固体化学反応研究における最近の進展 ——酸化物粉体反応における界面反応の役割——

石 井 忠 雄*

1. はじめに

近年、めざましい発展を遂げている固体化学は、固体の構造、物性、反応性および材料の広大な領域にわたり研究が進められているが、反応性の研究と体系化はまだ緒についたばかりであり、現在は固体の化学反応の追究というべき段階であろう。このような認識において、我が国の代表的研究者により、総説「固体の関与する無機反応」⁽¹⁾が編集され、固体の化学反応の体系化が試みられている。また、国外においても固体反応または固体の反応性に関する多くの成書がすでに出版され⁽²⁾、これらにより固体化学反応研究の進展と今後の問題点を知ることができる。

この展望では、これらの内容を繰返すことを避け、著者が現在大きな興味をもって研究を展開している「酸化物粉体反応における界面反応の役割」に焦点をしばり私見を述べたい。酸化物粉体反応は、固体反応の中でも極めて困難な研究対象の1つであるが、工業材料、工業触媒などの調製に広く用いられる重要な工業的反応系であり、また界面反応過程の追究は、従来この分野の研究者から無視される場合が多かったが、粉体、特に1 μ m程度以下の微粉体の反応性研究に対し極めて重要な役割を演じていると考えられるからである。

2. 酸化物粉体反応研究の歴史的背景

固体反応によるセラミックスの製造は、人類の火の発見以来伝統的技術として発展してきたが、その系統的研究が開始されたのは比較的近年のことである。すでにFaradayは1820年に金属中の拡散効果を観察し、

Roberts-Austenはそれの系統的研究を行い(1896~1900)報告している。しかしながら、無機非金属相間の固体反応を最初に研究したのはHedvallであり、 Co_3O_4 -ZnO系粉体反応において固体間に反応が起りうることを1912年に実証し⁽³⁾、これが固体の反応研究における原点であるといわれる。これより以前は、ギリシアの哲学者Aristotelesの昔から長い間“Corpora non agunt nisi liquida.”(液体が関与しないかぎり固体だけでは化学反応は起らない。)と信じられてきた。Hedvallが固体化学の道へ入ったのはこの信条に対する反抗心であったという。Hedvall(1888~1974)はUppsala大学(スウェーデン)を卒業後、よりよい研究設備を求めGöttingenの物理化学研究所に移って研究を進めたが(1916~1921)、同所のTammannは“自分から地獄に落ちるようなものだ”と非同情的だったといわれる。しかしながらその生涯にわたり、固体化学の基礎から応用の広い領域について、独得の発想による先駆的な500編以上の報告を発表し続け、その成果は今日の発展の基礎をきづいたものといえる⁽⁴⁾。

Hedvallの最初の発表から約10年後、Jander⁽⁵⁾、Tammann、Fischbeckらは固体反応の速度論的研究を開始し、拡散機構に基づくJanderの速度式は現在も粉体反応の解析に広く用いられている。これらと時期を同じくして、Frenkel、Wagner、Schottky、Jostらによる点欠陥熱力学の概念が提出され、固体間反応が原子論的立場から考察されるようになった。その後、Wagner⁽⁶⁾は金属の酸化反応機構に対する放物線則による解釈を、酸化物固体間反応に拡張し、その反応生成物中で正イオンの相互拡散が起っていると考えらるなら、局所的な点欠陥の熱力学的平衡を仮定して放物線速度則に基づきいわゆるWagner mechanismで説明できることを示した。しかしながら、反応速度定数の理論的計算が試みられるようになるのは、その基礎となる、複雑な化合物の熱力学的変数に対する点欠陥濃度の依存性に関する知識が蓄積さ

* 北海道大学教授；工学部応用化学科
Recent Development on the Study of Solid State Reactions—The Role of Phase-boundary Reaction in the Oxide Powder Reactions—; Tadao Ishii (Faculty of Eng. Hokkaido Univ. Sapporo)
Keywords: solid state reaction, phase-boundary reaction, oxide powder, thermal analysis, emanation thermal analysis, reactivity, fine powder, high temperature, surface layer, initial reaction stage
1984年4月20日受理

れて始めて可能となったのであり、これはさらに約 30 年の年月を必要とした。

このような状況の下で、1973 年に世界の代表的研究者による酸化物の欠陥と輸送現象に関する討論が行われ⁽⁷⁾、これまで得られた欠陥とその移動に関する理論的な知識に基づいて、実際の複雑な固体間反応の説明と、工業的反応技術への応用がどの程度まで可能なのかという困難なしかも重要な問題が論ぜられた。この問題に対し Schmalzried は原理的には可能であるが、実際上は系が極めて複雑であるため必ずしも容易でなく、むしろ限定された特定の場合に対し基礎的概念を正しく理解するにとどめ、それを複雑な技術的問題に対する判断の助けとして用いるのが適切であろうとのべ、さらに、この討論では深く議論するに至らなかった界面現象の追究が固体反応研究に重要であることを強調した。しかしながら、ここで再び問題になるのは、“実際の高温反応条件下”で界面現象を究明する具体的な方法は何かということであり、その 1 つとして電気化学者が固体-液体系に用いて界面動電現象の研究手法を、固体-固体反応系に应用することを提案している。固体反応研究における界面現象の究明はなお今後の問題であるが、固体反応を酸化物固体内の欠陥と輸送現象に限って考えても、実際の酸化物において重要となるのは低濃度状態における点欠陥の概念ではなく、高濃度状態における複合欠陥 (extended defects) であるといわれ、しかも、これを酸化物中の拡散および電気的性質とどのように関連づけたらよいか明らかでない。

3. 粉体間反応における界面反応の役割

固体の欠陥の性質、濃度と反応性の関係が研究の中心的課題となって現在に至っているが、工業的に広く用いられる粉体反応系では、粒子の形状、混合接触状態など外的因子の影響も大きく現われ、さらにそれらが高温反応状態においてどのように作用し合うかという問題を解決することは至難の業というべきであろう。勿論、これらのことは固体反応研究に従事している者の避けられない茨の道ではあるが、ここで一転して固体反応における界面反応のもつ意味を考えてみたいと思う。

(1) 初期反応過程の重要性

粉体間反応は、まずその界面で迅速な化学反応が開始し、続いて、生成した生成物層を通る反応物の拡散が律速過程となって進行するのが一般的パターンであろう。しかしながら従来多くの研究は、反応初期に起っている界面反応の追究よりも、その後にかかる拡散過程に重点がおかれ、厳密に言えば、界面反応挙動およびその反応機構については殆ど明かにされていない現状である。

今、1 μm の粒径の粉体を考えると、単純な計算によ

り、粒径の 10% (100 nm) の厚さの生成物層は反応率約 50% に相当し、0.1 μm 粒径の超微粒子では 10 nm の表面層が反応率 50% であり、この薄層の生成過程は粉体の反応性に重大な意味をもつことになる。実際の粉体反応において反応初期の界面反応過程で生成する表面生成物層の厚さは、粉体物質、反応温度などにより当然異なるから、どの程度の厚さまで界面反応過程で進行するかは簡単に結論できないが、著者らの従来の研究では、反応初期における数十 nm の表面反応層の形成過程は迅速であり、反応速度論的に拡散律速として説明できない場合がしばしば生じる。一方、初期界面反応の研究に際しては、1273 K (1000°C) 前後の高温反応状態下において数 10 nm の薄層の生成過程を追跡するという実験技術上の困難な問題に当面し、これがこの分野の研究を遅らせている 1 つの原因であろう。

(2) 初期界面反応層の厚さの推定

粉体間反応 $A + B \rightarrow AB$ において、反応物 A と B の間の接触点で先ず反応が開始することは極めて常識的に考えられる。今、A, B 間の距離が 0.1 nm 以下の場合に化学的相互作用が働くと考え、これを化学的接触面 (chemical contact) とする。そこで 1 mm および 0.01 mm の直径をもつ球状粒子を 1 m^3 の体積に充填した時の接触面を計算すると⁽²⁾、それぞれ $\sim 3 \times 10^{-3}$ 、 $\sim 0.3 \text{ m}^2$ であり、これは粒子全表面積のわずか $\sim 10^{-6}$ であり極めて小さい。さらにこの接触面の間に生成物層が存在すると反応物間の相互作用はますます困難になり、迅速な初期反応過程を A, B の接触面のみににおける反応からは説明が困難になる。

一般に物質の表面拡散は体積拡散より低温で容易に起り得るから、反応の開始と共に 1 つの反応物が他の反応物表面上を比較的容易に移動し、粒子全面にわたって界面反応が進行し、次の段階で、全表面における生成物層内の拡散過程に移行して反応が続行する反応モデルが考えられる。このようなモデルに基づいて、拡散過程に注目して展開されている Jander の速度式が実際の粉体反応に広く適用されていることは、実際の反応挙動を考えていく場合にこの反応モデルが利用できることを示している。

図 1 は Jander のモデルを示したもので、A, B 2 種の粉体を混合して反応させる場合、A が B の表面を完全にとりまき、B 粒子の全面に生成する層 (AB) を少なくとも A, B のうちの 1 つが移動する必要がある。この物質移動が律速過程であれば、AB 層の成長速度は放物線則 (1) に従う。

$$x^2 = kt \quad (1)$$

x は生成物層の厚さ、 t は時間である。実際の粉体反応では x を直接測定できないので、いくつかの仮定のもと

に式(2)を導いた。即ちB粒子の半径を r_B とすると反応率 $\alpha = \{r_B^3 - (r_B - x)^3\} / r_B^3$ となり、式(1)を代入して整理すると、

$$\{1 - (1 - \alpha)^{1/3}\}^2 = \frac{k'}{r_B^2} t = kt \quad (2)$$

図2は著者らの行った粒体間反応、 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{V}_2\text{O}_5 = 2\text{FeVO}_4$ に対するJanderプロットである⁽⁸⁾。しかしながら直線は原点に向わず縦軸を切り、反応初期における迅速な界面反応過程の存在が推察できる。この現象は多くの粉体反応において観察されている。今、界面反応が極めて速く進行すると仮定し、この界面反応による反応率を α_s とし、式(2)の α に $(\alpha - \alpha_s) / (1 - \alpha_s)$ を代入し、直線が原点に向うように試行錯誤法で α_s を求めることができる。原料粉体の粒径を $6\mu\text{m}$ として反応初期に界面反応により生成した FeVO_4 の厚さ x_s は、 $848 \sim 923\text{K}$ ($575 \sim 650^\circ\text{C}$)において $40 \sim 240\text{nm}$ であった。また x_s は反応の温度の上昇と共に増大することがわかる。また丸山ら⁽⁹⁾の CoO の酸化反応の結果も類似した値を示している。

図1 Jander のモデル。

図2 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{V}_2\text{O}_5 = 2\text{FeVO}_4$ 反応に対する Jander プロット。

Schmalzried らは $\text{AO}(\text{g}) + \text{B}_2\text{O}_3(\text{s}) = \text{AB}_2\text{O}_4(\text{s})$ の多くの反応系において、初期反応過程の速度論的研究を行い、反応層の厚さが大体 $1\mu\text{m}$ 以下の場合には界面反応律速の直線則が成立する結果を得ている⁽¹⁰⁾。図3は Zn_2SiO_4 (1621K (1348°C)), ZnAl_2O_4 (1520K (1247°C))の結果である⁽¹¹⁾。この実験は、それぞれの反応温度に加熱した ZnO 製のつぼ中に SiO_2 , Al_2O_3 の単結晶を吊し、 ZnO 蒸気との反応による質量変化 Δm を単位面積に対する数値でプロットしたもので、生成物の比重を4として単純計算すると Zn_2SiO_4 の場合は界面反応により生成する層は $0.5\mu\text{m}$ となり、生成時間は 240s (4min)である。

図3 Zn_2SiO_4 (1621K (1348°C)), ZnAl_2O_4 (1520K (1247°C)) 生成反応の経時変化。

さらに $\text{AO}(\text{s}) + \text{B}_2\text{O}_3(\text{s}) = \text{AB}_2\text{O}_4(\text{s})$ 型の固相間反応に対し、界面反応による相境界の進行速度の理論計算を試みている。今、反応中の界面で最密充填されている酸素格子は変化しないと仮定し、BイオンのAO中における移動度 $D_B^{(\text{AO})}$ ($10^{-16}\text{m}^2/\text{s}$)と、緩和時間 τ (1s)の関数として計算すると界面の進行速度は $1 \sim 10\text{nm/s}$ となり図3の結果とオーダー的には一致する。しかし両者の反応系は異なり、また実際の反応においては、計算に使用した単純モデルは適用できないことを考えると、この分野の正確な計算は不可能に近いと結論している。

(3) 非等温系実験(熱分析)による研究

反応初期における迅速な界面反応の研究において、従来の等温実験に基づく反応速度論的手法を用いる場合に実験上多くの困難を経験する。これに対し、熱分析は等温系実験とは本質的に異なる非等温系実験であり、調節されたプログラムに従って物質の温度を変化させながら、その物質の変化を温度の関数として測定する技法である。この代表的な熱重量測定(TG), 示差熱分析(DTA)は、それぞれ反応過程における質量および熱的变化の測

定であるから、それらの変化が大きく現われる固体反応では、初期反応過程を追跡するための興味ある方法となる。一般に、酸化、還元、分解などを伴う固体反応系には有効であるが、 $A(s) + B(s) \rightarrow AB(s)$ のような固体の加成反応には無力の場合が多い。高温 X線回折法も熱分析の 1 つであり、結晶化度の変化挙動を追跡する特徴ある方法であるが、反応初期におけるアモルファス状態の観測はできない。しかしながらこれらの熱分析的手法および等温系の速度論的研究を併用することにより、新たな固体反応の考察が可能となる。著者らはすでに多くの粉体反応系の研究に熱分析を応用し、粉体の反応性に対し初期反応過程の重要なことを指摘してきた⁽¹²⁾⁽¹³⁾。その一例として $A(s) + B(s) \rightarrow C(s) + D(g)$ 型の反応系に応用した場合を次に示す。

図 4 は $\text{CaSO}_4 + \text{TiO}_2 \rightarrow \text{CaTiO}_3 + \text{SO}_3$ に対する DTA 結果である⁽¹⁴⁾。曲線 a~c はそれぞれ CaSO_4 単独、 CaSO_4 -anatase、 CaSO_4 -rutile 系である。試料の粒径は CaSO_4 : -325 mesh, anatase : 0.3~1.0 μm , rutile : 2 μm 程度のものである。 CaSO_4 単独系は 1373 K (1100°C) 付近より吸熱が開始し、

が起る。一方 TiO_2 を添加した系では CaSO_4 が分解しない 1373 K 以下の低温域に吸熱が現われ、ここで CaTiO_3 が生成し、 CaO は認められない。この低温域の反応機構は、Jander または Wagner の攪散モデルでは説明が困難であり、著者らは初期反応過程において CaSO_4 と TiO_2 が共存する中間生成物相 ($\text{TiO}_2 \cdot \text{CaO} \cdot \text{SO}_3$) を経る界面反応過程で説明した。

図 4 CaSO_4 , CaSO_4 - TiO_2 系の DTA 曲線。
雰囲気: N_2 ($1.7 \times 10^{-6} \text{ m}^3/\text{s}$ (100 mL/min)).
昇温速度: $9.6 \times 10^{-2} \text{ K/s}$ (5.8°C/min).
a: CaSO_4 , b: CaSO_4 -anatase,
c: CaSO_4 -rutile.
(矢印は試料の分析を行った位置を示す)

この界面反応過程が CaTiO_3 生成反応に大きな役割を演じ、さらに曲線 b, c の比較から anatase の反応性が rutile より大きいことがわかる。また 1473 K (1200°C) 前後の吸熱ピークは、初期過程において未反応として残った CaSO_4 と TiO_2 の反応に基づくものであり、この高温域では CaSO_4 そのものが CaO に分解しているから、初期界面反応により生成した CaTiO_3 層中の CaO または TiO_2 の拡散機構に移行して後期反応が進行していると考えることができる。 BaSO_4 - TiO_2 系でも同様の考察が可能であり、その他 CaCO_3 - TiO_2 系では CaO - TiO_2 間の界面反応、 Cr_2O_3 - MgO 系では、酸素雰囲気の場合に $\text{Cr}_2\text{O}_3 + 3/2\text{O}_2 \xrightarrow{\text{MgO}} 2\text{CrO}_3$, $\text{MgO} + 2\text{CrO}_3 \rightarrow \text{MgCr}_2\text{O}_4 + 3/2\text{O}_2$ の界面反応、 MgO - Al_2O_3 系における塩化物、フッ化物の界面反応促進効果などを考察した。

(4) エマネーション熱分析 (ETA) の応用

前述のように、粒径が微小になる程、粉体の反応性に対する初期界面反応の役割は増大し、界面反応挙動の解明が重要となる。これに対し非等温系の実験による熱分析が興味ある手法と考えられるが、著者は新たに ETA 法を応用し種々の粉体の反応性の研究を開始した。この方法が熱分析の特徴をもつと同時に、粉体の数 10 nm の表面層の変化挙動を高温反応状態下において追跡できると考えたからである。ETA の解説は Balek⁽¹⁵⁾ および著者⁽¹⁶⁾ により行われているので参照されたい。

ETA は予め放射性不活性気体 (Rn) を導入した物質の温度を、調節されたプログラムに従って変化させながら、物質の変化に伴って放出する放射性気体の放射能を温度の関数として測定する熱分析的技法の 1 つである。1901 年に Rutherford がラジウム塩から放出する Rn が温度に依存することを報告してより今日まで、この分野に関する多くの理論および応用研究が行われてきたが、近年、ETA-DTA-TG 同時測定装置が西ドイツ Netzsch 社により開発され、比較的容易に測定できるようになった。

試料のラベルには、粉体を約 0.1 TBq/ m^3 (数 $\mu\text{Ci}/\text{mL}$) の濃度の ^{228}Th 、または ^{226}Ra 溶液に浸した後乾燥し、表面上にそれらの放射性核種を付着させる (Impregnation 法)。この状態で約 1 カ月間放置すると放射平衡に到達する。この時 $^{228}\text{Th} \rightleftharpoons ^{224}\text{Ra} \rightleftharpoons ^{220}\text{Rn}$ または $^{226}\text{Ra} \rightleftharpoons ^{222}\text{Rn}$ の α -壊変に伴う反跳エネルギー (約 100 keV†) により、前者では ^{224}Ra と ^{220}Rn が、後者では ^{222}Rn が粉体の表面層約 50 nm 前後の深さに浸入してラベルされる。このラベル試料を一定速度で昇温し、放出する Rn ガスを N_2 流通下に検出器に送りエマネーション能を温度の

† 1 keV $\approx 1.6 \times 10^{-16}$ J

関数として1分当りの計測数で測定し、それぞれ特徴ある ETA 曲線を得る。ただし残念ながら我が国では現在 ^{228}Th の入手が極めて困難である。そのため著者は主として ^{226}Ra を用い、 Fe_2O_3 , ZnO , TiO_2 , Al_2O_3 , MgO , Cr_2O_3 , V_2O_5 , BaCO_3 , CaCO_3 など多くの粉体の熱的挙動、およびそれらの混合系の界面反応挙動を追跡し、新たな観点に立って粉体の反応性を考察している⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾。

^{226}Ra でラベルした試料を昇温すると一般に種々の温度領域に ETA ピークが現われる。図5は従来の研究結果に基づいてピークを分類したものである⁽¹⁵⁾。ステージⅡは表面層内の体積拡散による Rn の放出する領域であり、Matzke⁽¹⁹⁾の多数のイオン性結晶に対して測定した結果によると、表面層内の体積拡散は固体の融点 T_m (K) の40~50%温度で開始し、これは固体の格子原子の自己拡散の起る温度と一致する。ステージⅠはステージⅡより低温域で現われるピークであり、 Rn が放出し易い極く表面に近い部分の変化に対応し、ステージⅢはⅡより高温域に現われるピークで、予め固体に存在する欠陥とか Rn ガスの集合による気泡などに比較的強くトラ

図5 ETA ピークの分類。

図6 酸化物粉体の ETA 曲線。
a: Fe_2O_3 , b: Fe_2O_3 (1573 K (1300°C)), c: ZnO 。

ップされたものと考えられる。また Ib, IIb はそれぞれのステージにおいて格子欠陥、損傷部分などに強く影響されたものと思われ、幾分 Ia, I a より高温にづれて現われる。

図6は著者の測定した ETA 曲線の一部である。曲線 a は Fe_2O_3 (150~200 mesh), 曲線 b は Fe_2O_3 を空气中で 1573 K (1300°C), 3600 s (1 h) 予備焼成し粉碎した試料 (150~325 mesh), 曲線 c は ZnCO_3 を 873 K (600°C), 1800 s (30 min) 焼成して得た ZnO (-250 mesh) である。点線の曲線は繰返し実験の結果を示す。各ステージに対応するピーク、予備処理による影響、加熱によるピークの変化など従来の手法から観測できない興味深い固体の変化挙動が示されている。さらに種々の粉体の反応性を、その個々の粉体表面層の熱的挙動と関連して考察しているが、これらの詳細は引用文献⁽¹⁷⁾⁽¹⁸⁾を参照されたい。

4. お わ り に

固体の反応性の研究に際し、特に微粉体の場合、数十 nm の厚さの表面層の熱的挙動の追跡が重要であることをのべた。高温反応状態における表面層を、結晶構造の乱れた固体と考えるか、または2次元的融体と考えるかは論議の別れるところであるが、著者は紀元前数百年の昔に溯る Aristoteles の信条へ再び迷い込む誘惑をしきりに感じる昨今である。最後に本年8月フランスの Dijon で開催を予定されている第10回の固体の反応性に関する国際会議において選ばれた招待講演10件の半数が、固体の表面、界面、粒界の挙動に焦点を合せていることを紹介し、この展望を終りたい。

文 献

- (1) 日本化学会編：固体の関与する無機反応，化学総説，No.9，東大出版会，(1975)。
- (2) 例えば，W.E.Brown, D.Dollimore and A.K.Galwey: *Reactions in the Solid State, Comprehensive Chemical Kinetics*, Vol.22, Ed. by C.H.Bamford and C.F.H.Tipper, Elsevier, (1980)。
- (3) J.A.Hedvall: *Ber. deut. Chem. Ges.*, **45** (1912), 2095。
- (4) J.A.Hedvall: *Solid State Chemistry*, Elsevier, (1966)，井上勝也訳：固体状態の化学，東京化学同人，(1968)。
- (5) W.Jander: *Z.anorg. Chem.*, **163** (1927), 1。
- (6) C.Wagner: *Z.Phys. Chem.*, **B34** (1936), 309。
- (7) *Defects and Transport in Oxides*, Ed. by M.S.Seltzer and R.I.Jaffee, Plenum Press, (1974)。
- (8) R.Furuichi, T.Ishii and S.Banba: *Z.anorg. allg. Chem.*, **437** (1977), 293。

- (9) T.Maruyama, K.Takada and W.Komatsu : Z. Phys. Chem. (Frankfurt/M.), **102** (1976), 221.
- (10) H.Schmalzried : Solid-State Reactions Between Oxides, *Defects and Transport in Oxides*, Ed. by M.S. Seltzer and R.I. Jaffee, Plenum Press, (1974), 83.
- (11) C.A.Duckwitz and H.Schmalzried : Z.Phys. Chem. NF, **76** (1971), 173.
- (12) 総説として, 石井忠雄 : 表面, **18** (1980), 140; 熱測定, **8** (1981), 71.
- (13) T.Ishii : *Reactivity of Solids*, Vol.2, *Materials Science Monographs*, **10**, Ed. by K.Dyrek, J. Haber and J.Nowotny, Elsevier, (1982), 927.
- (14) T.Ishii, R.Furuichi and H.Matsusato : J. Appl. Chem. Biotechnol., **28** (1978), 157.
- (15) V.Balek : *Thermochim. Acta*, **22** (1978), 1.
- (16) 石井忠雄 : 熱測定, **11**, No.2 (1984), 63.
- (17) 石井忠雄 : 日本化学会誌 (1984), No.6, 936.
- (18) 石井忠雄 : 第 22 回窯業基礎討論会, 京都, (1984); 日本化学会第 49 春季年会, 東京, (1984).
- (19) H.J.Matzke : Can. J.Phys., **46** (1968), 621.

<新刊案内>

金 属 チ タ ン と そ の 応 用

「金属チタンとその応用」編集委員会 編

この本の特徴は, 第 1 章から第 3 章までの基礎編で金属チタンの製錬から材料としての性質までを概説した後, 応用編として, 第 4 章から第 21 章まで多くのページをさいて, 金属チタンが個々の分野にどのように応用されているかを解説している点にある。従って, 極めて盛りだくさんな内容となっており, 総花的な感を受けるが, はしがきで示されているように, 製造技術の一応の確立から新たな段階にさしかかっているチタン工業の現状を理解する上では好適な書であると言える。

応用編は, 航空機材料としてのチタンから装飾品としてのチタンまで, 広汎な分野にわたっている。「4 章 民間航空機とチタン」, 「7 章 スペースシャトル・オービスターにおけるチタン合金の利用」, 「21 章 一般工業分野におけるチタンの新用途開発の動

向」にはアメリカの研究者が担当しており, アメリカにおけるチタンの応用分野とチタン工業の現状をうかがい知ることができる。

この本はチタン工業の現状の紹介に重点を置いているためか, 各章に一人の執筆者が担当している。そのため, 基礎から応用へわたる一貫したチタンの金属学的背景を期待する読者には物足りない面もあるかもしれないが, それはまた, チタン金属学の現状と言えるかも知れない。いずれにせよ, チタンの研究に携わる研究者および本会会員諸氏が, 多岐にわたる可能性と将来性を持ったチタンについて金属チタンの応用という視点からとらえかえし, 金属チタン工業の現状に触れるには, この本が格好の窓口と言える。(Y.M.)

[A5判 319頁 1983年 3,700円 日刊工業新聞社]

☆

☆

Advanced Technology

新 素 材 の 開 発 と 応 用 I, II

P.H.Abelson, M.Dorfman 編
堂山昌男, 山本良一 共訳

Science 誌では, 最近の材料の進展に対して強い関心を持ち, 75 のトピックスを取り上げた。本書はその中から 20 篇を厳選して編集したものであって, 米国企業で材料開発に従事している第 1 線の研究者を中心に, 新素材の現状と将来の展望を解説している。それらの題目を列挙するとつぎの通りである。I 巻: 耐熱構造用セラミックス, 高分子材料開発の最前線, 多分子系高分子, 導電性高分子, 分子線エピタキシー, シリコンスライス製造の新しい方法, 光電池用材料, 不均一系触媒, 高張力低合金鋼, II 巻: 金属ガラス, 新しい磁石, 磁気バブル, 高臨界磁場・高臨界電流をもつ超伝導体, ジョセフソン素子材料, 焼結した超硬質材料, 航空機用ガスタービン材料とその製造法, III-V 族化合物および合金, ディスプレー用材料, 繊維強化複合材料, バイオマテリアル, などである。解説は平易にして多くの参考文献が引用されていて, ポリマー, 金属・合金, 半導体, セラミックスの各分野において注目されている材料の動向を生々しく知ることができる。

技術革新にとって材料の開発が決定的に重要であることから, 新素材に対する関心が増々, 強くなっているのはわが国も同様である。その現状に照して広く新素材を展望するのに本書は時宜を得た格好のものであると思う。また, 編者は「自分の持てる力を最大の成果があげられる分野で発揮したいと思う若い科学者は, 材料研究という重要な分野を考えてみるべきである。現在の時点ではエネルギー, 分子生物学がスポットを浴びているが, 材料のもつ長期にわたる価値, 知的挑戦, 実用的性格はこの分野を非常に魅力に富んだものにしている」と若い人達に材料研究の魅力を知るところを勧めている。それはわが国においても同様であって, 本書は材料の魅力を知る手懸りとなる書でもあると思う。

本書を訳出された諸氏のご尽力に敬意を表するとともに多くの方々が一読されますことを望みます。

(M.H.)

[A5判 I: 179頁 1983年 2,200円 東京大学出版会]
II: 234頁 1984年 2,500円