「機能材料・新素材シリーズ」をはじめるにあたって

後 藤 和 弘*

(1) 先端技術の中における機能材料・新素材

“先端技術”という言葉の意味はあいまいながら過熱気味と思われるほどとかく話題になる。筆者の手もとにある本の名を列記する。「先端技術 100 の常識」⁽¹⁾「研究テーマ総鑑——先端技術編」⁽²⁾「先端技術」⁽³⁾「日本の最新技術シリーズ」⁽⁴⁾「新・産業革命」⁽⁵⁾。

従来の工業界は金属工業界、電気工業界、機械工業界などと割合明確に分類され、それぞれは独自の工業技術を蓄積し、またそれらの学問的背景を強化するため日本金属学会や電気学会や機械技術協会など⁽⁶⁾とはっきりした、そして秩序正しい学協会の活動があった。筆者も古い型の研究者なので秩序ある学会活動に強く心を引かれるが、最近の「先端技術」とそれに関連する研究会などを見聞するにつけても、どうも少しずつ様子が変わりつつあるようにも考えられる。例えば日本経済新聞社編「先端技術 100 の常識」の内容を紹介してみると、序文第1節は、「時代を刻む歯車が勢いよく回り始めた。脱工業化社会の動きに拍車がかかってきたのだ。私たちの眼前に新しい世界が広げ、次第にその輪郭が鮮明になりつつある。『ハイテク社会』の到来である。これから二十一世紀にかけ、人類の長い間の夢がかなえられようとしている。」と調子の良い文章で新しい時代の到来を述べている。もう少し詳しく目次をみてみよう。

1. 材料工学

形状記憶合金、アモルファス合金、ニューセラミックス、複合材料、超電導材料、耐熱材料、生体適合材料、新半導体、3次元回路素子、有機半導体、磁性流体、超微粒子など。

2. エレクトロニクス

パーソナルコンピューター、光コンピューターパターン認識、超高速コンピューター、極低温エレクト

ロニクス、新ファクシミリ、レーザー加工、レーザー計測、など。

3. エネルギー

新型転換炉、高速増殖炉、多目的高温ガス炉、ウラン濃縮、核融合、再処理、MHD 発電、地熱発電、太陽光発電、燃料電池、水素エネルギー、海洋エネルギー、バイオマスとアルコールエンジンなど。

4. ライフサイエンス

遺伝子工学、細胞融合、受精卵移植、バイオリクター、インターフェロン、生体模倣化学、レーザー医療、人工臓器、ソフト農業、C₄ 植物、光合成促進剤、新加工食品など。

5. フロンティア工学

スペースシャトル、スペースコロニー、宇宙基地、次世代ロケット、太陽発電衛星、海洋衛星、リモートセンシング、STOL、海中通信、マンガン団塊、海水ウラン回収、海洋微生物、リニアモーターカー、極限作業ロボット、第5世代コンピューターなど。

以上のようにこの本は先端技術を5つに分類してその各項目について簡潔な紹介をしている。

他の本を見ると先端技術の分類や内容は少しずつ異なるが、あえてそれらを一覧表の形にまとめたものが表1である。

この表1をみるといわゆる先端技術の特徴がはっきりしてくる。すなわち、

(1) 表1の7つの分類に直接対応する学会や協会はなく、それぞれ2つ、3つの学協会が関連する。

(2) 従来工業界の中心をなして来た、鉄鋼、金属工業、造船、重工、セメント工業、石油精製、自動車製造、重電気などの大型設備産業は含まれない。

(3) 表1の7つの分類はそれぞれが独立に発達するのではなく、相互に依存しながら発達する。故に各研究者、技術者には広い専門性が必要になる。

(4) 表1の7つの分類の第2以降の分野はすべて第1の材料工学の発達に依存している。そして先端技術で要求される材料は小型で特殊な機能性を有する。ま

* 東京工業大学教授；工学部金属工学科
A New Series of Reports on "Functional Materials and New Materials"; Kazuhiro S. Goto (Tokyo Institute of Technology, Tokyo)
Keywords: functional materials, high-tech, amorphous metals, sensor technology, transducer, optoelectronics, energy conversion
1984年5月26日受理

表1 先端技術一覧表.

大 分 類	具 体 的 実 例
材 料 工 学	新金属, ニューセラミックス, 有機材料とそれらの複合材料. (アモルファス合金, 形状記憶合金, 超電導材料, 新半導体合金, セラミックエンジン, 機能性高分子)
エレクトロニクス	OA 用 FA 用新コンピューター, 画像処理パターン認識, 光通信, 光コンピューター, ビデオディスク, 薄型テレビ, 新型ファクシミリ, レーザー計測, レーザー加工
センサー技術	物理センサー (光センサーとしてのアモルファス Si, Se やホトダイオード, 圧力センサー, 磁気センサー) 化学センサー (ガスセンサーとしての酸素センサー, 湿度センサー, イオンセンサー, バイオセンサー)
エネルギー	各新型原子炉, ウラン濃縮, 再処理, 核融合, MHD 発電, 地熱発電, 太陽光発電, 燃料電池, 水素エネルギー, 石炭処理, 海洋エネルギー, バイオマス
ライフサイエンス	遺伝子工学, 細胞融合, バイオリアクター, インターフェロン, レーザー医療, 人工臓器, 人工血液, ソフト農業, 新加工食品
産業用ロボットとFA	Factory Automation とロボット (自動溶接, ロボットによる電子部品組付, テレビ回路基板組立, ロボット搬送システム, 部品のマシニングと自動車組立, 汎用板金加工)
そ の 他	宇宙産業 (スペースシャトル, スペースコロニー, 次世代ロケット) と新海洋産業 (海中通信, マンガン団塊, 海水ウラン回収, 海洋微生物など)

た構造材料の場合でも従来にないような性質を要求されるので新素材として新しい開発が要求される。

以上のように先端産業はそのすべての分野において新しい機能材料や新素材が必要とされているので以下にこれらについて多少の紹介を試みる。

(2) 機能材料と新素材とは何か？

日本真空㈱超材料研究所 伊藤昭夫所長は電総研時代から機能材料の調査研究を長年してられるが、伊藤によると次のように定義されている⁽⁶⁾。

「エネルギー (物質も含める) の質的・量的変換をするはたらきを有する物質」

情報・エネルギー・生体・宇宙科学などの機器・システムを構成する材料は、構造材料と機能材料に大別出来る。機能材料を上記のようにエネルギーの種類を変換する機能を有する材料と定義すると、新素材は表1の先端技術に使用される新しい材料のうち機能材料でないものと定義される。したがって従来からある合金や鉄鋼材料は新素材とはいわない。

表2にはエネルギーの種類を変換する物理現象、化学現象をまとめて示してある⁽⁶⁾。

この表の中で太枠でかこんだ所はエネルギー発生に有効である。また、波形を付した所は機能材料として半導体を用いられている。

この表によると例えば酸素センサーに用いられる固体電解質という機能材料は1次形態としての化学エネルギーを2次形態としての電気エネルギーに変換することがわかる。

一般的に機能材料は種々雑多で非常に種類も多いが基本的には表2の変換作用のいずれかの機能を有していると考えられる。詳細は以下に示す種々の本を参照頂ければ幸である。本間基文, 北田正弘共編「機能材料入門」上下巻⁽⁷⁾, 北田正弘著「機能材料辞典」⁽⁸⁾。

上記の如く機能材料を「エネルギー変換をする材料」と狭く定義したが、一般にはもっと広い機能のものも含めて新素材の多くを含める場合もあるし、一方、新素材という場合、機能材料の大部分を含む場合もあるので、その境界は常にあいまいである。

新素材に関する本を記すると、田中良平編「極限に挑む金属材料」⁽⁹⁾, 田中良平他編「未来をひらく新素材」⁽¹⁰⁾, 「新素材事典」⁽¹¹⁾, 「新素材百科」⁽¹²⁾。

これらの本をみると、新素材の中に多くの機能材料も含めて記述してあるので、現実の問題として、機能材料と新素材を明確に区別することは不可能でもあるし、また、あまり建設的な効果もない。したがって表3にはこれらを一緒にして「機能材料・新素材の一覧表」として示してある。表中、下の方に行くにしたがって機能材料から新素材とよばれることが多い。

表3の分類の仕方は表の上の方は材料の使われ方、すなわち何の目的で使用するかということによる分類で、下の方は材料の種類による分類である。したがって具体例の中には二度出てくるものもある。

機能材料や新素材に関する本が前記のように種々出版されているが分類に関する統一的な定説が無い。日進月歩で新しい材料が出て来るのでその分類を学問的に考えるのはあまり意味が無いのかもしれない。

(3) 機能材料・新素材の基礎研究とは何か？

表3に示すように機能材料・新素材は非常に数多い。しかしそれらに関する基礎研究とは何であろうか？第1にはもっと他の機能を発揮する新しい材料の発見があろう。第2に既存の機能材料・新素材の性能の改善の研究があろう。第3にこれらの新材料をうまく組合せたデバイスやシステムの開発がある。

これらの基礎研究とは何であろうか。金属工学科を卒業した筆者の立場から見ると、金属物理、金相学、転移

表2 エネルギー変換に関する物理・化学現象⁽⁶⁾.

2次形態 1次形態	機 械 的	熱	電 気	磁 気	光	化 学
機 械 的		摩 擦 断 熱 仕 事	摩 擦 圧 電 効 果 歪 抵 抗 効 果 移 転	磁歪効果	光 弾 性 効 響 効 果 音 効 果 果	高 圧 反 応 相 転 移
熱	熱 膨 張		熱 電 効 果 [ゼーベック] 熱 電 子 放 出 効 果 焦 電 効 果 熱 抵 抗 効 果 相 転 移	相 転 移	化 学 反 応 相 転 移 [発 色]	化 学 反 応 相 転 移
電 気	圧 電 効 果 [超音波発振] 電 磁 誘 導	熱 電 効 果 [ペルチェ] ジュール熱	電 磁 誘 導 ジョゼフソン効果 負 性 抵 抗 効 果 2 次 電 子 放 出 電 界 電 子 放 出 トランジスタ作用	誘導現象	電 場 発 光 注 入 発 光	電 気 工 学 効 果
磁 気	磁気回転効果		ホー ル 効 果 磁 気 抵 抗 効 果		磁気光学効果	磁 気 触 媒 作 用
光	光 圧	吸 収	光 電 気 化 学 効 果 光 起 電 効 果 光 電 導 効 果 光 電 子 放 出 効 果	磁気光学 効 果	光 化 学 反 応 [発色・褪色]	光 化 学 反 応 [触 媒]
放 射 線		吸 収	気 体 電 離 2 次 電 子 出 孔 放 電 正 起 励			原子核反応
化 学	滲 透 圧	核 分 裂 核 融 合 化 学 反 応	電 気 化 学 効 果 (吸 着 現 象)		化 学 反 応 [発 色]	触 媒 反 応

太枠 : エネルギー発生に有効[ただし()を付したものはあまり適当でない].

~~~~~ は半導体を利用するもの.

論, 金属凝固論, 結晶物理, 熱力学, 冶金物理化学, 高温反応速度論などは表3の数多くの材料の製造の研究や性質の研究にそのまま応用出来ると思われる.

ただ従来の構造材料の場合のように, そのものの機械的性質を深く研究すれば学問的そして工業的価値があるようにはいかない. どうしても新しい機能材料の使用目的や使用条件を十分考えて研究する必要がある.

例えば酸素センサーの部品材料の研究を行う場合にはそれが1873 K (1600°C) の溶鋼中で使用される場合を考えると, 加熱中や溶鋼中でどのような物理現象がおき, どんな化学反応がおきるかということをまず研究しなければならない.

高温用の固体電解質を用いた酸素センサーを利用していろいろな物理化学的研究を行っている他タイプの固体電解質センサーのこともわかってくる⁽¹³⁾.

したがって「機能材料・新素材の基礎研究は何か?」という問に対して, その内容をあまり狭く限定しない

で, とにかく表3に示した材料のどれかひとつでも自分の研究に利用してみることはじめてはいかがであるうか. なじみが出れば興味もわくし, 研究の意欲も出る.

伝統ある金属学には学問的にきびしい日本金属学会がある. 変な研究発表をすると必ず批判が聞えるし, また, 討論によってくれる立派な研究者がいっぱいいる.

しかし表3に示したような材料の研究をしてもそれをきびしく批判してくれる学会が無い. 研究会は数多くあるが横の連絡は何も無く, また, 研究会の中での討論には一貫性が無い. このことが新しい材料の研究にひとつの大きな障害になっている.

一方, 工業界の各会社はこのいわゆる新産業革命におくれをとるまいと新しい機能材料や新素材の製造をつぎからつぎへと試みる.

このような状態は学界のためにも, そして工業界のためにも望ましい状態とは言えまい.

表3 機能材料・新素材の一覧表.

大分類	具 体 例
エレクトロニクス材料	合金半導体, 化合物半導体, ジョセフソン素子, 超導電導材料, コンデンサー用セラミックス, 圧電素子, 有機金属材料, IC 基板材料, 3 次元回路素子
磁性材料	新磁性合金, アモルファス磁性材料, ソフトフェライト, 磁気ヘッド材料, 磁性流体, 珪素鋼板, ボンド磁石, 磁気記録材料, 磁気バブルメモリ材料
光エレクトロニクス材料	発光ダイオード, レーザダイオード, エレクトロクロミック材料, 液晶, 光ファイバー材料, レーザ発振材料, 光変調素子, 受光素子, 光導電材料, 蛍光体材料
センサー材料	薄膜磁気センサ材, アモルファス合金, ホール素子, PTC, サーモフェライト, 圧電素子用半導体, ホトトランジスター, ガスセンサー用半導体と固体電解質, イオンセンサ材, バイオセンサ材
エネルギー関連材料	太陽電池用アモルファス金属, 燃料電池材, 水素貯蔵合金, 原子炉, 核融合炉用材料, ウラン分離材料, ガスタービン用超耐熱合金, 超導エネルギー貯蔵材, 耐火合金
機械関連材料	形状記憶合金, 超塑性材料, 新弾性材料, 新耐食材料, 極低温材料, 超耐熱性ファイバー, 超硬工具材料, 軸受合金
プラスチック材料	プラスチック光ファイバー, 吸水分離膜, ポリカーボネート樹脂, 光・熱硬化性樹脂, フォトレジスト, ウラン回収樹脂, スーパー繊維, 合成紙, 有機超電材料
セラミックス材料	エンジン部品用セラミックス, タービンブレード用セラミックス, 透明圧電セラミックス, アルミナ・ジルコニア・マグネシヤ等のニューセラミックス, ガスセンサー用セラミックス, 切削加工ガラス
新金属材料	アモルファス合金, 形状記憶合金, 超強力材, 一方向凝固合金, 表面合金, 繊維強化合金, 磁性流体としての超微粉, 超塑性合金, 超微粒子, 半導体合金
生体材料(ライフサイエンス)	人工血管, コラーゲン薄膜, 可食性フィルム, 人工赤血球, 人体用合金材料, 歯用材料, 人工臓器, その接合材, X線やγ線の検出材料, 磁気誘導抗癌剤

(4) 「機能材料・新素材シリーズ」の企画内容と執筆者

上記のような理由で日本金属学会のような伝統ある学会の中で, 表3にある新しい材料の基礎研究が従来以上に活発になることを期待してこのシリーズの企画を行った。もちろんこれらの材料のうち, アモルファス合金や形状記憶合金, 各種磁性合金の研究は金属学会でもさかに行われている。また, 形状記憶合金については最近, 本間敏夫教授の企画で本金属学会会報で特集号が組まれている。

また, 1978年にはこの会報の17巻12号として金子

表4 「機能材料・新素材シリーズ」仮題と執筆者. [テーマ・著者]

1. 「機能材料・新素材シリーズ」をはじめめるにあたって 東工大工 後藤和弘
2. アモルファス合金の物性とその応用 東北大金研 増本 健
3. 光関連磁性材料 NHK 技研 対馬国郎
4. 機能性薄膜と新素材 東海大工 黄 燕清
5. 物理センサーと化学センサー, そして半導体ガスセンサー, 固体電解質ガスセンサー 東工大工 後藤和弘
6. 固体電解質センサーの基礎研究への応用 阪大工 幸塚善作
7. ニューセラミックスの製造技術 東北大工 島田昌彦
8. 機能性電池材料 東芝総研 今井淳夫
9. 鉄鋼業における新素材の開発 川鉄技研 江見俊彦
10. 新機能材としての鉄鋼材料 中山製鋼所(元新日鉄第二技研) 榎藤 永
11. 化合物半導体の開発 日本鉱業中研 荒木 暉
12. (題未定)(11を考慮したテーマ) 三菱金属中研 土井英和
13. 超微粉末 日本真空 林 主税
14. 自動車工業における新素材の利用と今後の展望 トヨタ 大橋正昭
15. 導電, 通信材料における電線・ケーブル用新素材の発展とその問題点 日立電線 山路賢吉
16. 鉄鋼業における各種センサー利用の現状と問題点 日本鋼管システム技研 坪井邦夫 大高晋一郎

秀夫教授の企画で「期待される機能材料」として特集号が出され, 筆者も酸素センサ用材料を書いている。

しかし, それより7年もたっていることを考え, 再度その関連のシリーズを出すこととなった。

企画の目的は機能材料・新素材の辞典をつくることでなく, むしろ日本金属学会という学術団体にふさわしい内容の材料の代表的なものをとり上げ, それに関する学問や応用について連載によって紹介するものであり, 表4にその大体の題目と執筆者を示してある。

執筆者はそれぞれ学識深く, 数々の研究論文で有名な方々であるので, 毎回必ずや貴重な考え方や学問的考察にみちた報告が出ることに信じている。

乞ご期待。

文 献

- (1) 「先端技術100の常識」, 日本経済新聞社編, (1982).
- (2) 「研究テーマ総鑑—先端技術編」, ㈱矢野経済研究所編, (1984).
- (3) 「先端技術」別刷サイエンス, ㈱日経サイエンス編, (1983).

- (4) 「日本の最新技術シリーズ」, 日刊工業新聞社編, (1983).
- (5) 「新・産業革命」, 日経産業新聞編, (1983).
- (6) 伊藤昭夫: VMC ジャーナル, Vol.1, No.1 (1981), pp.14-20 (日本真空(株)技術誌) 原典は機械産業の施策に関する調査研究: 4 機能材料, 産業材料調査研究所, 昭和54年3月.
- (7) 本間基文, 北田正弘編: 「機能材料入門」上下巻, アグネ, (1981).
- (8) 北田正弘: 「機能材料辞典」, 共立出版株式会社, (1984).
- (9) 田中良平編著: 「極限に挑む金属材料」, (株)工業調査会, (1979).
- (10) 田中良平, 他共編: 「未来をひらく新素材」, 森北出版(株), (1983).
- (11) 「新素材事典」, 日本経済新聞社, (1983).
- (12) 「新素材百科」, 日本の最新技術シリーズ(14), 日刊工業新聞社編, (1983).
- (13) K.S.Goto: “Progress of Chemical Sensors with Solid Electrolytes at High Temperature”, *Proceedings of International Meeting on Chemical Sensors*, 講談社版, (1983), pp.338-347.

<新刊案内>

スパタリング現象 基礎と薄膜・コーティング技術への応用

金原 榮 著

スパタリング現象を利用した薄膜作製技術は、真空蒸着法と並んで現在甚だ重要な薄膜作製の技術となっているが、スパタリング現象に関しての指針となる可き書物がこれまでなかったため、薄膜作製に携わる研究者、技術者は、多くの先達によって蓄積された膨大なデータや、自らの経験に頼る事が殆どであった。この様な時に今度スパタリング現象を理論的に掘り起し、基礎的な事柄から応用方面までを一冊の本に纏めた書物が出版された事は、多くのスパタリング研究者、技術者にとって大変喜ばしい事である。

本書の内容は次の各章より成っている。

1. 序論
2. スパタリング現象の特徴
3. スパタリングの理論
4. 特殊なスパタリング現象
5. スパタリング法による薄膜作製装置
6. スパタリングでつくられた薄膜の特徴

7. スパタリング薄膜の応用

以上の各章を見れば、その内容を改めて述べる必要もないが、先ずスパタリング現象をミクロな立場から捕え、衝突モデルとして取り扱った種々の理論、更にはカスケード理論を紹介し、その機構を明かにした上で、更に4章で色々の場合のスパタリング現象を通して現象をより本質的に解明する事に紙面を割き、斯様に基礎的な事柄を十分理解した上で、実際の薄膜作製に即しての技術的な事柄の詳細や現象を左右する重要な因子の性質、更には成製された膜の構造やまた応用方面にも互っている。この様にスパタリング現象に関してあらゆる角度から懇切丁寧に解説しているので、スパタリング技術を駆使して薄膜作製を手掛けている研究者、技術者にとっては必読の書と言えよう。

(T.O.)

[A5判 231頁 1984年 2,800円 (財)東京大学出版会]