforced Plastic)、繊維と金属の複合であるFRM (Fiber Reinforced Plastic) である。

新材料の研究開発は、図-1のとおり種々のテーマがあるが、開発期間も短期もの(開発期間2～3年)、中期もの(開発期間5年程度)、長期もの(開発期間10年程度)がある。短いものほど現技術の改良等現技術に近いものであり、当然研究段階は企業化に近いものである。長期ものになるほど一般的には基礎的な研究となっている。民間においては長期、中期、短期の順にウエイトが大きくなっているが、最近では独創的な技術開発重視の観点から、中長期ものウエイトを高めようとする傾向にある。大学、国立研究所においては長期的な研究、すなわち基礎的な研究が主体となっている。技術導入優先の時代においては大学、国立研究所の基礎研究と民間の企業化研究との関係が弱い面があったが、独創技術の開発を行うためには民間と大学あるいは国立研究所との関係を強めていく必要があると思われる。国としても新材料の重要性に鑑み種々の施策を行っているが、国の研究開発プロジェクトとしては、次世代産業基盤技術研究開発制度(工業技術院)及び創造科学技術推進事業(新技術事業団)が昭和56年度からシーズを重視した基礎的な研究開発としてスタートしている。国の研究開発プロジェクトは、従来はニーズオリエンテッドであったことを考えれば、これらの研究開発は画期的な意味を持つものである。更に従来から、新エネルギー開発のためのサンシャイン計画、省エネルギー開発のためのムーンライト計画(い

づれも工業技術院)等においてシステムを構成する機器の一部高度材料を研究開発している。

2. 欧米における新材料開発の現状

欧米における新材料の開発の現状は表1のとおりである。米国においては新材料開発に国が積極的に取り組んでおり、またデュポン、アライドケミカル等の民間も積極的である。エネルギー省、国防省等各省がプロジェクトを組み民間及び大学に委託しているが、我が国に比し大学のウエイトが大きく、産官学の体制は効果をあげていると思われる。より基礎的な研究ではNSF (National Science Foundation, 政府関係の科学技術振興基金)が、多くのテーマについて大学及び民間から応募を受け、その中から採用されたテーマに研究費を供与している。更に注目すべき動きとしては、最近エネルギー省が先端材料センター (Center for Advanced Materials) を設立したことである。このセンターは、カリフォルニアの国立ローレンス・バークレー研究所内に設置され、1984年から6ヶ年間で2億5,690万ドルを投ずる計画となっている。研究内容は、触媒、電子材料、表面科学、高分子(複合材料も含む)、セラミックスの5テーマの基礎研究である。研究体制はIBM、USスチール、シェブロン、ヒューレット・パッカートの経営者とバークレーの教授の5人が運営委員会を構成し、研究は企業及び大学の研究者が実施するもので、まさに産官学の総力を結集している。以上のように米国における新材料開発は大規模に行われており、多くの新材料分野で世界のトップレベルにある。

欧州はもともと基礎研究に強いところであるが、産業への応用に結びついていない面もある。そこで欧州は、引き続き得意の基礎研究を行うとともに、産業の再活性化を目指した新材料開発のプロジェクトを重視する方向に向っている。

3. 次世代産業基盤技術研究開発制度について

今後欧米からの先端技術導入は、我が国が多くの製造業の分野で導入技術の改良等により世界のトップレベルの製造技術を発展させてきたという経緯から、従来のようなペースでは進まないことを勘案すれば、90年代の我が国産業の核となる技術を如何に育てていくか、また経済大国の役割として世界経済の発展に寄与する技術を如何に創出していくかが重要な課題となっている。

表1 諸外国の開発状況

テーマ名	国名	開発状況	テーマ名	国名	開発状況
新材料	アメリカ	・NCAM(National Center of Advanced Materials)をエネルギー省がカリフォルニア大、ローレンスバークレー研に建設、先端材料に関する研究開発を1984年から6年間2億5,690万ドルをかけて行う。初年度は3,500万ドル。	導電性高分子材料	アメリカ	・NSFの基金による産学共同研究センター(Industry-University Research Center Program)の一環として、CUMIRP(Center of University of Massachusetts Industry Research on Polymer)で、参加18企業の資金も合わせて高分子材料の研究開発を行っている。導電性高分子はONR (Office of Naval Research), DARPA (Defence Advance Research Project Agency)の資金でポリアセチレン系化合物を中心に研究している。この他、シェブロンリサーチ、ベル、アライドコーポレーション等で高分子バッテリーをめぐらしている。
	EC	・欧州におけるOECD加盟国が、COST(Cooperation europeenne dans le domani de la Recherche Scientifique et Technique "科学技術研究分野における欧州の協力")計画の一部のプロジェクトとして、新材料(ガスタービン材料、超電導材料、高温構造材料など)について官公庁、研究所、研究センターによる共同活動を1971年から進めている。		ドイツ	・フライブルグ大学でポリアセチレン、ポリキノリン等の導電性高分子の研究を行っている。
	フランス	・新材料の開発を優先プログラムとして位置付け、新材料開発計画をMRI(研究工業省)支援の下、1983年からの3年間で7億フラン(内1983年は1億2,500万フラン)を投入して研究開発を進めようとしている。		フランス	・CNRS(国立科学研究センター)の支援の下、パリ南大で電荷移動錯体の研究を行っている。
ファイブセラミックス	アメリカ	・DOE(エネルギー省)から民間各社に委託して、高耐熱性、高強度を要する部品をセラミック化した乗用車用ガスタービンの開発が1979年から1985年にかけて、総額1.21億ドルの予算で進められている。(Advanced Gasturbin 計画) (委託企業: GM(DDA)/ボンティアック、ギャレット/フォード、クライスラー等) ・DOEがDDA(Detroit Diesel Allison)社等に委託して、高耐熱性、高強度を要する部品をセラミック化した大型バス、トラック用ガスタービン開発が1978年から1984年の7年間で4,400万ドルの予算で進められている。(Ceramic Application for Turbin Engines 計画) ・DOE支援の下、Oak Ridge National Labを中心に、大学、研究所、民間企業が参加して、AGT、断熱ディーゼル等に関し、セラミック技術の基礎を確立することを目的に当面1983年から1985年の3年間で13億万ドルの予算で研究が行われている。	高結晶材料	デンマーク	・Danish National Science Councilの支援の下、コペンハーゲン大学で新規物質開発を行っている。
	西ドイツ	・BMFT(科学技術省)が支援し、DFVLR(宇宙航空研究所)の管理下で、ガスタービン自動車エンジン用セラミック部品の開発が1974年から1983年までの10年間、9,700万マルク(政府資金55%, 民間資金45%)の予算で進められた。 (参加企業: フォルクスワーゲン、ダイムラーベンツ、MTU、シュタルク等) ・BMFT、大学、研究所、産業界の協力のもとに、基礎と応用を結びつけた材料研究プロジェクトの中で、非酸化物セラミックスの材料開発が進められている。		アメリカ	・Air Force Material Laboratoryが、軽量・高強度な航空機材の開発を目的として、年600万ドルの資金で大学、企業に委託研究を行っている。また、CUMIRPでも剛直高分子の研究を手がけている。
	フランス	・MRI(研究工業省)の支援の下、大学、研究所、民間企業によりディーゼルエンジン用セラミックスの開発が進められている。 (CNRS, CRRACS, Renault, Lafarge等) ・DRET(研究技術庁)の支援の下、ONERA(国立宇宙研究センター)が中心となってガスタービン用セラミックスの開発が進められている。 (参加企業: Lafarge, Ceraver, SEP等) 同じく、Ceraverが参加して熱交換用セラミックスの開発が進められている。		アメリカ	・NASAがGE, P.W.A.(Pratt & Whitney Aircraft), Garrete社に委託して、タービンブレード用粒子分散強化合金、単結晶合金の製造技術の開発を1976年から1982年までに199億円程度を投入して行い、現在も再編継続中である。 (Materials for Advanced Turbin Engines 計画) ・NASAがGE, P.W.A社に委託して、省エネルギー民間航空用エンジンの開発を1976年より開始し、最終的な実用化は1990年代を目標に進めている。(E ³ 計画) ・Air Force Material LaboratoryがColt, TRW, Gramman社等に委託して、チタン合金を対象に、Near Net Shapeを達成するための製造技術開発を1975年頃から継続して進めている。
高効離率高分子材料	スイドウェン	・STU(国立技術省)ISR(ケイ酸研究所)が中心となり、United Turbin社、ASEA社がセラミックロータに適した三軸の自動車用ガスタービンエンジン及びセラミック材料、製造技術の開発を進めている。	複合材料	ヨーロッパ	・ヨーロッパ9カ国がCOST50計画の下に、1971年よりガスタービンとジェットエンジン用のNi基、Co基の超合金及びTi基合金の共同開発を進めている。 ・英国防省がロールスロイス社に委託して、粒子分散強化合金による非冷却型翼の開発を進めている。 ・ONERA(仏国防省の国立航空宇宙研究所)がNi基単結晶合金及びCo基合金の強化の研究を進めている。
	アメリカ	・オハイオ州スタンダード石油会社のScientific Programの一環としてシンシナティ大学において連続式膜反応塔等の膜研究を行っている。		アメリカ	・航空機省エネルギー化プロジェクト(Aircraft Energy Efficiency Project: 1976年~1985年の10年計画で、総予算は1.8億ドル)において、NASAがボーイング、ロッキード、ダグラス社に委託して、輸送機のFRP(炭素及びアラミド繊維強化樹脂系複合材料)の開発を行っている。 ・大型金属複合材料構造計画(Large Metal Matrix Composite Structure Program: 1982年~1986年の5カ年計画で、総予算1200万ドル)において、空軍が主導し、大型貨物輸送機へのFRM(炭化ケイ素ウスカ及び繊維とアルミニウムの複合材料)化の導入をねらいとしている。
	フランス	・仏原力庁とトタル石油の共同で、1984年から5年計画でガス分離膜の研究を行っている。		フランス	・新材料研究開発優先プログラムの一環として複合材料研究開発が行われており(全11テーマ)、研究工業省傘下の研究所及び国有企業によって実施されている。1983年~1985年の3年間で、その総予算は1億6,000万フラン(約50億円/3年)見込まれており、1983年に2,300万フラン(約7億円)が支出された。

(注) 予算額、研究期間等については、情報源により数字が異なっているものもあり、注意を要する。

このような観点から通産省においては「次世代産業基盤技術研究開発制度」を昭和56年度に発足させたが、新材料開発が及ぼす波及効果の大きさから新材料開発が主要なテーマとなっている。

3.1 テーマ

「次世代産業基盤技術研究開発制度」は、90年代に発展が期待される次世代産業に必要不可欠な基盤技術として、①革新性が極めて強い基盤技術であり、その波及効果も大きく、かつ、広範囲に及ぶ。②研究開発に概ね10年間の長期間を要し、また、研究開発資金も多額なため、研究開発リスクが高い。③欧米先進国において既に積極的に研究開発が開始されており、その開発に緊急に着手すべきである。等の点を考慮して、現在、新材料、バイオテクノロジー、新機能素子の3分野を取り上げているが、新材料は、ファインセラミクス、高効率高分子分離膜材料、導電性高分子材料、高結晶性高分子材料、高性能結晶制御合金及び複合材料の6テーマである。

これらテーマの研究開発の範囲は、双葉の段階にある産業技術が実りある若木に育つまでとしている。すなわち、理論的ないし実験的に革新的な産業技術として、その実用化の可能性が明らかにされた時点で、研究開発に着手し〈双葉の段階〉、産業技術として実用化の目途がつくまで〈若木の段階〉である。従って、本材料を使用して製品を作るためには、この研究開発のあとに企業化研究が必要である。なお、新技術開発事業団の創造科学技術推進事業においても新材料の研究開発を行っているが、この制度は革新技術の源泉となる科学技術の芽を発掘するためのものであり、次世代制度に比較してより基礎的な研究であるといえる。

3.2 開発体制

本制度は、産業界、学界、国の三者の協力により進めることとしており、産業界のポテンシャルを活用するため民間企業へ委託するとともに、国立試験研究所もその実績を生かして研究開発を行うほか、研究内容により大学からも協力を得ている。

また、研究開発を効率的に行うために、原則として複数の研究開発方法を同時に進める並行開発方法を採用するとともに、概ね10年の全体計画を数年ごとに3段階程度に区切ってそれぞれの段階に一定の目標を設け（段階別目標設定方式）、各段階ごとに専門家で構成される評価委員会が各方式の研究開発状況や成果を評価することとしている。

研究開発の実施に当たっては、①通産省が本制度を各

般の産業政策と連携させて推進していくための調整の場である次世代産業基盤技術研究開発推進本部、②概ね10年間の研究開発のバックボーンとなる研究開発基本計画等の審議を行う産業技術審議会、③国立試験研究所と民間委託とで進められる研究開発の調整と研究実施レベルでの議論を行う推進委員会、④研究開発を長期にわたり指導し、その方向づけをしていく研究開発コーディネーター、⑤研究開発の段階ごとの評価を行う評価委員会による体制をとることとしている。（図-2参照）。

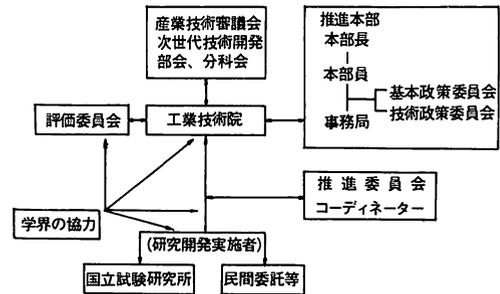


図-2 研究開発体制図

ファインセラミクスの研究開発に参加している国立試験研究所は、大阪工業技術試験所、化学技術研究所、機械技術研究所、名古屋工業技術試験所及び無機材質研究所である。民間は、ファインセラミクス技術研究組合のもとに15企業が参加している。高効率高分子分離膜材料は、化学技術研究所、製品科学研究所及び繊維高分子材料研究所の3国立試験所と高分子基盤技術研究組合に参加している9企業、導電性高分子材料は繊維高分子材料研究所及び電子技術総合研究所の2国立試験研究所と高分子基盤技術研究組合に参加している5企業、高結晶性高分子材料は、繊維高分子材料研究所と高分子基盤技術研究組合に参加している5企業により研究が行われている。高性能結晶制御合金は、機械技術研究所、金属材料技術研究所及び名古屋工業技術試験所の3国立試験研究所と次世代金属・複合材料研究開発協会に参加している7企業、複合材料は、大阪工業技術試験所、機械技術研究所、金属材料技術研究所、製品科学研究所及び繊維高分子材料研究所の5国立試験研究所と次世代金属・複合材料研究開発協会に参加している12企業により研究が行われている。

予算は、国立試験研究所に対する研究開発費と各研究組合又は研究協会への委託費で構成されているが、各テーマの予算は表2のとおりである。

3.3 研究開発の内容

表2 予算の推移 単位 億円

テーマ	年度	56	57	58	59
ファインセラミクス		4.0	6.4	8.4	8.6
高効率高分子分離膜材料		2.8	4.3	5.2	5.3
導電性高分子材料		1.3	2.6	3.3	3.4
高結晶性高分子材料		1.4	2.6	3.0	3.0
高性能結晶制御合金		2.1	4.7	5.6	5.7
複合材料		2.1	5.3	6.5	6.6

(1) ファインセラミクス

本テーマの目的は、脆さ及び加工・接合の困難さの克服、信頼性の向上を図り、超高温に耐え、錆びない、高精度、硬い等の長所を有する構造材料としてのファインセラミクスを開発することである。

既存のセラミクスは、結晶が大きく(径10~50 μm)、不揃いで結晶間のすき間が大きい(すき間の割合が数%)ため高温において強度があまりなく、電子製品の部品等電気の絶縁性を利用した機能材が中心である。例えば現在は800 $^{\circ}\text{C}$ における引張強さは20 kgf/mm^2 以下である。

このため、本テーマでは①高純度微粉末原料の製造技術、②精密成形、均質緻密化焼結技術、③信頼性評価技術、④構造設計、応用技術を確立し、結晶が小さく(径1 μm 程度)、均質で結晶間のすき間が極めて小さく(すき間の割合が0.2%)、また要求特性に応じて、結晶の大きさ、形状、粒界相の状態などを制御することが可能な信頼性が飛躍的に向上した構造材料を開発する。例えば、1,200 $^{\circ}\text{C}$ で引張強さ30 kgf/mm^2 以上のものを目指している。

この材料が開発されることにより、タービンエンジンの動翼、ディーゼルエンジン及びガソリンエンジンのターボ過給器、熱交換器、高温炉等に利用可能であり、航空機、宇宙、エネルギー、原子力等の技術先端産業への応用、熱機関への適用による熱効率の向上を通じた大幅な省エネルギーが期待される。

(2) 高効率高分子分離膜材料

本テーマの目的は、物性の差を利用して、混合気体や混合液体から必要な成分を自由に分離、精製できる膜材料の開発を行うことである。

既存の分離膜は、細孔のふるい効果を利用して分離するため、分離性能が小さく、分離させるためのエネルギーが大である。このため、本テーマでは①分離メカニズムの解明、②膜素材の開発、③製膜加工技術の開発を行い、物性の差で分離する分離性能が大きく、

分離させるためのエネルギーの小さい膜を開発する。

現在の化学プラントの中には、合成・反応装置よりも分離・精製装置のウエイトが大きい場合があるが、この材料を例えばアルコール、各種の酸等の分離・精製工程に応用することにより、プラントのコンパクト化、省エネルギー化が期待できる。

(3) 導電性高分子材料

本テーマの目的は、導電性素材の合成により、高分子の軽く、さびずに、加工しやすいという特性を損なわずに金属並みの導電性を有する高分子材料の開発を行うことである。

既存の高分子材料は、電子は各原子核に束縛され、その周辺で電子層を形成するため電流は流れにくい。

このため、本テーマでは①高分子の構造と導電性との関係の解明、②導電性素材の開発、③新しいドーパント(導電性向上のため混入する不純物)の探索、④加工、成形・安定化技術の開発を行い、各原子核周辺の電子層がつながるような分子構造の高分子とし、電子の自由な移動により電流が流れる材料を開発する。

この材料を例えば、大容量の送電配電材料に使用すれば、軽量であるため電線支持構造物のコンパクト化が可能となる。また、大型旅客機の配線部分を代替することにより約1トンの軽量化が見込まれる等のメリットがある。

(4) 高結晶性高分子材料

本テーマの目的は、高結晶化を図ることにより軽く、さびずに、加工しやすいという高分子の特性を損なわずに金属並みの強さを有する高分子構造材の開発を行うことである。

既存の高分子材料は、分子の長さが不揃いで結晶と非晶領域がまじっており、分子間の連結が乏しいので金属のような強さがない。例えば既存プラスチックは曲げ弾性率が1,000 kgf/mm^2 以下と弱い。

このため、本テーマでは、①結晶化し易い高分子の設計と合成、②分子の長さと同配向を揃える方法、③結晶化を促進する加工法を確立し、分子が同じ長さに整列し、かつ、分子が縦・横に架橋(連結)していることにより金属のように強い材料を開発する。例えば、曲げ弾性率が10,000 kgf/mm^2 以上の強さを目標とする。

この材料が宇宙、航空部門に利用されれば、機体の軽量化のメリットがある。また、軽量、耐食性に強度が加わるため、建築資材の代替等応用分野は非常に広いといえる。

(5) 高性能結晶制御合金

本テーマの目的は、単結晶化、結晶の微細化、硬い粒子の混入（合金中に均一に分散）を図ることにより、従来の合金性能の限界を突破した耐熱、強靱合金の開発を行うことである。

従来合金（多結晶合金）は、結晶粒界に不純物が集まっていること、結晶粒が大きく不揃いのための亀裂が生じやすいこと、局所毎に合金成分が異なること等のため高温における強度が弱い。

このため、本テーマでは①合金成分の選定（合金設計）、②結晶生成制御技術、③微粒粉末製造技術、④加工プロセス（微粒粉末焼結技術、熱処理技術等）技術の確立を目指している。単結晶化合物は、ダイヤモンドのように全体が一つの結晶であるため結晶粒界がなく、耐熱強度・耐食性が向上する。微細結晶化による超塑性合金は、結晶組織は微細で均一、合金成分は各所とも均質に混り合っており、ある温度範囲であめのような超塑性を示す合金で強靱性・加工性が向上する。粒子分散強化合金は、合金中に硬い粒子を均一に人工的に分散させることにより耐熱強度が向上する。

これらの材料は、航空機用のタービンブレード（はね）、発電用のガスタービンブレード、あるいは各々のタービンディスク等に利用することにより、タービン入口温度の上昇による燃料消費の低減化、経年劣化率の低下等メリットが大きい。更に他の熱機関等への利用も可能であり熱効率の大巾な向上が期待できる。また超塑性合金は、一般鍛造では不可能な難加工材も成形可能となるとともに信頼性の向上、加工歩留りの向

上などが期待できる。

(6) 複合材料

本テーマの目的は、用途に応じた強度、剛性等を有する、鉄よりも強く、アルミ合金より軽い、構造材料としての複合材料を開発することである。

既存の材料（単一材料）は、材料固有の限界がある。例えばプラスチックでは引張強さが5～7 kgf/mm²である。このため、本テーマでは、母材として樹脂系(FRP)ではエポキシ樹脂等、金属系(FRM)ではアルミ、チタン合金等、強化材として炭素繊維、炭化ケイ素繊維、アルミナ繊維等を使用して、①強化材と母材の組み合わせ、適合性向上、②強化材配列のコントロール、③応力又は荷重強度分布の解析、④成形、加工技術の開発により、元の材料と強化繊維それぞれの特性を相乗的に発揮することを目標としている。

これらの材料は主として、軽くて強度があるため航空機用あるいは宇宙構造物の材料として利用が期待される他、自動車等に用い、輸送機器を軽量化することにより大巾燃料節約が可能である。

4. おわりに

我が国における新材料の開発は、企業、国及び大学が行っているところであるが、新材料開発の産業、更には経済全体に与えるインパクトの大きさに鑑み、各々の立場においてより積極的に開発に取り組む必要がある。この場合、産学官の連携を強化すること及び国際的視野を持つことが肝要と思われる。