平成8年5月10日第三種郵便物認可　平成9年5月1日発行（毎月1回1日発行）

ISSN 1341-688X

ふぇらむ

Volume 2
No.5 1997
（社）日本鉄鋼協会会報

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

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

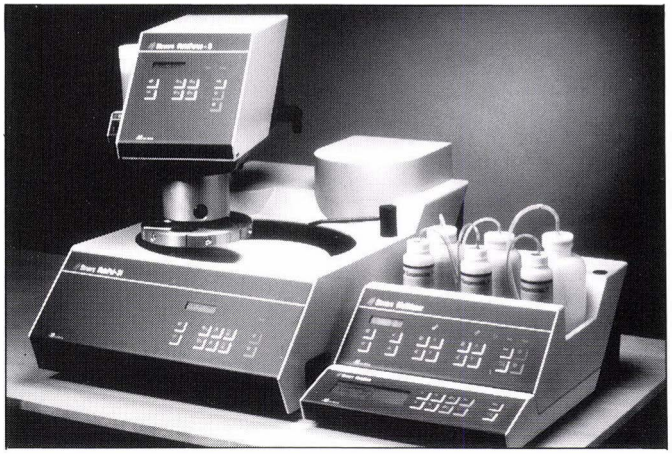
Struers

試料自動研磨/琢磨用
卓上型強力システム

ロトシステム 300

ロトシステム 300は多くの試料又は大形試料の処理を効果的に実施する事が出来る強力な準備システムです。

ロトシステム 300は次のモジュールで構成されています。



ロトポール-31 強力な研磨/琢磨装置

- 堅牢な構造
- 強力な2速モーター(150/300r.p.m)
- 300mm径の円板使用
- ディスク冷却システム内蔵

ロトフォース-3 試料回転機

- 200mm径の試料板が取り付けられる
- 大量の試料や大形の試料を取り付けて準備することが出来る

マルチドーザ 自動定量供給装置

- ダイヤモンド懸濁液、ルーブリカント琢磨用酸化物懸濁液の自動供給

ロトコム 記憶・制御装置

- 100種の準備法とパラメータを記憶
- 各モジュールを制御
- メタログガイド中の10種の標準試料準備法が含まれている

最初少数のモジュールを組み合わせたシステムから出発して必要に応じモジュールを追加する事で拡張出来ます

ロトシステムは他にスマートなロトシステム 250があります

■準備作業のパラメータは総てマイクロプロセッサーで制御され試料は常に同じ条件の下で加工されますので高い再現性が得られます

■システムを構成するモジュールの種類は多く、要求に合わせ多様な組み合わせが可能なので柔軟性に富んでいます

ロトシステム 300 **資料請求票**

✂

☐ 詳細カタログがほしい
☐ 価格が知りたい

氏　　名＿＿＿＿＿＿＿＿
所　　属＿＿＿＿＿＿＿＿
会 社 名＿＿＿＿＿＿＿＿
住　　所＿＿＿＿＿＿＿＿
電　　話＿＿＿＿＿＿＿＿
掲載誌名＿＿＿＿＿＿＿＿

MARUMOTO

RADIOMETERグループ
丸本工業株式会社

本　　社　〒104 東京都中央区築地二丁目12番10号 TEL 03(3546)8051
FAX 03(3546)7980
大阪営業所　〒550 大阪市西区北堀江一丁目6番5号 TEL 06 (532)2661
FAX 06 (532)1977
名古屋営業所　〒464 名古屋市千種区内山三丁目17番4号 TEL 052(732)1862
FAX 052(732)2392

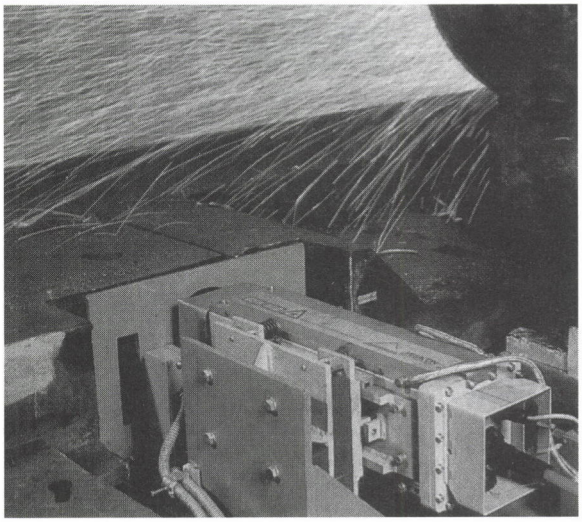
15-0211

ドイツ／メザコン社
高精度レーザー測定器

MESACON
GESELLSCHAFT FÜR MESSTECHNIK MBH

メザコン社のレーザー測定器は、優れた耐環境性能（水、ダスト、高温、振動等）を有しH型鋼、棒鋼、ワイヤの熱延ラインに於いて、非接触形状・寸法測定を行います。駆動部がなく回転式に比べメンテナンスフリーのレーザー計測器です。

☆レーザー長さ計、速度計　LV503型



主仕様例

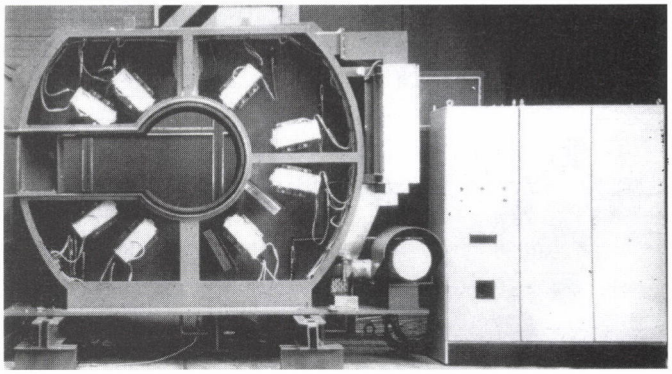
- 測定範囲：0～90m/sec又は
  −45～＋45m/sec（オプション有り）
- 焦点距離（許容距離変動）：
  1000（±50mm）又は2000（±100mm）
  （偏光システムにより近傍設置も可能）
- 測定精度：±0.05%（1000±50mmタイプ）
  ±0.10%（2000±100mmタイプ）
- 被測定物温度：最高1200℃
- 応答時間：1ms
- 光　　源：He／Neレーザー
  5mW（クラス3B）

☆オンラインレーザー形状測定装置　Mesameter P型

主仕様例　右図装置の場合

- ライン速度：最大10m／sec
- 総合精度：±0.1mm
- 演算速度：0.01sec以内
- レーザー測定器：DS2型

応用例：型鋼寸法測定
　　棒鋼寸法測定
　　スラブ寸法測定（オフライン）



MESAMETER P
（ドイツPreussag社納入のH鋼形状測定装置）

これからも世界の先進技術をご紹介してまいります。

日本総代理店
株式会社 マツボー　プラント2部
〒105 東京都港区虎ノ門3丁目8番21号
TEL.03-5472-1746　FAX.03-5472-1740

国内メンテサービス
株式会社 タウ技研
〒224 神奈川県横浜市都筑区佐江戸町181番地
TEL.045-935-0721　FAX.045-935-0731

JISハンドブック

'97年版45冊 全62冊

《1997年版の特色》

★鉱工業の各業態別JISを厳選・収録。
★新規制定規格と改正規格を網羅した最新のJIS規格集として一層充実。
★ISO 9000に基づく品質システム、ISO 14000に基づく環境マネジメントシステム等に関するシステム構築、審査登録に必須のJIS規格を収録した「適合性評価」を新たに刊行。('96年12月発刊)
★製造物責任(PL)における重点対応策の一つである製品安全に関するJIS規格と国際規格を収録した「製品安全」を新たに刊行。('96年12月発刊)
★利用の便を配慮した"参考・付録"がさらに充実。

0 JIS総目録 ¥4,000	10 ★環境測定 ¥9,100	21 安全-96 ¥5,922	31 化学分析 ¥5,900	41 金属分析(非鉄編)-96 ¥8,447	55 情報処理〔ハードウェア編〕 ¥12,000
1-1 ★★鉄鋼 I〔用語/検査・試験/特殊用途鋼/鋳鍛造品/その他〕 ¥4,000	11 ★★プラスチック ¥10,700	22 油圧・空気圧 ¥6,700	32 ポンプ ¥6,000	42 ★電気計測 ¥8,200	56 情報処理〔ソフトウェア編〕 ¥9,200
1-2 ★★鉄鋼 II〔棒・形・板・帯/鋼管/線・二次製品〕 ¥4,200	12 石油 ¥7,100	23 放射線(能)-96 ¥6,408	33 色彩-96 ¥4,854	43 熱処理 ¥7,100	57 情報処理〔セキュリティ技術・データ通信・文書通信編〕 ¥6,800
2 ★★非鉄 ¥6,000	13 試薬-96 ¥8,155	24-1 建築-95〔材料編〕 ¥6,408	34 ★金属表面処理 ¥6,500	44 ガラス-93 ¥4,757	58 情報処理〔用語・符号・データコード編〕 ¥7,100
3 ★ねじ ¥5,600	14 ★★品質管理 ¥5,400	24-2 建築-95〔試験・設備編〕 ¥6,408	35 標準化 ¥6,500	45 耐火物-93 ¥4,757	59 情報処理〔プログラム言語編〕 ¥13,000
4 ★工具 ¥7,800	15 製図 ¥5,800	25 生コンクリート-96 ¥3,981	36 セラミックス ¥7,700	46 計測標準-95 ¥4,175	60 情報処理〔OSI上位層編〕 ¥9,200
5 ★★機械要素 ¥6,700	16 ★★溶接 ¥6,500	26 土木 ¥7,400	37 FAシステム〔ロボット・NC・その他〕 ¥8,900	47 ボイラ・圧力容器〔試験/検査/法規編〕-96 ¥7,961	61 非破壊検査 ¥5,900
6 ★配管 ¥7,900	17 物流・包装 ¥8,600	27 ★★自動車 ¥9,200	38 紙・パルプ ¥5,000	48 ボイラ・圧力容器〔構造/部品編〕-96 ¥8,544	62 コンクリート製品〔土木関係〕 ¥5,800
7 ★電気 ¥9,300	18 図記号-96 ¥5,922	28 ★機械計測 ¥5,400	39 光学 ¥6,000	53 クリーンルーム-95 ¥4,272	64 適合性評価 ¥3,500
8 ★★電子(試験方法/オプトエレクトロニクス編) ¥9,000	19 ゴム ¥7,700	29 ★塗料 ¥6,500	40 金属分析(鉄鋼編)-96 ¥7,767	54 繊維-96 ¥5,534	65 製品安全 ¥3,400
9 ★★電子(部品編) ¥7,600	20 接着 ¥6,500	30 工作機械 ¥9,400			

＊□(アミ)のかかった既刊本は1997年版が出ませんので、続刊として発売中です。
＊表記定価には消費税が含まれておりません。
＊★★印は英訳版('97年版)刊行予定　★印は英訳版発売中
＊No.49、50、51、52、63は欠番です。

財団法人 日本規格協会
〒107 東京都港区赤坂4丁目1－24
TEL. 03(3583)8002 FAX. 03(3583)0462

ふぇらむ
Vol.2 (1997) No.5

CONTENTS

目　次

Techno Scope

3Kロボットの可能性と展望

ハードな作業環境から人を解放する技術

これまで産業用ロボットは、
おもに大量生産用の反復作業に適しているとされてきた。
しかしここへ来て、人に代わって
過酷な仕事をこなしてくれる3Kロボットや、
人が活動できない場所で作業が可能な極限作業ロボットなど、
より複雑な環境に適応し、活動できるロボットの開発が進んでいる。
人に代わってハードワークに挑むロボットたちの
現況と将来の可能性を概観してみる。

写真：スパナを使って仕事をする原子力施設用極限作業ロボット

ロボット大国の次世代を占う

極限作業ロボットの潮流

1990年に終了した通産省の大型プロジェクト「極限作業ロボット」では、原子力発電所や海底油田、石油生産施設での火災時に活躍するロボットの実証モデルが作られた。プロジェクトでは、多くの技術的成果を得ながらも、実用性の高い極限作業ロボットは完成できなかったようである。しかし極限作業ロボット開発ムードの中で、建設土木など、これまでロボットが入りこめなかったジャンルへの導入が進展した。さらに宇宙開発の進捗とともに、衛星軌道上など宇宙空間でもロボットの実用化が始まろうとしている。

バーチャルリアリティ感覚で操作できる作業代替ロボット

現在日本国内で稼働しているロボットは、世界中で使われているものの約6割をこえるといわれている。人口比率ではわずか2％の日本人が、半分以上のロボットを占有しているわけで、確かに日本はロボット大国といえるかもしれない。

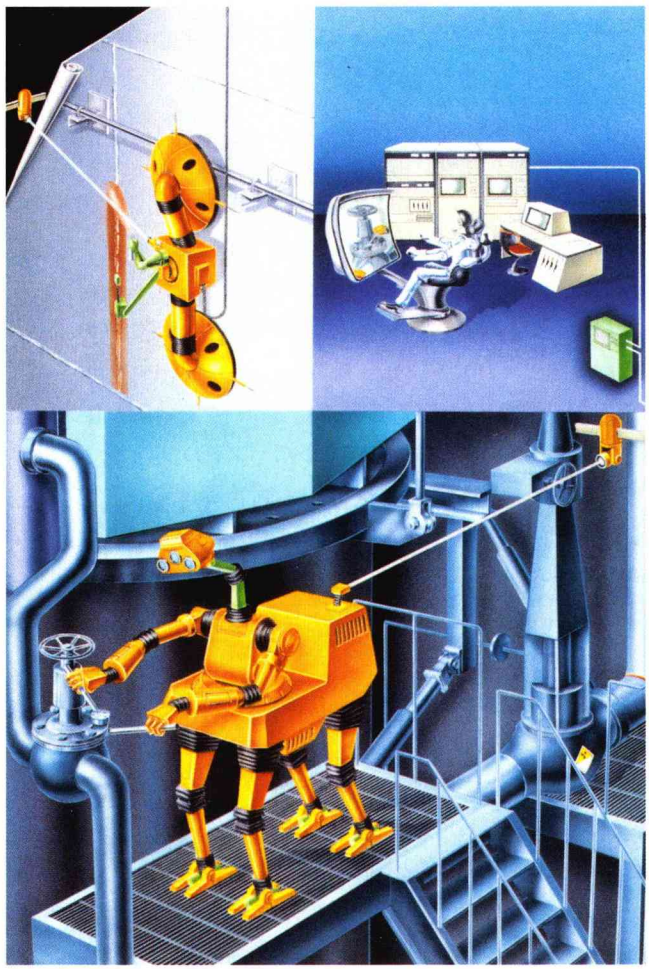
これまでロボットの守備範囲といえば、大量生産を前提とした単調な反復作業が、その主なものだった。しかしロボット技術の発達とともに、人にしかできないと考えられてきた一度きりの複雑な作業も自動機械に代替させたいという要請が高まっている。とくに労働としては、ハードな「3K」といわれる部類の仕事で、その声が強い。背景には、かつてない急速な高齢化の進展とともに、若年労働力が減少し、危険や過酷さをともなう、いわゆる「3K」労働の担い手が不足しつつあるという現状がある。将来、建設土木や林業などで、「現場」の労働力不足が深刻化することも、必然的に予想される。

そうした不足分の労働力を補うために、また、建設土木や林業などの労働環境、ひいてはイメージそのものを変革していくうえでも3Kロボットの実現が望まれているのである。

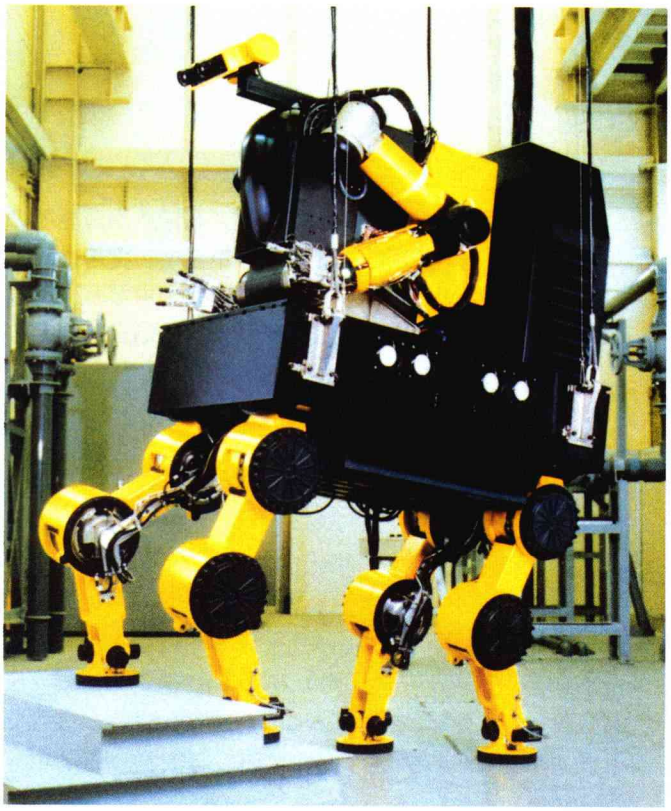
過酷な環境での作業を代替するロボットの研究ということでは、通産省の大型プロジェクトで200億円の予算をかけて研究された「極限作業ロボット」を思い起こす必要があるだろう。1983～1990年までの8年をかけて実施された同プロジェクトでは、「原子力ロボット」「海洋ロボット」「防災ロボット」の主に3つの視点から、極限環境下で、人に代わって作業をするロボットの研究・開発が行われた。

第1の「原子力ロボット」（写真）は、原子力発電所での放射線環境下で装置の点検・補修作業を行うためのもので、4脚移動式のボディに2本の腕と運動立体視システムの目を備え、ちょうどギリシア神話に出てくる半人半馬のケンタウロスを連想させるような外見をしている。腕の先には人の手そっくりの4本指のマニピュレーターがあり、テレイグジスタンスとよばれる遠隔操作で手先を使ったかなり器用な作業を代替させることができる。指先には触覚を操縦者にフィードバックするための触覚センサーが取り付けられており、VR（バーチャルリアリティ）感覚で操作ができる。ネジの取り付け作業など、細かな作業などもお手のものだ。コントロールのためのデータ伝送は、光ビームによって空間を介して行う「光空間伝送システム」が採用されている。

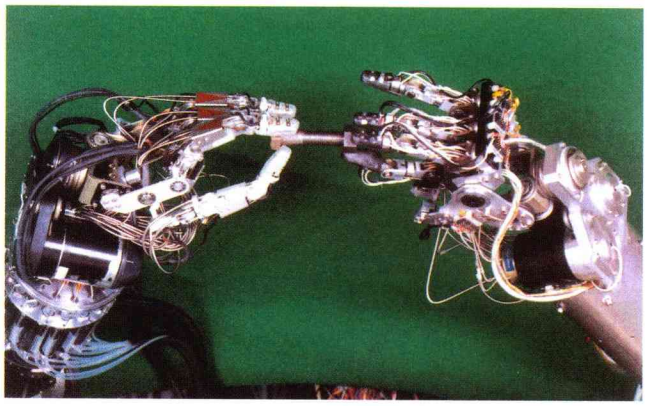
この4脚式のものに加え、原子力発電所用には、吸盤を使って壁面を這うように移動するロボットも開発された。高所での作業を想定したもので、吸盤で壁面に張り付いたまま車輪を使って移動をするため、いわゆる吸盤部分には低摩擦高気



原子力ロボットの作業イメージ図



原子力ロボットの本体（左）と操縦装置（右）



ボルトを回す原子力ロボットの手

密タイプのシールが採用されている。壁の段差や配管などは、2つある吸盤を交互に用いて「しゃくとり虫」のようにまたぐことで通過するしくみである。

海洋開発に期待される海中作業ロボット

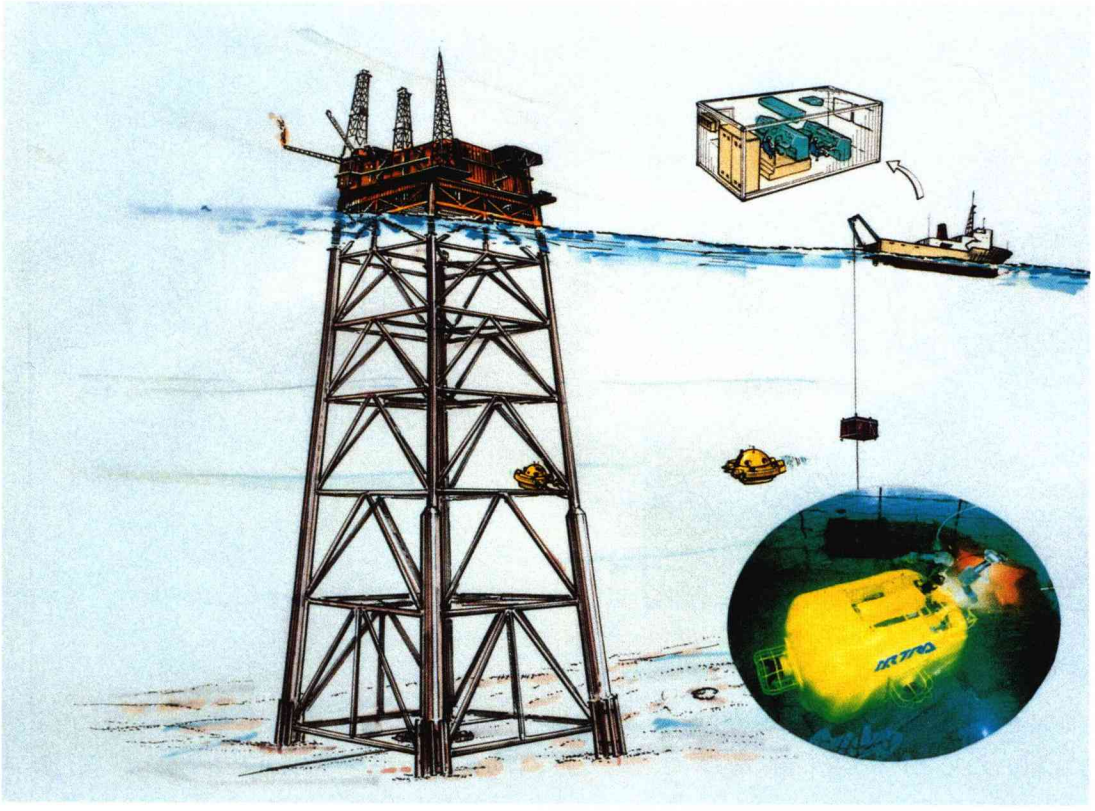
第2の「海洋ロボット」は、海底での石油生産を支援することを主な目的とするもので、海中での3次元走行を制御するために、独自のバリベック・プロペラと小型で信頼性の高い光ファイバージャイロを開発・搭載している。水中での作業に際しては、固着脚といわれる吸着盤のついた支持脚を作業対象物にくっつけて自らを固定し、多指ハンドのついた2本のマニピュレーターを駆って仕事をする。固着脚は海中生物が付着した面にも吸い付けなくてはならないことを想定し、独自の技術が開発された。

プロジェクトでは海底油田の開発に利用することを前提としていたが、海底で使用されるロボットという概念は将来、海底資源の調査や開発という場面でも必要とされるであろうことは、想像に難くない。よくいわれるように海底には陸に比べケタ違いに豊富なマンガン団塊やコバルトリッチクラストなどの鉱物資源、メタンハイドレード（シャーベット状メタン）などの有用資源が眠っているといわれる。メタンでいえば、日本近海だけでも推定で約100年分の天然ガスに相当する量が埋蔵されていると考えられる。こうした海洋資源の開発には、いずれ「極限作業ロボット」が必要とされてくるだろう。

1995年、科学技術庁・海洋科学技術センターの無人探査機「かいこう」は、マリアナ海溝のチャレンジャー海淵に潜航し、10,911.4mという深度では世界で初めての写真撮影と標本採取に成功した。遠隔操作によって2本のマニュピュレーターを動かす「かいこう」のビークル（作業船）は、一種の極限作業ロボットといえるだろう。先端的な調査・研究レベルでの話ではあるが、極限作業ロボットの先駆けといえるものが、すでに実用化されていると考えることもできるだろう。将来の資源利用という観点からすれば、調査研究用のマシン以上に、より自由自在に作業ができ、事業としての採算性を満たすものが必要になってくるだろう。

不可欠ないっそうの技術革新

第3の「防災ロボット」は石油生産施設での災害を想定したもので、火焔の立ち上ぼる中で、被害状況を把握し、災害拡大の防止活動等を行おうという目的で構想されたものである。他の2種と同様、立体視覚と操作のためのマニュピュレーターを備え、6脚6輪の移動機構を駆使して障害物を「またぐ」



海洋ロボットの実証モデルと
作業イメージ図

ことができるように設計された。

以上3種のロボットがそれぞれに研究され、最終的には実証用の試作品が製作されたわけだが、結果からいうと、人間に代わって作業ができるほどのロボットを完成させるところまでは到達できなかったというのが実情のようである。ただし、研究にともなってさまざまな要素技術が開発されており、それは基礎技術の蓄積へとつながった。

たとえば、プロジェクト関係各社ではロボットの動力源となるアクチュエーターの開発に力を注いだが、その結果従来のものより大幅に小型化された効率のよいアクチュエーターの技術が生み出されたし、ロボットを操作するための遠隔臨場制御技術（テレイグジスタンス）も研究が進んだ。またプロジェクトの8年間で、特許約500件、実用新案約60件が得られた。

プロジェクトそのものの成果はあったものの、人間の労働に代わることのできる実用的な「極限作業ロボット」の実現には、さらに動力装置や各種システムなどの小型化、操作性の向上など、さまざまなブレイク・スルーが必要とされそうである。

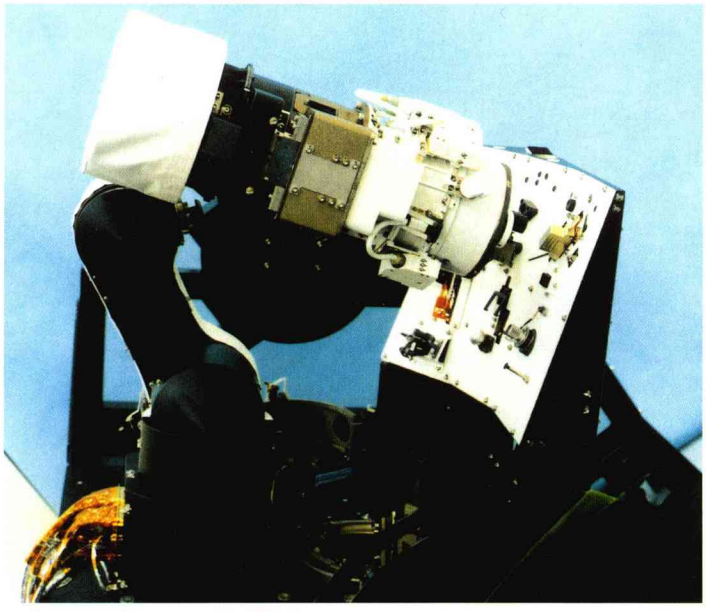
宇宙空間という極限環境で活躍するロボット

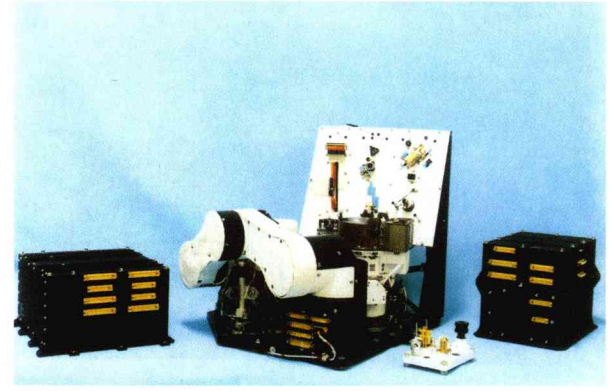
将来、極限環境の大きなジャンルとして浮上してくるものといえば、やはり宇宙開発だろう。宇宙空間で使われるロボットの実例ということでいえば、NASDA（宇宙開発事業団）が今年11月に打ち上げ予定のETS-7（技術試験衛星Ⅶ型）には、ETL（通産省・電子技術総合研究所）の宇宙ロボット用高機能ハンド（ARH＝The Advanced Robotic Hand System）の実証実験用モデルが積み込まれる。

ARHはアームの先に筒状のハンドが取り付けられたもので、親指に当たる直動指と2本の回転指の計3本の指を持ち、これまでは「人の手」で行われてきた宇宙空間での精密作業を、代替することができる。

実証実験では、ボルトの着脱、電気コネクターの付け替え、浮遊部品の捕獲、太陽電池セルとMLI（断熱材）の展開、ワイヤー操作が行われる。宇宙空間で滞りなく仕事ができるかどうかを試すわけである。さらに以上に挙げたハンド単独の実験の後、より大型のアームの先にハンドを装着しなおし、試料交換、電気コネクター着脱といった実験が行われる。

ARHの操作は、地上から主にキーボードとマウスを使って行われるが、カメラを見ながらの遠隔操作となるため、指令から作動まで、加えて作動状況が地上に写し出されるまでの間に電波の往来や中継による遅延が出る。ARHの特徴はこの種の遅れをカバーするため、システム自体にある程度の自律性を持たせている点にある。はるか宇宙空間にあるロボットが指示に対してリアルタイムに対応していたのでは、タイム・ラグが大きすぎて、スムーズな作業はおぼつかないからだ。さらに地上では、カメラからの映像と並行し、地上から送った指示に対して、現在ロボットがどう動いているかをプログラムにより画像化する装置も併設している。そうしたいわば3重のシステム的なフォローによって、距離による時間差を埋めようというわけである。





ARHのシステム構成

ETS-7で打ち上げられる宇宙ロボット用高機能ハンド（ARH）

「80Wという限られた太陽電池の電力で作動する省電力型・軽量設計、しかも打ち上時の20Gという振動に耐えるものとしなければなりませんでした」ARHの開発に当たった富士通宇宙開発推進室の三上龍男課長は、開発時にこえねばならなかった技術的なハードルについてそんなふうに語る。ARHは無重力下で、きわめて少ない電力で作動するように設計されているため、地上では重力が妨げになって、補助用の糸などで吊り上げなければ動かしてみることもできない。宇宙空間に行って「ぶっつけ」本番で動かしてみるのが、本格的な使用環境下での最初の作動テストになるわけだ。また真空に近い地球軌道上では、潤滑油は蒸発してしまい、使うことができないため、ロボットの稼働部分には二硫化モリブデンによる個体潤滑技術が採用された。素材は軽量化への要請から、アルミとマグネシウム合金が主体となっている。

「この前、アメリカでハッブル望遠鏡の保守の際に、宇宙飛行士を送って行いましたね。ああいう場合にも、わざわざ人を行かせるようなことをしなくても、ロボットで代行できるようになればそれだけリスクも少なくなりますね」（前出・三上課長）

現状、人工衛星の寿命切れは、ほとんどが燃料がなくなって軌道が下がってしまうことによるという。もし宇宙ロボットを乗せた補給衛星が、燃料切れになった衛星を次々に回って、燃料を補給できれば、衛星の寿命をもっと延ばせる可能性がある。採算を取るためには1基の保守衛星で多数の衛星をカバーする必要があるが、今後通信用などの目的で急速に衛星が増えていくことを考えると、ありえない話ではないかもしれない。

3Kロボットは人を苦役から解放する手段となる？

ロボットという言葉はチェコの国民的作家カレル・チャペック（1890～1938年）が書いた『R.U.R』という戯曲に由来する。戯曲では人が自分たちの労働を代替させるために海の成分から造り出した人造人間たちが活躍する。その人工有機体たちの名前－Czech robotonik serf－が転訛し、ロボットという呼称が生まれた。最初の概念が生まれた時から、ロボットは人が労働からのがれるために作り出した何者かであったわけだ。

日本では、国民的漫画家ともいうべき手塚治虫が、ロボットを一般に広く知らしめることに貢献した。『鉄腕アトム』の副主題歌である『ロボットマーチ』には、「飲まず、食わず、働く」「暑さ、寒さ、平気」なものとしてロボットが謡われている。エネルギーを消費するという意味で「飲まず、食わず」とはいえないにせよ、人に代わって過酷な労働をしてくれる者がロボットだという発想は、ここでも変わっていない。そうしたロボットの本来的なコンセプトの延長上に、極限作業ロボットに代表されるような3Kロボットが登場してくることは、必然といえるのかもしれない。

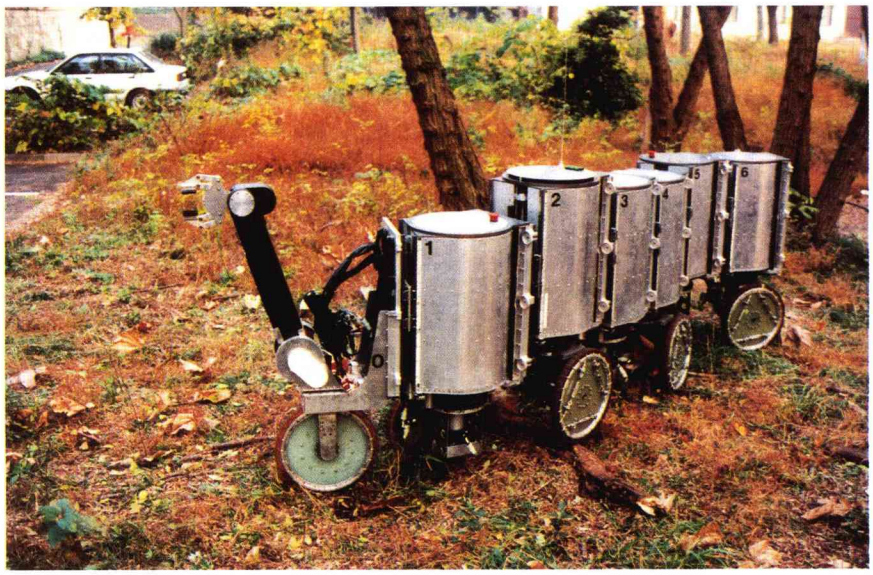
失楽園の物語の中で「労働」は、人への「罰」として描かれている。神は言い付けを破ったアダムに「(罪を犯したので)あなたは、額に汗をして大地から食物を得なければならない。大地にはいつくばって、土から食物を得、そうして最後は自らも土に帰る」のだと言い渡す。人が自らの過失によって楽園を追い出され、懲罰として、飢えと死とに脅かされながら労働を続けてきたのだというなら、3Kロボットとは、さしずめそうした苦役としての労働から人を解放してくれる救世主というべきだろうか。

［取材協力・写真提供：日本産業用ロボット工業会、富士通株式会社］

動物の動きをヒントに 極限環境に適応可能なメカニズムを創造

——広瀬研究室のロボットたちを訪ねて

「人でなければ勤まらない」仕事には、悪路や高所など、機械的な推進力では移動が困難な場所での作業が少なくない。東京工業大学・広瀬茂男教授の研究室では、バイオメカニカル（生物機械工学的）な視点から、そうした条件の悪い地上面や壁面などを移動するためのメカニズムを研究している。3Kロボット、極限作業ロボットの実現に欠かせないロボット創造学の実態を追って、広瀬研究室を訪ねてみた。



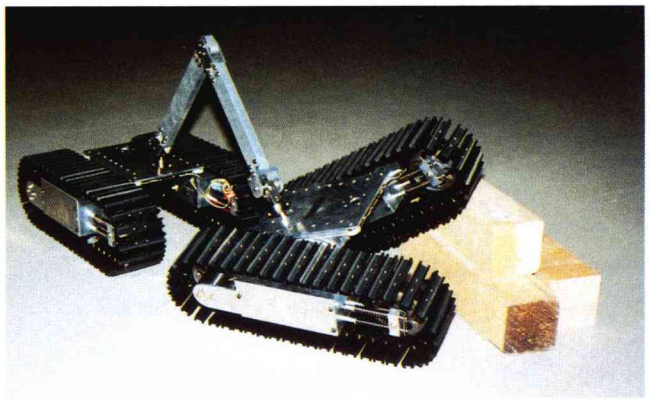
蛟龍2号機

ヘビに学んだ悪路走破技術

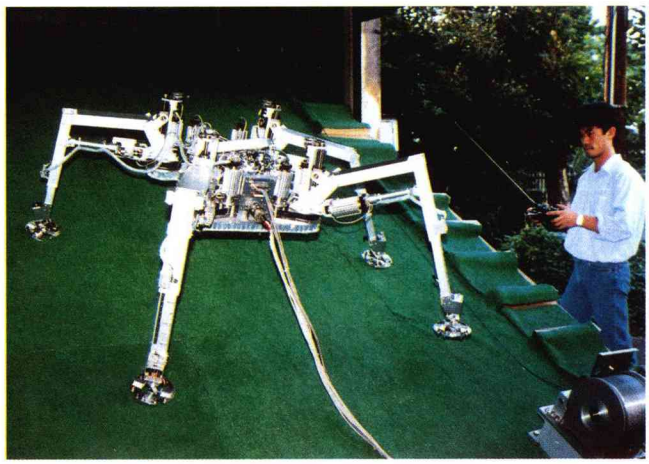
東京工業大学の広瀬教授らは、防災や災害救助といった切り口からさまざまなタイプのロボットを開発してきた。より実用的な極限作業ロボット開発の先駆である。

出発点は、バイオメカニカル（生物機械工学）な視点でロボットの動きを模索することからだった。まず着目したのは、ヘビの動きで、その運動原理を研究し、機械的な構造に生かす方法が試行錯誤された。その結果が反映されたのが「蛟龍（こうりゅう）」シリーズである。ヘビの動きを合理的に取り入れた節体幹型の移動ロボットである同シリーズは、原子炉内、火災現場、林間部などを動き回ることができ、何体もの体幹の連結によって構成されるボディは、狭隘な場所をすりぬけ、障害物を乗り越えるのに適している。1単位では越えられない障害も、前後のサポートによって、ラクにパスすることができるというのが、「蛟龍」の持つ機動性の原理である。「自動車がぬかるみにはまった時、もう一台で牽引してやると抜け出せるでしょう」と広瀬教授。

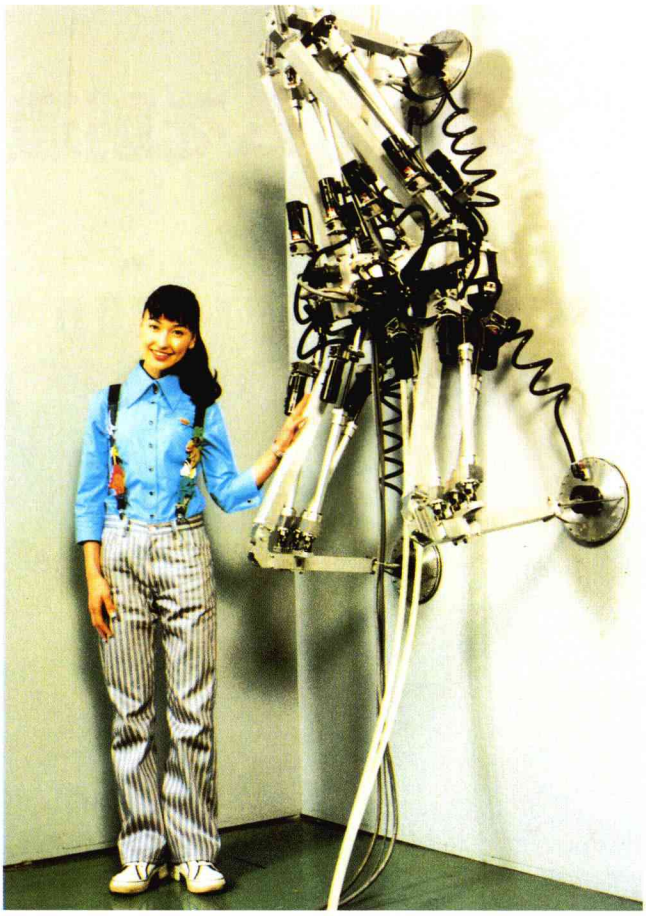
この発想をさらに発展させることで「群龍（ぐんりゅう）」が生まれた。「群龍」の1単位は左右のキャタピラと1本のマニピュレーターから構成される。この1単位がマニピュレーターで前の1単位と接続される。同様にして複数単位を1列につなげ、蛇が凹凸面をのたうつように、起伏の大きな悪路を越えていく。災害救



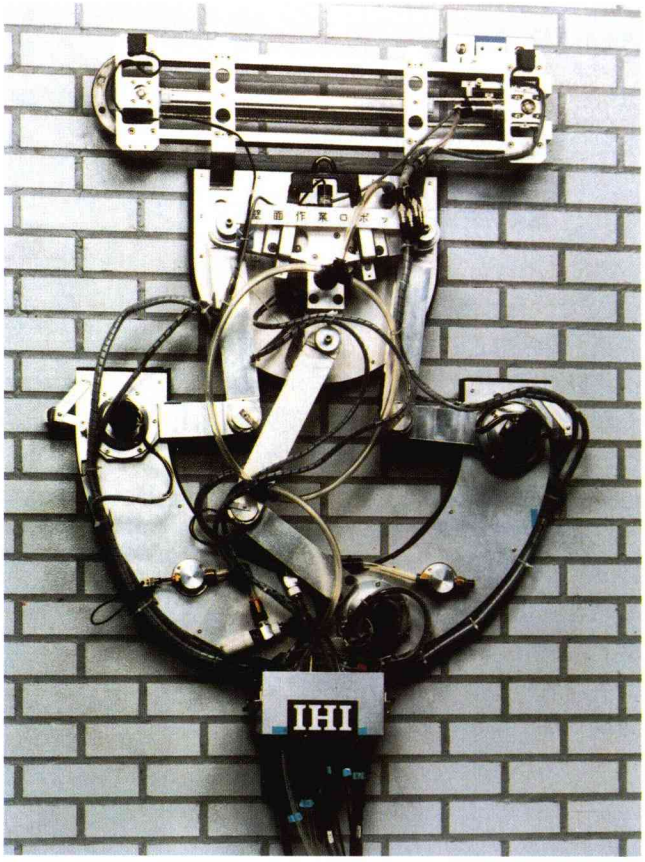
群龍のプライマリーモデル



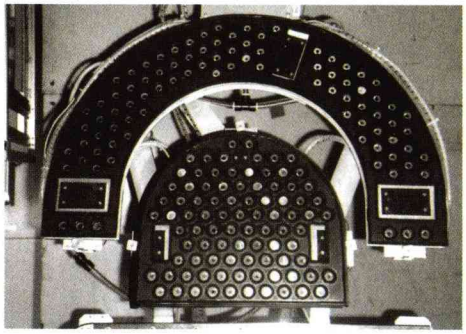
4足歩行機タイタンの歩行実験



吸盤で壁面歩行をする忍者2号機



壁面タイルの剥離等をチェックするロボット（東急建設）。吸盤による壁面昇降技術が採用されている。



ロボットの壁面昇降用吸盤。小さな多数の吸盤からなり、それぞれには気密モレ防止の弁がついている。

助の現場や、林業、さらには将来の惑星探査に応用が可能な技術だという。ポイントは各機が備えているマニピュレーターがそのまま連結装置に使われるところで、群れを解いた時には、連結装置は即、腕になって作業に用いることができる。群れで進む場合は先頭の1機だけが腕を使えるというわけだ。

合理的な4足歩行をロボットに

車輪やキャタピラを使った推進方式では、「連結」が悪路を踏破するために有効なノウハウだった。しかし凹凸面でもっと安定して作業のできるメカニズムも欲しい。4足歩行機械は、その要請に応えるものとして研究が始まった。4足歩行は障害物を接触せずに乗り越えられ、地表を轍で痛める割合も小さく、さらに足の角度を動かしながらマニピュレーターの動きを補助できるなど、さまざまなメリットを持っている。映画『スターウォーズ』にも雪上を4足歩行する戦車が登場してきたが、この方式は上のようなメリットを考えてみると、理にかなったものだったといえるのかもしれない。4足歩行ロボットは「タイタン」シリーズとして、現在までにいくつかの実験機が製作されており、階段や坂道など、凹凸面での活動を想定した歩行テストが繰り返されてきた。そのうち「タイタン8号機」は文部省の科研費重点領域研究の一環として一般の研究者も購入できるようにした（価格は150万円）。現状、広瀬教授らが有望と考えている適用ジャンルのひとつには、地雷撤去作業などがある。足の裏に火薬センサーを取り付け、自動歩行しながら地雷探査を行い、見つけたら遠隔操作で掘りだそうというものだ。いずれは国際会議などの場でも発表を考えているという。現在地雷撤去に難渋している国でやがて使用されるようになり、将来国際貢献をするかもしれない。

4足歩行をさらに垂直壁面にまで拡大したのが「忍者」シリーズだ。足の裏に真空ポンプにつないだ多数の吸盤を備え、壁面にピタリと張りついて上っていく。この技術によってビルや陸橋の外壁検査、塗装など、高所での危険を伴う作業の代替が可能になる。一種の3Kロボットと考えられるだろう。足場組みがいらない分、コストダウンにもつながる。複数の吸盤に

火星探査をターゲットに開発された3輪式惑星探査ロボット

吸盤による壁面昇降技術を採用した東京消防庁のレスキュー用ロボット

東工大・広瀬茂男教授

は弁が設けられていて、タイルの継ぎ目や壁面の割れ目などの上に来ると、その部分だけは弁が閉じて気密もれを防ぐ仕組みを持つ。この吸盤の技術はすでに建設会社の外壁タイル調査用のロボットや、消防庁の高層ビルでの救助用ロボットにも採用されている。

惑星探査にも不可欠なロボット創造技術

ここに紹介した代表的なもの以外にも、広瀬教授の研究室ではさまざまな極限環境でのロボット技術の研究開発を行っている。タイムリーなものとしては、昨年サンタモニカで開催された惑星探査車の展示会「ローバーランドアップ」にNASDA（宇宙開発事業団）と協力して出展した3輪式の惑星探査ロボットなどがある。現在、生物の有無をめぐって火星に注目が集まっているが将来日本が火星へ足を延ばす日には、こうした惑星探査機が必要になってくると考えられる。

宇宙開発にロボットが走り回るというアイザック・アシモフの小説に描かれた世界を、徐々に現実のものとしつつあるかのような広瀬教授の研究だが、教授自身は「ロボットに過大な期待をかけるのは考えもの」であるという。例えば阪神大震災のような災害時に、停電と燃料切れの中で、現実に役に立つのは人の力なのだと広瀬教授はいう。ただし人はいてもその力を有効に集積できないために効率的な救助活動ができない場合も少なくない。「現場で危険な場所まで近付けるのは、どんなに大勢人がいてもその中の1人か2人です。でもその他の人のエネルギーも有効に集めることができれば、かなりのことができるはずです」そんな発想から教授はロボット研究と併わせて、災害救助などを前提に「人の力をいかに合理的に使うか」の研究も進めているという。3Kロボット創造の原点にあるのは、ヒューマニズムなのかもしれない、と感じさせられた。

［取材協力・写真提供：東京工業大学・広瀬研究室］

話題の
PROJECT
プロジェクト

メガフロート

国土利用に新たな可能性を生み出すメガフロート

沖縄・海上ヘリポート案の有力工法として急浮上

本誌1996年第1号に掲載された岡村秀夫氏の「浮体式海上空港の実現を目指して」で紹介されたメガフロート。
沖縄駐留米軍・普天間基地の移設に伴う代替ヘリポートを、撤去可能な浮体式で建設したいという政府の意向を受けて俄然注目を集めている。
その後の動きを中心に、メガフロートの現状をリポートする。

神奈川県横須賀沖に設置されたメガフロートの実験モデル。昨年7月の接合実験の様子（上）。昨年11月に行われた中型ヘリコプターの離発着実験の様子（下）。

着々と進む浮体構造物の技術開発

1996年11月、横須賀市沖に設置されたメガフロート（超大型浮体式海洋構造物）実験モデルで、中型ヘリコプターの離発着実験が行われた。進入高度などを変え、計4回行われた実験では、機体が離発着する際の振動計測、鋼鉄製の構造物がヘリコプターの計器類に与える磁気の影響、騒音などのデータが集められ、ヘリコプターの離発着には、何ら支障がないことが証明された。

おりしも同年9月には橋本龍太郎総理が沖縄県を訪れ、在日米軍普天間基地の移転問題で、移設・撤去可能な工法を採用したい旨の発言があったばかり。実験モデルでのヘリコプター離発着実験は、そのデモンストレーションとの見方がマスコミを賑わせた。

実験を行っているのは、1995年4月に鉱工業技術研究組合法によって設立されたメガフロート技術研究組合。運輸技術審議会が1993年12月にとりまとめた「新時代を担う船舶技術開発のあり方について」に基づき、超大型浮体式海洋構造物の研究開発促進のために設立が決まったものだ。

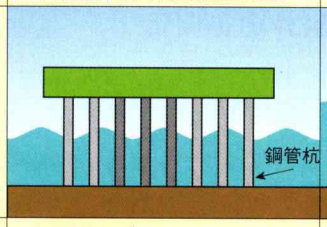
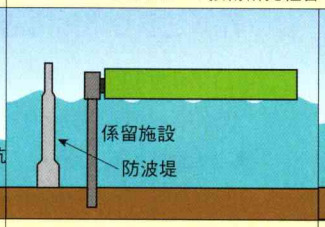
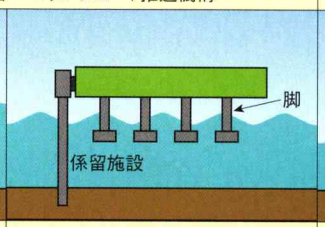
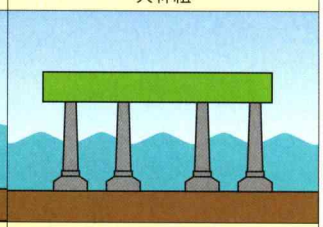
参加企業は石川島播磨重工業、今治造船、大島造船所、川崎重工業、川崎製鉄、神戸製鋼所、サノヤス・ヒシノ明昌、新来島どっく、新日本製鐵、住友金属工業、住友重機械工業、常石造船、名村造船所、日本鋼管、日立造船、三井造船、三菱重工業の17社。

メガフロートに関する技術的解説は、本誌1996年第1号の岡村秀夫「浮体式海上空港の実現を目指して」に詳しいが、簡単にいってしまえば複数の鋼鉄製の箱を海に浮かべ、洋上で接合して人工島を造ろうというもの。大型タンカーなどで使われている仕組みと基本的には同じだ。

研究開発の目標として、海上空港に焦点が当てられている。組合が設立された1995年11月には、100m×20m×2mのユニット4基が組合員企業により製作され、横須賀沖で接合された。1996年7月にさらに5基のユニットを接合し、長さ300m、幅60mの実験モデルが完成。11月にはヘリコプターの離発着実験が実施された。

洋上接合実験では、すでに設置されているユニットに新たにユニットを追加する際の引き寄せ、仮接合の方法、ユニット底部の溶接方法などについて、いくつかの工法が試されている。底部の溶接方法としては、ユニット上部から継ぎ目に空気を送り込み内部の水を排水し、溶接に必要な作業空間をつくり出す圧気排水方式、作業船をユニット底部に密着させ、船内の水を排出して溶接を行うワークベッセル方式、通産省工業技術院四国工業技術研究所と共同開発した水中溶接機などが試された。また波による腐食を最も受けるユニット側面などの飛沫帯には、チタン鋼板を重ねあわせたチタンクラッド鋼薄

図1　提案されている沖縄海上ヘリポートの施工法

工法名	浮体桟橋工法（QIP）	メガフロート・ポンツーン方式	メガフロート・セミサブ方式	重力着底型プラットフォーム
推進主体	沖縄海洋空間利用技術研究会	メガフロート技術研究組合・マリンフロート推進機構		大林組
概念図				
構造	フローティングモジュールを洋上に運び、海底に鋼管杭を打ち込んで構造物を海面よりも上で支える。	波を防波堤で遮断した静水域に、鉄製箱型の浮体ユニット（ポンツーン）を洋上に浮かべ接合する。	30m以上の円筒形の鋼鉄製下部工の上に鋼板製の浮体ユニットを載せ、半潜水型の人工地盤をつくる。	鋼鉄製デッキを海底に設置したコンクリート重力式基礎の上に据え付ける。
特徴	埋め立てに比べ環境への影響は小さい。適応水深は5～25m。	海上に完全に浮かぶ構造のため、海流への影響も少ない。適応水深5～25m。	関西国際空港で提案された工法。ポンツーン方式に比べ頑丈だがコストがかかる。適応水深50～100m。	コンクリート製浮体構造物をコンクリート基礎から伸ばした鋼線で引っ張る「テンション脚型プラットフォーム」も提案。適応水深50～100m。
施工実績	米国ラガーディア空港の拡張部に採用。沖の鳥島の災害復旧工事の作業基地にも用いられた。	横須賀沖の実験モデルで実証研究中。空港以外での実績がある。	海底油田開発基地としての実績がある。	海底油田開発基地に採用された実績がある。
建設費	100万平方mの海上ヘリポートで約2000億円	数千億円	ポンツーン方式の2倍以上	長さ900m、幅90mのヘリポート建設で約1500億円

板を貼り付けるなど、技術開発が着々と進んでいる。

普天間基地代替ヘリポートの有力工法案として浮上

もともとメガフロートは関西国際空港1期工事建設の際に、日本造船工業会が提案したのが始まり。この時はセミサブ方式だったが建設コストの問題で受注できなかった。その後、造船・鉄鋼・建設企業など96社で組織されたマリンフロート推進機構が研究を進め、コストを大幅に低減できる工法を開発した。現在のメガフロート技術研究組合は、この研究を引き継いでいる。

組合が当初視野に入れていたのは、関西国際空港2期工事、首都圏第3空港、九州新国際空港などだ。そこに沖縄駐留米軍普天間基地の代替ヘリポート問題が浮上してくる。組合では急遽、1996年9月から12月までの4カ月間で海上ヘリポート案をとりまとめた。

海上ヘリポートには多くの企業グループから提案が相次ぎ、5～6案が提出されている（図1参照）。工法の特性やコスト、実績、実現可能性などの点から、最終的にQIP（quick installation platform）工法と、メガフロート（ポンツーン方式）が有力と見られている。どの工法を採用するかは、日本政府とアメリカ政府で構成される日米安全保障協議委員会が設置した日米特別行動委員会で検討され、1997年中に決定される予定だ。ここでの決定が、今後の海洋構造物建設に大きな影響を及ぼすかもしれない。

海上ヘリポート案をとりまとめていた期間、組合では本来の研究開発が思うように進まなかったという反省から、今年1月、新たに普天間基地代替ヘリポートの推進、技術的課題を検討する超大型浮体総合システム研究会が17社で組織された。今後普天間基地関連は、この研究会が中心となって進められる予定だ。

横須賀の実験施設でも明らかになったように、現在のメガフロート技術で海上ヘリポートの建設は十分対応可能となっている。考えてみれば、ヘリコプターの艦船や不安定な場所への離発着は、これまでも行われてきた。もともと、そうした場所への離発着が可能なように設計された乗り物と考えていいのかもしれない。

一方、組合が最終的に目指している固定翼機が離発着する空港建設については、まだまだ課題がある。空港、特に国際空港の計画・設計については、国際民間航空条約14付属書飛行場(ICAO)、航空法・航空法施行規則、空港土木施設設計基準などによって細かく規定されている。

また航空機で最も重要視される安全性の面で、航空保安施設に関する規定もクリアしなければならない。空港には航空灯火と航空保安無線施設が設置されているが、特に航空機が離発着する際の目安となる進入灯と進入角指示灯については、潮位の変化に伴うズレや、先に離発着した航空機による振動の影響が課題となる。

こうした空港に関する規定が、浮体構造物を想定していないため、実績という問題がここでもクローズアップされてくる。航空母艦を除けば、固定翼機が離発着する洋上施設は、世界中どこにもない。日本の国土条件からくる浮体構造物による海上空港構想は、日本独自のものといっていいだろう。諸外国に対して、こうした施設の安全性について理解してもらう努力が必要になる。

空港以外の用途では実績も出てきた

1998年度で組合の活動期限が切れるが、現在その後の推進方向について検討が重ねられている。予定では、1200m×

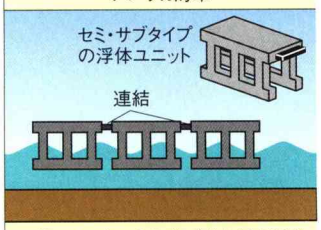
移動式海上基地（MOB）
アメリカ海軍

メガフロート・セミサブ式と同じ浮体ユニットを使用。下部工に推進装置を持ち自走する。
米軍が研究を進めている海上基地案だが、今回日本政府は検討対象とはしなかった。
軍事利用のための研究段階で実績はまったくない。
不明

図2　メガフロート技術研究組合が最終的に目指す海上国際空港の概念図。

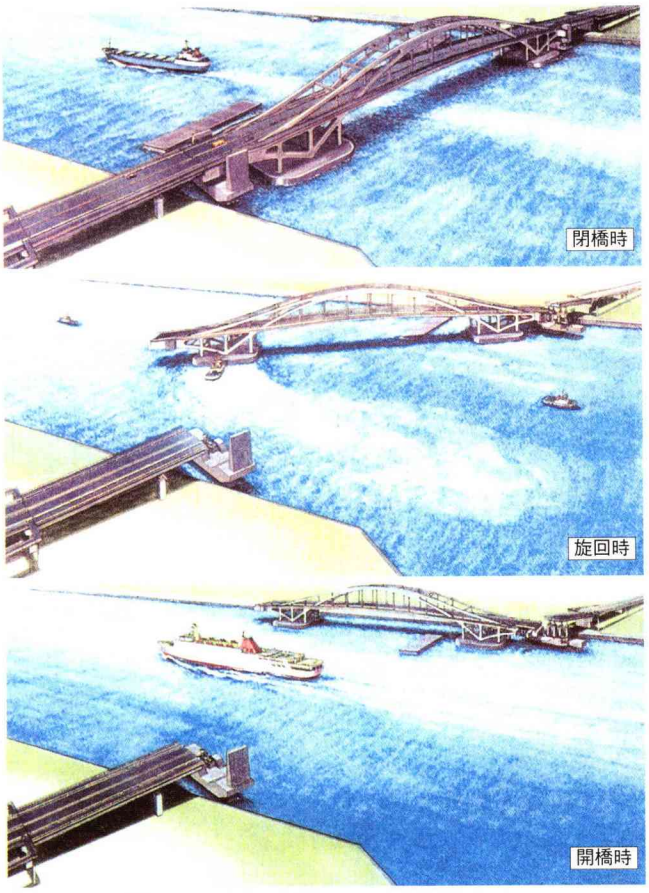


図3　大阪市港湾局が建設している舞洲～夢洲連絡橋の概念図

80m程度の実験施設を建造し、実際に中小型飛行機を離発着させて基礎データを収集することが考えられる。特に安全性を確保するためには、実証データの蓄積が欠かせない。

また空港は用途などによって、いくつかにランク分けできる。たとえば国際空港ではボーイング747クラスが離発着するため、3500～4000mの主滑走路が必要となるが、地方空港では2000～2500mクラスの滑走路で十分対応できる。離島空港やコミューター空港では、もっと短い滑走路でも対応可能である。

浮体構造物は空港以外にも、幅広い利用が可能だ。交通施設や石油備蓄基地、レジャー施設など、すでにいくつか実績がある。たとえば大阪市は大阪南港の埋め立て地、舞洲（まいしま）～夢洲（ゆめしま）間を結ぶ連絡橋を、世界で初めて大型浮体式旋回可動橋方式で着工している。工期は1995～1999年の5年間。

連絡橋は、橋長940m（うち浮体部分は410m）、幅員38.8m、桁下24mで、6車線が確保される。大阪港の主航路である夢洲～咲洲間が通行不能になった場合、舞洲～夢洲間が迂回路となるが、通常は小型船舶しか航行しない。橋を大型船舶が航行可能な高さにしたのでは建設費が高騰してしまう。そこで浮体式にして、大型船舶が航行するときのみ回転させようというのだ（図3参照）。

組合では技術開発とは別に、メガフロートの普及促進・広報活動にも力を入れている。最近増えているのが、地震などの大規模災害発生時に使用する防災拠点施設に、メガフロートが利用できないかという相談だ。メガフロートは洋上に浮かんでいるため、地震の影響を受け難い特性を持つ。実は、昨年11月に実施されたヘリコプターの離発着実験も、こうした非常時に利用する防災拠点を念頭に置いたものだった。

環境問題は、人類にとって21世紀の主テーマの1つになると予想される。国土利用という側面でも、山間部の開発や臨海部での埋め立てには、大きな制限が加えられるかもしれない。環境に対してローインパクトな技術開発への要請は今後ますます強まるだろう。メガフロートは、そうした問題への1つのアプローチといえる。

［取材協力・写真提供：メガフロート技術研究組合、大阪市港湾局、日経コンストラクション編集部］

Steel Landscape. 鉄の絶景

人を呼ぶ鉄　～大阪～

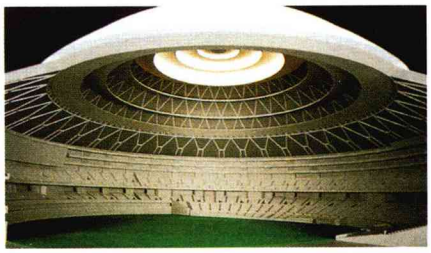
ウォーターフロントを中心にさまざまな都市開発が進められる大阪西部地区に今春、世界でも例を見ないマルチドーム、大阪シティドームが誕生した。スポーツをはじめ、多様なイベントの開催が可能な新型複合施設である。まず目を引くのはその外観で、ある日突然町に降り立ったUFOとでもいうべきユニーク姿をみせている。あらゆる文化情報を世界へ、未来へと伝え、国際都市大阪をアピールする大阪の新たなランドマークを目指す。

今後の大阪の活力を生み出す新名所として期待を集める、大阪シティドームにせまった。

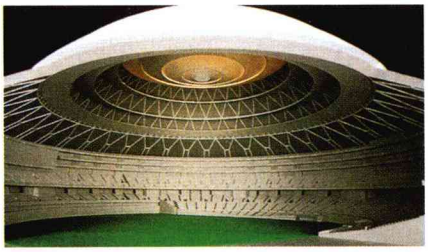
大阪シティドーム（合成写真）

多目的空間が多次元に融合する新複合施設

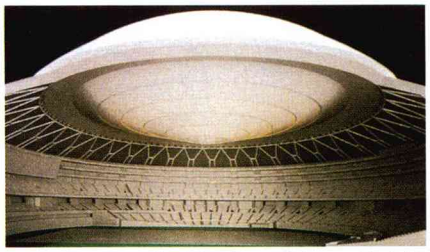
大阪シティドームはスポーツはもちろん、あらゆるイベントに適応可能という、従来のドームイメージを超越した多目的複合施設である。イベントの可能性を大幅に広げたのは、天井面に設置された7層のスーパーリング（可変天井システム）とウォールカーテンの組み合わせによって、アリーナ（1F）空間を自在に分割する技術だ。このスーパーリングとウォールカーテンをイベント状況に合わせて昇降させるシステムを用いれば、2～5万人までそれぞれのイベント内容に合わせた空間スケールの選択および、観客席と一体となった臨場感あふれるステージ造りが可能となる。またこのシステムでは天井高72m（自然採光時）、自然採光範囲は直径76mというドーム空間をフルに生かした、光空間の多彩なプロデュースも可能だ。例えばスポーツイベント時には自然光をふんだんに採り入れたアウトドア感覚で観戦ムー



スーパーリングを最上部に設定し、自然採光でスポーツなどを行う場合



スーパーリングを降下させ、遮光状態でスポーツなどを行う場合



スーパーリングを最下部に設定し、遮光状態でコンサートなどを行う場合

ドを盛り上げ、コンサート時にはドーム全体を完全遮光して観客の集中力を高め、エキサイティングなイベント演出を実現させる。

スポーツイベントを開催する場合には、可動席を移動させればアメリカンフットボールやサッカーなど種目に応じたアリーナスペースを確保することもできる。なかでも野球の試合では、両翼100m、天井高72mのアリーナスペースをフルに生かすことで、大リーグ並みのスケールの大きなプレーが可能となる。大坂シティドームは今春のオープンと同時に、プロ野球球団「近鉄バッファローズ」のホーム球場としても稼働する予定である。

また今回、世界初のマルチドームとしてオープンする大阪シティドームの最も大きな特徴のひとつは、国内初の「大型人工芝巻取装置」の導入だ。この大型人工芝巻取装置は作業開始から約1時間でアリーナ面の中央部分（全体の約4分の3）を巻き取ることができ、次のイベントのための会場設営・準備時間の短縮化に大きな効果を発揮する。このほか約500席完備されたスペシャルシートでは空調の個別コントロール機能によって快適な客席環境が確保できるほか、各席に設置されたパーソナルTVの実況中継や館内情報サービスが、イベント観戦の楽しさを倍増させてくれる。さらに4Fには本格的な食事を味わいながらドームのイベントをゆったりと楽しめるアリーナビューレストランも設置されている。

大阪シティドームは、イベント開催の有無にかかわらず人々が集い賑わうことのできる開かれたコミュニティ機能を備えたドームだ。イベント施設以外にもテーマパークやショップなどからなる遊び空間やレストランなどを設け、地下1Fから地上9Fまで快適な都市型空間を充実させている。鉄骨鉄筋コンクリート造、建設面積33,800m² の大阪シティドームの収容人数は55,000人。大阪の新たな顔として、文化の創造と育成を担ってゆくことだろう。

［資料提供：（株）大阪シティドーム］

～博物館探訪～（第１回）科学技術館

全国各地にあるさまざまな博物館。意外な場所にあって気づかなかったり、知っていてもなかなか訪ねる機会がなかったり・・・。そこで今号以降は各地の特徴のある博物館にスポットを当て、不定期に紹介していきます。

東京都千代田区にある「科学技術館」は、2～5Fの4つのフロアにわたって科学系の展示を行う大型科学博物館である。（財）日本科学技術振興財団によって設立、昭和39年4月、開館した。「遊び・創造・発見の森」をキャッチフレーズに、来館者による参加体験型の展示が多く設けられている。館内ではパソコン体験ができるほか、宇宙開発・石油化学・太陽、風力、地熱などを利用する新エネルギー関連などさまざまな展示室が開かれ、3Fにあるテレビスタジオ見学コーナーでは、番組制作風景を見学することも可能だ。

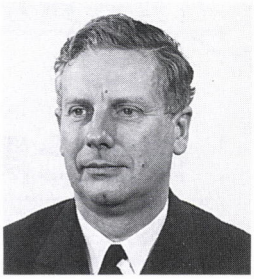
4階には鉄に関する展示室「アイアン・ワールド」も常設されている。ここでは鉄と人間との歴史を学べる立体映像のほか、参加体験型の展示が数多い。非磁性鋼・形状記憶合金・制振鋼板、弾性鋼などさまざまな種類の鉄に触れたり、強・弱2種類の弾性鋼のバネを使用して難易度を高めたアイアンピンボール。またパソコンを利用したゲーム感覚のQ&Aで鉄に関するさまざまな知識を学べるアイアンクイズなど、鉄の新鮮な魅力に触れる機会にめぐまれた会場となっているのだ。

「アイアン・ワールド」での体験は、地殻中の資源として酸素・ケイ素・アルミニウムに次いで4番目に多い元素といわれる鉄が、その優れた特長からあらゆる産業の基礎材料として非常に重要な役割を果たしてきたことを再確認させてくれる。

これまでも青少年層を中心に、幼児から大人まで幅広い層が来館しているとのこと。

名誉会員からのメッセージ

Technical Development Prediction: How Far Can We See?



Lucien Coche

I remember, I remember
the house where I was born...
25 years have elapsed since I had the honour of being made a honorary member of ISIJ. 13 years have elapsed since I retired and ceased having an active part in steel industry development.

When reading technical magazines, I am interested to learn about the main fields in which steel industry thchniques are presently progressing. Among them, I could quote

- increasing rates of powder coal injection into blast furnaces, up to and over 200 kg/thm,
- steelmaking processes changed into fusion-reduction processes where, in addition to hot metal and steel scrap, coal and into ore are injected into the bath,
- continuous casting of thinner and thinner slabs,
- endless rolling and finishing operations, which were formerly done coil after coil,
- better shape control of laminated flat products,
- improvements in clean recovery of used steel products.

Remembering which developments I expected in 1971, it seems to me that I thought of those subjects, as possible ideas among many other, but I did not think that they would soon get into industrial practice.

Coal injection experiments had been conducted in various western countries, the conclusions had been fully negative. Nobody in Europe knew that coal injection was current practice in China.

As for steel conversion, only oxygen and lime were injected, and much research work was done about how to inject them. But no industrial experiments were conducted to use converters for reducing iron ore.

Nobody tried to cast thinner slabs than the conventional 250 mm: research was just trying to eliminate defects which restricted continuous casting to a limited number of steel qualities.

Continuous rolling mills had only parallel cylinders, and continuity did not go further than one coil.

Environment problems were not considered as important as now, non-ferrous metals in scraps raised problems only for the quality of steel, not really for water pollution.

So, we were far from having clear views about what steel thchnique development actions would be, 25 years later.

Now, when I think of 1983, my conclusion is quite different: those present fields of development were either already explored, or in projects.

So, it seems to me that our generation has been able to see 13 years ahead, but not 25. What about the present predictions of our younger colleagues? Will they also be true for 13 years, false for 25?

Let us wait for year 2021 to get an answer!

(1996年11月12日受付)

名誉会員からのメッセージ

研究と開発 EFSC

㈱超高温材料研究所／
㈱超高温材料研究センター　技術顧問　田中良平

「Excellent」

1996年9月の某新聞に、アメリカNYタイムズ紙の新社長、ジャネット・L・ロビンソンさんの紹介記事が載っていた。NYタイムズと言えば、英国のザ・タイムズ、フランスのル・モンドなどと並んで、「世界が読むクオリティペーパー」の一つである。「テニス雑誌の広告担当者として入社してわずか13年。NYタイムズ紙で初の女性社長は、46歳、独身である。能力さえあればどんどん出世ができる社会。アメリカンドリームはまだまだ健在なようだ。」と書かれていた。タイムズ社に入る前は、公立小学校の国語教師をしていた由。タイムズ紙はこの夏、百周年を祝った。世界で最も影響力があると言われるこの新聞にも「お高いエリート集団」という陰口。しかし3年前に広告担当の副社長になって以来、そうした会社の空気を一掃した。午前6時半には出社し、一日に13、4時間は働く、とも紹介されていた。

日本でも、このようなハードに働くトップは決して珍しくはないであろう。また平の取締役から、あるいは常務から、十何人を抜いて社長に、という例がしばしば新聞を賑わすとしても、恐らく平社員として入社したであろう彼女のように13年で世界的な企業のトップになるという例は、日本ではほとんど聞かない。人材を発掘し、登用しようとする英断はアメリカならではの人事のように思われる。

才能を見いだされ、経営陣に抜てきされる人がいる反面で、すぐれた人材でありながら、スポットライトを浴びることなく、黙々と仕事に打ち込んでいる例も多いことであろう。

人間として、どちらに魅力を感じ、どちらを良しとするか、またどちらに生き甲斐を感じるかは個人の問題であるが、組織体、あるいは企業体として、その繁栄、発展を図るには、「すぐれもの」と言える人材の発掘、登用が不可欠であることは多言を要しないであろう。

鉄鋼技術にも、また材料にも、「すぐれもの」と言えるものがたくさんある。

高炉や転炉は、百年をはるかに超える長い歴史を持っている。その間における生産性の増加、銑鉄や鋼の品質上での著しい改良・進歩は言うまでもないが、高炉や転炉の構造、基本的な反応プロセスなどの点では、革命的あるいは抜本的とも言えるような変化はなかった。少なくともトランジスタに比肩できるような開発はなかった。しかし、それほどに前世紀からの製銑・製鋼法は「すぐれもの」であったと言いたい。

鋼材の分野でも、軸受鋼、高速度工具鋼、あるいは高Cr—高Niステンレス鋼などは「すぐれもの」と言えよう。100年、あるいはそれに近い歴史の中で、材料特性の点では一桁あるいは二桁の進歩が見られるけれど、基本的な化学成分はそれほど大きくは変わっていないからである。

アルミニウム製錬のバイヤー法とホール・エルー法の組み合わせも基本的には変わっていない。大量のエネルギー消費を改善するとして、直接製錬法が浮かんでは消え、消えてはまた浮かんだりもしたが、結局のところ19世紀に確立された上記の方法が今日も主流である。残念ながら日本では年産2万トン程度、輸入量の1％以下にまで減少してはいるが。

トランジスタの開発は20世紀における最大の発明の一つとうたわれている。点数を付けて比較することはできないが、上述のように材料にも歴史に残る開発がいろいろある。

「すぐれもの」、英語で言えば「Excellent」と表現されよう。Excellentな技術、後世に残る技術の開発はまことにすばらしいことである。

「Flexibility」

しかし、長く活用される技術がそれだけで尊いと決めることはできないであろう。

技術の波及効果の大きさも評価されるべきである。

技術評論家の森谷正規氏[1]によれば、ハイテク量産工業製品の時代は終りつつあるという。車、家電、超LSIも。VTRは1985年には2兆円産業で、日本は世界の80％を供給していたが、97年頃からは輸入に転じるという。「これらの産業に素材を提供する鉄鋼も化学も」と同氏は指摘する。

時代の終わりとは言っても、それらが無くなるわけではないし、鉄鋼が無くてはならない材料であることに変わりはないが、一国、あるいは世界の経済活動における重要性は、情報産業の急増に比べれば相対的に低下することが避けられないであろうし、これからは情報社会型技術が大き

く進展すると言うのも否定できない。

日本だけでも50兆円という規模にまで発展したエレクトロニクス産業、そして21世紀の情報社会へとさらに大きく発展してゆくことが見通されているこの分野を考えると、1948年のトランジスタの発明がもたらした経済への波及効果がいかに大きいかを思い知らされ、素人ながらその発明がいかに重要なものであったか、認識しないわけにはいかない。

鉄鋼はすばらしい、その重要性はいつの時代になっても変わらないと信じつつも、同時にほかの分野の状況に謙虚に目を向ける心を持つ、頭の柔軟性が必要である。鉄鋼技術の分野では、すでに多くの場で情報技術が大幅に利用され、それ故にこそ今日の発展をもたらしているわけである。

思考のFlexibilityは、われわれにとって不可欠である。

「Serendipity」

ところで、研究室ではもちろん、生産現場でも、ちょっとした目の付け方から予期せぬ発見が生まれ、すばらしい発明に繋がることは、しばしば経験されるところであろう。

アルキメデスの原理は中学生にもよく知られているが、紀元前3世紀、ギリシャの哲学者アルキメデスは公衆浴場から裸のまま飛び出し、シラキュースの町なみを「ユリイカ、ユリイカ（わかった、わかった）」と叫びながら駆けぬけたという。史上初のストリーカーと見出しをつけて、R. M. ロバーツの著書SERENDIPITY、Accidental Discoveries in Science[2]の第1章に紹介されている。

Serendipityという言葉は、ホーレス・ウォルポールが「セレンディップの3人の王子」の冒険（セレンディップとはセイロン、つまり今のスリランカの古称）というおとぎ話を読んで感心し、友人への手紙に使ったことが始まりの由であるが、この王子たちは初めから意図してではなく、いつでも偶然に、しかしうまい具合にいろいろなものを発見していくのである。

この本には、ある化学者が誤って温度計をこわしてしまい、中の水銀が反応容器の中にこぼれて反応が促進されたことから触媒作用を発見したこと、その他、偶然の機会に思いがけない発見をする等々、さまざまな事例が紹介されていてまことに楽しい本である。「転んでもただでは起きない」、あるいは「怪我の功名」などの古くから使われている言葉と何か共通するものがありそうな話題も多い。

手前味噌で恐縮ではあるが、筆者も横浜国立大学に勤務していたころ、当時修士課程の学生であった小林君と助手の吉原さんとが期待にやや反した実験結果からふと気付いて、後にTiAlの「低酸素分圧下熱処理」[3]と名付けた面白い手法を開発してくれた。これこそ「Serendipity」と考えて紹介したことがある[4]。

なお「Serendipityとは何か」というたいへん詳細な考証が京都大学の小岩昌宏教授によって論じられている[5]。

計算科学とか合金設計が有力な研究手段となりつつある今日でも、実験室や生産現場にはまだまだ発明・発見の種はころがっていそうである。コンピュータと言ってもワープロ位しか使えない年寄りの繰り言と笑われそうではあるが、鋭く注意深い観察力と創造力は、いつの時代でも大切である。

「Cue」

表題のEFSCというのは何の略かな、と考えながら読んでくださった方も途中からお分かりと思うが、何のことはない、EFSはそれぞれ本文のExcellent、Flexibility、そしてSerendipityの頭文字である。それでは最後のCは？

ある高名な米国の先生が講演の前に、OHPの焦点をわざとずらしてヒップのような意味ありげにぼけた線画を示し、真面目な顔でピントを合わせたら猿の顔だった、という話を東京工業大学教育工学開発センターにおられた末武国広教授から聞いたことがある。このように変わった趣向？で聴衆を引きつけることを「キュー、Cue」というようである。

EFSC? はて何が書いてあるのかなと思いつつ、読んで下さった方には、だましたような表題、内容のない話で申し訳ないが、これも「キュー」の一つとしてお許しを願うとともに、ウィットに富んだ「キュー」を使って楽しい講演などを心掛けていただきたい。

会報編集委員会から「会員諸氏を対象とした随想、励ましの言葉など」を書くようにとのお勧めに、駄文を記した。

最後に、山口県三隅町の香月美術館を見学した折りに印象に残った故香月画伯の言葉を引用して結びとしたい。

一瞬に一生をかけることもある
一生が一瞬に思える時があるだろう。

香月泰男

引用文献

1）森谷正規：㈶中国技術振興センター10周年記念フォーラム「21世紀への飛躍をめざして―産業・科学技術の振興を考える」(1996年10月31日、ホテルグランヴィア広島)

2）R.M. Roberts（安藤喬志訳）：Serendipity　セレンディピティ―思いがけない発見・発明のドラマ―，化学同人（1993）

3）小林郁夫，吉原美知子，田中良平：日本金属学会誌，53（1989），p.251

4）田中良平：㈶金属系材料研究開発センターJRCMニュース，4（1990），No.10，p.1；熱処理，36（1996），p.3

5）小岩昌宏：ばうんだりー，4（1988），No.5，p.73；同，No.10，p.74（小岩氏は「セレンディプティー」と表記している）

(1996年12月11日受付)

展望

21世紀の日本鉄鋼業　第2回 地球環境問題の顕在化と鉄鋼技術の進歩

林　明夫　通商産業省　基礎産業局　製鉄課長
Akio Hayashi

Japanese Iron and Steel Industry in the 21st Century (2)

前号では、日本鉄鋼業が直面している変化とその将来動向に関し、第1に先進国における需要の成熟化、第2に発展途上国、NIESを中心とする鉄鋼生産の拡大と国際鉄鋼市場への参入について述べた。

本号では、前号に引続き第3の変化である「地球規模の環境問題の顕在化」、第4の変化である「製鉄技術の進歩」について述べ、併せてその変化の将来動向を展望することとする。

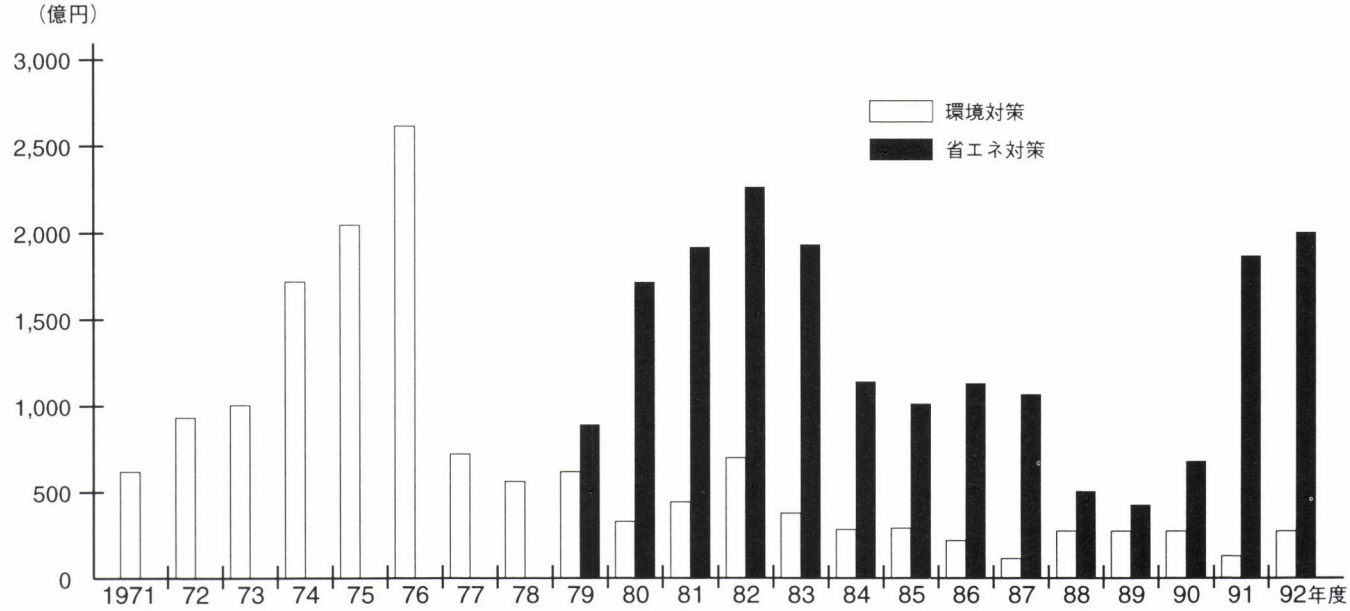
1 地球規模の環境問題の顕在化

1.1 日本鉄鋼業の環境対策とその成果

鉄鋼業は、金属、プラスチック、セメント、木材等の素材消費の40%を占める安価で強靱な鉄鋼材料を大量に生産し、供給している[1]。そしてその製造工程で、多量の石炭やエネルギーを還元剤及び熱源として使用しているが、その過程で、硫黄酸化物（SO_X）、窒素酸化物（NO_X）等の大気汚染物質や炭酸ガス（CO_2）等が発生することとなる。世界全体で年間6億トン以上消費される鉄鋼材料は、その生産に随伴する物質も決して少量ではなく、この点で環境問題は、大量素材供給産業である鉄鋼業にとって不可避の重大な課題である。

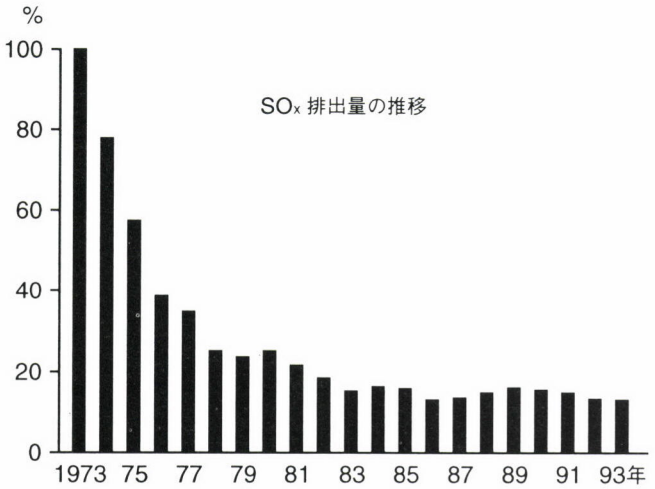
このような課題に対し、日本鉄鋼業は積極的に取り組み、公害防止のための技術開発や設備投資（図14参照）を進めることにより、世界最高水準の環境対策に達している。その成果は、図15に示すように20年前の1973年に比較して、硫黄酸化物の排出量で80%、窒素酸化物の排出量で40%もの大幅な削減となっている。

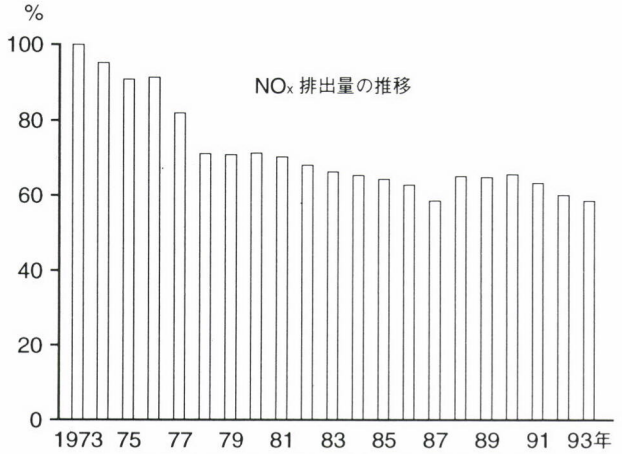
また、エネルギー使用についても、図16に示すように石油危機以降の省エネルギー努力によって、1973年から85年



出所：大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦、
日本鉄鋼協会調査検討部会、1996年6月（P.89）

図14　鉄鋼業の省エネ・環境対策投資の推移





出所：大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦、
日本鉄鋼協会調査検討部会、1996年6月（P.87）

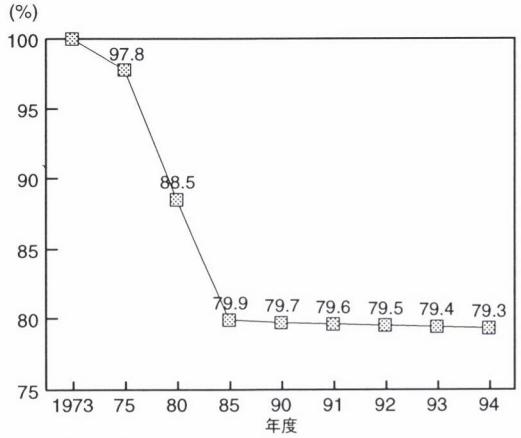
図15　鉄鋼業の環境対策

までのほぼ10年間で20%のエネルギー消費原単位の削減を達成している。国際的にみても図17に示すように最高水準のエネルギー効率で鋼材を生産している[2)]。

1.2　地球温暖化問題の顕在化

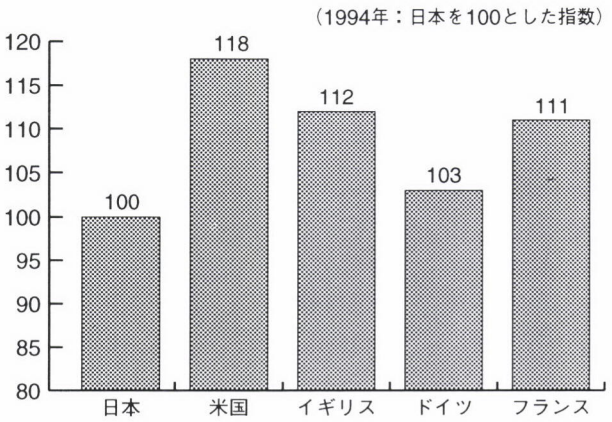
このような努力により、いわゆる汚染物質に関する公害問題の多くは解決されてきているが、近年地球温暖化という新たな環境問題が顕在化する中で、日本全体のエネルギー消費の12%を占め、多量の炭酸ガス（CO_2）を排出している日本鉄鋼業にとって、その排出抑制対策が重大な課題となってきている。

もとより炭酸ガスは、生物の呼吸によって発生し、光合成にも不可欠な物質である。しかしながら、産業革命以降の大量エネルギー消費によって、大気中の濃度が増加し、気候変動に関する政府間パネル（IPCC）第２次評価報告書によれば、現在のCO_2排出トレンドが今後も継続した場合、世界全体のCO_2排出量は、21世紀末までには1990年の３倍



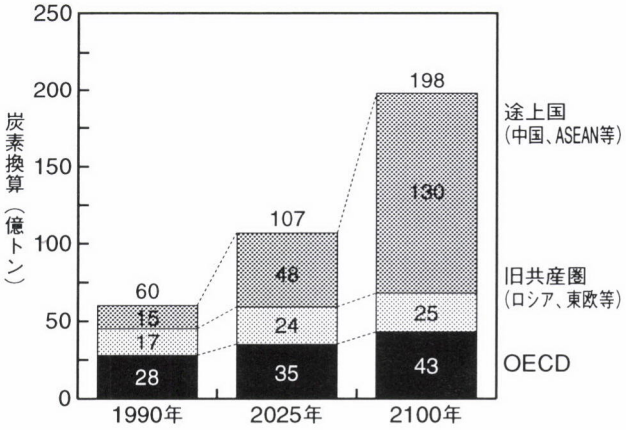
出所：大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦、
日本鉄鋼協会調査検討部会、1996年6月（P.88）

図16　粗鋼トン当たりエネルギー消費原単位推移



出所：国際鉄鋼協会（Statistics on Energy in the Steel Industry）
より試算した鉄鋼連盟資料。
「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」（1996年12月）
注１：フェロアロイ及びコークス製造用のエネルギーは含まない。
注２：鉄鋼比等により補正を行った比較である。
注３：米国は1991年の原単位で指数比較している。

図17　粗鋼トン当たりエネルギー原単位の国際比較



出典：IPCC第2次評価報告書，通商産業省「気候変動問題について」
（1997年2月）より再掲

図18　世界のCO_2排出量予測

強となり、大気中のCO_2濃度は、現在の約360ppmから約700ppmになると見込まれている(図18参照)。この結果、地球全体の平均気温は約2℃、海面は約50cm上昇すると予測されている。

同報告書は、また、CO_2の濃度を産業革命前の約2倍の550ppmのレベルで安定化させるためには、世界全体のCO_2排出量を最終的には、現在のレベルの約50%まで削減することが必要であると指摘している。全体で50%の削減は、発展途上国の経済発展に伴うCO_2排出量の増加を踏まえれば、先進国にとって最終的にCO_2排出量を現在の数分の一

表8　鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画（日本鉄鋼連盟1996年12月）の概要

I　基本的な考え方

1.　地球温暖化対策

・日本鉄鋼業は、次の4つの方向に向かって努力して行く。

①鉄鋼の製造に際してベスト・アベイラブル・テクノロジーの積極導入を基本として、不断の技術革新を行い、世界最高のエネルギー効率を維持する。

②廃プラスチック等資源としてのポテンシャルのある廃棄物の鉄鋼生産への活用や製鉄所の低温未利用エネルギーの工場周辺地域での有効利用等地域社会との連携を通じた社会システムとしてのエネルギーの有効利用を図る。

③鋼材や副産物の使用段階でのエネルギーが効率的に使われるよう一層努力する。

④世界最先端の日本鉄鋼業の技術で、エネルギー効率改善の余地の大きい国々の鉄鋼業への技術移転に協力する。

II　地球温暖化対策

1.　鉄鋼生産工程における省エネルギーの今後の取り組み

〈主要な排エネルギー回収設備〉

・コークス乾式消火設備
・焼結クーラー排熱回収設備
・焼結主排ガス顕熱回収設備
・乾式高炉炉頂圧回収発電設
・転炉ガス顕熱回収設備
・電気炉スクラップ予熱装置

〈主要な高効率生産設備〉

・直流電気炉
・高効率型連続鋳造設備
（薄スラブ連鋳等）
・エンドレス圧延設備
・高効率自家発電設備
・高効率酸素設備

〈次世代製鉄技術〉

・溶融還元製鉄
・次世代コークス炉
・新製鋼フォーラム

2.　地域社会との連携を通じたエネルギーの活用

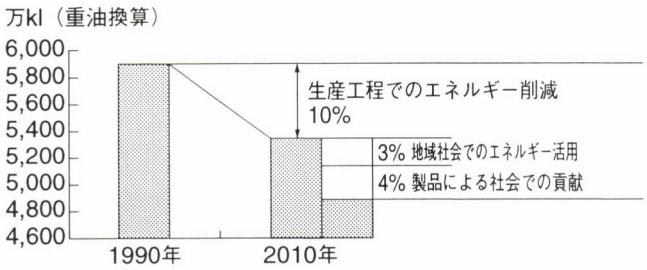
(1)　廃プラスチック、都市ごみ等の有効活用

(2)　未利用エネルギーの近隣地域での活用

3.　製品・副産物による社会での省エネルギー貢献

4.　国際技術協力による省エネ貢献

2010年に向けた取り組みの数量的評価



といった著しく低いレベルに抑える必要があることを意味している。

このような問題は、勿論、短期的に解決できるものではなく、100年単位の長期に亘り、世界全体で持続的取組みが必要な課題であるが、鉄鋼業としても当然のことながら対応していかなければならない大きな課題である[3)]。

1.3 地球温暖化問題への日本鉄鋼業の取組み

このような状況の中で、(社)日本鉄鋼連盟は、1996年12月に「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」を策定し公表した。その概要は、表8に示すとおりである。

本自主行動計画は、2010年までの対策を取りまとめたものであるが、上述のように地球温暖化問題は長期に亘り持続的対策を取り続けなければならない課題であり、鉄鋼業の将来に多大な影響を与えると考えられる。特に、環境・省エネルギー対策の分野で世界をリードしてきた日本鉄鋼業が、本分野で重要な役割を果たすことに対して大きな期待が寄せられている。

ところで、鉄鋼連盟の自主行動計画でも指摘されているように、CO_2の削減は、単に作る側の努力だけでは限界があり、ライフサイクルアセスメントの観点に立って、「作る→使う→再生する」のトータルな循環型鋼材利用について、需要産業、一般ユーザー、消費者、関係省庁、自治体とともに、その最も効率的で環境負荷の少ない利用パターンを追求していくことが必要となってきている。また、製造工程で発生する排熱の有効利用、スラグ等の副産物の有効利用についても、日本全体としてのCO_2削減取組みの中で、その促進を図っていくことが求められる。

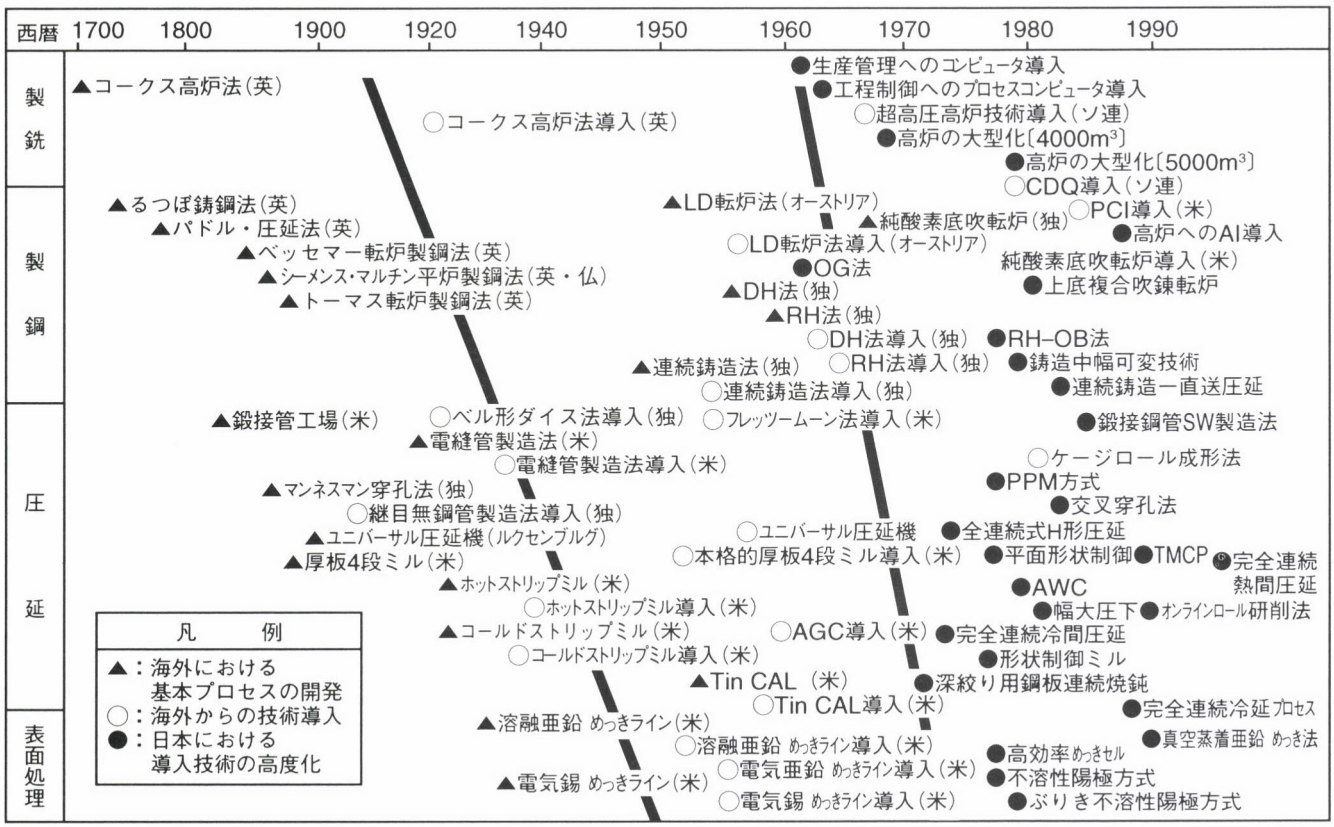
このような視点に立てば、日本鉄鋼業も単なる素材供給産業から、素材の製造から利用・再生までの全体を包括する素材統合産業へ転換していくと考えられる。そして「トータル・マテリアル・コントロール」ともいうべき解り易く説得力のある材料の製造・利用・再生に関する技術体系を構築することが求められているといえる。

2 製鉄技術の進歩

次に日本鉄鋼業が直面している第4の変化である「製鉄プロセスと鉄鋼材料の進歩」について、近年の発展を振り返りながら、最近の変化と今後の動向について展望することとする。

2.1 製鉄プロセス技術の発展

図19は、プロセス技術を中心とした製鉄技術の発展を概



出所：三好俊吉：「鉄鋼技術の進歩発展と将来展望」鉄と鋼 Vol.81（1995）P.N537

図19 鉄鋼技術（プロセス技術）の発展の歴史

括したものである。これをみると第１に、50年前の1950年代までに現在の主要製鉄プロセスの殆んどが諸外国で開発されていること、第２に70年代以降は、外国で開発された基本プロセスの改良や高度化が日本鉄鋼業によって進められてきていることが解る[4]。

1950年代からの日本鉄鋼業の発展を技術面から振り返ると、次の４つの時代に分けることができる。第１は、1950年代から1973年の石油危機までの外国の新技術・新プロセスを積極的に導入し、臨海一貫製鉄所の建設、設備の大型化・高速化、生産性の向上に努め、急速な量的拡大を遂げた「量的拡大期」である。

第２は、1973年の石油危機を契機に、いわゆる右肩上りの生産拡大期が終り、大きな社会問題となった硫黄酸化物、窒素酸化物等の公害対策やエネルギー価格高騰に対処するための省エネルギー対策が、鉄鋼生産に於いて重要な課題となった「環境・省エネルギー対策期」である。

第３は1980年代に入り、環境・省エネルギー投資が一循し、内外需とも量的拡大が期待できない中で、需要家のニーズの多様化に対応して、製品の多品種・高付加価値化を目指した溶銑予備処理、RH脱ガス、表面処理のプロセスに力が注がれた「多品種・高付加価値化期」である。

第４は、1985年のプラザ合意に端を発する大幅で急激な円高によって、国際競争力に陰りが出る中で、コスト削減に向けた生産の最適化・集約化やリストラクチャリング努力が進められている「最適化・リストラ期」である。

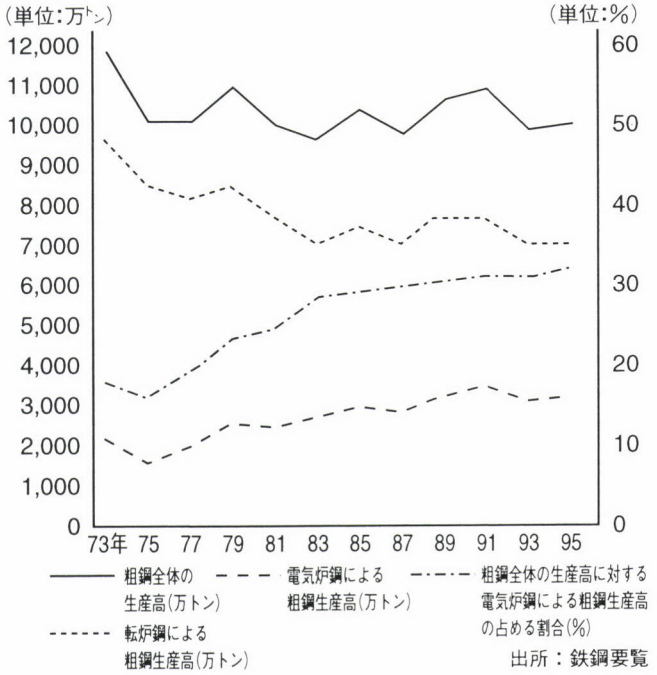


図20　電気炉鋼・転炉鋼別粗鋼生産高表（暦年別）

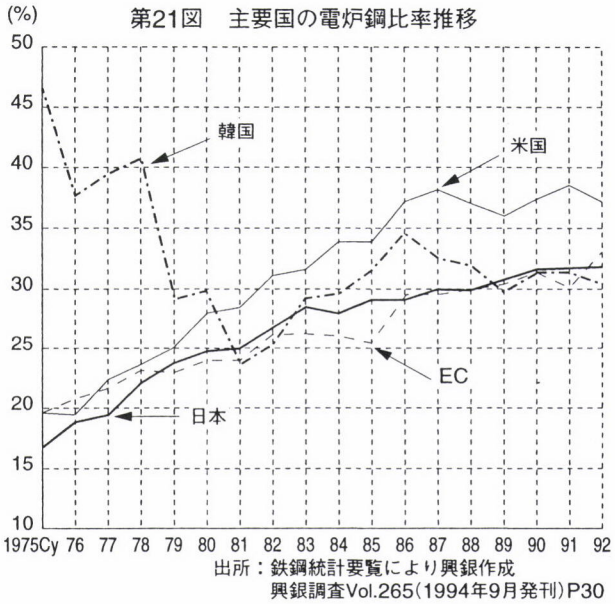


図21　主要国の電炉鋼比率推移

2.2　製鉄プロセスにおける３つの新展開

ところで、石油危機以降、量的拡大が期待できない中で、80年代製品の多様化・高付加価値化が進められるのと並行して、製鉄プロセスに関する３つの展開が生じてきている。

第１は、電炉操業技術の向上と電炉鋼比率の増加である。量的拡大が終わった1973年以降の粗鋼生産の推移を製造プ

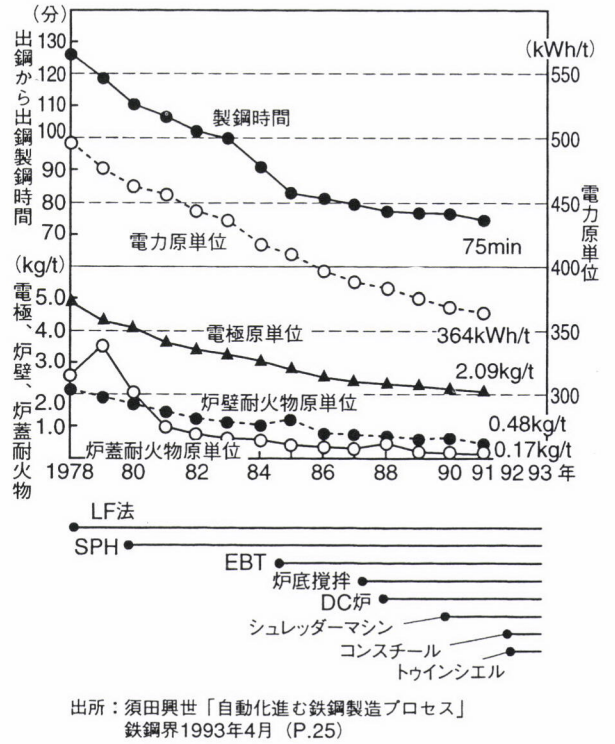


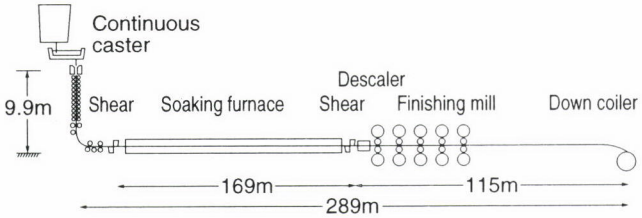
図22　電炉製鋼における主な技術開発と各種原単位の改善

ロセス別に見ると、図20に示すように転炉鋼が減少している中で、電炉鋼が着実に増加し、電炉鋼比率も1973年の18%から、95年には32%に増加していることが解る。この傾向は、図21に示すように主要鉄鋼国でも生じている。

この背景としては、発生するスクラップ量の増加、スクラップ価格の安定に加え、超高電力操業、取鍋精錬法、スクラップ予熱、直流電気炉の実用化等により、図22に示すように電炉鋼のエネルギー原単位・生産性の向上が図られるとともに、品質も向上し、競争力が強化されたことが挙げられる。特に粗鋼全体のエネルギー原単位が85年から横這い状況にある中で、電炉鋼の電力原単位が1978年から91年までに30%近く改善し、製鋼時間も40%短縮し生産性が大幅に向上していることは、注目に値する[5)]。

米国では電炉を用いたいわゆるミニミルが生産量を拡大しているが、このようにミニミルの拡大が減少傾向にあった米国の粗鋼生産を反転させ、増加させる大きな要因となっている。

第2は、薄スラブ連鋳法やストリップ連鋳法の出現である。薄スラブ連鋳法は、厚さが20～80mm程度の薄いスラブを連続鋳造することによって、従来の熱間圧延工程の前段を省略しようとするもので、独のシュレーマン・ジーマグ社により、1980年代後半開発・実用化された連鋳プロセス



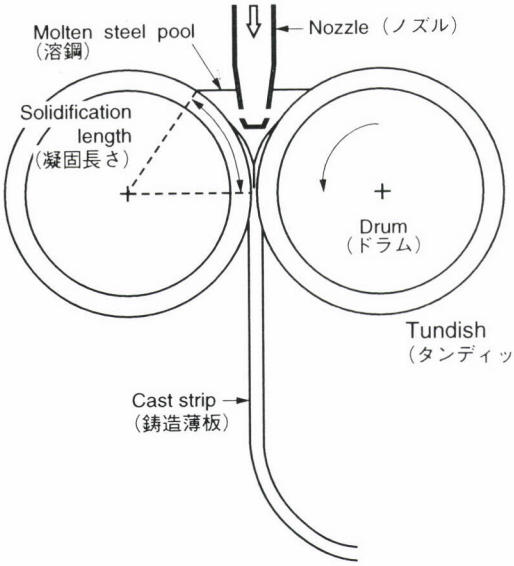
出所：杉谷泰夫「薄スラブ連鋳機開発の現状と今後」
日本鉄鋼協会　西山記念技術講座　1994年　P.242

図23　Nucor Steel Crowfordsville工場の薄鋼板生産ライン

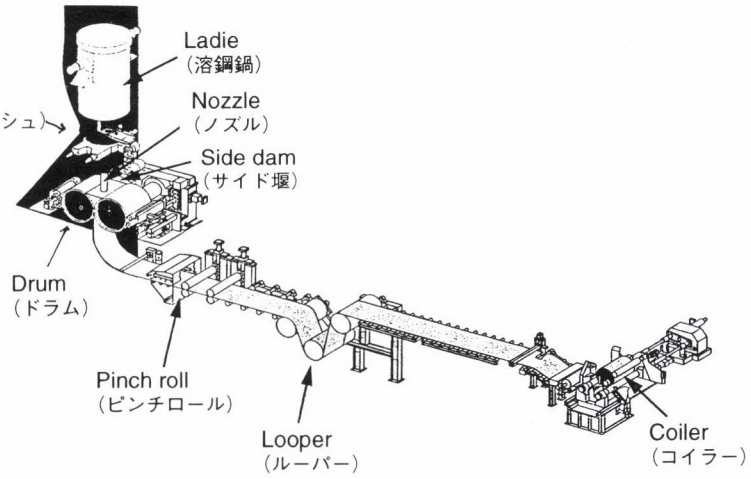
表9　世界における薄スラブ連鋳機の稼働・建設状況

	会社名	国	メーカー	稼働年	特記
稼働中	Avesta/Avesta	Sweden	VAI	1988	SUS 80mm厚
	Nucor/Crawfordsville	USA	SMS	1989	
	Nucor/Hickman	USA	SMS	1992	
	Arvedi/Cremona	Italy	MHD	1992	
	ILVA/Terni	Italy	SMS	1993	SUS
建設中	Hylsa/Monterrey	Mexico	SMS	1994	
	Nucor/Crawfordsville	USA	SMS	1994	CC 2st化
	Nucor/Hickman	USA	SMS	1994	CC 2st化
	Geneva/Provo	USA	SMS	1994	薄厚兼用
	韓宝/牙山湾	韓国	SMS	1995	
	Hylsa/Monterrey	Mexico	SMS	1995	
	Gallatin/Warsaw	USA	SMS	1995	
	Armco/Mansfield	USA	VAI	(1996)	75mm厚
	Nusantara/K-Lumpur	Malaysia	MHD	(1996)	I & SM情報
	Ipsco/(USA立地)	Canada	MHD	(1996)	100mm厚
	Cukurova/Aliaga	Turkey	MHD	繰延べ	

出所：王寺睦満「鋼のスラブ連鋳技術の最近の動向」
日本鉄鋼協会　西山記念技術講座　1994年　P.34

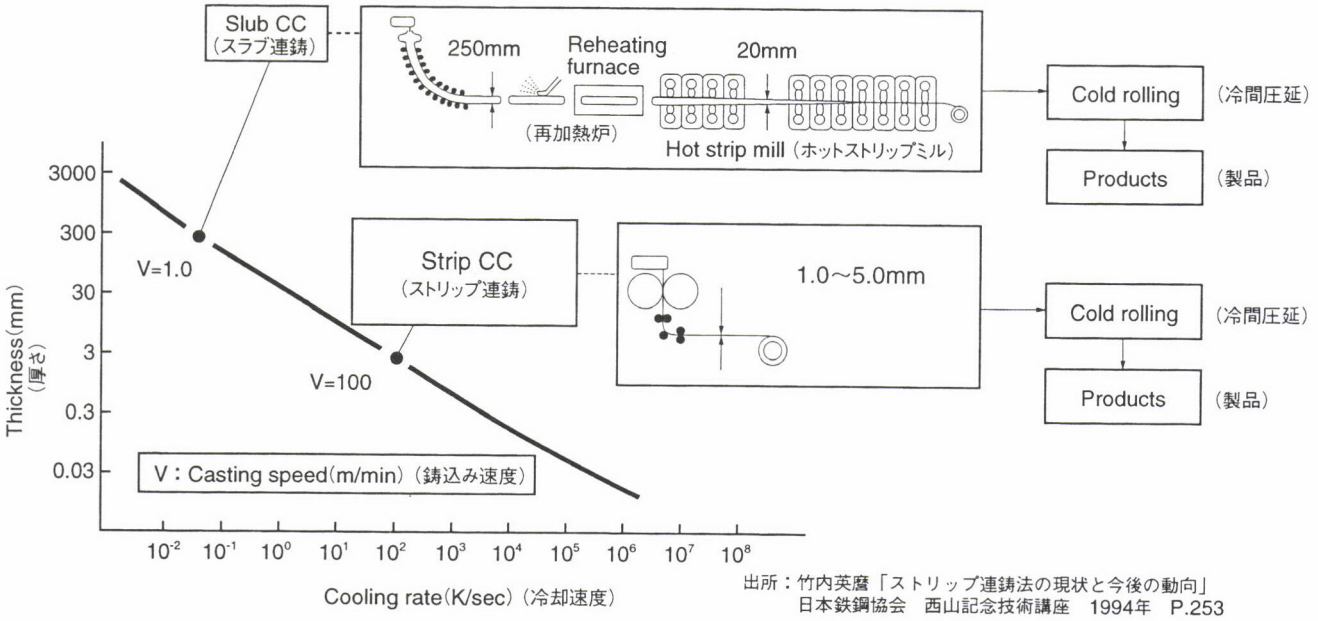


出所：竹内英麿「ストリップ連鋳法の現状と今後の動向」
日本鉄鋼協会　西山記念技術講座　1994年　P.253



出所：「しんにってつ」新日本製鐵
(1997年3月)

図24　ストリップ鋳造法の原理及び設備のイラスト



出所：竹内英麿「ストリップ連鋳法の現状と今後の動向」
日本鉄鋼協会　西山記念技術講座　1994年　P.253

図25　冷却速度と板厚の関係の従来連鋳機との比較

である。これにより、熱間圧延設備がコンパクト化でき、設備費の大幅削減が可能となり、特定の品種については年間100万トン程度の設備でも、大型ホットストリップミルによる大量生産方式（200～300万トン／年）とコスト面で対抗できる状況が生まれつつある。

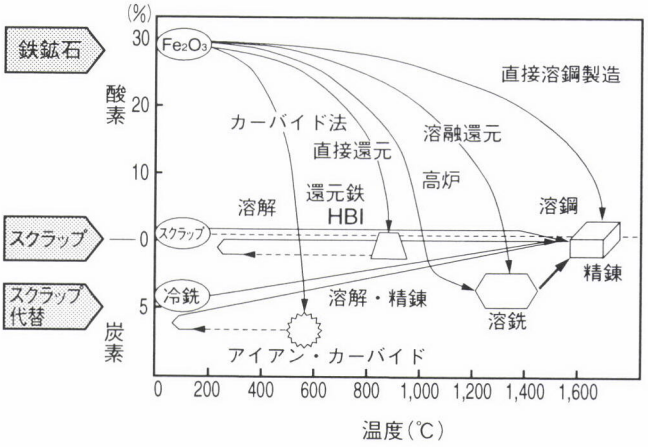
このような技術開発の結果、従前は一貫製鉄所内の大型設備によって生産されていた薄板の一部の製品（いわゆる汎用品）が、電気炉とコンパクトストリップミルを組み合わせたいわゆるミニミルでも製造できるようになってきている。現に、1989年ニューコア・スティールのクロフォードビル工場において、薄スラブ連鋳機が稼働し、その後数基の薄スラブ連鋳機が世界各地で稼働している。(図23、表9参照)[6)7)]

ストリップ連鋳機は、熱間圧延工程を省略し溶鋼から直接鋼板を製造しようとする方法で、そのアイディアは19世紀のベッセマーに溯るが、1980年代後半から、より製品に近い形に鋳造するニアネットシェイプ鋳造技術開発が盛んになる中で、新日本製鐵、三菱重工業、ユジノール・サシノール社、ティッセン社等の鉄鋼各社で研究開発が進められている。本年9月に新日本製鐵光製鉄所でステンレス鋼板製造用のストリップキャスター(ストリップC.C)が、世界にさきがけて実用化され稼働する見込みである。(図24、25参照)

本プロセスの特徴は、図25に示すように冷却速度が100℃／秒と従来法より1000倍大きく、板厚は1～5mm程度と従来法の1/100であり、熱間圧延が不要なことである。ストリップ連鋳機は、急冷凝固により、介在物、偏析の少ない展延性等にすぐれた鋼板を製造できるとともに、薄スラブ連鋳と同様、多額の設備費を投入せずに小規模生産量で競争力のある薄板を特定品種については、製造することを可能にすると考えられる[8)9)]。

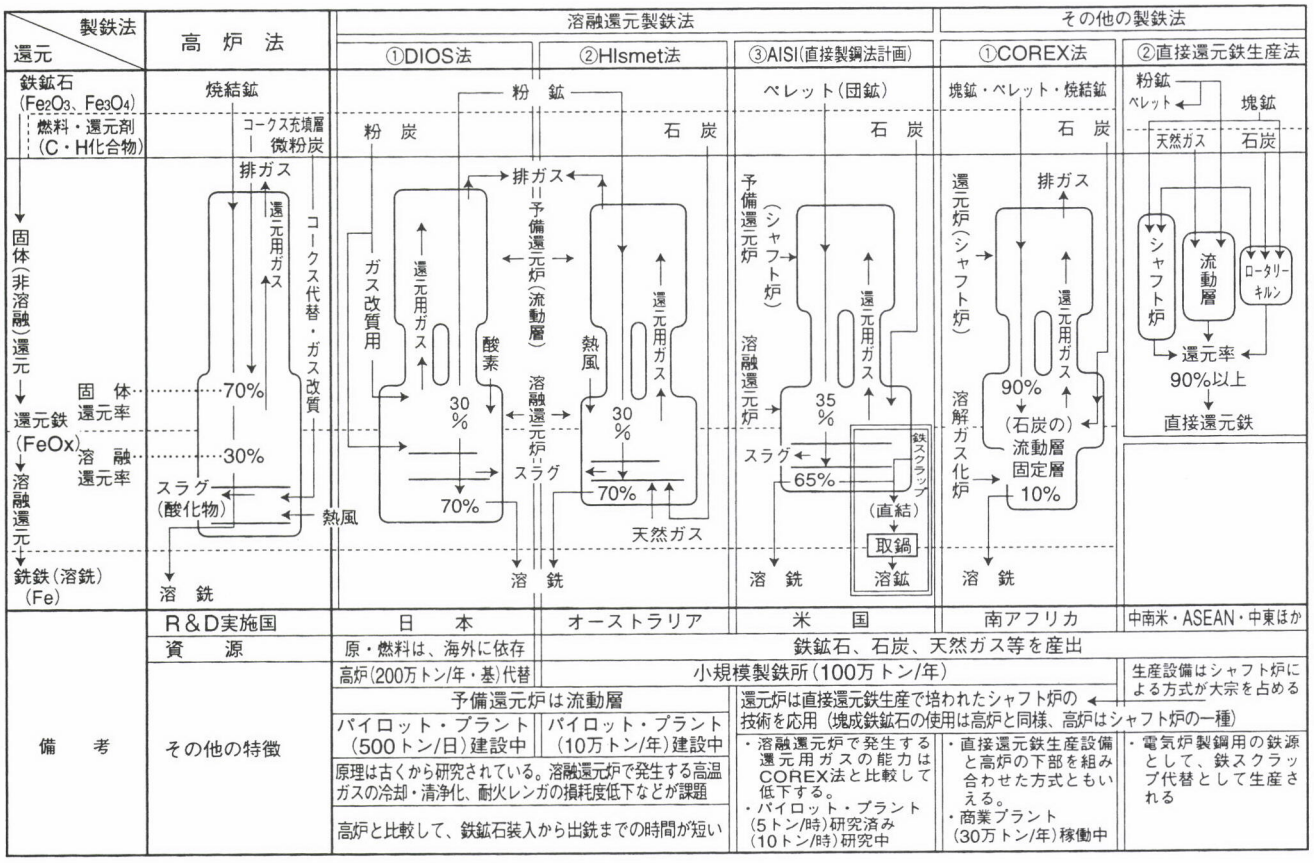
第3は、溶融還元法等の新鉄源製造プロセスの出現である。1970年代初より天然ガス等を利用した還元鉄製造プロセスは実用化され、現在では2千数百万トンの還元鉄が生産されているが、近年注目されているのは、ミドレックス法のような従前の還元鉄製造法に加え、石炭を利用した新しい鉄源製造プロセスが実用化されたり、実用に向けて開発が進められていることである。

図26は、各種の溶鋼製造プロセスの還元ルートであり、



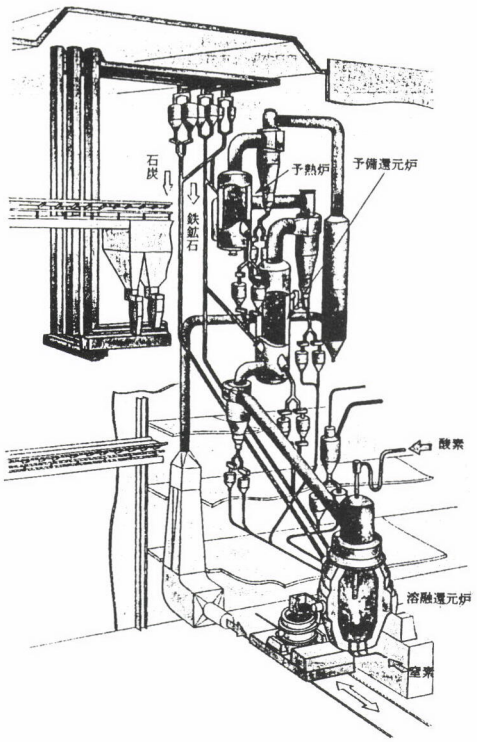
出所：冨浦梓「プロセスの特徴とその戦略的評価」
鉄鋼界 1996年 11月 P.26

図26　溶鋼製造プロセス



(注) イラストは固体還元、溶融還元の領域を横断的に示している。
(出所) 「鉄鋼界」1992年4月「高炉法と非高炉製鉄法」

図27　製鉄法（高炉法、溶融還元鉄法、その他の製鉄法）の違い



出所：DIOSパンフレット

図28　DIOSパイロットプラント設備のイメージ

図27は代表的な鉄源製造プロセスの概要である。

前項で述べたように電気炉－薄スラブ連鋳－コンパクトストリップミルという新しい薄板の製造プロセスが生まれつつある中で、良質の鉄源をどのように確保するかが重要な課題になりつつある。良質のスクラップ不足を解消するための一つの方策として、新製鉄法による鉄源の製造、特に粉鉱石や非粘結の粉炭を前処理せず幅広く利用できるDIOSプロセス（図28参照）等の溶融還元法に関心が寄せられている[10]。また、塊鉱と石炭を利用するコーレックス法については、韓国の浦項総合製鉄が導入し、生産を開始していることからも、注目を集めている。

3　鉄鋼材料の進歩と展望

3.1　需要分野別鉄鋼材料の進歩

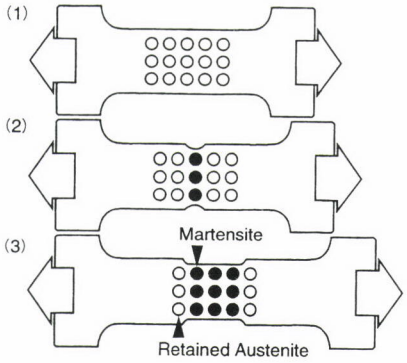
鉄鋼材料は、その安さ、強さ、加工性、信頼性によって、全世界で使用されている素材の約40%を占めるに至っている。素材としての鉄鋼材料に対しては、これらの特性をより高めていくことが期待されているが、近年の鉄鋼新材料や新製品を需要分野別にまとめると、図29のとおりである。構造材としての鉄鋼は、①強度(引張り強さ等)、②靱性(低

	1980年	1985年	1990年
建築用		・低降伏化鋼	・耐火鋼
自動車用	・IF鋼による深絞り用鋼板	・2層合金電気Znめっき鋼板	・TRIP系ハイテン ・2層溶融合金化Znめっき鋼板
電気機器用	・高鮮映性鋼板 ・制振鋼板 ・高磁束密度方向性電磁鋼板 ・高磁束密度無方向性電磁鋼板	・高耐食性潤滑鋼板	・6.5%ケイ素鋼板
船舶用	・TMCP鋼		・予熱低減ハイテン鋼 ・SUF鋼
エネルギー用	・二相ステンレス	・ボイラー用高Crフェライト鋼	

（出典：「鉄鋼主要分野における製品開発経緯と今後の展望」 1988年7月 (社) 鋼材倶楽部

図29　鋼材の近年の開発状況

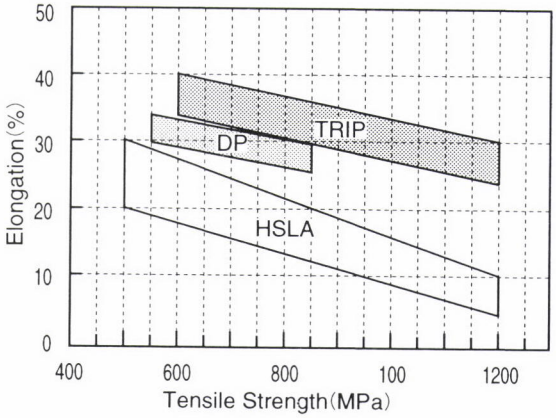
高残留オーステナイト高張力熱延鋼板は、室温で存在しているオーステナイトがひずみを受けることによって、マルテンサイトに変態する性質を利用して超塑性を得るものである。



(a) Schematic Diagram of TRIP Effect.

すなわち (a) 図1に示すように(1)鋼板に塑性ひずみを与えると、(2)ひずみが集中した箇所で残留オーステナイトがひずみ誘起マルテンサイト変態を起こす。(3)その結果、相対的に低強度の未変形部において新たな変態が起こる。この現象が繰り返し起こり、ひずみが次々と未変形部に分散され変形が均一となり延性が向上する。これがTRIP効果 (TRansformation Induced Plasticity) と言われているものである。

このTRIP効果によって高残留オーステナイト鋼板は、従来の高強度鋼板と比較して優れた強度—延性バランスを有している。(b)は、高残留オーステナイト鋼の強度—延性バランスが、析出強化型のHSLA鋼 (High Strength Low Alloy) や複合組織強化型のDP鋼 (Dual Phase) と比較して優れていることを示している。



(b) Relation between Tensile Strength and Elongation.

出所：横井龍雄他「残留オーステナイトを含む高強度熱延鋼板の疲労特性」社団法人　自動車技術会　学術講演会前刷集952 1995年5月　P153より抜すい

図30　変態誘起塑性（TRIP）の仕組みとTRIP鋼の特性

温脆性、延性等)、③耐食性、④加工性(深絞り性、溶接性等）の特性が向上しており、また、機能材としては、電磁気特性、耐熱性、耐火性等が向上した鋼材が開発されている。

需要分野別の鉄鋼材料の主な進歩は、次のとおりであるが、素材としての鉄鋼は、単に一つの特性が向上しただけでは意味がなく、部品や製品に加工される段階、これらが使用される段階での需要産業や使用者のニーズに応え、信頼性、安全性を確保しながら、新しい鉄鋼材料が開発されてきている点に注目すべきである。

建築、土木分野では、①鋼材の信頼性・安全化向上の観点から、降伏点を下げ、鋼材の塑性変化により大地震のエネルギーを吸収する低降伏点鋼、②予熱温度50℃で容易に溶接ができる予熱低減高張力鋼、③大入熱溶接を可能とする大入熱溶接用高張力鋼等が開発されている。

自動車向分野では、①製鋼段階で炭素含有量をできるだ

け低くするとともに、鋼材中の炭素や窒素をチタンやニオブによって固定することにより深絞り性を向上させたIF (Interstitial Free) 鋼、②残留オーステナイトからマルテンサイトへの変態誘起塑性（TRIP：Transformation Induced Plasticity）を活用することにより、1000MPA以上の強度と30%以上の延びの同時達成を可能にしたTRIP鋼(図30参照)[11]、③耐食性を向上させた2層合金化亜鉛めっき鋼板等の開発を挙げることができる。

電気機器分野では、①洗濯機等の音や振動を吸収する制振鋼板、②耐食性、加工性を向上させるとともに、家電製品の組立工程の改善に資する高耐食性潤滑鋼板やプリペイント鋼板、③鉄損を改善し、変圧における省エネに寄与する高磁束密度電磁鋼板等を挙げることができる。

船舶の分野では、①制御圧延と制御冷却（水冷による加速冷却）を適切に組合わせるTMCP (Thermo-Mechanical Control Process、加工熱処理) 技術により造られる厚板の非調質高張力鋼（TMCP鋼）が挙げられる（図31参照）。TMCP鋼は、結晶粒の微細化と析出物の微細分散化によって、合金成分や炭素当量を抑えながら、溶接性を損なわずに靱性と高張力を達成できる鋼材である。これにより予熱を低減した溶接が可能となり、信頼性や加工性の向上に大きく寄与している[12]。また、厚板の表層部の結晶粒をサブミクロンに微細化し、脆性亀裂の伝播を阻止するSUF鋼も開発されている。更に、耐食性にすぐれたチタンクラッド鋼板も開発され、現在建設中の東京湾横断橋やメガフロートの試作品のスプラッシュ部に使用されている。

エネルギー分野では、発電エネルギー効率を向上させるため、圧力30MPA、蒸気温度600℃以上で使用できる高クロムフェライト系ステンレスチューブ等が開発されている[13]。

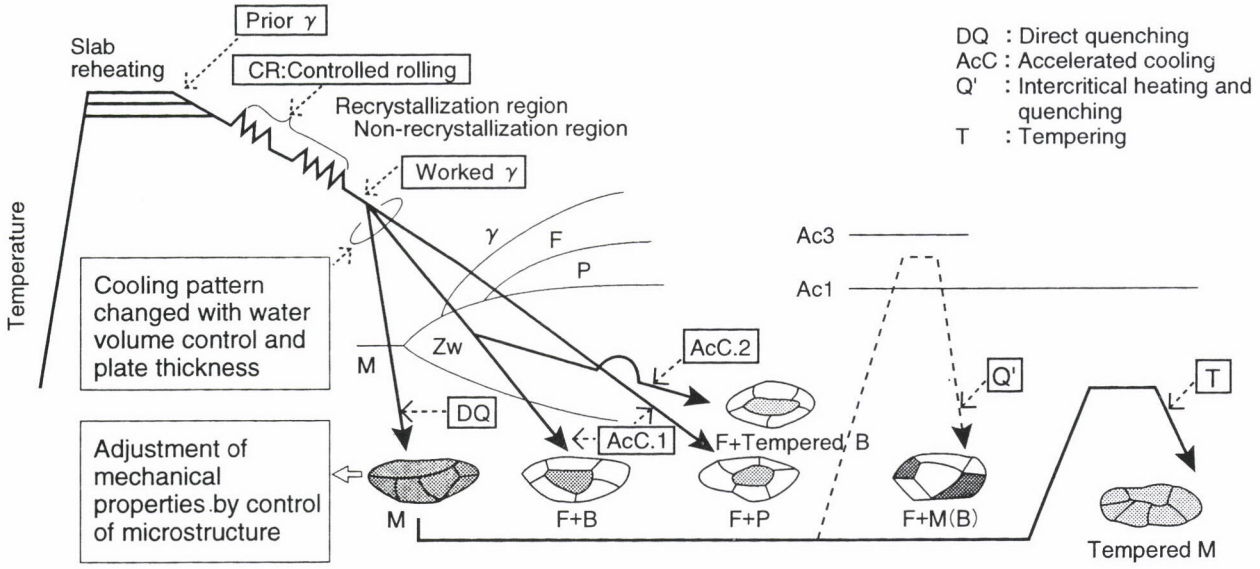
3.2 鉄鋼材料の展望

以上が、主な需要分野における鉄鋼材料の最近の進歩であるが、これからの経済・社会ニーズに対応した鉄鋼材料の方向を予想すると次の2点が考えられる。

第1は、地球温暖化問題に対応した省エネルギー性、リサイクル性に優れた材料の開発である。省エネルギー化の観点からは、①製造に要するエネルギー使用原単位の少ない鋼材、②建築物や機械製品がつくられる過程で、使用原単位を減ずることのできる強靱で薄い鋼材、③自動車の軽量化や発電タービンの耐熱性向上のように、製品の使用時におけるエネルギー効率向上に資する鋼材、④メンテナンスが容易で長期間安全に使用できる鋼材、⑤耐火鋼のように新規利用分野を拡げることによって省エネルギーに資する鋼材の開発が求められている。

リサイクルの観点からは、繰り返し再生使用してもトランプエレメントの増加によって品質劣化をもたらされない、再生過程でコントロールが容易な合金元素のみを含む鋼材や表面処理鋼板が求められている[14)15)]。

このような要請に応える材料として、「エコ・スティール」とも呼ぶべき鋼材の開発が考えられる。「エコ・スティール」とは、①合金元素を極力使用せず、②スクラップの使用をできるだけ可能とし、③強さ、靱性、耐環境性等に優れ、④リサイクル性にすぐれ、製造、使用、回収、再生のそれ



出所：大沢紘一「鉄鋼技術10年の軌跡」鉄と鋼 Vol.81. No4(1995) P204

図31　加工熱処理技術によるミクロ組織制御の図解

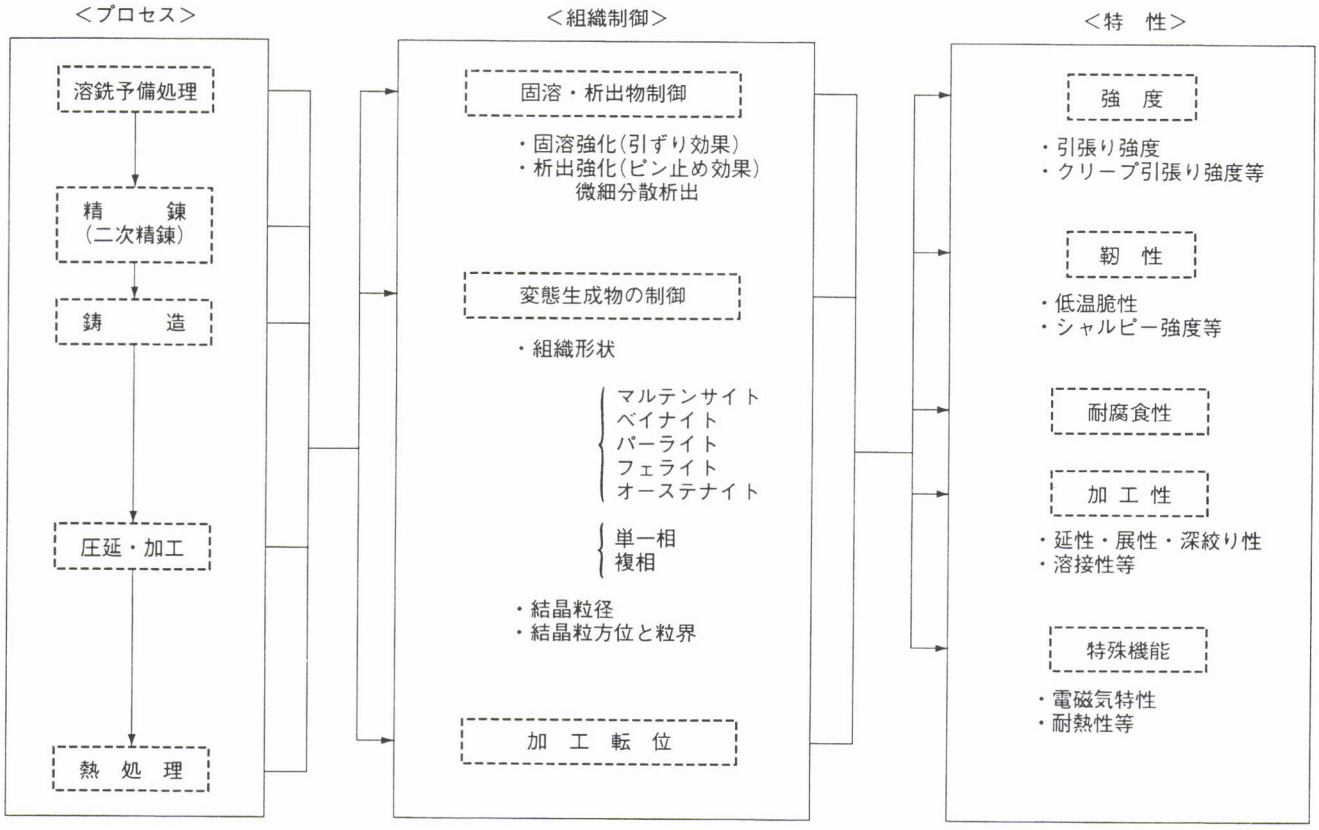


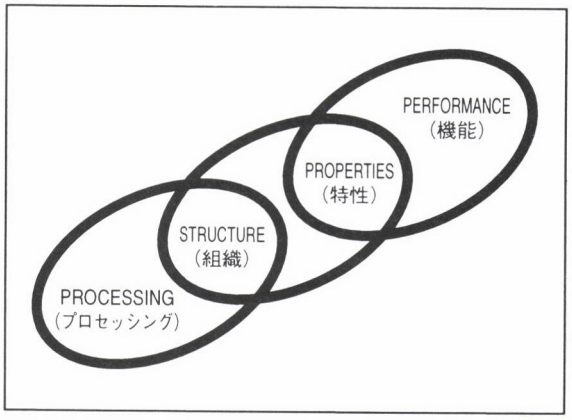
図32　鋼の製造プロセス、組織、特性の関係

ぞれの局面を通して環境への負荷が少ない鋼材である。

平成9年度から通産省産業技術開発プロジェクトとしてスタートする「スーパーメタルの研究開発」は、メゾスコピック制御技術によりミクロンオーダーの微細な結晶組織をつくり、合金元素を極力抑えながら強度と靱性の同時向上を目指しているが、「エコ・スティール」の実現に向けた一つの試みといえる。同じく平成9年度からスタートする科学技術庁金属材料技術研究所の「新世紀構造材料研究開発」も、合金元素を極力抑えながら構造用鉄鋼材の強度と構造体の寿命の2倍化を目指している点で、「エコ・スティール」のコンセプトと関連を有しているといえる。

今後の鋼材開発の第2の方向は、阪神大震災のような巨大で瞬時に加わる外力や衝突による高速歪みや高サイクルの引張り圧縮力に対しても対応できる強靱で信頼性の高い鋼材の開発である。鉄鋼材料は、厳しい品質管理のもとで工場生産されているため、バラツキが少なく信頼性が高い素材である。しかしながら、建築物のように現場溶接等の加工が加わると、異なった環境下で多様な変化に幅広く対応できる性能が求められることになる。即ち、使用され、加工される局面においても、信頼性や安全性がユーザへの負担の少ない形で確保でき、メンテナンスや修復も容易にできる鋼材が求められている。

先に述べた変態誘起塑性(TRIP)現象を伴う材料は、材料に加わる応力を感知して、オーステナイトがマルテンサイト変態を起こし、①クラック先端の応力集中を緩和するとともに、②マルテンサイト変態にともなう組織の膨張によって、微細はクラックを小さくしながら大きな延びを生んでいくものであり、発生した亀裂を自ら小さくする性質



G B Olson, Proceedings of International Forum on Creation of Super Metallic Materials, NEDO. RIMCOF, JRCM, Feb. 1997 (P.15)

図33　材料科学と材料工学の中心的パラダイムのための3つのチェーンモデル

を有している。このように使用時における高速歪みに組織変態して対応できる鋼材も上述の鋼材開発の一方向であると考えられる。

図32に示すように、予備処理から熱処理に至る各工程の中で、鋼の組織制御がなされ鋼の特性が発現されていくが、各プロセスにおける成分、温度、圧延加工コントロールの精度が一層向上し、また、強加工または急速熱処理による大歪み、高速歪みを加えるプロセスが導入されることにより、従前では達成できなかった優れた性能を有する鉄鋼材料が開発されていくことが期待されている[16)17)]。

そして、図33に示すように各プロセスにより、材料組織がつくられ、それによる特性が発現し、材料としての機能を発揮していく方向に加え、機能から特性、組織、そのためのプロセス制御を導き、機能に対応した鋼材を製造していくことも将来の方向として考えられる[18)]。

「以下　次号に続く」

引用文献及び参考文献

1）通商産業省基礎産業局監修「新世代の鉄鋼業に向けて」通産資料調査会，1987年（p.62）

2）日本鉄鋼連盟，鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画，1996年12月公表

3）産業構造審議会地球環境部会報告書，1997年３月

4）三好俊吉：鉄鋼技術の進歩と将来展望，鉄と鋼　vol.81, 日本鉄鋼協会，1995年，（p.537）

5）須田興世：自動化進む鉄鋼製造プロセス，鉄鋼界，日本鉄鋼連盟，1993年４月号

6）王寺睦満：鋼のスラブ連鋳技術の最近の動向，日本鉄鋼協会西山記念技術講座，1994年

7）杉谷泰夫：薄スラブ連鋳機開発の現状と今後，日本鉄鋼協会西山記念技術講座，1994年

8）竹内英麿：ストリップ連鋳法の現状と今後の動向，日本鉄鋼協会西山記念技術講座，1994年

9）竹内英麿他：ツインドラム鋳造法によるステンレス鋼板の製造，新日鉄技報351，新日本製鐵，1996年５月

10）日本鉄鋼連盟：溶融還元製鉄法（DIOS）の共同研究を終えて，鉄鋼界，日本鉄鋼連盟，1996年６月

11）横井龍雄他：残留オーステナイトを含む高強度熱延鋼板の疲労特性，自動車技術会学術講演会前刷集952，1995年５月

12）大沢紘一：材料製造技術，鉄と鋼　vol.81，日本鉄鋼協会，1995年（p.449）

13）21世紀に向けて進化を遂げる鉄，鉄鋼界報　1697号，1997年１月

14）H.Harada：MLCA helps Eco-Design of Materials, 2nd International Eco Balance Conference

15）原田幸明：表面処理技術とエコマテリアル化，表面技術　第46巻第２号，1995年

16）友田陽：エコマテリアル事典第２章，サイエンスフォーラム

17）牧正志：鉄鋼の組織制御の現状および展望と問題点，鉄と鋼　vol.81，日本鉄鋼協会，1995年，（p.473）

18）G.B.Olson：Proceedings of International Forum on Creation of Super Metallic Materials, NEDO. RIM-COF, JRCM, Feb, 1997

（1997年２月19日受付）

展望

日本で発見され工業化された酸化物磁性材料「フェライト」

山﨑陽太郎　東京工業大学　大学院総合理工学研究科 物質科学創造専攻　教授
Yotaro Yamazaki

An Early History of Ferrites in Japan

1 はじめに

フェライト*は1930年に東京工業大学電気化学科加藤与五郎教授と武井武助教授により最初に合成され、しかも発見者らが、世界に先駆けて、この物質がエレクトロニクスの分野で非常に広い用途を持っていることを実証した材料である。外国で見出されたものを発展させたのではなく、発見から特性の改良及び商品化までが最初に日本で行われ、かつそれを裏付ける資料が整っている、数少ない工業材料の一つである。

武井先生は永久磁石材料用フェライトと軟磁性材料としてのフェライト（ソフトフェライトとも言う。本文では磁心用フェライトと呼ぶ）を開発された。磁心用フェライトは、高周波トランスの磁心（コア）として多く使われている。家庭用電源のような低い周波数では、珪素鋼板を積み重ねた磁心を使ったトランスで、電圧を変えることができる。しかし、電池で動くノートブック型パソコンの明るい画面を作るためには、高周波で動くインバータが必要であり、そこではフェライト磁心を使ったトランスを使わなければならない。このほかにも磁心用フェライトはいろいろな電子部品に使われている。（図１）

2 永久磁石用フェライト

加藤・武井両先生の専門は、現在フェライトが使われている電気・電子工学の分野ではなく、冶金あるいは分析化学に近い分野であった。亜鉛の製錬過程で、亜鉛鉱を酸化ばい焼しているときに亜鉛フェライトが生成し、その後の、湿式法による亜鉛の抽出の際に抽出率が低下するので、対策を研究し始めた1929年がフェライト発見の始まりである。

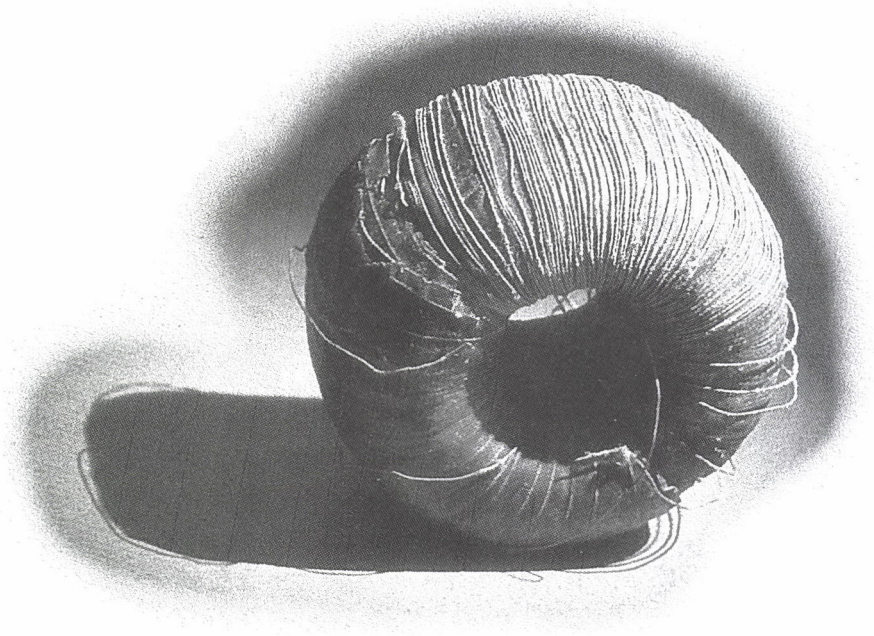
武井先生は後に「加藤先生から頂いた文献に『亜鉛フェライトには磁性がある』と書かれてあったので、磁性によって亜鉛フェライトの生成を検出しようと思った」と書いている[1]。

武井先生は、熱処理や亜鉛の濃度によって磁性が出たり出なかったりする亜鉛フェライトを調べていたが、研究の流れは、亜鉛の製錬から亜鉛フェライトの磁性解明へと移り、亜鉛の代わりに銅、カドミウム、ニッケル、マグネシウム、マンガン及びコバルトを固溶したフェライトの磁性を調べる研究へと進み、ついに、コバルトフェライト（$CoO \cdot Fe_2O_3$）を高温から磁場中で冷却したときに、強い永久磁石になることを見出した。

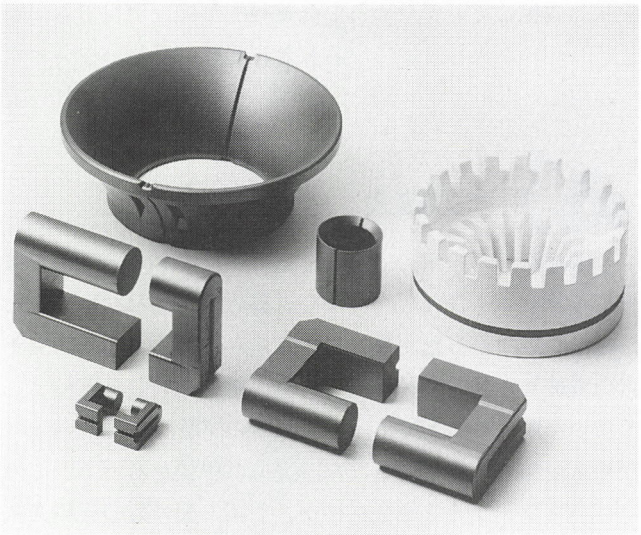
武井先生は磁石の研究で有名な本多光太郎先生のおられた東北大学金属材料研究所に在籍されたことがあるので、この強い永久磁石を発見したときに、将来重要な工業材料に育つかもしれないと思われたことは想像に難くない。

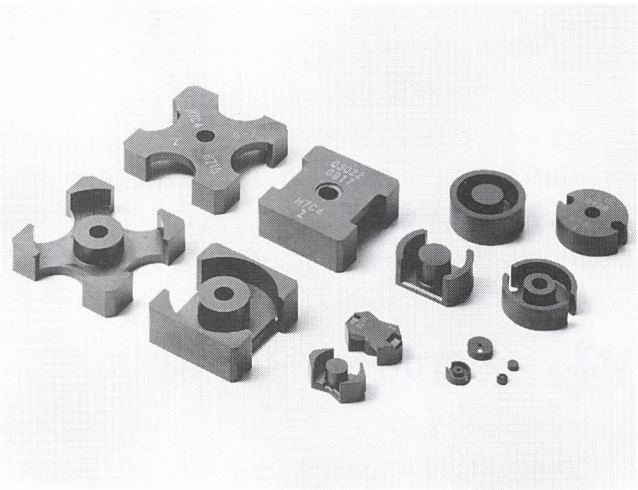
武井先生のグループは早速このコバルトフェライト磁石を「OP磁石」（Oは東工大キャンパスのある『大岡山』と『オキサイド（酸化物）』の二つの意味を持っている。Pは『パーマネント・マグネット（永久磁石）』を表している）と名付け、長期にわたり極めて精力的に開発研究を続けた。三菱電機株式会社との共同研究も開始された。その結果磁石

＊フェライト：狭義には一般式$MO \cdot Fe_2O_3$で表されるスピネル構造を持つ酸化物磁性体を指す。Mは２価の金属イオンである。マグネタイト（Fe_3O_4）は、Mに鉄イオン入ったものであるが、これは空気中で加熱すると酸化され、磁性のないコランダム構造のヘマタイトに変わってしまう。したがってマグネタイトの粉末を固めて高温で焼いても、磁性を持った焼結体を作ることはできない。このために、酸化鉄を磁性材料として使うことは、マグネタイトが古くから知られていたにもかかわらず、加藤・武井先生の年代まで、本格的に検討されたことはなかった。Mに、銅、コバルト、ニッケルなどの３価になりにくい元素を入れるとスピネル構造が安定となり、磁性を持った焼結体ができる。これがフェライト磁性材料である。Mに亜鉛を入れたものは、スピネル構造ではあるが、亜鉛イオンが磁気モーメントを持っていないので、磁性がない。このときMの一部に鉄イオンが入っていると、その分だけ磁性が生じる。しかも亜鉛によりスピネル構造が安定化されているので磁性を持った焼結体ができる。加藤・武井先生が最初に興味を持って磁性を調べていた鉄-亜鉛フェライト[5]はこのようなものであったと思われる。亜鉛固溶による高周波損失の低減については文献３に解説がある。



1936年に製造された銅-亜鉛フェライト磁心第1号（写真提供TDK㈱）





現在のソフトフェライト製品：（左）パーソナルTV、高精細TV、コンピュータのカラーCRT等に用いる偏向ヨークコア、フライバックトランスコア；（右）各種フィルタ・インダクタ、広帯域トランス、ハイブリッドIC、時計用昇圧トランスなどに用いられるフェライトコア

図1

の性能は大幅に向上し、昭和13年頃には砂鉄選鉱機、マイクロフォン、小型発電機、爆破用磁石などに使われるようになった。

3 バリウムフェライトの出現

しかし、1952年にコバルトフェライト磁石よりも数段強いバリウムフェライト磁石が、オランダのフィリップス社で開発された後は、材料コストも高いコバルトフェライトは劣勢となり、長年の苦労が報われることなく、ついに市場から姿を消してしまった。日本におけるコバルトフェライトの発見に刺激されてバリウムフェライトの開発が始められたのであるが、バリウムフェライトの組成は$BaO \cdot 6(Fe_2O_3)$であり、永久磁石となる原理がコバルトフェライトの場合とは異なっている。武井先生のグループでも、研究スタッフの何人かは、この組成でサンプルを作っていた

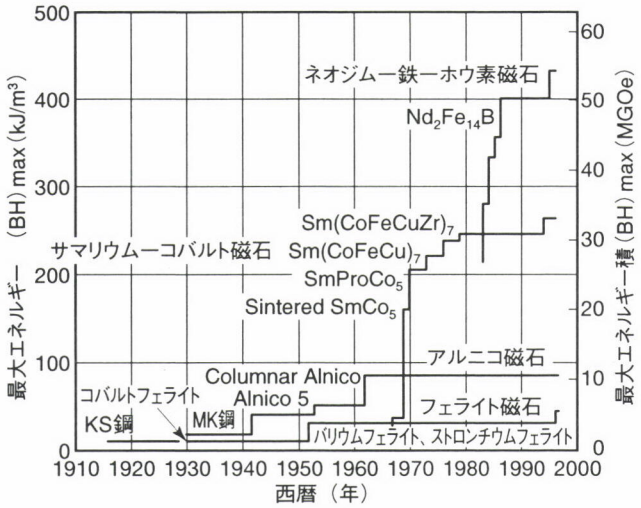


図2　永久磁石材料の性能向上の歴史

が、見つけだす幸運にはめぐり合えなかった。バリウムフェライトは生成温度が高く、当時の設備と実験条件では試料中にこの物質がほんのわずかしか生成していなかったらしい。「この組成で保磁力に異常が出るデータは持っていたんだが、磁化があまりにも少なかったんで、深追いしなかった。生涯の不覚だった」と武井先生はそれから40年後この頃の思い出を語られた折に話して下さった。

しかしながら、隆盛を極めたバリウムフェライト磁石は、その後現れたさらに強力な希土類磁石に高性能磁石のタイトルを奪われ、現在では主に低コスト磁石材料として使われている。永久磁石の高性能化の歴史を図2に示す。

4 磁心用フェライトの発見

ところが、武井先生が見つけられたもう一つのフェライトである亜鉛固溶型の磁心用フェライトが、実は磁石材料より複雑な機能と広い用途を持っていたために、こちらの方が巨大に成長し、現在も先端材料として盛んに生産され、研究も続けられている。

磁心用フェライトは高周波で作動するトランスや、アンテナ、インダクタあるいはテレビやパソコンの表示装置であるブラウン管を駆動する偏向ヨーク、さらには電子機器から有害な電磁波が放出されるのを防ぐシールド材や電波吸収体としても大量に使われている。

磁心用フェライトの発見は、1930年に、武井先生が、キュリー点の異なるフェライトを混合して焼成するとキュリー点が組成に応じて変わることに興味を持ったことに始まる。この一方のフェライトとして、キュリー点の低い亜鉛フェライトを選び、銅フェライトといろいろな組成で固溶体を作り、キュリー点を測定していた。亜鉛フェライトの割合が増加するにつれてキュリー点が下がったが、それと同時に保磁力が急激に減少した。キュリー点が下がるとそれにつれて保磁力が低下するのはとくに珍しいことではないが、その減少のしかたが極めて大きかった。早速この試料の透磁率を計ってみると異常に大きかった。

武井先生は、この透磁率の増大も、コバルトフェライトで保磁力が増大した時と同様に「重大な異常現象」と捉えた。武井先生から報告を受けた加藤先生は「ではまず特許を出そう」と言われた。有名な、磁心用フェライトの最初の特許は1936年にこのようにして生まれたのであるが。後に武井先生は「どのようにこの特性を利用してよいか見当もつかなかった」と書いておられる[2)]。

「武井先生が見つけられた現象の中で、後世に最も大きな影響を与えたものは何だろうか？」と言う問いには、「マグネタイトのようなスピネル系酸化鉄磁性体に亜鉛を固溶させると、キュリー点が下がると同時に、高周波磁心材料特性が著しく向上する。すなわち、この物質を高周波コイルの磁心材料に使うと、損失が非常に小さくなることを見つけた[3)]。この原理を使った磁心材料は、あらゆる電子機器が高周波化していくために、発見後65年経た現在でも、新しいニーズが生れ続けている」と答えれば間違いないと思う。

5 用途の拡大

永久磁石材料の用途は、紙を止めるマグネットのように誰でも思いつくけれども、磁心材料の応用は最初はなかなか見つからなかった。最初に申し込みがあったのは1934年、富士電機製造株式会社からであり、電話線の装荷線輪として使いたいとのことであった。大学の実験室で性能向上のため試料作りが繰り返された。努力の甲斐があって、この頃作ったフェライト磁心材料が、ドイツ製の磁心材料ダストコアより優れていることが、安立電気株式会社の測定結果で明らかとなった。この材料は銅－亜鉛フェライトであった。1935年にはこの磁心材料の生産を目的として東京電気化学工業株式会社（後のTDK株式会社）が設立された。

磁心用フェライトは最初は注文量が少なかったが、次第に需要が伸び、第二次世界大戦中は航空機の通信用アンテナの磁心に使われた。終戦後にラジオの受信方式が再生方式からスーパーヘテロダイン方式へと変わり、これに使われる中間周波トランスの磁心として、フェライトの需要は急速に伸びた。その後はトランジスタラジオの出現、テレビ放送の開始から、現在のパソコンや携帯電話の普及に至るまで、フェライト磁心の需要に結びつくエレクトロニクスの発展は絶え間なく続いている。また、磁心用フェライトの性能向上は、これらの機器の性能向上、小型・軽量化

及び省エネルギー化をもたらすため、先端設備を使った開発研究が現在も続いている。現在のソフトフェライトの世界における生産量は年間10万トンを越えている。

6 マンガン―亜鉛フェライト

ところで、現在使われている磁心用フェライトの主流はマンガン―亜鉛フェライトである。武井先生のグループはこの組成の材料も手がけていたが、バリウムフェライトの時と同様、ニクロム線電気炉を使っていたために、焼成温度が低く、軟磁気特性を示す試料が現れなかったらしい。武井先生は後に「高温度焼成を試みていたらマンガン―亜鉛フェライトに到達できたかもしれないと思うと、断腸の思いであった」と語っておられる[4]。

しかし、マンガン―亜鉛フェライトが武井先生のグループが開発した銅―亜鉛フェライトより優れている理由は、低価格であることと、マンガンの方が銅よりも大きな磁気モーメントを持っていることが主であり、基本的には、武井先生が見つけられた、亜鉛イオンによる透磁率の増大を利用していることに変わりはない。

7 おわりに

後に大発見と呼ばれるようになった現象は、厳密に調べてみると、その兆候や結果の一部が他の研究者によってすでに発表されていることが多い。ソフトフェライトが重要な磁性材料であることが明らかになった後で、外国の競争者グループが、亜鉛固溶の研究に似たものを懸命に探してみたが、武井先生より前に、「亜鉛を固溶したフェライトが優れた磁心材料になる」と述べた報告は見いだすことが出来なかった。「なぜ亜鉛みたいな、磁性とはおよそ関係のない元素を選んで大発見をされたんですか？」と天国の武井先生に尋ねてみたらどんな答えが返ってくるだろうか。「亜鉛の製錬から研究が始まったんだから、最初から亜鉛とは縁が深かったんだな。それよりも、異常現象を見落とさないように研究しなさい」と言われるかも知れない。大発見は人の予想をはるかに越えた姿で現われるのかも知れない。

参考文献

1）武井　武：「フェライトとともに (1)」電気化学，Vol. 55，No.11，(1987)，p.818-821
2）武井　武：「フェライト磁心開発の思い出」電子通信学会，Vol.64，(1981)
3）磁性体ハンドブック，朝倉書店，(1975)，p.1094-1095
4）武井　武：「フェライトとともに (2)」電気化学，Vol. 55，No.12，(1987)，p.874-877
5）加藤與五郎，武井武：日本鉱業会誌，Vol.46，No. 539，(1930)，p.167-178

(1997年１月14日受付)

入門講座
計測技術編－2

品質評価のための計測技術

北川　孟　豊橋技術科学大学　工学部　生産システム工学系　教授
Hajime Kitagawa

Measurement Engineering for Quality Evaluation

1 はじめに

素材、部品、装置あるいは設備の信頼性を高めるためには、それらの品質評価は不可欠であり種々の計測技術が適用されている。

品質とは、次の３つの立場から考察される[1]。すなわち(1)使用適合性、(2)仕様への合致性、(3)“ability”の品質、である。(1)は、使用の目的や条件によく適合していることを意味しており、当たり前の品質ではなく魅力的品質という積極的内容を含むようになってきている。ニーズの多様化に伴い、少品種大量生産から多品種小量生産へと製造体制の移行が益々促進されている。(2)は、定められた仕様を満足しているかどうか判断する、種々の規格範囲への合致性である。(3)の品質とは、“reliability”（信頼性）、“maintainability”（保全性）、“replaceability”（互換性）等末尾に“ability”がついた品質特性を全体的にまとめたものである。

このように品質は本来非常に広範囲な特性であり、品質評価の対象も素材から設備に至るまで、ぼうだいで多岐にわたっている。ここでは鉄鋼材料を主体とする素材に限定し、その品質評価のための計測技術を述べる（この場合部品等とは異なり、上記(3)の比重は相対的に小さくなってくる）。

鉄鋼材料等の素材は構造材料としての用途が主体であり（非鉄材料、複合材料、セラミックスやプラスティックス等も同様であるが）、その品質は本質的に昔ながらの「強度と靱性」の立場から評価され、破壊力学による解析がなされている（設備として稼働中の腐食、疲労や応力腐食破壊さらに経年劣化等の特性評価の必要性もこの延長線上にある）。この場合の品質は、均質等方体としての健全性、および(1)、(2)の条件を満足するかどうか、等から評価される。すなわち材料力学では対象を等方体として扱うので、内部や表面に均質性を損なうようなきず（欠陥）がないか、「強度・靱性」に影響を与えるきず以外の品質は、さらに仕様に合致しているか、等が調べられる。

ここでは(1)強度に関係する均質性評価法としての「きず検査法」について簡単に触れ、(2)「きず」以外の強度に関係する品質（例えば、結晶粒度等）、(3)機能品質（すなわち強度に関係しない品質、ステンレス等付加価値の高い材料の外観特性等もここに位置付ける）の計測法、について述べる。

2 品質評価システム

鉄鋼材料等の素材の品質の評価は直接的には引張試験や衝撃試験等の破壊試験によってなされ、これらの抜き取り試験結果がその品質を代表するとの前提で、上記(2)の仕様への合致性の視点から品質が判定される（この分野にも計算機を組み込んだ試験装置が出現して既に20年以上も経過しており、現在の常識では当然のことながら、計算機はこれらの試験装置の不可欠な構成要素の一つとなっている）。

さらに基礎的立場の研究分野では、このようなマクロな評価試験だけでなく、例えば転位等の格子欠陥レベルのミクロな解析が併せて行われるのが普通である。

ここでは、破壊試験については触れない。

2.1 きず検査法（非破壊検査）

素材や製品を破壊せずにその均質性の評価を行う方法は、「非破壊試験」、「非破壊検査」または「非破壊評価」と呼ばれている。非破壊試験は「非破壊で、きずの有無・その存在位置・大きさ・形状・分布状況等を調べる試験」、非破壊検査は「非破壊試験の結果から、規格等の基準に従って合否を判定する方法」（仕様への合致性）、非破壊評価は「非破壊検査で得られた指示を、試験体の性質または使用性能の面から総合的に解析・評価すること」（使用適合性）、と一応、用語上の区別はなされている[2]。

非破壊検査では、本来強度等に影響を与えるきず（欠陥）

の検出を目的としており、したがってここでは「きず検査により、均質性の評価を行う手法」として位置づける。

このように定義した非破壊検査によるきず検出方法には、(1) X 線等の電磁波、(2)超音波等の弾性波、(3)電磁気、(4)浸透現象、等が利用されている（光学的方法の目的は主として製品の表面品質の評価であり、これを「機能品質」の評価法に分類する）。

これら各種の非破壊検査方法の比較は、山口によって「表1」のようにまとめられている[3]（分類の都合上、光学的探傷試験の欄は削除）。これらの検査方法の中で放射線（X線）と超音波を利用した方法は表面および内部のきず検出が可能で、比較的広く用いられている。

材料を等方体として扱うので、超音波探傷試験においても幾何光学的な仮定のもとにきず位置が推定される。したがって音響特性が等方でない場合は、この仮定は適用できない。圧延のままで低温靭性と溶接性が優れた鋼材（TMCP 鋼）において、斜め方向から超音波を入射させてきず検査を行った際に、音響異方性（入射方向によって超音波の伝播速度が異なる特性）の影響で特定方向の感度が大きく低下するという問題が生じた。この原因は結晶方位の偏りによるもので、このような材料では等方体としての暗黙の前提は成立しない。この問題は、検査規格を修正することで解決したようである[4]。本来非破壊検査は等方体としての健全性を評価する方法で、この前提が成立しない場合は検査方法に何らかの修正を要する、という実例の一つとして触れておく。

不均質性評価法としての非破壊検査では、DI 加工の際の介在物検査のように、より一層微細な欠陥の検出が要求されてきている。今後この傾向は益々促進されるであろう。

2.2 強度に関係する「きず」以外の品質の評価システム

きず（欠陥）のような局部的な不均質以外に強度に影響を与える主たる特性として、結晶粒度（結晶粒の大きさ）があり、これと強度とは以下の式で関係づけられる[5]。

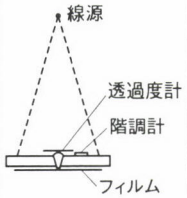
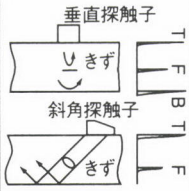
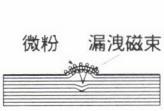
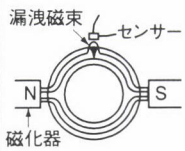
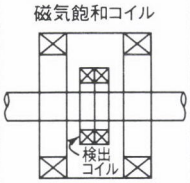
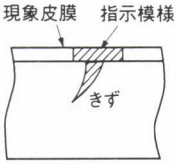
$$M = M_0 + M_1 D^{-1/2} \qquad (1)$$

ここで M は例えば引張り強度で、M_0、M_1は定数である。D は平均結晶粒度で、理想的には全結晶粒が平均値からのばらつきが小さく、かつ方位がランダム（特定の集合組織をもたない）でなければならない。（＊結晶に固定した座標系（例えば、立方晶では〔001〕、〔010〕と〔100〕の直交 3 軸）と試料に固定した座標系（例えば、板状試料では圧延方向、圧延面内でこれと直交する方向と圧延面の法線方向の直交 3 軸）との角度関係が結晶方位を与える。実用材料は多結晶であるので、統計的に見てある方位に結晶の向きが揃っている場合に、その方位の集合組織をもつ、と言う。）

強度に関係するこのほかの品質に相分率がある。複数の相からなる材料の強度はそれぞれの相の体積分率から予測されるので、その体積分率を計測するためのシステムがいくつか提唱されている。混合相の場合でも各相の成分は材料内部では均一に分布すべきであり、前提として均質性は保持されねばならない。

また深絞り加工性の指標として用いられている r 値は、集合組織に依存する。加工性も機械的性質という意味で、広義の強度として分類するならば、r 値は積極的に異方性

表1　非破壊検査法[3]

	放射線透過試験	超音波探傷試験	磁粉探傷試験	漏洩磁束探傷試験	渦流探傷試験	透過探傷試験
探傷方法						
物理現象	電磁波	弾性波	磁気吸引	電磁気	電磁誘導	浸透（毛細管現象）
探傷上の留意点	・写真濃度 ・コントラスト ・X線装置の焦点寸法 ・線源と被写体、フィルムとの距離 ・透過性	・波動（縦波・横波・表面波・板波） ・波長 ・指向性（探触子の音場） ・減衰 ・垂直・斜角探傷 ・直接接触・局部水浸	・磁粉の選択 ・磁粉液濃度 ・磁粉の散布 ・磁化方法 ・磁粉模様の観察	・磁化方法（交流・直流他） ・コイル寸法 ・励磁周波数 ・リフトオフ ・雑音	・貫通・プローブ・内挿方式 ・自己比較・相互比較 ・コイル寸法 ・励磁周波数 ・リフトオフ ・雑音	・被検査材の表面状況 ・浸透・洗浄・現像作業 ・指示模様の観察
探傷可能な材料	金属・非金属材料	金属・非金属材料	強磁性体	強磁性体	導電材料	金属・非金属材料
検出可能なきず	表面・内部	表面・内部	表面・表面直下	表面・表面直下	表面・表面直下	表面（開口傷）

を利用した強度特性であり、この場合は非等方特性を示す。

ここでは、これらの計測技術を述べる。

2.2.1 結晶粒度の計測

結晶粒度は破壊検査では光学顕微鏡によって測定されるが、非破壊的にはX線、超音波、電磁気等の方法で計測される。

(1) X線を利用した計測

X線回折によって得られるデバイ・シェラー環は、回折に寄与する結晶粒の斑点によって形成される。したがって、デバイ・シェラー環の斑点の数とX線の有効照射体積から結晶粒度が推定できるとされている[6]。この原理に基づいて作成された測定装置の1例を図1に示す。これにより図2のような良好な測定結果が得られている[7]。

(2) 超音波を利用した計測

多結晶体を伝播中の超音波は結晶粒界によって散乱し、減衰する。したがって減衰定数を測定することにより、結晶粒度を推定することができる[8),9)]。図3は、このようにして測定した結晶粒度から(1)式によって降伏応力を算出し実測値と比較したものである。両者には、良い相関関係が見られる。

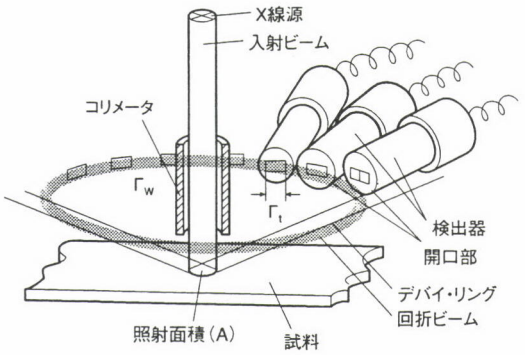


図1 X線回折法を利用した結晶粒度の計測システム[6]

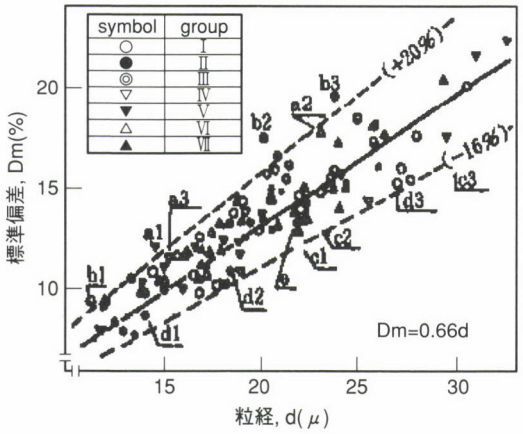


図2 結晶粒度と標準偏差[6]

(3) 電磁気を利用した計測

この方法では、保磁力を測定する方法と磁壁の移動時に発生する不連続雑音（バルクハウゼンノイズ）を測定する方法、がある。前者は、粒界面積が大きい（結晶粒が小さい）ほど磁壁の面積が増え磁化の反転に要するエネルギーが大きくなり、保磁力が大きくなることを原理的に利用している。後者も、磁壁の易動度が結晶粒界に依存するという事実を測定原理としている。図4に、バルクハウゼンノイズの振幅から推定した結晶粒度と破壊試験（光学顕微鏡観察）によって得られた結果との関係を示す[10)]。

結晶粒度は強度と直接関連する主要な特性であり、非破壊的測定が強く望まれている。そこで最近、各鉄鋼メーカと大学等の研究機関が共同でこのテーマについて総合的調

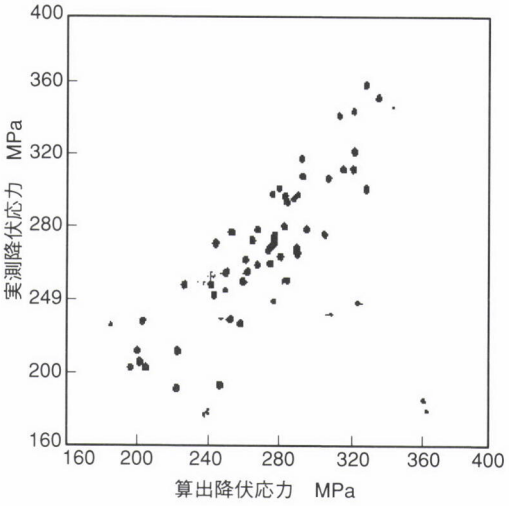


図3 超音波の減衰定数から算出した降伏応力と実測値との比較[8)]（標準誤差：19.6MPa）

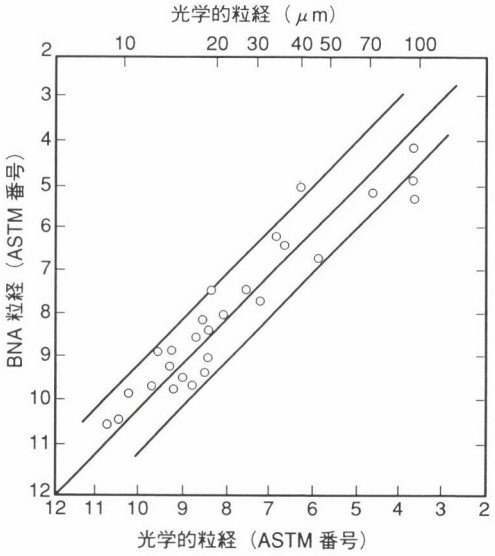


図4 バルクハウゼンノイズ振幅（BNA）から推定した結晶粒度と光学顕微鏡観察より求めた値との関係[10)]

査、研究を行い、(1)から(3)を含めた内容が詳細な報告書としてまとめられている[11]。

2.2.2　相定量

非破壊的な相定量計測法には、X線や電磁気等が利用される。

(1)　X線を利用した計測

X線の回折強度はそれに寄与した体積の比例するので、この原理を用いて相定量を行うことができる。例えばオーステナイト相とフェライト相からなるステンレス鋼やフェライト相とマルテンサイト相からなる冷延デュアルフェーズ鋼板等を対象に、望ましい強度特性とコイル全長にわたる一様性を評価する目的でオンライン測定装置が開発されている[12),13)]。デュアルフェーズ鋼の場合、フェライト相とマルテンサイト相の回折強度は区別しにくいので、マルテンサイト変態直前のM_S点でのフェライト相とオーステナイト相の相定量を行っている。この方法で得られたX線回折強度比と製品中のマルテンサイト量の関係を図5に、X線回折強度比と引張強度の関係を図6に示す。この装置は、鋼板製造中の連続焼鈍ラインで測定することにより、製品中のフェライト相とマルテンサイト相の比をコイル全長にわたり所望の値に一定に管理することを目的としている。

X線回折強度は結晶配向にも依存するので、この方法では、計測対象が全く等方であるか集合組織があってもそれが一定であることが前提となる。上記の適用例の場合[13)]集合組織はあまり顕著ではなくかつ実用上コイル内で一定である。

(2)　電磁気を利用した計測

特に高純度の場合を除き鉄の磁気変態温度とA_{r3}（$\alpha-\gamma$）変態温度は一致する。マルテンサイト相やフェライト相は強磁性体でオーステナイト相は常磁性体であるので、透磁率はその比率に依存する。透磁率を電磁気的方法で計測することにより、オーステナイト・フェライト2相ステンレス鋼や熱延製品の品質向上を目的とした利用法がある。後者の場合、熱間圧延工程で高温中に図7に示す原理で測定される[14)]。

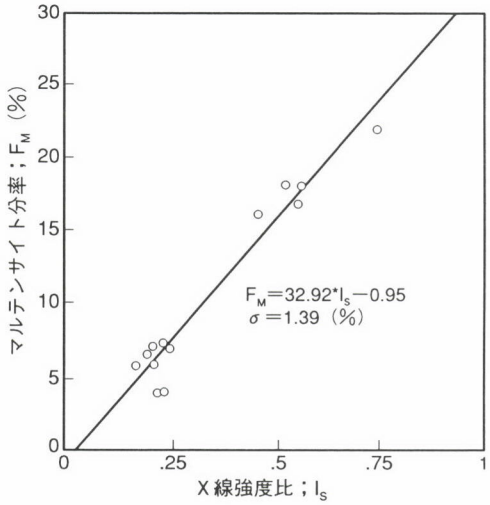


図5　X線回折強度比とマルテンサイト量[13)]

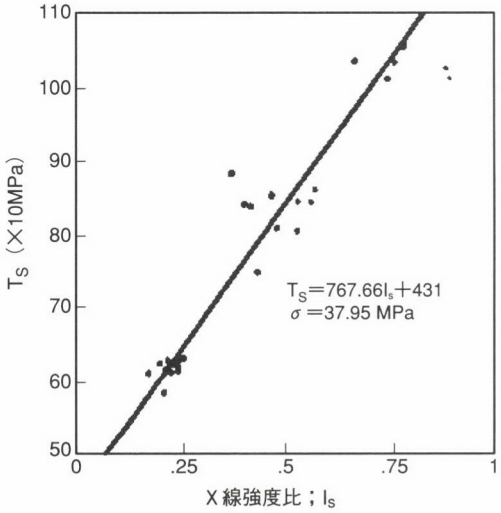


図6　X線回折強度比と引張強度[13)]

2.2.3　r値の計測

機械的性質と直接関係する代表的な非等方特性として、r値がある。

r値とは、板状引張試験片に引張変形を与えたときの幅方向と厚さ方法の歪みの比であり、プレス成形特性を与える指標である。これは元来破壊試験によって測定されるが、

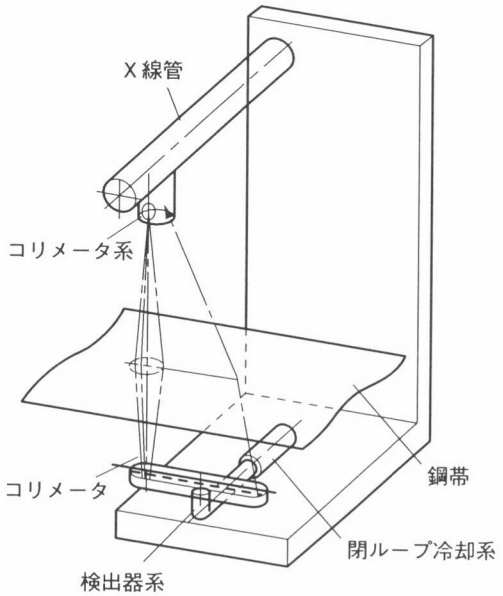


図7　渦電流計測法による変態率センサー[14)]

r値と集合組織との関係が明らかにされて以後は非破壊的に製造工程中でオンラインで評価する試みがなされている。すなわちr値は板面法線方向の<111>結晶軸密度と比例することから、X線や超音波を用いて集合組織を測定し成形特性が評価されている。

(1) X線を利用した計測

エネルギー分散X線回折法は、高いS/N比を得るために適当な積算処理を要することがあるにしても、同時に複数の回折強度が測定できるので即応性に優れている。この方法を用いてオンライン測定用に開発された装置の原理図を図8に示す[15]。これにより<111>を含め20個の結晶方向の回折強度を求めr値を最も精度よく予測するアルゴリズムを適用して算出した値は、実測したr値と極めてよく一致している。

(2) 超音波を利用した計測

超音波の伝播速度が結晶方位に依存することから、この値を測定することによりr値が推定される。結晶の対称性を考慮すると集合組織の3次元結晶方位分布関数[16]の展開係数*の中の特殊なもので弾性特性が表される。超音波を用いて測定したこれらの値とr値とはよい相関関係にあることが示されている[17]。一例を、図9に示す。最近では、板厚が1 mm以下の薄板の音速をバースト状超音波の多重反射波の干渉を利用して、伝播速度を精度よく迅速に測定する方法が開発されている[18]（図10）。

（＊展開係数の値はX線回折によっても求まる。X線回折法と超音波法はそれぞれに一長一短の特徴があるが、X線回折によって得られる情報が試料表面近傍に限定されるのに対し、一般的に超音波計測ではより内部の測定が可能である。）

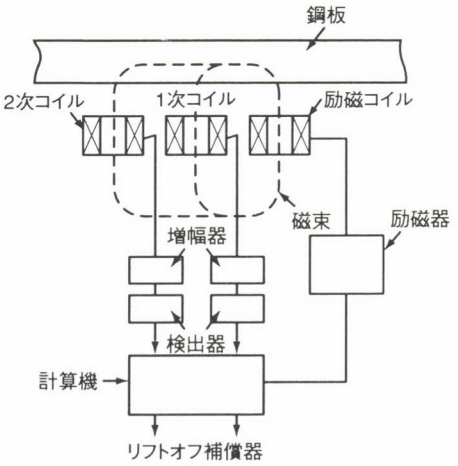


図8　エネルギー分散型X線回折法を利用したオンラインr値測定装置[15]

2.3 機能品質評価のための計測技術

鉄は、経済性が抜群に優れた強磁性材料である。電動機や変圧器の鉄心材料としての用途は、この機能を活用したものである。ここでは磁性材料としての特性と強度以外の特性としての表面品質、等の評価に関連した計測技術の例を紹介する。

(1) 磁気特性評価のための超音波利用計測

一方向に磁気特性が優れた方向性珪素鋼板は変圧器の鉄心材料として重要な材料であり、その特性はゴス方位といわれる〔001〕<110>結晶方位に支配される。通常、磁気特性の評価は各種の磁気試験やX線回折による結晶方位測定によりなされているが、これらはいずれも製品から切りだされた試験片を対象として行われる。最近上記の超音波干渉法[18]を用いてインラインで結晶方位の連続測定が可能な方法が開発されている。得られた結果からは、方向性珪素鋼板とランダム組織（集合組織をもたない状態）の試料間で反射波の最大振幅を与える周波数に明瞭な相違がみられる（図11）[18,19]。この方法は表面皮膜を除去することなし

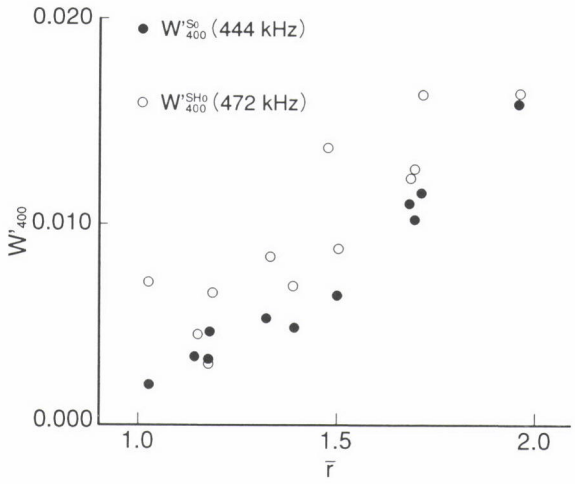
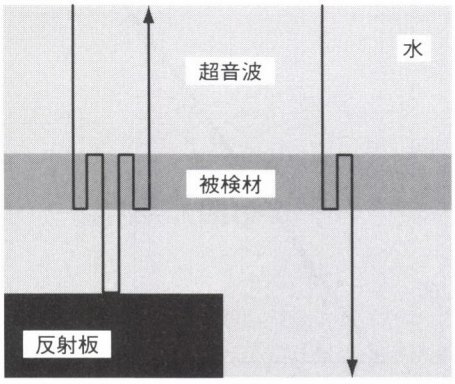


図9　超音波法で測定された3次元結晶方位分布関数の展開係数（W'_{400}）と平均r値との関係[17]



a．2回透過法　　b．透過法

図10　多重反射波の測定方法[18]

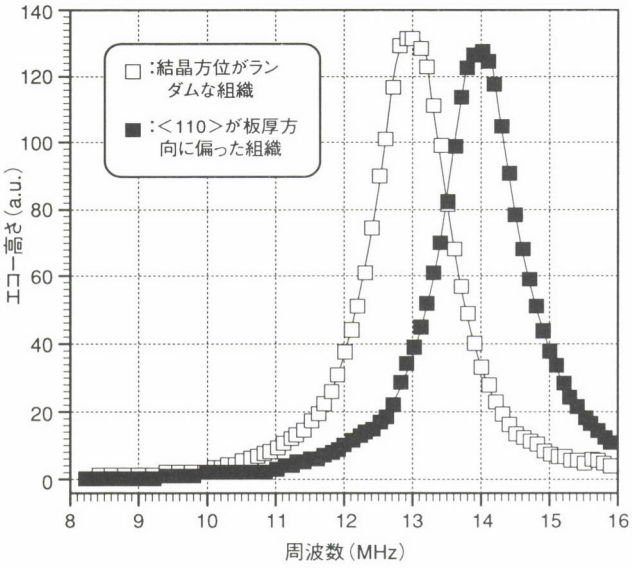


図11　多重反射波の振幅とバースト波超音波の周波数[19]

表2　光応用計測の原理と計測対象品質[20]

原　理	計測対象の品質
干　渉	鋼板表面凹凸形状（三次元計測）
反射・吸収	鋼板表面の薄膜厚さ、粗さ、光沢
回折・散乱	冷延鋼板表面庇検査、微粉粒径分布
偏　光	メッキ鋼板上酸化膜・塗油等の膜厚屈折率
分　光	カラー鋼板等の色差

に測定が可能で、探触子を走査して結晶方位の二次元分布図が容易に得られる。

(2)　表面品質評価のための計測技術

強度には直接影響を与えないが商品価値を低下させる表面きずや微視的な表面凹凸形状を含めた表面品質には、数多くの種類がある。これらは主として光学的方法によって計測され、基本原理と代表的な応用例は「表２」のように対応付けられる[20]。

冷延鋼板とりわけステンレス鋼板や表面処理鋼板のような付加価値の高い製品では表面品質の評価は重要であり、現在も各種計測技術の開発が積極的に進められている（日本鉄鋼協会・計測制御システム工学部会においても、本年度から「鋼板表面の光学的特性モデリング」研究会が発足する）。

本章では鉄鋼材料を中心に品質評価システムの概要を述べたが、これらに関連する内容は鉄鋼協会の「第140回西山記念技術講座　最近の非破壊検査技術の進歩（平成３年）」、「第150回西山記念技術講座　鉄鋼業における最新の計測・制御技術（平成５年）」および「第32回白石記念講座　これからの品質保証（平成８年）」等の講習会テキストの中でも触れられているので、併せて参照されたい。

3　信号処理技術の重要性

信号から出来るだけ多くの情報を抽出するための研究は、良質な信号を得ることと同様に重要である。最近計算機ハードおよびソフトウェアの利用が容易になったこともあり、新しい信号処理方法の研究が活発に行われている。それらはウェーブレット変換、ウィグナー分布やフラクタル解析等であり、これらの解析によって新しい貴重な情報が得られるようになってきた。この分野へ適用した例として、超音波信号の時間－周波数解析により欠陥分類を行ったもの[21),22)]、フラクタル解析によりステンレス鋼板の表面性状を評価したもの[23),24)]等があり、今後このような研究はますます増えるものと考えられる。

4　おわりに

鉄鋼材料の品質を強度（または機械的）特性と機能特性に分けて述べた。さらに強度特性を等方特性と非等方特性に分類した。前者については非破壊検査で明らかにされるきず等による不均質性と欠陥以外の強度に関係する品質に分け、非等方特性としてはｒ値を例に、それぞれの評価方法を説明した。機能特性としては、磁気特性等の本来の機能特性に強度と関係のなくより付加価値の高い表面品質を含め、その計測方法を紹介した。

寸法計測は品質に直接関係ないので、触れなかった。製造中の製品温度は品質を決定する重要な要因であるが、「温度計測」は別稿で予定されている。

高品質の製品を一層安価で製造することが強いられている昨今、ここで述べた非破壊的材質評価法はますます重要になってくる。市川も指摘しているように[25]破壊試験で得られる特性値をオンラインで非破壊的に評価するには多くの困難が伴うが、現状ではより信頼性の高い手法の開発にあえて挑戦せざるを得ない状況に置かれているようだ。

構造材料としての需要は今後共続くことは間違いないが、供給面では第2次大戦後の鉄鋼製造の主体がアメリカから日本等へさらに発展途上国へと急速に移行している現在、超伝導材料や形状記憶合金等のレベルとは行かないまでも、強度と靱性の次元を超越した、付加価値の高い、機能特性を活用した分野へと展開すべきであろう。今後このような機能品質の評価に役立つような計測技術の比重が高まることを期待したい。

引用文献

1) 朝香鐵一，石川馨，山口襄：新版品質管理便覧第2版，(1990)，p.25
2) JIS Z2300「非破壊検査用語」
3) 山口久雄：第140回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会編，p.6
4) JIS Z3060「音響異方性鋼材の探傷方法」
5) E.O. Hall：Yield point phenomena in metals and alloys (1970) [Plenum press, New York]
6) B.E. Warren：J. Appl. Phys., 31 (1960), 12, p.2237
7) 星野和夫，伊東健次郎，藤岡外喜夫，円山弘，荒木宏侑，熊沢昭二：鉄と鋼，64 (1978)，p.621
8) R. Klinmann and E.T. Stephenson：Materials Evaluation, 39 (1981), 12, p.1116
9) A. Hecht, R. Thiel, E. Neuman and E. Mundry：Materials Evaluation, 39 (1981), 10, P.934
10) O. Sundstrom and K. Torronen：Materials Evaluation, 37 (1979), 3, p.51
11) 日本鉄鋼協会基礎研究会ミクロ組織センサー研究部会：ミクロ組織の非破壊計測技術に関する最近の研究
12) H.Kitagawa and T.Soumura：Trans. Iron Steel Inst. Jpn, 23 (1983), p.543
13) 市川文彦，北川孟：材料試験技術，32(1987)，4，p.295
14) 森田正彦，橋口耕二，岡野忍，橋本修，西田稔：鉄と鋼，71 (1985)，S1089
15) H.J. Kopineck：3rd Int. sympo. on Nondestrutive Characterization of Materials (1989), p.753
16) R.J. Roe：J. Appl. Phys., 37 (1966), p.2069
17) 藤沢和夫，村山理一，福岡秀和，平尾雅彦：非破壊検査，38 (1990)，2，p.141
18) 高田一，浅野一哉，市川文彦：日本非破壊検査協会平成5年度秋季大会講演概要集 (1993)，p.55
19) 高田一，定広健一，市川文彦：材料とプロセス，9 (1996)，p.283
20) 虎尾彰，柳本隆之，内田洋之，市川文彦，片岡健二：川崎製鉄技報，21 (1989)，3，p.255
21) 福田義徳，北川孟，前田栄作：日本機械学会第73期通常総会講演会講演論文集 (I) (1996)，p.418
22) 福田義徳，北川孟：日本機械学会第74期通常総会講演会演論文集 (II) (1997)，p.201
23) R.E. Green Jr, J.K. Krzysztof and C.O. Ruud(eds.)：Nondestructive Characterization of MaterialsVI (1994) [Plenumon Press, New York and London], p.585
24) A.L. Bartos, R.E. Green Jr, and C.O. Ruud(eds.)：Nondestructive Characterization of Materials VII (1995) [Trastec Publications], p.365
25) 市川文彦：第140回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会編，p.159

(1997年3月6日受付)

解説

ステンレス鋼の多様化と広がる需要分野

渡辺純夫　Sumio Watanabe　新日本製鐵㈱　ステンレス鋼板営業部　ステンレス鋼商品技術室　室長
平松博之　Hiroshi Hiramatu　新日本製鐵㈱　ステンレス鋼板営業部　ステンレス鋼商品技術室　部長代理

Development and Expansion of Stainless Steel Variety and its Demand in Japan

1 はじめに

鉄が人類に使われ始めたのは、紀元前2500年頃と言われている。一方、ステンレス鋼が本格的に登場したのは、1910年代以降であり、100年足らずの歴史しかない。

しかし、この間耐蝕性、加工性、溶接性等各性質を改良した多種のステンレス鋼が開発されてきた。又、製造技術においても、精錬技術の発達、連続鋳造の適用、広巾圧延機の適用等様々な開発がなされ、加えて利用面での加工、溶接、研磨等の改善により、量、需要分野ともめざましい拡大を続け、実用鋼として確固たる地位を築きあげ、今後さらに発展しようとしている。

本文では、ステンレス鋼の広がる需要分野に焦点を当て紹介する。

2 拡大するステンレス鋼の生産

2.1 世界のステンレス鋼生産

図1[1)]に、西側諸国における主要国別のステンレス粗鋼生産量を示す。

粗鋼生産量は、短期的な増減はあるが着実な伸びをしめしており、1995年は西側諸国全体で約1500万トンに達した。直近10年間の平均では、年率約6.5%の成長を遂げている。

国別にみても、ほぼ全ての国で生産量が伸びている。量的には日本が最大のシェアーを保持しており、次いで米国、ドイツの順であるが、直近10年間では韓国、その他諸国の伸びが顕著であり、ステンレス鋼の生産拠点の世界的な広がりを示している。

2.2 日本のステンレス鋼生産

図2[2)]に、日本における鋼種別の熱間圧延鋼材生産量を示す。

日本のステンレス鋼の生産量は、鋼材全体がほぼ横這いであるのに対し、順調な伸びを示しており、この10年間で年率約4.2%の伸びを示している。

表1[3)]にステンレス鋼熱間圧延鋼材の形状別生産量を示す。

棒鋼を除き、各形状とも顕著な伸びを示している。特に、全体の約75%を占めている鋼板・鋼帯は、この10年間、25年間とも、ステンレス鋼全体と同様、年率約4%の伸びを示しており、全体の伸びを支えている事を示している。

日本のステンレス鋼が急激に発展したのは、1958年に初めて広巾のゼンジミアミルが導入され、従来貴重品とされていたステンレス鋼板が大量かつ安価に生産することが可能になってからである。

この導入は量、コストばかりでなく、品質的向上も生み

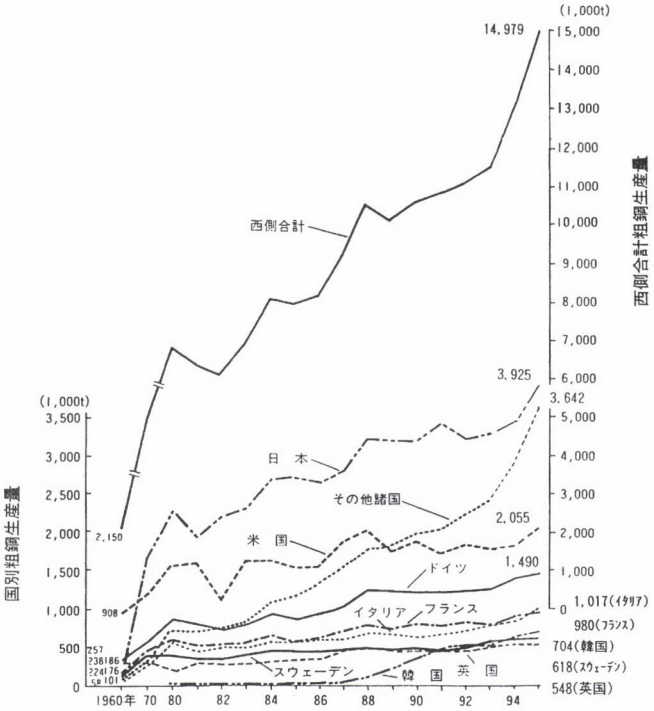


図1　主要国別のステンレス粗鋼生産量

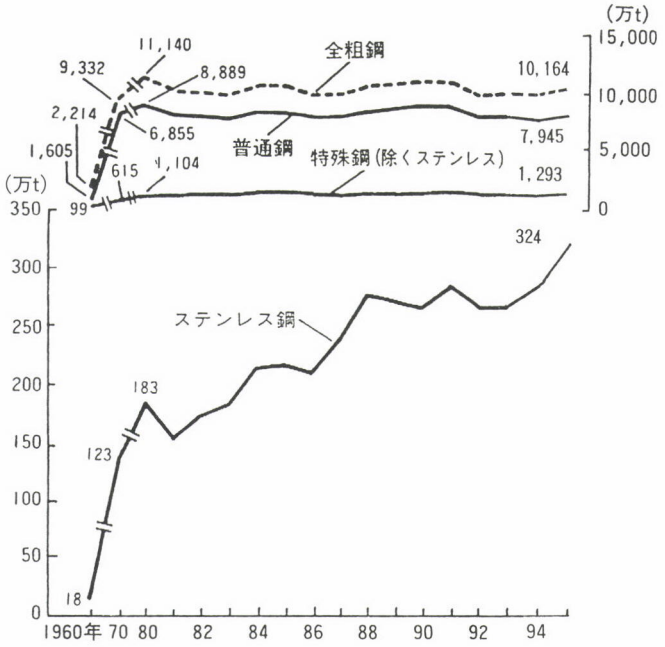


図2　全粗鋼および鋼種別熱間圧延鋼材の生産量

出した。その結果、ステンレス鋼板の流し台への適用を可能にし、「流し台」需要を発展させた。これが核になり、浴槽、ガス台、調理台、ガスコンロ等、各種耐久消費材分野を主要基盤とするステンレス鋼の市場が急速に育成された。

ステンレス鋼の発展は、ゼンジミアミルの導入だけでなく、VOD (Vacuum oxygen decarburization)/AOD (Argon-oxygen decarburization) 等の精錬技術、連続鋳造、ホットストリップミル／ステッケルミル等の熱間圧延、BA (光輝焼鈍)、塗装・メッキ・研磨・エンボス加工等の表面処理、プレス加工・溶接等の利用加工技術等様々な技術の進歩に支えられている。

このような技術の進歩は、ステンレス鋼の低コスト化だけでなく、ステンレス鋼の鋼種の広がり、仕上げ・表面処理の広がりをもたらした。その結果、用途・目的に応じた機能、表面を持った種々のステンレス鋼が生み出され、ステンレス需要分野の拡大に寄与してきた。

例えば、精錬技術の進歩はフェライト系ステンレス鋼の低炭素・窒素化、低硫黄化を実現させ、耐食性、加工性、

表1　ステンレス鋼熱間圧延鋼材の形状別生産量

(単位：1,000 t)

形状	1970 年度	1985 年度	1995 年度	95/70	95/85
鋼板・鋼帯	933.3	1653.5	2530.3	2.71	1.53
線材	70.7	199.6	291.1	4.12	1.46
棒鋼	141.0	149.6	151.7	1.08	1.01
形鋼	8.1	36.2	51.4	6.35	1.42
管材	63.0	125.8	205.0	3.25	1.63
合計	1216.1	2164.7	3229.5	2.66	1.49

表2　ステンレス鋼JIS鋼種の主な変化

区分 ＼ JIS改定年		1972	1981	1991
組織分類別鋼種数	マルテンサイト系	12	14	16
	フェライト系	5	11	12
	オーステナイト系	23	39	49
	二相系	1	1	3
	折出硬化系	3	3	3
	合　計	44	68	83
増加鋼種の主な特徴別分類	高耐食性鋼	—	9	18
	高加工性鋼	—	4	7
	高強度，高硬度鋼	—	9	11
	切削性　ほか	—	2	3

注)　鋼種の特徴はＪＩＳによる。

表3　各社の独自鋼種数（1995年頃）

		新日鉄	日新製鋼	川崎製鉄	住友金属	日金工	日本治金
	耐食性	7	2	3	9	7	16
	加工性	1	6	5	5	5	6
	切削性	0	0	0	4	3	0
	高強度	6	8	3	6	8	5
	耐熱性	2	6	1	6	3	4
	その他	0	2	0	0	0	0
オーステナイト系		16	24	12	30	26	31
	耐食性	9	9	19	11	9	7
	加工性	2	3	4	0	2	1
	耐熱性	7	8	9	10	5	1
	溶接性	2	3	3	0	1	4
フェライト系		20	23	35	21	17	13
マルテンサイト系		2	4	3	0	2	0
二相系		1	2	1	11	4	3

注)亜鋼種も一つとしてカウントした。

溶接性等の改善が図られ、種々の高純度フェライト系ステンレス鋼が開発された。

従来は、SUS304、SUS430、SUS410等の基本的な鋼種が広く使用されていたが、現在では、表2[4]に示すように、JISにも多くの鋼種が規定されている。又、表3[4]に示すように、各社とも用途・要求特性に合致した独自鋼種を種々保有している。

3 ステンレス鋼の広がる需要分野

3.1 ステンレス鋼の需用構成

図3[3]にステンレス鋼板類の国内向最終需要を示す。

内需は、25年間に約3倍に増加しており、平均伸び率は25年間で4.5%、10年間で5.2%と顕著である。その間、各用途の構成比率はかなり変化している。

従来主流であった「家庭用および業務用機械・器具」、「産業用機械・器具」の構成比率は、減少し、「建設」、「自動車」、「電気機械・器具」の分野が高い伸びを示している。「家庭用および業務用機械・器具」の中では「家庭用厨房器具」(構成比率70年：17.9%⇨95年：12.2%)、「台所および食卓用品」(70年：6.7%⇨95年：4.6%) の低下が大きく、「電気機械・器具」の中では「家庭用電気機械・器具」(70年：2.1%⇨95年：4.3%) の伸びが大きい。

3.2 ステンレス鋼の広がる需要分野

近年、環境規制、リサイクル、長寿命化、景観等の環境変化、前述したステンレス鋼の多様化に伴った種々の品質特性を生かし、炭素鋼、表面処理鋼板、樹脂、セラミック等各種材料からステンレスへの転換が進展している。

以下、主要需要分野別に最近の状況について述べる。

3.2.1 建設用

建設分野におけるステンレス鋼の伸びは著しいものがあり、1970年からの25年間に約7倍に増加し、年間20万トンを越え、最大需要分野の一つに成長している。

これは、従来から用いられている建築金物用に加え、屋根材、ビルの内外装材、さらには雨樋、ダクト、フェンス、床下点検口等の部位に用途拡大したことによる。

なかでも、ステンレス鋼の優れた耐候性、意匠性を生かして屋根、壁等の外装材への適用が急速に進展している。

従来、これらの用途にはSUS304、SUS316が使用されていたが、最近は、高耐食、低熱膨張率、低コストの特徴を有するフェライト系ステンレス鋼や、更にはチタンに匹敵する耐食性を持ったスーパーステンレス鋼が開発、実用化されている。

高耐食性フェライト系ステンレス鋼は22%Cr系が主体を占めており、大型物件としては幕張メッセの屋根(YUS220：22Cr-0.8Mo-Nb) に初めて使用された。その後、更なる耐食性の改善がなされるとともに、防眩性に優れたダル仕上げが開発され、壁パネルに使用された初の大型物件である中野坂上サンブライトツインの壁や大阪ドームの屋根 (いずれもYUS220M：22Cr-1.5Mo-Nb、Ti) 等臨海地区を中心に、無塗装で多数の屋根、壁に使用されている。(図4)

又、スーパーステンレス鋼もその極めて優れた耐食性を活かし名古屋国際展示場、小牧市温水プールの屋根 (いずれもYUS270：20Cr-18Ni-6Mo)等数々の屋根、壁に使用されている。

最近では、ステンレス鋼に、犠牲防食と意匠性を加味したアルミメッキステンレス (例YUS409Dアルシート：11Cr-Ti、YUS220Mアルシート、図5)や亜鉛メッキステンレス (例YUS436S亜鉛メッキステンレス：17Cr-1.2Mo-

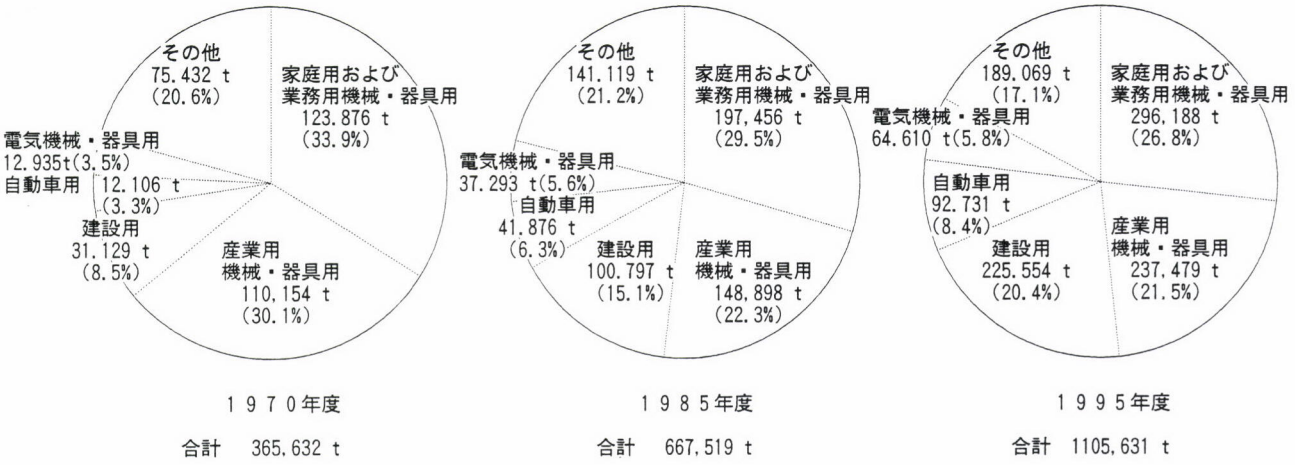


図3 ステンレス鋼板類の国内向最終需要（推計）

図4　高耐食性フェライト系ステンレス鋼を使用した建築物

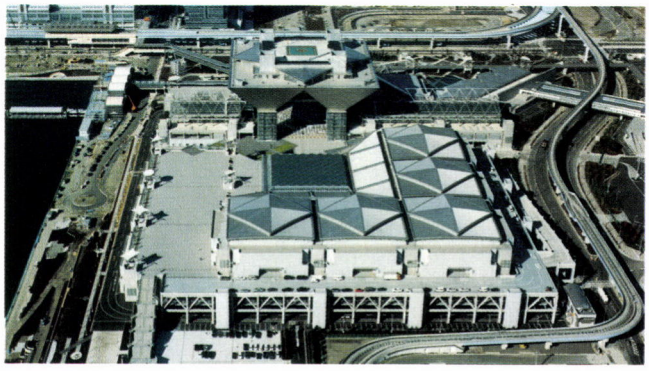


図5　アルミメッキステンレスを使用した
東京ビッグサイト展示場

図6　ステンレス鋼を構造材として適用した建築物
(新日本製鐵㈱君津テクノロジーセンター)

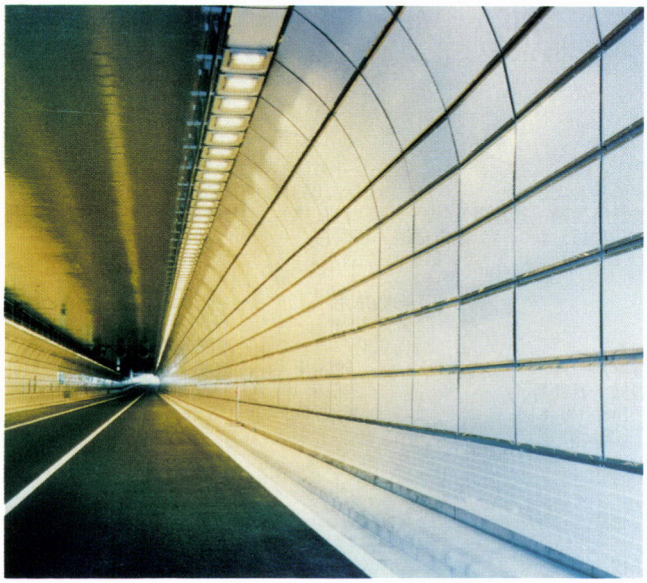


図7　ステンレス鋼を使用したトンネル内装板
(東京湾岸道路空港北トンネル)

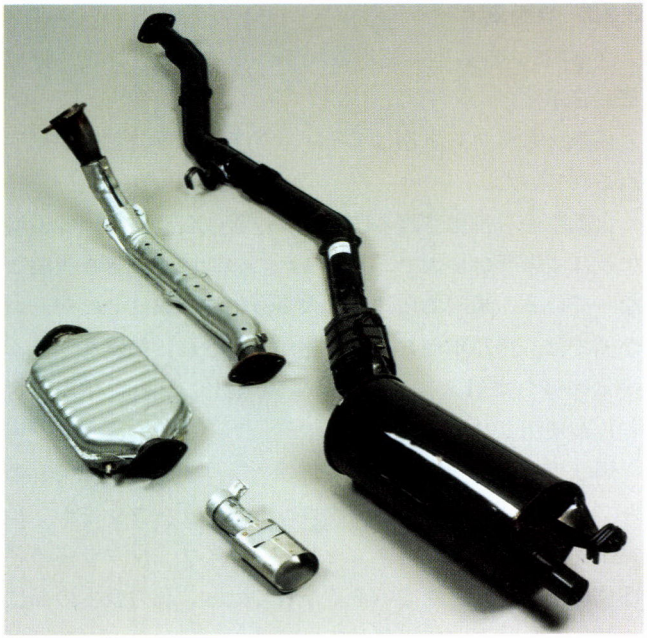


図9　自動車の排気系部品

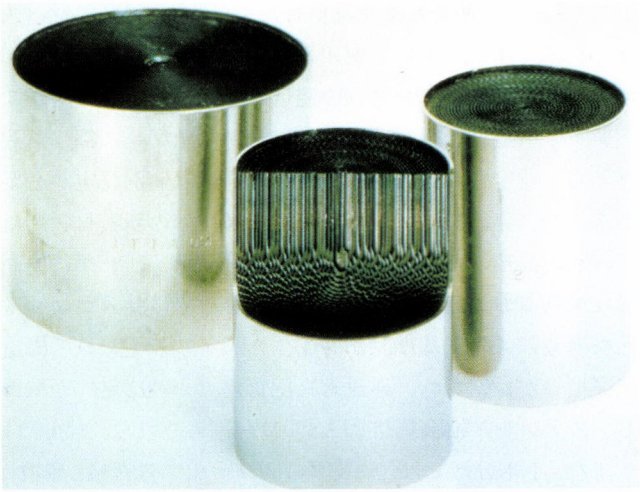


図10　ステンレス鋼箔を使用したメタル担体

図11　ステンレス鋼を使用した洗濯機バスケット

図12　ステンレス化された家電製品例

図13　ステンレス鋼を使用したケミカルタンカーの内部タンク及び一体型コンテナー

Ti)、さらには防音対策を具備したステンレス制振鋼板(ステンレスバイブレス) も使用され始めている。

一方、今後ステンレス鋼の適用が熱く期待されるのがステンレス構造材の分野である。従来、ステンレス鋼は構造材として認定されておらず、使用の際には個別認定が必要であった。建設省は1988年に「建設事業への新素材・新材料の利用技術の開発」プロジェクトを発足、1989年に中高層建築物におけるステンレス構造材を対象に「ステンレス建築構造設計施工基準」が完成、1994年にステンレス構造建築協会が設定され、建設省大臣認定 (一般認定) を取得し、ステンレス協会規格(SAS601)が制定された。(図6[5])

また、土木分野では、塗装等のメンテナンス省略、環境・景観問題から、ダム・堰設備やトンネル内装板、道路防音板、暗渠、パネル鉄筋、PC鋼線といった分野に、クラッド鋼、線材、形鋼を含めた材料が適用されつつある。(図7)

特に、建設省を中心に検討が開始された300年橋梁構想としての「鋼構造委員会新技術小委員会」、高速道路設備への適用のための「被覆による都市高架構造物の機能向上技術開発委員会」等の成果を適用したインフラ分野への新規需要が期待される。

以上のように、ステンレス鋼は、優れた耐食・耐候性により塗装等のメンテナンス省略、環境問題への対応の他、景観・意匠性、長寿命化等により、需要分野を拡大してきた。しかし、量的には建設用途における鋼材全体の一割にも満たず、今後一層ステンレス化が進展するものと思われる。

3.2.2 自動車用

図8[6]に、自動車に使用されている主なステンレス鋼製部品を示す。

従来、ステンレス鋼はモール、アンテナ等外装部品に使用されていた。

自動車から排出されるCO2、CO、NOX、HCが地球環境に及ぼす影響は多大であり、これらの低減が大きな課題となっている。米国で1970年に大気浄化法が成立したが、わが国では、1975年から規制強化が実施され、触媒システム、排気管等の排気系にステンレス鋼 (11%Cr系耐熱鋼を含む) が使用され始めた。

図9[5]に、自動車排気系部品を示す。エンジン側から、エギゾーストマニホールド、フロントパイプ、フレキシブルパイプ、触媒コンバータ、センターパイプ、マフラーの各部位により構成されている。今日では、これら全ての部位にステンレス鋼が使用されている。

エギゾーストマニホールドはフランジを介してエンジンと直結し、高温の排気ガスにさらされる部位で、従来から鋳鉄が使用されてきた。しかし、燃費向上のための軽量化や排気ガス浄化ニーズに対応した低熱容量化を達成するために、欧米では1980年代から、SUH409 (11Cr-Ti) やSUS430J1L (18Cr-Nb) 系等の熱膨張係数の小さいフェライト系ステンレス鋼の使用が始まった。鋳物では肉厚が5mm程度必要であったのに対し、ステンレス鋼板製では1.5~2.0mm程度と約50%の軽量化が図られている。

今後、米国の大気浄化法案や欧米における高速燃費向上等への対応から、排気ガス温度がさらに上昇する傾向にあり、ステンレス鋼化が益々促進される一方で、一層の低コ

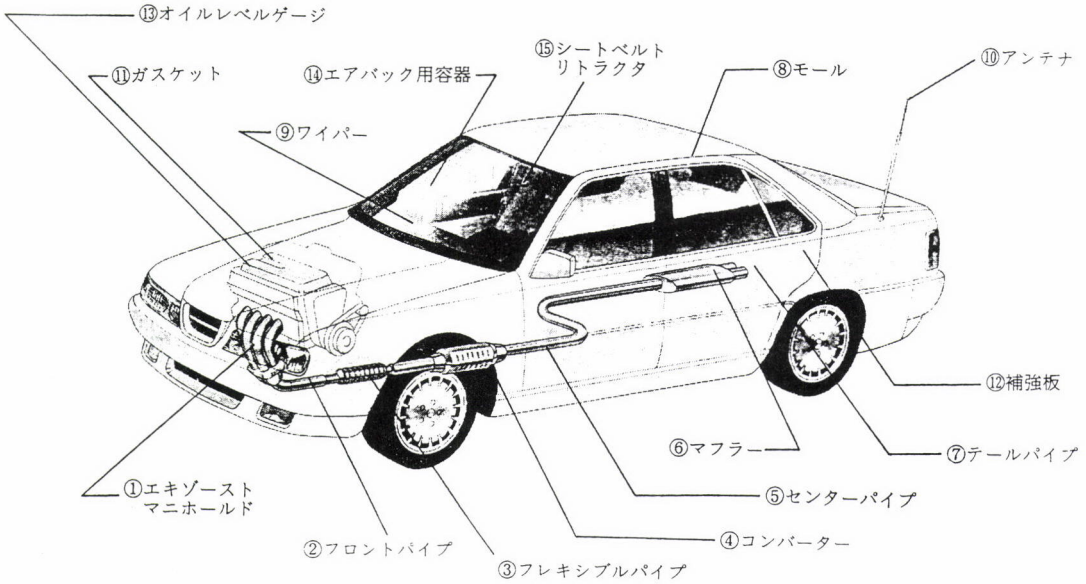


図8 自動車に使用されている主なステンレス鋼製部品

スト化が要求されている。これに対応し、NbにTi及びMoを複合添加することで、SUS430J1L以上の高温特性を有するYUS450（14Cr-0.3Nb-0.1Ti-0.5Mo）などが開発されている。又、断熱性を一層向上させるために、二重管エギゾーストマニホールドが使用され始めており、外管にYUS450、内管にはSUSXM15J1等のオーステナイト系ステンレス鋼が使用され始めている。

触媒コンバーターは、エンジンから排出される排気ガス中のHC、COは酸化、NO_Xは還元して無害化する目的で、多孔質で反応性に富むγ-アルミナ粉と助触媒を焼き付け、そこにPt、Rh、Pd等の貴金属触媒を担持させたものである。従来はセラミックモノリスタイプが使用されてきたが、排気ガス規制の一層の強化に伴い触媒浄化効率をさらに高める必要があるため、触媒を排気ガス温度の高いエンジン近傍に搭載することになり、図10[5]のように、耐熱性に優れた高Alで稀土類元素含有ステンレス鋼（YUS205-M1：20Cr-5Al-REM、等）箔を用いたメタル担体が開発された。

メタル担体は、担体を構成する板厚がセラミックに比べて薄く、排気圧力損失が低減できるため、軽量化効果とも相まって、エンジン性能向上や燃費低減に寄与している。

わが国の自動車業界は、自動車の耐久性、安全性の向上を図るため、1989年から各部品ごとの保証制度を発足させている。マフラーについては「3年6万km」保証となり、これに伴い従来使用されてきた普通鋼アルミメッキ鋼板に代わってステンレス鋼化が急速に進展してきた。この結果、1988年にステンレス鋼の適用比率は20%弱であったが、現在では乗用ガソリン車についてはほぼステンレス鋼化が完了し、当分野は大きな市場に成長している。又、ディーゼル車やバス、トラックにもステンレス鋼が使用され始めている。

マフラーに使用されているステンレス鋼は、当初SUH409、SUS410が使用されたが、内面孔あきの観点からマフラー部位ごとにきめ細かな材料の適用が検討された結果、現在では、マフラー内部のインナーパイプ、バッフルプレートには主としてSUH409系（YUS409D：11Cr-Ti）が又、インナーシェル、エンドプレートにはSUS436L系（YUS436S：17Cr-1.2Mo-Ti）や最近開発されたYUS432（17Cr-0.5Mo-Ti）等が適用されている。又、高炉メーカーではタンデム冷間圧延機やCAPL（Continuous annealing and processing line）といった普通鋼製造設備を活用して、効率的に製造しているのも特徴である。

その他排気系部品として、フロントパイプ、センターパイプには主として、SUH409系、SUS436L系が、フレキシブルパイプにはSUS304、SUSXM15J1系が使用されている。シリンダーガスケットには、主としてアスベストが使用されてきたが、衛生環境面からグラファイトや人造繊維に代替されている。近年では、バネ性に優れたSUS301等の高強度ステンレス鋼を用いたメタルガスケットが開発され、圧縮比の高いディーゼル車に多く採用されている。メタルガスケットの多くは薄板を積層した多層構造であるが、最近は一層構造のものも開発され、エンジン性能向上が図られており、ガスケットのメタル化はさらに進展すると考えられる。

又、二輪車についても、排気ガス規制強化に伴い、マフラーを初めとしてステンレス化の進展が期待されている。

以上の他にも、自動車には多くのステンレス鋼が使用されている。歴史的に車体装飾用として広く使用されているモール材（YUS180M：19Cr-0.6Nb-0.4Cu）、外装部材としてのアンテナ、ホイールキャップ、その他ワイパー、リトラクターバネ、エアバック容器、オイルレベルゲージ、エンジンの酸素センサーキャップ等があり、それぞれの必要特性に応じて各種のステンレス鋼が使用されている。

3.2.3 電気用

電子レンジ、各種温水・給湯器、ポット類、暖房機器等には従前からステンレス鋼が使用され、比較的安定需要となっていたが、全自動洗濯機バスケット及びIHジャー炊飯器のステンレス鋼化を契機に新たなステンレス鋼化が始まった。(図11)

洗濯機バスケットは従来樹脂製であったが、脱水効率向上のための高速回転化に伴う強度部材としての機能と、リサイクル性、ステンレス鋼の持つ清潔感が需要家にアピールし、洗濯機全体の売上を伸ばす勢いを見せている。ステンレス製バスケットには加工性に優れたSUS430LX（YUS430D：16Cr-0.4Ti）、やSUS430J1L（YUS180：19Cr-0.4Nb-0.4Cu）が使用されている。又、IHジャー炊飯器は、ステンレス鋼とアルミニウムをクラッディングすることによりフェライト系ステンレス鋼の持つ電磁気特性、耐食性とアルミニウムの熱伝導性を兼備させ、御飯をおいしく炊けるようにしたもので、グルメブームに乗り需要を伸ばしている。

これに続くものとして最近、衣類乾燥機のドラム、冷蔵庫の冷凍ケース、食器洗い乾燥機、生ゴミ処理機といったステンレス鋼適用商品も販売開始されている。(図12)

衣類乾燥機のドラムは、従来プラスチック又は亜鉛メッキ鋼板製であった。前者は静電気によるホコリの付着、汚れ、後者は錆が発生するという欠点があり、これらの欠点を改善するために、ステンレス鋼が適用された。

冷蔵庫の冷凍ケースは、従来樹脂が使用されていた。樹脂は熱伝導率が低いため急速冷凍性が悪く、又汚れ、疵や

臭いが付きやすいという欠点があった。ステンレス鋼の持つ清潔感と、樹脂より熱伝導率が高く急速冷凍性が良いという特徴を生かし、今後の伸びが期待される。

また、食器洗い乾燥機はまだ普及率が2％前後と欧米に比べ著しく低く、今後の伸びが予想される。又、生ゴミ処理機は飽和しつつあるゴミ処理問題の解決に寄与するものとして、今後、都市部を主体に、廃棄物に対する法規制化の動向によっては大きなマーケットになることが期待される。

この他、地球環境、労働環境、排気物処理等の問題から、各種メッキ・塗装省略、樹脂のメタル化の動きが広がる傾向がみられ、メッキ等の処理をしないステンレス鋼の適用が一層広がるものと思われる。

3.2.4 その他

建設、自動車、電気といったステンレス鋼の需要伸びの高い分野について述べてきたが、他の分野でもステンレス鋼化の進展は著しいものがある。

電力分野ではステンレス鋼は原子力、火力発電とも広く使用されてきた。原子力発電では従来の軽水炉の他、原子炉使用済み核燃料の再処理設備、開発が進められている高速増殖炉にも使用される。火力発電では従来の排煙脱硫設備、熱交換機、各種配管類に加え、操業温度の上昇に伴う排気設備等への適用拡大、さらには、メンテナンスフリー、環境問題（粉塵排出防止）から煙道や煙突材料のステンレス化が進みつつある。

また、地球環境問題への対応からクリーンエネルギーとして水素利用エネルギーシステム技術（WE-NET)、超電導電力貯蔵装置(SMES)、燃料電池や太陽電池等の各種電池等新エネルギー利用技術の開発が進められており、ステンレス鋼が適用される大型需要分野として期待される。

更には、建造ブームに沸き返っているケミカルタンカーの内部タンク、タンク本体と強度部材を一体化した一体型コンテナー等多くの用途が開拓されている。(図13)

その他にも、石油精製工業設備、化学工業設備、各種バーナー等の産業機械、電池ケース、マイクロシャフト等電気機器、ビールタンク、各種乳製品製造設備等の食品機器、メス、ハサミ等の医療機器、釣り具、自転車フレーム、時計バンド等スポーツ・レジャー・アクセサリー関連器具等に巾広く使用されている。

以上述べたように、地球環境問題、リサイクル化、メンテナンスフリー化、ライフサイクルコストに対する認識の高まり、意匠性、清潔感等ニーズとステンレス鋼の持つ耐食性、耐候性、耐熱性、強度、意匠性等が合致し、ステンレス鋼の需要分野は拡大しつつある。

今年5月に設立が予定されているISSF（国際ステンレスフォーラム）の中にも市場開発委員会が設立されることになっており、全世界規模でのステンレス鋼の需要拡大が期待される。

引用文献

1）INCO：World Stainless Steel Statistics（1996他）
2）通商産業大臣官房調査統計部：鉄鋼統計月報，Vol.45, No.9（1996）他
3）ステンレス協会：ステンレス鋼板用途別受注統計年報，平成7年度他
4）渡辺純夫：新日鐵技報，361（1996），p.5
5）日本鉄鋼連盟：鉄鋼界報，1639（1995）
6）松浦則之：ステンレス，38，10（1994），p.16

（1997年1月31日受付）

解説

形鋼製造のプロセスメタラジー

山本広一　新日本製鐵㈱　鉄鋼研究所　鋼材第二研究部・堺　主幹研究員
Kouichi Yamamoto

Metallurgical Control Process on Shape Rolling

1 はじめに

圧延形鋼製品には、建築構造部材として用いられるH形鋼、河川・港湾の護岸用の鋼矢板および船体の補強材としての不等辺不等厚山形鋼などがある。これらの内でH形鋼は、およそ年産500万トンと最も多く生産されている。

H形鋼は、建築物の骨格となる柱および梁材として用いられ、耐震性・耐火性など災害時における安全性の観点からも、重要な構造部材である。最近、建築用鋼材として、市場ニーズに応えた高い信頼性と高機能特性を付与したH形鋼が、新しい形鋼プロセスメタラジーにより開発されている。

ここで形鋼プロセスメタラジーとは、厚板分野で発展した金属組織の微細化法である制御圧延技術（TMCP：Thermo Mechanical Control Process）を基調としマイクロアロイング（Nb、Vなどの微量添加）および最新のオキサイドメタラジー技術（微細Ti酸化物の分散）との総合化により、圧延ままで組織を微細化する形鋼のための材質制御技術を意味する。

本解説では、この形鋼プロセスメタラジー技術とこれにより開発した、低降伏比外法一定H形鋼、耐火用H形鋼、極厚H形鋼について紹介する。

2 形鋼材質制御技術の歴史

プロセスメタラジー技術で最も重要なTMCPは、圧延温度と圧下条件を制御することにより、鋼材の組織を微細化し、省合金で強度・靱性・溶接性などの材質特性を向上させる技術である。この技術は線材および厚板分野において早くから展開され、優れた材質制御技術として成熟した。形鋼分野へのTMCPの適用は、1980年にH形鋼に適用された例が米井ら[1]により公表された。目的はH形鋼の粗圧延において、フランジ幅の中央部でフランジとウェブとが連結するフィレット部を集中冷却し、この部位の強度・靱性をウェブ部、フランジ部と同等まで向上させることであった。しかし、国内では、H形鋼での冷却制御は形状と残留応力制御のために展開され、材質制御を目的としたTMCP技術は、1990年に開発された外法一定H形鋼[2]が実用化されるまで大きな進展はなかった。一方、国外では、欧州において開発が進められ、1988年にARBED社[3]から、圧延中にH形鋼のフィレット部を選択的に冷却しH断面の温度を均一化するためのTM－SC（Thermo Mechanical Treatment with Selective Cooling）と称する圧延中水冷方法、ならびに圧延後の水冷により全断面を急冷し、水冷停止後の冷却中に内部からの復熱を利用して表面の焼入れ硬化層部を焼戻すQST（Quenching and Self Tempering）法の採用により、材質の均質化と靱性向上・低合金・良溶接性を狙った形鋼TMCP技術を実用化したことが公表された。この技術開発を契機とし、外法一定H形鋼のウェブ変形防止のために開発されたフランジ冷却制御技術をTMCPとして展開する試みがなされ、典型例として1990年に、低降伏点の外法一定H形鋼が開発された。またマイクロアロイング技術は、すでに1970年頃から実用化されており、Nb、V、Mo等の元素の微量添加により、これら元素の炭窒化物の析出強化および固溶体強化を利用している。これによる強化によって、鋼中のMn、Ni等の合金量を10分の1以下に低減することが可能となった。加えて、オキサイドメタラジー技術は、1980年前半に溶接熱影響部の靱性改善を目的に開発された。これは製鋼過程で予め微細酸化物を鋼中に分散させておき、この酸化物を核にしてオーステナイト相（γ）からフェライト相（α）を核生成させることにより金属組織を微細化する技術である。このオキサイドメタラジーを圧延ままの鋼材の組織微細化に応用したのは、圧延H形鋼が最初である。これらの技術を総合化した形鋼プロセスメタラジー技術により、1992年から1996年にかけ、耐火用H形鋼および極厚H形鋼が開発された。

3 H形鋼プロセスメタラジーの課題と基本概念

3.1 H形鋼の圧延および品質課題

H形鋼は図1に示すように、フランジ板厚(Ft)とウェブ板厚(Wt)の比Ft/Wtが最大で3倍にも達する断面形状を有している。このようなH断面形状のため圧延温度および圧下比がフランジとウェブおよびフィレット部では大きく異なり、例えば圧延温度では、フィレット部はウェブ部に比べ150～200℃もの高温となり、圧延後の冷却速度も他の部位に比べ最も緩冷却となる。H形鋼圧延は、図2に示すユニバーサル圧延機によってH形に圧延造形することから、高温・軽圧下・多パス圧延となり、材質制御のために厚板圧延で行われているような低温・大圧下の条件を満たすことは、現状のミル能力では不可能である。

すなわち、H形鋼圧延におけるTMCPは、H形造形を阻害しない範囲で、材質劣化の最も大きいフィレット部に対して、加工熱処理効果を発現させ得る、圧延中および圧延後における水冷方式を提示できるか否かがポイントとなる。

また表1には、TMCPをH形鋼に適用する場合に具備すべき品質機能をまとめ、列記した。薄肉外法一定H形鋼では、フランジとウェブとの板厚差に起因する温度差からの内部応力により発生するウェブ変形の防止が、制御圧延よりも優先される。加えて建築では、柱に梁用のH形鋼をボルト接合するためにフランジ部にドリル孔開け加工する場合が多く、この施工上の高効率化のため、フランジ表層部の硬さをビッカース硬さHv200以下にすることが求められる。その他にも、信頼性・安全性を高める必要から低合金化による溶接特性の向上が要求される。

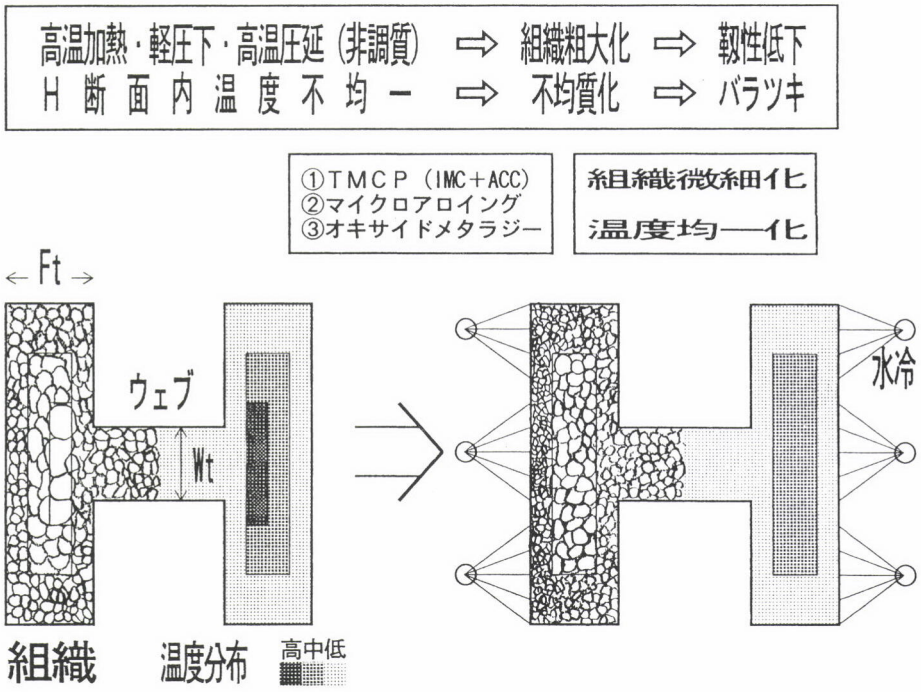


図1 圧延形鋼における材質課題と形鋼プロセスメタラジーによる金属組織制御イメージ

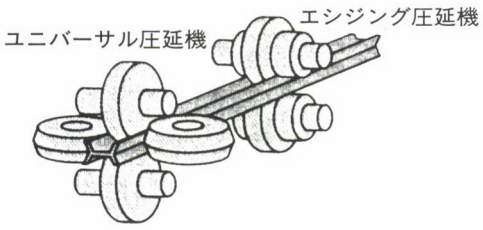


図2 H形鋼ユニバーサル圧延機

3.2 形鋼材質制御の基本概念

図1には、H形鋼における圧延時の材質課題と併せ、形鋼プロセスメタラジーによる組織制御イメージを模式的に示した。

鋼の材質特性は、ミクロ組織によって決定され、この組織微細化により、唯一、高強度化と高靱性化の相反する特性を両立させることが可能となる。

圧延ままでの組織微細化法にはTMCPが一般的であり、

表1　TMCP適用にあたってのH形鋼固有の課題

課　題	内　　容
ウェブ変形防止	ｳｪﾌﾞ／ﾌﾗﾝｼﾞ間の温度差に起因するｳｪﾌﾞ変形防止
表面硬度低減	ﾌﾗﾝｼﾞ水冷による表面硬化のため孔開け加工困難 これを容易にするため
強度・靭性保証 （均一化）	高温・軽圧下圧延による組織粗大化ならびに ｳｪﾌﾞ／ﾌﾗﾝｼﾞ間の圧延温度差による 材質劣化・不均一性への対応
溶接性確保	高強度・厚肉化による高合金化の回避

最も有効なプロセスメタラジー技術である。しかし、形鋼圧延でのロールの圧延反力限界の小さいユニバーサル圧延機では、TMCPの低温・大圧下圧延条件を満たすことは困難である。

したがって、形鋼圧延における高温・軽圧下で、組織微細化と均質化を達成する効率的なプロセスメタラジー技術を開発することが圧延形鋼の材質制御における極めて重要な課題となる。

まず、鋼の組織微細化の原理に基づき、特に形鋼圧延に適用できる組織微細化方法を構築することが必要となる。原理的には、冷却途中で生じるγ相内からα相が析出する変態過程において、αの核生成数の増大と生成したαの粒成長を抑制し細粒化させることである。

その手法の一つとして、αの核生成サイト数をできる限り増加させることを考え、製鋼過程で鋳片中に、予めα核生成能に優れた微細オキサイドを分散させるオキサイドメタラジー技術を導入することになる。

次いで、採用されたのがマイクロアロイング技術である。ここでの微量Ｎｂ添加により、圧延中のγ温度域での析出Nb（CN）あるいは固溶Nbがγの加工再結晶化とその粒成長を抑制する。これによりγ相の細粒化とγ内への変形帯の導入がなされ、TMCPによる組織微細化効果をより増大化させる。

これに加えて、形鋼圧延に適したTMCPのための冷却技術として圧延中水冷法（IMC：Inter Mill Control）[4]、引き続き圧延後に水冷する加速冷却法（ACC：Accelerated-Cooling）[5]が構築された。すなわち、ここでのTMCPは、加速冷却型TMCPに類型されるIMCとACCとを複合化したプロセスを示している。

IMCは、圧延中にフランジのみを水冷し復熱時に圧延することを繰り返す方法であり、H形鋼断面内の圧延温度差の縮減とフランジ部の制御圧延を圧延能率を低下させることなく実現できる。加えて、フランジの水冷面と板厚内部には温度傾斜が付与され、これにともない強度も傾斜した分布となる。この強度傾斜分布の存在は、圧下により高温内部の強度の低い領域の変形を容易にし、圧下浸透効果を生じる。これによってγ/α変態においてα核生成サイトとして機能する転位（亜粒界）を内部により多く導入できる。このα核生成の促進により、高温・軽圧下圧延のため、組織微細化が困難な内部（フィレット部）においても効率的に組織の微細化が達成できる。また、表層部においては、水冷と復熱時圧延の繰り返しによりγは微細粒となり、焼入性が低下するため、焼入時の表面硬さを低く抑えることが可能となる。この効果は、厚板でのIMCの特徴である、表面細粒化効果[6]として知られている。

圧延後の水冷は、組織微細化には必須であり、過度の冷却によりフランジとウェブ間の残留応力を増大させない範囲で最大の冷却速度を得る必要がある。

これら、TMCP、マイクロアロイング、オキサイドメタラジーの３つのプロセスメタラジー技術を総合化して、形鋼圧延における組織微細化を目的とした形鋼プロセスメタラジー技術が確立された。

図３に形鋼圧延ラインの略図およびH形鋼に適用したTMCP技術のプロセスイメージを示す。なお、フランジ外側面水冷設備は、第２中間圧延機の前後の９ｍゾーンと仕上げ圧延機の後面の60mゾーンにスプレイタイプを設置している。

4　形鋼プロセスメタラジー適用建築用H形鋼

4.1　低降伏比外法一定H形鋼

建築構造用圧延鋼材、SN490鋼では、ウェブ変形の防止、表面硬さHv200以下、に加え、降伏比（YR：降伏応力/引張強さ）80％以下、０℃でのシャルピー衝撃値27J以上、溶接性を考慮し炭素当量0.44％以下（WES）の特性が求められる。

これらの要求特性の保証とウェブの残留応力の低減は、

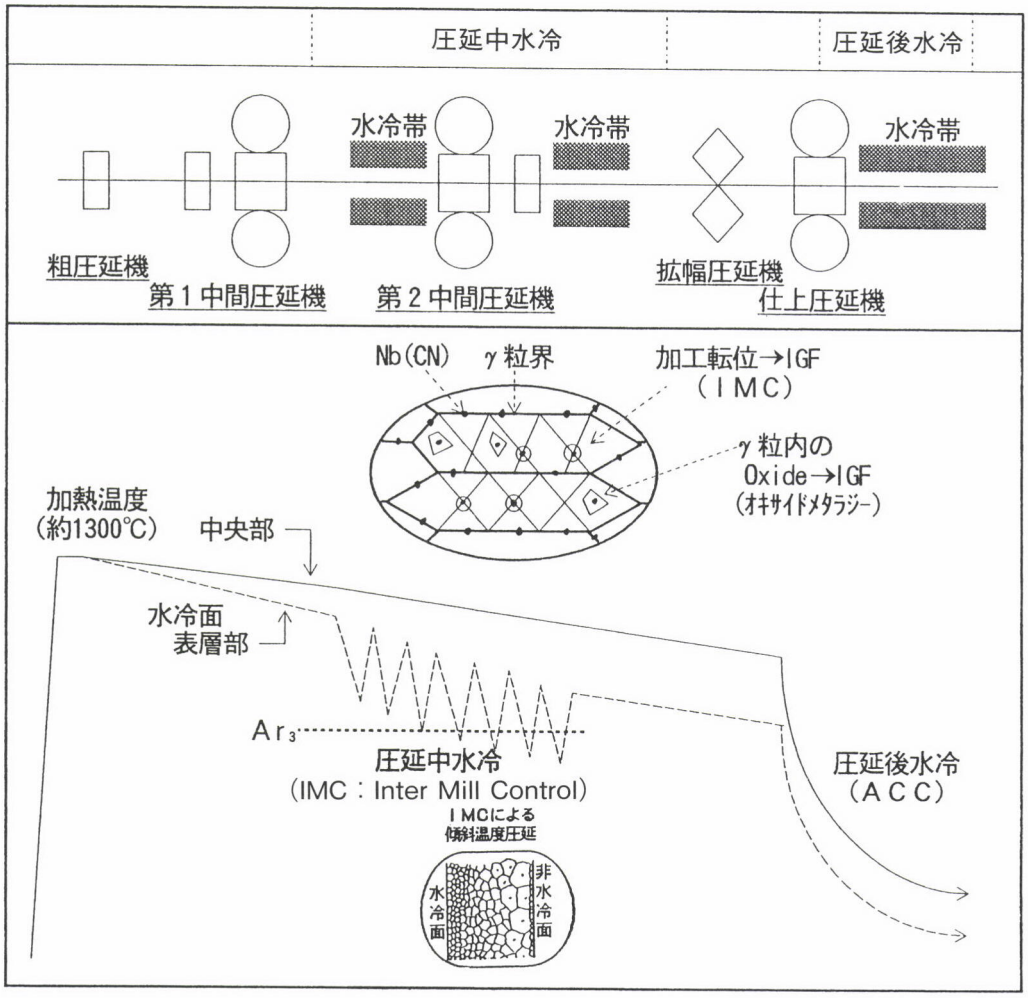


図3　TMCP（IMC＋ACC）プロセスイメージとフランジ部の温度履歴（IGF：粒内フェライト）

フランジ外側面の圧延中水冷（IMC）と圧延後水冷（ACC）を組み合わせたTMCPにより達成できる。

まず、この工程で製造されたフランジ厚12mmの薄手材と、37mm厚の厚手材の成分と機械特性の代表例を表2に示す。次いで、長さ方向の残留応力を低減した実例を図4[7]に示す。H形鋼のウェブとフランジの厚み差から発生する残留応力は、TMCPによりほぼ零に制御でき、ウェブ変形、切断加工後の変形などの防止が可能となる。

加えて、IMC効果により水冷表面の硬さ上昇を抑制した例を図5に示す。上部のミクロ組織写真に示すように、IMCを経ないで圧延後水冷した鋼材の表面はベイナイト組織を形成し、表面硬さはおよそHv240に上昇するが、IMCを施した鋼材の表面組織は、微細なフェライト組織となり、表面硬さはおよそHv170に抑制できる。

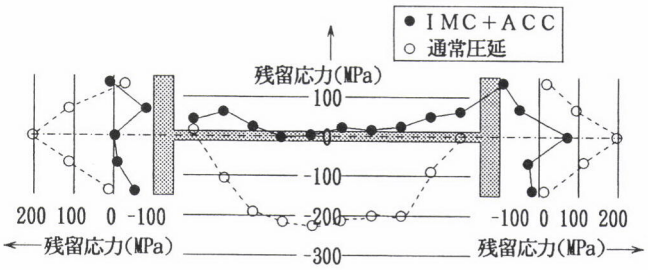
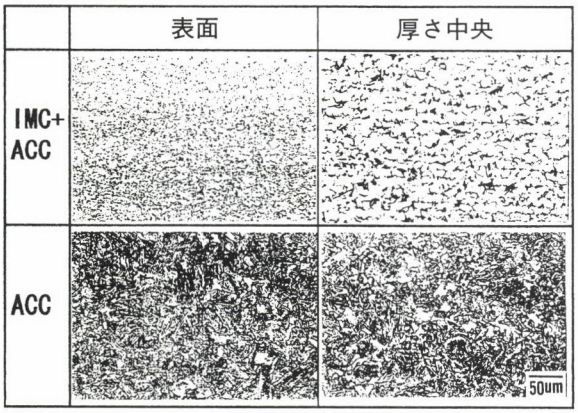


図4　フランジ部冷却制御H形鋼の長手方向の残留応力分布
（490MPa級鋼、サイズ：H900×300×19/37）

表2　TMCPによって製造された低降伏比外法H形鋼の化学組成および機械試験特性（490MPa級鋼、フランジ幅1/4部）

サイズ	化学組成(mass%)				機械試験特性				
	C	Si	Mn	Ceq(WES)	YS, MPa	TS, MPa	YR, %	vE0, J	surface Hv
H900x300x19/37	0.16	0.3	1.3	0.39	352	510	69	205	180
H550x200x6/16	0.16	0.3	1.1	0.36	416	541	77	220	195



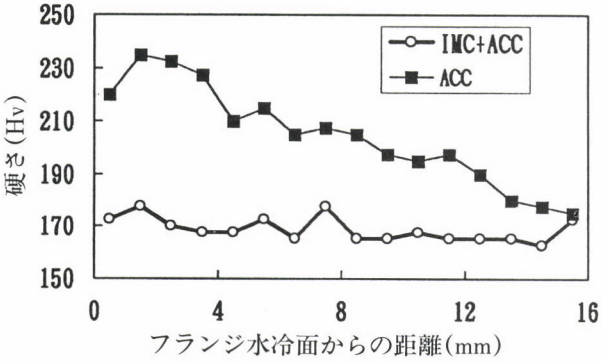


図5　圧延中水冷（IMC）による圧延後水冷（ACC）後の硬さおよびミクロ組織に及ぼす効果
（490MPa級鋼、サイズ：H500×200×6/16）

しかし、フランジ厚が9、12mmと薄手H形鋼では、ウェブ変形を防止するためにIMCにおいて過度のフランジ冷却を行うと表層部に極細粒層を形成し、YRが80%を超えることが判明した。この問題は、ウェブ変形を生じない範囲でIMCの水冷回数を減ずることにより解決できる。

この過度のIMCによりYRが80%以上となる原因をフランジ板厚方向の強度分布を解析し調べた。調査にはサイズH500×200×6/12のH形鋼を用い、フランジ厚さ方向に3分割し、それぞれ厚さ4mmの引張試験片を作製し機械試験をおこなった。図6に示すように、表層から4mm部位では、ミクロ組織から予測されたとおりYRは87%と高いが、非水冷のフランジ内外側面では、これが80%に低下している。この解析結果とミクロ組織から判断して、全厚でYRが84%を示した理由は、IMCにより表層部に形成された極細粒層の存在に起因し、そしてYR値は、極細粒層の厚さに依存することが明らかとなった。そこで、高YR化を防止するために、SM490MPa級鋼を用いIMC条件を変化させ、フランジの仕上げ圧延温度のYRに及ぼす影響を調べた。図7に示すように、YRが80%以下となる仕上げ圧延温度は825℃以上であることが判明し、これを基に、ウェブ変形応力を超えない水冷条件範囲内で、この限界圧延温度以上となるIMC条件を求め、薄手外法一定H形鋼に適用し、YRが

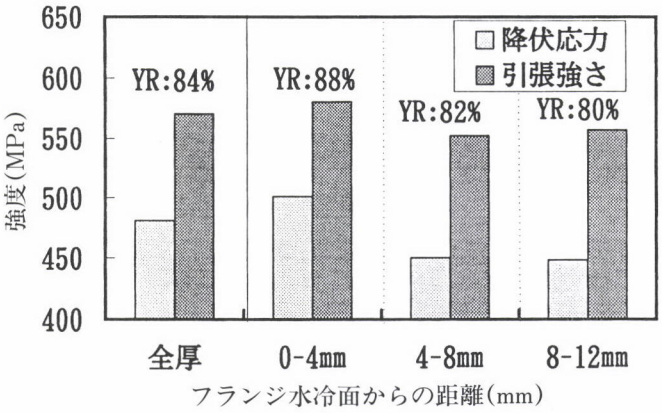


図6　IMCを強化したH形鋼のフランジ厚さ方向の引張強度分布
（490MPa級鋼、サイズ：H550×200×6/12）

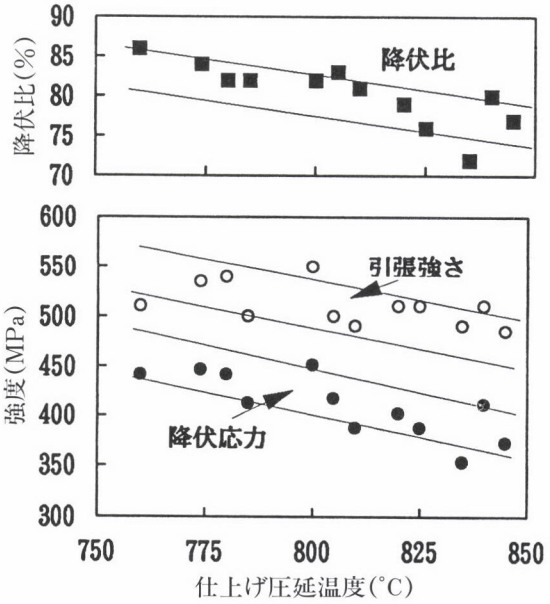


図7　引張強度および降伏比に及ぼす仕上げ圧延温度の影響（490MPa級鋼、サイズ：H550×200×6/9、6/12、6/16）

80%以下を達成している。

4.2　耐火用H形鋼

耐火用490MPa級H形鋼に求められる600℃での降伏応力、217MPaをクリアーするには、0.5mass%程度のMo添加が通例である。Mo添加により、圧延後のミクロ組織にはフェライトとベイナイトとが混在し、このベイナイトの生成割合は、仕上げ圧延温度および冷却速度などの圧延条件によって、大きく変化する。すなわち、圧延ままでは、ウェブ、フランジ、フィレット部位間では、仕上げ圧延温度、圧下率、冷却速度に大きな差が生じるため、これらの差によってベイナイト生成割合は大幅に変化し、それにともな

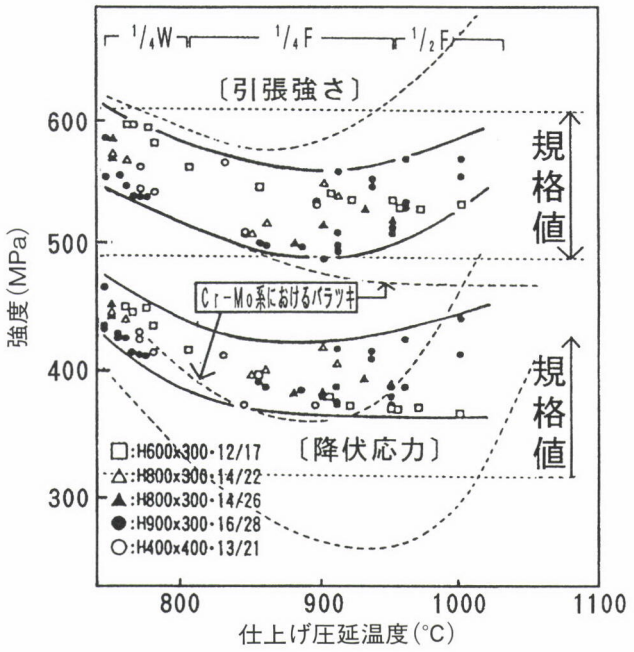


図8　Mo-Ti-O系耐火用H形鋼の引張強度に及ぼす仕上げ圧延温度の影響

い強度が、図8の点線範囲で示すようにH断面内でバラツキ、規格値をはずれる部位が発生し安定生産ができなくなる。

この課題を解決するために、IMCを強化し、フランジ部の仕上げ圧延温度をウェブの仕上げ圧延温度850℃以下に漸近させて、ベイナイトの占有割合を40から60%に制御し、強度のバラツキを縮減している。

しかし、Mo添加鋼では、圧延時の高温強度も上昇するため、IMC低温圧延によって、ロール負荷が増大し、サイズによっては圧延反力限界を超え製造不能なサイズが出現する。これを解決するために、仕上げ圧延温度に対しての強度変化を小さくできる材質制御プロセスが模索された。その結果、鋼中に製鋼工程で予め微細分散させたオキサイド(Ti-O)を核にフェライトを核生成させ、組織を微細化するオキサイドメタラジー[8]の適用が形鋼圧延プロセスにおいても効果的との結論に達し、その適用が試みられた。結果は図8に実線範囲で示すように、仕上げ圧延温度がフィレット部の1000℃からウェブ部の750℃の広い温度範囲で、強度のバラツキを縮減できることが判明し、この適用により圧延負荷の軽減と耐火用薄手外法一定H形鋼の製造が可能となる。これらのH形鋼について、成分および材質特性を表3に示す。

4.3　極厚H形鋼

極厚H形鋼は、主に高層ビルの柱材として用いられ、建築現場において極厚H形鋼を溶接継手加工し鋼製柱として使用される。したがって、この鋼材においては優れた溶接性能が要求される。このニーズに対応しARBED社は、溶接性能を向上させた低炭素当量型の極厚H形鋼を形鋼TMCP技術の適用によって開発している。

最近、国内において、490MPa級、フランジ厚75mmの極厚H形鋼がIMCとマイクロアロイングおよびオキサイドメタラジーを総合化した形鋼プロセスメタラジーの適用によって開発された。

この鋼の代表成分と機械試験および溶接試験結果を表4に示す。開発された極厚H形鋼は、炭素当量が0.37%であり、V、Nbを添加しマイクロアロイングにより設計された従来材での0.40%（0.18C-1.2Mn-0.07V-0.03Nb）より低減されており、フィレット部と溶接熱影響部の靱性および溶接割れ性に優れた特徴を有している。溶接特性の一例として、斜めy開先溶接冷間割れ性試験の結果を図9に示す。この試験での割れ停止温度は25℃であり、汎用鋼の200℃より大幅に改善されている。溶接割れ感受性指数のPcmも0.20%と十分に低減されており、溶接最高硬さはHv270以下と低く、極めて良好な溶接性能を有している。

表3　TMCP及びオキサイドメタラジーによって製造された耐火用H形鋼の化学組成および機械試験特性（490MPa級鋼、フランジ幅1/4部）

鋼種	サイズ	化学組成(mass%)							機械試験特性				
		C	Si	Mn	Mo	Cr	その他	Ceq(WES)	YS, MPa	TS, MPa	YR, %	YS at 600℃	vE0, J
Mo-Cr	H600x300x14/23	0.09	0.3	0.8	0.6	0.4	Ti	0.47	398	564	71	273	182
Mo-Ti-O	H600x300x12/17	0.11	0.2	1.3	0.5	-	Ti, V	0.47	383	551	70	237	213

表4　TMCP、マイクロアロイング、オキサイドメタラジーの複合化によって製造された極厚H形鋼の化学組成、機械試験特性および溶接試験特性（490MPa級鋼、フランジ幅1/4部）

サイズ	化学組成(mass%)							機械試験特性				溶接特性(HAZ)	
	C	Si	Mn	Ti	V	その他	Ceq(WES)	YS, MPa	TS, MPa	YR, %	vE0, J	vE0, J	Max. Hv
H498x432x45/70	0.11	0.2	1.45	0.01	0.07	Cu, Ni	0.37	349	513	68	268	140	265

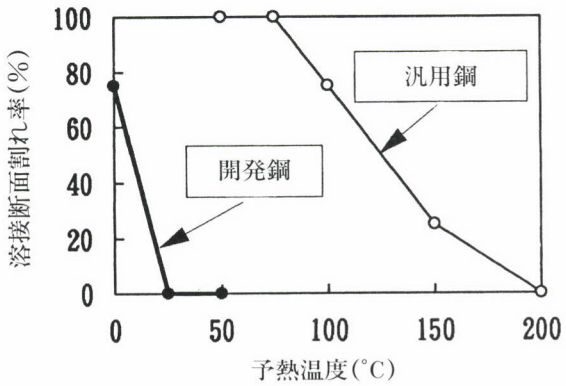


図9　形鋼プロセスメタラジーによって製造された極厚H形鋼の斜めy開先溶接冷間割れ性試験結果

5 おわりに

阪神大震災における被害状況調査の進展にともない、建築用鋼材に対する信頼性が益々重要視されるようになってきた。このような市場ニーズを先取りした高い信頼性と新機能を具備した、低降伏比H形鋼、耐火用H形鋼および極厚H形鋼が開発されている。これらの鋼材は、TMCP、マイクロアロイングおよびオキサイドメタラジーを総合化した形鋼プロセスメタラジー技術の適用により、低合金・高靱性・良溶接性および耐火性など高機能な材質特性を有している。また、H形鋼におけるTMCPは、フランジのみを圧延中・圧延後に冷却することに特徴があり、この効果と、オキサイドメタラジーとの複合化により一層の組織微細化が可能となり、高品質のH形鋼が生産できることを紹介した。

形鋼プロセスメタラジー技術は、圧延プロセスにおいて軽負荷で高機能材質の付与を可能にし、圧延製品の安定・高生産を実現する総合技術であり、他の鋼材分野への展開も期待される。

文　献

1）米井たけし，飛田洋史，鈴木信一，杉田州男，織田昌彦，溝口茂：製鉄研究，303（1980），p.39
2）稲垣彰，安河内醇，板橋義則，青柳幸四郎，藤本武，山本洋春，川田勇：新日鉄技報，343（1992），p.9
3）A.Frantz, F. Becker and J. de la Hamette:, Metallugical Plant and Technol.，3（1988），p.94
4）吉江淳彦，間渕秀里，尾上泰光：CAMP-ISIJ，7（1994），p.1840
5）関根寛：第86，87回西山記念講座，日本鉄鋼協会偏，（1982），p.154
6）石川忠，野見山裕治，萩原行人，粟飯原周二：日本造船学会論文集，177（1995），p.259
7）黒川征男（新日本製鐵プロセス技術研究所）：私信，（1992）
8）J. Takamura and S. Mizoguchi: Proc. 6th Int. Iron and Steel Congress, Nagoya，1(1990)，p.591[ISIJ]

(1997年2月21日受付)

延伸抑制圧延法による異形線の成形（平成7年度石原・浅田研究助成金交付に対する報告書）

大阪大学　工学部　宇都宮裕

1. 緒　言

複雑な断面形状をもつ線材は異形線と呼ばれ、各種電子部品、ばね、ピストンリング、レールなどの素材としてその需要が増加している。異形線は元来、丸線から引抜き加工により成形されていたが、最近は圧延加工またはローラーダイス引抜き加工が多用されている。これらの方法は多スタンドのミルと多数の孔型ロールを必要とするため、相当の設備費を要し、また孔型ロール及びパススケジュールの設計開発も容易ではない。

ところで著者らはサテライトミルと称する小型の連続圧延機を開発している。この圧延機では材料の延伸が著しく抑制され、横断面内のメタルフローが促進される[1)2)]。したがってこの圧延機を異形線の圧延に適用した場合、素材横断面積とパス回数が著しく減少し、設備費の低減や生産性の向上が期待できる。そこで本研究ではサテライトミルの異形線の成形への適用性を検討するため、典型的な断面形状の各種異形線（平線、T形線、U形線、H形線）の成形を試み、圧延特性を調査し、通常圧延法と比較した。

2. 実験方法

用いたサテライトミルの概略を図1に示す。1本の中心ロール（直径350mm）の外周上に5本の衛星ロール（直径76mm）が配置されており、全てのロールは同周速（22mm/s）で駆動される。材料は中心ロールと衛星ロールの間で5段の連続圧延を受け、異形線に成形される。

市販の直径5mmの電気用軟銅線（JIS C3102）コイルから切り出した長さ1.0mの丸線を引張り矯正して実験に供した。潤滑剤としては市販の鉱油ベース圧延油（CU-50）を用いた。

(1) 平線及びT形異形線の圧延

平線の圧延では中心ロール、衛星ロールともに平ロールを用いた。T形異形線の圧延では図2に示すように平の中心ロールと溝付きの衛星ロールの間で開式孔型を構成した。衛星ロールの孔型形状としてはT_1とT_2の2種類を用いた。なお全ての段における孔型形状は同一とした。各段への圧下率の配分は、1段目を36%に固定し、2段目から5段目の各段の圧下率を均等配分として、10%、15%、20%の3段階に変化させた。

(2) U形及びH形異形線の圧延

ロール径100mmの2段圧延機を用いて、矯正後の丸線を1パス平圧延し、プリフォーム材に成形した。プリフォーム材の厚さは3.24mm、幅は5.87mmであった。このプリフォーム材をサテライトミル圧延に供した。図3に示すように中心ロールにU形及びH形用の溝を、衛星ロールにそれぞれの突起を加工し、閉式孔型を構成した。1段目はピンチローラーとして使用し（圧下率0%）、2段目から5段目の衛星ロールの形状は同一で、各段の圧下率は20%とした。

また比較のために通常圧延の実験も行った。この場合はサテライトミルの1段のみを用いて、サテライトミル圧延と同一のパススケジュールで圧延を行った。すなわち、この場合の通常圧延は異径同周速圧延である。

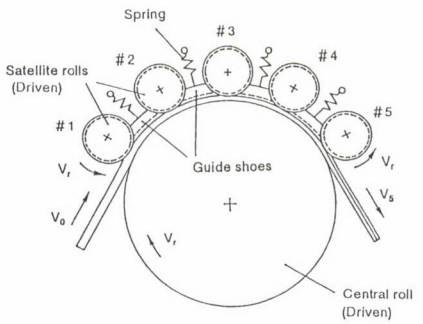


図1　Basic layout of rolls in the satellite mill.

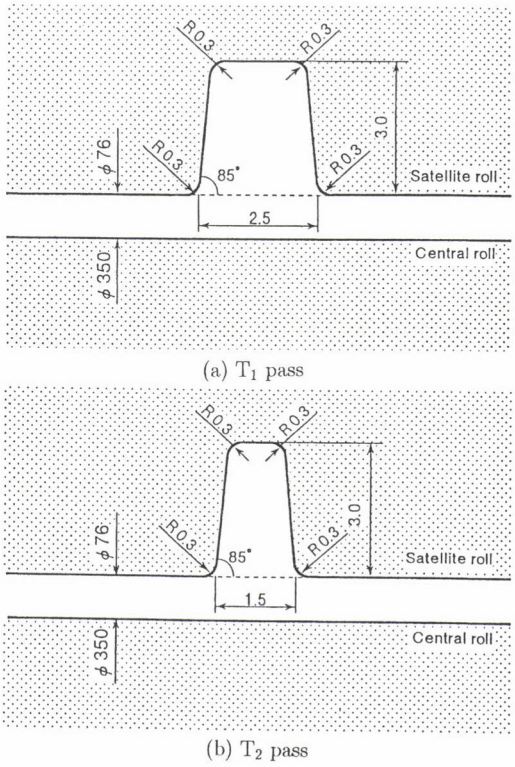
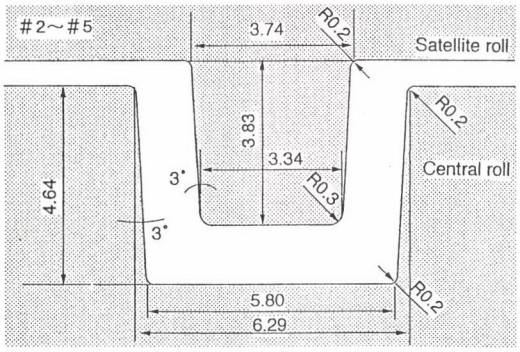
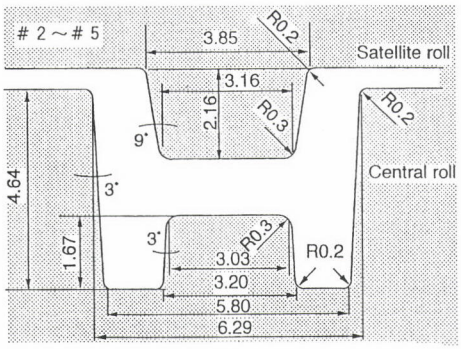


図2　Roll passes for T-shaped wires.



(a) U pass



(b) H pass

図3　Roll passes for U-shaped and H-shaped wires.

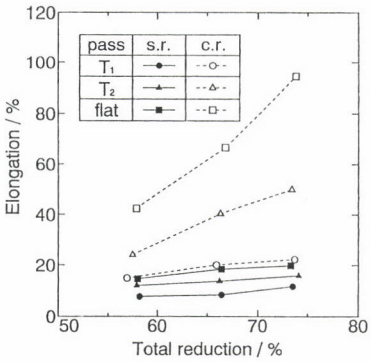


図4　Total elongation of wires as a function of reduction.

3. 結　　果

図4に平線及びT形異形線の圧延における延伸率に及ぼす全圧下率の影響を示す。サテライトミル圧延（s.r.）の延伸率は通常圧延（c.r.）に比べてかなり小さく、圧下率への依存性も小さい。またT_1、T_2、平の順に、すなわち排除断面積の増加とともに延伸率は増加するが、サテライトミルの延伸抑制効果も顕著となる。したがって、サテライトミル圧延では延伸率の孔型形状に対する依存性も小さく、孔型設計が容易であることを意味している。供試材及び製品の横断面プロフィルを図5に示す。サテライトミル圧延材は通常圧延材に比べて、平線の場合は幅広がりが顕著であり、T形異形線の場合は中央のリブがかなり高い。T_1パスの場合、サテライトミル圧延材では完全に孔型に充満している。これらはサテライトミル圧延では延伸が抑制されることによって、横断面内のメタルフローが促進されるためである。この効果は溝幅が狭い場合（T_2パス）により顕著である。U形及びH形異形線のプリフォーム材及び製品の横断面プロフィルを図6に示す。いずれの場合もサテライトミル圧延材のリブ高さは通常圧延材のそれに比べるとかなり高い。またサテライトミル圧延においても通常の圧延と同様にデッドホールはリブホールに比べて充満されにくい傾向が見られる。

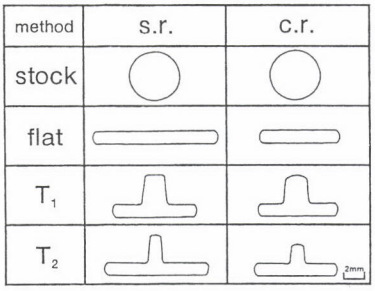


図5　Cross-sections of stock, flat and T-shaped wires.

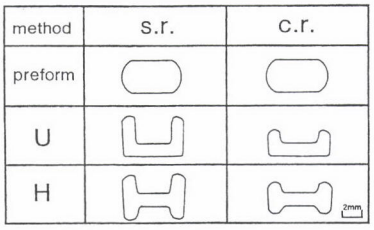


図6　Cross-sections of preformed, U-shaped and H-shaped wires.

4. 結　　言

サテライトミルを異形線の成形に適用した。その結果、サテライトミル圧延では延伸が小さく、孔型への充満性が優れているため、薄いリブや高いリブを有する異形線の成形に有効であることが明らかとなった。したがって延伸抑制圧延法によって複雑多様な異形線のより効果的な成形が可能であることがわかった。

文　　献

1）斎藤好弘，渡辺俊成，宇都宮裕：塑性と加工，33（1992），p.567
2）宇都宮裕，斎藤好弘：鉄と鋼，80（1994），p.613

（1997年2月3日受付）

本会情報一覧

学会部門

計測・制御・システム工学部会
シンポジウム「ライトサイジング時代のシステム制御技術」

最近のコンピュータおよび通信ネットワーク技術の進歩は著しく、ライトサイジングが時代の趨勢となっています。これらコンピュータ関連技術の現状を概観するとともに、これらのハードインフラを有効に利用するためのシステム制御技術の現状と今後を展望する場として「ライトサイジング時代のシステム制御技術」と題するシンポジウムを企画いたしました。奮ってご参加下さい。

1.共催：(社)日本鉄鋼協会生産技術部門制御技術部会
2.協賛：計測自動制御学会、システム制御情報学会
3.日時：1997 年 5 月 28 日（水）13：30～16：30
4.場所：加古川プラザホテル　中ホール
加古川市加古川町溝之口 527（ＪＲ山陽本線　加古川駅下車徒歩 2 分）
5.プログラム：総合司会　田村坦之（阪大）
13:30～14:30　分散システムを支える制御技術 ……新　誠一（東大）
14:30～15:20　ダウンサイジングを支えるコンピュータ技術 ……菊地原博夫（三菱電機）
15:20～16:10　分散ネットワークシステムの現状……相薗岳生（日立）
16:10～16:30　総合討論「ライトサイジング時代のシステム制御技術」
6.定員：100 名　（定員になり次第締切らせていただきます。）
7.参加費（テキスト代を含む）：会員 1,000 円（共催、協賛団体の方を含む）　非会員 3,000 円
8.参加申込：事前にＦＡＸで氏名・会員番号・勤務先・所属・住所・電話番号・ＦＡＸ番号を明記の上、
下記事務局までお申し込み下さい。（参加費は当日受付でお支払いください。）
9.申込期限：1997 年 5 月 16 日（金）

申込み・問合せ先　(社)日本鉄鋼協会　学会部門事務局　学術企画グループ　藤原
TEL.03-3279-6022　FAX.03-3245-1355　E-mail fujiwara@isij.or.jp

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				
5月	12,13日	日本複合材料学会研究発表講演会（東京）		本号 376頁
	16日	工学教育連合講演会「工学教育の国際化と評価認定制度」（東京）		本号 376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	4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	4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）		4号 293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）		4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）		4号 293頁
	28日	**シンポジウム「ライトサイジング時代のシステム制御技術」（加古川）**	1997/5/16	本号 367頁
	29,30日	超高温材料国際シンポジウム「新たなる材料・プロセス」（宇部）		4号 293頁
6月	2日	シンポジウム「先導的な金属プロダクト・プロセスの将来方向を探る」（東京）	1997/5/16	本号 375頁
	2日	ACT（先進機能創出加工技術）シンポジウム（東京）		本号 376頁
	2，3日	初心者のための有限要素法講習会　基礎コース（京都）	1997/5/23	本号 376頁
	6日	九州支部　第93回合同学術講演会（北九州）		本号 373頁
	9，10日	初心者のための有限要素法講習会　プログラミングと応用コース（京都）	1997/5/23	本号 376頁
	9～11日	2nd International Conference "21st Century Steel Industry of the Russian Federation and the CIS" (Moscow)		本号 376頁
	10,11日	溶接技術基礎講座（東京）		4号 293頁
	11,12日	HPI技術セミナー（東京）		本号 376頁
	13日	東海支部　特別講演会（名古屋）		本号 373頁
	13日	セラミック・分析セミナー（東京）		本号 376頁
	15～18日	SICE夏期セミナー「Basic制御理論」（千葉）		本号 376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）		4号 293頁
	24日	東海支部　第22回若手材料研究会―環境と材料（名古屋）		本号 373頁
	25日	第19回制御技術部会研究会「非線形制御技術」（神戸）		本号 376頁
	26,27日	第23回実用溶接講座「溶接の自動化における最近の動向と課題」（川崎）	1997/6/16	本号 376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）		4号 293頁
7月	1～3日	第67回塑性加工学講座「板材成形の基礎と応用」（大阪）		本号 376頁
	7，8日	防錆防食技術発表大会（東京）	1997/4/7	4号 293頁
	8日	第75回塑性加工講習会「チューブフォーミングの基礎と実際」（名古屋）		本号 376頁
	16～18日	第68回塑性加工学講座「鍛造加工の基礎と応用」（名古屋）		本号 377頁
	18日	関西支部　本多光太郎記念講演会	1997/7/8	本号 374頁
26日～	8月1日	**第23回鉄鋼工学セミナー（蔵王）**	1997/5/9	3号 205頁
	29,30日	第33回X線材料強度に関するシンポジウム（京都）	1997/4/25	本号 377頁
8月	4，5日	中国四国支部　支部講演大会	1997/6/6	本号 374頁
	8～28日	産業技術歴史展（横浜）		3号 219頁
9月	10～12日	第3回エコマテリアル国際会議（つくば）		4号 293頁
	24,25日	第9回破壊力学シンポジウム（滋賀）	1997/6/9	本号 377頁
	24～26日	**第134回秋季講演大会（仙台）**	1997/7/9	本号 362頁
10月	12日	技術士第一次試験（全国9都市）	1997/5/16	4号 294頁
	23,24日	HPI技術セミナー（大阪）		本号 376頁
	28～31日	SAMPE先端材料技術国際会議（東京）	1997/10/28	本号 377頁
11月	1～3日	第33回熱測定討論会（岡山）	1997/6/30	本号 377頁
	12～14日	第48回塑性加工連合講演会（山口）	1997/7/18	本号 377頁
	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	4号 294頁
	18,19日	第5回鋼構造シンポジウム（東京）	1997/5/16	4号 294頁
	20～22日	第40回自動制御連合講演会（石川）	1997/8/8	本号 377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
5月	24～28日	第5回高濃度窒素鋼国際懐疑（フィンランド、他）	1997/5/30	本号 375頁
1999年				
6月	13～18日	国際計測連合第15回世界大会（大阪）		4号 294頁

編集後記

春期講演大会は初日に少々雨にたたられましたが，全般に暖かく穏やか日が続き，盛会裡に終了いたしました。職場に戻りましたら，桜が満開になっていました。このような穏やかな日々が続いてほしいものと思います。

大会中に，本誌に関する好意溢れる評価を聞かせていただく機会が沢山有りました。好評に甘えず会員の皆様にますます親しまれる誌面作りをしなければ，と気持ちの引き締まる3日間でした。

本誌発行後1年を経過しての編集委員会は反省会の様相を呈していました。この時はまだ大会前でしたので，評価を直接伺う機会が少ない時点でした。反省会での宿題事項の一つは，会員の声を如何に反映させるかということでした。具体的な答がまだ出ていませんので至急考えていこうということになっております。

4月に入って編集委員長と一部の委員の交代がありました。これらの方々の本誌発行準備段階からのご苦労に心よりお礼を申し上げます。 (M.S.)

ふぇらむ（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5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）㈱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）

表紙デザイン　出澤　由野

ふぇらむ　Vol.2 No.5 広告目次

非接触浮揚溶解装置!!

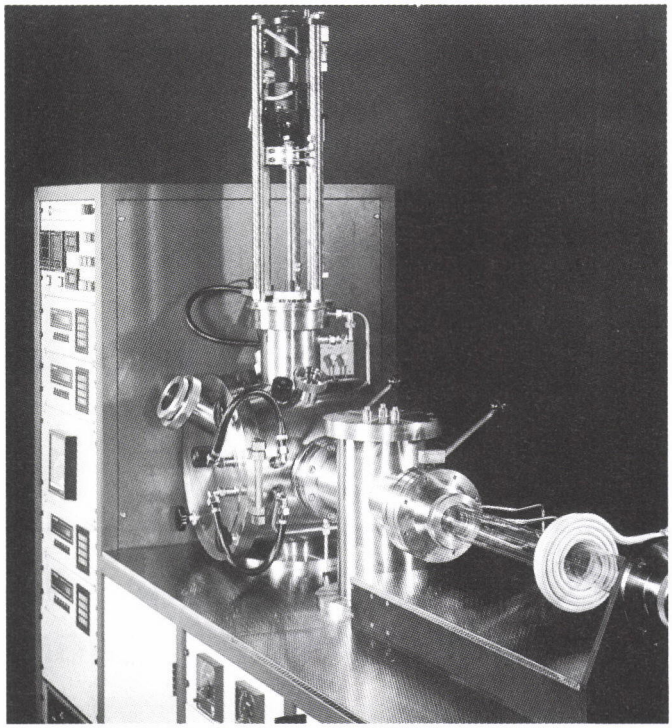
COLD CRUCIBLE INDUCTION MELTING

新素材の研究・開発に最適

溶融金属がルツボ壁に接触することなく溶融・浮揚・保持

特徴

- あらゆる金属の溶解が可能
- ルツボからの汚染が防げる
- 溶解時の雰囲気が自由に選択できる
- 金属の高純度化・合金化が可能
- 単結晶の作成ができる



溶解可能な金属

アルミニウム，銅，ジルコニウム，チタン，ニッケル，トリウム，コバルト，ニオブ，モリブデン，白金，ウラニウム，鉄，シリコン，希土類金属

（英国Crystalox社と提携）

FDC 富士電波工機株式会社

本社・工場　埼玉県鶴ヶ島市富士見6－2－22
（〒350-02）　☎(0492)86-3211　FAX〈0492〉86-5581
大阪営業所☎(06)539-7501　名古屋営業所☎(052)763-7511