

Volume 2
No.4 1997

(社)日本鉄鋼協会会報

ふえらむ

B u l l e t i n o f

T h e I r o n a n d S t e e l

I n s t i t u t e o f J a p a n



社団法人 日本鉄鋼協会
The Iron and Steel Institute of Japan

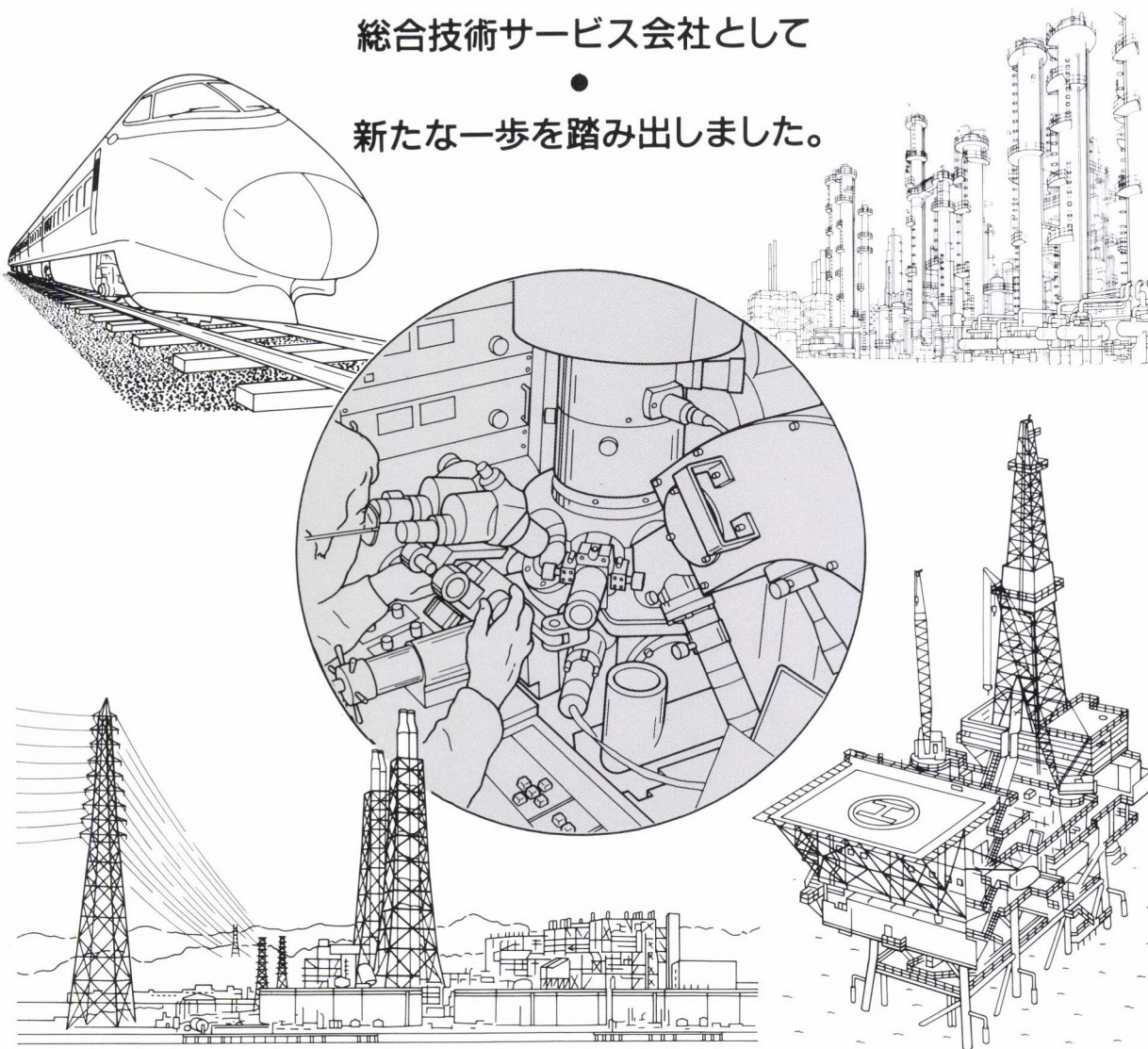
まだまだ広がる

テクノロジーの未来

住友金属工業株の永年の技術と経験の蓄積をバックにした

●
総合技術サービス会社として

●
新たな一歩を踏み出しました。



住友金属テクノロジー株式会社

（受託研究事業部）	本社	〒660 尼崎市扶桑町1番8号	TEL.06-489-5779
（評価試験事業部）	（尼崎）	〒660 尼崎市東向島西之町1番地	TEL.06-411-7663
（分析技術部）	（大阪）	〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号	TEL.06-466-6153
（和歌山事業部）		〒640 和歌山市湊1850番地	TEL.0734-51-2407
（小倉事業部）		〒803 北九州市小倉北区許斐町1番地	TEL.093-581-3289
（鹿島事業部）		〒314 茨城県鹿嶋市光3番地	TEL.0299-84-2557
（鉄道産機事業部）		〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号	TEL.06-466-6176
（OCTG事業部）		〒660 尼崎市東海岸町21番地1号	TEL.06-409-1121

ふえらむ

Vol.2 (1997) No.4

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	砂漠工学が拓く希望	2
話題のプロダクツ	ヘッド・マウンテッド・ディスプレイ	10
鉄の絶景	生まれる鉄 ～西オーストラリア～	14
名譽会員からのメッセージ	雜感 — 戦後 50 年の鉄鋼生産の推移と若い研究者へのメッセージ— 九州大学名譽教授 川合保治	17
	技術の萌芽 名古屋大学名譽教授 森一美	19
展 望	21 世紀の日本鉄鋼業 第 1 回 需要と競争力の変化 —大競争時代に向けた新たな挑戦— 通商産業省基礎産業局製鉄課長 林明夫	21
	社会情勢変化の中で鉄鋼短期大学はどのように変わったか 産業技術短期大学教授 渡辺洋一	31
入門講座	計測技術編 — 1 制御のための計測技術 法政大学工学部システム制御工学科教授 北森俊行	38
解 説	不均質材力学の現状と材料開発への展開 —材料学と力学の融合を求めるインターフェイスメカニクス— 大阪大学工学部生産加工工学科教授 豊田政男	44
	陽極酸化カラーチタンの製造技術 (株) 東陽理化学研究所製造技術課課長代理 山岸和夫	52
国際純正・応用化学連合第 14 回化学熱力学国際会議に出席して	北海道大学名譽教授 横川敏雄	59
会員へのお知らせ		60



砂漠工学が拓く希望

荒廃した土地を緑に変える技術

二酸化炭素による地球温暖化ー。
人口爆発と食糧問題ー。
「砂漠緑化」は、21世紀の人類を脅かす
これら2つの課題への
抜本的な解答となりうる可能性を秘めている。
砂漠緑化には、農学、土木、工学、経営などの
複合的な技術に加え、何より資金が必要とされる。
必然的に、日本に対する国際的な期待の声も高い。
今回は、さまざまな障壁をのりこえて芽を出しつつある
砂漠緑化のテクノロジーをレポートしてみる。

砂漠緑化が現代文明の危機を救う

深刻な砂漠化現象と緑化によって拓ける未来像

陸地の3分の1を占める砂漠を緑化することで、産業の放出する二酸化炭素を固定し、循環させることが可能になるという。しかし現状は、人為的な活動によって、むしろ砂漠化が急激なスピードで進んでいる。まず第一段階として、砂漠化をストップさせるための技術が、そしてさらには既存の砂漠を緑化し生産力を回復させる技術が求められている。

毎年九州と四国に相当する土地が失われている現状

砂漠は地球上の陸地のおよそ3分の1を占める。その砂漠の面積が、ここへ来て急激に拡がりつつある。国連統計によれば、毎年約500万～600万haもの土地が砂漠化しているという。日本にあてはめてみると、九州と四国を合わせた広さに相当する土地が、年ごとに失われていっている計算になる。砂漠ではなかったところ、有用な土地だったところが砂漠として荒廃していっているという点、そしてそのスピードが急激である点に大きな危険がひそむ。

現在、大なり小なり砂漠化の危機に頻している土地は、世界の耕作可能な乾燥地域の約70%（約36億ha）におよぶ。それによって影響を受けている人々は約9億人。世界中で6人に1人が砂漠化の問題に直面しているわけである。

砂漠化の要因としては、干魃などの自然災害的なものに加え、過放牧や過耕作、燃料用の薪の伐り過ぎ、焼き畑など、住んでいる人々の生活と密接に関連しているケースも多い。

灌漑や地下水の上昇などによって運ばれてきた塩類（ナトリウム、マグネシウムなど）が溜まり、耕地としては使えなくなってしまう「塩類集積」も農耕地荒廃の大きな要因となっている。天然の水には必ず塩類が含まれているが、乾燥地では、どんどん水分が蒸発するため有効に廃水が行われない土地では、大地に「塩が吹く」ほどになってしまう。不用意な灌漑

は長期的に見れば、命取りになるのである。この点に砂漠緑化の難しさがある。

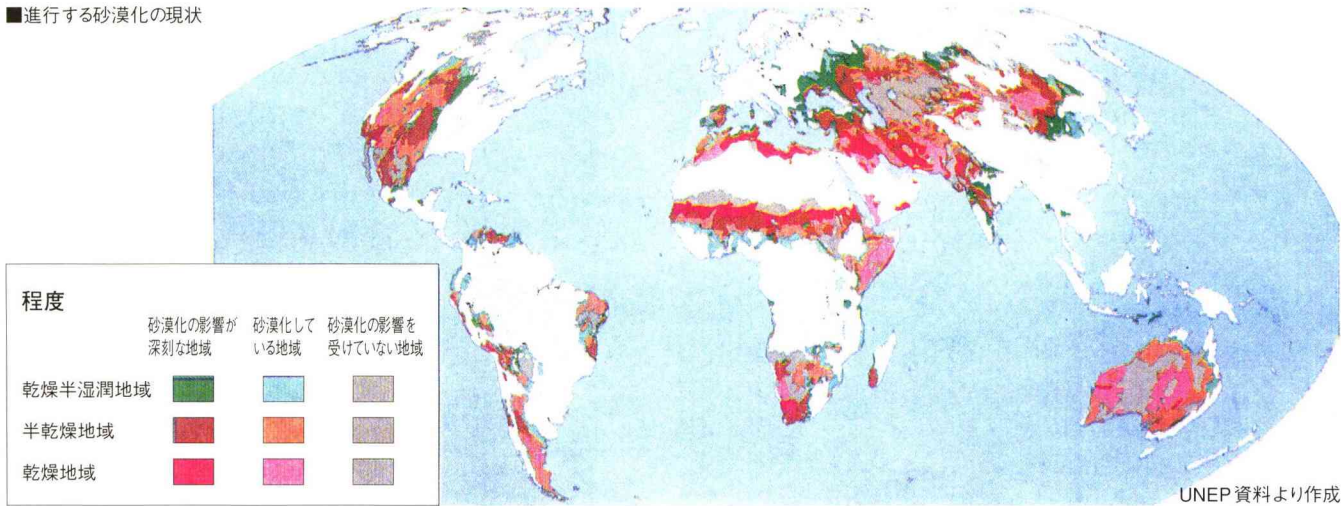
砂漠緑化が二酸化炭素固定の鍵に

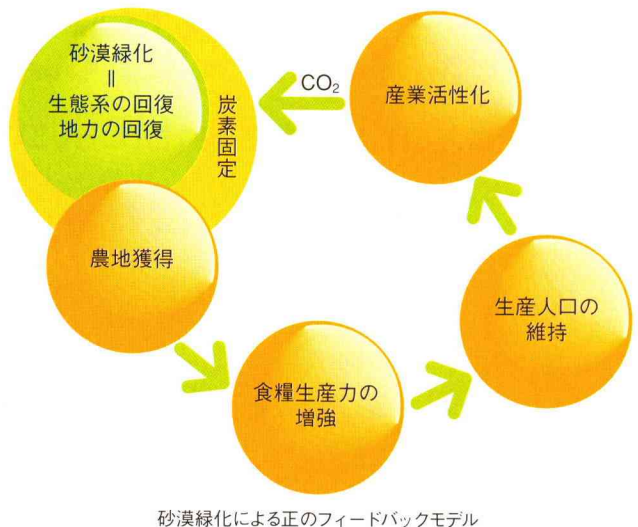
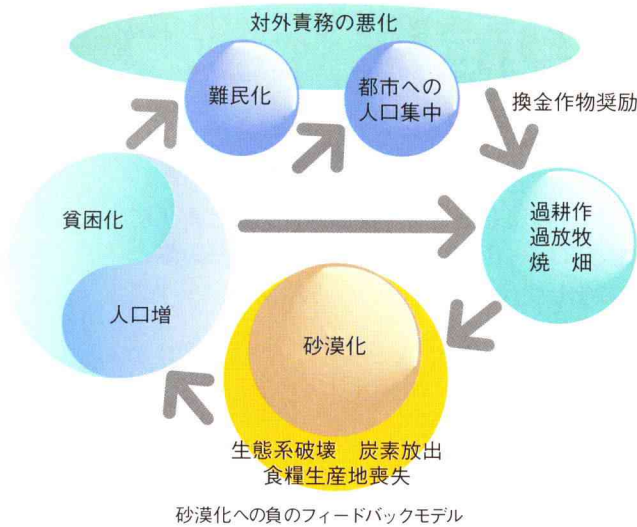
人為的な要因による急激な砂漠化は、いわば破滅的な状況をもたらす。まず何より耕地の荒廃による生産力の喪失。現在の爆発的な人口増加を考える時、この状況は深刻である。しかも人口爆発によって貧困が加速され、食糧確保のための放牧、耕作、焼畑がさらに倍加され、そこに政治・社会的要因が拍車をかける。土地は荒廃し、砂漠化し、放棄される。土地を棄てた人々は、都市へ流れたり、難民となってさまよう



塩類集積によってまっ白になった土壌

■進行する砂漠化の現状





ことになる。

一方で砂漠化は、植物の消失による生態系の破壊と、それによる炭素の放出という側面も持っている。ほとんどの植物が育つことのできない砂漠は、大気中の炭素を固定する機能もない。砂漠化は二酸化炭素を有機物として固定するシステムをも奪っているのだ。先進国の産業が排出する二酸化炭素は、地球温暖化の原因とされてきたが、途上国の開発が進めば、さらに大量の二酸化炭素が大気中に放出されることは必至である。

しかるに、砂漠化を防止し、さらに一步進んで現在の砂漠を緑に変えていくことができれば、食糧問題と二酸化炭素の問題を解決する糸口が見つかるとも考えられる。乾燥地域の土地を食糧生産だけのために、いわば悪い意味での「合理性」のみで酷使すれば、その土地は荒廃し、砂漠に変わってってしまう。しかしたとえば農地の20%で直接の生産をあきらめ、そこに植林をすれば、作物にあたえた水の残り分（本来なら蒸発によって放散する）は、森林に吸収されて、塩類集積を防ぐことができるという。

また100km四方、つまり10,000km²の森林には約1億トンの炭素固定作用がある。この数字からすると、現在世界各国の産業が二酸化炭素の形で毎年排出している約55億トンの炭素を固定するには、100km四方の森林を55つくればよい計算になる。候補地は全陸地の約3分の1もあるのだ。その一部を食料生産に当てることで、深刻な飢餓を回避する手段を得る

ことは可能になるかもしれないのである。

貧困／人口増／砂漠化という現状の負のフィードバックを、砂漠緑化／食料生産／産業の持続力という正のフィードバックへと変換していくこと。それができたとき、技術と人間は、ひとつの勝利を得た、といえなくはないだろう。

歯止めのきかない砂漠化と国際的取組み

国際的な砂漠化防止への取組みとしては、1960年代のアフリカ・サヘル地域での大干魃をきっかけに、UNEP（国連環境計画）による取組みがなされてきたが、砂漠化防止にはなかなか歯止めが効かず、事態はさらに深刻化してきた。砂漠化防止に関する認識が国際的にも低かったことや、当事国の開発計画や地域住民を巻き込んだ取組みがなされてこなかったこと、資金援助が得られなかったこと、そして何よりも砂漠化に関する基礎的な知識とデータが不足していたことなどが背景となっていた。

新たな局面が見えてきたのは1992年の地球サミットでアフリカ諸国を中心とする開発国からの主張によって、砂漠化防止条約策定への要請が出されてからだった。砂漠化防止条約は1994年6月に採択され、これによって法的拘束力をもつ国際的枠組みができあがった。

それを受けて日本でもODAや研究機関、NGOなどによる砂漠化防止への取組みが活発化し、さまざまな企業からも砂漠緑化のための技術的な要素が提案されてきた。しかし、砂漠の広大さ、自然のメカニズムの難しさ、人的・社会的な問題などが障壁となって、当初のような未来志向の楽観的なムードではなくなってきているようだ。とはいえ、困難や挫折の向こうに、新しい希望の芽も見えてきている。日本の技術、経営ノウハウ、緑と共生する思想といったものが、もし世界的な砂漠緑化に貢献しえたとすれば、それは歴史的にも記念されるべき大転換点となるはずである。

砂漠化をめぐる国際的な動き	
1968年～73年	アフリカ・サヘル地域で大干魃
1977年	国連砂漠化防止会議開催
1980年代	砂漠化止まらずアフリカで再び干魃 国連環境計画（UNEP）による砂漠化の実態調査・研究
1992年	地球サミット開催
1994年	砂漠化防止条約採択

砂漠化を抑止するテクノロジー

—この要素技術が、砂漠を緑に変える—

砂漠緑化という局面で、さまざまなジャンルで培われてきた日本のノウハウに期待が寄せられている。今すぐに目覚ましい成果をあげられるという状況ではないが、時間をかけた取組みと、積み重ねによって、将来の希望へとつながる可能性がすでに芽を出しているといえそうだ。要素技術の中から、いくつかをハイライト的に概観してみる。

エネルギー源開発が鍵になる塩水の淡水化技術

砂漠緑化に水資源は不可欠だが、水自体は砂漠でも手に入らないことはない。多くの場所で地下水が手に入るし、地下水が深すぎる場合、地下ダムによって水位を上げるという技術もある。大手ゼネコン等日本の企業5社が共同してアフリカ・ニジェールで行っているサヘル・グリーンベルト計画では、この地下ダム建設の可能性が模索された。

ただし水を得ても、先叙のような塩類集積が問題として残る。コストとエネルギーをかければ、塩水を淡水化する技術自体は難しいものではない。海水や塩水湖から近い場合などでは、淡水化ができれば、その水を使うことも考えられるだろう。しかし食糧さえ十分にゆきわたらない国で、大量の化石エネルギーを用いて真水を得るという発想にはいささか無理があるし、炭素固定の森づくりのために、大量の二酸化炭素を放出するのも得策とはいえない。

淡水化装置として、現在もっとも多く用いられているのは「多段フラッシュ缶」という一種の蒸留装置だが、この装置を



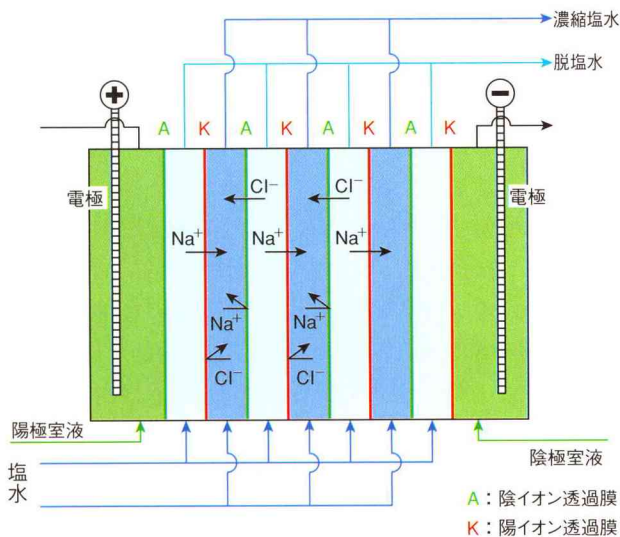
イメージ：タール砂漠

運転するには大量の石油エネルギーが必要となる。そこで石油の代わりに太陽熱集熱装置を用いたものが砂漠緑化用には有望視されている。この種の装置では、すでに1984年には80m³/日の処理能力をもつプラントが作られ、稼働している。

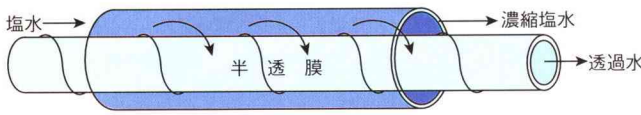
陽イオン透過膜と陰イオン透過膜を交互にめぐらした「電気透析法」による脱塩技術というものもある。これは電圧をかけて濃縮塩水と脱塩水に分離するもので、完全な脱塩はできず、32,000mg/1の濃度の塩水を500mg/1とする程度だが、植物栽培は十分可能となる。

半透膜を用いる「逆浸透法」というものもある。ポンプで塩水を加圧し、半透膜を介して水分子だけを取り出す方法である。これらは電気エネルギーで運転するもので、蒸留装置ほどのエネルギーコストはかからないものの、ともに電力が不可欠である。

そこでこれらの装置でも太陽電池で運転する方法が研究されており、実用化が待たれている。砂漠の強い太陽光をエネルギー源にできれば、ランニングコストはかなりの程度まで抑制できる可能性があるだろう。電気透析法では高温になるほど電気透析室の電気抵抗が低下するため、太陽熱集熱器で熱した温塩水を透析分離するといったノウハウも考案されている。



電気透析法の原理



逆浸透法の原理

電気透析法による装置は現在10m³/日のテストプラントが、また逆浸透膜法については、太陽電池でコンプレッサーやポンプをまかなう研究をするためのものと、膜モジュールに太陽エネルギーを用いるためのテストプラントが、いずれも日本国内で稼働している。

こうした装置の研究とは別に、砂漠で太陽電池を使う場合の実用上の課題として太陽電池面のメンテナンスの問題が予想される。砂漠では昼夜の温度差が激しいため、しばしば夜間に太陽電池面に結露が生じ、そこに砂が付着して発電効率が低下してしまうという現象が現場の研究者からも指摘されている。大面積で使うとなれば、自動運転が可能なメンテナンスロボットなどの周辺技術も同時開発される必要があるかもしれない。

あくまでも空想の域を出ないが、こうしたシステムユニットのようなものが事業ベースで製作されるようになれば、それを用いて砂漠緑化会社が、国際機関などからの委託で砂漠保有国から砂漠地を借り、大きなスケールで緑化事業を行うことも可能になるのではないだろうか。事業の採算は炭素税*と、緑化によって得られる農業経営、観光などによってまかなうことも考えられる。

砂漠の土壌を変える高吸水性樹脂

砂漠は自然に放置された状態では、豊かな生命サイクルを維持できない土地である。したがって、その緑化には、なんらかの形で「技術」の導入が必要となる。しかし難しいのは、不用意な技術が、さらに荒廃を進展させてしまうケースがままありうることだ。例えば水がないところに植物は育たない。そこで灌漑によって水を引く。ごくシンプルな技術的発想である。ところが不用意に水だけを与え続けると、前段でも述べたとおり、水分の蒸発が速い乾燥地域では塩類（ナトリウム・マグネシウムなど）が集積し、とても植物が育てるような土地ではなくなってしまう。どんなに良質の灌漑用水でも数100ppmの塩分を含んでいる。その水が滲水されずに、気化によってのみ外部に排出されるとすれば、表面の土は、蒸発皿で熱せられた食塩水と同じことになるわけだ。実際、この図式によって塩類集積が進み、放棄されてしまった土地は少なくない。そこで与える水を植物の成育に必要な最低限に抑える技術が不可欠になってくる。

水をムダにしないためには、土に保水性を持たせる必要がある。荒廃した土地に保水性を持たせるための素材として注目されているハイテク素材が、高吸水性樹脂である。いわゆる紙



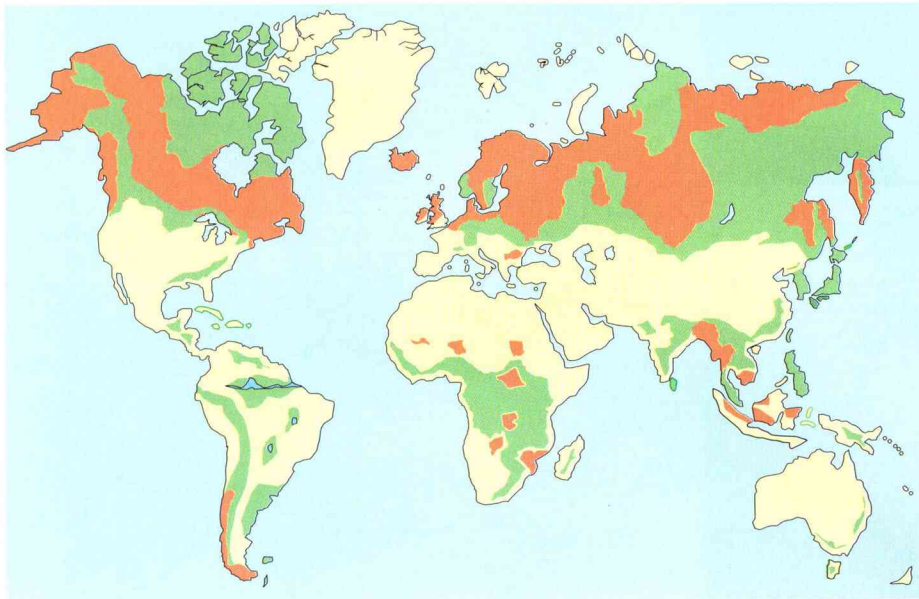
PNVAを用いた栽培実験。従来のアニオン系吸水性樹脂と異り、発芽発根の阻害が無い。左端が対象区。順に120%吸水区、100%吸水区、80%吸水区、60%吸水区、40%吸水区

おむつの素材に使われている高分子素材だ。高吸水性樹脂は自重の数100倍から1000倍もの水を吸収することができるため、これを土や砂に混ぜ込み、スプリンクラーや点滴灌漑によって必要なぎりぎりの水を与えてやることで、かなりの節水効果が得られる。（社）日本沙漠開発協会では、1980年代の終りから1990年代の前半にかけて、エジプトの農業・土地開発省と共同で高吸水性樹脂の保水剤開発のための研究を実施した。「グリーンアース計画」と命名されたこのプロジェクトでは、さまざまなグレードの高吸水性樹脂がテストされ、パイロットプラントも建設された。このプロジェクトによって吸水性樹脂の問題点が見えてきた。たとえば自重の1000倍の吸水性を持つ樹脂も、淡水ではその性能を発揮するものの、砂漠に多い塩分を含んだ水では、吸水性能が極度に低下してしまうことが判明した。また砂漠の強烈な紫外線によって分子が分解されてしまい、長期間の使用には耐えられないことも分かり、新たな素材の開発が課題として残された。

塩水でも吸水可能な高分子素材ができたのは、ごく最近になってからである。昭和電工が開発したPNVAという機能性ポリマーは、従来の高吸水性ポリマーのようなイオン性の吸水メカニズムとは異なる構造で水を取り込むため、塩水でもまったく変わらない吸水性能を発揮する保水剤として使用できるようになった。紫外線にも変化しにくい。吸水性能は自重の30～50倍とそう目覚ましいものではないが、植物の根に対する給水性がある。これまでの高吸水性樹脂では植物の根のほうが浸透圧が高くなってしまうため、保水はしても直接の給水はしにくかった。PNVAは、植物の根に対し、適度の給水性をもつ。植物を使って実験したところ、従来型の高吸水性樹脂を混ぜ込んだ土では、根が樹脂層を避けて伸びていたのに対し、PNVAでは樹脂の層をめざすように根が繁茂した。

こうした結果からも、PNVAは新たな砂漠緑化用の保水剤候補として、「希望の星」と考えられるが、問題はやはり価格

*炭素税
産業活動にはエネルギーの消費と二酸化炭素の放出がともなう。この二酸化炭素が地球温暖化の原因となるが、二酸化炭素を大気中から有機物として地中に固定するには広大な森林面積を必要とする。そこで、二酸化炭素の放出量に応じ、税をかけ、その資金を緑化にあてようという意見が提案されている。



◀ピートの世界的分布図。砂漠の比較的近傍にも供給地があることが分かる

ピートのサンプル



ピート改良地での点滴灌漑によるトウモロコシの栽培実験（エジプト）。作物の根元に必要最低量の水を点滴してやることで塩類集積を最小限にしている

にある。PNVAは来春から販売が開始されるが、価格はキロあたり2,000～4,000円と、紙おむつに使われているものの約10倍のコストがかかる。サヘル地域のような経済力の極度に低下しているところで使うには、従来の樹脂の価格でも十分にコスト高である。紙おむつの需要は従来型高吸水性樹脂のコストダウンにつながったが、PNVAも今後大量需要によって価格が下がっていくことに期待をするしかなさそうだ。たとえばアブダビでは、緑化用の水資源に約700億円/年をあてている。保水剤を用いて使用する水を半分にできたら、350億円が節約できる計算になる。こうしたところからマーケットが開けていけば、あるいは大量需要からコストダウンへという図式も成り立ちうるかもしれない。

PNVAの実用性には今後の検証を待たねばならない部分も残されているが、その成功とコストダウンにぜひ期待したいところである。

天然の有機資源を用いた土壌改良技術

砂漠保有国にはLDC（Least Developed country＝最貧



太陽電池を用いたドイツ製の地下水汲み上げ用ポンプ（エジプト）

国。開発途上国の中でもとくに経済的に貧しい国々）も多く、特にこれらの国々で砂漠化への負のフィードバック（前段参照）が強く働いている傾向は否めない。その意味ではコスト高になりやすい新素材の保水剤を用いるよりも、もっと安価に手に入る天然の素材を用いようという発想もある。

千葉工大の山口達明教授らは、草炭（ピート）を砂漠地の砂や土に混合して土壌を改良する方法を研究している。草炭とは水辺の植物やミズゴケなどが水中に堆積し、嫌気的条件下で化学変化したもので、より一般的には泥炭の名で知られ、園芸用、燃料用などに用いられている。草炭には保水性・保肥性があり、砂漠地に多いアルカリ土壌を中和する働きをもつ。また元来植物が変化したものだけに砂漠地に不足している有機質を補給することができ、植物の育成に効果的な通気性・通水性を確保する働きをする。山口教授らは、この草炭を用いた砂漠緑化の実証研究をエジプトや中国内蒙古で行い、データ収集と利用技術の開発に努めている。

また山口教授はとくに草炭に含まれるフミン酸の脱塩効果に着目している。草炭に含まれるフミン酸は、土壌コロイドに吸着されているナトリウムイオンをとらえ、不溶性フミン酸



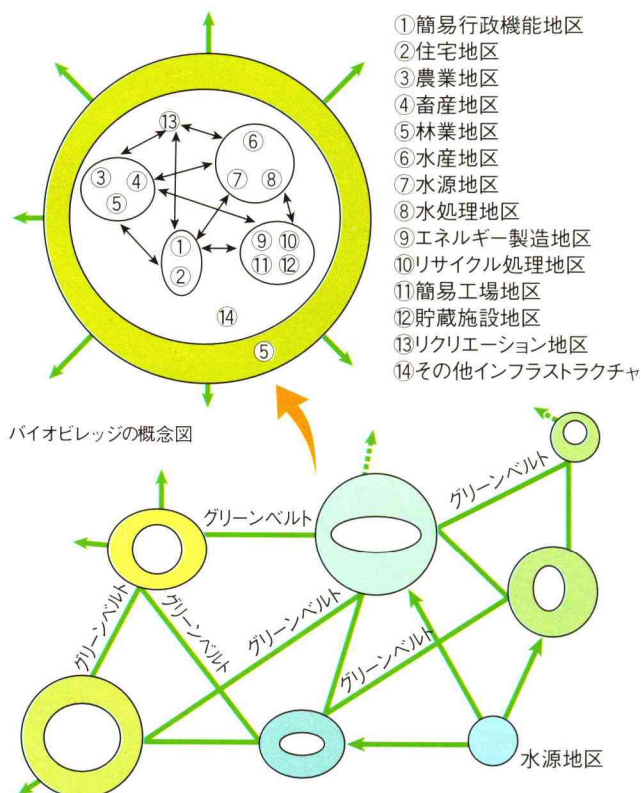
道路の両側の土壌をビートで改良し、植林した例（エジプト）植林直後の例（上）と、青々と育った成熟後の例（下）

ナトリウムとなる。この状態になるとナトリウムは通水によって地下に洗脱されやすくなり、徐々に土中から除かれていく。すなわち、フミン酸は塩類が集積してしまった土壌の脱塩にきわめて効果的だと考えられる。またフミン酸の一部は土中のカルシウムイオンやマグネシウムイオンと結びついて不溶化し、土壌有機物として通気性・通水性に富んだ団粒構造（粒状の土が混在する状態）の形成を助けることが期待される。

草炭は世界中に広く分布しており、埋蔵量は約5,000億トンと推定されている。地表近くにあるため採取しやすい資源だが、現状は世界で見ても2億トンほどが利用されているのみで、むしろ用途開発が求められている資源だ。砂漠地の比較的近くにも産地が分布しており、人工的な素材のような加工工程が不要であるためコスト的に有利であると考えられるのだが、問題は輸送にある。草炭市場は現状、規模が小さく、輸送コストがその価格のほとんどを占めてしまう。本格的な実用のためには、効率的な輸送システムを確保し、輸送コストを下げるが必要になってくると考えられている。

住民の自律性を活かすことで増殖する緑の共同体

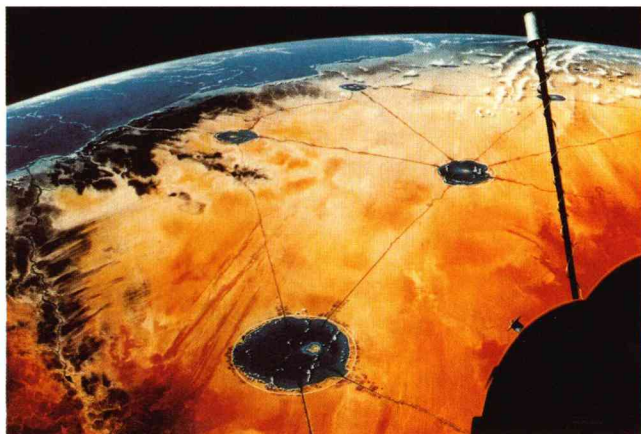
砂漠化を防ぐには、持続可能な生産活動を維持できる「人と社会のシステム」そのものをつくりあげていくべきだという発想もある。一時的に技術を導入してプロジェクトを展開するだけでなく、現地の人々が自らの手で環境調和型の開発ノウ



バイオビレッジプロジェクトに参加した現地の人々（内蒙古）。両サイドに並んでいる木々が溝を掘って植林したプロジェクトの防風・防砂林帯。防砂林帯に囲まれた土地を緑化し利用する

ハウを獲得するのを助け、その方法によって現実に豊かになることができるように技術を供与していくという考え方である。モデルをひとつ作って、豊かになれることが分かってくれば、自然にその方法が定着していくはずである。

日本沙漠学会事務局長の長濱直氏が提案する「バイオビレッジ構想」は、こうした発想にもとづいて環境共生型でしかも技術的なノウハウを調和させた人口数100～数1,000の中規模村落を砂漠化しつつある地に根付かせようというものだ。バイオビレッジの構造としては、まず植林によって村落全体を森林で囲み、中にさまざまな機能ごとの地区を分散させる。これを1単位とし、数10km離して次々とバイオビレッジを設け、ネ



デザートアクアネット構想／イメージ（清水建設）

ットワークしていく。バイオペレッジどうしをつなぐ道の両側には幅数十メートルの単位で植林を行い、グリーンベルトとする。このグリーンベルトに沿って水道、電気、通信回線などのインフラを整備していこうというのである。この構想の利点は、ひとつのビレッジが成功し、人々の生活が豊かになれば、先例に習って次々と細胞分裂的にグリーンベルトが拡大していく可能性が期待できる点にある。ポイントはこのバイオペレッジのソフトウエアを現地の人々に理解させ、自らの手で環境共生型の開発ができるように援助していくということだ。

バイオペレッジのモデルづくりは、1996年から中国内蒙古で始まっており、現実的な運営ノウハウや技術の模索がなされている。モデルプランであるこの「バイオペレッジプロジェクト」では、約500haの土地で放牧家畜よけの防護柵を設け、内側にポプラ、松、柳などの防風・防砂林帯を格子状に植え、格子のはざまに水田や果樹園、養殖場、経済林などを植え、地場産業を起こしていく。長濱氏はだいたい5年を目安にこのミニモデルの基礎を創りたいとしており、その先は現地の人々がノウハウを引き継いで発展させてくれればという。

巨大な土木建築技術を用いた砂漠緑化技術

砂漠緑化の技術に関しては、巨大な構造物や土木建築を用いるマクロエンジニアリングの視点からも、いくつかの方法論が提案されている。

清水建設の「デザート・アクアネット構想」は内陸部の砂漠地帯に複数の巨大な人造湖を造成し、水路のネットワークでつないだうえで、海水を循環させようというケタはずれのスケールを持つプロジェクトである。内陸部であるがゆえの乾燥と熱風が、巨大な湖面の出現によって緩和され、砂漠の気象が生物にとって棲みやすいものになるといえる。

東急建設が提案する「沙漠ドーム」は、巨大なドームによって砂漠の一部を覆い、外界から遮断した状態で植物を育成するもので、緑化が定着した時点でドームを取り払い、徐々に



沙漠ドーム／イメージ（東急建設）

移動しながら緑地を拡大していくというもの。

こうしたスケールの大きな構想は、砂漠緑化へのはてしないロマンをかきたててくれるものの、いかにせよその建設にかかる莫大な費用をどこからどうして捻出するのかという問題が残る。また現実的な運用ノウハウや、環境への影響調査など、建設以上にクリヤーせねばならない課題は多く、さらにコストがかさむことも予想される。とはいえ、月世界の訪問などというとてもないプロジェクトも、もともとは夢物語のようなところから始まっていることを考えれば、こうした構想は技術者のイメージを刺激するうえでも必要といえるのかもしれない。

文明の後に砂漠を残さないために……

「文明の後には砂漠が残る」という言葉がある。そう思って世界地図を見渡してみると確かに、古代文明の遺跡はどういうわけか砂漠の地に散在している。けっして言葉の上の皮肉などではなく、人間の文明活動は、大地の生命力を消耗させ、砂漠に変えてしまう危険を常に秘めているといえるのかもしれない。インダス文明の衰退は、一説によると都市のレンガを焼くために森林を切り過ぎたことと、人口が増え、環境への過負荷がかかったことが原因ではないかとの説もある。

今、アジアの目覚めは、膨大な数の人々に消費文明をもたらそうとしている。先進諸国の限られた人口が消費生活を楽しむだけでも、地球環境のバランスが大きく崩れようとしている現状を考えるに、60億の人間が現代文明を享受しようという時代、人類は本当に破局を経験せずに、前へ進んでいけるのだろうか。

これまでと同じ文明の思想では、破綻が来ることは間違いないだろう。砂漠緑化技術は、ある意味でこうした文明の方向性を変えていくためのターニングポイントに位置するものといえるのではないだろうか。

〔取材協力・写真提供：（社）沙漠開発協会、日本沙漠学会、千葉工大・山口研究室、昭和電工(株)、清水建設(株)、東急建設(株)〕

話題の
PRODUCT

プロダクツ

ヘッド・マウンテッド・
ディスプレイ
(HMD)



新たな利用方法に注目が集まるHMD

個人が手軽に大画面を楽しむ
ディスプレイとして商品化

HMDといえば、ヴァーチャル・リアリティを体験するための映像表示装置というイメージが強い。

しかし、昨年相次いで発売されたHMDは、そうした限られた利用方法にとどまらず、新たな可能性を見せている。

民生用HMDの開発コンセプトと、将来の可能性について報告する。



NASAや軍事技術から始まったHMDの開発・利用

ヘッド・マウンテッド・ディスプレイ（head mounted display：HMD）とは、頭部に装着して、顔面に接近させた小型のLCD（liquid crystal display）やCRT（cathode ray tube）に映像を映し出す画像表示装置のことだ。ディスプレイの開発方向が、大画面・高画質・薄型化に向かうなか、まったく異なる可能性を秘めたものとして注目を集めている。

HMDを最初に作り出したのは、マサチューセッツ工科大学のアイヴァン・サザーランドで、1968年のこととされている（ニコラス・ネグロポンテ著『ビーイング・デジタル』）。その後、NASA（National Aeronautics and Space Administration）や国防総省などによって、宇宙探査や戦車・潜水艦の模擬訓練装置に利用されるようになった。現在では、航空機のフライトシミュレーター、自動車教習所の運転シミュレーション、アミューズメント施設などに広く利用されている。

これらはいわゆるヴァーチャル・リアリティ（virtual reality：VR）技術を応用したもので、人間が自分の経験したことを、視覚だけでなく聴覚や触覚など、あらゆる感覚が1つに混じりあった結果として受けとめるという、知覚機能の傾向を利用している。

人間が視覚的に空間を現実のものと感じるかどうかは、相対的なものの大きさ、明るさ、角運動などに左右されるが、特に遠近感重要な要素となっている。VRでは、現実感を作り出すために、対象者の視点の変化に応じて、瞬時に画像を変化させる。またディスプレイ上に表示される画像は、左右でわずかに違った距離になるよう調整され現実感を強調している。この効果は対象物が近いほど大きく、3D^{*1}映画などで、観客に向かってものが飛んでくる場面が頻繁に使われるのも、これをねらったものだ。

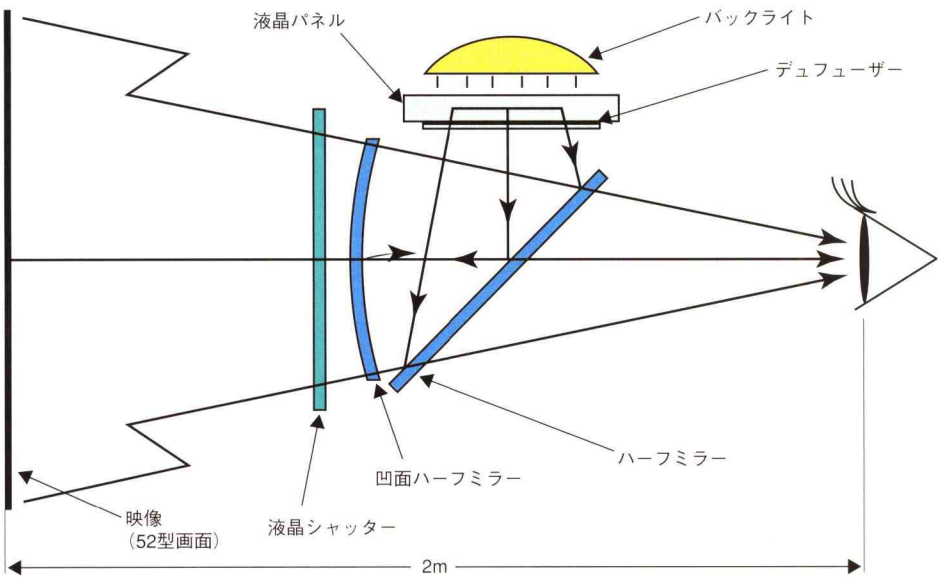
触覚についても、筑波大学の岩田洋夫助教授が、仮想空間に映し出された物体を器具を装着した手で持つと、器具が指に圧力を加えることで、実際に持っているような重さを感じられる「触覚フィードバックシステム」を開発。さらに仮想現実感を進化させる方向に進んでいる。

こうしたVR関連の技術開発は、必ずしもHMDを必須としたものではない。ホログラフィー^{*2}など立体映像技術や全天周ドーム型ディスプレイ^{*3}など、HMDに代わる技術の開発も盛んに行われている。しかしながら、個人が頭にかぶるだけで現実の世界から切り離され、簡単に仮想現実の世界に入り込めるという手軽さの面では、現時点ではHMDが最適だろう。

野外でも利用できるようバッテリー駆動が可能

一方、こうしたVRとは異なり、HMDをディスプレイ本来の目的に利用しようという商品も登場している。1996年6月

■図1 HMDの光学原理図（グラストロンの例）



に発売されたソニーの「グラストロン（PLM-50）」がその代表だ。

パーソナルLCDモニターと位置づけられたこの商品では、ビデオやDVD（digital video disc）などの映像を、2 m先に置かれた52型大画面ディスプレイで見ているような体感が得られる。実際には、図1のように0.7型LCDに映し出された映像を、平面ハーフミラー^{*4}に反射させ、さらに凹面ハーフミラーで拡大することで実現している。現在発売されているHMDの映像表示機構は、だいたい同じような原理を利用している。

メーカーでは、この商品を「個人が好きな場所で、他人に気兼ねすることなく、大画面・高画質な映像を楽しむことができる映像表示装置」と位置づけている。従来、大画面ディスプレイはかさばり重量もあるため、設置場所が限られていた。PLM-50では、頭部に装着するディスプレイ部の重量が約310gと軽く、またバッテリー駆動が可能のため、屋外でも利用できるようになっている。

もう1つ特徴的なことは、「シースルー機能」と呼ばれるLCD画面と実際の風景をブレンドして見る機能がつけられていることだろう。

通常HMDの場合、RVでの利用にも見られるように、目に映る世界により深く入り込めるよう、外界からの情報をできるだけシャットアウトする方向で設計されることが多い。このためゴーグルのように目を完全に覆う構造になっており、いちばん外側に遮光板を置くことで周りの風景が目に入らないようにしている場合がほとんどだ。

ところがPLM-50では、開放型の構造を採用している。ふだん眼鏡をかけている人でも、そのまま装着できるようになっており、視力調節も不要だ。メーカーはこのような構造を採用

した理由として、「この商品はあくまでAVモニターと位置づけられており、しかも屋内だけでなく野外での利用も念頭に置いて開発している。屋外での利用では周囲の状況に配慮する必要があり、遮光型はあえて採用しなかった」と説明している。つまり外界から完全に遮断されてしまう遮光型では、周りでは何が起きているのかわからず、安全面でも問題があるということだ。

遮光型のHMDでは、画面が真っ暗な中空に浮かんで見える。PLM-50のシースルー機能を使うと、画面の背景部分を真っ暗な状態から、外の風景が見えるように段階的に変化させることができる。このとき画面部分には映像が映り続けるため、ちょうど周りの景色に画面の映像が透けて見えるようになる。また「スクリーンスイッチ」をon状態にすることで、画面部分だけは周りの風景が透けて見えないようにすることも可能だ。

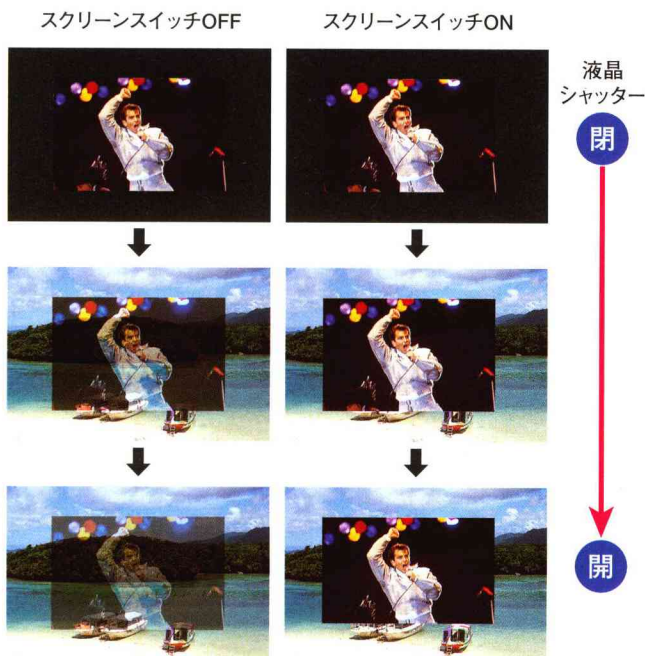
こうした機能は、凹面ハーフミラーの外側に、液晶シャッターを置くことで実現している。液晶シャッターの電圧を変化させることで、外部からの光の透過率を変化させているわけだ。

このほか、「AV ミュート」機能を利用すると、一瞬にして映像も音声も消すことができ、装着したまま周囲の様子を確認することができる。シースルー機能、AV ミュート機能をはじめとして、すべての操作は手元のリモコンで行えるようになっている。

PLM-50には、左右別々に2枚の0.7型・18万画素LCDが使われている。サイズからすれば、かなりコストパフォーマンスの高いLCDを利用しているが、さらに液晶のドットを目立たなくするディフューザーを搭載するなど、高画質へのこだわりが強い。

購入層として、20歳代半ば～30歳代の男性、40～50歳代の男性が多いという市場調査結果が出ていることから、自分

■図2 シースルー機能のイメージ



の部屋や時間をもち、好きな映像ソフトを楽しみたいという購入動機が浮かび上がってくる。もちろん家庭用ゲーム機での利用も多いとのことだが。

用途に合わせてバリエーションが多様化しそう

HMDを使用する際に懸念されるのが健康への影響だ。2枚のLCDに映っている映像を、左右の目で別々に見て1枚の映像として認識する働きを「融像作用」と呼ぶ。メーカーでは、こうした状態で長時間映像を見続けた場合、人間の目にどのような影響が出るかを、医学的に検証している。その結果、目の疲れを自覚しにくい15歳以下の子供の使用を制限することにした。子供が親に隠れて使用しないよう、パスワードを使ったセキュリティシステムを搭載する念の入れようだ。

成人でも、動きの激しい映像などを見続けると、乗り物酔いに似た症状が出ることもある。また長時間、連続して使用すると、眼精疲労^{*5}を招きやすい。こうした点に配慮して、約2時間15分連続使用すると、目の疲れに注意するよう画面表示が出る。さらに連続6時間経過すると、電源が自動的に切れる設定になっている。

PLM-50がAVモニターを強く意識した商品コンセプトをとっているのに対し、玩具メーカーのタカラが1996年10月に発売した「HMD ダイノバイザー」のようにゲームなどアミューズメント利用を意識した商品も開発されている。またシースルー機能を備えた「バーチャルアイグラス」という商品も輸入されている。

HMDをパーソナルなディスプレイ装置として利用する試みは、まだ始まったばかりと言っていい。最近デスクトップパソコン

ポータブルビデオCDプレーヤーなどと組み合わせ、屋外で映像ソフトが楽しめる



ンの表示デバイスとして14型LCDが注目されているが、製造工程の難しさから高価格が普及のネックとなっている。HMDを15～17インチ程度のディスプレイとして使用できるよう、VGAモード^{*6}に対応してほしいという要望がかなりあるという。

3Dへの対応も急務だろう。アミューズメントの世界では、より臨場感を高めるために、立体化映像が盛んに使われるようになっている。左右2枚のLCDを使っているHMDなら、3D対応はすぐにもできそうだ。また業務用専用機としての利用も見えてくる。DVDなど高画質な映像ソフトを提供する製品・規格が今後登場してくるが、音楽用CDの試聴機のように、映像ソフトの「試視聴機」といった使い方も考えられる。

ただ解決すべき問題もある。最大の課題が、よりスマートな外形にすることだ。たとえば、グラストロン[®]の「グラス」とは眼鏡という意味だが、現在の形は眼鏡というには大げさすぎる。室内での利用なら抵抗は少ないだろうが、屋外に持ち出して利用している姿は、かなり異様な雰囲気を与えるに違いない。実際、ポータブルビデオCDプレーヤーやポータブル8ミリビデオデッキと組み合わせれば、シースルー機能を使って、歩行しながら利用することも不可能ではない。しかしメーカーでは、こうした利用方法も制限している。安全面への配慮が主な理由だが、見た目の異様さへの抵抗感もかなり気になる様子だ。

民生用としては第1世代に当たる現在のHMDは、目新しさもあってかなり注目を集めている。今後、どのような利用方法が登場してくるのか、非常に興味深い。

[取材協力・写真提供：ソニー株式会社、(C) 吉岡 渉]

- * 1 3D映像 (three-dimension scenography) : 立体映像。両眼のわずかな視差を利用して、視覚的な立体感を得る映像。
- * 2 ホログラフィー (holography) : 特殊なフィルム上にレーザービームを使って立体像を印刷したホログラム (hologram) から、立体像を再生する技術。
- * 3 全天周ドーム型ディスプレイ: 劇場などのドーム型スクリーン全体に映像を映写する装置。
- * 4 ハーフミラー: 入射光の一部を反射し、一部を透過させる鏡。一眼レフカメラなどに利用されている。
- * 5 眼精疲労: 目を使う仕事をすると、仕事量に比較して疲労状態が著しく強く、休息によっても十分回復しない状態。
- * 6 VGAモード (video graphics array mode) : 1990年にIBM製パソコンに採用されたグラフィック回路の仕様。600×480ピクセルの表示が可能。



生まれる鉄 ～西オーストラリア～

日本人の海外旅行先として、つねに人気ランキング上位に位置するオーストラリア。旅行先としてのオーストラリア人気はここ数年来のことだが、鉄鋼業におけるオーストラリアと日本との本格的な関係は始まってすでに35年以上になる。

オーストラリアの総輸出量は日本向けがその4分の1以上を占め、中でも鉄鉱石の輸出量は石炭・牛肉などとならび、1995年現在では総輸出量のほぼ半分、約6000万トンが日本向けだ。

文字どおりの鉄の絶景、オーストラリアの鉄鉱石の露天掘りにセまった。

Steel 鉄の絶景 Landscape.



マウント・ホエールバックの鉄鉱石の露天掘り風景

壮大なスケールで繰り上げられる鉄鉱石の露天掘り

オーストラリアにおける鉄鉱石の生産はことに西オーストラリア州ピルバラ地区が有名で、1960年代をさかいにマウント・ゴールズワージー、ハマスレー、マウント・ニューマン、ローブリバーなど数々の世界級大鉱山があいついで開発された歴史がある。

なかでも高品位鉱の大規模鉱床で名高いマウント・ニューマ

ン鉱区のマウント・ホエールバックで、はじめて鉄鉱石が発見されたのは1957年、西オーストラリアの採鉱業者が周辺地域でマンガン鉱石を採鉱中のことだった。しかし当時オーストラリアでは、1938年に連邦政府によって制定された鉄鉱石輸出禁止令が依然として続いていた。このため鉄鉱床の本格的開発計画は同禁止令が解除された1960年からのスタートとなり、マウント・ホエールバックで発見された鉄鉱石もこの好機に合わせて分析され、鉄分68.8%の驚くべき高品位鉱であることが判明し

た。さらに探鉱と開発が進むにつれ、1955年の国連の世界鉄鋼調査によればオーストラリア全土で5億2,610万トンに過ぎなかった鉄鉱石埋蔵量が、ビルバラ地区を中心とする西オーストラリア地域だけで300億トン以上と推定されるまでになった。こうして1960年の鉄鉱石輸出禁止令解除をきっかけに本格化した鉄鉱床の開発は、1966年には日本向け鉄鉱石輸出船第一号の出港を実現させたのである。

マウント・ホエールバックは山とはいえ、幅約1km、長さ約5.5km、高さも周囲の土地からわずか225mほど高いだけの、その名のとおり鯨の背のような小山にすぎない。だがこのマウント・ホエールバックのように山全体に大量の鉄鉱石が埋蔵されている鉱山では、鉱石採掘のためにトンネルを掘って地下に潜る必要などない。表土を取り除いて作った二十数段のひな段に、爆薬を仕掛けて少しずつ鉱山を崩し、それらをパワーシャベルで掻き取っていけばよいのだ。

作業現場ではひとかき9m³＝約30トン、もしくはひとかき17m³＝約50トンの鉄鉱石を一度にすくい上げるパワー・シャベルが、まるで恐竜の格闘を思わせる迫力でところ狭しと鉄鉱石を掻き取っていく。採取した鉄鉱石は、大型のものではタイヤの直径だけでも人の身長を楽に越える200トン積、また小さいものでも120トン積などのトラックによって麓の工場へ運搬される。ここで鉄鉱石はクラッシャーと呼ばれる破碎機を通され、直径100mm以下の塊鉱に碎かれると、鉄鉱石運搬専用鉄道で426km離れた積み出し港ポートヘッドランドへ送られる。長さにして優に1kmを越える、100トン積み貨車240両を連ねた専用鉄道がオーストラリアの大地を走る姿は、鉄鉱石の露天掘りにふさわしくいかにも壮観だ。ポートヘッドランドに運ばれた鉄鉱石は再度クラッシャーに通され30mm以下に細かく碎かれると、品種別にベルト・コンベヤーで船に積み込まれて日本へと輸出される。

マウント・ホエールバックなどの鉱山から出荷される赤鉄鉱鉄鉱石の鉄含有率は平均63～66%と極めて高く、あたりに散らばる破片を手にとってぶつけ合えば、金属音を立てるほどだ。しかし輸出解禁以降、オーストラリアの鉄鉱石総輸出量は30億トンを越え、開発当初以来採掘されてきた高品位赤鉄鉱鉱山の埋蔵量も徐々に減少しつつある。また近年、世界における鉄鉱石の需要はとくに中国・韓国・台湾などのアジア地域で急激に伸び、その供給元として地理的に近距離にあるオーストラリアへの依存度が高い。これらの点からオーストラリアにおいては最近、周辺地域の中規模赤鉄鉱鉱床群（衛星鉱床）や褐鉄鉱鉱床の開発を進め、既存鉱山の延命をはかると同時に、鉄鉱石の増産体制をととのえつつある。

ますます深まる資源大国オーストラリアと日本の結びつき

そもそもオーストラリアはエネルギー・資源の豊富な恵まれた土地である反面、そこに住む人々にとっては荒涼とした、自然条件の過酷な土地も多い。ビルバラ地区においても鉄鉱石採掘による町の活性化をきっかけに、草花や木々の植林による緑の多い美しい町並みが作られるようになった。しかし、17世紀末のオーストラリアに最初の足跡をしるした英国人として、そ



ポート・ヘッドランドへ向かう鉄鉱石運搬専用列車



電気パワー・シャベルですくい上げた鉄鉱石を190トン積トラックに積み込む

の名をフラップ半島つけ根のダンピアに残すウィリアム・ダンピアは、この地を「犬でも暮らすに耐えない土地」と評した。またこのダンピアの大陸探検見聞録に刺激された同じく英国のスイフトが、『ガリバー旅行記』を記したという。

早くからの石炭を除けばオーストラリアのエネルギー・資源大国としての歴史は浅く、その開発は現在も継続中といえる。西オーストラリア州では1980年代後半に入ってから、それまでは無人の荒野だった地域に新たな鉱山が開発されるなど、専門店で売る地図の改定も間に合わないほどのスピードで新たな鉱山や町が生まれている。

資源大国オーストラリアの豊富な鉱物資源は、日本の鉄鋼業や産業発展のため、今後も重要な役割を果たしてくれることだろう。

資料提供：海外製鉄原料委員会・オーストラリア図書館
写真提供：BHP社・ROBE RIVER社

名誉会員からのメッセージ

雑感

一戦後50年の鉄鋼生産の推移と若い研究者へのメッセージ

九州大学名誉教授

川合保治



1 粗鋼生産量の推移

一昨年（平成7年）は戦後50年ということと、21世紀も目前ということで各分野で回顧と展望の記事がマスコミを賑わした。鉄鋼協会からも「21世紀に向けて鉄鋼技術10年の軌跡」なる題目の協会創立80周年記念特集号が配布された。第一線を退いている私にとっても関心のあるテーマであり、興味深く読ませていただいた。そして「最早や戦後ではない」と言われた昭和30年以後の日本の鉄鋼業の成長、技術開発の経過を改めて振り返ってみた。

右下の図は皆さんよくご存じの粗鋼生産量の推移であるが、同時に鉄鋼の使用者である造船、自動車産業の生産の推移もプロットしてみた（鉄鋼の使用者としては建設業が最大であるが、建設業は非製造業であって、これまでは国際競争の影響を受けることが少なかった業種であるので除いた）。図は戦後の日本全体の経済成長の姿を代表して示しているようにも思われる。成長が急であったため、ひ弱な体質の大人になり、体質の強化に苦勞を続けて来たとしても例えられようか。

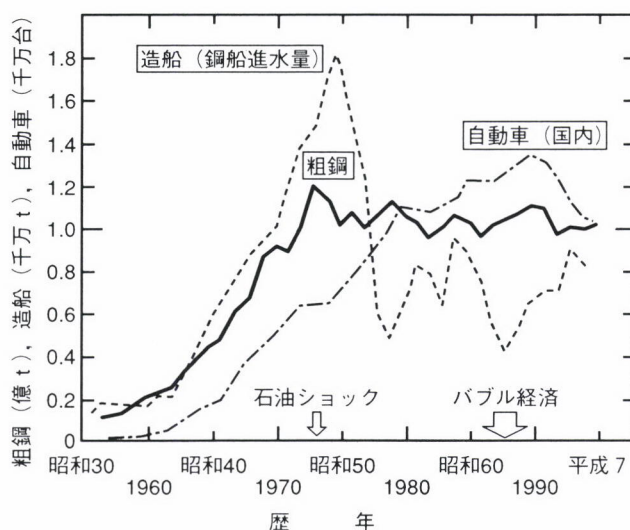
1960年代の高度成長期には造船と鉄鋼はほぼ同時に急成長し、第一次石油ショック後、造船は急落、危機的状況に陥った。過剰設備（ドック）の廃棄、新規事業への進出などのいわゆるリストラの努力はあったが、造船進水量は700万t前後を大きく変動しながら現在に至って居る。鉄鋼は1973年をピークに1-1.1億tの間を変動しながら微減の傾向で現在に至っている。自動車産業は造船、鉄鋼より5年ほど遅れて幾分緩やかに成長を始め、1990年に生産（国内）台数はピークに達し、以後かなり減少（ただし海外生産を含めれば減少ではなく増加）している。造船、鉄鋼は成熟産業と言われてきたが、自動車も仲間入りしたように思われる。技術が成熟化してくれば後発者（国）が技術習得をして市場に参入し易い状況になってくる。したがって、先発者（国）がその競争力を維持するためには絶えざる技術改善、開発が必要である。高度成長期以降、鉄鋼業では新商品の開発、製造プロセスの省エネルギー化、自動化、連続化などに懸命の技術開発努力を続けてきた。その内容は

皆さんご承知の通りである。造船業、自動車業界でも同様であったことと思う。

「技術開発無くして我が社の発展はない」と経営者はよく言う（そのわりには研究者、技術者の処遇は良くない）。その通りであるが、逆に企業の発展が無ければ技術開発の土壌は痩せてゆく。世界の粗鋼生産量は増加傾向にあり、世界的には鉄鋼業は成長産業であるが、何処で誰が生産するかが問題である。現状からは日本が生産量を増すことは無理だろうが、これからは現在の粗鋼生産量約1億t程度を維持し、技術開発力の土壌を痩せないように保って欲しいと思う。

2 若い研究者へのメッセージ

21世紀に向けての日本の製鉄の技術開発の方向、課題については、前述の創立80周年記念特集号（平成7年4月）および協会の出版図書「大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦」などに詳しく述べられているが、一口で言えば、スクラップを含めた鉄源の多様化に対応する環境調和型の製鉄プロセスによる高品質の鋼の製造法の開発である。



資料：昭和国勢総覧（平成2年東洋経済新報社）
日本国勢図会（毎年出版、国勢社）

技術革新あるいは革新的技術が必要であると言われるが、革新的技術が簡単に生まれてくる訳はない。特別優れた頭脳の持ち主による独創的発想と、それを育てる土壌の中から生まれてくるのであろうが、それに劣らず重要なのは、大多数の普通の頭脳の持主の不断の努力の中から生まれた小さいながらも独創的と呼んで差支えない多数の技術開発、改善の集積であって、その成果が今日の姿であると思う。

私自身の過去を振り返ると、若い研究者へのメッセージを送る資格があるか疑わしいが、平素考えていたこと、感じていることを2、3並べてみると、

1. 研究にも流行があり、流行に流されがちであるが、やりたいと思う研究テーマを見つけて、独自の方法で長く研究を続けて貫きたいと思う（そんなことは当たり前で、言われなくても研究者は誰もそう思って研究している！との声もあろうが実行するのは研究費その他の関係で案外難しいように思う）。流行から外れていても、いつか日の目を見る時がきて評価される。
2. 異常なデータが出てきた場合、異常とは言わないまでも変だなと思われるデータが出た場合には、無視することなく、注意深く吟味する必要がある。多くの場合、実験の際の不注意によるものであるが、新しい事実の発見のチャンスを逃すこともある。ノーベル賞の栄誉を受けられた江崎博士の半導体におけるトンネル効果の発見の場合にも、同様な現象を見付けていた研究者がアメリカの会社RCAおよびGEにいたが、一人は湿気の影響と判断し、一人は解釈に苦しんでペンディングにしていた、ということを知った。
3. 専門外の分野の話を知ったり、見たりすることは、実験上のヒントになったり、考え方の転換に役立ったり

することが多い。最近では、自分の仕事と関係がないという考えからか、他人の話を聞かない人が増えているようで気になっている。また、少しずれた事柄であるが、「鉄と鋼」などの論文を読んでいて外国の研究結果の引用が少なくなっていることを感ずる。製鉄技術は世界の最先端に達し、製鉄研究に投入されるman-power、研究費も世界で一番多いのであるから、国内の状況を見て競争すれば十分だとも言えるかもしれないが、そう言い切る自信は無いであろう。研究を始めるに際して、また研究成果を纏めるにあたっての調査が不十分でなかろうか？杞憂であれば幸いである。

新製品あるいは新技術の開発には、時間と金が掛かるし、当然ながらリスクを伴う。国内400社についてのアンケート調査結果（1989、長期信用銀行調査部）によれば、基礎研究に平均3.5年費やした結果、19.4%のテーマが応用研究に格上げされ、さらに篩をかけ、開発研究ののち、試作に成功したのは3.64%で平均8.25年かかっていたそうである。この数字が開発、研究の実態をあらわしているかどうかの判断は私にはつきかねるところであるが、研究、開発の仕事は厳しいものである。

技術開発に限らず何事にも、成功には絶えざる努力が要求され、成功の程度は次のような式で表されるそうである（原典不詳）。

$$\text{成功度} = \{ (KE + CT + PR) \times AM \}^C$$

ここで、KE：knowledge and experience、CT：creative thinking、PR：いわゆるPR、AM：accomplishment mindで、やり遂げなければ成功度は0である。C：chanceあるいはtimingで指数である。

（1996年11月27日受付）

名誉会員からのメッセージ

技術の萌芽

名古屋大学名誉教授

森 一美



70年代から80年代にかけ、革新的な金属系新素材として必ず取り上げられたものの一つが、Ni-Ti合金の出現により脚光を浴びるようになった形状記憶合金である。この画期的な合金がどのような経緯で出てきたのか、知りたいと思っていた。

JOMの1989年9月号で、C.M. Wayman, J.D. Harrison¹⁾による“The Origins of the Shape Memory Effect”なるタイトルの論文を見た。いわゆる形状記憶という性質は広義の形状記憶効果 (SME) の一つで、このSMEにはゴム状弾性のような性質も含まれる。Waymanらは上記の論文で、SMEの初期の研究は大部分1950年代から60年代にかけて行われたが、厳密に言えば、SMEに関連した現象を最初に発見したのはA. Ölander (1932) である、と述べている。

以下、この稿ではSMEの研究そのものではなく、関連論文に出てくる二人の人物につき、筆者の個人的な思い出を含め書かせていただく。上記のA. Ölanderの1932年の論文は二つで、一つは固体Au-Cd合金の電気化学的研究(A)²⁾、もう一つはAuCdの結晶構造の研究(B)である。論文(A)は、筆者が大学3年生のとき、松下幸雄先生の研究室で卒業研究に関連して読んだらしい論文であることを、その著者の名前とともに思い出した。内容は、合金の電気化学的研究であったという以外、全く忘れてしまったが、A. Ölanderという名前は妙に鮮やかな形で思い出される。

卒業研究として松下先生から御指示いただいたことは、当時名著とされていたC. Wagnerの“合金の熱力学”なるドイツ語の本を参考として研究テーマをきめるようにとのことであった。この本の巻末に、引用文献が著者のアルファベット順にまとめられていて、この中で合金の電気化学的研究としてA. Ölanderの論文がきわだっただけでなく、どうもそのためにA. Ölanderの名前を強く思い出したようだ。

数年前一切の公職を離れ、時間がたっぷりできたところで、Ölanderの論文(A)を詳しく読んでみた。Ölanderは1932~37年当時、Ag-Cd、Au-Cdなどの合金の中間相、とくに規則格子合金の原子配列の不規則度を、合金の電気化学的測定から得られる混合エントロピーと統計熱力学の理論式との対比から求めるという問題にも興味をもっていた

ようである。

合金の電気化学的測定を最初に行ったのは、金相学で有名なゲッティンゲン大学のG. Tammannで、Au-Ag合金について研究した1919年の論文がある。その後、何人かにより類似の研究が行われ、その間、実験手法は次第に確立されて行き、Ölanderの研究は完成した手法で行われた。この研究は、Au-Cd系状態図に現れるいくつかの固溶体の固溶限の濃度、相変態温度の不備を正したということで、一面から状態図の研究とも見ることができる。

ÖlanderはAu-Cd合金の電気化学的研究を系の全濃度範囲について行った。一方の電極は純粋なCdで、測定温度340℃以上では融液、それ以下の温度では固体Cdを用いた。他方の電極はAu-Cd合金で、62通りの濃度の合金について測定した。電解質融液として、塩化物、一部は酢酸塩を用いた。

Au-Cd合金極は直径1 mmであるが、濃度により合金は様々な性状を示した。Ölanderは、とくに中間の濃度の合金の性状についてつぎのように述べている。

“Cd50% (at%) 以下の β 相は弾性の挙動を示し、Cd47.5%ではとくにその性質は顕著で、ゴム状の挙動を示した。Cd50%以上では固くて脆く、60%以上の合金はとくに脆い。”

Ölanderの論文はあくまでもAu-Cd合金の電気化学的研究であり、この研究が15ページにわたり詳細に述べられている。この中で、中間濃度の合金の性状につき、目立たない形で、上記のことが数行に記されているに過ぎない。勿論、筆者など学生時代で、中間相の誠に興味ある性状についての記述など、全く意に留めなかったはずだと思われる。

Ölanderのあと約20年後、コロンビア大学のL.C. Chang, T.A. Read³⁾により“Au-Cd合金 β 相の塑性変形と無拡散変態”なる論文が発表されている。この論文は、Au-Cd合金 β 相の変形・変態機構を検討することに主たる目的をおいたもので、その中で、狭義の形状記憶効果が、いわば副次的現象として観察された。興味あるこの現象も、考察の最後のところで一寸述べられているだけである。

C.M. Waymanらによれば、このChang, Readの研究が

発表された後、SMEの現象が金属学者の間で次第に注目されるようになり、研究も盛んになり、ついにNi-Ti合金の形状記憶効果が発見されるまでになったという。

L.C. Changのフルネームは、関連論文から間違いなくLo Ching Changであると思われる。ここで、また筆者の半世紀前の思い出が出てくる。大学卒業後、助手として松下先生の研究室で仕事をするようになって間もなくの頃、カーネギー工科大学より発表されたLo Ching Chang, Gerhard Derge⁴⁾による“CaO-SiO₂, CaO-SiO₂-Al₂O₃系溶融スラグの性質についての電気化学的研究”なる論文に接した。

松下研究室では当時、スラグの電気化学的研究を主要な研究テーマとしており、Chang, Dergeのこの論文を、大きな感動をもって精読した。

半世紀が過ぎたいま、筆者の関心は革新的な科学技術の生まれを知ることである。Chang, ReadがAu-Cd系 β 相の性状に注目した動機は何であろうか。Chang, ReadはÖlanderの(B)論文を引用している。Ölanderはこの論文に、Au-Cd合金の電気化学的測定を行い、 β 相に新しい変態点を見出したことを記述している。Chang, ReadはÖlanderの(A)論文²⁾を読み、その際 β 相のゴム状弾性の記述に留意したのだろうか。

もう一つ、Readの共同研究者としてAu-Cd合金 β 相の性状について研究したLo Ching Changは、かつてカーネギー工科大学で、G. Dergeの共同研究者として、溶融スラグの電気化学的測定を行ったLo Ching Changと同一人物であるのか、別人物であるのか。もし同一人物であるとすれば、このL.C. Changが、A. ÖlanderのAu-Cd合金の電気化学的研究の論文に精通していたことはなかっただろうか。

筆者はこのL.C. Changなる人物に大きな興味をもち、国内、国外の心当たりのありそうな方々に当たってみた。色々

お骨折りいただいたが、結局不明のままに終わってしまった。肝腎の、カーネギー工科大学のDerge先生、コロンビア大学のRead先生、お二人とも亡くなっておられる。「歴史研究は時間との勝負である」ことを痛感している。

細かいことをくどくどと書いてしまった。しばしば画期的な発見・発明は偶然出てくることがあると言われる。しかし子細をみれば、これも実際には、目立たない形の偶然を含め、先人が積み上げてきた遺産が萌芽となり、そこから大きい新しいものが生まれてくるというケースがかなり多いのではなかろうか。いまの形状記憶合金もそのような例ではないかと感じ、筆者の個人的な思い出もあり、いさゝか調査した事柄を記した。

終わりにになったが、松下幸雄先生が「ふえらむ」No.11, 1996に、「名誉会員からのメッセージ」として、半世紀前の先生の御体験につき回想の文を書いておられる。私のことにも言及していただき恐縮している。あの敗戦直後の荒廃した世相の中で、松下研は実験器具もよく揃えてあり、溶融スラグの電気化学という革新的なテーマで精力的な研究を行っていた。とくに研究について松下先生の示された感覚の新鮮さは忘れることができない。

参考文献

- 1) C.M. Wayman and J.D. Harrison: JOM(1989) Sept., p.26
- 2) A. Ölander: J. Amer. Chem. Soc., 54(1932), p.3819
- 3) L.C. Chang and T.A. Read: Tran. AIME, 189(1951), p.47
- 4) Lo Ching Chang and Gerhard Derge: Tran. AIME, 172(1947), p.90

(1996年11月18日受付)

展望

21世紀の日本鉄鋼業 第1回 需要と競争力の変化

—大競争時代に向けた新たな挑戦—

林 明夫

Akio Hayashi

通商産業省 基礎産業局 製鉄課長

Japanese Iron and Steel Industry in the 21st Century (1)

1 はじめに

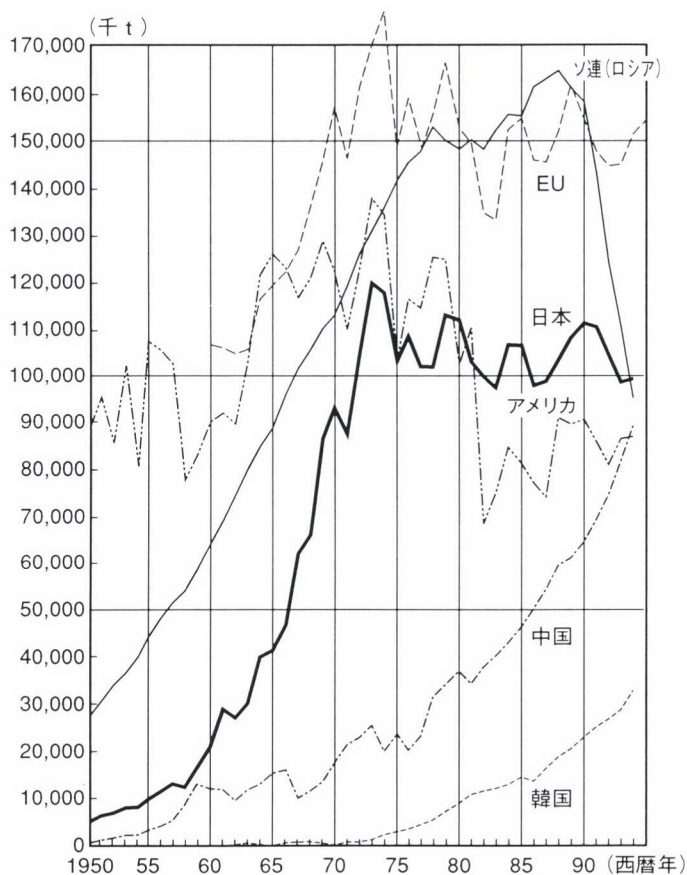
日本鉄鋼協会調査検討部会は、平成7年から8年までの2年に亘り、鉄鋼及び鉄鋼技術の発展、現状と課題について検討し、その結果を「大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦—鉄鋼技術の動向と将来展望—」というレポートにまとめ公表した。本部会の目的は、先行きが不透明といわれている現状のもとで、将来の日本鉄鋼業を支えていくことが期待されている学生に、更には一般の方々にも、日本鉄鋼業の発展の歴史、現状、展望についての理解を深めていただくため、解説書を取りまとめることであった。

本部会の成果とW.T. ホーガン教授著の「21世紀の鉄鋼業」を紹介するため、昨年10月に日本鉄鋼協会によってシンポジウムが開催され、また、東京大学、九州大学等でも本レポートが紹介されたが、本稿は、シンポジウムにおける討議、大学における学生、教授の方々との意見交換の結果を加味して、日本鉄鋼業の現状と展望について、技術面を中心にまとめたものである。紙面の関係から、日本鉄鋼業の発展過程や技術開発の歴史については、同レポートに譲ることとし、本稿では①日本鉄鋼業を取り巻く状況の変化と動向、②21世紀の製鉄プロセスの展望、③21世紀に向けた日本鉄鋼業の挑戦、④鉄鋼技術開発に関係する国の制度・施策について、統計資料やアンケート調査、関係機関の調査結果を幅広く紹介しながら、複数回に亘るシリーズで述べることにしたい。なお、意見にわたる部分は個人的なものである。

2 日本鉄鋼業を取り巻く状況の変化(その1)

図1及び図2は、主要製鉄国の粗鋼生産の推移であり、図3は、鋼材の消費量の推移である。中国、韓国の生産の伸びが著しい一方、日本、米国は1億トン、EUは1億5000

万トンの近傍で生産量が上下に変動している状況が続き、旧ソ連は、生産量が大幅に下落していることがわかる。このような状況は、①経済発展国での成長を続ける鉄鋼業、②先進国での成熟した鉄鋼業、③市場経済への移行期の中で生産の大幅減に直面している鉄鋼業という性格を異にする3つの鉄鋼業が、世界の中で併存していることを示している。



出所：調査第197号、1995年3月
日本開発銀行及び鉄鋼統計要覧

図1 主要製鉄国の粗鋼生産推移 (1950～1993)

図4は、1985年と1995年の主要国の鋼材輸出货量であるが、生産の伸びが著しい中国、韓国、ブラジル等の国々が、輸出市場においても相当のシェアを占めつつあり、国際商品としての鉄鋼製品が、より幅広い国々から供給されつつあることを示している。

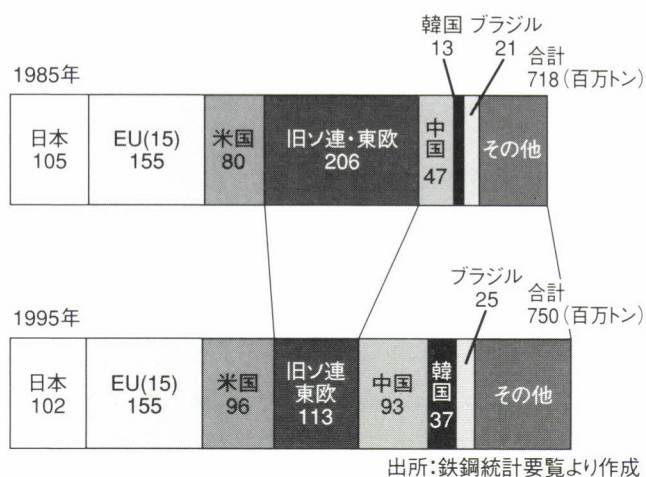


図2 世界の粗鋼生産高の推移

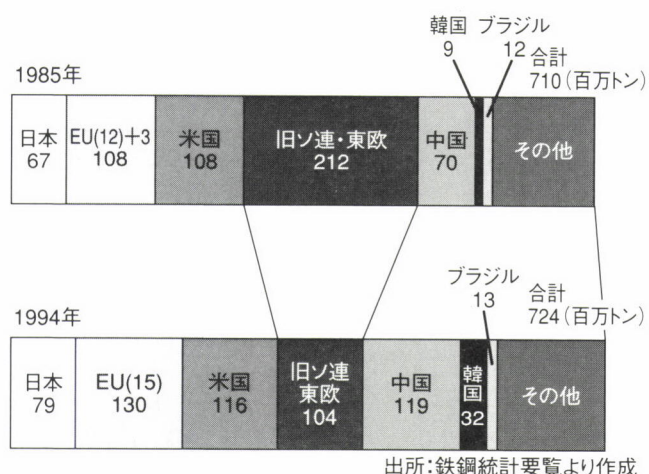


図3 世界の粗鋼見掛消費の推移

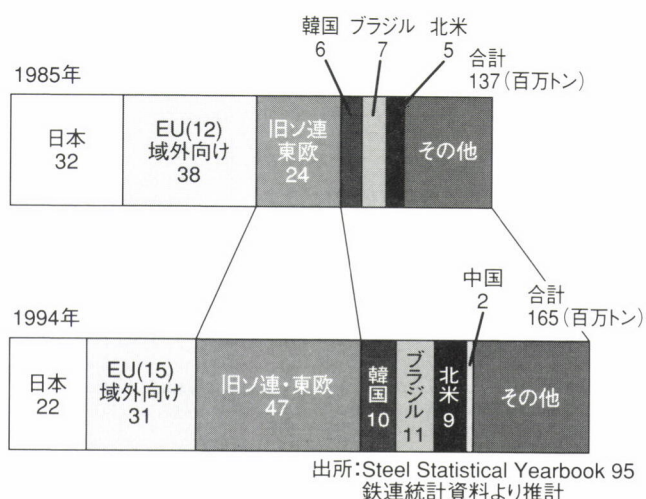


図4 世界の鋼材輸出

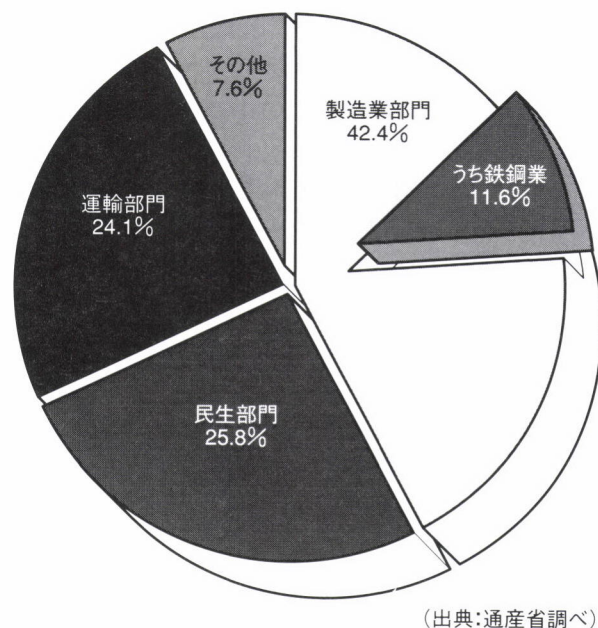


図5 最終エネルギー消費量における鉄鋼業の割合

以上は、鉄鋼製品の生産国や輸出国の変化であるが、先進国の鉄鋼業も国内需要の成熟化や競争の激化という変化に直面している。鉄鋼製造プロセスの分野でも電炉法の拡大、溶融還元製鉄、薄スラブ連铸等の大きな変化が生まれつつある。また、生産に伴う環境負荷に関しても、炭酸ガスの発生による地球温暖化といった新たな問題が顕在化してきている。

図5は、日本のエネルギー消費に占める鉄鋼業の比率を示しているが、素材供給産業としての鉄鋼業がその12%を占めるエネルギー多消費産業であることが解る。このことは、産業の発展により生じつつある新しい問題—地球温暖化問題—が、鉄鋼業にも大きな影響を与えることを意味している。

このような①需要の成熟化、②新興工業経済国の鉄鋼の生産拡大と競争の激化、③地球温暖化のような新しい環境問題の顕在化、④鉄鋼製造プロセスの変化といった状況の変化は、日本鉄鋼業に対して多大な影響を与えつつあり、これらの変化に適切に対応していくことが、鉄鋼技術先進国としての日本鉄鋼業に求められているといえる。本号では、これらの4つの変化の中で需要と競争力の変化と今後の動向について概説することとする。

2.1 国内需要の成熟化と今後の見通し

(1) 国内需要の成熟化

図6は、国別1人当たりの鋼材消費量の推移である。経済の発展とともに増加していくが、あるレベルの経済発展を迎えると飽和状態になる傾向を示している。

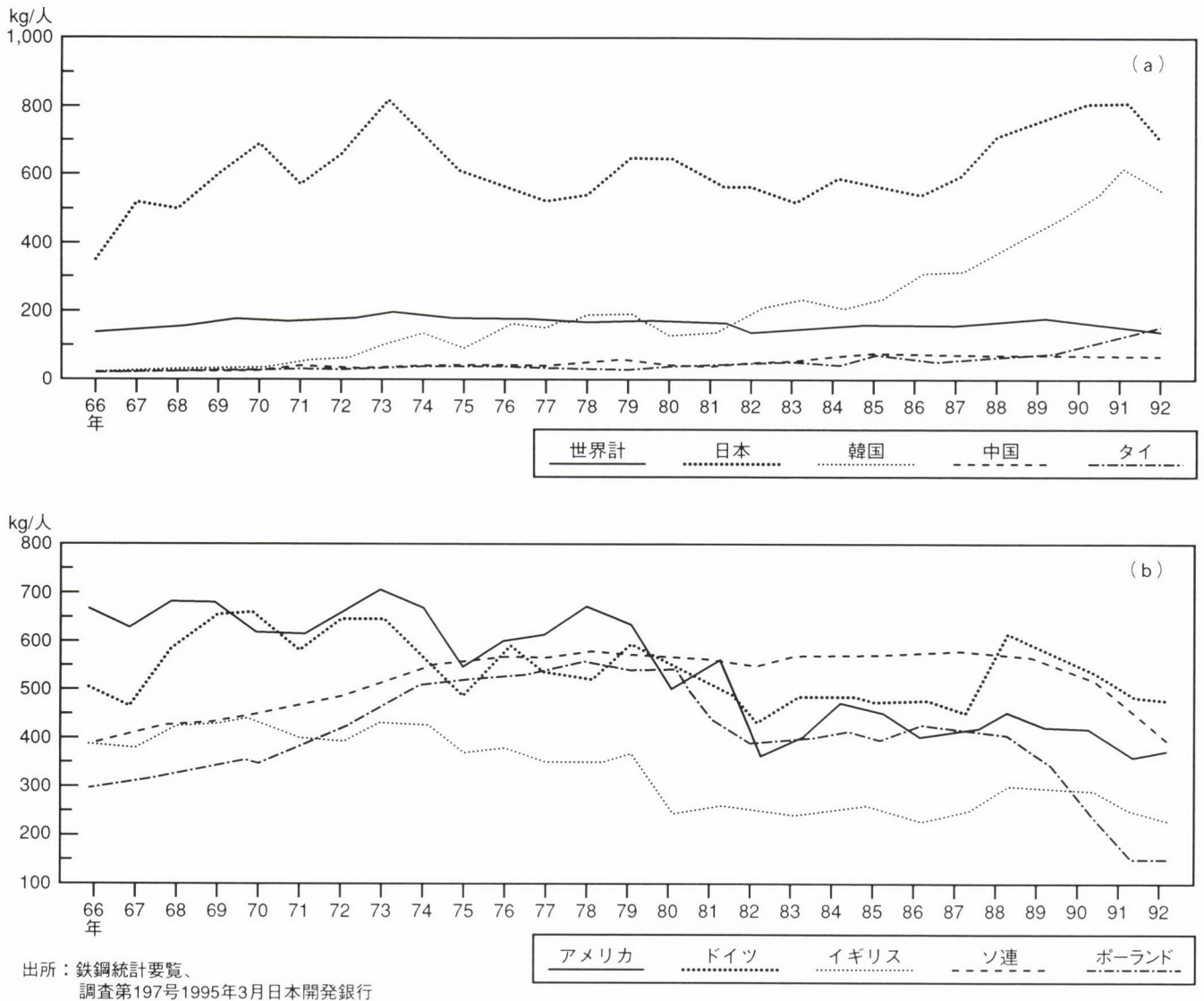


図6 国別鋼材一人当たり消費量の長期推移

図7は、日本のGNPと鉄鋼見掛消費の推移である。70年代初めまで、GNPの伸びを上回っていた鉄鋼消費が、それ以降はGNPの伸びを大幅に下回る動きとなっている。

このような「需要の成熟化」は、経済の発展、産業の高度化により、付加価値の創造が製造業からサービス産業へ移り、また製造業の中でも情報・通信機器、電子部品等の鉄鋼消費量の少ない産業へ移行していることに起因する先進国共通の事象と考えられる。

ところで、「需要の成熟化」というと需要が伸びないまたは減退するという印象を持たれ易いが、表1の普通鋼鋼材の需要部門別動向をみると、1975年度、85年度、95年度と内需は変動しつつも増加していることが解る。製造分野では需要は横這いとなっているが、需要の5割を占める土木・建築分野では増加している。

製造業向け需要が横這いとなっている要因としては、上述のいわゆる経済のソフト化に加え、85年のプラザ合意以

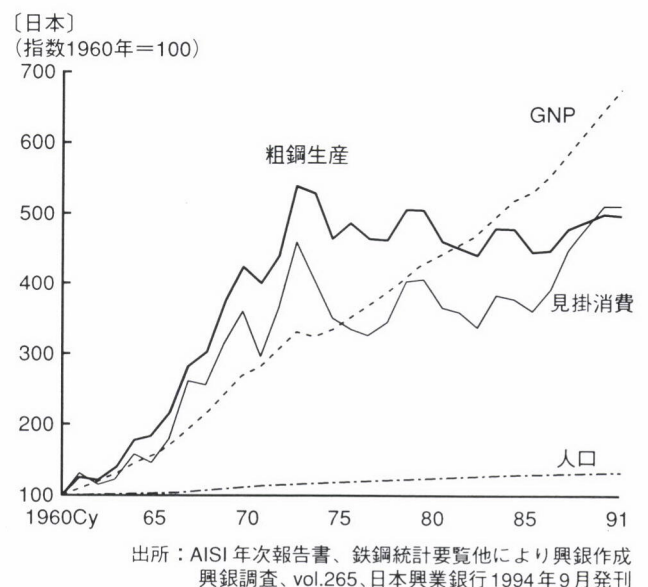


図7 日本のGNPと鉄鋼生産量、見掛消費量の推移

表1 普通鋼鋼材の需要部門別内需動向 (単位: 百万トン)

	1975Fy		1980		1985		1990		1991		1992		1993		1994		1995(暫定)									
		構成比		構成比		構成比		構成比		構成比		構成比		構成比		構成比		構成比								
建 設	23.4	45.7	3.8	28.2	46.2	▲ 1.5	26.2	44.0	9.6	41.5	51.0	▲ 6.0	39.0	50.3	▲ 7.2	36.2	50.0	▲ 9.1	32.9	50.0	▲ 1.5	32.4	49.2	▲ 1.9	33.0	49.7
土 木	8.9	17.4	3.4	10.5	17.2	▲ 5.3	8.0	13.4	9.3	12.5	15.4	▲ 1.6	12.3	15.9	▲ 4.1	11.8	16.3	▲ 0.8	11.7	17.8	▲ 14.5	10.0	15.2	5.0	10.5	15.9
建 築	14.5	28.3	4.1	17.7	29.0	0.6	18.2	30.6	9.8	29.0	35.6	▲ 7.9	26.7	34.4	▲ 8.6	24.4	33.7	▲ 13.1	21.2	32.2	6.1	22.4	34.0	▲ 0.4	22.5	33.8
製 造 業	27.8	54.3	3.4	32.9	53.8	0.2	33.3	56.0	3.7	39.9	49.0	▲ 3.3	38.6	49.7	▲ 6.2	36.2	50.0	▲ 9.1	32.9	50.0	1.8	33.5	50.8	▲ 0.6	33.3	50.3
造 船	6.5	12.7	▲ 8.8	4.1	6.7	▲ 3.1	3.5	5.9	▲ 3.7	2.9	3.6	3.4	3.0	3.9	3.3	3.1	4.3	3.2	3.2	4.9	4.7	3.2	4.9	6.3	3.4	5.1
自 動 車	7.2	14.1	8.8	11.0	18.0	0.9	11.5	19.3	4.0	14.0	17.2	▲ 3.6	13.5	17.4	▲ 5.9	12.7	17.5	▲ 11.0	11.3	17.2	2.7	11.6	17.6	▲ 6.0	10.9	16.4
産業機械	4.0	7.8	5.8	5.3	8.7	0.4	5.4	9.1	5.6	7.1	8.7	▲ 8.5	6.5	8.4	▲ 10.8	5.8	8.0	▲ 10.3	5.2	7.9	▲ 3.8	5.0	7.6	8.0	5.4	8.2
電気機械	1.8	3.5	7.6	2.6	4.3	10.1	4.2	7.1	4.8	5.3	6.5	0	5.3	6.8	▲ 9.4	4.8	6.6	▲ 8.3	4.4	6.7	▲ 2.3	4.3	6.5	4.7	4.5	6.9
二次製品	4.3	8.4	0.9	4.5	7.4	▲ 1.4	4.2	7.1	4.4	5.2	6.4	0	5.2	6.7	▲ 3.8	5.0	6.9	▲ 10.0	4.5	6.8	4.4	4.7	7.1	▲ 0.9	4.7	7.1
そ の 他	4.0	7.8	6.2	5.4	8.8	▲ 3.6	4.5	7.6	3.7	5.4	6.6	▲ 5.6	5.1	6.6	▲ 5.9	4.8	6.6	▲ 10.4	4.3	6.5	4.7	4.5	6.8	2.2	4.4	6.6
合 計	51.2	100.0	3.6	61.1	100.0	▲ 0.5	59.5	100.0	6.5	81.4	100.0	▲ 4.7	77.6	100.0	▲ 6.7	72.4	100.0	▲ 9.1	65.8	100.0	0.2	65.9	100.0	0.6	66.3	100.0

出所: 興銀調査、vol.265、日本興業銀行 1994年9月発行及び鉄鋼統計要覧

表2 製造業の業種別海外生産比率の推移 (%)

	'85年度	'87年度	'89年度	'90年度	'91年度	'92年度	'93年度
製造業	3.0	4.0	5.7	6.4	6.0	6.2	7.4
鉄鋼	5.3	5.9	5.3	5.6	4.9	5.0	6.3
輸送機械	5.6	9.3	14.3	12.6	13.7	17.5	17.3
電気機械	7.4	9.4	11.0	11.4	11.0	10.8	12.6
一般機械	3.4	4.0	3.8	10.6	7.6	4.1	5.8
繊維	2.7	3.1	1.3	3.1	2.6	2.3	データ無
精密機械	3.4	2.8	5.4	4.7	4.4	3.6	5.6
化学	2.0	3.2	3.8	5.1	5.5	4.8	7.0

出所: 鉄鋼界報, 1994.7.1, 11, No.1625 ;
 第24回我が国企業の海外事業活動
 動向調査概要, 通産省, (1995.3)
 鉄鋼界報, 1995.6.1, (1651)

降円高が進む中で、鉄鋼需要産業の海外展開が進むことにより、鉄鋼の間接輸出が減少し、海外の日系企業の製品輸入による間接輸入が増加していることが考えられる。(表2参照)

土木・建築部門については、いわゆるバブル時代の高い需要レベルからは低下しているものの、住宅投資や公共事業の伸びにより、85年度と95年度を比較すると、2600万トンから3300万トンと10年間で26%の伸びを示している。

(2) 今後の国内需要動向と新規需要への期待

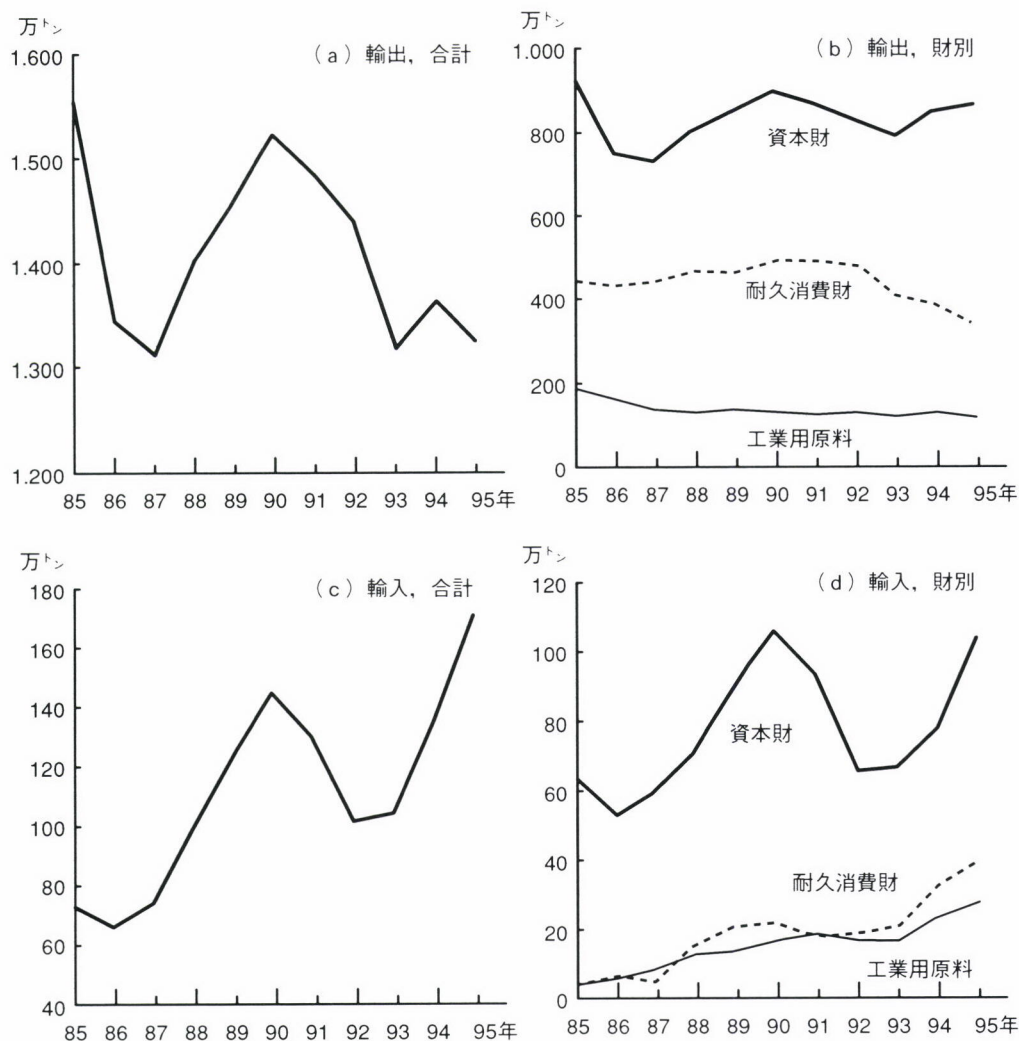
最近公表された調査レポート、提言等の中で、中長期の需要見通しについて敷衍しているものとして、興銀の調査レポート(興銀調査Vol.265、94年9月)と日本鉄鋼産業労働組合連合会第87回定期大会特別報告(96年9月)が挙げられる。

興業銀行の調査レポートでは、図9のように2000年度の粗鋼生産を9000万トン～9500万トン程度と見通している。その背景としては、製造業向け普通鋼内需の減少基調、建設向け鋼材内需のゆるやかな伸び、アジア市場に於ける能力過剰を前提とした日本の輸出入バランスの悪化の懸念を挙げており、「2000年にかけて9000万トンを割り込むことも

十分予測されるシナリオ」¹⁾であり、その一方でアジア市場の上工程の供給不足に積極的に対応していけば、「9000万トン台を維持していくことは十分可能である。」¹⁾と見通している。

また、鉄鋼労連の報告書では、今後2%程度の経済成長率を想定したもとで、「鉄鋼内需は、おおむね横這いであるが、輸出の減少・輸入の増加という外需の減少によって、粗鋼生産はゆるやかな減少傾向をたどり、2000年段階で9300万トン程度、2005年段階で9000万トン程度の線になる。」²⁾と予測している。同報告書では、更に楽観的なケースとして経済成長が3%程度の想定で、2000年で9500万トン、2005年で9300万トン、悲観的ケースとして経済成長が1%程度の想定で2000年で9100万トン、2005年で8600万トンと予測している。

いわゆる「先行きが不透明な時代」といわれる現状で、将来の需要を予測することは容易な作業ではない。しかしながら、1985年のプラザ合意の後、進行した円高が昨年より安定化傾向にあること、バブル景気終焉後の不況からもうややく回復軌道に戻りつつあることなどを踏まえ、①製造業向け需要については、需要産業の海外展開がゆるやかに



出所：鉄鋼需給の動き、No182、鋼材倶楽部

図8 普通鋼鋼材間接輸出入の推移（鋼材倶楽部推計）

進展していくことを想定し、横這いまたは微減傾向、②土木・建築向需要は、都市インフラや住環境の整備に対する社会的ニーズが存続すると考えられることから、増加傾向を予想し、内需全体については中長期的にも横這い（粗鋼ベース8000～8500万トン）の可能性が高いとの見方に立つ鉄鋼関係者が多い。当然のことながら、日本経済全体の先行きによっても大きく左右されるが、産業の空洞化が更に進めば、製造業向需要の減少によりマイナスにふれ、地球環境問題や防災対策の観点から「素材としての鉄」の信頼性、リサイクル性、長寿命性がより注目され、鉄鋼材料の使用範囲が拡大すれば、住宅を含む建設需要の増加により、プラスにふれると考えられる。

このような需要予測に立てば、日本をはじめとする先進国における「需要の成熟化」は、伝統的需要分野における需要の飽和化であり、地球環境問題や防災対策といった新しい社会ニーズが生まれる中で、そのニーズに適確に対応

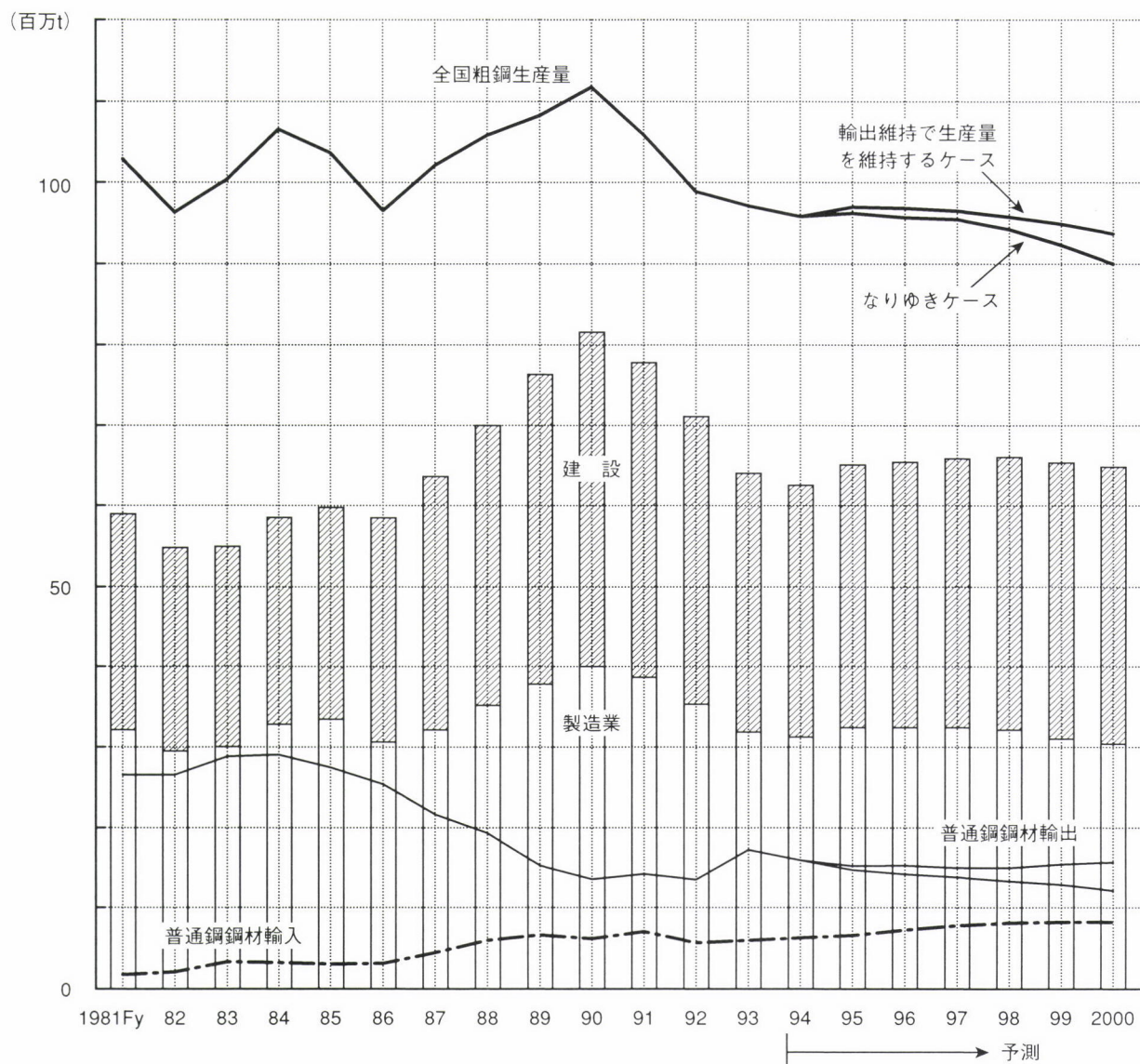
できれば、新たな需要分野が創出される可能性が高いと考えられる。その萌芽が後述する「スチールハウス」や「メガフロート」に現れ始めている。

2.2 国際競争力の低下とリストラ努力による回復

(1) 新興工業経済国の鉄鋼輸出市場への参入

1973年以降先進国の鉄鋼生産が停滞を続けている中で、図2に示したように経済発展の著しい中国、韓国、台湾、ブラジル等の国々の鉄鋼生産は、GNPと同様高い伸びを続けている。これらの国々は、国際市場へも積極的に参入し、その存在をより大きなものにしつつある。また、旧計画経済圏に属していたロシア、ウクライナ、ポーランド等の国々も、生産を減少させながらも、輸出は大幅に伸ばしてきている。

このような旧ソ連・東欧や新興工業経済国の鉄鋼業の参



注) 予測は興銀推計
出所：通産省「鉄鋼統計月報」により興銀作成
興銀調査、vol.265、日本興業銀行1994年9月発行

図9 普通鋼内需・輸出入と粗鋼生産量の推移

入によって、図4に示すように伝統的輸出国、地域からの輸出は減少し、85年から94年までの10年間に日本の輸出量は3200万トンから2200万トンと1000万トン減少し、またEUの域外向輸出は、3800万トンから3100万トンに700万トン減少している。その一方で、旧ソ連・東欧、韓国、ブラジル、中国からの輸出は、それぞれ2300万トン、400万トン、400万トン、200万トンと大幅な伸びを示している。この結果、伝統的輸出国である日本とEUの世界鉄鋼輸出に占めるシ

ェアは51%から32%に低下している。

(2) 円高による国際競争力の低下とリストラ努力による競争力の回復

このような新規の供給源が拡大する中で、表3に示す85年以降の円高は、かつて圧倒的コスト競争力を有していた日本鉄鋼業に多大な影響を与えた。94年に日本開発銀行が実施したアンケート調査(表4参照)によれば、国内自社製品と海外製品と較べ、価格面で優位にあると答えた企業

表3 円レートの推移 (円/ドル)

'85	'86	'87	'88	'89	'90	'91	'92	'93	'94	'95
239	169	145	128	138	145	135	127	111	102	94

出所：WORLD ECONOMIC OUTLOOK Oct.'95など

表4 国内主力製品に係る国際競争力の有無と回復の見通し

	鉄鋼業全体	高炉5社
価格面で優位	13%	(0%)
総合面で優位	43%	(20%)
総合面で拮抗	19%	(40%)
総合面で劣位	25%	(40%)
リストラを行えば競争力維持	77%	(100%)
リストラ実現するも、競争力に不安	23%	(0%)
競争力なし	0%	(0%)

出所：94年8月 開銀アンケート調査「我が国企業の国際競争力を巡るアンケート」調査より抜粋
調査第197号、1995年3月、日本開発銀行

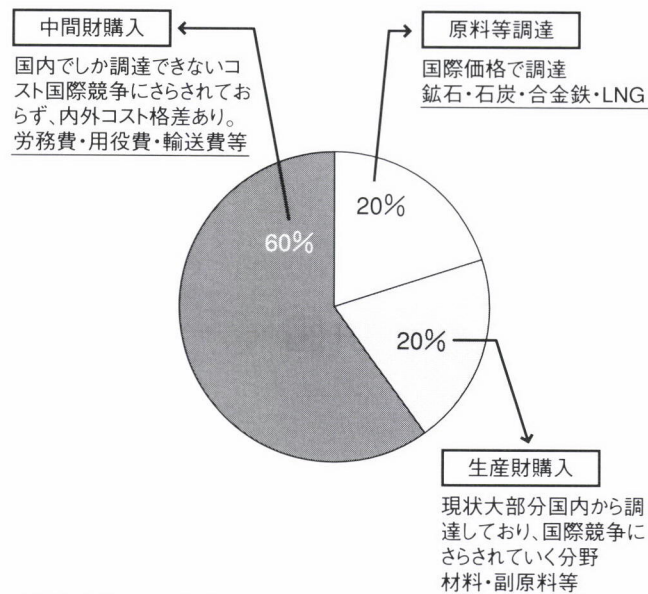
は、13%に留まっており、価格面で劣位にあるが品質・機能面で国内自社製品の方が優位と答えた企業も43%に留まっている。特に高炉5社については、それぞれ0%、20%と更に厳しい認識を示している。

表5のワールド・スチール・ダイナミクス社のコスト比較によれば、日本の生産コストは諸外国と比べ、相当高い水準となってる。図10に示すように製造コストに占める国際マーケット調達品の比率が、約40%とすると円レートが85年の239円/\$から、95年の94円/\$に切上がったことにより、ドルベースのコストは、国内調達品の価格低下やコスト引下げ努力がなければ、数十パーセント押し上げられたことになる。

以上のような新規製鉄国からの供給力の増加や日本鉄鋼業のドルベースのコスト競争力の低下は、図9に示すような日本からの輸出の減少と日本への輸入の増加をもたらしている。

更に、図11に示すように鉄鋼製品の国内価格も、円レートが90年の145円/\$から94年の102円/\$に4割上昇する間に、国際価格に連動する形で25～35%下落している。

このような大幅な製品価格の下落、輸出減・輸入増によって、リストラ等のコスト削減努力にも拘らず日本鉄鋼業の経営状況は、図12に示すような厳しい状況が近年続いて



(資料)高炉メーカー作成

出所：調査第197号、1995年3月日本開発銀行

図10 鋼材コストに占める国際マーケット調達品の比率

いる。しかしながら、表4のアンケート調査にみられるように、表6に示すような生産や経営の合理化努力により、競争力の維持・回復は可能とする答が、鉄鋼業全体で77%、高炉5社で100%となっている。96年に入り110円/\$台と円高が是正されつつあるが、このような動向が定着すれば、いわゆるリストラ努力が結実し、国際価格に見合った国内価格で安定した収益を確保するという目標の実現がより確実なものになると考えられる。

2.3 世界の需要動向と日本の輸出見通し

次に世界の需要動向をみると、図13に示すように鋼材見掛消費は、粗鋼ベースで7億トン台で微増傾向にある。世界鉄鋼協会(IISI)によれば、95年の実績は6億5200万トン(鋼材ベース)で、2000年は7億1400万トン(鋼材ベース、粗鋼ベース換算では8.1億トン)と見通している。(表7参照)

地域別、国別にその特徴をみると、先進国が横這い、微

表5 生産コスト比較 (ドル/t)

	米 国	米 国 ニューコア	日 本	オースト ラ リ ア	韓 国	台 湾	ブラジル
コ ー ク ス	123	—	109	59	98	111	112
銑 鉄	157	—	130	96	113	125	108
溶 鋼	224	234	204	164	169	190	166
鋼 片	264	252	241	193	195	221	189
酸洗熱延コイル	343	309	319	261	241	291	238
冷 延 コ イ ル	441	379	427	348	311	384	310
為替レート/ドル	1	1	99	1.33	791	26.3	0.84

出所：Paine Webber:World Steel Dynamics,(1995)

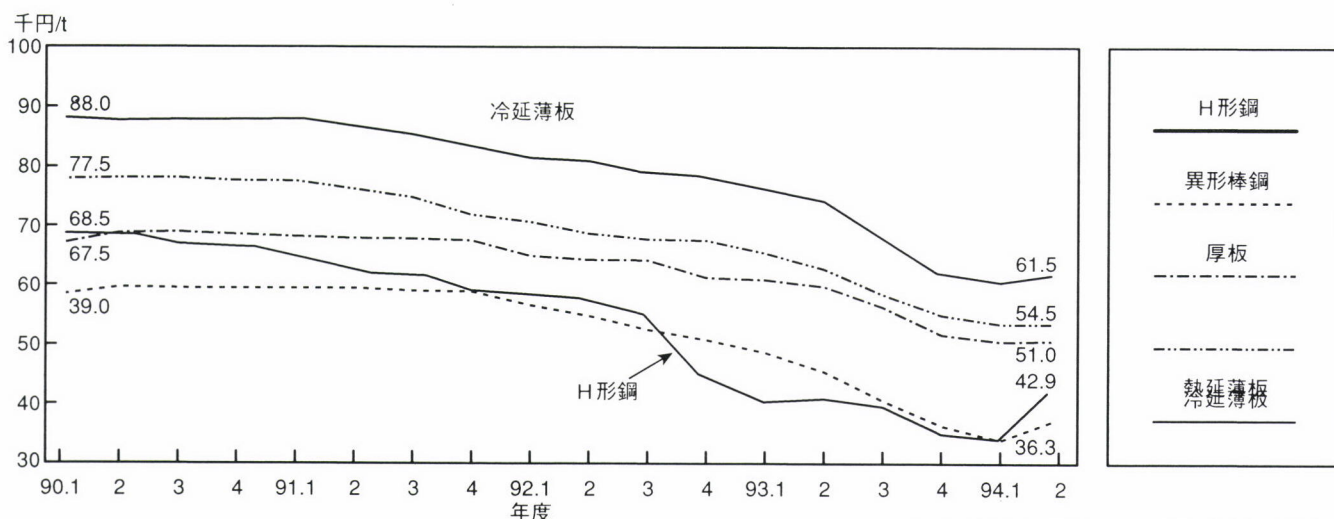


表6 高炉大手5社のリストラ計画の概要

会社名 (発表日)	計 画 (対象期間)	計画の基本	計画の 前提	組織改革	コストダウン	要員の合理化	財務体質の改善	その他の実施事項
新日本 製 鐵 (94.3.30)	第三次 中期経営計画 (94～96年度)	製鉄事業に於いて国内外の 最強の鉄鋼メーカーを凌駕 する国際競争力を構築 常時1割配当が出来る経営 体質を目指す	粗鋼生産量 93～95 百万ト ン 為替レート \$1＝¥100	全社組織の前減 (156部→111部) 執行事項のライ ンへの権限委譲 ・階層の簡素化 スタッフ部門の スリム化、販・ 技の一体化	総額3,000億円の削減 管理・間接コスト ▲1,000億円 操業コスト ▲1,000億円 外部調達コスト ▲1,000億円	製鉄事業 事務職 10千人→6千人 技術職 17千人→14千人	設備投資 (工事ベース) 3ヶ年3,400億円 (91～93Fy比▲40%) 製鉄事業在庫圧縮 ▲600億円 (▲15%)	・製・販一体となった品種毎の 事業部の運営 ・各事業分野に於いて当社グル ープ企業と事業戦略を共有 ・今後堅調な伸びが期待される 建設向け需要及び輸出市場で の海外移転需要等を確保
N K K (94.3.15)	NFVをもとに した構造改善案 (94～96年度)	年間1割配当を安定的に実 施できるような体制を構築 鉄鋼事業の1,750億円の収 益改善と総合エンジニア部門 の売上高利益率5%(現行3%) への引き上げ	粗鋼生産量 90百万ト ン 為替レート \$1＝¥100 ～110	組織の簡素化 販売・開発・製造 一体となった品 種別戦略の強化 本社・事務所の 類似機能の一本 化	総額1,750億円の削減 労務・管理費 ▲500億円 変動費 ▲550億円 設備費 ▲700億円	管理・基幹職 6.4千人→4.8千人 執務職 16.3千人→12.1千人 (94/8当初計画より 削減数を1.3千人拡 大)	設備投資 (工事ベース) 3ヶ年1,400億円 (91～93Fy比▲69%)	・京浜(扇島以外)から薄板・表 面処理部門を段階的に福山へ 集約(重複部門の集約) ・黒字化のメドの立たない部門 品種からの撤退(形・棒鋼、パ イプのグループ企業との連 携) ・新造船は津へ集約
川崎製鉄 (94.3.8)	「常議挑戦活動」 の進捗状況 (94～96年度)	全社で400億円経常利益を 上げる収益構造を作り上げ るため「常議挑戦活動」を 全社的に展開し国際価格競 争力復活を目指す	96年度の 粗鋼生産量 95百万ト ン	鉄鋼部門の品種 別セクター組織 の導入 情報・役割機能 の大きくり化 (鉄鋼営業本部 の組織改正、販 製製造所の水 島・千葉へ統合)	総額2,100億円の削減 労務費 ▲600億円 変動費 ▲900億円 原料・資材費 ▲300億円 設備・物流費 ▲300億円 ※95年度に前倒し目標 達成を目指す	管理・主務職 4.4千人→3.4千人 執務職 13.7千人→10.1千人 (94/5当初計画より 削減数を1.3千人拡 大)	設備投資 (工事ベース) 3ヶ年2,100億円 (内シームレス 900億円) ※アクションプラン比 ▲1,200億円 ▲30% (cf.アクションプラン ▲20%)	・事業採算性の乏しい多角化事 業は撤退・縮小(ハードフェ ライト、シリコンウエハー、ア ームコ・スチール) ・グループ企業との役割分担の 再配置(橋梁・物流・システム)
住友金属 工 業 (94.3.8)	リストラクチャ リング計画 (93～95年度) ※アクションプ ランの見直し	経営ソフトのリストラをベ ースに優良企業の最低条件 である年6円配当が可能な 利益水準を確保し得る企業 体質を確立 鉄鋼事業は総コストの技術 的削減により国際競争力回 復		本社機能を見直 し意思決定の迅 速化を図るため、 所・事業部への 大幅な権限委譲 を実施	総額1,500億円の削減	全社管理・鉄鋼部門 15千人体制 管理・事務技術職 5.4千人→4.1千人 技能職 14千人→11千人	設備投資 (工事ベース) 3ヶ年2,100億円 (内シームレス 900億円) ※アクションプラン比 ▲1,200億円 ▲30% (cf.アクションプラン ▲20%)	・製鋼所と鋼管製造所の統合、 鹿島ステンレス鋼板製造所を 鹿島製鉄所へ完全統合(94/6) ・多角化事業の再評価は完了、 今後は技術・営業力の強化 多角化事業の売上高は95Fy で3,400億円(エンジン50%エ レクトロ50%)
神 戸 製鋼所 (94.3.8)	「93～95改訂中期 アクションプラン」 のローリング (93～95年度)	95年度の黒字化及び96年 度以降の安定収益確保を目 標に事業競争力の強化や総 コストの削減等を実施		小さな本社の実 現に向けて組織 改正 (94/1に改正) ※間接人員前減 3150名→2500名 (本社スタッフ 810名→510名)	総額1,000億円の削減 固定費 ▲400億円 (減価償却・労務費) 変動費 ▲600億円 (原材料・物流費・歩留)	全社16.3千人体制 (※内、鉄鋼部門 8.8千人→6.7千人) 企画職 8.5千人→7.3千人 技術職 11.6千人→9.0千人	設備投資 (工事ベース) 3ヶ年1,100億円 (91～93Fy比▲73%) 総資産圧縮 92Fy末20,870億円 →95Fy末19,000億円	・不採算事業・新規事業は収益 性・将来性を見極め、撤退、 関係会社への業務移管を検討 ・海外生産拠点の体質強化 ・研究開発費用の圧縮 売上高比92Fy3.9%→ 95Fy3.2% ・全社営業で最大販売量の確保
高炉5社計					コスト削減9,350億円	事務職 ▲ 9.1千人 技能職 ▲16.4千人		

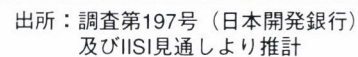


図13 世界の粗鋼見掛消費量推移

表7 2000年の鋼材見掛消費の見通し

(単位: 100万トン、%)

国・地域	暦年	1990年 (実績)	1995年 (実績)	2000年 (見通し)	伸 び 率	
					90-95	95-2000
E U(15)		121.6	125.6	122.0	0.6	▲0.6
そ の 他 西 欧		13.3	14.5	16.0	1.7	2.0
東 欧		24.1	17.3	20.0	▲6.4	2.9
旧 ソ 連		116.6	35.7	37.0	▲21.1	0.7
N A F T A		103.9	118.6	118.0	2.7	▲0.1
南 米		16.7	22.5	28.0	6.2	4.5
中 国		53.5	87.4	115.0	10.3	5.6
日 本		92.8	80.0	80.0	▲2.9	0.0
その他アジア		76.4	121.1	145.0	9.6	3.7
ア ジ ア 計		222.7	288.5	340.0	5.3	3.3
オセアニア計		5.4	5.5	7.0	3.8	1.5
ア フ リ カ 計		13.4	14.1	15.0	1.1	1.2
中 近 東 計		9.8	9.0	11.0	▲1.8	4.1
世 界 合 計		647.4	652.2	714.0	0.1	1.8

注: 2000年の見通しはIISI事務局推定

出所: 鉄鋼界 1996.11月号
(日本鉄鋼連盟)

減傾向にある一方、途上国やNIESが高い伸びを示すという近年の傾向が続く見通しとなっている。特にアジア地域の成長が著しく、旧ソ連・東欧諸国の需要減を吸収する形になっている。鉄鋼消費に占めるアジアのシェアは、1985年の25%から95年には44%に上昇し、2000年には48%と5割近くまで達する見通しである。

日本に対する影響の大きいアジア地域(中国・韓国・台湾・インド・アセアン)の需給見通しについて、三井物産の調査³⁾によれば、粗鋼生産は1994年の1億6000万トンから2000年には2億2000万トンになり、粗鋼需要は2億2000万トンから2億6000万トンに拡大すると見通している。この結果、需要が供給を上回る状況は引続き存続するが、需給ギャップは6000万トンから4000万トンに縮小すると予想されている。また、鋼材については、韓国・台湾・アセアン諸国を中心に生産増が予想され、需給ギャップは大幅に縮まることが見通されている。

世界全体の需給についても、OECD(経済協力開発機構)等の調査では、需要増を供給能力増が上回る可能性が高いと想定されるため、汎用品を中心に競争がより厳しさを増すと予想される。

このような世界やアジアの需給動向を勘案すると、中期的には日本市場も汎用品を中心に引続き輸入品との競争が

存続すると予想される。したがって、日本鉄鋼業の外需(輸出―輸入)について、中期的にはアジア市場における競争激化の懸念から輸出の緩やかな減少、輸入の増加傾向を予想する見方が多い。しかしながら、世界の鉄鋼需要が拡大し、高度化する中で、為替レートが安定し、生産や経営の合理化・最適化による日本鉄鋼業のコスト競争力の回復が進めば、大幅な輸入増は考えられず、輸出についても一定規模の量が維持される可能性が高いと考えられる。

「以下 次号に続く」

引用文献及び参考文献

- 1) 興銀調査, Vol.265, p.85, 日本興業銀行, 1994年9月発行
- 2) 第87回定期大会特別報告「確かな明日への提言」p.22, 日本鉄鋼産業労働組合連合会, 1996年9月
- 3) アジアの鉄鋼需給動向, 三井物産, 1996年1月
- 4) 調査第197号, 日本開発銀行, 1995年3月
- 5) 大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦, (社)日本鉄鋼協会調査検討部会, 1996年6月
- 6) 鉄鋼需給の動き, No.182, (社)鋼材倶楽部
- 7) 鉄鋼界(1996年11月号)、(社)日本鉄鋼連盟, 1996年11月
(1997年1月9日受付)

展望

社会情勢変化の中で鉄鋼短期大学は どのように変わったか

渡辺 洋一

産業技術短期大学 教授

Youichi Watanabe

Adaptability Change of "Tettann" in Social Environments

1 はじめに

開学当時は田圃のなかにぽつんと建ったそれこそ超閑静な環境の学舎であったが、現在の大学のまわりは激しく自動車の行き交う道路で、隣接して中学校、鉄筋五階建ての県営・市営住宅群がとり囲み、さらにショッピングセンター、その他種々の店舗群に囲まれた環境に変貌している。以下、このような三十数年のあいだの社会環境の変化に大学がどのように適応しながら発展し、さらにあらたな二十一世紀に向かってどのように前進していくのか展望を試みる。図1は大学の正門付近で産業技術短期大学の略称CIT (College of Industrial Technology) の大きな文字が見える。

2 関西鉄鋼短期大学から 産業技術短期大学へ

2.1 開学

本学は昭和37年に鉄鋼連盟によって関西鉄鋼短期大学として開学した。関西がついたのは関東にももう一校新設する予定で土地も取得されていたとのことである。“昭和38年4月25日10時30分開会”先日偶然出てきた開学式の時に配布された紙袋の中の式次第の日時である。袋には大きな字で“開学記念 関西鉄鋼短期大学”と記してある。学生にこれを見せると学校名でまずびっくりしている。なぜ関西なんですかと、説明しながら大笑いである。完成年度に入る昭和38年に開学式が行なわれ、4月25日が現在開学記念日となっている。開学時設置された学科は、鉄鋼科、機械科、電気科の3学科で、1学年の学生定員はそれぞれ40名、



図1 大学の正門付近

120名、80名であった。なお、学科名称は昭和44年度からそれぞれ工学科と改称された。

開学当初の入学生は鉄鋼連盟加盟各社の企業派遣生（社会人学生と称す）が中心で、高校から入学する一般学生は僅かであった。

建学の趣旨は、学則第一条で成文化されている。これをいかに具現化していくかが教育の方針であり次の4項目からなる。

- 1. 産学協同の精神に則り、広くわが国産業界の要望に応じられる教育
- 2. 基礎学力を重視した専門的教育
- 3. 産業構造の変化に対応したカリキュラムによる実務的専門技術者の養成
- 4. 視野の広い社会人としての人間形成

短期大学の制度は、昭和23年から24年に、旧制の大学、専門学校、高校が新制大学に移行した際、転換の条件を欠いていた専門学校の救済のため「当分の間」という暫定的な制度として短大が発足したということである。短大が恒久的制度として認められたのは、本学の完成年度である昭和39年である。それ以降短大制度は急激に拡張をしてきた。

2.2 学科編成及び定員の推移

昭和39年(1964年)に鉄鋼短期大学に改称。昭和46年(1971年)から溶接構造工学科が開設され4学科体制となる。昭和49年(1974年)人材開発センター設立。昭和53年(1978

年)11月昭和54年度からの収容定員の変更が認可され定員減が行なわれ、苦難の時期を迎える。昭和60年度(1985年)より一般男女高校生の受け入れをすることとなる。最初の女子学生7名が入学する。また、同年より電気工学科は電気工学コース・電子工学コースの2コース制となる。昭和61年(1986年)4月1日以降機械工学科及び電気工学科の期間を付した入学定員の増加が認可され、いわゆる臨時定員(臨定と称する)を含んだ学生定員の時代に入る。さらに同年より電気工学科は、電気工学コース・電子工学コース・情報工学コースの3コース制となる。さらに昭和63年4月1日以降学校法人鉄鋼短期大学を学校法人鉄鋼学園に、また鉄鋼短期大学を産業技術短期大学にそれぞれ名称を改める。併せて鉄鋼工学科の名称も材料工学科と改称される。平成に入り同2年4月1日以降、材料工学科、機械工学科及び電気工学科の入学定員の増加が認可される。また、溶接構造工学科の名称を構造工学科と改称する。平成2年に引き続いて平成3年度より、材料工学科、機械工学科、電気工学科、構造工学科の期間を付した入学定員の増加が認可される。次いで、平成5年度より電気工学科の改組転換をおこない電気電子工学科及び情報処理工学科としそれぞれ80名、100名の入学定員とする。表1に開学以来の入学定員の推移を示す。

上記学科編成の移り変りは企業側の事情の変化、社会環境の変化に適応した態勢の変化と考えることができる。また図2に入学生数の推移を示す。

表1 入学定員の推移 ()内は臨時定員で内数

学科	昭和37年度 └ 45年度	昭和46年度 └ 53年度	昭和54年度 └ 60年度	昭和61年度 └ 平成元年度	平成2年度	平成3年度
鉄 鋼 (材料)	40	40	25	25	35	50(15)
機 械	120	120	60	80(20)	100(20)	120(40)
電 気	80	80	40	100(60)	150(60)	180(90)
溶 接 (構造)	—	40	25	25	25	40(15)
計	240	280	150	230(80)	310(80)	390(160)

現在の学科構成と定員

学 科	平成5年 └	備 考
材 料 工 学 科	50(15)	電気工学科を改組転換 ┌ 電気工学コース ├ 電子工学コース └ 情報工学コース 電気電子工学科 ┌ 電気工学コース ├ 電子工学コース └ 情報処理工学科
機 械 工 学 科	120(40)	
電気電子工学科	80(40)	
情報処理工学科	100(50)	
構 造 工 学 科	40(15)	
計	390(160)	

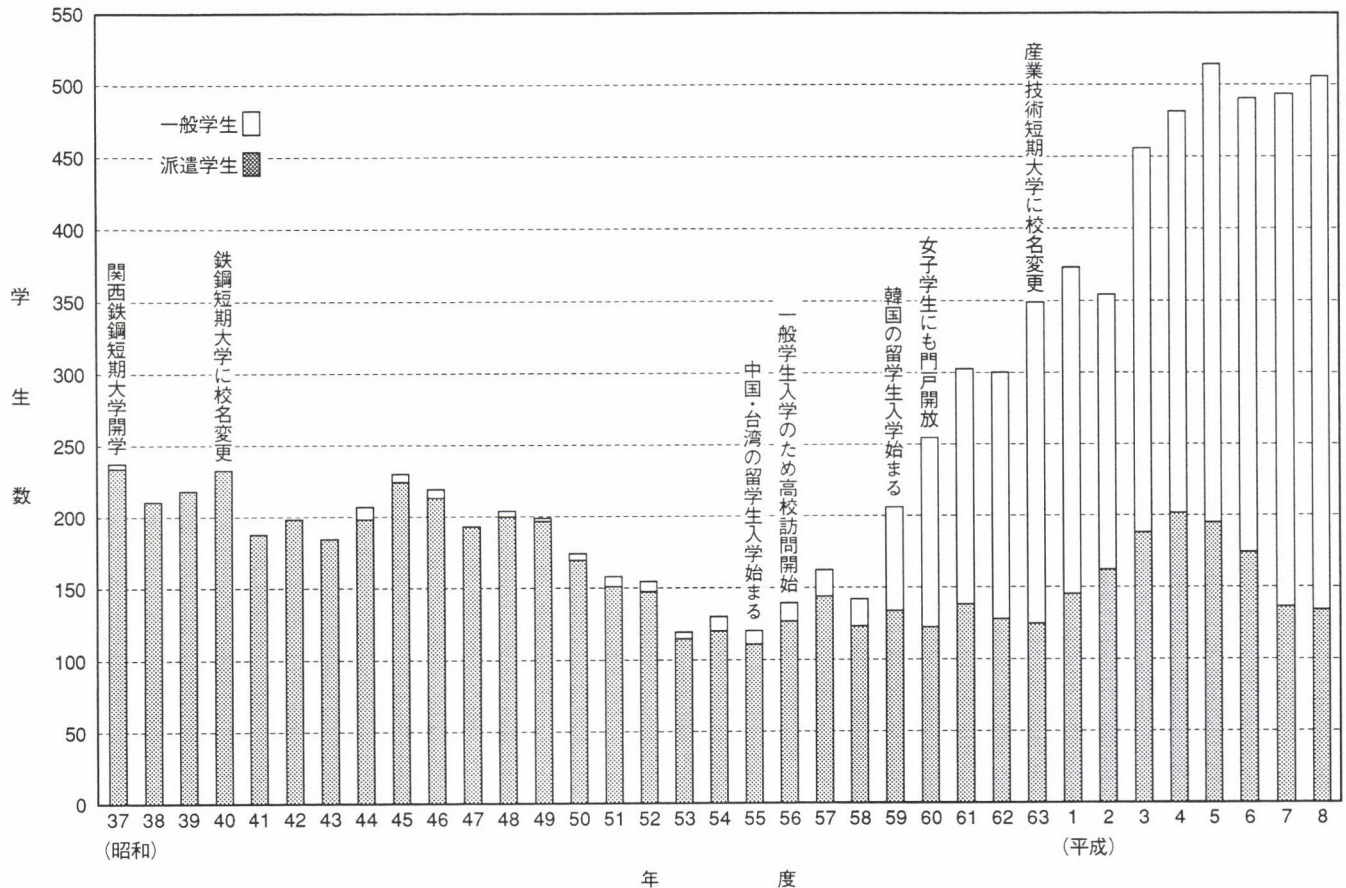


図2 入学生数の推移

3 教育指導態勢の特徴

企業から派遣された多くの社会人と高校を卒業して入学した一般学生が共に学ぶことができるユニークさが本学の大きな特徴となっている。授業中はクラスメイト、授業が終われば人生の先輩、語らいの中から人生経験を学ぶことができる教育環境である。

総学生数約1000名に対して、専任教員43名と非常勤講師60余名による密度の高い教育指導が行なわれている。また学生担任制度により、約15名の学生に1名の担任教員がついて、受講科目の選択、成績、進路、就職はもとより、生活上の問題についても相談にのり、きめの細かい指導を行っている。以下、教育課程の特徴を中心に述べる。

3.1 カリキュラムの推移

本学は2年制短期大学ではあるが、文部省の短期大学教育課程、設備の基準を上回るものである。本学の特徴とするところは鉄鋼専門の大学であることで、鉄鋼科はいうに及ばず、機械科、電気科においても鉄鋼専門の科目を主体として教育し、……と設立の目的及び使命として書かれている。設立当初の教育課程はと見ると、一般教育はす

べて必修でドイツ語4単位を含んで27単位、専門教育（機械科）は必修72単位、選択は6科目から5単位、合計104単位である。現在の学生もたまには100単位近くとるが、平均的には80単位程度で、高度成長時代の猛烈学校であり、創立当時を振り返って学生ならずともいまさらながら驚きを感じる。

開学した当時は自動制御の研究がその緒についた頃であり、鉄鋼業界も大規模な装置産業としてその重要さが認識されていた。大学に自動制御の講座がまだすくない時分であったが、開学当初から電気工学科になかば独立したかたちの講座が設けられ、各学科の工学実験とは別に自動制御実験が課せられた。

短期大学設置基準の改正に伴い、各大学の特色をだすためかなり自由なカリキュラム編成が可能となった。いわゆる大学設置基準の規制緩和ともいえる。本学においても種々の検討模索が進められ、平成7年度に抜本的なカリキュラム改正を行い、学生の基礎学力の充実を図るため、共通教育科目と専門教育科目に加えて基礎教育科目を新設した。さらに平成9年4月から、基礎教育科目を各学科の専門教育科目の中に採り入れ、工学基礎科目とすることとした。また、この工学基礎科目を各学科の教育目標を十分に

反映した科目内容にするために、現行の共通教育部（旧教養部）の数学・物理学等の基礎教育科目担当教員を各学科に1名ずつ配置換えすることとした。

3.2 特別教育講座

時間割の水曜日午後は特別講座の時間（昭和43年度から特別教育講座と称している）になっており、毎週学外の講師による講演が行なわれた。その他、情操教育、グループディスカッションおよびスポーツ等を実施した。現在は夏休み終了前に一週間実施しており、毎年メインテーマを設定して各界の権威に講師を依頼し、最新の学術について解説をお願いしている。このようにして学生は通常の授業だけでなく、視野の広い教養を身につけることができる。

3.3 海外語学研修

国際人としてのセンスを身につけ幅広い視野と創造性を育むため、語学研修並びに異文化体験を目的としたオーストラリア海外語学研修を、夏休み期間に実施している。本年度は8月24日より9月8日までの16日間で実施し、学生16名（内女子4名、社会人5名）が参加した。本研修は、現地の教育施設（マンリー市Waratah Education Center）での語学研修をはじめ、ホームステイ・見学等を実施し、単に観光旅行では味わえない海外の生活を直接肌で感じてもらい、国際感覚を身につけることができるよう企画している。なお、希望者は英会話に関する授業科目の単位認定の申請を行なうことができ、本年度は希望者7名全員が単位を認められている。

紙数の関係で詳細は省略したが、開学当初にくらべてカリキュラム等は大幅に変化しており、時代に対応したものとなっている。最初に述べたようにほとんどが必修であった開学当時に比べ、現在は主要な科目以外は選択は自由であり、学生は自主的に学習プランをたてることができる。また、他学科の受講も原則自由であり、卒業に必要な単位は70単位以上となっている。

4 環境との共生

創立当時の田園風景はこの三十年余りの間に一変している。本学が環境対策にどのようにとりくみ、騒音等の環境問題にいかに対処し共生を遂げているか以下に述べよう。

4.1 国道171号線

昭和45年（1970年）万国博覧会が千里で開催された。それにとまう道路整備で周辺道路の拡張が行なわれた。171号線は拡幅が行なわれるとともに、大学のところで左にカ

ーブして武庫川の甲武橋に至るようにとり付け替えが行なわれた。大学敷地の一部を道路として提供したので換地が行なわれたと記憶している。国道43号線及び国道2号線とともに神戸方面にいたる大幹線道路である。先般の大震災ではこの道路により全国の自衛隊、警察及び消防などの車が救援活動を行なう重要な役割をはたした。

4.2 航空機騒音

大阪国際空港も万博による整備が行なわれ、ちょうど本学上空を通過する飛行コースになっているので当時の騒音レベルは飛行機が上空を通過するときは授業を中断しなければならないほどであった。これにより昭和59、60年の兩年度にわたって、運輸省の補助による学舎の大規模な騒音対策工事が行なわれた。工事のときわれわれは一時別の建物に移動し、窓枠はスチールのものから遮音性の高いアルミ製のものに取り替えられ、壁面や天井などにはすべて防音パネルがとりつけられ、さらに全館冷暖房工事が行なわれた。騒音を気にせずに夏・冬などは快適な環境で授業を行なっている。最近航空機も進歩し離陸上昇方法も改善され、本学上空では以前にくらべてかなり高度も高くなっており全く騒音を気にすることはない。

4.3 山陽新幹線

昭和45年（1970年）に六甲トンネルが貫通（日本最長16.2 km）し、ついで昭和50年（1975年）博多まで全線開通する。すぐ近くを新幹線が通るとなったとき学校全体は真剣に振動騒音公害問題にとりくみ、開通後も測定などを行なった。地震のとき高架の橋げたの損傷したのはこの付近である。柱が座屈をおこして2メートルほど沈下していた。地震の時刻が初発を過ぎていたらどんな大惨事になったか考えるとぞっとする。橋げたを取り壊して約一ヵ月で修復されたのには再度驚いた。実際に運転が再開されたのもうすこし後である。

なお、本学の地震による被害は建物自体にはほとんど無く、室内の実験器具、什器類の転倒・落下による損壊が大部分である。体育館の床には多少傷みがあったが、付近住民の避難所となった。水道の断水がかなり長く続いたが、井戸水を学舎に引いて一週間後には授業を再開した。被害は軽微であったというのはものの復興予算に約一億円を要しており、いかに大きな震災であったかがわかる。

5 人材開発センター

学校法人鉄鋼学園には大学とともに別機関として、社会人を対象に各種研修ならびに通信教育等を実施する人材開

発センターが設置されている。当センターでは、産業技術短期大学の当初の目的であった産学協同教育の一分野を受け持ち、鉄鋼業にとらわれることなく他の産業界の人々にも広く活用していただける事業内容となっている。

その研修形式は、2～4泊の集合教育で、他社の人たちとの相互交流を通じての相互啓発、新知識と諸情報による視野の拡大等、個々の企業教育では期待できない事業を展開しており、延約26,000名（平成8年現在）が参加している。また通信教育では、現場の一般社員から監督者までを対象とした基礎・共通・部門科目（合計71科目）があり、現場で役立つ最新の技術・知識を効率的に修得でき、受講者は現在までに延47万人科目にも達している。

6 情報インフラ

昭和40年代に入りコンピュータは目覚ましい進歩の道を歩みはじめ、最近ではマイクロコンピュータの発達で高性能のマシンを一人一台手元で利用できる時代になっている。

本学にいわゆるデジタルコンピュータが導入されたのは昭和51年である。機種はミニコンピュータのHITAC 10 IIAで使用素子はまだマイクロプロセッサではなく、メモリは磁気コア24KWであり、これを使用してFORTRANの教育を行なった。以下、本学における情報インフラについ

て述べる。

6.1 マイコンによる情報処理演習室

3号館には約80台のパーソナルコンピュータが設置され情報処理工学科以外の各学科の関係授業科目・演習・実験等に使用されている。授業で使用する以外、学生は自由に課題のプログラミングや計算処理、CADによる作図およびワープロによるレポートの作成等に利用できる。

6.2 情報処理工学科の創設

平成5年（1993年）電気工学科の改組転換により情報処理工学科が創設された。現在、社会の情報化の進展はますますその度を加えており、真に優秀な情報処理技術者が求められている。本学科では、このような時代のニーズに応えるべく、将来中堅システムエンジニア・プログラマとして活躍できる、ハードウェアにも強いソフトウェア技術者の育成を教育方針にしている。

平成7年9月には従来の汎用機を中心にした情報処理教育システムの更新を行い、ネットワークで相互接続された最新のDOS/Vパーソナルコンピュータ82台、ワークステーション8台を導入した。また、教育を支援するために、大型ディスプレイ装置、教卓のコンピュータ画面上での操作の様子を学生に提示することができる受像機を40台設置し

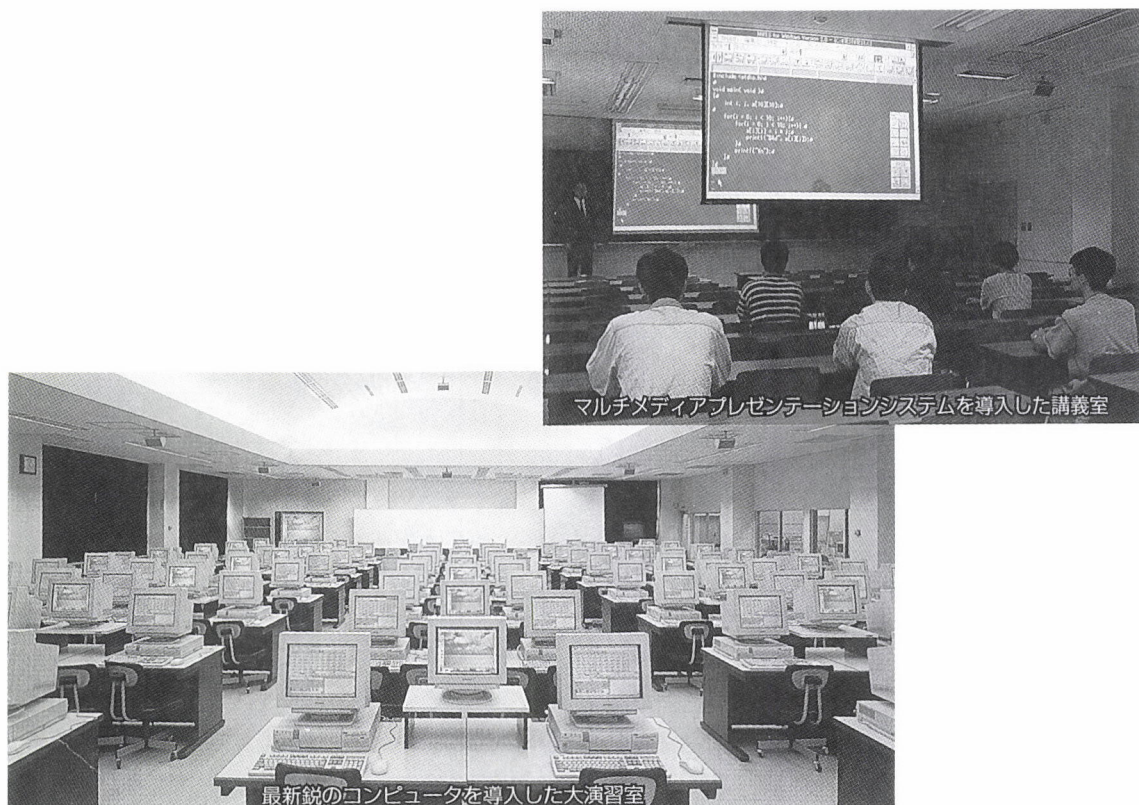


図3 情報処理教育システム

ている。さらに、講義室にも、パーソナルコンピュータ、書画カメラ、VTR等を設置し、マルチメディアによる視聴覚教育ができるシステムを構築している。本システムにより、情報ネットワーク、データベース、Windows環境あるいはUNIX環境でのプログラム開発、コンピュータグラフィックス、CADといった教育を重点的に行なっている。図3にシステムの設置状況を示す。

6.3 学内ネットワーク (CIT-NET) の構築

本学の学内LAN (以下“CIT-NET”と呼ぶ) は1995年10月5日に初年度計画が達成され運用が開始された。現在は教職員が各自のコンピュータをCIT-NETに自主的に接続するという形態で運用されている。本年度の第2年度計画で教員の各研究室及び事務室に配線が完了している。CIT-NETは直接全国レベルの広域ネットワークに接続されているわけではなく、大学や地方公共団体を構成メンバーとする地域ネットワークに接続されており、これを介して全国、全世界のコンピュータに接続できる。CIT-NETが属している地域ネットワークは大阪大学を中心とする大阪地域大学間ネットワーク (略称: ORIONS=Osaka Regional Information Open Network of System) に属し

ている。これを通じてインターネットの利用ができる。

CIT-NETの概略は次の通りである。ORIONSとの接続は専用回線 (光ファイバー) により、回線速度は128Kbpsである。サーバにはSUN Microsystems社製のワークステーションを使用している。学内の配線は、イーサネットケーブルを使用し、ハブを中心とするスター形のネットワークとした。ケーブルは、幹線には、10BASE-5、支線には10BASE-Tを使用している。図4に学内における配線概略図¹⁾を示す。

各号館にはハブを設置し、そこからスター形に端末を接続している。

7 おわりに

18才人口の急減期に入り、大学としての最大の問題は現在認められている臨時定員の帰趨である。平成12年度に全面解消することなく、16年までの間に段階的に減じ、5割の範囲内で恒常定員化を認めるようであるが、具体的な内容は現在明らかになっていない。学生数の確保と質の面で非常に厳しい時代に直面することになる。

開学以来、一貫して社会人教育を中心に力を注いできた

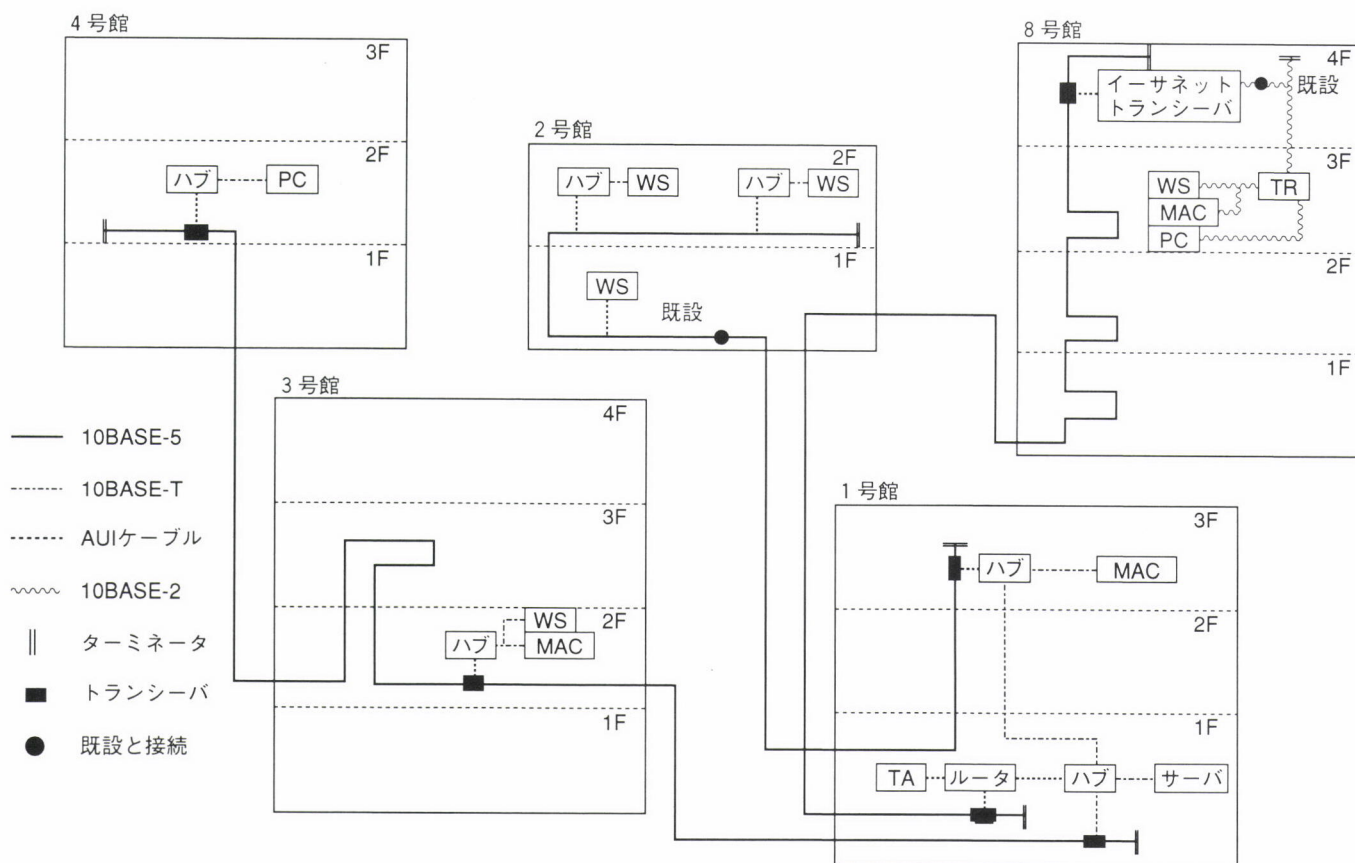


図4 CIT-NET配線概略図



図5 大きく育った卒業生の記念植樹

本学は、すでに8000名になんなんとする卒業生を送り出しており、各職場で深く根をはり創造的に力一杯の努力を重ねている。図5は大きく育った卒業生の記念植樹の木である（写真に見える高い鉄柱は飛行機の逆進入時の標識灯で、敷地内に3本立っている）。最初に植えられた木々（約700本）もこのように建物よりも高くなっているものもあり、緑ゆたかなキャンパスを形成している。21世紀に向かって、産業技術短期大学の名に恥じない改革がすすめられ、卒業生あるいは一般社会人に開放された生涯学習の場としても門戸を開いているであろう。

引用文献

- 1) 久次米利彦、小池稔、吉沢康和：産業技術短期大学誌、30（1996）、p.57

その他参考にしたもの

1. 学校法人鉄鋼学園：産業技術短期大学三十年のあゆみ、（1972）
2. 産業技術短期大学：大学案内（1997年版）

（1997年1月10日受付）



入門講座

計測技術編-1

制御のための計測技術

北森俊行

法政大学工学部 システム制御工学科 教授

Toshiyuki Kitamori

Measurement Engineering for Control

1 はじめに

計測は生産現場や研究現場のみならず日常生活の場でも様々な形態で広く活用されている。制御のためにもいろいろな場面で計測が使われている。しかし広く、様々な姿で使われているために計測の本質が分かりにくくなっていることは否めない。そこで本講ではまず計測の本質的な構造を明らかにし、ついで制御のための計測のなかでその構造が分かりやすい状態観測の方法について解説したい。現実データに扱うときにはノイズの問題が大きいし、得られたデータについて処理をするには計測対象を支配している過程のモデルの精度が問題になるが、紙面も限られているので、基本的な構造に焦点を絞ることにする。

2 計測とは

高炉から流れ出てくる溶鉄の温度を測るのは計測である。圧延した鋼板の板厚を測るのも計測である。しかしかなり前から画像処理を伴う計測も数多く行われている。計測の結果も温度が何度である、板厚が何ミリメートルであるという単純な場合から、高炉内の温度分布のようにCRTに図示し、いろいろな方向から見られるようにしなければならない場合もある。鋼板の表面性状や疵のように写真に撮っておかなければ細かいところが分からない場合もある。このように見回してみると単なる量の値のみならず、図示しなければならない分布（関数）や様々な量を組合わせた“状況”あるいは総合判断といった、高次元の“量”まで幅広く対象としていることが分かる。さらに、たとえば転炉の中でどのくらい酸素を吹込んだら何分後には何度になるかという“関係”を調べることもある。

計測という仕事は仕事というにはあまりにも日常的なところにすでに存在しているので、それが何であるかを正確にとらえることは簡単ではない。物差、時計、秤、温度計

などはどこの家庭にもある。これらは長さ、時間、重さ、温度などの量を値としてとらえようとする道具である。一方では科学、技術の現場で、値としてとらえてグラフにプロットして、全貌をとらえたり、あるいはその全貌を表現するのに適切な特徴量を探し、その値を求めたり、量と量との間の関数関係を決定して、法則性をとらえたりしている。

このように様々な対象の属性をとらえる行為が計測であると考えるとき、表にでも整理した方が分かりやすいであろう。表1にその試みを示す。このように広がっているので、計測とは結局、何か知りたいことを知ることである、知識獲得の行為である、といわざるを得なくなる。

しかし知識獲得といってしまうと、たとえばアンケート調査も含まれてしまうかもしれない。根底に横たわる方法には、レベルの差はあれ、本質は共通であるはずであるから、社会的、経済的分野での知識獲得の活動を除外することが必要とは思えないが、通常、計測といっているのは自然科学や工学の範囲内であることが多い。自然科学や工学の範囲内ならば自然法則がしっかりしているので、それだけしっかりした知識獲得ができるからである。

3 計測の方法

科学や工学の現場で使われている計測システムは千差万別であって、その方法をひとことでまとめるのは容易ではない。しかしぎりぎりの共通点をとらえるならば難しくはない。われわれは高炉についていろいろなデータを採取する。そしてそんなデータが得られたのだから、高炉の中はこうなっているはずだという知識を獲得する。X線断層写真(CT)はいろいろな方向から身体にX線を透過させ、身体組織に吸収されないで通り抜けてきたX線の強さのデータを集める。そしてそのようなデータが得られたならば、身体内部（実はX線吸収率の異なる組織の配置）はこうなっているに違いないという計算をして画像に表示している

表1 計測の結果知りたい量、知識の種類と例

種 類	例
残差がゼロか否か	零位法（計測法の一つ）におけるゼロの検出、在庫量の有無
量の値	一般の物理量の値
集合や関数の特徴を表す値	最大値、平均値、各種特性値、周期、隠れた周期
条件適合要素の同定、分類	公差範囲内の要素、最大要素、不良品、物質の同定、順序づけ、文字認識、音声認識、個人識別
存在の有無	異常・故障箇所、毒性、重力波、ニュートリノ、心霊現象
関係の有無	相関関係、因果関係、関数関係、医薬品の効果
特徴付け	特徴抽出、不快指数、騒音、味、におい、硬さ
予測	寿命予測、天気予報、地震予測
規則性	規則性、法則性

のである。水銀温度計で温度を読むときはそのデータが計算するまでもなくその周辺の温度であると判断する。しかしもしそのデータに誤差が入っていると考えられるときにはその誤差を除去するための計算をするか、誤差を含めた判断をするであろう。したがって、得られたデータそのものが即知識になる場合は簡単な極限であって、一般には何らかの計算を伴うと考えることができる。自然科学や工学の範囲内ならば自然法則がしっかりしているので、しっかりした計算ができるのである。これにくらべると、社会的、経済的分野には法則が必ずしもしっかりしていない現象が多く、人によって判断が大きく変わってしまう。

自然科学的、工学的分野に限ったとき、データを採集し、それから計測対象の内部がこうなっているに違いないという判断をする過程は図1のように見ることができる。ここで重要な意味をもっていることは、計測対象の内部からセ

ンサーを通してデータが出てくる過程は自然法則の成り行きであるが、すなわち対象の内部状態が原因で、自然法則にしたがってデータが結果として出てきたのであるが、得られたデータから対象の内部状態を知るということはその逆、すなわち自然法則にしたがう原因から結果への流れの逆であるということである。図には因果過程の逆ということで“果因過程”と書いた。そういう自然法則の逆の流れは自然法則（因果律）に反するから自然には起こらない。人間の知的活動の中でできることなのである。

簡単な例を考えよう。図2は鉄板の板厚を計測するために考案された計測系の一部分である。広い板の中央部分はノギスやマイクロメータで挟むわけにもいかない。そこで超音波の定在波を使って計測しようとした。超音波を送り込んで、その超音波の周波数を調節し、定在波ができたこと（一種の共振状態）を何らかの方法で検知し、そのときの周波数 f を読み取ると、その周波数と板厚 t は、鉄板中を伝わ

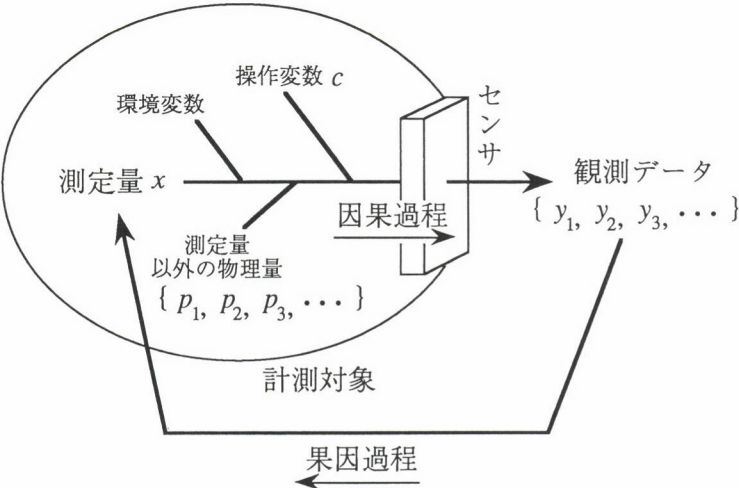


図1 計測におけるデータ採集とデータ処理の流れ

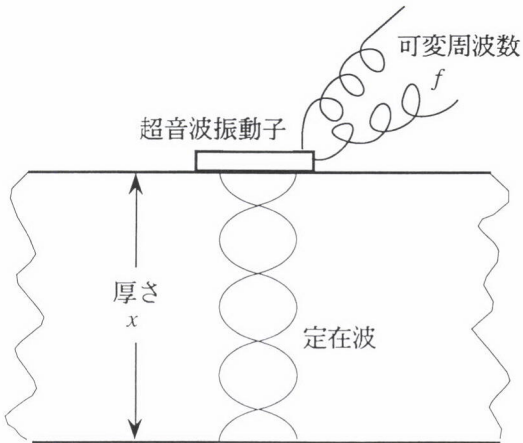


図2 超音波の定在波による板厚の計測

る超音波の伝播速度を v 、できた定在波の腹の数を n として、

$$f = \frac{nv}{2t} \dots\dots\dots (1)$$

の関係にある。そこで、この式から板厚 t を解けばよいということになるのであるが、定在波の腹の数 n は鉄板の中であるから目で数えることができない。伝播速度 v も材質によって違うであろうから分からない。そうすると、 t も n も v も未知数なので t を解くことができない。これは数学的にいうと未知数が3つもあって、方程式が1つしかないので不定ということである。そこで方程式を増やしてやるが必要になる。そのためにこの計測システムでは、次に徐々に超音波の周波数を上げていく。そうするといったん定在波が崩れるがあるところまで周波数が上がると次の、腹の数が一つ多い定在波が出現する。このときの周波数を f_2 とし、最初の周波数を f_1 とすると、

$$\begin{cases} f_1 = \frac{nv}{2t} \\ f_2 = \frac{(n+1)v}{2t} \end{cases} \dots\dots\dots (2)$$

という、データ f_1 、 f_2 に対して1本ずつの関係式が成り立ち、合せて2本の連立方程式がたつ。したがってもし、伝播速度 v が既知とすると、残りの未知数は t と n の2つであるから、この連立方程式を解いて、

$$t = \frac{v}{2(f_2 - f_1)} \dots\dots\dots (3)$$

という答えを得る。同時に、直接数えることのできなかった定在波の腹の数 n も

$$n = \frac{f_1}{f_2 - f_1} \dots\dots\dots (4)$$

と分かるのである。

それでは伝播速度 v も未知数として、3つの未知数に対して、もう一つ腹の数の多い定在波に対する周波数 f_3 を求めて、3本の連立方程式

$$\begin{cases} f_1 = \frac{nv}{2t} \\ f_2 = \frac{(n+1)v}{2t} \\ f_3 = \frac{(n+2)v}{2t} \end{cases} \dots\dots\dots (5)$$

を立てれば、 t と n と v が全部解けるかという、そうはいかないところが難しい。

このようなとき、同じ材質(したがって伝播速度が同じ)で、板厚の分かっている試料を用いて、同じ計測を行うと、

その板厚を t_s 、その試料に対する f や n に添え字 s を付けて表すと

$$\begin{cases} f_{s1} = \frac{n_s v}{2t_s} \\ f_{s2} = \frac{(n_s + 1)v}{2t_s} \end{cases} \dots\dots\dots (6)$$

が成り立つ。この式(6)と式(2)の4本を連立させると、すべて解けて

$$t = \frac{f_{s2} - f_{s1}}{f_2 - f_1} t_s \dots\dots\dots (7)$$

$$v = 2(f_{s2} - f_{s1}) t_s \dots\dots\dots (8)$$

$$n_s = \frac{f_{s1}}{f_{s2} - f_{s1}} \dots\dots\dots (9)$$

を得る。 n は(4)式に同じである。この例では v や n 、 n_s も求まるのであるが、この計測の目的は板厚 t を求めることであったから、式(7)が求まればよいわけで、そのためには v や n 、 n_s を消去すればよい。

このように、データを1つ採ると1本の関係式が成り立ち、幾つかのデータを採り、また必要ならば既知の試料についてもデータを採って、連立方程式を立て、不用の変数を消去して、計測したかった量の値を解くというのが計測の一般的な方法である。この際、上の例では定在波の腹の数が1つずつ増えるように操作をしながらデータを採るように、何らかの人為的な操作を加えながらデータを採るのが普通である。

4 計測と制御の関係

一般に計測対象に操作を加えながらデータを採るといったが、これはデータを採るために計測対象を制御していることになる。その他にも、計測する際に不必要な外乱が加わって消去すべき変数が増えるのを避けるために計測環境を整える制御を行うことも少なくない。したがって計測のために制御が必要である。

逆に、制御を考えよう。制御対象の出力である制御量を目標値に等しくなるように制御する最も基本的な制御系は図3のような構造になる。この系では、制御量の値が目標値より低いときには制御偏差が正になり、それを受けて制御装置が操作量を増やして、制御量を上げようとする。また制御量の値が目標値より高いときには制御偏差が負になり、これを受けて制御装置が操作量を減らして、制御量を下げようとする。このようなことをするために当然ながら制御量の値を知らなければならない。そこで制御量を計測することが必要になる。したがって制御のために計測が必要である。

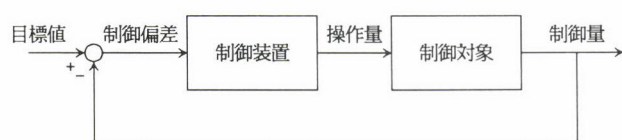


図3 フィードバック制御系の代表的構造

このようなわけで、計測のためには制御が必要であり、また制御のためには計測が必要であり、計測と制御はたがいに不可欠な役割を果たす関係にある。

5 制御のための計測

さて制御のための計測ということを考えると、制御の実行上に必要な計測と制御系を設計するために必要な知識の計測に分けられる。前者の代表的なものが上に述べた制御量であり、フィードバック制御には不可欠である。これをより一般的にいうと制御対象のダイナミックな状態の移り変わりを表現するのに必要にして最小限の表現である状態変数ベクトルのフィードバックであり、状態フィードバックといわれる。このためには状態変数ベクトルを計測しなければならない。この計測を通常“状態観測”あるいは“状態推定”とよんでいる。制御量は状態変数ベクトルの部分情報である。後者の制御系設計に必要な知識で最も重要なのは制御対象の動特性である。この計測を通常“同定”とよんでいる。制御系設計には設計法によって、表2にみる

ように、その他の知識を必要とするものもある。また、制御対象の動特性の変化に適応しながら制御する適応制御は、制御系の設計を実運転中に自動的に行っているともみることができ、本質的に同定を制御の実行中にやっていると考えることができる。

6 状態観測

このように制御のための計測としていろいろな問題を考えることができるが、先の入門講座制御技術編でも述べられているので、ここでは計測の方法を明白に見やすい状態観測について述べよう。

状態観測は対象とする動的システムが状態方程式で記述されているという前提で考える。状態方程式表現は動的システムの挙動を記述するのに必要にして最小限の変数の組である状態変数ベクトル（簡単に状態変数あるいは状態などと呼ぶ） x の時間的変化速度がそのときの状態 x とそのときの入力 u にどのように影響されるかを記述したものである。線形で時間的に特性の変化しないシステムの場合には

$$\dot{x} = Ax + Bu \dots\dots\dots (10)$$

と書かれる。状態 x は n 個の成分からなっている列ベクトル、入力 u は r 個（ $r < n$ ）の成分からなっている列ベクトルと考えている。したがって A は n 行 n 列の正方行列、 Bn

表2 制御系設計に際してあらかじめ計測しなければならない諸知識

制御系設計理論	設計上必要とする先験的知識
周波数応答法	制御対象の周波数応答（現実的には非常に低い周波数帯域や非常に高い周波数帯域は計測しなくてもよい）。位相が100°から200°程度遅れる周波数帯域の周波数特性が重要。
PID制御に対するZiegler-Nichols法	制御対象を“むだ時間＋1次遅れ”要素とみなしたむだ時間と時定数、または限界感度と限界周期（位相が180°遅れる点での周波数特性）。
部分的モデルマッチング法	伝達関数行列のマクローリン展開係数の最初の数項。
線形最適レギュレータ*	制御対象の状態方程式。
カルマンフィルターを用いる状態フィードバック系*	制御対象の状態方程式、制御対象の初期状態の平均値と共分散行列、平均値ゼロと仮定された観測ノイズおよびシステムノイズの時差無相関性と共分散行列。初期状態、観測ノイズ、システムノイズの無相関性。
線形最適サーボ系*	制御対象の状態方程式。目標値信号を、入力がゼロで、適当な初期状態から出発する線形動的システムの出力とみなすための、その線形動的システムの状態方程式。
極配置指定法*	制御対象の状態方程式。
Exact Model Matching法*	制御対象の伝達関数行列。
非干渉化*	制御対象の状態方程式。
部分的モデルマッチング法による非干渉制御	伝達関数行列のマクローリン展開係数の最初の数項。
H_{∞} ロバスト制御*	周波数伝達関数行列およびその変動分。

*：その知識が正しいとして厳密な計算が行われるから正確な知識が要求される。

行 r 列の矩形行列であり、それぞれシステム行列、入力行列とよばれる。状態 x の成分は一般にそのシステムに含まれるエネルギーまたは物質の蓄積要素の数に等しい。したがって n は一般に非常に大きい。センサーを沢山付けて計測しようとしても計りきれものではない。実際にセンサーを使って計測できる出力 y はほんの一部分である。それを

$$y=Cx \quad \dots\dots\dots (11)$$

と記述する。出力 y は p 個 ($p < n$) の成分からなっていると考え。したがって C は p 行 n 列の矩形行列であり、出力行列とよばれる。式 (10) は状態方程式、式 (11) は出力関係式とよばれるが、両者を区別する必要のないときは合せて状態方程式ということもある。

このようなシステムの記述において、われわれが直接観測できる出力 y と入力 u から状態 x を知ろうとするのが状態観測なのである。イメージが浮かぶように簡単な例で考えよう。状態方程式と出力関係式を

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1 & -2 & -2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} u \\ \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (12)$$

としよう。ここでは $n=3$ 、 $r=1$ 、 $p=2$ である。ここで出力関係式を成分ごとに書くと

$$y_1=x_1 \quad \dots\dots\dots (13)$$

$$y_2=x_1+x_2 \quad \dots\dots\dots (14)$$

であるから、 x_1 、 x_2 を解くと

$$x_1=y_1 \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$x_2=y_2-x_1=y_2-y_1 \quad \dots\dots\dots (16)$$

となり、状態変数のうちの x_1 と x_2 はこれで分かてしまふ。しかし x_3 が分からない。それは解きたい未知数が x_1 、 x_2 、 x_3 の3つあるのに、出力関係式には観測される y_1 と y_2 に対応する2本の式しかないからである。線形連立方程式が解けるためには未知数の数だけは式が要るからである。そこで未知数の関与する式を増やす必要がある。状態方程式が状態 x とその導関数との関係を記述した形になっていることに着目し、出力関係式を微分し、 $\dot{x}$ を状態方程式を使って x で置換えていくと

$$\dot{y}_1=\dot{x}_1=x_2 \quad \dots\dots\dots (17)$$

$$\dot{y}_2=\dot{x}_1+\dot{x}_2=x_2+x_3 \quad \dots\dots\dots (18)$$

を得る。この $\dot{y}_2$ の式には x_3 が絡んでいるので、これから

x_3 を解くと

$$x_3=\dot{y}_2-x_2=\dot{y}_2-(y_2-y_1) \quad \dots\dots\dots (19)$$

を得る。これで x_1 、 x_2 、 x_3 を出力 y およびその導関数から知ることができた。観測できるデータ y_1 、 y_2 、 $\dot{y}_2$ について式が1本ずつ立ち、その連立方程式から状態変数成分が求められることは計測そのものである。

ところで状態方程式が

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -2 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} + \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \\ 1 \end{pmatrix} u \\ \begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \end{cases} \quad \dots\dots\dots (20)$$

となっていたらどうであろうか (システム行列の第2行が変っている)。 $\dot{y}_2$ に x_3 が絡んでこないで ($\dot{y}_2$ に x_3 の情報が入ってこないで) x_3 が求まらない。そこでさらに $\dot{y}_1$ 、 $\dot{y}_2$ を計算してみても一向に x_3 が絡んでこない。もっと微分してもだめである。実は行列に関する知識から n 次のシステムの場合に $n-1$ 階まで微分してだめならそれ以上微分してもだめなのである。このようなときこのシステムは非可観測であるという。それに対して、状態方程式 (12) の場合には式 (13)、(14)、(18) から

$$\begin{pmatrix} y_1 \\ y_2 \\ \dot{y}_2 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (21)$$

という、係数行列が逆行列をもつ連立方程式が作れて、これから式 (15)、(16)、(19) のように状態変数成分がすべて求まったのである。このような場合にそのシステムは可観測であるという。一般的にいうと行列

$$\mathcal{O} = \begin{pmatrix} C \\ CA \\ CA^2 \\ \vdots \\ CA^{n-1} \end{pmatrix} \quad \dots\dots\dots (11.54)$$

から線形独立な行が n 本選びだせれば可観測、そうでなければ非可観測となる。

7 状態観測フィルター (状態オブザーバ)

天秤で質量を計測したり、ホイートストーンブリッジで電気抵抗を計測するのとまったく同じ発想で状態観測をすることができる。図4を見ながら天秤で質量を計る場面を

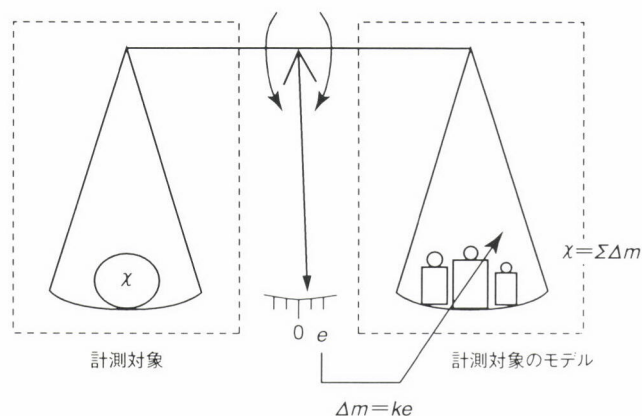


図4 天秤での質量の計測

思い出してみよう。天秤は左右対称の構造になっている、一方の皿（図では左の皿）に質量未知の物体を載せ、反対側の皿には分銅を載せて、両者の支点回りの回転のモーメントが等しくなるように分銅の総和を調節する。両者の回転のモーメントが等しくなり、指針がゼロを指したとき、物体の質量 x は分銅の総和 $\Sigma\Delta m$ であると判断する。この計測システムの特徴は、質量未知の物体を載せた左半分に対して、右半分が同じ構造の、しかし載せる質量を調節できるモデルになっていること、そして両者の質量の違いが指針のゼロからのずれとなって観測でき、そのずれを見て、ずれをゼロにするように分銅を調節できることである。このように、計測対象に対して、それと同じ構造のモデルを用意し、両者の影響の違いを見てモデルを調節し、差がゼロになったとき、計測対象の未知量に対応するモデルの方の値を読みとることによって間接的に計測対象を知ることができる。

この方法を状態方程式で記述されたシステムの状態観測に応用すると図5のような状態観測システムが得られる。

図のように観測対象システムとそっくり同じモデルシステムを用意し、両方に同じ入力 u を加え、両者の出力の差 $y - \hat{y}$ を $\hat{x}$ にフィードバックしてやる。このときシステムが可観測であると、フィードバック係数行列 K を適当に選ぶことによって、 $\hat{x}$ が x に漸近するようになるのである。このようにすると観測対象の状態変数 x を直接センサーで検出することができなくても観測対象の出力 $y(t)$ と入力 $u(t)$ を対象システムのモデルからなる“フィルター”に通して x の代用になる $\hat{x}$ を求めることができる。

状態観測の本質は出力関係式から状態変数 x を解きたいのであるが、式の本数が足りないから、式を増やして解けるようにするということである。板厚を計測するときも式の本数が足りないで式の数を増やしたのであった。この

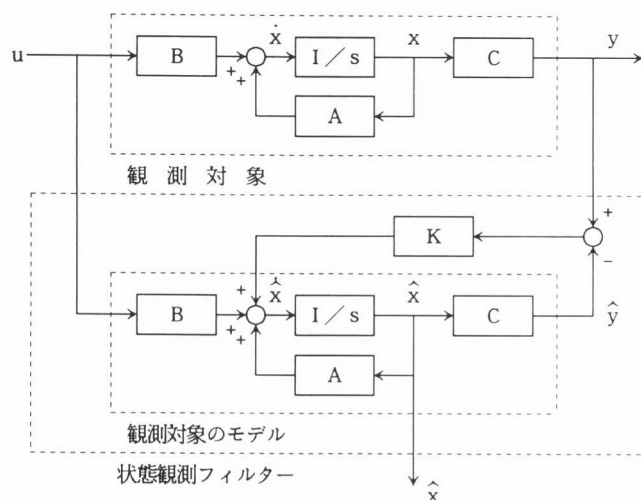


図5 状態観測フィルターの構造

発想から、出力関係式はすでに p 本の式からなっているので、あと $n-p$ 本だけ式を増やして、 $n-p$ 次のフィルターを構成してやることもできる。図5の場合には観測対象のモデルも観測対象と同じであるから n 次のフィルターなのであるが、 $n-p$ 次は最小の次数になるから最小次元状態観測フィルター（最小次元オブザーバー）とよばれている。

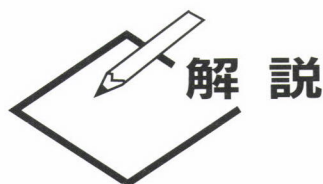
8 おわりに

計測システムを具体的に構築する場合にはどのようなハードウェアをどのように組合わせていくかということが重要な課題になる。しかしあまり具体的なことに捕らわれると木を見過ぎて山が見えなくなる。また近年物理的演算機構よりもデジタル計算機にデータ処理を委ねることによって、大規模な計測システムも可能になってきている。そのような観点から計測行為の根底に横たわるデータを採り、方程式を立ててそれを解くという構造を明示した。この観点からより多くの客観的な知識獲得の場面が同じ構造になっていることにも気付いてもらえれば幸いである。

参考文献

- 1) 北森俊行：計測の本質と計測工学，計測と制御，26，No.2，145-152（1987.2）
- 2) 北森俊行：センシングにおける逆問題とそのインテリジェンス，システム／制御／情報，35，No.10，585-591（1991.10）
- 3) 藤井克彦：制御技術の歴史と制御理論の発展，「ふえらむ」，Vol.2，No.1，p.37-43（1997.1）

（1997年2月4日受付）



不均質材力学の現状と材料開発への展開

—材料学と力学の融合を求めるインターフェイスメカニクス—

豊田政男

Masao Toyoda

大阪大学工学部 生産加工工学科 教授

The State-of-the-Art of Heterogenous Mechanics and Its Application to Development of Materials
—Interface Mechanics for Practical Fusion between Material Science and Mechanics—

1 はじめに

自然界に存在する物質を、我々人間が何らかの目的をもって使用すると、その物質は『材料』に変わる。しかも、人間は、使用目的を達成するために、個々の自然界の物質のみでなく、そこから抽出したり、または合成することによって新しい『材料』を生み出してきた。

一般に材料は単一の物質から成るのでなく、材料そのものが不均質であるのが普通であり、更に、最近では材料の有効利用を図るために、積極的に材料を集め、更には複合化して使用されることが多くなってきている。異なる性質をもつ材を適切に組み合わせて用いることは、必要であるもののなかなか容易ではない。

通常の金属材料でも多結晶体、すなわち、それぞれ一定の方向に強い特性を持つ単結晶の集まりである。しかし、このような異なる特性を持つものが50～100個も集まると、材料としての性質は、それぞれの個々の性質の平均的な特性を示すようになる。そのような材料に対して、力が働いたときの変形や強度を考えるとときには、本来不均質であるが、不均質とは考えず、性質は連続でどこも同じ性質を持つ材料（等方均質な連続体）として取り扱う。これが一般の「連続体力学」の基本となっている。

異材が混合あるいは接合されて作られている、あるいは意図して作った『不均質材』の評価において、力学的特性の異なるものが混合・接合されていることによって外力と材料内の応力・歪分布などの変形の関係がどうなるかが問題となる。また、材料の性能評価にとって、変形状態を代表する「力の流れ」とともに、使用に耐える、あるいは壊れるなどの限界を与える「強度」を知ることが重要である。均質でない材料、あるいはそれらが用いて作られた構造・製品の力学挙動を取り扱うものが「不均質材力学」と呼ばれている。

本稿では、不均質材力学の基本とそれを材料特性の制御

にどのように活かしていくべきかについて考える。

2 不均質を考える —不均質材の力の流れ—

2.1 構造化を支える不均質材力学

材料あるいはそれを用いた構造が使用されるためには、ニーズに対応する必要性能・機能を満足することが必要であり、それらを満足させるように開発・製作が行われる必要がある。材料に関して、要求性能・機能を満足させるものを合成・創成することを、『材料設計』と呼ぶ。ここでは、材料のもつ特性を最大限活かすことを『材料構造化』と呼ぶ。材料を目的に合わせて作るのに、材料構造化には不均質材に対する評価が不可欠である。製品が使用状態にあるときに材料の破損などを伴わず機能が発揮されることが必要で、この「破損が生じないようにする」手法を明らかにすることが「力学」的評価である。

特に材料構造化・複合化にとって、異なった性質を持つ材料の「つなぎ」が重要となり、その異材の「つなぎ」を力学的に扱おうとするものが『不均質材力学』である。

2.2 なぜ不均質界面端部で応力集中が生じるのか

材料そのものの不均質、あるいは異なる材料が組み合わされた巨視的不均質のいずれであっても、不均質が存在することによって、不均質部近傍の変形がどのようなか重要である。不均質材では、例え切欠きのような形状的な不連続が存在せず平滑な形状のものであっても、材料が不連続になる部分で応力の分布が生じる。形状的に均一なものに応力の分布が生じるのは、その部分部分で変形に差が生じ、その変形を整合させるように変形するためである。例えば、材料の一部分が低強度であるものを含む、いわゆる軟質溶接継手が巨視的な引張りを受けた場合、高強度材によって低強度部の塑性変形が拘束される結果、低強度部

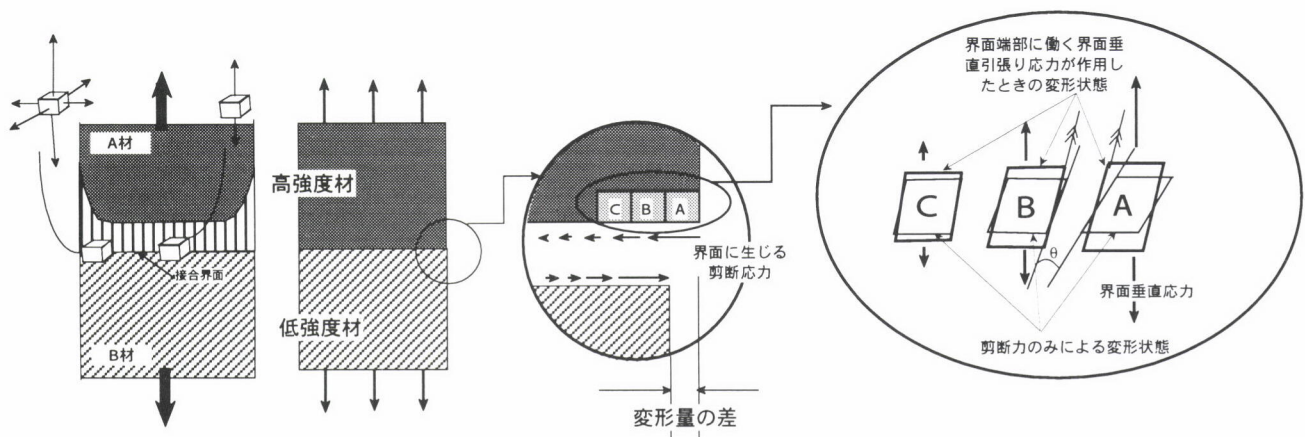


図1 異材接合界面端部における変形と界面垂直応力集中が生じる理由の説明図

は多軸引張り応力状態となり、引張応力が大きくなる¹⁾。

異なる材料を接合してお互いの特性を活かして総合的に高機能となることを期待して使われる複合化材料では、異材接合界面の応力、特に異材接合界面端部の応力特性が問題となる。例えば二つの異なる材の接合体が接合界面に垂直に一樣な引張り力を受ける場合、異材接合界面端部のみが平均引張り応力よりも大きくなる。図1²⁾は、なぜ界面端部で界面垂直方向の応力が大きくなるかを説明したもので、もし、それぞれの材が一樣な引張り力を受けると前述のように強度や縦弾性係数などの変形抵抗の差のために変形量に差が生じる。この差をうめるために界面に沿って剪断力が生じるが、その大きさは変形差の大きな界面端部で大きくなる。いま、図に示すような界面端部の微少な要素A、B、Cを考えると剪断応力のみが作用するときには端部に近い要素A、B、Cの順にゆがみの大きな剪断変形が生じるが、そのままでは、要素Aと要素Bの側面は平行とならず、元々一体の要素AとBが接合された状態となるためには界面垂直方向の引張り力が作用して、引き延ばされた状態とならねばならず、そのため界面端部では大きな界面垂直応力が働くことになる。

この界面端部は、力学的には「特異点」とよばれ、界面端部では応力が発散する(無限大の大きな応力となる)。界面端部からの距離を r とすると、界面端部近傍の応力成分 σ_{ij} は、

$$\sigma_{ij} \propto 1/r\lambda$$

のように表され、この λ は「特異性指数」と呼ばれ、特異性の強さを表す指標で、主に両材料の縦弾性係数の比や降伏応力の比などに依存する³⁾。また、 λ は界面端部近傍の形状にも大きく依存するので、界面端部の形状の制御は端部集中応力を低減するのに重要な因子となる。

このように、異材が接合されている場合、接合界面端部

の処理が重要で、界面端部の処理を誤ると接合界面破壊などの問題が生じ、接合による機能向上が果たせないことになる。

2.3 微視的不均質がもたらすもの

現実には存在する工業材料は、既に述べたように微視的に見ればいろいろな特性を持つ材の集まりで、微視的不均質の存在は避けがたい。そのような不均質が存在するときでも、力の流れの基本的な特性はこれまで述べたとおりであるが、局部的に強度的不均質な部分が存在する場合の不均質部周りの応力・歪の代表的特性をまとめたものが図2である。不均質部の形状の代表例として矩形状の不均質部を取り上げてあるが、図に示すように、不均質部およびその周りでは応力や歪が大きくなったり小さくなる現象を示し、その挙動が後に述べるように破壊特性を大きく左右するようになる。

このような応力・歪特性は、異なる相の界面での剥離破壊や硬化部での割れなどの破壊を生じやすくすることになり、局部的な不均質部の制御が重要であることを物語っており、局部的不均質の存在による変形特性の変化を知ることとは材料設計にとって重要である。

3 不均質をめぐる最近の力学的話題は—Mis-Match問題—

材料の不均質に注目した力学的評価に関しては古くから研究が行われており、溶接部に関して不均質問題を扱った我が国での研究の流れを見ると、(1)20数年前の軟質溶接継手の強度問題、(2)10年ほど前の溶接熱影響部粗粒域の局部脆化部(LBZと呼ばれた)問題、を中心とした研究論文が多く見られ、最近になって改めて、その流れがヨーロッパ

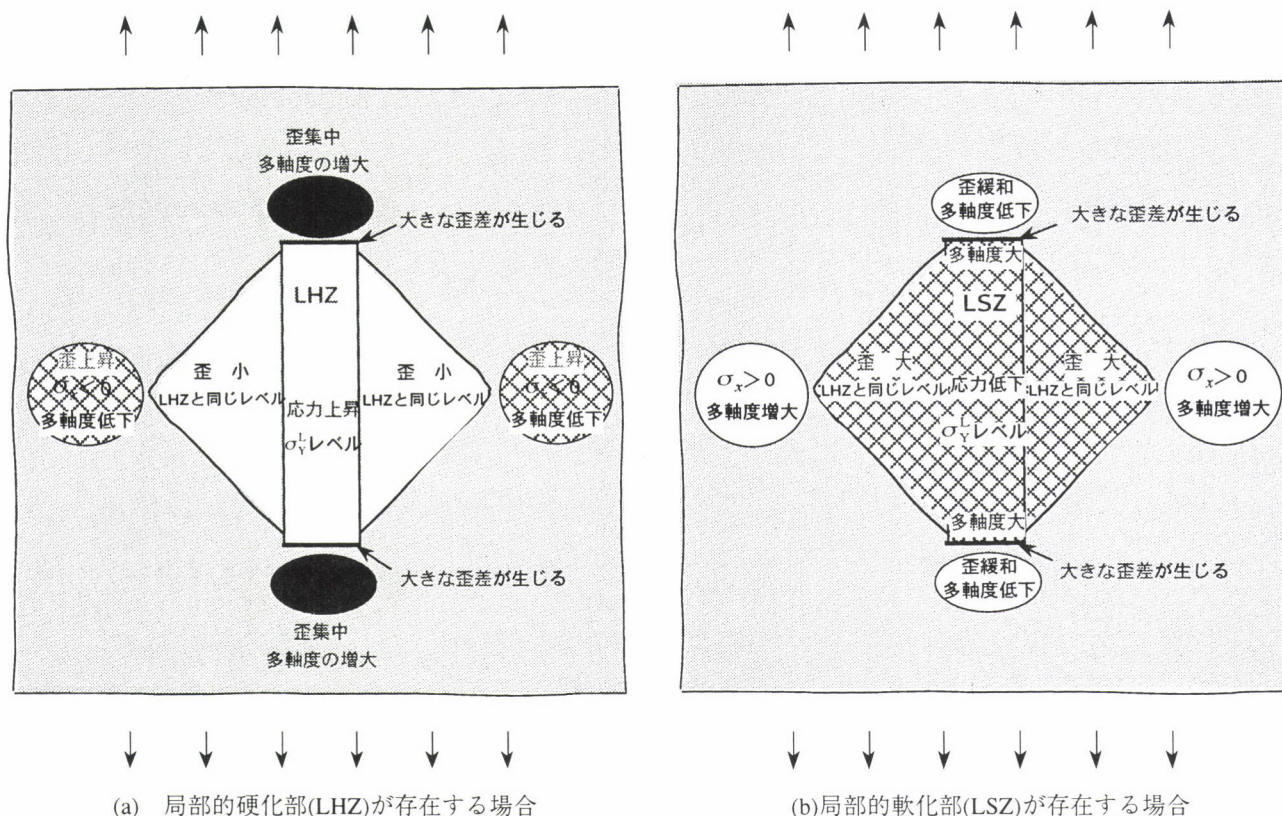


図2 局部的不均質を持つ材が引張りを受けるときの不均質部周りの変形の特徴

を中心とした不均質問題の研究の流れにつながっている。その流れの集大成として、1993、1996年に溶接部の「Mis-Match」を主題とする国際会議（ドイツのGKSSが主催）が開催され多くの研究者の注目を集めた。ただ、大きな流れの中で、解析や計測手法の進展による新しい知見も得られているが、我が国ではかなり前に取り上げられていたものも数多い。

このような流れの中で、最近大きく問題として取り上げられている問題は、

- (a) 溶接継手における溶接金属のマッチング問題、特に破壊特性とマッチングの問題
- (b) 異材接合界面問題：異材接合界面端部の力学的特異性問題と界面強度評価問題
- (c) 異材接合体の熱応力・残留応力問題
- (d) 塑性拘束問題：強度的不均質に起因する変形拘束が破壊挙動に及ぼす影響問題
- (e) 微視的不均質問題と材料組織制御への展開

などがあり、特に、(b)の異材接合界面問題、(d)の塑性拘束問題、(e)の微視的不均質の力学的取り扱い問題は、現在、不均質材力学研究分野で大きな流れとなっている。

これらの問題を統合的に取扱う学問体系として、著者は「インターフェイスメカニクス (Interface Mechanics)」

なる体系を提案している²⁾。

特に、本稿では紙面の都合で、不均質材や接合界面の破壊問題のみを重点的に取り扱うが、問題となるのは、不均質の存在がもたらす変形挙動への影響と、不均質材での破壊の発生・伝播のクライテリオンである。破壊の力学的な取り扱いについては「破壊力学 (Fracture Mechanics)」という体系が古くから提案されており、破壊力学の基本は亀裂を持つ材料を考え、「亀裂先端近傍の変形パラメータ」と、「それに対応する破壊抵抗」を対比させて破壊問題を考えようとするものである。次項以降で述べるように、いろいろな不均質材を取り扱うとき、単純に従来の破壊力学パラメータを用いることはできず、不均質材に対しても適用できるような統合的な評価手法が必要となる。

4 不均質がもたらす破壊問題の統合的評価へ

4.1 異材接合界面の破壊強度評価はどうする

接合界面強度に注目するときの異材接合界面がもつ特徴を形状的、材質的、付加応力の因子の三つに分けて主なもの挙げると図3のようになる²⁾、これら因子が存在するために、接合界面の強度評価には均質材と異なる難しさがあ

る。特に、界面強度を決める接合界面の破壊は、異材接合界面端部や界面の欠陥部・形状変化部などの力学的特異点から生じる場合が多く、それを考慮した力学的評価パラメータが必要となる。

異材接合体の強度評価でこれまでに用いられている指標は、大きく分けて、「単一評価パラメータ法」と「複数評価パラメータ法」の2つがある。前者に属するのが、a) 接合界面の平均的な応力：公称応力法、b) 接合界面の破壊点近傍の応力：最大応力法、c) 破壊発生点近傍の応力特異場の大きさ：特異場応力法⁴⁾、などがあり、後者に属するものとしては、d) 特異性パラメータと特異場の大きさ： $\kappa_{cr}-\lambda$ 法⁵⁾、e) 特異場に仮想した亀裂による応力場の変化：特異場仮想亀裂法⁶⁾、などがある。

(1) 単一評価パラメータ法

異材接合界面強度評価については、応力の分布が複雑に変化するためa)のような平均値指標では評価できないことは理解できる。そこで、応力の集中特性を考慮したものとして、b)の最大応力を用いることが考えられ、有限要素法などの数値解析が容易に使えるようになって多くの研究成果の中でも用いられているが、破壊発生点となる異材接合界面端部は力学的には特異点となり、最大応力をどのような形で求めるのが問題となる。数値計算の仕方でも値がどうにでもなり、都合のよい評価がなされている文献なども見られる。

破壊発生点近傍の接合界面は前述のように特異応力場を持つ。主に亀裂を持つ材の破壊を対象とする線形弾性破壊力学では、亀裂先端の特異応力場の大きさを表す応力拡大係数 K が破壊パラメータとして用いられている。c)の方法は、この方法のアナロジーによって、接合界面端部での応

力場の大きさ κ を破壊指標として用いようとするものである。この方法が妥当となることは、溶射皮膜の界面密着強度評価試験法の一つであるピンテストに適用し、 κ を破壊指標として用いたときの限界値 κ_{cr} が皮膜厚さや試験片形状に依存しない材料定数となることが示されている⁴⁾。ピンテストなどの比較的限定された条件の下では応力特異場の大きさを指標とする単一評価パラメータ法も工業的には適用可能である。

(2) 複数評価パラメータ法

接合界面端部近傍の応力特異性が材料の組み合わせと、試験片形状などに依存するため、c)のような限界応力特異場の大きさ κ_{cr} を指標とした場合、試験片ごとに異なる値となる。そこでd)では、物理的意味はともかくも、限界応力場の大きさは応力特異性パラメータ λ の関数とする考え方が提案されている⁵⁾。また、e)は、亀裂を仮想し、その亀裂の大きさの変化による応力状態の変化をパラメータとするものである。これらの提案は、異材接合界面の破壊（発生）強度は、破壊発生点近傍の応力分布の変化が重要であることを指摘するものであるが、パラメータの物理的意味を必ずしも明確にするものではない。

4.2 応力分布場をもつ材の脆性破壊発生評価

パラメータの提案

(1) 応力分布場の破壊限界指標としてのワイブル応力

多くの破壊は応力集中部から生じるわけで、破壊を考えると応力分布場の取り扱いが問題となる。脆性破壊を呈する材料においては、材料の破壊強度などのばらつきを取り扱う手法としてローカルアプローチがある⁷⁾。そこでは破壊が生じる高応力部分の応力の大きさと高応力域の広がり（大きな応力を呈する領域の体積）を考慮したパラメータである次式のワイブル応力 σ_w が評価に用いられている。

$$\sigma_w = \left[\frac{1}{V_0} \int_{V_{process}} (\sigma_{eff})^m dV \right]^{1/m}$$

したがって、破壊発生点近傍の応力分布が与えられている場合、材料（界面特性）にのみ依存する指標 m を用いてワイブル応力が計算でき、また、限界ワイブル応力が既知の場合には、異材接合界面での応力分布を解析によって求めることによって、破壊応力などの限界値が求められる。異材接合界面に対するワイブル応力の算出方法についても明らかにされている⁸⁾。

ワイブル応力は、前述のように基本的には応力の大きさとその広がり（領域の体積）の二つの因子を含むパラメータである。異材接合界面の応力が支配的な破壊の場合で、もし、界面端部近傍の応力成分が同じ特異性を持つ場合は、限界ワイブル応力を破壊指標とする考え方と前述のc)の特異応力場の大きさ

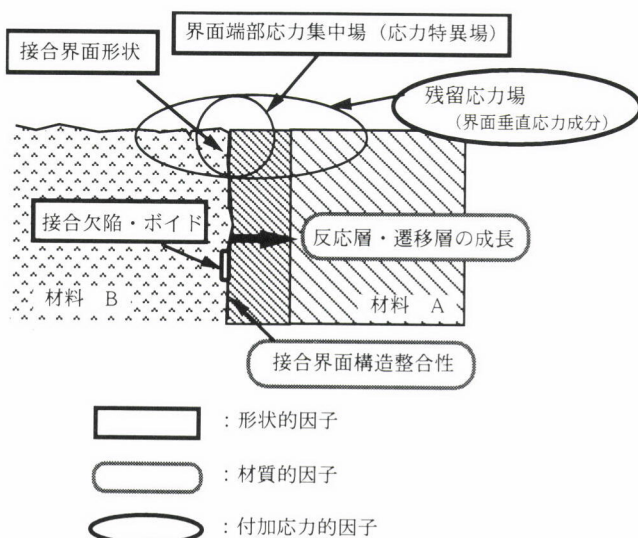


図3 異材接合界面の強度支配因子

きさのみを指標とする考え方とは同じものとなることが導かれ、ワイブル応力を破壊限界指標とする方法は、これまでの手法を包括するとともに、破壊条件の考え方に意味を与える統合的な取り扱いができる方法といえる。

このワイブル応力を用いた評価は、溶接部のような巨視的な強度不均質を持つような場合の破壊靱性評価やその破壊評価への応用に関しても統合的な取り扱いを可能とするものであり、また、次項に述べる材料開発への展開においても活用できる考え方である。

5 不均質材力学の材料開発への展開を目指して —微視的不均質を考慮した材料の組織制御の方向を知る—

5.1 材料の微視的不均質と破壊

材料に微視的な不均質が存在しても、引張り強さのような巨視的な強度は、微視的不均質の影響は小さく、平均的な性質を示す場合が多い。それに対して、材料の破壊特性、特に材料のミクロ的な破壊の芽の発生には、微視的な不均質の存在の影響が大きい。破壊特性を考えると、微視的不均質は、マクロ的な不均質の場合と同じように、a) 各部の強度が異なる強度的不均質、と、b) 各部の破壊限界が異なる靱性的不均質、の二つに分類できる。

材料で微視的不均質が存在する例は数多いが、破壊が問題となるような代表的なものを図4に示す。いろいろな第二相が含まれる材料では、一般には、靱性の低い脆い相は硬いことが多く、脆くて高強度な相の存在が問題となる。

微視的不均質でも、特に強度的な不均質が存在すると、材料の各部分の応力や歪の大きさが異なり、その結果として材料の破壊の芽を作ったり破壊が伝播しやすくなったりして、破壊強度や変形能が異なることになる。また、材料設計においては、それぞれの相の材料特性を制御するとともに、第二相の形態（形と分布）をどのように制御するかが重要となる。

5.2 微視的不均質と材料の破壊の形態

微視的なレベルで強度的不均質が存在する材料の破壊形態は、強度的不均質に起因する応力・歪分布の影響を受ける。特に、強度の高い「硬い相」の周りの変形特性が破壊の発生特性を大きく支配する。生じる破壊の種類は材料によって異なるが、静的な荷重を受ける場合の代表的な破壊様式は「劈開亀裂」と「延性亀裂」のいずれかである。どちらの亀裂が先に生じるかは、材料の持っている破壊変形抵抗に依存する。

「劈開亀裂」が生じる場合、一般には、a) 硬い相そのものの、b) 硬い相と軟らかい相の界面近傍、さらにはc) 軟らかい相内、の三つの破壊形態が考えられる。硬い相で破壊が生じるのは、引張り応力が働く方向に比較的細長い形状の場合が多い。それは、図5で説明するように、引張り応力を受けると硬い相が存在しても比較的小さな応力レベルで硬い相に塑性変形が生じ、その部分には硬い相の降伏応力レベルの応力が生じる⁹⁾。その応力の大きさは、硬い相の形には大きくは依存しないが、図に示すように引張られる

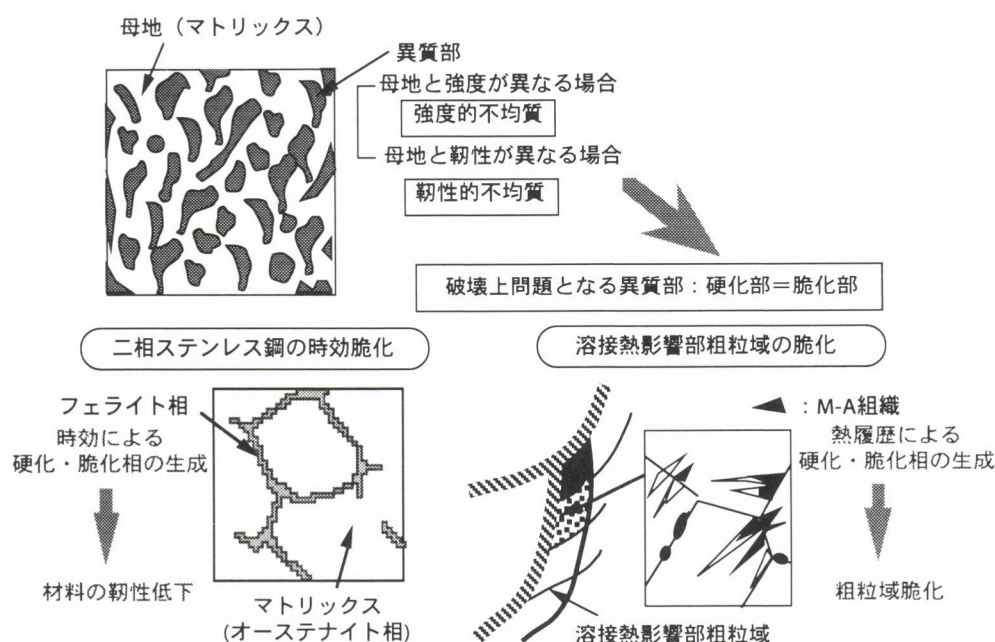


図4 材料中の微視的不均質と微視的不均質が破壊性能を支配する代表例

方向に細長い形状のものは、大きな応力が生じる領域が広くなる^{9,10)}。材料特性はミクロ的にもばらつきを持つので大きな応力が生じる領域が広くなると、それだけ破壊が生じやすくなる。

一方、例え軟らかい相（母地、あるいは第二相とも）であっても、図6に示すような硬い相に囲まれた部分では、あたかも全体が硬い部分であるような挙動を示すため¹¹⁾、図5と同じようにその部分の応力は硬い相の降伏応力レベルとかなり大きなものになる。一般に材料の破壊限界応力は、その材料の降伏応力に依存するため、軟らかい相と硬い相の強度差が大きい場合、軟らかい相内であっても劈開亀裂が生じることがある。

延性亀裂の発生は、歪の大きさに決まるため、変形のしやすい軟らかい相で生じることが多い。これまでの延性破壊の理論で指摘されているように、MnSや炭化物などの介在物が延性亀裂の基本的特徴であるデンプルと呼ばれる破面の発生源となることは知られている。結晶粒の大きさを超えるもう少し大きなスケールでの不均質をもつ場合は、硬い相が存在すると、硬い相の周りで歪の大きくなる部分が存在し、その部分で介在物を起点とする延性亀裂が発生しやすい。

このようにマイクロ亀裂の発生は、微視的不均質の状態、特に、(a)それぞれの組織の強度レベル、(b)硬い組織の形状、特に細長比 (slenderness ratio)、(c)硬い組織の分布状態、特に近接状態、(d)母地の組織、硬い組織か軟らかい組織か、などに依存するため、生じる組織の材質そのものとともに「形状と分布」の制御が重要である。

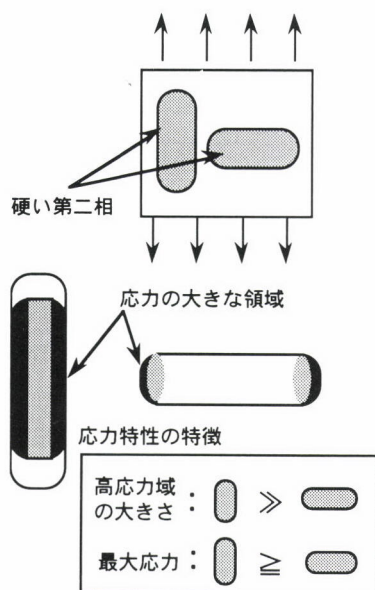


図5 細長い硬化相内の応力特性の説明図

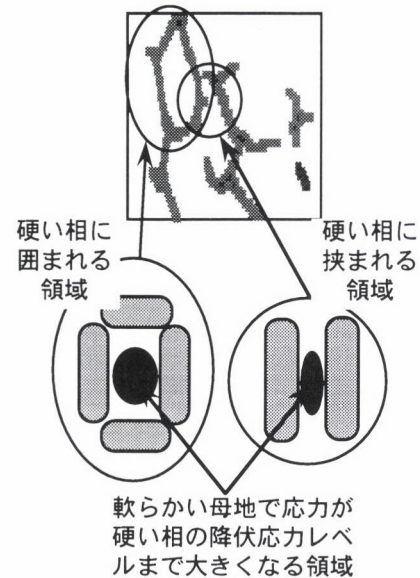


図6 硬化相に囲まれた軟らかい母地の応力特性の説明図

5.3 微視的破壊発生の評価手法

微視的不均質を制御して破壊性能に優れた材料を設計するには、微視的不均質の影響を掴むことができるような評価の方法が必要である。そのためには、a)微視的不均質をどのようにモデル化し、変形特性を解析するか、と、b)応力・歪などの力学的な指標を用いて亀裂発生などの破壊限界をいかに評価するか、の二つが問題となる。

破壊発生の評価には、何らかの破壊限界条件を考える必要がある。破壊には劈開亀裂か延性亀裂かによって用いられる破壊条件が異なるが、例えば、微視的不均質を持つ材の変形解析結果に対して、

- 1) 劈開亀裂発生判定：注目組織の応力分布の情報を用いて、前述のローカルアプローチに基づくワイブル応力を計算し、その大小で亀裂発生に及ぼす組織形態の影響を判断できる。
- 2) 延性亀裂発生判定：延性亀裂発生限界条件については、現状必ずしも明確とはいえないが、延性亀裂は歪依存型で、その破壊限界歪はその場所での応力の多軸度に依存することが知られおり、例えば、島貫¹²⁾は破壊相当塑性歪 ϵ_P - 応力多軸度 $\sigma_H/\bar{\sigma}$ (σ_H ：静水圧応力、 $\bar{\sigma}$ ：相当応力) 関係を指標ととり、その限界曲線が材料ごとに存在することを示している。その限界条件の考え方を用いると図7に示すように、解析によって求められた各位置での $\epsilon_P - \sigma_H/\bar{\sigma}$ 関係をプロットして、その集合の中で一定の傾きを持つ限界曲線で η 値が最大となるようなときの η 値を指標として用い、その大小で亀裂発生に及ぼす組織形態の影響を判断できる。

微視的不均質を持つ材の組織制御にこれらを活かすためには、不均質を持つ材の基本的な不均質パターンに対して

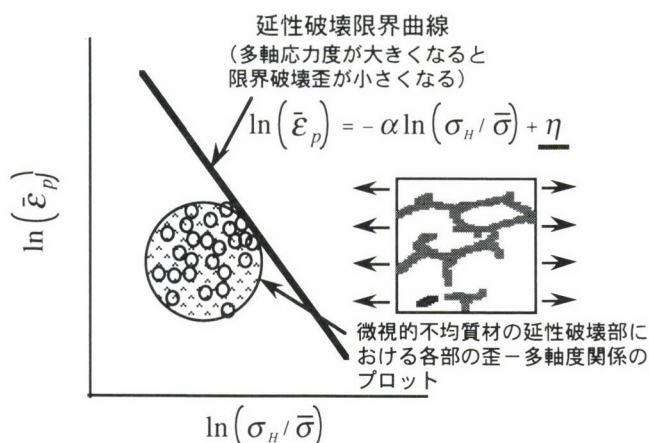


図7 微視的不均質を持つ材の各部の応力・歪解析結果を用いた延性亀裂発生限界指標の評価方法の例

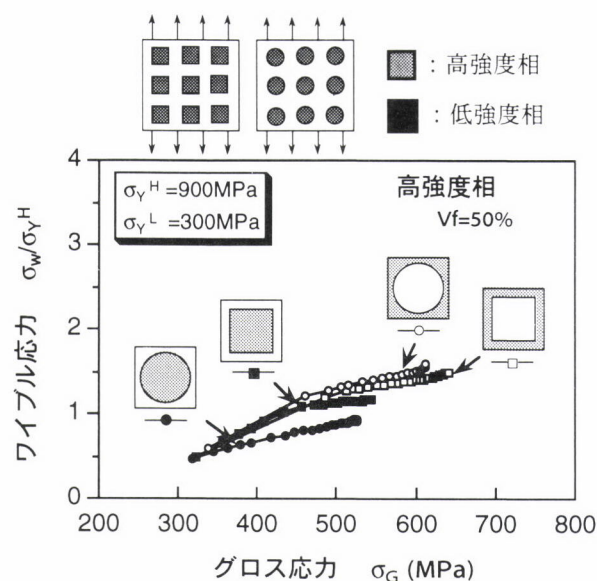
変形解析を行い、上述のワイブル応力や延性破壊限界指標をもとめ、対象とする破壊に対して抵抗が大きくなるように（ワイブル応力や η 値が小さくなるように）、各組織の強度レベル、第二相の形状・寸法などの組織形態などのあり方に関して最適な方向を探ることができる。

一例として図8に、図中に示すような第二相もつ材料を考え、第二相の形状が円形か矩形か、また、母地が軟質か硬質かによって上記の破壊限界指標がどのように変わるかを示す¹³⁾。例えば、硬い相が存在するときには、軟らかい母地に丸い形で硬い相が存在するときに劈開破壊が一番生じにくいこと、また、軟らかい相で延性破壊するときには、軟らかい相を硬い相でくるむ形で、しかも矩形の形状の方が軟らかい部分での延性亀裂が生じにくいことなどが分かる。ここではごく基本的な場合の結果のみについて示したが、既にいろいろな不均質形態についての解析を進めており、二相組織金属についてのデータベースを構築すること、破壊限界についての観察の蓄積が重要である。このような解析は既に材料設計に活かされている例もある¹⁴⁾。

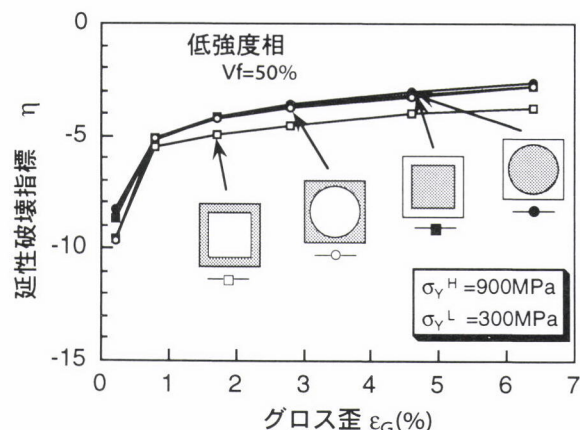
このように、微視的不均質を持つ材の変形挙動に関する解析・評価を通じて混合組織材料の破壊特性を制御するなど、材料の設計に活かすことが可能である。

6 おわりに —不均質材力学を活かすために—

不均質性は材料にとっての本質である。材料の構造化が活きるためには、不均質に伴う特性をいかに活かすかが問われる。多くの材料開発については材料の作り方に重点が置かれていることも事実である。その一方で、力学的な取り扱いでは、出来上がった材料の性能評価に重点が置かれ、「材料ありき」からの展開であることが多かった。



(a) ワイブル応力に及ぼす不均質形態の影響



(b) 延性亀裂発生限界指標に及ぼす不均質形態の影響

図8 微視的不均質を持つ材の不均質形態の基本パターンにおける劈開・延性亀裂発生限界指標の計算例

ここで述べた重点は「材料学」と「力学」との接点を求めようとするものであり、「不均質材力学」あるいは「インターフェイスメカニクス」の本質はその接点を創り上げ、実際の材料開発・材料評価に活かすことにある。

鉄鋼材料の特性制御に関しても、材料の微視的・巨視的不均質を活かした形で検討されることはまだまだあるのではなかろうか。本稿では、異なる分野の情報・解析などの融合は、新しい材料学の分野を生み出す可能性のあることであり、今後の発展が期待される。

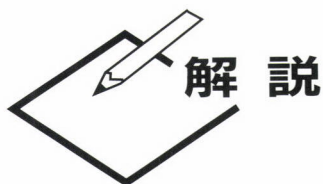
参考文献

- 1) 佐藤邦彦, 豊田政男: 溶接学会誌, 40(1971), 885
- 2) 豊田政男: インターフェイスメカニクス, 理工学社 (1991)
- 3) 例えば, D.B. Bogy: Int. J. Solid Struct., 6(1970),

1287

- 4) 例えば, 井上好章, 豊田政男: 溶接学会論文集, 9-1(1991), 167, など
- 5) 例えば, 服部敏男: 日本機械学会論文集 (A編), 54(1988), 597, など
- 6) 例えば, 寺崎俊夫: 溶接学会全国大会講演概要, 47(1990), など
- 7) 例えば, Beremin, F.M.: Metal Trans. A, 14A(1983), 2277
- 8) Satoh, S., Tsukamoto, M., Mimami, F. and Toyoda, M.: Proc. of 15th Int. Conf. on OMAE, Vol.III, (1996), 157
- 9) 例えば, 豊田政男, 南二三吉: 鋼溶接熱影響部靱性に果たす局部的硬化部まわりの応力・歪特性の役割, 日本造船学会論文集, 171(1992), 427, など
- 10) 例えば, 豊田政男: 鉄と鋼, 78(1992), 1407, 及び, 溶接学会誌, 62(1993), 603-616, などを参照
- 11) 野口泰隆, 南二三吉, 豊田政男: 溶接学会全国大会講演概要, 59
- 12) 島貫広志: 溶接学会全国大会講演概要, 57(1995)
- 13) 豊田政男, 南二三吉: (to be published)
- 14) 川端文丸, 天野虔一, 板倉教次, 南二三吉, 荊洪陽, 豊田政男: 日本造船学会論文集, 173(1993), 349, など

(1997年1月20日受付)



陽極酸化カラーチタンの製造技術

山岸和夫 (株)東陽理化学研究所 製造技術課 課長代理
Kazuo Yamagishi

Process Engineerings for Anodic Coloured Titanium Products

1 はじめに

チタンはその軽さ、強度の高さ、優れた耐食性などにより、航空宇宙産業、化学産業、海洋開発、原子力産業などにおいて、なくてはならない機能材料として主として利用されて来た。しかし近年我が国においては、建築材料（屋根材・内外装材）、モニュメント、スポーツ用品、時計、メガネ、装飾品等の民生品としての用途が大きく拡大しつつある。その使用理由として、チタンの優れた機能特性（耐食性・強度・軽量・金属アレルギー性がない等）ももちろん有るが、その他に、チタンの持っている高級なイメージ、新規性、チタン金属自体の色合いの美しさ、陽極酸化発色により鮮やかな色を得ることができることなども、あげることができよう。

本稿では、陽極酸化によるカラーチタンの製造技術について、実際の当社の工業的製造方法に基づいて解説したい。

2 陽極酸化カラーチタンの発色原理と特徴

チタンを電解液中で陽極として電解すると、発生する酸素により、チタン表面に均一な薄い酸化皮膜 (TiO_2) が形成される。酸化皮膜自体は無色透明であるが、その厚さが可視光波長の十分の一から可視光波長と同程度となった場合、酸化皮膜表面で反射する光と金属自体の表面で反射する光の干渉作用が起こり、強められる波長、弱められる波長ができ、強められる波長が表面の色として見える (図1)。原理はシャボン玉の虹色、水面に薄く浮いた油脂による虹色発色と同じである。其の色は皮膜の厚み、皮膜の屈折率により決定する。チタンの陽極酸化では皮膜の厚みは電解電圧で決定するため、電解電圧をコントロールすることにより、色をコントロールすることが可能である。

其の発色原理から想像されるように、その色調は、塗装

着色、染色着色等の色と大きく異なる。以下にカラーチタンの特徴・性質を述べる。

- ①同じ酸化皮膜の厚みであっても、光の入射角が異なると光の通過する光路が変わるため、光の入射方向、見る方向により微妙に色調が変化する。この効果は下地の金属の表面が鏡面に近いほど大きい。
- ②ごく薄い (約20nm~400nm程度) 透明な酸化皮膜による発色であるために、下地の金属の肌合いがそのまま見える。このことによりヘアライン仕上げ、鏡面仕上げ、ブラスト加工、ダルロール加工などの金属表面仕上げの特徴を生かした発色が可能である。
- ③酸化皮膜の厚さによる干渉皮膜であるので、皮膜上に指紋、油脂などが付着した場合、その分皮膜が厚くなったのと同じになり、色が変化してしまう。これはカラーチタンの最大の欠点と言えよう。ただし、この変色は永久変色ではなく、有機溶剤、洗剤等により洗浄し、表面の付着物を落とせば元の色に戻せる。
- ④染料、顔料による着色と違い、光による退色は全く起こらず、耐光性はほとんど完全である。耐候性もチタンの酸

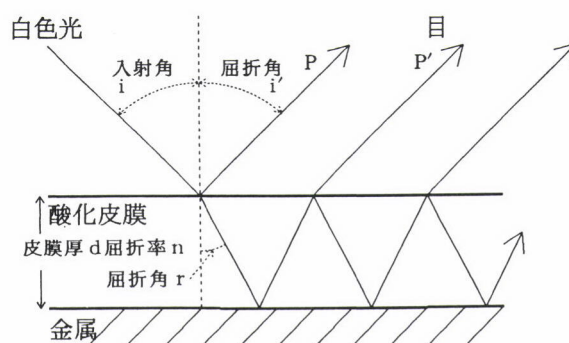


図1 酸化皮膜の光学干渉図

図のように皮膜表面より皮膜内部に入り、金属表面で反射して目に入る光Pと、皮膜表面で反射して目に入る光P'で経路差ができるため、光波の干渉作用がおき、波長により強められる波長と、弱められる波長が発生し色が発生する。

化物は安定性が高いため良好ではあるが、使用場所によっては強固な異物の付着により部分的に変色してしまうこともある。

⑤金属自体のごく薄い酸化皮膜による発色であるため、密着性は良く、発色後に折り曲げ加工、軽度のプレス加工、溶接加工なども可能である。

⑥皮膜自体の硬度はある程度あるが、その発色原理から、サンドペーパー、金属タワシ、砂や泥が付着した様な布等で表面をこすると、皮膜厚さが変化し色が変化してしまう。

メンテナンスにおける洗浄には柔らかい布、スポンジ等の使用がすすめられる。

⑦塗装や染色の様に色を混ぜ合わせて色々な色調を出すことはできず、発色可能な色は前処理・陽極酸化条件を一定とした場合、陽極酸化電圧にしたがって一次的に変化する。図2～図3に電圧による色の変化を、色彩計で測定し $L^* \cdot a^* \cdot b^*$ 色度座標上に示したが、得られる色はそのライン上の色だけである。図を見るとわかるように、純度・彩度の高い赤は得ることはできない。

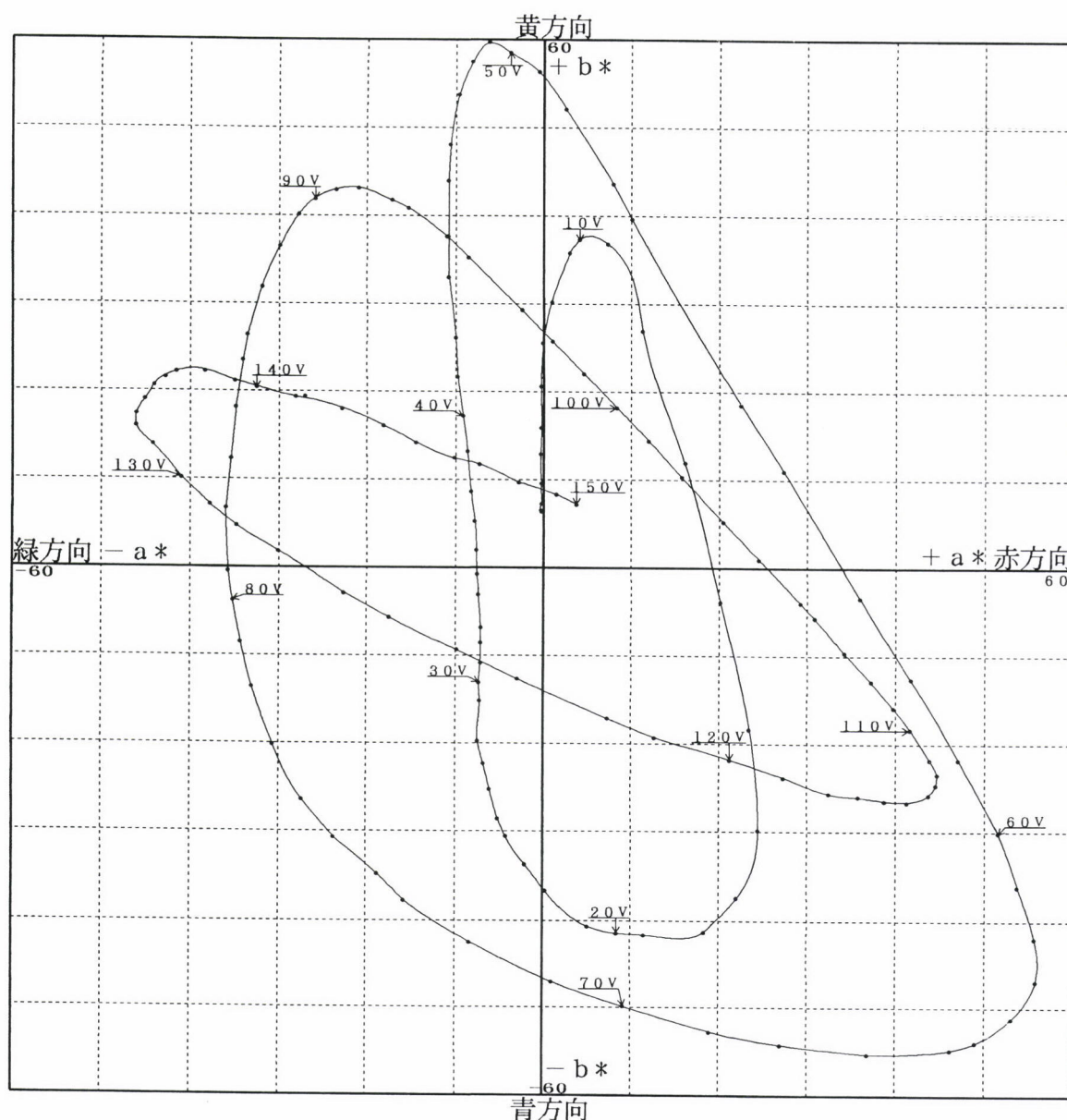


図2 酸洗発色チタンの陽極酸化電圧による色変化 (a^* 、 b^* 値によるグラフ。明度 L^* はふくまない)

† L^* は明度を示し数字が大きい方が明るい。

a^* は+側が赤色で、-側が緑色を示し、数字が大きくなると純色に近づく。

b^* は+側が黄色で、-側が青色を示し、数字が大きくなると純色に近づく。

$a^*=0$ 、 $b^*=0$ は灰色（グレイ）であり、その場合 $L^*=0$ は黒色となり、 L^* が大きくなるほど白に近づく。

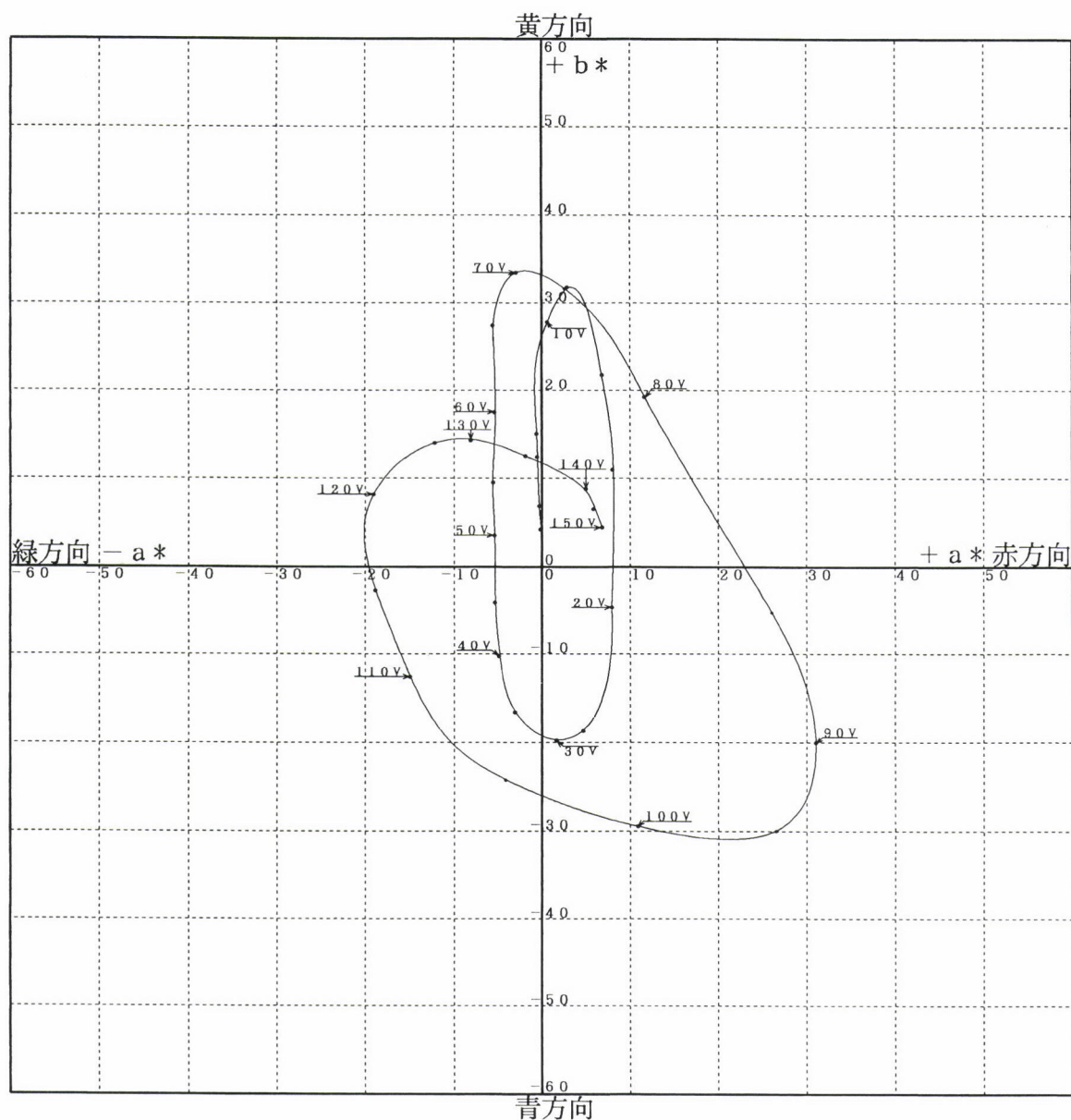


図3 無酸洗発色チタンの陽極酸化電圧による色変化 (a^* 、 b^* 値によるグラフ、明度 L^* はふくまない)

3 チタンの陽極酸化発色方法

3.1 酸洗発色と無酸洗発色

チタンの発色方法には酸洗発色法と無酸洗発色法の二つの方法がある。酸洗発色は、チタンを酸溶液（主として弗化水素酸）に浸漬して表面を溶解し、表面の酸化皮膜、窒化物、炭化物、付着した異物などを溶解あるいは剥離し、クリーンなチタン金属自体の表面とするとともに、表面肌を目的の状態に整えた後、陽極酸化を行う方法である。無酸洗発色は、チタン表面に付着した油脂分、汚れなどを脱脂剤により除去するだけで、材料の表面肌をほとんど変えずに陽極酸化する方法である。

酸洗発色と無酸洗発色では同条件、同電圧で陽極酸化発

色した場合でも、得られる色は大きく異なる。

表1、図4に、同じ陽極酸化条件にて発色した場合の、酸洗発色、無酸洗発色の色の比較を示す。同電圧での陽極酸化において酸洗発色の場合、色は無酸洗発色に比較して皮膜の厚い方向の色となり、高電圧側の陽極酸化ほど、この色の差は大きくなる。

図2～図3に同じ陽極酸化条件で陽極酸化した時の、酸洗発色と無酸洗発色の陽極酸化電圧変化による発色の色調の変化を、 $L^*a^*b^*$ 表色系色度図で示す。無酸洗発色の場合、150Vまでに得られる色が色度図表上で約一周分少ないのがわかる。図からわかるように、酸洗発色では得られる色は鮮やかな彩度の高い色調となり、無酸洗発色ではそれに比較して彩度の低い落ち着いた色となる。酸洗発色の色

表1 酸洗発色、無酸洗発色の陽極酸化電圧による色の変化の比較

陽極酸化電圧	10V	20V	30V	40V	50V	60V	70V	80V
酸 洗 発 色	ゴールド	青紫	水色	イエローグレイ	黄色	ピンク	青紫	青緑
無 酸 洗 発 色	ゴールド	紫	青	水色	イエローグレイ	淡黄色	黄色	ピンク
電 圧	90V	100V	110V	120V	130V	140V	150V	
酸 洗 発 色	黄緑	肌色	ピンク	濃ピンク	濃緑	緑	淡緑	
無 酸 洗 発 色	赤紫	青	緑	黄緑	淡黄色	ピンク	ピンク	

調は、モニュメント、アクセサリなどに向いており、無酸洗発色の色調は屋根材、内外装材などの建材向きと言えるかもしれない。

3.2 陽極酸化浴組成

陽極酸化浴としては、酸洗発色の場合はリン酸の1パーセント～10パーセント浴が用いられる。無酸洗発色の場合は硫酸の1パーセント～5パーセント浴あるいはそこにリン酸を少量添加した浴が用いられる。

3.3 バッチ方式陽極酸化発色

チタン板、チタン製品を陽極酸化処理ラックに取り付け、ラック単位で前処理、陽極酸化、後処理を行う方法である。酸洗発色、無酸洗発色とも可能であり小ロットの板材、成形加工品の発色に用いられる。

発色の色調の正確な管理のためには、材料ロット単位で、前処理・陽極酸化処理工程条件の正確な管理が必要とされる。

・発色工程

- ①酸洗発色 脱脂→水洗→酸洗（2～3段）→水洗→陽極酸化発色→水洗→乾燥
- ②無酸洗発色 脱脂→水洗→陽極酸化発色→水洗→乾燥

3.4 連続コイルラインによる陽極酸化発色

チタンコイルを連続的に、脱脂槽、陽極酸化槽を通して発色し、発色チタンコイルとする方法である。図5に連続コイルラインの説明図を示す。

アンコイラーから供給されたチタン帯は脱脂され、水洗後陽極酸化槽に入り、電圧が加えられ陽極酸化された後、水洗、乾燥、保護フィルムの張り付けが行われ、巻き取りリールに巻き取られ発色チタンコイルとなる。発色スピードは陽極酸化電圧により異なるが、1 m/min～4 m/minである。バッチ方式と違い連続的に長尺の板を発色できるため、1コイル内における発色の色調のばらつきを少なくすることができる。生産性もバッチ方式に比較して非常に大きく、発色コストの低減が可能である。

連続コイル陽極酸化では、低電圧（20V程度以下）の発色はそれほど難しくないが、高電圧の発色になるにつれ、バッチ方式陽極酸化には無い色々な問題が発生する。高電圧では陽極酸化の電流が大きくなるため、給電方法を工夫しないと材料表面にスパークの発生跡がでたり、電流によるコイル材の局所的な加熱による色ムラの発生が起こりやすい。そのために給電方法、冷却方法に工夫が必要となる。又、高電圧の陽極酸化では陽極酸化浴にコイルが侵入する界面において、一気に電圧が加わり大電流が流れると、焼けが発生し、そのままではコイル圧延方向と直角に線状の色ムラが発生してしまう。これを防ぐために、陽極酸化液侵入部より材料に加わる電圧が徐々に高くなっていくように、対極の配置・陽極酸化槽の形状・補助極の使用等を工夫しなければならない。

3.5 グラデーション発色、模様発色、エッチング発色

陽極酸化発色チタンの彩度の高い透明感の有る色調を利用して、チタン発色画、モニュメント、アクセサリ等が

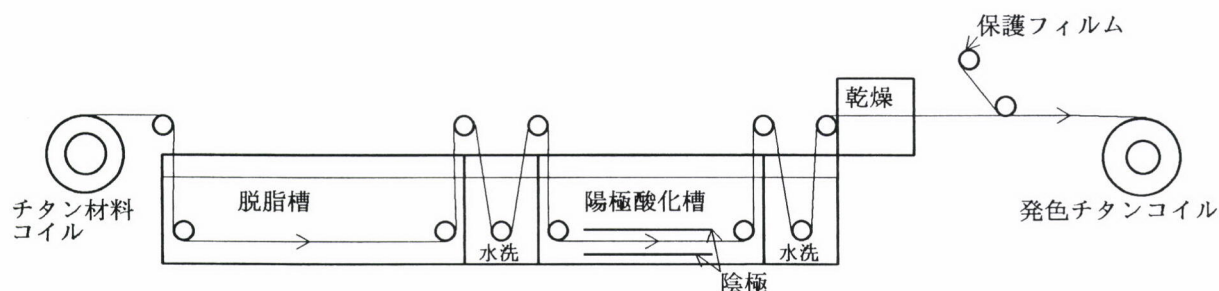


図5 チタン連続コイルライン説明図

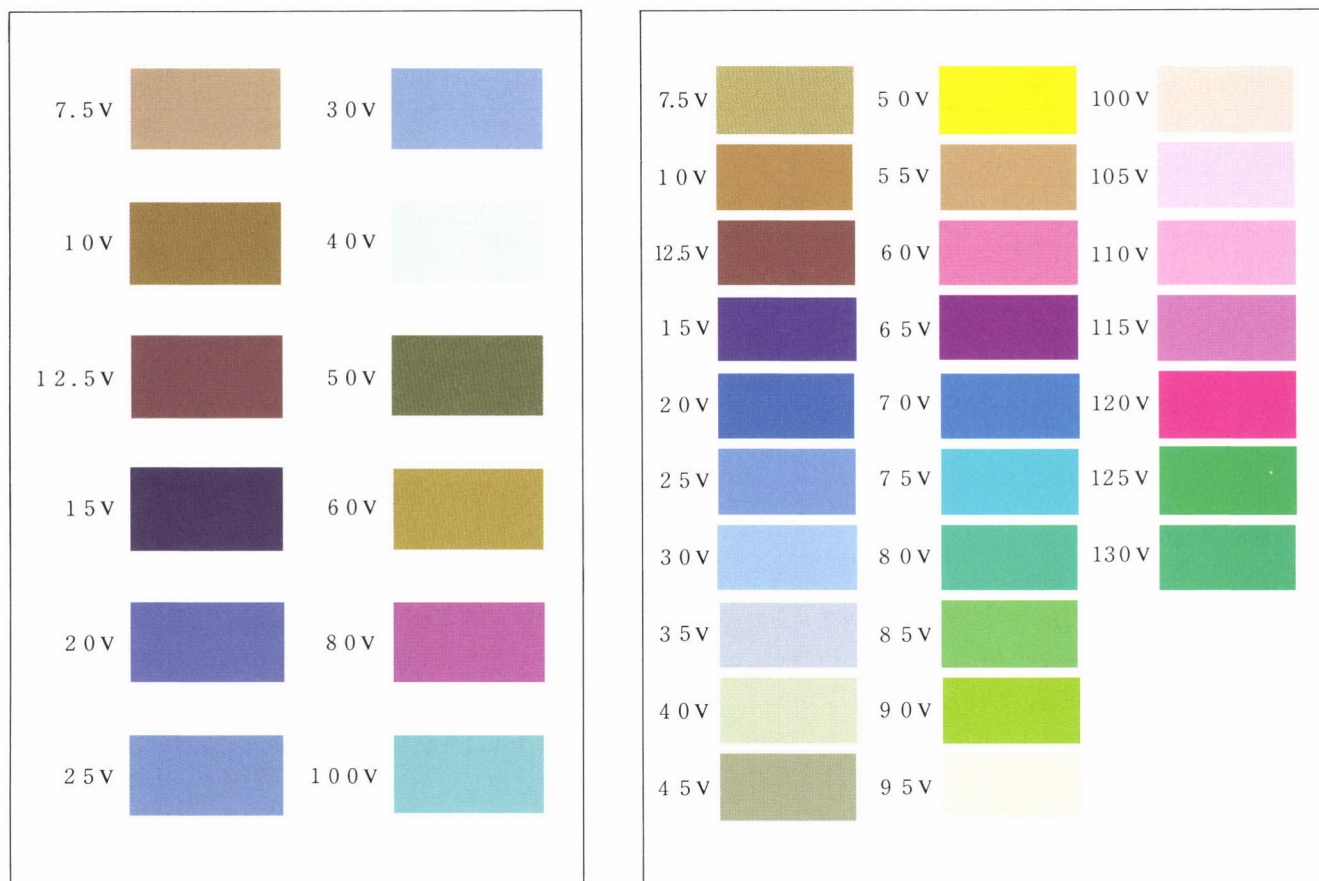


図4 酸洗発色、無酸洗発色の陽極酸化電圧による色の变化



図6 陽極酸化発色チタンを利用したモニュメントやアクセサリ

生産されている。図6に、当社が過去に陽極酸化発色チタンを紹介するために製作したモニュメントを紹介するが、特に、立体的なモニュメントとした場合、見る角度で微妙に色に変化するという、陽極酸化発色チタンの特徴を生かすことができる。

3.5.1 グラディーション発色

陽極酸化発色チタンの大きな特徴として、色を連続的に変化させるグラディーション発色が可能なことが上げられる。陽極酸化発色チタンの微妙で鮮やかなグラディーション発色は、塗装、染色などの他の着色法で模倣できないものであろう。

グラディーション発色の方法としては二つの方法がある。一つは引き上げ法で、陽極酸化液中にチタン材を全部浸漬しておき、低い陽極酸化電圧で全体を陽極酸化した後、チタン材を液よりゆっくり引き上げながら、電圧を高い陽極酸化電圧まで上昇することにより、グラディーション発色を得る方法である。電圧の上昇速度とクレーンによるチタン材の上昇速度を、パソコンで連動してコントロールすることにより、グラディーションのパターンをコントロールすることが可能であり、発色の再現性も良くなる。ただし引き上げ法では電圧の低い色から高い色への一方向の発色パターンしか作成できず、曲線状のグラディーションの発色も難しい。グラディーションのできる長さは陽極酸化槽の深さ以下である。

もう一つの方法は電極法で、チタン材を発色液中に浸漬しておき対極（一極）を目的グラディーションのパターンに応じて、形状、配置位置、極間距離を決めて配置することによりグラディーション発色を得る方法である。対極との距離が近い部分は高電圧側の色となり、対極との距離が遠い部分は低電圧側の色となる。必要によっては補助極、遮蔽板なども配置する。引き上げ法よりグラディーションのパターンの自由度が有り、対極の形状を工夫することにより、真ん中から周辺に広がるようなグラディーション、曲線状のグラディーションなども可能である。グラディーションのできる長さは、陽極酸化槽の長さまで可能となる。

3.5.2 模様発色、エッチング

陽極酸化とマスキング印刷、エッチング、筆電解などを組み合わせる事により、非常に色々なパターンの模様発色を得ることができる。

一番簡単な方法は最初の色を発色した後、耐酸マスキング剤をスクリーン印刷、フォトレジストなどを使用して部分的に塗り、その後、より高い電圧により陽極酸化することにより、マスキングの塗っていない部分だけを変化させ

る方法である。これを組み合わせることにより何色もの色を一枚の板中に発色することができる。マスキングして部分エッチングしたり、その後、陽極酸化を行うことにより、立体感のある模様の発色が可能である。鏡面板やショットブラスト材などを使用し、マスキング、エッチング、発色を組み合わせることにより、非常に変化にとんだ表面模様を得ることができる。グラディーション発色と模様発色の組み合わせも効果的である。

+電圧を加えたチタン材表面を、-電圧を加えた金属棒、板などを絶縁性の布などで包み電解液を染み込ませた筆状の陰極でこすることにより、発色を行うことも可能である。この方法では陰極に触れた近傍部分のみが陽極酸化され、発色の色は電圧、電解液濃度、筆の押し付け圧、時間などで決定される。筆電極でこすりながら電圧を変化すれば微妙なグラディーションによる色の濃淡を出すことが可能であり、陰極の形状を変化させることにより、色々な形状の模様をスタンプを押すようにして発色させることもできる。この方法は微妙な色の変化などを生かした美術的な発色方法として適している。

3.6 チタン合金の発色、異種材（金属、プラスチック、セラミック）との接合材の発色

チタン基合金の場合は、純チタンと陽極酸化電圧は少し変わるが、ほとんど問題なく発色可能である。

異種材との接合材の発色において、接合相手がプラスチック・セラミック材等絶縁体の場合、あるいは金属でもチタンと電気的に絶縁されている場合は、陽極酸化発色は比較的簡単にできる。ただし前処理・陽極酸化工程においての条件は、組み合わせ材にダメージを与えないような温度、使用薬品としなければならない。

異種金属との接合材であるが、相手金属がアルミニウム合金の場合は、陽極酸化浴をアルミニウム合金に対して、電流阻止型の皮膜を生成するような浴組成とすれば、可能となる。相手金属が陽極酸化により皮膜を生成せずに電解溶解するような金属の場合（ステンレス・スチール・銅等）、その金属をマスキングして完全に陽極酸化溶液から絶縁する必要がある、それはかなり難しいことである。

4 陽極酸化発色チタンの色ムラと色調管理

4.1 酸洗発色の色ムラと色調管理

酸洗発色の場合、材料表面を不純物が浸透した部分まで含んで完全に溶解してから陽極酸化すれば素材による色ムラは発生しない。しかし鏡面やヘアライン材の様な光沢の

ある表面を生かすために弱い酸洗とした場合は、研磨前素材の表面状態のムラ、研磨時の過熱などによる表面変質の影響が、色ムラとして現れる場合がある。この色ムラは高電圧での発色ほど現れやすい。表面状態のムラの無い素材を選んでもらうとともに、研磨時にできるだけ表面変質の生じないような条件で研磨をしてもらう必要がある。酸洗を強くした場合は色ムラの発生はほとんどなくなるが、素材のひどい光沢ムラ、深い傷などは酸洗だけで完全に消すことは難しく、美しい発色製品を得るためには、素材の選定、加工時の取り扱いには十分注意する必要がある。

酸洗発色の場合発色の色調は陽極酸化電圧によりほとんど決定され、彩度、明度の陽極酸化処理条件による変化は少ないため色調管理は行いやすい。ただし材料ロット、材料メーカーなどにより結晶粒度が変化した場合、酸洗後の光沢が変化し、結果として発色の色調も異なって見えてしまうことがある。

4.2 無酸洗発色の色ムラと色調管理

無酸洗発色においては素材表面の自然酸化皮膜の厚さのムラ、表面付着不純物などがあった場合、発色後に色ムラとなって現れてくる。したがって無酸洗発色の場合は、表面にそういったムラの無い材料を選定することが非常に重要である。

無酸洗発色の場合、発色の彩度、明度が、陽極酸化電圧だけでなく、材料ロット、陽極酸化浴組成、浴温等により大きく変化し、色調が変わってしまう。又酸洗発色と異なり、発色後の表面光沢は材料そのままの状態となり、材料の表面光沢のロット間の違いもそっくりそのまま発色後に現われ、色調の差として見える。無酸洗発色の色調管理は

非常に難しい。現状では無酸洗発色において材料ロットが違った場合、完全に同じ色調に発色することは難しく、熟練した作業者が色見本と比較して光沢、色相、彩度、明度等を総合的に判断して、一番近い色調となる陽極酸化処理条件を決定して発色している。色彩計ではこのような微妙な色調の管理は不可能である。

無酸洗発色の場合、陽極酸化条件により彩度、明度が変わるため、陽極酸化条件を変えることにより、発色の色調を彩度の高い色としたり、彩度の低い色としたりすることが可能である。建材においては彩度の高い色調ではなく、彩度の低い落ち着いた色調が求められる場合が多く、このことは有効に利用できる。

5 チタン表面処理における今後の課題

陽極酸化発色チタンは、その美しい色を生かして建材・モニュメント・装飾品等に広く使用されるようになって来たが、まだ歴史は浅く課題は多い。

発色チタンの色については、今後、白色・黒色・グレー色・低彩度の色等の発色方法の開発が必要であろう。現在黒は化学発色、グレー・白色は放電皮膜生成法などにより行う方法が発表されている。連続コイルラインに応用可能な方法が開発されれば、用途は広がるものと思われる。

今後色々な分野におけるチタンの用途が拡大するにつれ、機能的な目的（耐摩耗性・潤滑性・耐食性・絶縁性等）のための皮膜開発、安価な研磨方法（電解研磨・化学研磨等）の開発、チタン上の信頼性が高く簡単なメッキ方法の開発等が必要になってくるものと思われる。

(1996年12月25日受付)

▶ 国際純正・応用化学連合第14回化学熱力学国際会議 (14th IUPAC Conference of Chemical Thermodynamics) に出席して ◀

北海道大学名誉教授 横川敏雄

標記国際会議が去る8月25日～30日、大阪府豊中市の千里ライフサイエンスセンターで行われた。32カ国から600名余りの参加があり、生命科学から原子力にまたがるテーマの国際会議であった。日本学術会議他が主催し、日本鉄鋼協会・日本金属学会他25の学協会の後援で行われた。本会元会長森田善一郎氏は運営委員長・募金委員長として活躍された。

原子力材料に関する分科会が設けられているのが特徴で、双方の研究者に好都合で時宜を得ており、我々にも高温度での展開を俯瞰できた。電解質および非電解質溶液、状態図、界面、コロイド、データプロセスなどの8分科会の他、ガラス、イオン伝導体、環境問題、新材料などのWorkshopsが開かれた。直接鉄鋼精錬と結びつけられる材料は少ないが、あらゆる化学・材料の基礎である熱力学であるだけに鉄鋼研究分野の人たちの参加も望まれた。以下に印象に残った話題を紹介したい。

熱力学データブックで著名なF.D. Rossiniに因んだRossini記念講演はMITのM.A. Alberty教授による「化学熱力学におけるルジャンドル変換」と題するもので、要旨は次のようであった。熱力学の第1法則 $dU=TdS-pdV$ の独立変数 S , V を実験に都合の良い独立変数にするために、 $H=U+pV$, $F=U-TS$, $G=H-TS$ などにより変数を変換することが行われてきたが、これをルジャンドル変換という。化学平衡を含む系さらには電解質や蛋白質を扱うにはそれに適合した変換をすると例えば生化学では、 pH や ATP の濃度をも独立変数に選ぶことができる。熱力学的に健全で扱うのに都合の良い変数の組の選び方など基本に関わる示唆に富んだ講演であった。

室温の溶液に関しては二液相分離あるいは超臨界の付近の高温高压相の研究や電解質の濃い領域への拡張が主題のようで、実験方法の進歩や精密なデータの蓄積が印象的であった。また高温度に関連する化合物の信頼できる熱的データの上限が1500Kの段階にあることがわかった。

同じく全体講演に招待されたA. Pelton教授は原子力関連の多元系の熱力学モデルと状態図について述べた。多様な酸化状態をとる超ウラン元素を含む系の、酸素圧を計算式にどう取り込むかという討論があった。確かに一つの試練であろうと思われた。この分野ではデータベースや計算機シミュレーションについての分科会が設けられ、展示・デモンストレーションがさかんで、現在はPeltonらのFACTのほか、Gayeたちが構築し、いまはHack (Achen) が中心になっているデータベースSGTE、状態図中心のCALPHAD、わが国で構築されたMALT2などが活発な動きをしているようである。住友金属工業㈱植田昌克氏は高温の pH -電位図のデータベースについて発表した。

心配された猛暑もそれほどでなく、千里中央駅に接したライフセンターは肩張らず、また丁度良い大きさであった。東欧からの発表には特別の支援がされたとももれ聞いたが参加者が多く、夕方まで続いたポスターセッションを含め熱心な討論が印象的であった。

(1997年1月6日受付)

本会情報一覧

記事内容	掲載号
日向方斉メモリアル国際会議助成の募集案内	本号284頁
第7回鉄鋼研究振興助成（含む石原・浅田研究助成）募集案内	本号285頁
平成9年度重点研究募集要領	本号286頁
超清浄鋼研究会中間報告シンポジウム開催案内	本号287頁
社会鉄鋼工学会 自主フォーラムの発足と参加へのご案内	本号288頁
シンポジウム「局所的な構造・組成の評価と特性」開催案内	本号288頁
成果報告会「製鋼スラグの発生量低減と資源化」開催案内	本号289頁
出版案内（一般刊行図書）	本号300頁
理事、監事、評議員候補者氏名	3号203頁
新名誉会員および受賞者一覧	3号203頁
第23回鉄鋼工学セミナー受講者募集案内	3号205頁
本会会員への大学研究支援設備紹介事業のお知らせ	3号210頁
本会ホームページ開設のお知らせ	2号136頁
フォーラム「第2回ステンレス鋼の耐候性試験」開催案内	2号138頁
本会インターネット電子メールアドレスのお知らせ	1号 63頁
会員異動・変更連絡のお願い	1号 巻末
ISIJ International特集号「Fatigue,Cyclic Deformation and Microstructure」原稿募集のご案内	10号794頁
「鉄と鋼」「ISIJ International」投稿規程・執筆要領	6号442頁

学会部門

平成9年度重点研究募集要領

本会学会部門では大学等における鉄鋼研究の活性化のため、重点研究制度を設置しています。平成9年度分を下記要領にて募集します。応募希望者は下記申込先まで応募申込書をご請求下さい。

- 1.研究の目的：
重点研究制度で行う研究は、基礎的・基盤的な研究課題で、将来の鉄鋼技術への波及効果が大きいと考えられる重要テーマの調査・研究とする。
- 2.公募資格：
1) 研究の目的に該当する研究テーマを提案した日本国内の大学またはそれに準ずる研究機関に属する個人またはグループ。
2) 研究代表者及び研究分担者は鉄鋼協会正会員であること。
3) 本重点研究の研究経費を支給されている間は応募できない。
4) 本会の鉄鋼研究振興助成金受給者は応募できるが、本重点研究に採択された場合は助成金が打切られる。
- 3.研究期間：
2年以内。ただし、1年間の研究報告書作成期間を認める。
- 4.研究経費：
1) 助成金額の総額1500万円(採択2件以内)。ただし、重点研究の研究経費は設備備品費、消耗品費、旅費、謝金を含む。
2) 研究経費は各研究実施者に奨学寄付金として支給する。
- 5.成果報告：
研究代表者は各研究実施者の活動内容および研究経費使用状況をまとめ、研究期間中の年度末毎に学会部門会議に報告する。研究期間満了後には、研究成果報告会を開催し、研究結果報告書を学会部門会議に提出する。
- 6.応募要領：
1) 応募締切：1997年5月30日（金）
2) 応募方法：応募者は本会所定申込書に研究テーマ名、代表者名、所属、研究実施者、研究の目的、研究実施計画、研究予算、研究業績などを記して下記までお申し込み下さい。

行事等予定

太字は本会主催の行事

開催期日	行事（開催地）	締切	掲載号及び頁
1997年			
4月 4日	関西支部 総会・湯川記念講演会・懇親会（大阪）	1997/3/19	2号141頁
15日	フォーラム「第2回ステンレス鋼の耐候性試験」（東京）		2号138頁
16日	色材解析講座「環境と色材—酸性雨の影響と対策」（東京）		本号293頁
17日	第10回学協会共通問題に関する討論会（東京）	1997/4/5	3号220頁
18日	軽金属セミナー「最新の非破壊検査機器とその応用」（名古屋）		本号293頁
22,23日	第7回電子顕微鏡大学（東京）	1997/4/10	3号220頁
24,25日	HPI技術セミナー「石油タンクの防食技術と信頼性」（大阪）		本号293頁
5月 2日	シンポジウム「局所的な構造・組成の評価と特性」（東京）		本号288頁
19日	超清浄鋼研究会中間報告シンポジウム（東京）	1997/5/7	本号287頁
19日	成果報告会「製鋼スラグの発生量低減と資源化」（東京）	1997/5/12	本号289頁
21～23日	自動車技術展「人とくるまのテクノロジー展」（横浜）		本号293頁
23～25日	第28回塑性加工春季講演会（東京）	1997/2/7	1号68頁
24日	塑性加工シンポジウム「板材の成形限界線図（FLD）の最前線」（東京）		本号293頁
27,28日	最近の破壊力学とその応用に関する講習会（京都）		本号293頁
28～30日	第2回日本計算工学会講演会（東京）	1997/1/31	1号68頁
29,30日	超高温材料国際シンポジウム「新たな材料・プロセス」（宇部）		本号293頁
6月 10,11日	溶接技術基礎講座（東京）		本号293頁
17,18日	システム制御情報チュートリアル講座「ディジタルPID制御」（大阪・東京）		本号293頁
18～20日	第2回国際工業炉及び周辺機器展「人類の未来を創る熱技術」（東京）		2号145頁
24～26日	第9回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム（札幌）	1997/2/28	2号145頁
30～7月2日	溶接工学夏季大学「最近の溶接技術と高品質化」（大阪）		本号293頁
7月 3,4日	混相流シンポジウム'97（北海道）	1997/3/31	2号145頁
7,8日	防錆防食技術発表大会（東京）	1997/4/7	本号293頁
26～8月1日	第23回鉄鋼工学セミナー（蔵王）	1997/5/9	3号205頁
8月 1日	工学・工業教育に関する研究講演（東京）	1997/3/10	2号145頁
8～28日	産業技術歴史展（横浜）		3号219頁
27,28日	平成9年度技術士第二次試験（全国9都市）	1997/4/4	2号146頁
9月 10～12日	第3回エコマテリアル国際会議（つくば）		本号293頁
24～26日	第134回秋季講演大会（仙台）		
10月 12日	技術士第一次試験（全国9都市）	1997/5/16	本号294頁
11月 17～19日	溶接構造シンポジウム「新世代構造のための高強度鋼」（大阪）	1997/6/20	本号294頁
18,19日	第5回鋼構造シンポジウム（東京）	1997/5/16	本号294頁
1998年			
3月 22～25日	第2回世界製鉄会議（ICSTI'98）（トロント）	1997/2/28	1号63頁
1999年			
6月 13～18日	国際計測連合第15回世界大会（大阪）		本号294頁

編集後記

「ふえらむ」も2年目を迎え、記事構成、内容も皆様になじみ深いものになったと思います。好評を博している「入門講座」は、今月から計測編に入ります。「鉄の絶景」は国内各地の鉄鋼関連の紹介を行ってきましたが、今回は世界に目を向けた企画です。また、皆様の要望もあり、国内の鉄鋼関連の博物館、資料館の紹介も新規に企画検討しています。

希望に胸を膨らませて入会された新学生会員、夢いっぱいの新社会人にとって、また鉄鋼技術を支える技術者にとって、本

誌紹介、解説記事が鉄鋼技術を共通のキーワードとして、研究室、職場でのコーヒープレイクの話題として取り上げて頂けることを願っています。

編集委員会も新体制のもと、気分も新たにいろいろな角度からの切り口で、鉄鋼関連の技術情報をタイムリーに発信することを使命に努めています。

(T.K.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

副委員長 近藤 隆明 (NKK)

委員	石井 邦宜 (北海道大学)	石井 満男 (新日本製鐵株)	梅本 実 (豊橋技術科学大学)
	大河内春乃 (東京理科大学)	上村 正 (いすゞ自動車株)	川田 豊 (株神戸製鋼所)
	北村 高士 (株ニューマーケット)	小林 正人 (社日本鉄鋼連盟)	佐藤 駿 (住友金属工業株)
	手塚 誠 (社日本鉄鋼協会)	中村小夜子 (社日本鉄鋼協会)	成島 尚之 (東北大学)
	古田 修 (愛知製鋼株)	丸山 俊夫 (東京工業大学)	柳 謙一 (三菱重工業株)
	山下 孝子 (川崎製鉄株)		

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000円 (消費税本会負担)

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan Price : ¥2,000 (Free of seamail charge)

1996年5月10日第三種郵便物認可 1997年4月1日印刷納本・発行 (毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館内 島田 仁

印刷人/印刷所 東京都新宿区三栄町20-3(新光オフィソーム)株ニューマーケット

発行所 社団法人日本鉄鋼協会 〒100 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館3階

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021(代)

学会部門事務局: 03-3279-6022(代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023(代)

FAX: 03-3245-1355(共通)

郵便振替 口座東京 00170-4-193 番 (会員の購読料は会費に含む)

© COPYRIGHT 1997 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

本誌に掲載された著作物を複写する場合は、本会が複写権を委託している次の団体に許諾を受けて下さい。

学協会著作権協議会

〒107 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階 TEL&FAX 03-3475-5618

また、本会は上記団体を通じて米国Copyright Clearance Center, Inc. と、また本会独自に米国Institute for Scientific Informationと複写権に関する協定を結び、双方に本誌を登録しています。従って、米国において本誌を複写される場合は、次のいずれかの機関の指示に従って下さい。

Copyright Clearance Center, Inc.

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA TEL 001-1-508-750-8400 FAX 001-1-508-750-4744

Institute for Scientific Information

3501 Market Street Philadelphia, PA 19104 USA TEL 001-1-215-386-0100 FAX 001-215-386-6362

表紙デザイン 出澤 由野

ふえらむ Vol.2 No.4 広告目次

表2 住友金属テクノロジー(株)

試験分析サービス

後1 本誌広告目次

(株)協会通信社

広告案内

2 (株)大同分析リサーチ 試験分析サービス

表3 日本ミンコ(株)

サンプル・サンブラ

表4 日本アナリスト(株)

各種分析装置

本誌広告取扱 **協会通信社** 〒104 東京都中央区銀座7丁目3番13号
TEL.03(3571)8291・FAX.03(3574)1467

*Please allow us to advertise
your excellent products and technology.*

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANE

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

日本鉄鋼協会講演論文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

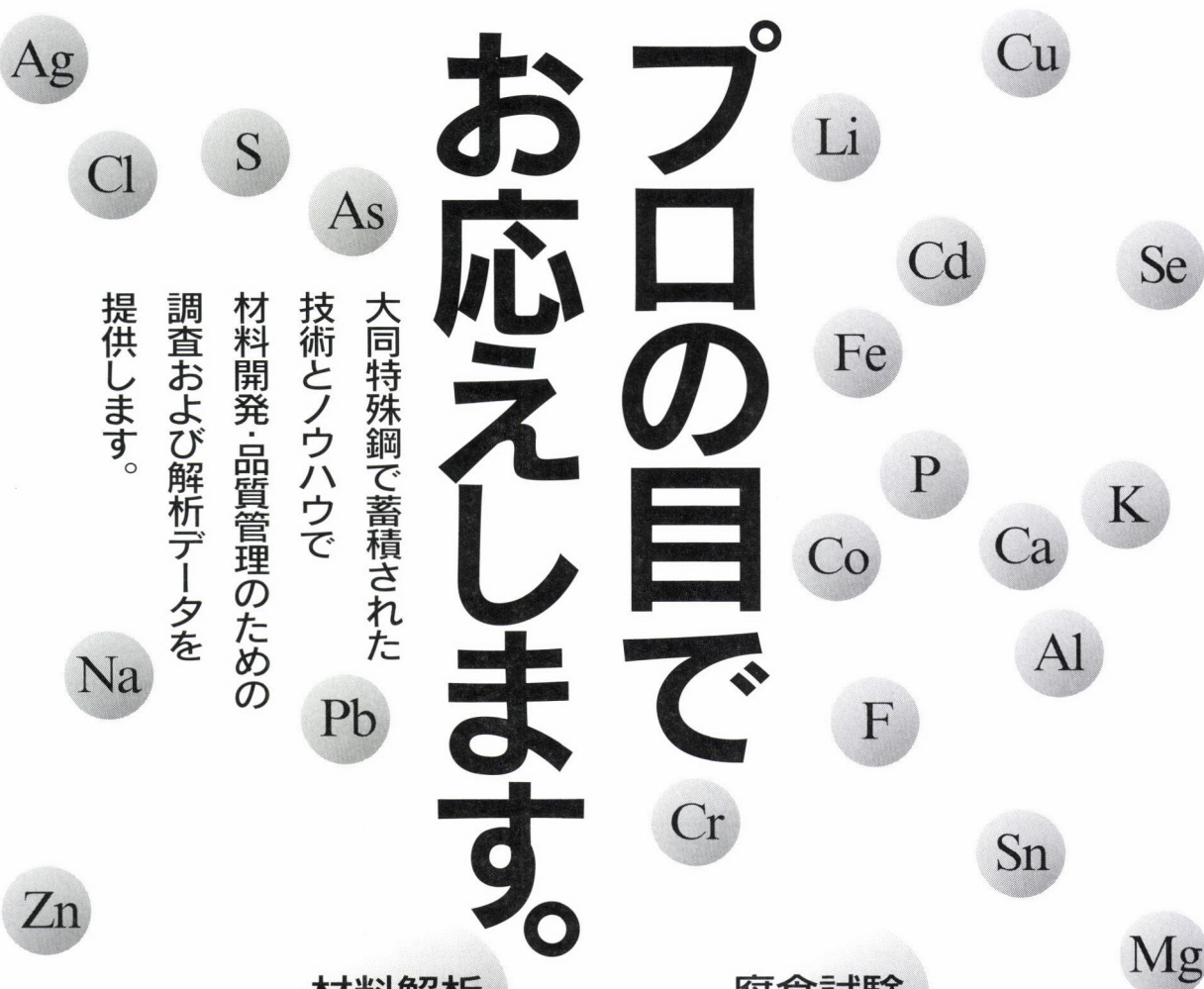
Spring: No. 1, 2, 3. Autumn: No. 4, 5, 6.

Circulation: 3,000 Copies each. Written in Japanese.

*For more Information,
Write or Facsimile.*

**ADVERTISING AGENCY for
The Iron and Steel Institute of Japan
KYOKAITSUSHINSHA CO., LTD.**

**3-13, GINZA 7 CHOME CHUO-KU,
TOKYO 104 JAPAN
Tel. 03-3571-8291 • Fax. 03-3574-1467**



材料解析

実施例／各種材料の
破断原因調査

腐食試験

実施例／金属、ステンレス等の
沸騰試薬腐食試験

分析調査

化学成分分析

実施例／鉄鋼、非鉄金属の
成分分析

環境分析

実施例／産業廃棄物の分析
工場排水の測定

大同特殊鋼グループの総合試験分析研究会社



株式会社 大同分析リサーチ

DAIDO BUNSEKI RESEARCH, INC. ; DBR

〒457 名古屋市南区大同町2丁目30番地 大同特殊鋼株式会社技術開発研究所内

TEL 052-611-9434・8547 FAX 052-611-9948

E-MAIL:jshimogo@dbi.daido.co.jp

Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

品質向上のパイオニア

■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)



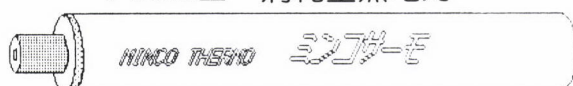
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

炉外精錬装置 脱ガス装置 電気炉 レードル タンディッシュ CCモールド
高炉出鉄樋 トピードカー 溶銑予備処理などあらゆる場所から採取できます

■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

PT301型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968

白金・白金ロジウム

■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。
化学分析用、発光分光分析用、蛍光X線分析用、英国BAS、米国NBS、
BRAMMER、ALPHA、MINCO、カナダALCAN、ドイツBAM、
フランスIRSID、スウェーデンSKF、他 ご用命下さい。

日本ミンコ株式会社

本 社 東京都新宿区西新宿6丁目6番3号
新宿国際ビル新館4階
TEL03(3342)8728 〒160

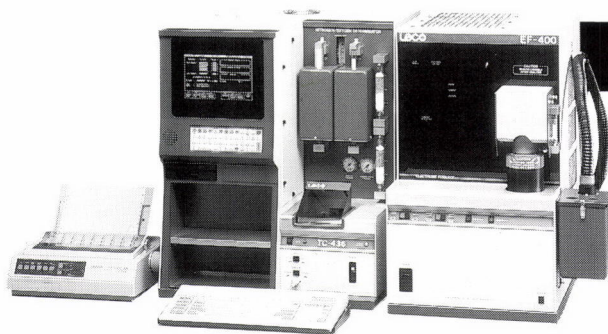
お問い合わせは

営業本部 埼玉県三郷市谷中388番地1
三郷工場 TEL.0489(52)8701~4 〒341
FAX.0489(52)8705

MINCO U.S.A. (WISCONSIN)
MINCO GERMANY (DÜSSELDORF)
MINCO AUSTRALIA (WOLLONGONG)



金属・鉱石・無機物・セラミック中 C・S・O・N・H 分析装置各種



TC-436

酸素窒素同時分析装置

(鉄鋼, 非鉄金属, 電子材料, 炭素繊維等)
各種セラミックス (Si_3N_4 , AlN , BN , SiC , TiC)
 SiO_2 , $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_{7-y}$ 等)

感 度: 0.1ppm 分析時間: 標準40秒
分析範囲: (1g試料) (50mg試料)
酸素: 0~0.1% 酸素: 0~20%
窒素: 0~0.5% 窒素: 0~45%

電子天秤: プリンター内蔵
オプション: 昇温抽出プログラム

姉妹機

TC-136 O-N分析 TN-414 N分析
RO-416 O分析 TN-114 N分析

CS-444

炭素硫黄同時分析装置

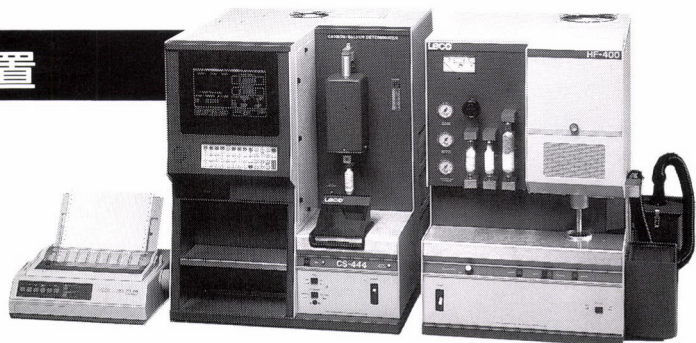
(鉄鋼, 非鉄金属, 特殊合金, 鉱石等)

感 度: 0.1ppm 分析時間: 標準30秒
分析範囲: (1g試料) 炭素: 0~6.0%
硫黄: 0~0.35%

電子天秤, プリンター内蔵
オプション: オートクリーニング
オートローダー, ルツボ空焼器

姉妹機

CS-244 C・S分析 EO-12 C分析
IR-412 C・O分析 IR-432 S分析
WR-112 C分析 IR-232 S分析



RH-404

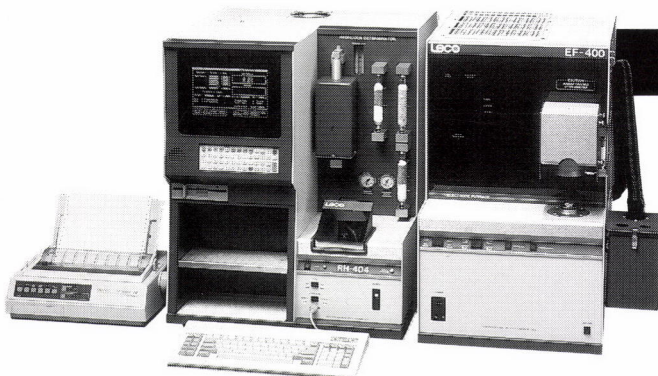
水素分析装置

(鉄鋼, 銅, チタン等)

感 度: 0.01ppm 分析時間: 通常80秒
分析範囲: 0.3~250ppm (試料1gの場合)

姉妹機

RH-402 水素分析
DH-103 水素分析



常設展示中 分析方法その他
御相談承ります。



日本総代理店
LECO CORPORATION
U.S.A.

日本アナリスト株式会社



ISO-9002
No. FM 24045
(BSI - British Standards Institute)

本 社 〒141 東京都品川区西五反田 3-9-23 ☎(03)3493-7281代 FAX(03)5496-7935
大阪支店 〒560 大阪府豊中市岡上の町 2-6-7 ☎(06) 849-7466 FAX(06) 842-2260
九州営業所 〒804 北九州市戸畑区汐井町1-1(戸畑ステーションビル) ☎(093)884-0309 FAX(093)873-1190