

新素材の開発と将来

R & D and Future View of New Materials

速 水 諒 三*

Ryozo Hayami

1. 新材料とエネルギー・資源

従来、新技術、新産業登場の背景には常に新材料の誕生があったと言える。産業革命をもたらした蒸気機関の発明は製鉄技術の進歩に支えられたものであり、航空機の性能の飛躍的向上は軽量高強度アルミニウム合金の発明と密接に関係している。近年におけるエレクトロニクスの驚異的発展の端緒は半導体素子の開発であり、スペースシャトルを始めとする宇宙機器の発達を促したのは軽量断熱タイルや高性能複合材料の開発である。

近年、新材料に対する関心が高まり 研究開発も活発に進められている背景には、新材料に対するニーズの増大や、関連技術シーズに関する知識の蓄積などがある。現在、様々なニーズに応えるための技術開発が進められているが、既存材料では性能的に限界があるため、一層高度な機能を有する新材料に対するニーズが飛躍的に増大している。

なかでも中長期的なエネルギー・資源の制約の高まりに対処するため、省エネルギー化、省資源を図るとともに、代替エネルギー、代替資源の開発が課題となっており、このようなニーズに応える新材料の開発が求められている。現在意欲的に研究開発が進められ、将来の発展が期待されている新材料は、

- ①高機能性高分子材料
- ②ファインセラミックス
- ③新金属材料
- ④複合材料

の4種類であるが、これらの開発の現状と将来展望について述べる。

2. 新材料技術の現状

今までの材料は、有機材料、無機材料、金属材料の

ように分類され、それらを構成している原子や分子の種類、結合様式、マイクロまたはマクロな構造に基いて固有の特性を示し、それに応じて使い分けられている。プラスチック等の有機材料は軽量であり、加工性や絶縁性も良いが、強度や耐熱性は低い。セラミックスやガラス等の無機材料は耐熱性、硬度、耐食性には優れているが、脆く、加工性も悪い。金属材料は強度も高く加工性、導電性にも優れているが、耐食性や耐熱性は不十分である。各材料のこれら長所も短所も、因って来るところは同じであり、使用目的から言って好都合であったり、不都合であったりするだけである。

新材料は既存の材料の長所は保ちながら短所を補ったり、新規な優れた特性を引き出すことによって、高度な機能特性や構造特性を実現した付加価値の高い材料である。

2.1 高機能性高分子材料

軽量、易加工性、耐食性に加え、強度、剛性などの力学的特性を向上させて軽量構造材料として利用しようとする方向と、全く新しい機能を付与しようとする方向とがある。表1に機能と材料及び用途の例を示す。

軽量構造材料は高分子の長さや配向を分子レベルで制御し、金属並みの強さを持たせた材料である。これは鉄などの既存の材料に代替して、省資源、省エネルギーに役立たせるのがねらいである。

機能性材料としては、従来の高分子材料が持たない新しい特性を有する材料が種々開発の途上にあるが、中でも金属並みの導電性を有する高分子や、混合気体や液体から必要な成分だけを分離、精製する高効率高分子分離膜は、省資源、省エネルギーに大きく寄与するものとして期待が寄せられている。今後の主な技術開発課題は、分子構造の設計、合成、成形・加工、特性評価等である。

2.2 ファインセラミックス

陶磁器、耐火物、ガラス、セメント等、高熱を用いて作られる無機材料をセラミックスと呼ぶ。ファイン

* 工技院大阪工業技術試験所所長

表1 高機能性高分子材料の機能・材料・用途

機能	材料例	用途例
1. 機械的機能 ①強度・剛性 ②弾性 ③防振・吸音 ④反響性 ⑤表面保護性 ⑥接着性	ポリエステル, ポリアミド 合成ゴム, 発泡樹脂 発泡性樹脂 ウイスキー コーティング膜, 電子線硬化樹脂 ポリクロロプレン	構造材料 構造材料 建設材料 スピーカー材 コーティング材, 塗料 接着材
2. 熱的機能 ①耐熱性 ②耐寒性 ③断熱性	ポリイミド, シリコン樹脂 シリコンゴム, フッ素ゴム 発泡性樹脂	耐熱構造材 耐寒ゴム 断熱材料
3. 電気的機能 ①導電性 ②絶縁性 ③エネルギー変換性	ポリアセチレン ポリイミド, ポリエチレンテレフタレート ポリフッ化ビニリデン	電線, バッテリー コンデンサー, プリント基板 半導体, 電気音響変換素子
4. 光学的機能 ①透光性 ②光反応性 ③複屈折性	ポリカーボネイト 光硬化性樹脂 液晶	光ファイバー, レンズ 印刷材料, フォトマスク ディスプレイ
5. 生体機能 ①血液適合性 ②組織適合性	ポリエチレンテレフタレート シリコンポリマー	人工血管, 人工心臓 人工臓器, 人工骨
6. 分離機能 ①イオン交換性 ②混合物分離性	スチレン系, アクリル系 酢酸セルロース, 芳香族ポリアミド	イオン交換樹脂 分離膜, 逆浸透膜
7. 化学的機能 ①耐食性 ②耐薬品性	ポリブテン, ポリアミド, ネオプレン ポリクロロプレン	屋根材, 海洋構造材 貯油タンク, 肥料用タンク

セラミックスもこの点では同じである。特徴は、従来のセラミックスが天然の土石を主原料とし、寸法形状や特性がさほど厳密には揃っていないのに対し、ファインセラミックスは高純度で微細な人工粉末を原料とし、成形や製造プロセスを厳密に制御し、時によっては加熱以外に加圧や雰囲気調節も行なって十分に緻密化を進行させ、結果として出来上がったものの特性が高くしかも揃っていて、寸法形状も精密である点にある。

用途目的は表2に示すように構造材料として、特に高温において高強度を必要とする所に使用しようというのと、電気的、磁氣的、光学的、生体的等の機能材料として用いるのとに分類される。現在既に大きな市場規模を形成しているのはエレクトロニクス用絶縁材料としてのアルミナセラミックスであるが、将来において発展を期待されているのは、セラミックエンジンに代表される高温構造材料である。

構造材料としてのセラミックスは省エネルギー、省資源を目的とし、金属材料と置き換わろうとしている点において、高機能性高分子材料と似ている。すなわち高温の熱機関は耐熱合金で作られ、これにはニッケル、コバルト、クロム、タングステン等稀少金属が必

要であるが、これを節約するためにセラミックスを使用しようというのが目的の一つである。ちなみに高温高強度構材料用としてのセラミックスは窒化けい素(Si_3N_4)と炭化けい素(SiC)の2種類のみが候補であり、これらを構成する元素はいずれもありふれたものである。もう一つの目的はガスタービンの入口温度を上昇させたり、エンジンを断熱無冷却とすることによって熱損失を少なくしたりして、エネルギー効率の向上を図ることである。上記セラミックスの耐熱性は、現用の耐熱合金のどれよりも高く、また窒化けい素は断熱性である。

基本的には極めて優れた特性を持ちながら、セラミックエンジンが試作品の段階にどとまわっていて量産に到らないのは、価格の問題を別にすれば、強度特性が一定せず、また靱性にも乏しくて信頼性に欠けるからである。“われもの”の名で呼ばれるように、セラミックスは金属に比べて遥かにこわれ易い。強度自体の向上と同時に割れ難くすること、つまり靱性の付与が必要である。

外から応力が加わった時、曲がったりへこんだりの永久変形を伴わずに弾性限界内で破断してしまうのは

表2 ファインセラミックスの機能・材料・用途

機能	材 料 別	用 途 例
1. 機械的機能 ①高温強度 ②研磨耗性 ③切削性	窒化けい素(SN), 炭化けい素(SC) アルナミ(AL), 炭化ほう素(BC), ダイヤモンド 炭化チタン, 窒化チタン, 炭化タングス テン, BC	ガスタービン, ディーゼルエンジン ベアリング, メカニカルシール, ドリ ル 切削工具
2. 熱的機能 ①耐熱性 ②断熱性 ③伝熱性	AL, SN, SC, 酸化マグネシウム チタン酸カリ, AL, ジルコニア SC, 窒化アルミ, AL	MHD電極, 耐熱軸受 高温工学窯炉の断熱材 電気電子部品, 放熱板
3. 電気的機能 ①絶縁性 ②圧電性 ③半導性 ④導電性 ⑤誘電性 ⑥イオン導電性 ⑦電子放射性	AL ジルコン酸チタン酸鉛 酸化亜鉛, チタバリ ジルコニア, ランタンクロマイト, SC チタバリ, チタン酸ストロンチウム ジルコニア, β -アルミナ ホウ化ランタン マンガンフェライト, バリウムフェライト	ICパッケージ, IC基板 着火素子, 圧電発振子 バリスター, ヒーター, 太陽電池, センサー 発熱体 コンデンサ 固体電解質, 酸素センサー 電子銃用陰極材料 磁石, テープ, 記憶素子
4. 磁氣的機能 5. 光学的機能 ①透光性 ②導光性 ③偏光性 ④蛍光性 ⑤感光性	AL, 酸化マグネシウム, 酸化イットリウム 酸化けい素, ふっ化物ガラス ジルコン酸チタン酸鉛 ガリウムヒ素, ネोजウムガラス ハロゲン化銀含有ガラス	ナトリウムランプ, 高温光学レンズ 光通信ファイバ, 赤外光ファイバ 光メモリー レーザー, 発光ダイオード サングラス, 画像記憶材料
6. 生体機能 ①組織適合性	アルミナ, アパタイト	人工歯, 人工骨
7. 化学的機能 ①吸着性 ②触媒性 ③耐食性	多孔質シリカ, 多孔質ガラス ゼオライト ジルコニア, 酸化けい素, AL	吸着剤, 触媒担体, バイオリクター 環境保全用触媒 MHD電極

セラミックスの本質的特性であり、しかも金属に比べてずっと小さな表面傷でも破壊の原因になるので、割れ難くするのは容易ではない。ひとつの方法は表面及び内部の微小な傷や欠点、空孔や異物など、を除去し、材料の強度値そのものを上げ、かつ信頼性を高めることである。現在、努力は主としてこの点に注がれている。

もう一つの方向は繊維強化である。通常、マトリックスとなるセラミックスの原料には粉末が、強化用繊維は長繊維またはウイスキーのような短繊維が用いられる。ファインセラミックスの焼結には1500°C以上、時には2000°C程度の高温が必要であり、したがって強化用繊維もセラミックスが主である。

たとえば、窒化けい素セラミックスを炭化けい素ウイスキーで補強すると、破断に至るまでに要するエネルギーがかなり大きくなり、割れにくくなると同時に強度のばらつきが小さくなって信頼性が格段に向上する。

しかも同時に電気抵抗値が放電加工が可能なるまでに低下する。焼結を終えたセラミックスの加工は、通常、ダイヤモンド工具による切削によるしか無く、これがファインセラミックスの値段を高いものにしていく大きな原因である。したがって放電加工が可能になるということは重要な意味を持っている。窒化けい素のみならず、アルミナやマグネシアなどの電気絶縁性セラミックスの場合でも、炭化けい素ウイスキーの混入によって放電加工が可能となる。

セラミックスの脆さを乗る越えるもう一つの方法は金属との接合である。割れないセラミックスは無いから、真にその耐熱性、研磨耗性、硬さ、耐食性を必要とする部分にのみセラミックスを使用し、その他の部分は展延性に富み、セラミックス程には傷に敏感でない金属で機械や道具を作る方が、全体をセラミックスで作るよりも遙かに合理的であり、むしろ必要である。そしてこのためには、セラミックスと金属とを強固に接合する技術が必要である。

接合技術はセラミックス同士の間でも必要である。大型で複雑な形状のセラミックスを、一体のものとして製作することは現実には極めて難しく、部分部分を作り、これを接合して全体を構成しなければならない。

接合は、ねじ止め、はめ込みによる機械的方法、接着剤や接着層となる第3成分を用いる方法、拡散現象や溶融によって直接着ける方法等に分類され、材料及び目的に応じて使い分けられる。

図-1はこのようにして作られた製品の例を示す。

セラミックスの中には靱性が特に高く、割れにくいものもある。部分安定化ジルコニア（PSZ）がこれであり、セラミックのはさみ、ほうちょう、ゴルフクラブのフェース板などとして日用品的に出回り始めている。傷が拡大する際に、その先端に集中する力を、相変化によって吸収してしまうという特異な性質を持っているものである。

2.3 新金属材料

構造材料に対する軽量化ニーズや耐熱性の要求から金属材料の一部は高機能性高分子材料、ファインセラミックス、複合材料等の新素材に代替されていく動きがある。

他方、金属の特性を保持したままで、極限状態でも使用できる構造材料、アモルファス金属、超電導合金、水素貯蔵合金、形状記憶合金等、全く新しい機能を有する金属の研究開発が進められている。表3に機能と材料及び用途の例を示す。

この中でも特にアモルファス金属は、機械的、電氣的、磁氣的諸機能において、既存の金属には無い優れた性能を有している。また水素貯蔵合金は次世代のエネルギー源と目される水素を安全に、かつ緩い条件下で吸蔵と放出を繰り返すものである。減容の程度も、水素を液体にした時とほぼ同じである。温度を下げて圧力を加えると、水素は金属と反応して吸蔵され、逆に加温して圧力を下げると水素が放出される。水素の出入りには熱の出入りを伴うので、これを利用してヒートポンプを構成することも試みられている。

2.4 複合材料

高分子材料、無機材料、金属材料等を組み合わせることによってそれぞれの材料の欠点を補い、より優れた特性を引き出す可能性がある。主として強度特性の向上に目標が置かれ、その設計が可能であるという利点がある。材料及び用途例を表4に示す。

また複合材料は予期しない特性を発現することがあ

る。たとえばセラミックスの補強用に炭化けい素ウィスカーを用いると、混合量が或る程度以上になった時に、電気抵抗が急に下がって放電加工ができるようになるのがその例である。

3. 将来予測と課題

2000年における新素材のみの市場規模は、ファインセラミックス1.9兆円、高機能性高分子材料と新金属材料がそれぞれ1.5兆円、複合材料0.4兆円、合計5.4兆円と推定され、関連既存素材をも含めると、10.2兆円、波及するところを全部含めると63兆円に達すると見込まれている。

また新素材産業の狙い手に、現在の類似分野の基礎素材産業、他分野の基礎素材産業、加工組立産業のうちのどれがなるか、または基礎素材産業及び加工組立産業の協力でられるか、さらにはベンチャービジネスがなるかは、今後それぞれの産業に属する企業がどのような研究開発活動を進めて行くかによるであろう。

現在華々しく脚光を浴びている新材料であるが、研究開発及び企業化に関しての問題も多い。開発については試行錯誤的色彩が強い。そして成功するとは限らないものに対し、多額の研究投資を継続する必要がある。

開発と実用化の時期的ずれもしばしば起こる問題である。ポリアクリルニトリルから作られる高強度炭素繊維が発明されたのは昭和30年代であるが、それがかなり量産されるようになったのは最近である。その理由はこの材料が持つ優れた特性は認められつつも、当時はそれを大量に必要とする状況に周囲がなかったからである。

構造材料用ファインセラミックスの代表である窒化けい素や炭化けい素の高緻密度焼結体についても、研究は昭和30年代に行われており、技術的にも加圧焼結法などはかなり完成されていた。ただ当時はこれらを

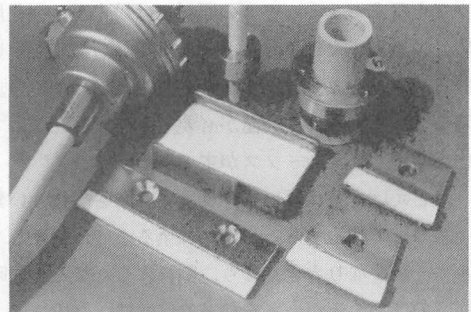


図-1 セラミックス—金属接合体

表3 新金属材料の機能・材料・用途

機 能	材 料 例	用 途 例
1. 機械的機能 ①高感度性 ②超塑性 ③防振性	微細結晶合金, 単結晶合金 アルミニウム合金 マグネシウム系, マンガン-銅系	航空・宇宙機器 航空機 機器部材
2. 熱的機能 ①耐熱性	ニッケル基, コバルト基合金	ガスタービン, パイプ
3. 電氣的機能 ①超電導性 ②半導体	ニオブ-チタン, ニオブ-すず アモルファスシリコン	核融合, 磁気浮上列車 太陽電池, センサー
4. 磁氣的機能 ①強磁性 ②高透磁性	微粉末, サマリウム-コバルト アモルファス強磁性体	磁気記録材料, モーター トランス鉄心, 磁性ヘッド
5. その他 ①水素貯蔵性 ②超高速電子移動性 ③形状記憶性	鉄-チタン, 希土類金属 ガリウム-ヒ素系 ニッケル-チタン系, 銅-亜鉛系	水素貯蔵, ヒートポンプ 超高速演算集積回路 パイプ継手, 人口関節

表4 複合材料の機能・材料・用途

機 能	材 料 例	用 途 例
1. 軽量高強度	高分子系複合材料 母材: エポキシ樹脂, ふっ素樹脂, エンブラ 繊維: 炭素, セラミック, ボロン, 金属, アラミド	航空・宇宙機器, 自動車, 船舶, レジャー・スポーツ用品
2. 高温高強度	母材: アルミニウム, 銅, マグネシウム, チタン, ニッケル 繊維: セラミック, ボロン, 金属 セラミック系複合材料 母材: アルミナ, 窒化けい素, 炭化けい素 繊維: セラミック, 金属	原子力関連機器, ガスタービン, 航空宇宙機器 ガスタービン, 内燃機関, ロケット, 原子力関連機器

金属に取って代わる用途に向けようという考えはあまりなかった。エネルギー危機がセラミックスの必要性を浮かび上らせたわけである。

ニーズを充たすべき新材料の開発が間に合わない場合も多い。このような時にはシステム設計者は時間のかかる新材料の開発を待つことなく、既存の材料を利用して設計によって一旦の解決を行うので、新材料の必要性がしばらく不明確になることさえある。

高分子材料は強度や耐熱性を上げようとし、金属材料は極限状態でも使用可能な構造材料を目指し、セラミックスは割れ難くすることに精力を注ぐ。結果的に諸材料の特性は相互に重複し、材料と利用分野との既存の関係は、そのままではあり得なくなる。つまり新材料の勢力分野は白地の状態であると言える。それだけに今日の新材料も明日はもはや新材料ではなくなり、高付加価値品もたちまち価格の競争だけに陥ってしまうということも屢々経験されるところである。メーカーには技術開発力の保有と設備の近代化が必要であり

小さくとも独自の技術を持つことが求められる。またユーザーとしての立場で言えば、高度な用途以外にも新材料の使い道は広い。各自のニーズ、工夫によって積極的に利用を図ることが望まれる。

参 考 資 料

- 1) 「新素材の現状と見通し」産業構造研究会報告 昭59. 3. 14
- 2) 「セラミックスの強度と破壊対策」経営開発センター p. 294 繊維強化セラミックス
- 3) 「ニューセラミックスの接着」速水諒三, 日本接着協会誌, Vol 20, p. 530 (1984)