

「チタンおよびチタン合金」特集号によせて

村 上 陽 太 郎*

我が国の戦後の復興と経済の高度成長は鉄鋼産業と石油化学工業、すなわち金属と高分子材料の量産によつて大きく支えられてきたともいわれている。しかし資源もエネルギーも海外に依存している我が国が、従来のような繁栄を維持して国民生活のより一層の向上をはかるには、素形材の単なる量産にとどまらず、付加価値の高い工業製品を量産し得る高い技術力を持つことが必要で、そのためには絶え間のない技術革新によつて産業に活力を与えていく必要があるという認識が定着してきた。

従来「材料」は産業の「縁の下の力持ち」的な地位に甘んじてきたが、現在では材料が先導しなければ、技術革新は達成できなくなっている。例えば日欧米共同製作として話題のボーイング 767 型機が、現用の 727 型機に比べて燃料消費量が 35% も少なくすむのは、高強度耐熱チタン合金、改良アルミニウム合金、炭素繊維と有機強力繊維「ケブラー」とを組み合わせたエポキシ複合材料などの各種の先端材料の開発や、超耐熱合金の単結晶タービン翼の製造とその周辺の材料技術の確立によつて、高温強度、破壊靱性、疲れ強さ、耐酸化性などが格段に向上し、機体の軽量化とエンジンの 30% もの熱効率の向上が達成されたため、全く材料のお蔭である。

1980 年代に入つて技術革新の波があらゆる分野で急速に進展してきた。90 年代にはますます技術開発が活発になり、先端技術においてリーダーシップを取ることができるかどうかは、一国の将来の運命を決定しかねないと考えられている。そのためには高性能で多様な機能を有する材料の開発と生産が是非必要である。欧米の先進国において積極的な先端技術の開発政策が展開されつつあるが、上述のような見地から材料開発への重点度は極めて高い。我が国においても昭和 56 年度に発足した通産省工業技術院の次世代産業基盤技術研究開発制度と、科学技術庁の創造科学研究開発制度は、我が国をとりまく厳しい環境にかんがみ、先端技術の自力での開拓をめざした国家的要請にもとづいたものであるが、新素材の開発が重点的に考慮されている。これは極めて当然である。

最近の先端工業材料は、金属材料、ファインセラミックおよび高分子材料に別けられている。金属材料には従来のセラミックに欠けていた靱性と現在の高分子材料の短所である耐熱性の悪い点の両者に優れ、その上塑性加工性や導電性、伝熱性などの優れた多くの性能を有しているため、構造物材料として技術革新に大きい役割が期待されねばならない。また材料自体が特殊な機能をもつた、いわゆる機能材料の研究開発が盛んである。形状記憶合金、水素貯蔵合金、超電導合金、非晶質合金、超塑性合金など古い金属材料の概念からは到底考え及ばない材料が、テレビや新聞などのマスコミの話題になつている。従来金属材料の開発手法は「試行錯誤」の代表のように言われてきたが、最近では、金属学の基礎的研究の著しい進歩によつて研究開発の指導原理が多量に蓄積され、一方では精緻な研究機器と手法が次々と開発された結果、マイクロ組織・構造の解明が定量的に行い得るようになりマイクロ組織・構造とマクロ的特性とのつながりがますます明確になり、望ましいマクロ的特性をマイクロ組織・構造の制御によつて実現させて新材料を開発することが可能になつている。上記の機能材料なども偶然発見された現象で古い時代であればそのまま見すごされてしまう事柄が、金属学的手法で究明された結果材料として日の目を見たものや、古くから知られていたが材料として活用できなかつた現象が、新しい学問の基盤から見なおしが行われ、比較的短時日の間に実用材料となつたものなどである。このように金属材料の基礎的学問と研究機器の進歩発展によつて、適当な開発費とある程度の時間をかければ、目標に見合う金属材料の開発ができるところまで研究開発の手法は進歩している。

* 関西大学 工博

さてここでチタンに話題を移そう。日本鉄鋼協会では従来の鉄鋼を中心とした部門に加え、「萌芽・境界技術」部門を新設され、その中にチタン合金を含め、講演大会や会誌に取り上げられ、今度チタンおよびチタン合金特集号を刊行されることになった。チタンは資源的にみても将来鉄、アルミニウムに次いで第三の金属になることは疑いのないところであり、特性上には前二者にはない、いくつかの優れた性質をもっている。このような材料を取り上げられたことは誠に賢明であり、敬意を表したい。チタンが「軽く強く錆びない」“wonder metal”として呱呱の声をあげてから 30 年がたち、その間、幾多の曲折がありながら立派な工業材料に成長した。チタンは溶融点が $1668 \pm 10^\circ\text{C}$ と高いことから、強度特に高温強度が大きいことが期待できる上に、その比重が 4.507 (20°C) であるために比強度が大きくなり、前記の次世代プロジェクト中の「高性能結晶制御合金」の“軽量強靱合金”に対して恰好の材料となつている。ちなみに軽量強靱合金の目標性能としては、 300°C における比強度 $28 \text{ kgf/mm}^2/\text{g/cm}^3$ 以上、伸び 10% 以上が設定され、合金設計、組織制御技術、後加工・処理技術および総合評価技術が含まれ、現在研究が進行中である。このようにチタン合金は高力合金として、先端構造材料の中で技術革新にはたす役割は極めて大きいことが期待されているが、耐食材料としての利用も重要である。例えば石油化学工業の反応塔、食塩電解用アノード、発電所用復水器管、海水淡水化用蒸発器の伝熱管として工業用純チタンが大量に使用されてこれらの産業を大きく支えている。さらにチタンは金属機能材料としてのかかわり方の大きい元素であることも興味深い。例えば超電導合金として最も多量に利用されている合金は、Ti-Nb 系合金である。どんなに形状を変化させても加熱すると元の形状に戻る形状記憶合金や、ゴムのように伸び縮みする超弾性材料も Ti-Ni 金属間化合物が最も性能がよく安定した合金である。さらに現在水素の貯蔵運搬は高圧ガスまたは液体水素によつているが、水素吸蔵性のよい合金を用いて貯蔵や運搬を有利にする、いわゆる水素吸蔵合金としても Ti-Fe 合金が注目されている。このようにチタンは、構造材料、機能材料として、先端金属材料の具備すべき極めて多くの特性をもつた誠に不思議な金属元素で、将来さらに優れた性能をもつた材料が開発されることが期待される素晴らしい素質をもつた材料である。そのためには十分な研究投資が行われ、基礎的にも実際的にも研究開発に真剣な取りくみがなされることが必要であらう。

第 5 回チタン国際会議は 1984 年 9 月 10~14 日西ドイツのミュンヘンで開催され、22 か国から 600 人以上の参加者があつた。我が国からの参加者は約 80 名、提出論文は総数 351 の内 47 編で、主催国以外からは米国に次いで我が国の寄与が目立つて大きかつた。私は前回の 1980 年の京都大会に引き続いて、「チタン合金の相変態と析出」のクリティカル・レビューの講演をする大役をはたす光栄を与えられたことは大きな思い出になつている。この国際会議は 4 年ごとに行われることになつており、第 1 回の 1968 年ロンドンから、1972 年米国ケンブリッジ、1976 年モスクー、1980 年京都と続き、今回は 1988 年フランスで開催されることが決定している。回ごとに盛大になつて行くが、次回も我が国からの発表が質・量共に増大することを期待したい。この会議ではチタンのあらゆる分野における基礎から応用までの最新の成果が発表され、各国の工業の現状なども報告されるので、チタン材料の進歩発展にも大きい寄与をはたしている。さらに発表論文はプロシーディングとしてポリウムの大きい書物で刊行されているので、その時々の進歩の趨勢を知るのに便利である。

新しいチタン合金の開発には多額の研究費が必要で、1つの合金の開発費用はアメリカでは最低 20 億円はかかるとされている。既に述べたように、十分な研究費とある程度の時間をかければ、目標性能に近い材料を開発し得る程度にまで合金開発の手法は進歩している。しかし折角優れた性能の合金を開発しても経済コストに合わなければ市場に受け入れられない。経済コストに持つてゆくような製造技術を開発することが重要である。素形材を工業生産品に利用する場合には、一般に 1g 当たりの単価が比較の基準にされる。米国のスペースシャトル・オービターは g 当たり 1000 円と言われるが、民生用ジャンボ・ジェット機で 50 円、自動車では 2 円程度である。我が国の現在のように民生品を主体として

いる場合には、性能の優れた先端材料であつても価格がその使用に見合うものでなければ、一般的な使用は無理である。しかし最初は価格が高くても、用途が拡大して生産量が増大すれば価格は低下してゆく。この価格の低下が次の用途拡大を呼び工業材料として経済的に定着できる。鶏と卵の循環を破るためには、よい用途を見出すことが重要である。我が国の先端材料の研究開発の現状は、シーズが先行し、ニーズがこれに追尾するような形になつているものが少なくない。例えば米国の軍事的要請などのように当初は採算を無視してもよいような研究開発であれば、研究開発やその後の約済的処理の障害は極めて少なくなるが、現在の我が国のように先端材料でもその価格が経済コストの制約のもとに利用されねばならないところに技術開発の大きい困難がある。材料の研究者・技術者もこのような状勢を十分に弁えた上で研究開発を進めることが大切である。最近先端材料の用途を円滑に拡大してゆくためには、それらの特性と信頼性を確保する必要があるが、試験方法・評価基準などが確立されていないことが、その推進の大きな障害要因と考えられ、そのため新素材の試験・評価センターの設立が通産省の強力な指導のもとに推進されている。全国に3つのセンターを民間活力を利用して設立することが企画され、ファインセラミック、高分子素材については既に発足し、大阪でニューマテリアルセンター（金属系）の設立の企画が進行中である。先端材料の利用推進に弾みがつくことが期待される。

従来我が国の技術開発は欧米諸国で開発された技術のシーズを応用技術に発展させ、工業製品にまとめ上げるパターンが主であつて、基礎研究に対する投資と業績が少ない傾向にあつたと諸外国から批判されている。最近各国の我が国に対する警戒が強くなり、特に先端技術の分野では技術導入は許されなくなつている。我が国独自で開拓してゆかなければならない。

チタンは工業材料として極めてユニークな特性を持ち各種の先端材料の開発に夢と希望の多い材料である。今後はさらに超耐熱合金に近接する耐熱性チタン金属間化合物、チタン合金 P/M 製品、チタン基繊維強化複合材料、超塑性チタン合金などの経済的な製造技術の開発、新しい機能材料の研究開発などが一層強力に推進されることを期待してこの巻頭言の結びとしたい。