

ふえらむ

Vol.3 No.5 1998

(社)日本鉄鋼協会会報

Bulletin of

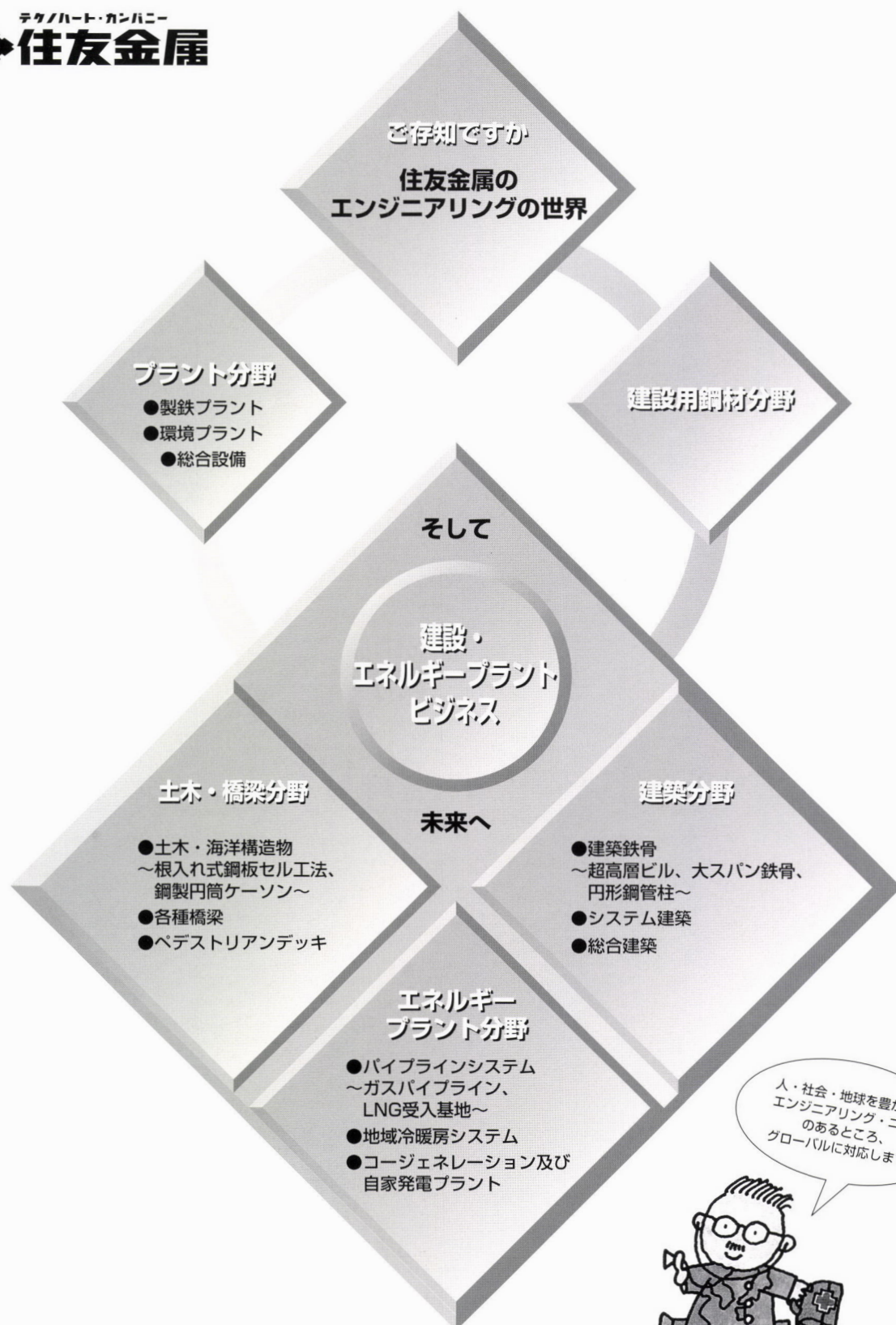
The Iron and Steel

Institute of Japan



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

ホームページ <http://www.isij.or.jp>



人・社会・地球を豊かに。
エンジニアリング・ニーズ
のあるところ、
グローバルに対応します。

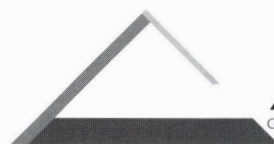
住友金属工業株式会社

<http://www.sumikin.co.jp/>

エンジニアリング事業本部

東京プロジェクト開発部 TEL.03-3282-6229 大阪プロジェクト開発部 TEL.06-220-5467

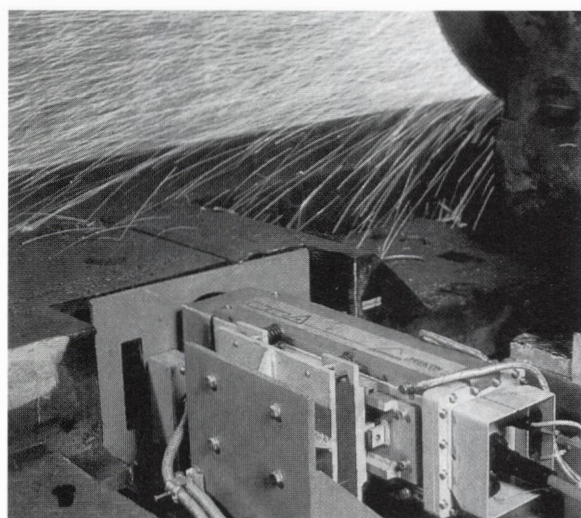
ドイツ/メザコン社 高精度レーザー測定器



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

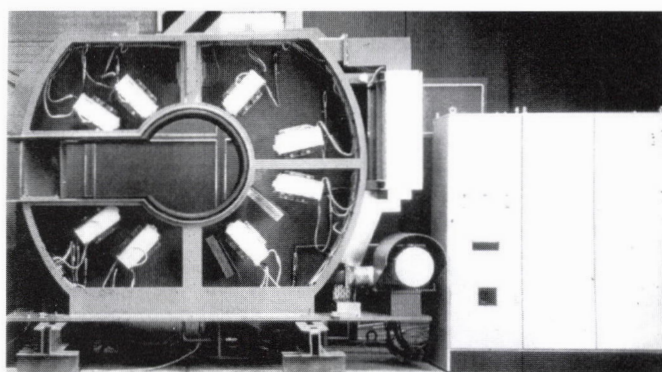
主仕様例 右図装置の場合

- ・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ます。

日本総代理店

株式会社 **マツボー** プラント2部

〒105-0001 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**

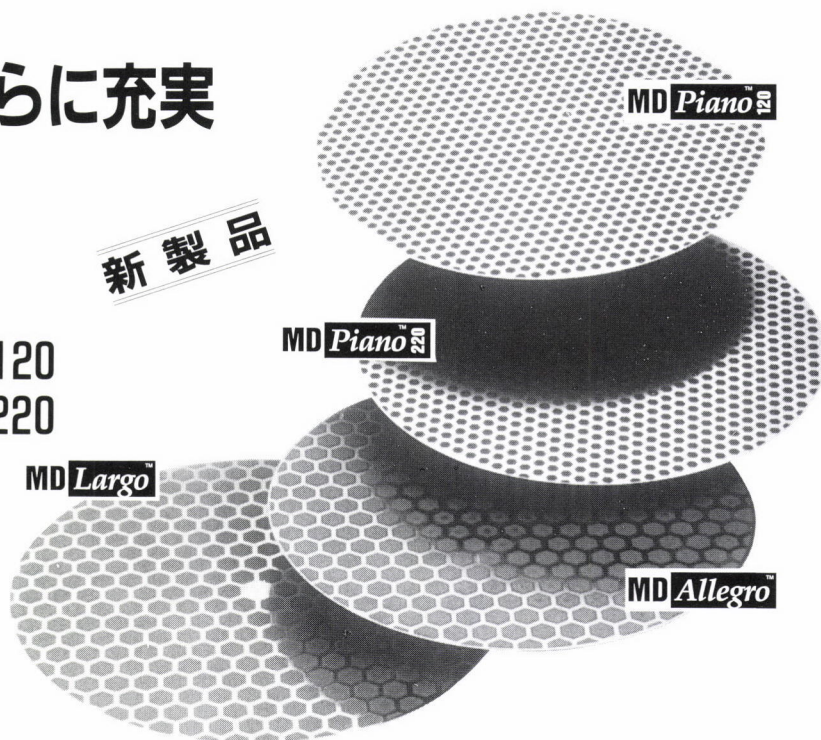
〒224-0054 神奈川県横浜市都筑区佐江戸町181番地
TEL.045-935-0721 FAX.045-935-0731

ストルアスの MDシステムがさらに充実

MD-Allegro(アレグロ),
MD-Cloth(クロス)
に続いて

MD-Piano(ピアノ)120
MD-Piano(ピアノ)220
MD-Largo(ラルゴ)
が新登場!!

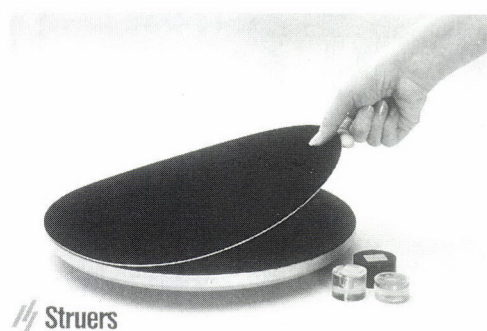
新製品



- MD-Piano 120、220
HV150以上の面出し研磨用

- MD-Largo
HV40～150の精研磨用

◆新しい研磨工程が良好で安定した結果を保証



MD(磁気固定)システム

			PG	FG
メソッドA アルミ(99.5) 砂型精造		作業面	SiC-Paper (MD-Fuga上)	MD-Largo
		砥粒、 粒度/粒径	# 220	9 μm
メソッドB 焼銅		作業面	SiC-Paper (MD-Fuga上)	MD-Largo
		砥粒、 粒度/粒径	# 220	9 μm
メソッドC Cu ₅₀ Zn ₅₀		作業面	SiC-Paper (MD-Fuga上)	MD-Largo
		砥粒、 粒度/粒径	# 220	9 μm
メソッドD 球状磁粉精造		作業面	MD-Piano 220	MD-Allegro
		砥粒、 粒度/粒径		9 μm
メソッドE 風掃砥		作業面	MD-Piano 120	MD-Allegro
		砥粒、 粒度/粒径		9 μm

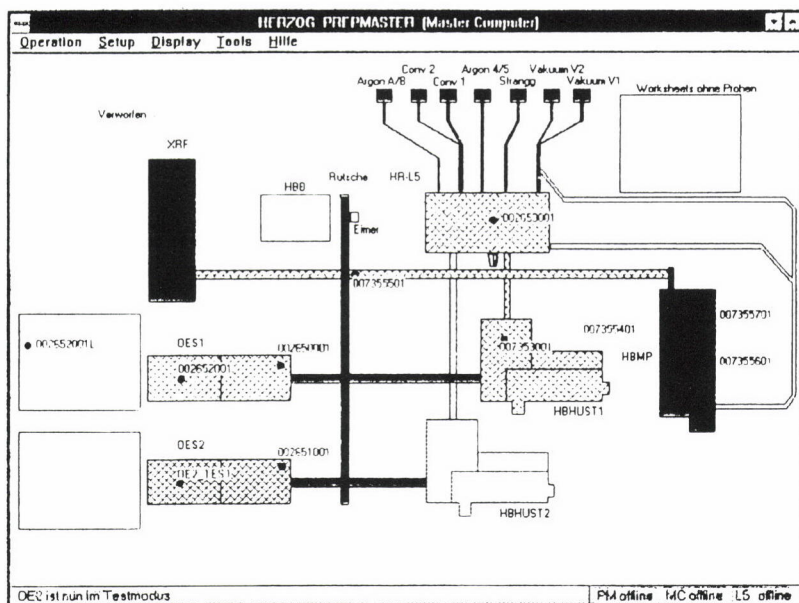
Struers

丸本ストルアス株式会社

本社 〒104-0045 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 〒550-0014 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 〒464-0075 名古屋市千種区内山三丁目17番4号
TEL(052)732-1862 FAX(052)732-2392

ドイツ・ハルツォク社の全自動ラボ PREPMASTER

Sample Management System
for Laboratory Automation



■全自動気送システム

各種試料の搬送から
自動取り出しまで完全自動

■試料調製装置

切断・研磨・粉碎・プレス
ビート成形の完全自動

■運行管理システム (PREPMASTER)

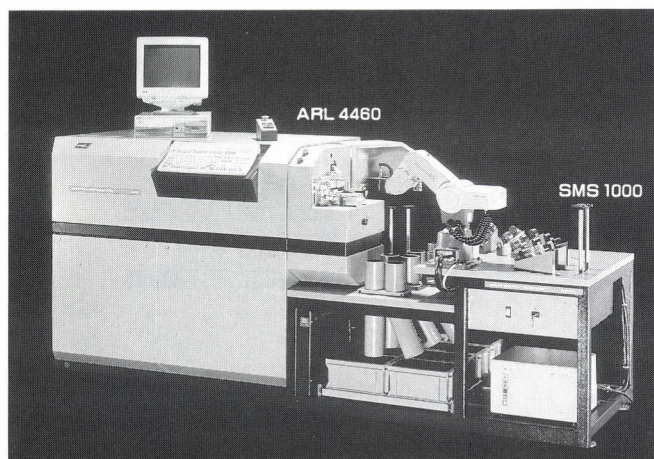
装置管理
ID番号管理
運行管理

HERZOG

発光分光分析装置 ARL 4460

ARL

ロボット・ハンドリング・システム SMS1000



ARL 4460の概要・特徴・仕様

全世界的に高い評価を得ているARL社の最高モデル。ベストセラー機種として既に2000台を超える実績を持つ“3460”をベースに、CCS（電流制御ソース）及びTRS（時間分解スペクトロスコーピー）の2つの新技術が加わり、高い信頼性を実現。

- 分 光 器／1メートル、Paschon-Runge真空式ポリクロメーター、最大60チャンネル
- 試料スタンド／アルゴンフラッシュ、循環水冷テーブル
- 回 折 格 子／3タイプ：1080、1667、2160gr/mm
- 電流制御発光電源：(CCS)
- スリット幅／1次：20μm 2次：37.5、50、75μm

SMS 1000の概要・特徴

強力なワークステーションにささえられた完全無人化システム。工程分析から試料ファイルまでの工程管理、装置校正分析から補正・校正用試料管理までの装置管理の完全自動化。

ハルツォク HERZOG

〒174-0041 東京都板橋区舟渡三丁目5番8号(区立第一工場ビル)
TEL03-5994-0273 FAX03-3967-2224

即戦力ぞろいの、 強い味方です。



**最新鋭機を中心に、レンタル機器がど〜んと30万台。
オリックス・レントェックなら、まかせて、使って、安心です!**

「突発的なプロジェクトの発生。手持ち機器の故障…。必要機器の購入が間に合わない!」

「技術革新が速すぎて、機器の陳腐化や遊休化のリスクが不安!」

「機器の保守・管理、精度管理の手間とコストをなんとかしたい!」――。

変化の激しいこの時代、ハイテク機器の導入・運用は、機動力にすぐれたレンタルが最適です。オリックス・レントェックでは、最新鋭の測定器・分析機器から、パソコン・ワークステーションまで、2万種・30万台におよぶ“即戦力”をラインアップ。さらに、EMC測定、測定器校正など、総合エンジニアリング・サービスを提供。レンタル業界のリーディング・カンパニーとして、つねに時代の先頭で皆様のニーズにお応えしています。

レンタル・サービス

電子測定器
化学・環境分析機器
マイコン開発支援装置
パソコン・ワークステーション
コンピュータ周辺機器 など

エンジニアリング・サービス

EMC測定サービス
測定器校正サービス
計測サービス
技術サポート

コンピュータ機器販売

HPワークステーション、サーバ、
PC、周辺機器 など

レンタル在庫品販売



オリックス・レントェック株式会社

本社：〒141-8681 東京都品川区北品川 5-7-21

<http://www.mediagalaxy.co.jp/orixrentec/>

札幌 011-221-0651	秋田 0188-64-3921	仙台 022-224-3516	郡山 0249-21-6003	水戸 029-227-4471	宇都宮 028-625-9441	熊谷 0485-24-2241
川越 0492-45-1555	大宮 048-646-0135	柏 0471-47-8011	千葉 043-222-7911	三鷹 0422-60-5611	立川 042-522-0791	町田 0427-99-0444
川崎 044-712-1691	中央 03-3270-2620	新宿 03-3340-4751	港 03-3508-0570	品川 03-3473-8825	横浜 045-334-2460	厚木 0462-25-7711
長野 0263-35-3351	静岡 0559-52-0300	浜松 053-454-9922	刈谷 0566-23-2021	名古屋 052-202-0450	三重 059-224-5525	大阪 06-543-3461
北陸 076-261-7671	京都 075-255-5851	神戸 078-360-2751	姫路 0792-88-1777	広島 082-227-2641	北九州 093-522-0811	福岡 092-472-7937
長崎 095-823-6880	南九州 096-351-6035					

海外ネットワーク ORIX Rentec (Singapore) Pte.Ltd. Tel:65-745-4515 ORIX Rentec (Malaysia) Sdn. Bhd. Tel:60-3-758-1388 Korea Rental Corporation Tel:82-2-554-9696

ふえらむ

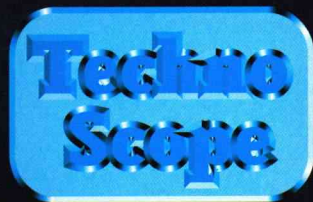
Vol.3 (1998) No.5

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	成層圏フロンティア	312
話題のプロジェクト	電磁波対策	320
鉄の点景	白鳳の釘	324
1997年鉄鋼生産技術の歩み		
	今井卓雄	327
入門講座	分析試験法編-1	
	総論「元素を定量する」	
	吉川裕泰	339
鉄の歴史	戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 鉄鋼の圧延技術抄史 1945-1965	
	中川吉左衛門	344
解 説	形の科学と界面の数理	
	高木隆司	356
	オキサイドメタラジーにおける界面物理化学	
	溝口庄三	361
記事広告	ドキュメントスキャナー	
	コダック株式会社	367
会員へのお知らせ		369

ホームページ <http://www.isij.or.jp>



成層圏フロンティア

——オゾンホールと成層圏飛行船——

南極にできたオゾンホールのは、
世界中に大きな衝撃を呼び
原因となったフロン規制に向けて、
世界規模での動きが巻き起こっている。
だがオゾン層の保全には、
現状の規制だけで十分だという確証はどこにもない。
まだまだ今後の研究に負う部分が大きいともいえるだろう。
地球をとりまく大気についてのデータや研究は、
将来さらに重要になってくるテーマのひとつといえる。
同時に高空を調査するための技術は、
新たな技術的可能性をも数多くはらんでいる。
今回は、オゾン層破壊の実態に目を向けるとともに、
成層圏に滞留して、さまざまな仕事をする事ができる
成層圏飛行船の話題をレポートしてみる。

写真：アポロ11号から見た地球

オゾンホールが南極以外の上空に できる日は来るのか？ 発見からフロン規制発効までの 経緯と現状を追う

南極上空のオゾンにできた穴は、季節の移り変わりとともに大きくなったり、少し縮まったりしながら、徐々に拡大の方向に向かっているといわれる。これまでに南極のほかに、北極でもオゾンホールに近いオゾンの低濃度が報告されており、オーストラリア上空などでもオゾンの減少が観測されている。やはり地球全体でのオゾン減少は着々と進行しているのだろうか。オゾン層の破壊状況と、よくいわれるようなフロンガスとの関係の全貌を、過去の経緯をふりかえりながら、もう一度見直してみる。

オゾンホール出現

おかしい、機器が狂っているんじゃないのか。南極昭和基地・越冬隊のメンバーは、不安を感じながらその数値をみつめていた。オゾンがしかるべき量の半分しかない。しかも地上20 kmのもっとも濃いオゾン層で激減していることを計測結果は示していた。もし機器の故障であるなら、一年間、孤立無縁の極寒の世界に籠ってせつせと積み上げてきたデータが、すべてゴミになってしまうのである。

だがそうした心配とは裏腹に帰国後にチェックした観測機器には、どこにも異常はなかった。どうにも腑に落ちない気持ちのまま観測から約2年後の1984年、ギリシャで開催された国際シンポジウムで、隊員であり気象庁・気象研究所の研究員である忠鉢繁氏は、機器の誤りかもしれないことをほのめかしつつ、このデータを発表することとなった。もしデータが正しいとすれば、かなり異常なことが起こっているはずだった。

この発表の翌年の1985年、英国のジョー・ファーマン博士が、衝撃的な論文を発表した。南極での観測データをもとに書かれたこの論文では、オゾン減少が最近に限ったものではなく30年近くも前から着々と進行してきており、とくにこの10年で約半分にまで減少してきていることを述べていた。そしてその原因はフロンガスが分解された時に出る塩素がオゾンと反応してしまうことにあるという。

ファーマン論文以前からも米国NASAの観測衛星ニンバスは長年にわたってオゾン観測を行ってきたが、こうした現象を発見するには至っていなかった。というのもそれまでのニンバスのオゾン観測では、一定基準値以下の数値は計測ミスなどの不良値として捨像されていたからだった。ファーマン論文

を受けて、ニンバスの保存データをチェックする作業が行われた。はたして観測衛星は南極でのオゾン減少を記録していた。とりわけ春には南極上空のオゾン濃度が極度に薄くなって、穴があいているかのように見える。穴は南極大陸全土を覆ってあまりあるほどの大きさである。この穴のように見えるオゾンの薄い部分を米国のジャーナリズムはオゾン・ホールと名付けた。

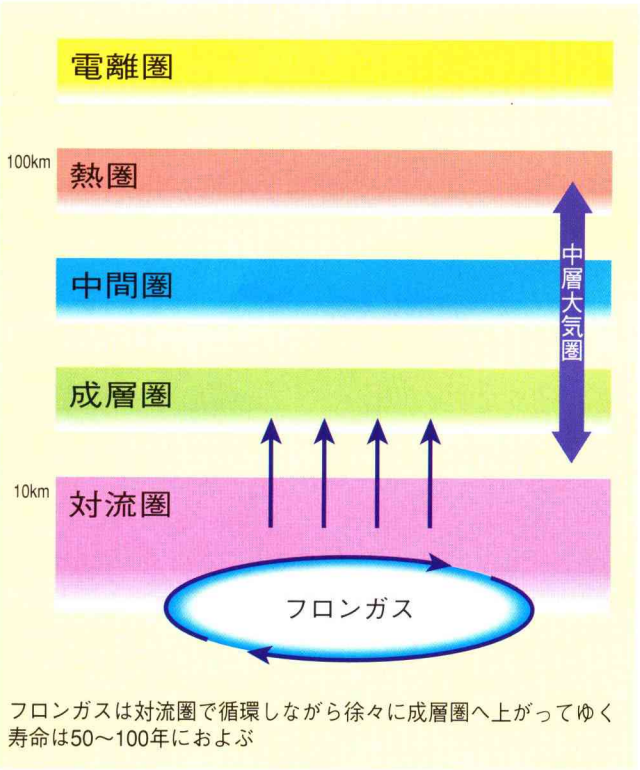
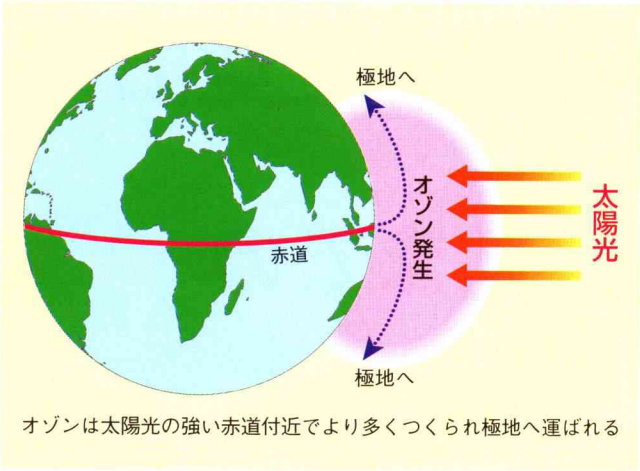
フロンガス主犯説が明らかに

フロンガスがオゾン層を破壊する危険性があることは、1974年の時点でシャーウッド・ローランド博士と、研究生のマリオ・モリーナによって予言されていた。米国ではそれ以来、科学者による活発な論争が重ねられ、1978年にはスプレー製品へのフロンの使用が禁止される処置がとられていた。

しかしフロン擁護論側の指摘によれば、フロンが塩素に分解されてオゾンを破壊するのは高度40 km以上の上空であり、オゾン層のある20 km前後の成層圏下部では破壊的な反応は起こらないはずだった。フロンガスへの規制が実施されたにしても、それはあくまでも目に見えない危機への準備のはずだった。そうした背景のもと、観測衛星のデータがオゾンホールの存在を実証したことは、大きな衝撃につながった。

とはいってもオゾンホールの原因が本当にフロンガスなのかどうかについては、まだ確実な証拠がなかった。酸素原子3個からなるオゾン分子はさまざまな形で他の物質と結び付きやすく、その減少が必ずしもフロンによるものとは特定できなかったのである。火山説や太陽活動説など、フロン意外の説も提示されていた。

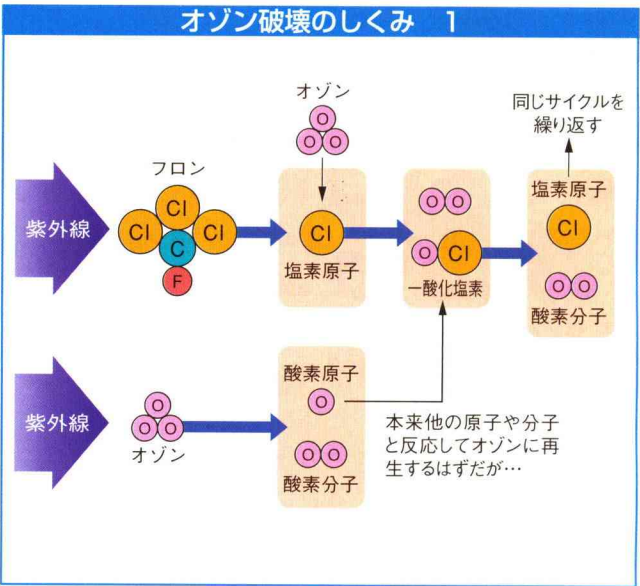
米国はそんな中で1987年に高度20 kmの飛行が可能な偵察機U-2を改造した成層圏観測機を飛ばし、南極上空の空気を



調査した。その結果、オゾンが減少しているあたりでは通常の数百倍もの一酸化塩素が発見される結果となった。そして一酸化塩素の多いところでは、オゾンはそれに反比例して少なくなっていたのだ。オゾン破壊がおこるメカニズムについては、さらに時間が必要とされるが、オゾンホール其主要な原因がフロンガスであることは、これで決定的になった。それだけの量の塩素が存在している原因は、フロン意外には考えられなかったのである。

南極上空で生じた急激な破壊

なぜ高度20km前後では起こらないとされていたフロンガスの

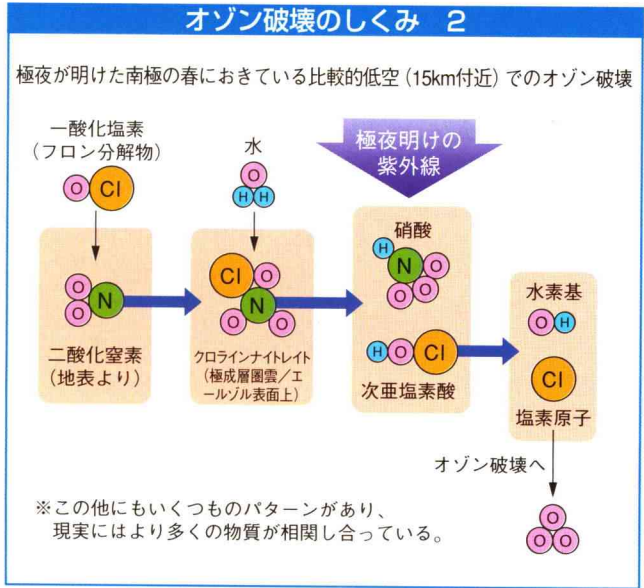


分解が進んでいたのだろうか。この疑問に答えるものとしてクローズ・アップされるようになったのが、「極成層圏雲」と呼ばれる成層圏にできるエアロゾルの存在だった。どうやらこのエアロゾルを構成する固体粒子表面に春の太陽が当たり、さまざまな光化学反応の連鎖によって窒素酸化物、塩素酸化物などの反応が促進され、予想外の一酸化塩素を放出させることになったらしいことが分かってきた。

一酸化塩素は塩素ガスがオゾンの原料でもある酸素の原子とくっついてしまったものだが、これがオゾン層に対して破壊的な作用をおよぼすのは、1個が1個を破壊するというようなものではなく、連鎖的にオゾンを破壊していく性質があるためである（チェーンリアクション）。一酸化塩素という物質はそれ自体が不安定で、酸素と出会うと一酸化塩素中の1個の酸素と外部の酸素1個が反応し、酸素分子（O₂）と塩素ガスに分解してしまう。ここでいう外部の酸素とは、むしろオゾン起源のものである。さらに放出された塩素原子はふたたびオゾンと反応し、一酸化塩素にもどる。こうしてフロン起源の塩素は次々とオゾンの間を渡り歩きながら破壊活動を繰り返していくことになる。1個の塩素原子は、成層圏にある間に約10万個のオゾンをこわすことになるという。まさしくオゾンの殺し屋ともいふべき破壊力である。

さらに南極の秋から春にかけて発達する「極うず」といわれる一種の偏西風が極周囲の大気を孤立分離させることも、南極でとくにオゾン層破壊が顕著となるメカニズムを形成していると考えられている。北極でも南極のオゾンホールに近いオゾンの低濃度域が観測されているが、南極大陸上空にとくに顕著なのは「極うず」のためだと考えられている。

熱を大量に受け取る赤道付近から、熱を反射・放出する極



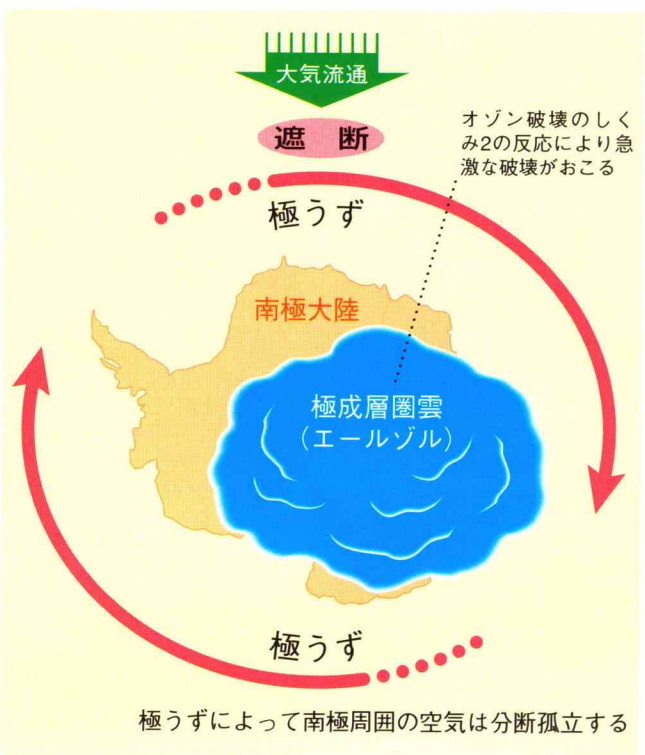
付近へは、大気の大循環と表層海流などによって熱の移動が起こる。成層圏のオゾンも赤道付近でより多く生成され、大気循環によって極地に運ばれているらしいと考えられている。「極うず」は、こうしたオゾンの流れも断ち切ってしまうというわけだ。また一方でうずの弱い時期の大気循環はフロンも極地に届ける働きをしている。世界中で放出したフロンは、大気循環によって、南極に運ばれ、その上空の特殊な状況によって、急激なオゾン破壊をまねいているのである。

さらには、炭酸ガスなどの対流圏では地球温暖化につながるガスの増加が成層圏では逆に熱の放出を促し、「極成層圏雲」の発生を促進しているという説もあるようだ。いずれにせよ、オゾン層破壊のメカニズムやデータについては、今後の研究に期待する部分が大きいと考えられそうである。

規制は進んでいるが……

フロンガスは、正式名称をクロロ・フルオロ・カーボン（塩素・フッ素・炭素の化合物）といい、自然の状態では存在しない人工物質である。塩素やフッ素の数の違いによってさまざまなものがあるが、概して沸点が低く、油脂を溶解しやすいなどの特徴をもつ。さらに化学的に安定で爆発なども起こしにくいという人体への毒性がまったくないなど、使用にあたっての安全性が高い物質だった。こうしたフロンの性質は、1928年に発明されて以来あらゆる工業分野で受け入れられ、冷蔵庫用の冷媒をはじめ、精密機械や半導体などの洗浄、プラスチックの発泡材、スプレー用ガスなどとして、幅広く使われてきた。世界の年間フロン生産量は100万トン以上といわれている。

米国の成層圏観測機が飛んだ1987年、オゾン層破壊に対する危機感は一気に高まり、「オゾンを減少させる物質に関す



るモントリオール議定書」が採択されることになった。議定書は1989年に発効となり、先進国では1996年の特定フロン（オゾンの破壊効果が高いもの）全廃を定め実施してきたのに加え、2020年までには代替フロン（水素原子を含んだ対流圏内でこわれやすいものと塩素原子を含まないもの）も撤廃することを目標としてはいる。しかしこの規制もあくまで先進国に適用されたものであり、途上国では特定フロン全廃は2010年とされており、代替フロンのもっとも遅いもので全廃は2040年である。またこれまでに排出した1500万トンを超えるフロンも、50～100年は分解されずに大気中に残留していくことを考え合わせれば、事態はけっして楽観的ではないといわれている。使用過程での回収技術も開発され、大気中への放出量が減っているといっても、それで安心というわけにはいかないようだ。

危機への認識

生物進化の歴史のうえで、陸上に植物が上がってきたのは約5億年前、動物は約4億年前だとされている。地球ができたのが46億年前で、生物が生じたのは40億年前だとすれば、30億年以上の長い時間を、生命は海の中で暮らしていたことになる。この期間に酸素とオゾンがつくりだされた。オゾンのもとになる酸素は海中の植物が生まれてはじめてつくられるようになったが、その酸素からオゾン層がつくられるのに約20億年がかかったという。生命が海に潜っている期間の3分の2におよぶ時間をかけ、海中の植物たちは地上の生命を保護する傘を

■モントリオール議定書に基づく規制スケジュール						
物質名	先進国に対する規制スケジュール			途上国に対する規制スケジュール		
附属書A グループI 特定フロン	1989年以降 1994年 1996年	1986年比 全	100％以下 25％以下 廃	1999年以降 2005年 2007年 2010年	基準量比 全	100％以下 50％以下 15％以下 廃
附属書A グループII ハロン	1992年以降 1994年	1986年比 全	100％以下 廃	2002年以降 2005年 2010年	基準量比 全	100％以下 50％以下 廃
附属書B グループI その他のCFC	1993年以降 1994年 1996年	1989年比 全	80％以下 25％以下 廃	2003年以降 2007年 2010年	基準量比 全	80％以下 15％以下 廃
附属書B グループII 四塩化炭素	1995年以降 1996年	1989年比 全	15％以下 廃	2005年以降 2010年	基準量比 全	15％以下 廃
附属書B グループIII 1,1,1-トリクロロエタン	1993年以降 1994年 1996年	1989年比 全	100％以下 50％以下 廃	2003年以降 2005年 2010年 2015年	基準量比 全	100％以下 70％以下 30％以下 廃
附属書C グループI HCFC	1996年以降 2004年 2010年 2015年 2020年	基準量(キャップ2.8%)比 100％以下 65％以下 35％以下 10％以下 全 廃 (既存機器への補充用を除く)		2016年以降 2040年	2015年比 全	100％以下 廃
附属書C グループII HBFC	1996年以降	全	廃	1996年以降	全	廃
附属書E グループI 臭化メチル	1995年以降 2001年 2005年 2010年	1991年比 全	100％以下 75％以下 50％以下 廃 (必要不可欠な農業用を除く)	2002年以降	基準量(1995年から1998年 までの平均)比 100％以下	

資料：環境白書

あらかじめ準備したことになる。しかも5億数千万年前のカンブリア紀以前までは、生命はきわめて単純な海の藻に代表されるようなものばかりだった。20億年かけてオゾン層が生じ、その後に「カンブリア爆発」といわれる急激で多用な生物の進化が起こったことは、まさにグッド・タイミングだった。

生命の歴史というスケールで見れば、「爆発」の直後といっていっくらの時期に生命は陸上に上がっている。オゾン層が準備されて、はじめて可能になった快挙だったはずだ。

こうした気の遠くなるような歴史を経て作られたしくみを、われわれは100年もかけずに壊してしまおうとしている。この事実を誰もが厳粛に受け止めるべきであろうことに、おそらく異

論はないだろう。

今後、懸念されるのは、いうまでもなく極地以外の上空でオゾン減少がおこってくることである。文中では分かりやすさを重視したため、オゾン破壊のメカニズムのごく一部のみを紹介するにとどめたが、そのしくみは複雑でいくつもの段階に分かれており、総体としての結果を予想するのがなかなか難しいようである。だがもし、悪夢が忍び寄ってくる日が来たとしたら、われわれにはいったいどんな防御策が与えられているのだろうか。後半では、その対策のひとつとして研究が進む成層圏飛行船の開発状況を取り上げてみる。

[取材協力：国立環境研究所]

オゾン層の観測と保全活動に可能性を秘める成層圏飛行船

米国は軍用機を改造した成層圏観測機を飛ばして、オゾン破壊とフロンガスとの関係を実証したが、成層圏の観測やオゾン層の保全活動には、より長期滞在ができ、しかもその航空機自体が環境破壊要因を持たないものが望ましい。そこで有望視されているのが高度20kmに達することのできる成層圏飛行船である。しかし、その開発はまだ端緒についたばかりであり、将来の動向もまだ未知数であるという。オゾン層保全に可能性を秘める成層圏飛行船とはどんなものなのだろうか、その実態と可能性をレポートしてみる。

フロン塩素を無害化するノウハウ

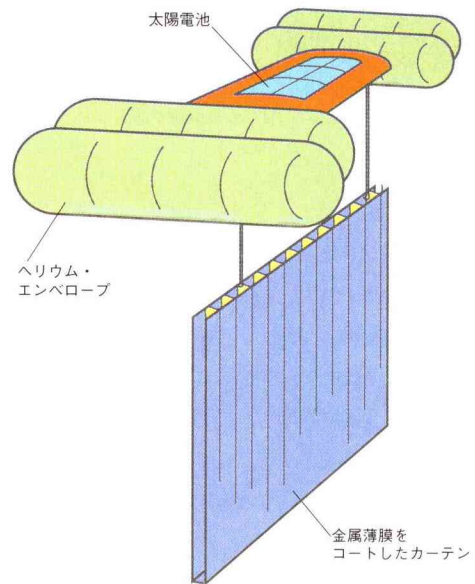
南極をはじめ全地球規模で進行しているオゾン減少が、フロンガス起源の塩素によるものであることが、今日では確実視されるようになってきたが、オゾン破壊は化学過程と大気の力学的な運動が相関し合っている複雑な現象であり、観測活動も進んできたというものの、フロンの影響を正確に把握するには、まだまだデータ不足であるといわれる。

フロンによるオゾン破壊対策としては、フロンの使用を制限するとともに大気中に放出しないような回収設備を充実させていくという方法がある。その一方で、現実に行っていることのより正確な実態把握、そしてさらには、すでに放出してしまったフロンを処理するノウハウを模索することが考えられる。

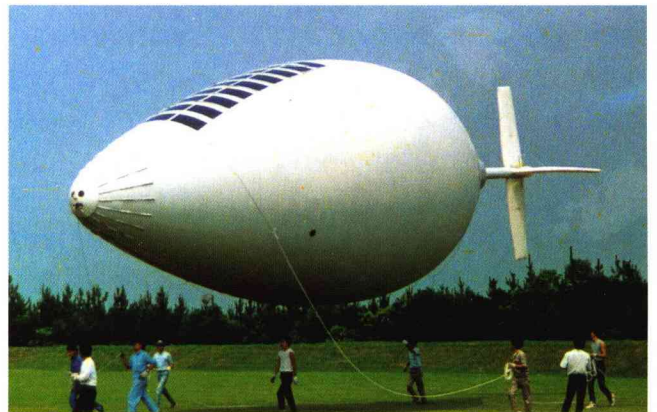
工業技術院・機械技術研究所の恩田昌彦計測制御研究室長らが共同で研究を進める成層圏飛行船の研究は、成層圏に長期滞在しさまざまな観測を行うことを可能にする。さらには、南極上空の成層圏で、フロンガスが分解されてできた塩素を処理する、いわゆるオゾンホール修復作業の構想も温められているという。

飛行船によるオゾン層の保護活動という発想は、1990年代はじめに米国のウォン博士によって最初に提案された。概要としては太陽電池を動力源とする飛行船から表面に金属薄膜をコートしたカーテンを垂らし、その表面に塩素原子を吸着してこうというもので、5年間にわたって無人の飛行船を成層圏に滞在させ、活動をさせようという構想だった。

恩田氏らの共同研究で「環境保全への応用」を担当している国立環境研究所の井上元氏らは、このウォンの発想をより現実性の高いものにすべく検討を進めている。恩田氏によれば、膜を垂らすという方法は、化学的には適正であっても、直接塩素をキャッチしてまわるため効率が上がりにくく、相当数の機体が必要になるという。そこで井上氏は、カーテンを垂らす代わりに金属ナトリウムを蒸発させて噴霧するという方法を考えた。ナトリウムは反応性の高い物質であるため、さま

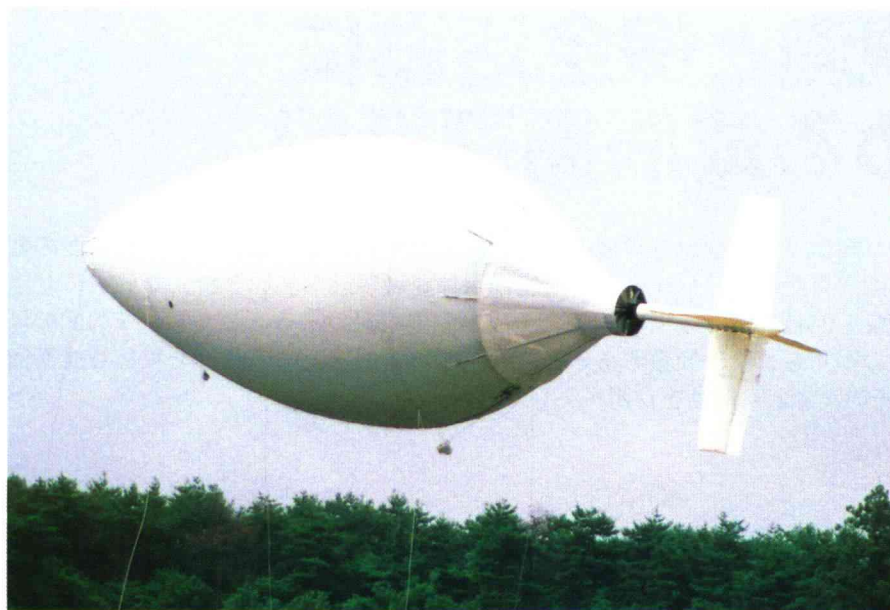


米国ウォン博士が考案したオゾンホール修復機のイメージ。



HALROPの縮尺模型。ミニチュア版ながら全長は約20mある。前面の黒く見える長方形は太陽電池。

ざまな形で存在する塩素と反応し、塩化ナトリウム、つまり食塩に変化させてしまうというわけだ。必然的にナトリウムは酸素とも反応するが比率からすればごく少数の塩素原子が悪影響をおよぼしていることから、塩素を無害化するにあたっては



後方から見た縮尺模型。尾梁のつけ根に推進装置がある。

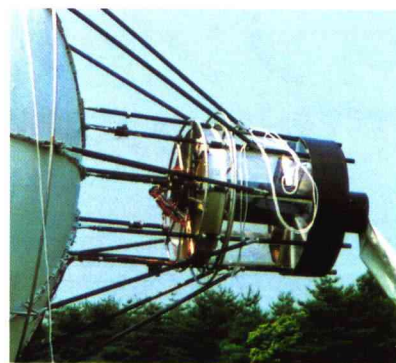
効果が期待できるという。

また、とてつもなく広い成層圏のどこでこの活動を行うかが問題だが、さしあたっては、急激なオゾン破壊が進んでいる極成層圏雲（前項参照）のあたりをその目安にできるという。雲のある位置は比較的つかみやすいことから、目標点も絞り込めることになる。活動期間としては、目安として10年オーダーでの滞在を考えているという。途中、帰還・交替はあるにせよ、飛行船を10年にわたって成層圏に滞留させ、塩素の無害化を続けることになるわけである。

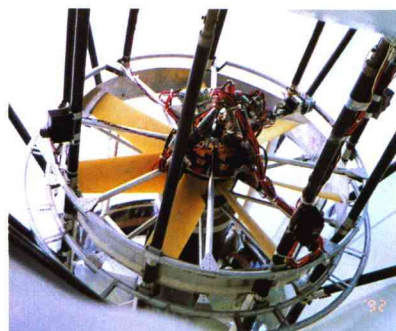
飛行船の動力源としては太陽電池が有力候補として上がっているが、活動の中で大きな比重を占める南極の冬の時期（夜）をどうやりすごすかが難しいネックになっている。かりに太陽電池を使って充電をするにしても、数ヵ月もの長い夜の間持続するほどの蓄電池を積み込むわけにはいかない。マイクロ波送電という方法も考えられているが、この技術もまだこれから解決されなければならない課題が少なくはない。そうなってくるとオゾン層に影響を与えない動力源としては燃料電池あたりが候補に上がってくる。燃料電池の場合も、積み込める燃料の量に限界はあるが、風速の低い南極の冬では燃料消費量が抑えられることから、10日前後に1度、回収・燃料補給することで、ミッションを果たしうる可能性が高く、期待度が大きいようだ。

ミニチュアによる実験

恩田氏らが中心になって作られた成層圏長期滞在型飛行船の構想のひとつにHALROPなるものがある。HALROPとは高層広域観測プラットフォーム（High Altitude Long Range Observational Platform）のことで、先に述べたように高層大気の組成や流れを長期間にわたって観測・測定しようというも



後方推進装置のカバーを外したところ。



推進ファンとその周辺。

ので、オゾン層保全計画もその延長上にある。

このHALROP構想の一環として、恩田氏は1993年にそのミニチュア版ともいべき全長約20mの縮尺模型を製作し、飛行させている。動力源は船体上部に乘せられた太陽電池（最大出力45W）とニッケル・亜鉛バッテリーを組み合わせて用い、船体としては繊維と樹脂膜を張り合わせた軟式構造に浮力材のヘリウムが詰められている。涙滴型の胴に続く細い支持梁と尾翼という外形は、従来の飛行船のイメージとは少し異なるものに仕上がっている。

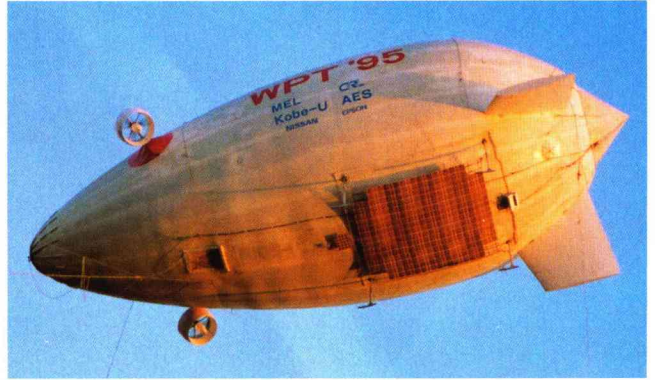
ミニチュア版とはいえ、20mというかなりの大きさだが、もしフルスケールの実証機をつくることになると、約200～300mにもなる。耐風性能を考慮すると、どうしてもこのサイズが必要になるという。大型タンカーに匹敵する大きさである。これまでのところ飛行実験に終始しているが、次の段階では縮尺模型でもうひとまわり大きな全長30mの機体によって上昇高度1000mのスペック達成を目標にしているという。

オゾン層の保全の話題を中心に展開してきたが、成層圏飛行船の用途は、それだけにはとどまらない。この新たな飛行船技術が実現すれば、気象調査や地球環境観測にはじまり、エネルギー・鉱物資源探査、森林調査、水産資源調査など、人工衛星に頼っていた部分をよりローコストで担うことができるようになる。同様に地上交通や船舶の監視などにも有効だと考えられる。

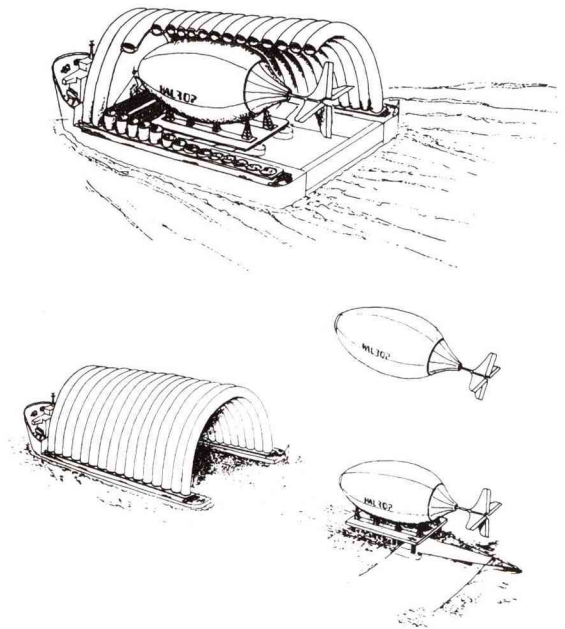
通信分野でも、大きな可能性を秘めている。低軌道～中軌道衛星を使った衛星携帯電話の話題は当誌でも取り上げたが、



マイクロ波送電による推進実験。地上から送られたエネルギーで飛行船のモーターを回している。



飛行船下面に取り付けられたレクテナ（マイクロ波を受取る部分）。



海上移動基地とHALROPの海上からの離昇イメージ。

これらの衛星の代わりに成層圏飛行船を中継に使用できるという。すでにサービス開始を目前に控えた衛星携帯電話に比べると、少し立ち遅れてはいるが、特定地域に限定すればコストパフォーマンスの高い移動電話網を構築できる可能性を秘めている。インフラとして電話網を敷設するのが難しい途上国での電話普及に有効な手段となりうるだろう。

太陽光発電基地としての可能性もあるという。衛星軌道上に太陽光発電所を建設する発電衛星の研究は当誌でも以前取り上げたが、それと同じような発電設備が飛行船でも可能だという。雲の上の太陽が陰らない位置に浮かんで、太陽電池で発電した電気をマイクロ波で地上に送るというわけだ。

現状、これらの用途のうち、環境関連を目的とするものには科学技術庁が、また通信に関連するものについては郵政省がバック・アップし、プロジェクトが組まれている。

飛行船基地の有力候補・メガフロート

さて全長200～300mのフルスケール版実証機が製作されたとすると、その発進・回収拠点をどうするかということになる。発進はどこからでもできると考えられるが、回収はその大きさ

からして海上が望ましいだろうと考えられているようだ。仮に海上で回収したとすると、海面上に低空で係留して港まで曳航することになるが、港を通過するというのは、船舶の航行とぶつかりあって難しい面もある。そうした配慮から老朽化したタンカーを改造し、海上移動基地を作ろうという発想もあるようだ。また長期的な設置が許可されればだが、タンカーにとどまらず、沖合にメガフロート（鋼製浮体構造物）で基地を設けようという構想も出されているようである。

地球環境を守り、通信環境を向上させるHALROP海上基地がいつの日か起動する時がやってくるのだろうか。あるいは、そうした設備を必要とする日を迎えずにすむだろうか。成層圏飛行船も含め、より早い時期にオゾン層破壊の実態が詳しく把握できる技術が開発されることを切に願いたい。

〔取材協力・写真提供：工業技術院・機械技術研究所、
国立環境研究所、(財)産業創造研究所〕

話題の PROJECT

プロジェクト

電磁波対策

事例報告はあるもののメカニズムが完全に 解明されたわけではない電磁波干渉

人命を最優先に考えれば、
使用制限が最も確実な対処方法

ノートパソコンやポータブルCDプレーヤー、ゲーム機、携帯電話など、持ち運び可能な電子機器が増加している。

しかし、こうした電子機器が発する電波・電磁波によって、航空機システムや医療用電子機器が誤動作するという報告が相次いでいる。電磁波干渉と呼ばれるこれらの現象のメカニズムや、どういった電子機器が危ないのか、現状と対策について報告する。

危険な音楽によって注目されたEMI問題

航空機の運航について電磁波の影響が問題になったのは、1950年代中頃のことだ。航空機には超短波全方向式無線標識（VHF Omni-directional Range : VOR）からの誘導電波を受信する装置が搭載されている。当時のFMラジオが発生させる電磁波がちょうどこのVORの周波数帯と同じだったため、乗客が持ち込んだFMラジオのために無線航法が使用不能になるという事故が多発する^{*1}。これ以降、米国の連邦航空局（Federal Aviation Administration : FAA）を中心に、電子機器が航空機システムに与える影響についての研究が開始されている。

その後、数多くの持ち運び可能な電子機器が登場する。カセットデッキやラップトップコンピュータ、ポータブルCDプレーヤー、ゲーム機器といったこれらの電子機器が、航空機システムに影響を与えたのではないかといった報告が相次ぐことになる。そうしたなか、1993年2月15日付けのアメリカの週刊誌タイムズが“Hazardous Music”という見出しで、衝撃的な記事を掲載する。シカゴを飛び立ったDC-10型機が着陸体勢に入った際、乗客が使用していたポータブルCDプレーヤーが発する電磁波が原因で航法機器が影響を受け、機体が傾き地上に激突しそうになったというパイロットの報告を掲載したのだ^{*2}。この記事は日本でも大きく取り上げられた。事態を重く見た国際航空運送協会（International Air Transport Association : IATA）では、とりあえず離発着時にはすべての電子機器の使用を禁止するよう勧告を出す。

国内でも、日本航空、全日本空輸、日本エアシステムの大手3社を中心に調整を行い、電気（子）機器の使用制限を取り決めている。常時使用が禁止されている機器としては、携帯電話、トランシーバ、ワイヤレス式の音響機器、ラジコン式玩具、FMラジオ、テレビ受信機、ポケットベル、プリンターなど、主に積極的に電波を発生させる電子機器が対象となっている。離発着時使用が禁止されている機器には、ビデオカメラなどのビデオ機器、CDプレーヤーやヘッドホンステレオなどの音響機器、パソコン・デジタルカメラ・電子手帳などの情報システム機器、ゲーム機器が対象となっている。一方、常時使用できる機器は、電池式腕時計、カメラ、補聴器、心臓ペースメーカーなどだ。

最も可能性が高いと考えられるアンテナからの受信

こうした使用は、米国では法律で規制されているが、日本ではあくまで航空会社から乗客への協力要請という形をとっている。その背景に、こうした電子機器が航空機システムに与える影響のメカニズム解明、因果関係の証明が明らかになっていないという問題がある。

航空機に使われる航法システム機器、配線システムなどは米国航空無線技術委員会（the Radio Technical Commission for Aeronautics : RTCA）によって、さまざまな基準が決められている。この基準は、単に一般の電子機器が発する電磁波干渉（Electromagnetic Interference : EMI）によって航空機システムが受ける影響のみならず、天候や温度など、航空機を取り巻く環境の影響など、広範囲にわたるものだ。

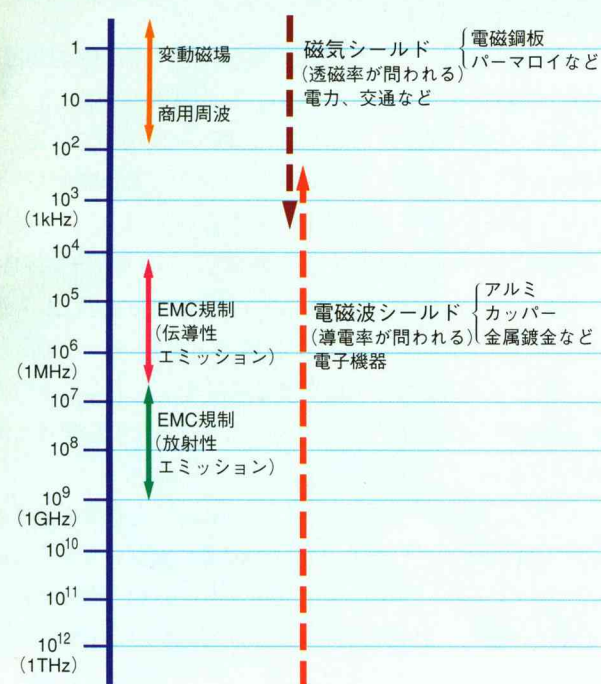
EMIによる航空機システムへの影響について、次の3つが考えられる。

- ①電子機器が発生する電磁波が、航空機に搭載された航法コンピュータに直接影響を与える場合
- ②機体内に設置された各種ケーブル類に電子機器からの電磁波が乗り、航法コンピュータに影響を与える場合
- ③客室内で発生した電磁波がいったん航空機の窓から外に出て、機体に設置されている各種のアンテナから受信され、高周波ケーブルを介して受信機に到達し航法システムを狂わせる場合

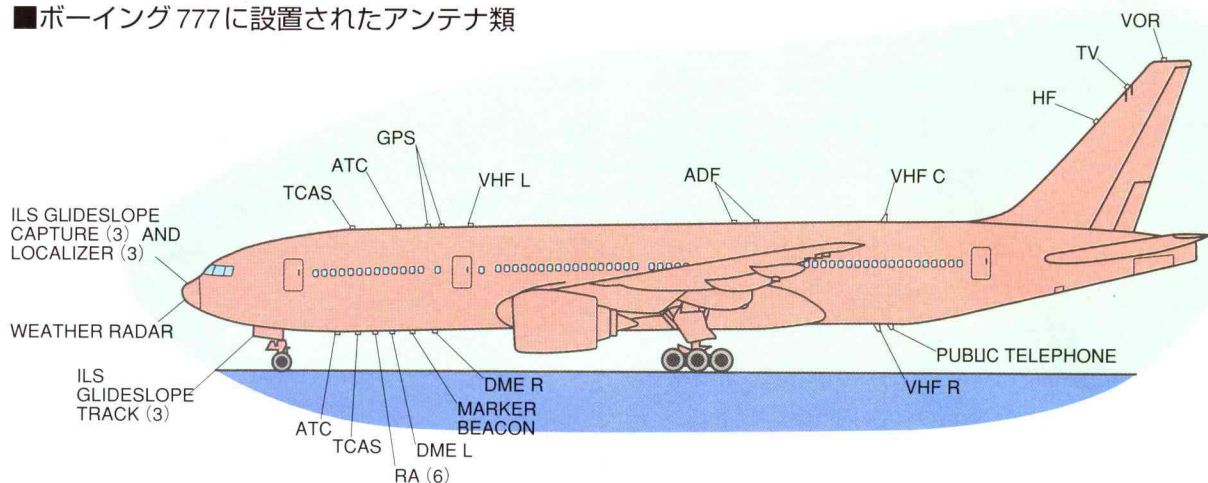
運輸省航空局は、1996年度、1997年度の2年にわたって航空振興財団へ委託研究する形で、これらのEMIの影響を調査研究している^{*3}。

1996年度の調査研究では、主に①、②に関連して一般電子機器が発する電波についての実証研究が行われた。シールドルーム内に携帯電話、ノートパソコン、CDプレーヤー、ビデオカメラ、FMラジオ、ゲーム機などを持ち込み、スペクトラムアナライザーを用いて電磁波の放射レベルを測定している。測定環境は、RTCAが発表しているDO-160C、DO-199と呼

■電磁波の周波数



■ボーイング 777に設置されたアンテナ類



ばれる文書に従った。1997年度調査研究では、ボーイング777を使用して③と携帯電話、PHSの影響が調査された。

2年にわたる調査研究から、携帯電話・PHSなどの電波を発射する電子機器が航空機システムに何らかの影響を与える可能性は否定できない、それ以外の一般電子機器による影響の可能性はきわめて少ないと結論づけられている。しかし、国内外航空会社の事例収集によって、一般電子機器によるシステム異常が報告されていることから、まったく影響がないとは断言できない。

現在、一般電子機器による影響の可能性が最も高いと考えられているのが、③だ。あるA点から電磁波が発射され、それがB点に到達するまでには、電磁波が直接A～B間に到達する以外に、他点に反射して到達する複数のルートが考えられる。マルチパスと呼ばれるこの現象が発生すると、元の電磁波が非常に微弱であっても、到達点ではそれが増幅され、機器に大きな影響を与える可能性がある。

機内で発生した電磁波が、窓から外に出て機体の各部で反射し、VORなどのアンテナに到達するメカニズムは非常に複雑で、条件により大きく変化するため解明が難しい。また航空機の機体各部のシールドを強化し、電磁波反射を抑えるような処理を完全に施そうとすると、機体重量が増し燃費や製造コストに跳ね返ってくる。しかもそれでも完全に安全が保証できるとは限らない。結局、飛行中の電子機器の使用を制限する現在の処置が、最も効果的で現実的な対応であるといえる。

携帯電話の普及が医療現場で問題になる

医療の高度化が進むにつれ、医療用機器にも電子化の波が押し寄せている。一方、携帯電話・PHSの普及も、当初予想を大きく上回る勢いで進んでいる。1995年に携帯電話から発する電波が医療用電子機器に影響を与える恐れがあると海外で報道されたのを機に、不要電波問題対策協議会イミュニティ委員会に医用電気機器作業部会が発足し、国内で医療

用電子機器に対する携帯電話などの影響について、本格的な調査研究が開始された。

それ以前に、米国食品医薬品局 (Food and Drug Administration : FDA) などに1979～1993年の間に100件以上の医療用電子機器に対するEMI事故が報告されている。またカナダ健康保護局は、1995年11月6日に心臓ペースメーカー植え込みセンターなどの心臓専門医に対して「心臓ペースメーカーを妨害するデジタル携帯電話」という警告文を発表している。さらに1995年9月1日には、オランダの電気通信工業会とオランダ健康監査局が病院内での携帯電話の医療用電子機器への干渉問題について勧告を出している。

不要電波問題対策協議会による調査研究は、1995～96年の2年間におよび、のべ727機種の医療用電子機器が実態調査の対象となっている。また電磁波発生源としては、携帯電話、PHS、アマチュア無線機、PHS基地局、病院内LAN機器などが対象となった。

病院内で使用される医療用電子機器には、診断用X線装置、X線CT装置、超音波画像診断装置、心電図モニターなどの生体現象監視用機器といった主に診断に用いられる機器と、輸液ポンプなどの採血・輸血・輸液用機具、大動脈バルーンポンプ・血液ポンプ・透析装置・人工心肺装置などの血液体外循環機器、人工呼吸器・除細動器などの生体機能制御装置、電気メス・超音波手術器などの手術用電気機器といった治療用機器に大別される。また心臓ペースメーカーや補聴器といった患者が身につけて使用する機器や、在宅で人工呼吸器・輸液装置などを使用しながら療養する慢性重症患者も増加傾向にある。

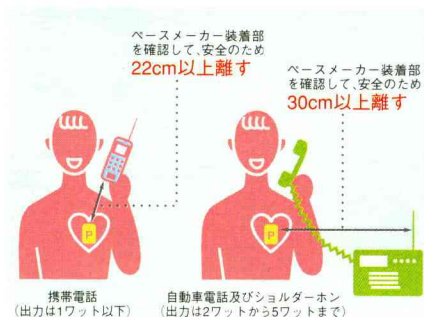
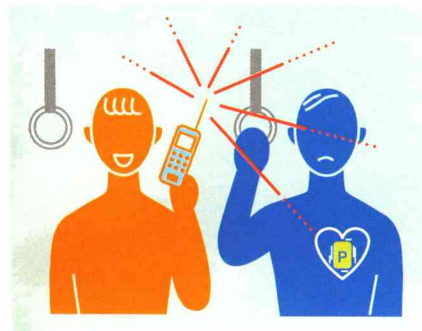
このうち診断用機器については、誤診などの危険性はあるものの、EMIがただちに患者の生命・健康に影響を与える可能性は低いといえる。しかし、生命維持に不可欠な治療用機器へのEMIの影響は、非常に重大な結果をもたらす危険性がある。

携帯電話などが普及する以前は、病院内でのEMI問題は主

電車などでの携帯利用はペースメーカー使用者への影響の可能性も

ペースメーカー使用者自身も機器利用にあたっては注意が必要

医療機器のそばでの携帯電話利用は危険



に医療用電子機器同士の電磁波干渉や院内LANなどのネットワークからの影響が中心であり、原因の特定や対策が立てやすかった。ところが患者や家族などが携帯電話などを病院内に持ち込み使用することが増えるにつれ、EMI対策が容易でなくなったということが背景にある。

たとえば医療用電子機器では、診断用の生体情報検出センサや治療用機器の動作状態を監視するセンサが数多く使われている。これらのセンサは装置自体から突出したり、離して生体に近いところに設置されるように設計されている。それだけ電磁波干渉を受けやすいことになるが、装置の機能からみてシールド処理などを施すことが本質的に不可能な場合もある。調査結果では、透析装置、人工心肺装置の気泡センサ、シリンジポンプの自動サイズ読み取りセンサ、人工呼吸器ガスモニターなどが特に影響を受けやすかったという。

ガイドラインによるEMC対策がようやく本格化

実際に病院に設置された医療用電子機器を使って行われた実証試験では、携帯電話、アマチュア無線、PHS基地局の影響が指摘されている。一方、PHS自体は携帯電話に比べてはるかに影響は少ないという結果が出た^{*4}。

2年にわたる調査研究の結果、不要電波問題対策協議会では医療機関や医療機器メーカーなどに対して、いくつか提言を行うと同時に、日本医療機器関係団体協議会が「EMC規格適合化日医機協ガイドライン」を制定している。

まず医療機関に対しては、医療用電子機器の新規購入にあたっては、EMC規格^{*5}に適合した機器を購入すること、現在使用中の機器についてはEMCチェックを実施すること、医療機関内でEMC教育・啓蒙を行うことなどだ。第二に医療用機器メーカーに対しては、取扱説明書に携帯電話などについての使用上の注意事項を明記すること、ガイドラインに沿ったEMC規格を満足した機器の製品化を急ぐこと、植え込み型心臓ペースメーカーについては、装着者への啓蒙活動を実施すること、ペースメーカー自体の免疫^{*6}を高める技術開発の推進、補聴器使用者はデジタル携帯電話の使用が不可能な

ことの周知と、他者が使用する携帯電話からの影響を受けない製品の開発を急ぐことなどが提言されている。

医療用電子機器については、国際電気標準会議（International Electrotechnical Commission：IEC）で国際規格が取り決められている（IEC 601-1-2）。ところが日本では、医療用電子機器が何らかのEMC規格に適合していなければならないという規制がなかったため、IEC 601-1-2に適合しているかどうかの確認すら行われていなかった。ガイドラインでは、1998年6月からIEC 601-1-2への適合化を要請することとしている。またEC圏内以外に、医療用電子機器に対するEMC法規制を行っている国がないため、非関税障壁との指摘を受けないような配慮も求めている。

大量の乗客を一度に運ぶ航空機、患者の人命を預かる医療用電子機器に対して、携帯電話をはじめとする各種電子機器が発する電波・電磁波の影響を完全に除去するには、結局危険性がわずかでもある場所では使用しないということが、現状のようだ。

- *1 当時のFMラジオは中間周波数を作るための局部発信周波数を発生させていたが、その周波数がちょうどVORの周波数と重なったのが原因と考えられている。現在のFMラジオではこうした中間周波数を発生させない製品が多く、あまり重大な影響は及ぼさないと考えられている。
- *2 この報告の信憑性については数多くの疑問が出されている。
- *3 実際の実証試験は、日本航空が委託を受けて実施している。
- *4 航空機については、携帯電話とPHSの影響の差は10分の1程度しかなく、同等に扱う必要があると結論づけている。これに対して医療用電子機器では、外部的な区別がしにくいという理由で使用を制限するよう指摘している。
- *5 EMC(electromagnetic compatibility)とは電磁的両立性と訳され、IECの定義では、「許容できないような電磁妨害波を、いかなるものにも与えず、かつその電磁環境において満足に機能するための、機器・装置またはシステムの能力」とされている。
- *6 イミュニティ(immunity)とは医学用語である免疫(immune)からきた用語で、IECでは「電磁妨害波が存在する環境で、機器・装置・システムが性能劣化なしに動作することができる能力」とされている。

取材協力：日本航空株式会社、参考文献：航空振興財団「航空機内で使用する電子機器の電磁干渉波技術基準調査」報告書、不要電波問題対策協議会「医用電気機器への電波の影響を防止するため携帯電話端末等の使用に関する調査報告書」



白鷹幸伯氏によって再現された各時代の釘
上から飛鳥型、白鳳型、平安型、鎌倉型、
桃山型。薬師寺回廊の再建工事の際、井上
謙三博士とNKKの協力によって白鳳型釘
(上から二番目)の材料となる純鉄が現代製
鉄技術の粋を集めて製造された。

Steel 鉄の点景 Landscape

日本には飛鳥時代の法隆寺、白鳳時代の薬師寺など、創建以来千年をかるくこえる木造建築物が存在している。必然そこに使われていた鉄釘も、建物とともに千年の月日をこえてきたことになる。千年もった古代の鉄。今の鉄には、それだけの耐久力がないという。だが、昭和・平成の時代に行われた修復工事では、千年前につくられたものと同様の千年の寿命をもつ釘が求められた。それらの古寺創建当時、ようやく国家が体裁を整えてきた時代に思いを馳せてみれば、ひと口にいう千年の時の長さか、かすかなりとも見えてくるだろう。薬師寺回廊の再建工事の際に再現された白鳳の釘と、その素材をめぐる物語をとおり、現代に失われてしまった古代の鉄の不思議に目を向けてみる。

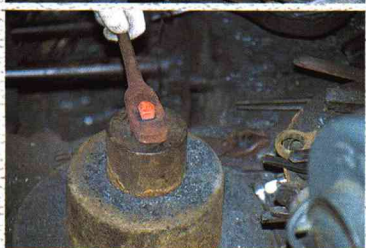
千年の古きを温めた鉄——

は く ほ う く ぎ

白鳳の釘



白鷹氏の古釘コレクションより（実物）。左から飛鳥時代（法隆寺）、鎌倉時代、享保年間、江戸中期（明治期に使用）、明治期のもの。すべてが釘としての形状を維持している。



白鷹氏による釘の鍛造作業。スプリングハンマーと手鍛ちを組み合わせで鍛ち上げていく。

古代の材料と製法で、千年もつ釘を

今の鉄は、錆が表から裏へ突き抜けてしまう、そやから今の鉄でつくった釘ではとても千年はもたへんなあ。法隆寺・薬師寺をはじめとする数々の歴史的な解体修理・再建を手がけた故・西岡常一棟梁は、そういつて嘆息したという。

西岡棟梁らが法隆寺を解体修理した時、引き抜かれた釘の多くは予想以上に健全で、なかには再利用が可能なほどのものもあったという。千年という悠久の時の流れ——気の遠くなるほどの無常の光陰に耐え、太古の釘は朽ち果てることなく、ひっそりと伽藍を支え続けてきたことになる。

樹齢千年の木材を使って千年もつ木造建築をつくる。西岡棟梁の思想は、その点に集約されていた。千年かけて育て、千年使う。だが、木材そのものが千年の時に耐えることができたとしても、それをつなぐ鉄、つまり釘が早くまいってしまっは話にならない。

昭和57年（1977年）、四国・松山の鍛冶師・白鷹幸伯氏が西岡棟梁から薬師寺西塔の再建に使う7,000本の釘の注文を受けた時に与えられた条件は、できるかぎり創建当時に近い材料と製法を用い、千年もつものにして欲しいというものだったという。

白鷹氏は、はじめ古寺社などから出た和鉄を再利用しようとしたがとても足りず、知り合いの鋼材商を通じ、より古代の鉄に近い（純度の高い）鉄を苦勞して入手していた。だがさらに回廊の工事に使う大量の釘が必要とされる段になると、さすがに材料が底をついてしまった。古代の製法そのままの「たたら製鉄」も復活されているとはいふものの、その価格は当時でも18,000円/kgと高価であったため美術刀剣以外の用途に使用できるものではなかった。

思案の末、白鷹氏はこの分野の研究では第一人者として知られる東北大学名誉教授・井垣謙三博士に相談することにした。井垣博士はその製造を日本鋼管に打診した。数トン単位の注文であったことから、とても採算にのる話ではなかったが、文化事業ということからメーカーの好意によって、釘用の特注鉄が生産されることになったという。この現代製鉄技術によつ

て再現された古代の鉄（のよさを生かした鉄）は、「工業用極高純度鉄」をさらに通常の10倍以上の時間をかけて精錬したうえ少量の炭素を加えたものだった。

錆びにくさの秘密は、純度にあった

井垣博士は鉄の耐食性の見直しという研究テーマに即して、古い時代の鉄に着目していた。

たとえば、地震による破損・修理のため取り出された薬師寺・月光菩薩像の鉄芯の一部には5年近い年月を経てなお錆が浮いてこなかったといわれる。錆びにくい古代の鉄。それはなにを意味するのか。古代と現代の鉄の違いはどこにあるのだろうか。

博士は両者の成分を比較分析してみることにした。その結果分かったことは、古代の鉄がきわめて純度が高いということだった。それに比べると現代の鉄は高炉で生まれた時には硫黄、ケイ素、マンガンの濃度が高い。これはコークスを使って高温還元を行うためで、高い生産効率を得ることができるいっぽう、ケイ素やコークス中の硫黄が鉄に入り込んでしまう。硫黄はマンガンと結びついて硫化マンガンとなって潜伏している。だが実はこの硫化マンガンとケイ素こそが錆のもとになっていたのだ。分析の結果、ケイ素が赤錆のもととなり、硫化マンガンこそが「突き抜ける」ボロボロの腐食を生むもとになっていることが分かってきた。

古代の鉄がよかった（むろん寺院建築用としてだが）、という西岡棟梁の言葉には、けっして「昔はよかった」という感傷などでない、科学的根拠に裏付けられた実体があったのだ。

東北大学の金属材料研究所では井垣博士と同時期に純鉄の研究に携わっていた木村宏名誉教授の後を継ぐ形で現在、純度99.995%という高純度鉄の研究が行われている。これま

で常識的には、鉄にクロムを入れ過ぎると、延性がなくなり、ボロボロになってしまうと考えられてきた。ところが、極限まで純度を高めると、50%ものクロムを混ぜても延性が失われないという。こうした研究によって生まれた鉄42%・クロム50%・タングステン8%の不純物を含まない合金はフェライト系ステンレス鋼の3倍の強度をもたせることができることから金属系の新素材として期待が高まっている。

新素材・高純度メタルの原点は、古代の鉄研究にあった。これこそまさに温故知新の典型といえよう。

すでにご推察のとおり、和釘用に再現された鉄とは、鉄としての純度を高めたもので、50トンが炉外精錬されたのち、0.086%の炭素が加えられることで生まれた。そのうち5.7トンほどが白鷹氏の手にわたり、薬師寺回廊の釘の材料として使われた。残りは7トン・インゴット数塊とビレットの形で平成5年から島根県吉田村の「鉄の歴史村」オープン・エア・ミュージアムに展示されることとなった。その後、一部が横浜みなとみらい21地区の赤レンガ倉庫館（仮名）の鉄扉用材料として寄贈され、使用されることになっている。

白鷹氏によって再現された平成版の白鳳の釘はその後、東北大学で耐食性評価が行われ、不働態化した状態で高い耐食性を示すことが確認されたという。白鷹氏の技と現代製鉄技術が、真に白鳳の水準に達することができたかどうか、それを確認するには、もう千年待たねばならない。はたして千年後に、この釘が再度引き抜かれ、その時代の人々の目にふれる日が来るだろうか。そして、それを見た後世の人々は、なにを思うのだろうか。その時、技術や社会は進歩しているのだろうか、それとも……。

〔取材・写真協力：井垣謙三氏（東北大学名誉教授）、白鷹幸伯氏、（財）鉄の歴史村地域振興事業団、NKK技術本部〕

鉄の歴史村

島根県吉田村は、たたら製鉄による和鋼生産の中心地として栄えてきた歴史をもつ。いわゆる出雲のたたら場として大ヒット映画「もののけ姫」の舞台のモデル地にもなった。日本古来からの製鉄の歴史を保存するために、村は昭和61年に「鉄の歴史村宣言」を行い、たとえるならば村全体を大きな博物館として公開展示することに踏み切った。現在、村内には「鉄の歴史博物館」「鉄の未来館」「山内生活伝承館」などの博物館が点在し、たたら人たちの生活の場であった山内の町並みも保存されている。当協会が昭和44年に行った、たたら操業再現記録のビデオもここで上映されている。「鉄の文化」を体験するには最適場所のひとつといえよう。白鳳の釘再現のための原材料として製造された純鉄インゴットの残存分は、村内のオープン・エア・ミュージアムに屋外展示されている。

各博物館の休館日は毎週月曜日（月曜が祭日の場合はその翌日）。



連絡・問合わせ先：
島根県飯石郡吉田村大字吉田
（財）鉄の歴史村地域振興事業団
TEL 0854-740311
JR山陰本線・出雲市駅よりJRバス（掛合行または広島方面）利用、掛合（かけや）で村営バスに乗り換え、吉田町下車。
車の場合は中国自動車道三次I.C.より約1時間。



1997年鉄鋼生産技術の歩み

今井卓雄 生産技術部門 部門長
Takuo Imai

Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 1997

1 鉄鋼業をめぐる諸情勢

わが国経済は、バブル期の後、累次の経済対策の実施により景気を下支えしてきたにもかかわらず、未だ力強い景気回復の軌道に乗っていない。昨春の消費税率引上げによる反動等から減速し、さらに、企業や消費者のわが国経済の先行きに対する信頼感の低下から景気は足踏み状態となった。また、複数の金融機関の経営問題や貸し渋り問題が起きており、金融システムの安定性確保が重要な課題となっている。

こうした中で、国内普通鋼鋼材需要は、公共事業費縮減の影響による公共土木の減、消費税率引上げ前の駆け込み需要の反動及び個人消費マインドの冷え込みによる住宅建築の減等により建設関連需要は前年比減少した。一方、製造業関連需要は、造船、工作機械の生産堅調、消費税率引上げ前の駆け込み需要等による自動車、電気機械の生産増等により前年比増加した。また輸出は、銑鉄が大幅に減少したものの、普通鋼鋼材、特殊鋼鋼材、半製品、二次製品が増

えたため、3年ぶりの増加となった。

以上の内外需動向を反映して、1997年の粗鋼生産は1億454万tで、前年比574万t、5.8%の増加となり、2年ぶりの1億t乗せとなった。炉別にみると、転炉鋼が7,030万t、前年比444万t、6.7%増、電炉鋼も3,425万t、同130万t、4.0%増とともに増加、転炉鋼は6年ぶりの7,000万t台、電炉鋼は3年連続の3,200万tを超えとなったが、全粗鋼に占める電炉鋼構成比は32.8%と前年に比べ0.5ポイント下降した。また、鋼種別では、普通鋼が8,472万t、前年比417万t、5.2%の増加と2年ぶりの増加、一方、特殊鋼は1,982万t、同158万t、8.6%の増加となり、2年ぶりの増加となった(表1)。

普通鋼熱延鋼材(一般)の生産は、建設用、製造業用ともに下期に入り低迷したものの、堅調に推移した上期実績に支えられて8,193万tと前年比396万t、5.1%の増加になり、6年ぶりの8,000万tを超えとなった。

特殊鋼熱延鋼材の生産は、内需では上期に主要向け先である自動車用、産業機械用向け等を中心に堅調に推移し、

表1 高炉銑・鋼塊及び鋼材の生産推移

(単位: 千t)

項目	年	1994年 総生産量	1995年 総生産量	1996年 総生産量	1997年 1～3月	4～6月	7～9月	10～12月	1997年 総生産量
高 炉 銑		73,732	74,888	74,593	19,284	19,714	19,846	19,667	78,510
粗 鋼	計	98,295	101,640	98,801	25,908	26,768	26,028	25,841	104,545
	転 炉	67,224	68,842	65,853	17,315	17,734	17,822	17,425	70,295
	電 炉	31,070	32,798	32,948	8,593	9,034	8,206	8,417	34,250
普通鋼熱延鋼材(一般)		76,282	79,147	77,974	20,531	21,048	20,578	19,772	81,929
主 中小形鋼		1,894	1,811	2,071	502	558	486	498	2,044
要 小形棒鋼		12,507	12,644	12,912	3,314	3,435	3,202	3,069	13,019
熱 普通線材		1,576	1,446	1,571	437	470	439	468	1,814
延 厚中板		7,809	8,529	8,812	2,361	2,271	2,262	2,234	9,127
鋼 薄板		89	67	51	16	13	10	11	51
材 広幅帯鋼		38,227	40,118	37,307	9,980	10,266	10,320	9,628	40,194
特殊鋼熱延鋼材		15,014	16,171	15,332	4,040	4,104	4,174	4,201	16,517

出所: 日本鉄鋼連盟資料

また、輸出向けも堅調であったことから、全体で1,652万tと前年比119万t、7.7%増となり、2年ぶりに1,600万t超えとなった。

1997年の日本の鉄鋼輸出環境は、7月以降に発生した東南アジアの通貨・経済混乱、及び韓国の経済危機により、下半期は順調な上半期とは様変わり状況を示し、その影響が危惧されたものの、97年全体(暦年)として見れば、円安基調の定着に加え、堅調な米国需要、欧州の輸出余力の低下などを背景に前年比14.2%増の2,353万tと5年連続で2,000万t台を維持し、3年振りに前年実績を上回った。内訳をみると、銑鉄が前年比71.9%減と大幅に減少した他は、普通鋼鋼材(同21.0%増)、特殊鋼鋼材(同6.1%増)、半製品(同34.1%増)、二次製品(同8.7%増)などいずれも前年を上回った。仕向先別では、韓国向けが熱延広幅帯鋼が前年比2倍以上と増加したことなどにより、前年比6.6%増の357万tと5年連続の増加となった。米国向けは熱延広幅帯鋼、亜鉛めっき類がそれぞれ3倍以上、50%以上と大幅に増えたことから、前年比31.9%増の270万tとなり、中国向けは亜鉛めっき類が好調だったことなどから前年比4.8%増の266万t、台湾向けは熱延広幅帯鋼、亜鉛めっき類、形鋼などが好調であったため、前年比8.8%増の243万tとなった。

1997年の鉄鋼輸入は、円安下にもかかわらず上半期の国内消費増等により、2年振りに前年実績を上回り対前年比10.9%増の957万tと2桁台の伸びとなった。内訳をみると、普通鋼鋼材(同10.0%増)、フェロアロイ(同8.1%増)、銑鉄(34.6%増)等が増加し、銅塊・半製品(同8.4%減)、特殊鋼鋼材(11.3%減)等が減少した。品種別では、熱延広幅帯鋼は対前年比11.7%増の255万t、また、冷延広幅帯鋼は、100万t(同19.0%増)など銅板類の増勢が顕著であった。これは年初の需給回復期待に加え、銅板類の値上げを見込んだ手当てが行われたものとみられる。仕入国別では、韓国が対前年比3.9%増の343万t、中国が同41.4%増の182万t、台湾が同54.8%増の114万tと上位国が好調であった。

鉄鋼業の従業員数(鉄鋼統計)は、1996年末で237,449人と92年の291,625人から2割近い減少となった。また、(社)日本鉄鋼連盟会員会社の新規採用者数の推移をみると、1996年は2,521人で92年の9,380人の約27%の水準にとどまっている。雇用数減少の要因としては、長引く不況の中で、高炉大手各社を中心に、経営体質の強化を目的とした業務や組織のスリム化、効率化が図られ、転籍出向者の増加や新規採用者の抑制等による要員の合理化が進められたことがあげられる。

鉄鋼の主要原料である鉄鉱石、原料炭の1997年の消費量はともに増加した。

鉄鉱石類消費量は1億1,682万乾燥tで前年比630万t、5.7%の増加となり、輸入鉄鉱石類に対する依存度はほぼ100%で、輸入量は1億1,862万乾燥t、前年比680万t、6.1%の増加となった。輸入ソース別シェアはオーストラリア58.8%、ブラジル22.8%、インド12.8%で、これら三大ソースで全体の94.4%を占めている。

原料炭消費量は6,174万tで前年比73万t、1.2%の増加になり、輸入量は、6,242万tで、前年比30万t、0.5%減少した。輸入ソース別シェアは、オーストラリア50.3%、カナダ24.9%、米国8.3%と、これら三大ソースで全体の83.5%を占めている。このうち非微粘結炭の輸入量は、コークス配合用の増加により、前年比5.8%増の2,945万tとなり、全輸入量の47.2%を占めた。

鉄スクラップ消費量については、電気炉用が前年比5.2%増の3,354万t、転炉用が同18.5%増の612万t、鋳物・再生鋼材用が同6.3%増の723万tとなり、その他消費も含め全体で4,694万tと前年比6.8%の増加となった。一方、供給量は、自家発生が前年比5.2%増の1,340万t、国内市中スクラップの購入が同7.1%増の3,523万t、輸入が同10.5%減の19万tとなり、合計で4,882万t、前年比6.5%の増加となった。

鉄鋼業(鉄素形材製造業を除く)の1997年度の設備投資計画は、投資を底支えしてきた高炉各社における生産関連投資分野の大型投資が一巡し、電炉業における大型更新投資も終了すること、厳しい経営環境を背景に、各社とも引き続きリストラを推し進めるなかで、投資案件を厳選して設備投資全体を圧縮すること等から、5,102億円と前年度に比べ994億円、16.5%の大幅な落ち込みが見込まれている。

今後についても、鋼材需要の先行き及び経営状況回復を第一義とする企業の方針、投資金額の過半を占める高炉業において新規の大型投資案件の予定がないこと等により引き続き投資は圧縮される方向にあることなどから、当分の間は低水準の投資が続くものと思われる。

設備投資の内訳をみると、設備投資全体が分野を問わず厳しく選別されるなかで、諸コスト削減のための合理化・省力化投資並びに装置産業として必要不可欠な更新投資及び維持・補修投資が中心となっている。

このような状況のなかで、鉄鋼各社は、更なるコスト合理化への取り組みと併せ、中長期的な観点からの新規需要分野開拓につながる研究・技術開発、新規事業分野への進出、海外事業展開などに積極的に取り組んでいる。

2 技術と設備

2.1 製鉄

1997年の鉄鉄生産量は、7450万tと前年比5.3%の増加となった。平均出鉄比も前年の1.90t/m³・日に対して、1997年2.00t/m³・日と増加した。

1997年に火入れ、吹き止めされた高炉は無く、1997年12月現在の稼動高炉数は30基で前年と同数である。

図1に示すように、微粉炭吹き込み比(PC比)は、1997年平均114.6kg/tと前年比1.2kg/t増となり、年平均で初めてコークス比が400kg/tを割り込んだ。また、住友金属工業(株)鹿島3高炉でPCI操業が稼動を開始し、PCI稼動高炉基数が28基に増加した。今後もPC比のさらなる増加が見込まれる(図1)。

高炉炉寿命については、各社とも操業技術、設備技術の改善を進め、1985年以降、飛躍的に延長してきた。1990年以降吹き止めた高炉14基の寿命は、いずれも10年以上を記録しており、平均寿命で約12年に伸びている。また、現在稼働中の高炉で15年以上を記録している高炉が5基あり、今後さらに高炉の長寿命化が進むと期待される。その中でも、川崎製鉄(株)千葉6高炉(内容積：4,500m³)が稼動後21年目に入っており、炉寿命の日本記録を継続して更新し

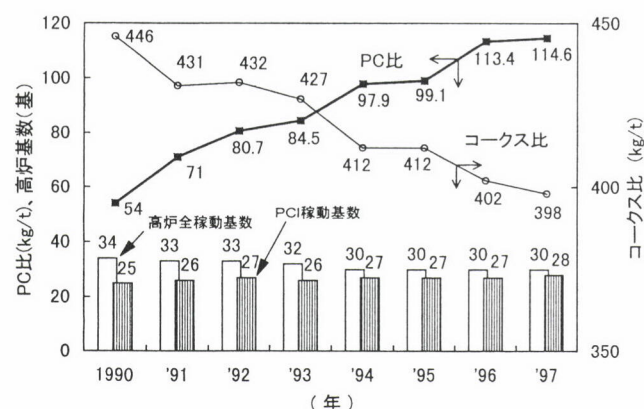


図1 高炉への微粉炭吹き込みの増加
(出所：日本鉄鋼連盟資料)

ている。

NKK福山では、極低Si製鉄法を確立し、所内全高炉で月間平均0.1%台の低Si濃度溶鉄を製造するという世界記録を達成した。要素技術としては、溶鉄温度制御システム、低シリカ焼結製造による炉内溶け落ちレベルの低下、シリコン移行反応の抑制、高精度な装入物分布制御による操業安定化が挙げられる。また、新日本製鉄(株)君津においては新型ベルレス装入装置を開発し、装入物分布の制御性向上、粒度偏析促進による中心ガス流安定化を可能にした。

一方、焼結鉱製造プロセスとしては、新日本製鉄(株)君津においてスタンド支持焼結法を開発し、焼結ベッドの通気性向上による生産性および被還元性を向上させる技術を確認した。

さらに、環境関係の技術開発としては、NKK京浜1高炉において、廃プラスチックの有効利用を目的に、廃プラスチックを高炉原料として吹き込む一貫プロセスを世界で初めて開発し、1996年10月に完成した。処理能力は年間3万tであり、都市共生型製鉄所を目指した廃棄物の再資源化技術として注目される。

コークス製造技術の開発では、新コークスプロセスの開発(SCOPE21)が、共同国家プロジェクトとして、石炭資源の有効利用、高生産性、環境調和を目的に、(社)日本鉄鋼連盟において進められている。1997年度は、個別要素技術の開発段階の2年目に当たり、パイロット試験を含め2001年度完了を目標にしている。21世紀初頭にコークス炉のリプレース時期を控え、その成果が期待される。

2.2 製鋼

製鋼作業の状況は、表2の転炉作業成績および表3の電気炉作業成績に示すように、電気炉における製鋼時間当たりの生産高指数の増加が目立つ。

二次精錬処理比率を表4に示すが、これも電炉鋼における処理比率の向上が目立つ。

圧延用鋼塊に占める連铸鋼片の比率は、図2に示すように、特殊鋼の連铸比率の上昇が続いている。

表2 転炉作業成績

項目	年	1994年 平均	1995年 平均	1996年 平均	1997年 1～3月	4～6月	7～9月	11～12月	1997年 平均
製鋼時間当りの生産高指数*		105	108	107	108	108	111	109	109
1回当りの製鋼時間指数*		97	99	99	97	98	110	96	98
鉄鉄配合率(%)		92.3	93.0	93.3	92.6	92.2	92.3	92.7	92.5
溶鉄配合率(%)		91.2	91.5	92.6	91.9	91.2	91.4	91.8	91.6
酸素原単位(Nm ³ /t)		56.8	57.9	58.7	58.7	58.1	58.7	59.2	58.7
連铸比率(%)		98.1	98.2	98.9	99.0	99.1	99.1	99.1	99.1
真空処理比率(%)		60.3	60.4	61.3	60.9	61.2	61.6	60.7	61.1

* 1991～1993年までの平均値を100としたときの指数値

出所：日本鉄鋼連盟資料

表3 電気炉作業成績

項目	年	1994年 平均	1995年 平均	1996年 平均	1997年 1～6月	1997年 7～12月	1997年 平均
製鋼時間当りの生産高指数*		108	111	118	124	122	123
良塊t当りの電気消費量(kWh/t)		394.8	395.6	396.4	404.4	397.3	400.9
良塊t当りの酸素消費量(Nm ³ /t)		24.6	23.9	24.0	24.0	24.3	24.1
良塊歩留り(%)		91.7	91.5	91.3	91.2	91.1	91.1
良塊連铸比率(%)		88.3	88.2	88.6	89.1	88.7	88.9
合金鋼比率(%)		32.1	33.2	32.0	31.9	33.3	32.6

* 1991～1993年までの平均値を100としたときの指数値

出所：日本鉄鋼連盟資料

表4 転炉・電気炉鋼の二次精錬処理比率の推移（単位：%）

項目	年	1994年	1995年	1996年	1997年
転炉鋼	二次精錬処理比率	80.1	80.3	80.3	79.2
	内真空処理比率	60.3	60.4	61.3	61.1
電気炉鋼	二次精錬処理比率	85.3	85.6	87.7	91.0

出所：日本鉄鋼連盟資料

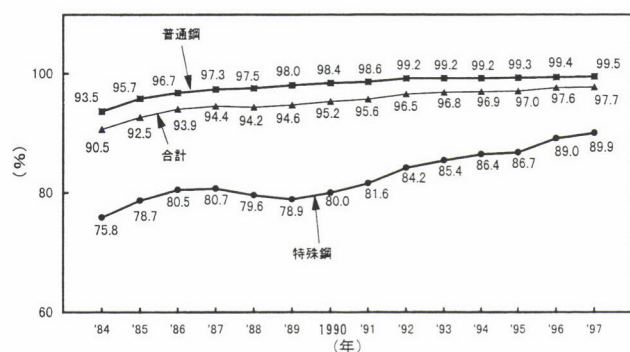


図2 連铸比率の推移

(出所：日本鉄鋼連盟資料)

鉄鋼業を取り巻く経済環境が厳しい中であって、市場要求の高度化・厳格化、国際的コスト競争力の確保、さらには作業環境の改善等々に対応するため、品質向上、コスト低減、自動化・省力化を目指した最適プロセスを実現させる動きが各社見られた。

住友金属工業(株)和歌山では現在稼働中の2工場の転炉6基を、新たに2基の大型転炉に集約した新製鋼工場の建設に着手し1999年7月の完成を目指している。

二次精錬分野の新設備としては、日本金属工業(株)衣浦にて極低C・低N鋼種への対応として導入された80tVOD、新日本製鐵(株)八幡、室蘭、広畑、名古屋、君津、大分での脱ガス処理中の送酸・加熱、非処理中の保熱等が可能な二次精錬多機能ランスの導入、住友金属工業(株)和歌山での真空脱ガス中の高純浄化を目的とした粉体上吹きランスの商業操業化が挙げられる。

新連铸機としては、新日本製鐵(株)君津のピレットCC(月産能力約9万t)、東京製鐵(株)高松の高級棒鋼・線材用丸ピレットCC、また現在建設中で1998年10月完成予定のNKK福山のピレットCC(月産能力3万～4万t)がある。

その他の連铸分野での新設備としては、鋳片品質の向上

及びT/D待機時間の延長を可能とする川崎製鉄(株)水島の高温N₂噴流を用いたタンディッシュの無酸化加熱装置、新日本製鐵(株)名古屋の鋳型内溶鋼流動改善による鋳片品質向上を狙った均一電磁ブレーキの導入、大同特殊鋼(株)知多 No.1 CCのモールドサイズ拡大等によるCC能力増強、日本金属工業(株)衣浦のステンレス鋼の高品質化を狙ったスラブCCの湾曲型から垂直曲げ型への改造がある。

一方、電気炉においては、東京製鐵(株)高松に電力・電極原単位の低減およびフリッカー対策等を目的としたシャフト型予熱装置付き直流電気炉(60t)が導入された。また、スクラップと溶銑の混合配合作業を行っている三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)室蘭では脱炭時間短縮、歩留向上および脱P率向上等を狙い、100t直流電気炉の炉頂に水冷酸素ランスを導入した。さらに中部鋼鉄(株)200t炉では助燃バーナーを広角フレームタイプとし、バーナー本数も10本から15本に増やすことにより、生産性向上を図っている。

また、基盤技術開発においては、(財)金属系材料研究開発センター(JRCM)が推進しているエネルギー合理化金属製造プロセス開発(電磁気力プロジェクト)も6年計画の3年目に入り、軟接触鋳造技術や鋳型内流動制御技術などの各種技術研究開発が進められている。1998年度からはベンチスケール実験に入る予定である。

JRCMが推進している環境調和型次世代製鋼技術の研究(新製鋼プロジェクト)は、1991年より始まり6年間で基礎研究を終了した。1997年からは実証設備の建設に入っており、1998年より総合システム研究に移行する予定である。製鋼分野における機械化関連では、川崎製鉄(株)千葉において転炉炉底の開口部を通じてれんがを搬入し、ロボットにてれんが積みを行うことにより築炉作業の機械化・自動化を図っている。

2.3 厚板・鋼管・条鋼

厚板関係では、(株)神戸製鋼所加古川にて、クレーンベッド入側テーブルに板厚25mmまで切断可能なインライン・ホット・シャーが設置され、圧延長さ60mまで拡大された。また、同製鉄所にて、熱間矯正後ないし、加速冷却後の鋼板表面温度分布を鋼板全面に渡り測定し、その結果よ

り残留応力を予測、TMCP鋼のオンライン形状保証を行うシステムが開発、実機化された。川崎製鉄(株)では、小型軽量タイプのドゥブラー方式レーザー速度計の安定化測定システムと鋼板先端検出器およびメジャーリングロール方式速度計を併用するハイブリッド方式の測長計を開発、水島で実機化し、測長目標精度 $\pm 0.02\%$ を達成した。また、中部鋼板(株)では、レーザー方式の高精度表面歪検出器を圧延後のオンライン検査工程に導入、平坦度の全数検査を可能とした。大同特殊鋼(株)では、知多工場にて、インラインプレスが導入された。このプレスは、分塊圧延用加熱炉・均熱炉と分塊圧延機の間でオンライン操業可能のように設置され、国内最大級の規模と能力を持っている。

鋼管関係では、住友金属工業(株)和歌山の新中径継目無鋼管ミルが営業運転を開始した。本ミルは高交叉角穿孔機、コンパクトマンドレルミル、連続鋳造・製管・熱処理直結の特徴をもち、世界で初めて、1インチから16-3/4インチまでの全サイズに亘り、マンドレル方式での生産を可能とした。NKK京浜では、小径、中径、大径の3ミル体制であった電縫管のうち、中径ミルを休止、小径ミルを扇島地区に移設した。また、大、小径それぞれの製造可能範囲を拡大し、2ミル体制を確立した。

形鋼関係では、川崎製鉄(株)水島の大形工場にて、新粗ユニバーサルミルが稼動した。本ミルは迅速ロール交換、油圧圧下、パスライン調整の機構を有し、従来に比べ高耐荷重、高剛性となっている。

棒鋼・線材関係では、山陽特殊製鋼(株)第2棒線工場にて、寸法変更にとまなう圧延機の組替、型替時間短縮、寸法制度向上を図る目的で、4ロール、2スタンドのプレフィニッシュミル(PFM)を導入した。さらに2組みのノンツイストVEEミルのロールユニットを組み合わせたロッド・フリーサイズ・ミル(RFM)を稼動させ、0.1mm刻みのフリーサイズ圧延を可能とし、巻線機には線材通過部を短管式とローラー式の2タイプのクイックチェンジタイプに改良、表面キズの削減とコイル形状改善を図った。また、磁粉探傷による丸棒鋼自動キズ取り装置が稼動し、省力化、品質向上がなされた。東京製鉄(株)では、従来の粗ミル4スタンドを更新、同時に線材ラインを併設し、棒鋼・線材の兼用ラインとした。愛知製鋼(株)知多では、大形圧延の仕上げ圧延ラインの増設工事が完了した。細径用の仕上げ圧延機(HVリバース式2基)、インライン誘導加熱炉1基等を増設し、段取替時間短縮、納期短縮、高品質化を達成した。新日本製鉄(株)釜石では、ロール加工において、自動化されたマテハン装置と2軸堅型電解研磨剤盤の設置により、線材超硬ロール研削作業の合理化を図った。また、同室蘭では、線材製品用の自動立体倉庫を設置し、取り扱い疵低

減、要員合理化、中間在庫削減を行った。

2.4 薄鋼板(表面処理鋼板を含む)

熱延関係では、NKK福山にて、新蓄熱式バーナーの実用化を行った。蓄熱式バーナーの大型加熱炉への採用は世界初で、10%の燃費低減、窒素酸化物低減、小型化など数多くの特徴を有している。日本金属工業(株)衣浦では、1,600mm幅、30tコイルの新熱間圧延設備が稼動した。仕上げ圧延機にはベアクロスミルを、電源装置にはGTOを採用している。

冷延、表面処理関係では、大同特殊鋼(株)知多にて、みがき特殊帯鋼用冷間圧延機(6Hi)に最新鋭のFFAGC(予測自動板厚制御)のシステム化、同冷間圧延機(4Hi)の既設FFAGCのリフレッシュを行い、工場全製品の板厚高精度化を完成させた。NKK福山では、TFS(ティンフリースティール)に特殊ポリエステルフィルムをラミネートした、ラミネート鋼板設備が完成。本格出荷を開始した。本設備は、国内3社目、4機目の設備である。また、同所では、旋回振れ止め制御、位置計測・置場設定システムを開発することにより、クレーンの新自動制御システムを構築した。10台のクレーンに採用し、40人の省力化を達成した。東京製鉄(株)岡山では、建材を主体とした溶融亜鉛メッキラインが稼動し、自社製ホットコイルでの一貫生産を実現した。

2.5 試験・分析、設備保全、その他

試験・分析関連では、川崎製鉄(株)技術研究所の発光分光分析による鋼中微量C、Nの分析法の開発(定量下限C：5ppm、N：8ppm)、NKK京浜における熱鋼片の成分をオンサイトで迅速・高精度に分析可能なレーザーICP発光分析装置の製鋼工程への適用が挙げられる。

また、計測制御関係では、NKK京浜において、腐食環境にある鋼構造物等の防食を行うために、腐食電位のモニタリングと制御を行うことを特徴とする新防食管理システムの実用化を図った。

その他、環境関連では、愛知製鋼(株)で排水中窒素をゼロにするステンレス鋼材酸洗技術を開発し、刈谷工場にて実用化を図っている。

3 技術輸出・技術輸入

鉄鋼業界の海外に対する技術貿易の輸出入収支を日本政府統計(科学技術研究調査報告)に基づき、図3に示す。1996年の輸出入対価受領額の超過差は、前年比41%増の178億円となった。地域的には、アジア、南アメリカの輸出が増加している。

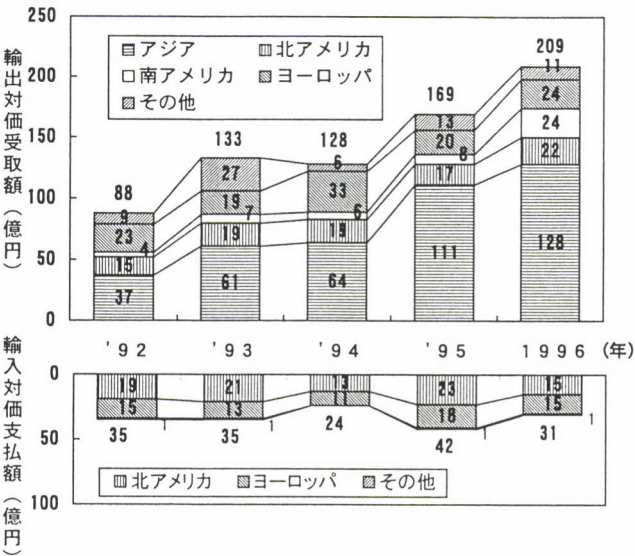


図3 鉄鋼業の技術貿易収支
(出所：総務庁統計局：科学技術研究調査報告)

最近1年4ヶ月間における技術貿易の内訳について、本会維持会員会社を対象に調査した結果を表5に示す。技術輸出は86件で、輸入は1件のみであった。輸出関係の内訳をみると、アジア、ヨーロッパに次いで北アメリカが多い。また、技術分野では、連続鋳造や冷延鋼板関係が多い。

4 研究費支出

鉄鋼メーカーの研究開発費は、表6の「平成8年科学技術調査報告」に示す様に近年極めて厳しい状況が続いている。

本統計によれば、鉄鋼業の研究費支出総額は、1992年より、急激に減少し、1995年には、ピーク時の41%減にいたった。売上高対研究費支出率も、1991年の2.84%をピークに毎年減少し、1995年には31%減の1.96%とついに2%を切るまでにいたった。1995年の研究本務者数一人当たりの社

表5 技術輸出・技術輸入状況
(期間：1996年9月1日～1997年12月31日) (件)

技術分野			地域	アジア	北アメリカ	中・南 アメリカ	ヨーロッパ	オセアニア	アフリカ	計
技術輸出	A. 原料・ 製鉄	1・コークス			1					1
		2・原料処理			1	1				2
		3・高 炉	2			5	2			9
	B. 製鋼	1・電 炉		1		1				2
		2・炉外精錬		2		2				4
		3・連鑄・造塊	8	8		6				22
		4・付帯設備		1						1
	C. 加工 処理	1・条鋼・線材	1	1	2	2				6
		2・鋼 管	1		2					3
		3・厚 板	2			1				3
		4・薄 板	6	4	1	3				14
		5・表面処理	2	2	1	4				9
		6・熱処理		1						1
		7・成形加工	1							1
	E. 製鉄所 全般	1・総合的操業指導	1	1						2
2・その他		1		1		2	2		6	
合計			25	21	9	25	4	2	86	
技術輸入	B. 製鋼	1・溶銑処理						1	1	
		合計						1	1	

調査範囲：協会維持会員会社 41社

内研究費(給与を含む)は3,876万円で、ピークの1991年の31%減で、売上高対研究費支出率の減少率と同じとなった。従業員1万人当たりの研究者数は、1994年をピークに減少に転じた。これは、鉄鋼各社の人員削減の対象が1994年以降、研究者にその重点を移してきたことを示すものであろう。

これらの指標を全産業平均と比較すると、研究者一人当たり研究費は、いまだ全産業平均を大きく上回っており、また売上高研究費支出率は、1991年には鉄鋼業が全産業平均をわずかに上回っていた。しかし、バブル崩壊後大きく低下した鉄鋼業に比べ、全産業平均はほとんど変化しておらず、鉄鋼業の売上高研究費支出率は全産業平均の72%にまで低下した。さらに全産業の従業員1万人当たり研究者数は、毎年増加しており、鉄鋼業の近年の減少傾向とは大

表6 鉄鋼業の研究費支出

年	社内使用研究費支出額 (百万円)		研究本務者数(人)		売上高対研究費 支出率(%)		研究者一人当たり研究費 (万円/人)		1万人あたりの研究 本務者数(人)	
	鉄鋼業	全産業	鉄鋼業	全産業	鉄鋼業	全産業	鉄鋼業	全産業	鉄鋼業	全産業
1988	249,734	7,219,318	6,060	279,298	2.13	2.6	4,229	2,454	224	441
1989	268,131	8,233,820	5,905	294,202	2.21	2.72	4,509	2,623	232	456
1990	303,805	9,267,166	5,946	313,948	2.33	2.78	4,916	2,800	247	476
1991	360,054	9,743,048	6,180	330,996	2.84	2.81	5,600	2,859	248	487
1992	311,485	9,560,685	6,429	340,809	2.58	2.83	4,748	2,683	264	497
1993	286,114	9,053,608	6,561	356,406	2.72	2.76	4,528	2,465	262	517
1994	237,707	8,980,253	6,319	367,278	2.19	2.72	3,901	2,384	275	542
1995	213,541	9,395,896	6,093	376,639	1.96	2.73	3,876	2,446	267	559
1996			5,509	384,100					260	573

出所：総務庁統計局：平成8年科学技術研究調査報告

きく異なっている。このような傾向から、鉄鋼業の研究活動は、他産業に比べ極めて厳しい環境にあると考えられる。

5 日本鉄鋼協会における技術創出活動

本会では、鉄鋼生産技術に関する研究活動を生産技術部門で行っており、その主な活動を表7に掲げる。これらの部会や研究会を通じて、革新的かつ効率的に技術を創出することを目指しており、改組より3年経つが、その方針が定着し、成果が上がりつつある。また、課題抽出ワーキンググループを設置し、課題発掘、テーマ化、研究実行、成果評価という体系的な流れを作って、技術創出を強化している。

なお、鉄鋼生産技術に関する基礎研究、次世代へ向けた新シーズ発掘のための研究は、学会部門の専門分野別部会ならびに下部組織であるフォーラムで行っている。

5.1 分野別部会

1996年度に引き続き、各部会では各社の情勢に合うべくそれぞれが部会活動の負担を軽減しながら、更に優れた成果が出るように工夫した活動を行った。同時に、技術創出を目指す産学連携の場としての機能も果たすため、部会大会への大学研究者の参加を継続して進め、学会部門専門分野別部会との交流を計画する部会も増えてきた。

物流部会はその活動内容が生産性向上のような技術的課題から政策面をも含めた幅広いものに変化してきたため1998年1月1日を以て(社)日本鉄鋼連盟・物流政策委員会に活動を移管した。また、情報管理部会も各社共通ニーズの把握の困難さ、他組織との重複感、分社化による活動の困難さにより2月28日に閉会した。これらにより今後は20部会の活動となるが、統合・廃止・新設など部会のあり方の見直しという良い意味での視点を与えたと考えられる。

1997年度の部会大会は、本誌Vol. 2 No. 9, 694頁(上期大

会開催一覧)、本号380頁(下期大会開催一覧)に掲載のように現時点で重要なテーマを共通・重点テーマとして取り上げ、活発な議論を展開した。参加者数は前年度よりも多く3,500名に達した。

1997年度に発足した技術検討会は下記の11技術検討会であり、従前および年度内に終了したものも含めて40技術検討会が活動した。

- ・高炉下部計測制御(製鉄部会)
- ・厚板環境防災対策(厚板部会)
- ・火災対策(熱延鋼板部会)
- ・ラインファイナル化技術(冷延部会)
- ・薄膜凝固組織(表面処理鋼板部会)
- ・耐火物の耐食性評価(耐火物部会)
- ・電気設備防災対策の現状と今後のあり方調査(制御技術部会)
- ・NDI技術伝承(品質管理部会)
- ・技術資料集編纂(分析技術部会)
- ・連铸設備の稼働率向上のための設備(設備技術部会)
- ・圧延設備における設備診断技術と今後の課題(設備技術部会)

5.2 研究会

1997年度には、5研究会が発足し、2研究会が終了した。それぞれの活動目的、活動成果を表8に掲げる。従前の研究会(表9)も含め、19研究会が活動した。

なお、研究会制度が見直され、費用規模の大きい応用開発や実用化開発等企業ニーズ直結型テーマ研究の道を開くため、企業負担による研究費上乗せを可能とする制度に改定され、1998年度より適用されることとなった。

5.3 技術検討部会

1996年度に終了した「実用構造用鋼の基礎特性研究部会」の研究成果を受けて、1997年度に「実用構造用鋼の材質造

表7 本会生産技術部門で技術創出活動を行っている部会・研究会の活動内容

技術創出活動の種類	活 動 内 容
分野別部会	現場技術水準の向上を目指し、鉄鋼生産に関する技術交流を図るとともに、各分野における技術課題を抽出、研究の実行を行っている。鉄鋼製造全般にわたる20部会が活動し、各部会には鉄鋼企業の技術者、研究者の他大学研究者も参加している。年1～2回部会大会を開催し、また下部組織には技術課題を重点的に議論する「技術検討会」が置かれ、技術創出を担う活動が行われている。
研究会	鉄鋼企業からのニーズと大学等研究機関からのシーズに基づき、重要なテーマについて産学協同で研究を行っている。基礎的研究を行う研究会は学会部門に、応用的研究の場合は生産技術部門に設置される。1研究会あたり1,000万円/年を上限に研究費を支給している。
技術検討部会	鉄鋼生産プロセスの各分野にまたがる分野横断的、または業際的技術課題に対して、技術の方向と課題解決のための技術討議、調査等の研究活動を行っている。

表8 1997年度における新規研究会の活動目的と終了研究会の活動成果

	研究会名	活動目的／活動成果	活動期間 (年度)	所属部門
新 規 研 究 会	高炉炉下部機能強化	炉下部における気体、液体、粉体、充填粒子の4相の非定常運動の解析とその伝熱、反応に及ぼす影響を解明し、炉芯を活性化することにより炉下部機能を強化し、高炉の性能を生産弾力性、省エネルギー、環境保全、劣質原料使用、長寿命化等において飛躍的に改善する。	1997～2000	学会
	製鋼スラグ極少化	スラグの利材化だけでなく発生量そのものを大幅に低減すべく、その基盤技術である予備処理と転炉精錬技術を見直し、その徹底をはかると同時にスラグのリサイクル技術を研究しスラグの発生量の極少化技術を開発する。	1997～1999	生産技術
	鋼板表面の光学的特性のモデリング	物性、構造、微細形状等の鋼板表面特性を与えたときに、反射や熱放射の光学的特性がどのように変化するかを表現できるシミュレーションモデルを構築する。これにより表面特性を実ラインで計測する際の原理や方法の研究・開発を効率的に行う手段を提供する。	1997～2000	学会
	相分解による組織形成過程	材料組織学の中でも重要な位置を占める拡散相変態(時効析出現象)を特に重点的に取り上げ、最近のこの分野の実験・理論的發展と、複雑系の組織形成やカオス理論との関連性について自由討論し、相互理解を深める。	1997～2000	学会
	自動車用材料の高速変形	衝突時のような高速変形における金属学的挙動解明のため、①衝突時の材料変形の解析とシミュレーション、②高速変形下での各種材料の応力-歪関係の解析と金属学的考察、③高速変形挙動を代表する材料的パラメータ抽出と評価方法について共同研究を行い材料開発の指導原理を得る。	1997～2000	生産技術
終 了 研 究 会	鉄鋼スラグの基礎と応用	鉄鋼スラグに関する物理化学的および結晶化学的基礎データを蓄積するとともに、液相・固相スラグからの有価金属および不純物成分の分離・固定化技術ならびに鉄鋼スラグの改質技術を確立するために、鉄鋼スラグの基礎物性と物理化学に関する多くの知見を得た。	1993～1997	生産技術
	新コークスプロセス工学	次世代コークス製造技術の達成に不可欠な、石炭の加熱過程における現象の本質的な理解と定量的な把握に基づいた乾留条件制御のため、石炭・コークスの加熱過程における物理的・化学変化の反応メカニズムを解明するとともに、定量的に記述し、モデル化を図った。	1994～1997	生産技術

り込み技術検討部会」を1999年度までを活動期間として設立した。また、「自動車用材料検討部会」は1997年度にその活動を終了したが、第II期の活動が1998年度から始まっている。

5.4 課題抽出ワーキンググループ

1996年5月に日本鉄鋼協会技術企画小委員会の技術創出活動を補佐する目的で設置された課題抽出ワーキンググループは2年目の活動に入った。ワーキンググループの活動の柱は共同研究テーマの抽出・育成であり、本年も協会内組織を対象とした活動を実施した。1996年との主な差異は以下の諸点である。

- ・テーマ募集に当たって戦略分野「製鉄技術」、「環境保全、エネルギー問題」、「鉄鋼需要の拡大」、「省力化」を設定

表9 活動中の研究会一覧

研究会名	活動期間(年度)	所属部門
耐火物の組織評価	1994～1998	生産技術
再結晶・集合組織	1994～1998	学会
棒鋼・線材圧延3次元FEM解析システムの開発	1995～1998	生産技術
冷間圧延における焼き付き機構	1995～1998	生産技術
多変数制御系のオンライン調整方法	1995～1998	生産技術
超清浄鋼	1995～1998	学会
電磁ノーマルプロセッシング	1995～1999	学会
耐熱鋼・耐熱合金の高強度化	1995～1999	学会
新塊成鉄の基礎	1996～1999	学会
技術系ヒューマンリソース	1996～1999	学会
計算機支援による組織制御	1996～1999	学会
有害試薬を用いない新高感度分析技術	1996～1999	学会

した。

- ・これまでの共同研究テーマに加えて、シーズがない等の理由で共同研究成立条件を満足しない案件で、今後重要になると考えられるものを「技術開発課題」として提案していただいた。
- ・テーマ創出活動のサポート体制として「テーマ検討Gr制度」を設けた。この目的は①共研テーマとして提案されたが、研究会など具体的活動として採択されなかったテーマの育成および、②生産技術部門から学会部門へ提示する技術開発課題に対するアイデア段階のテーマの具体的テーマへの育成にある。

1997年度のテーマ募集に対し、(1)鉄鋼協会ルートで共同研究テーマ案件が11件(分野別部会：9、課題抽出WG：2)および(2)技術開発課題14件のテーマ提案があった。課題抽出WGおよび(社)日本鉄鋼連盟拡大企画委員会での検討を経て、各テーマの一次検討を終了した。主な内容は次の通りである。

- ・協会内で進めるテーマは①新規研究会候補案件が6件(内2件は研究会化の時期再検討)、②新規技術検討会候補案件が5件であった。
 - ・新規研究会候補案件の中からつぎの4件が1998年度共同研究テーマに採択された。
- ①石炭粒子の粘結機構の解析
 - ②製鋼工程管理分析技術の高速化と高感度化
 - ③天然ガス輸送用高圧パイプラインの安全性評価
 - ④鉄鋼生産・運用・物流計画問題のモデリングと最適化

- ・技術開発課題として提案された案件の中から、次の3件のテーマ検討Grを設置することになった。

- ①次世代製鉄所テーマ検討Gr
- ②環境問題テーマ検討Gr
- ③省力化テーマ検討Gr

5.5 外部資金の導入

鉄鋼製造、材料開発、用途開発等の研究開発を活発に行うため、公的資金等の外部資金による研究プロジェクトの受託を積極的に進めている。1997年度は科学技術庁の科学技術振興調整費の2件や日本機械工業連合会の補助金など合計5件、金額にして約3000万円の研究受託を実施した。さらに1998年度以降についても科学技術振興調整費等に申請しており、「材料の超高強度化に伴う環境脆化の低減に関する研究」は採択される見込みである。

6 新製品

本協会維持会員会社各社が1996年9月以降に発表した新製品を表10に示す。

謝辞

本稿の起草にあたって格段のご協力を頂いた通商産業省基礎産業局鉄鋼課技術振興室(鉄鋼業をめぐる諸情勢)、(社)日本鉄鋼連盟(各種統計資料)ならびに本会関係者の労に対し、深く感謝の意を表します。

表10 新製品 (1996.9.1～1997.12.31)

区 分	会 社 名	製 品 名	概 説	発表時期
普通鋼条鋼・線材	新日本製鐵	広幅型鋼矢板 NSP-II w、III w、IV w	1枚当たりの有効幅を従来の400mmから600mmに拡大した、経済性に優れた鋼矢板	1997.4
	新日本製鐵	建築構造用TMCP極厚H形鋼 NSGH500シリーズ	従来の極厚400シリーズに比べ、断面性能・溶接性を改善した建築用柱材	1997.4
	N K K	広幅鋼矢板 NKSP-II w、III w、IV w	一枚あたりの有効幅を従来の400mmから600mmに拡大し、工期の短縮、施工費の低減と経済性に優れた鋼矢板	1997.4
	N K K	建築用TMCP極厚H形鋼 HIBUIL-H400、500シリーズ	TMCPを適用し、強度ばらつき・塑性変形能・溶接性を改善した建築用柱材。400および500シリーズを品揃え	1997.7
	東京製鐵	メッシュクオリティ TMQ φ7、φ6.4	鉄筋素材として使用されるメッシュ用線材で3tコイルまで対応可能	1997.2
	東京製鐵	広幅型鋼矢板 II W、III W型	電気炉メーカー初の広幅鋼矢板	1997.6
	東京製鐵	H形鋼 H900×300シリーズ	900×300シリーズの発売によって、H形鋼全サイズの品揃え達成	1997.10
	東京製鐵	軟鋼線材 SWRM φ5.5mm	直流電気炉を通して製造した電気炉初の本格的伸線用線材素材	1997.10
特殊鋼条鋼・線材	住友金属工業	高強度ボルト用ボロン鋼	冷間加工性に優れ、10.9級以上の強度域でも優れた耐遅れ破壊性を示すボルト用ボロン鋼	1996.12

区 分	会 社 名	製 品 名	概 説	発表時期
	住友金属工業	高強度デファレンシャルギヤ用鋼	浸炭後、高周波焼入し硬化層を細粒化することにより自動車用歯車の耐久性を向上	1996.9
	川崎製鉄	TCP型高強度靱性非調質太丸棒鋼	機械構造用合金鋼調質材と同等な特性を持つ鋼を非調質(圧延のまま)で製造する事に成功	1997.12
	神戸製鋼所	高耐腐食高疲労懸架ばね用鋼 UHS 1900	合金含有量を最適化することで、強度と耐食性を両立させた次世代懸架ばね用鋼	1997.4
	大同特殊鋼	定歪鋼	垂直型丸モールド連続鍛造設備を活用した熱処理歪みのバラツキを制御できる鋼材	1997.4
	山陽特殊製鋼	高冷鍛性肌焼ボロン鋼	成分調整により、焼入性を確保し、冷鍛性を改善した上、浸炭時の混粒発生を抑えた鋼	1997.4
	山陽特殊製鋼	高冷鍛性軸受鋼鋼線	球状化焼鈍と仕上伸線工程の適正化により、変形抵抗を低減させた軸受鋼線	1997.4
厚板	新日本製鐵	LNG煙突用新耐食鋼 WELACC5	LNG煙突環境下において、長期間メンテナンスフリーの新耐食鋼	1997.1
	住友金属工業	LPG船タンク用厚鋼板	溶接性、低温靱性に優れた高い引張強度と低い降伏強度を有する厚板をTMCP法で開発	1997.7
	住友金属工業	ウェザーアクト	耐候性鋼の表面に短期間で安定錆を生成させる画期的な新防食処理方法および処理鋼板	1997.8
	川崎製鉄	2方向テーパー(LP)鋼板	構造物の重量軽減、加工工数の削減が可能となった長手方向2方向に板厚が変化する鋼板	1997.3
	N K K	海岸耐候性鋼	飛来塩分が多い環境においても、安定した錆を形成し、優れた耐候性を示す厚鋼板	1997.10
	神戸製鋼所	橋梁用TMCP型490N/mm ² 級鋼板	TMCPの活用により溶接時の予熱が不要で大入熱溶接継手特性を改善した鋼板	1996.12
	神戸製鋼所	大入熱溶接型厚肉降伏点390 N/mm ² 級鋼板	Nbの適量添加とTMCP技術の活用により大入熱溶接継手特性を大幅に向上させた鋼板	1997.9
熱延	新日本製鐵	軟窒化鋼板	銅添加極低炭素鋼板に軟窒化処理を施し、焼鈍・焼入れ等の熱処理の不要化を可能とした鋼板	1997.11
	川崎製鉄	極薄熱延鋼板1.0mm	板厚1.0mmの熱延極薄鋼板	1997.5
	N K K	圧延型チタンクラッド薄鋼板	母材の最適化、圧延制御等により、高い接合性と優れた曲げ加工性を有する薄鋼板	1997.5
冷延	住友金属工業	高加工性無方向性電磁鋼板 SX40K、SX50K、SX60K	金型寿命の延長が期待でき、打抜歪に起因した磁気特性劣化も小さい無方向性磁気鋼板	1996
	川崎製鉄	製缶性に優れた極薄鋼板	窒素添加と熱延・冷延・焼鈍制御により強度アップした製缶性に優れた極薄飲料缶用鋼板	1997.10
	日立金属	ZMG93	同一材質で強磁性部分と非磁性部分を併せ持つ複合磁性材料で、小型電磁弁に適用	1997.1
鋼管	新日本製鐵	テーパースパイラル	電縫管を原管として温間スピニングにより、長手方向にテーパ加工。照明柱などに利用	1997.9
	住友金属工業	油井用高耐食スーパー13Crステンレス鋼管	微H ₂ S含有CO ₂ 環境中での耐食性に優れ、溶接時熱処理不要でフローライン適用も可能な鋼管	1996.10
	住友金属工業	経済型二相ステンレス鋼管 DP11A	SUS316Lより安価でかつ耐孔食性、耐応力腐食割れ性に優れた二相ステンレス鋼管	1997.10
	川崎製鉄	HP-13Cr油井管	API13Cr鋼管の耐炭酸ガス腐食性及び耐SSC性を改善した油井管	1997.7
	川崎製鉄	外面リブ付鋼管 「Kストライプ鋼管」	コンクリートとの高い付着性を得るために、外側にリブを有する鋼管	1997.9
	川崎製鉄	制震用極軟鋼管	建築構造物の耐震性向上の為に用いられる降伏点の著しく低い鋼管	1997.9
	N K K	N K K コア付き鋼管	管端面に防食コアを一体化させたプレファブ配管工法に最適なコア付き配管	1996
	日本金属工業	高純度フェライト系ステンレス溶接鋼管	新偏平検査方式による全長品質保証を確立した応力腐食割れに免疫なα系ステンレス鋼溶接管	1997.6
ステンレス鋼	住友金属工業	熱中性子遮蔽用ボロン添加ステンレス鋼	ボロン添加により熱中性子の遮蔽能を増大し使用済核燃料の貯蔵容器や輸送容器に使用	1997.12

区 分	会 社 名	製 品 名	概 説	発表時期
ステンレス鋼	川崎製鉄	R430XT	深絞り加工性と耐リジング性が優れたフェライト系ステンレス鋼	1997.12
	大同特殊鋼	SUSトラス	モニュメント等建築用として開発した、意匠性に優れ、眩しき防止の表面処理したトラス材	1997.4
	大同特殊鋼	冷鍛用SUS630	従来難加工であるため熱鍛加工を行っていたSUS630を成分調整して、冷鍛用に改善	1997.11
	日新製鋼	オーステナイト系抗菌ステンレス鋼 NSS AM-3	微小Cu粒子(ϵ -Cu)を鋼中に析出させることで抗菌性を高めた高加工・高耐食用ステンレス鋼	1997.4
	日新製鋼	耐熱オーステナイト系ステンレス鋼 NSS 302BN	SUS310S以上の高温酸化・高温強度を有し、かつ加工性・溶接性にも優れた安価なステンレス鋼	1996.10
	山陽特殊製鋼	QSF190L	SUS430F以上の被削性と、優れた耐錆性・アウトガス特性を有し、精密部品に適す	1997.4
	愛知製鋼	ステンレス不等辺アングル(圧延品)	従来の溶接・切断法に比べ量産化可能なステンレス不等辺アングル圧延品	1997.4
	日本冶金工業	高耐食スーパーステンレス鋼 NAS 354N	高濃度塩化物環境で優れた耐孔食性、耐隙間腐食性、耐SCC性を有するステンレス鋼	1997.1
工具鋼	住友金属工業	プラスチック型用鋼 SD21	S55C相当の硬度で2倍以上の被削性と溶接性に優れたプラスチック成形用金型	1997.9
	大同特殊鋼	汎用・耐食プラスチック型用鋼 G-STAR	HRC35の納入硬さでそのまま使用可能な耐食性に優れた汎用タイプのプラスチック型用鋼	1997.11
	山陽特殊製鋼	QCM10	高硬度(64HRC)の得られる冷間工具鋼。転造ダイスやロールに適す	1997.4
	日立金属	HAP5R	冷、温間での塑性加工用に開発され、靱性と等方性に優れたマトリックス系粉末ハイス	1997.11
表面処理	新日本製鐵	良導電性表面処理鋼板	後処理改良により耐食性、耐指紋性、塗装性を確保しつつ、鋼板表面の導電性を向上させた表面処理鋼板	—
	新日本製鐵	抗菌性エリオ鋼板	高級意匠性塗装鋼板として定評のあるエリオ鋼板に新たに抗菌性を付与した製品	1997.9
	住友金属工業	ハイコートCL (防かび・抗菌塗装鋼板)	防かびおよび抗菌塗装鋼板に加え、両機能を兼ね備えた塗装鋼板を開発。品揃えを充実化	1997.2
	N K K	多機能型新潤滑防錆鋼板 UZ-C3	潤滑性、塗装性、印刷下地適性、通電性等の種々の特性を付与した多機能新潤滑防錆鋼板	1997.8
	N K K	Ni系無機潤滑被覆合金化溶融亜鉛めっき鋼板 PZA-N	優れた成形性を有するNi皮膜を被覆した自動車用合金化溶融亜鉛めっき鋼板	1997.11
	神戸製鋼所	コーベジックKS処理	プレス加工時の型かじり性を強化し、導電性、耐指紋性等を兼ね備えた電気亜鉛めっき鋼板	1997.4
	日新製鋼	アルカリ可溶潤滑被覆処理(Wコート)ステンレス鋼板	潤滑保護フィルムの代替として、加工後のアルカリ脱脂で溶解可能な潤滑被覆をした鋼板	1996.10
	日新製鋼	常温非粘着塗装ラミネート鋼板	耐油汚れ性・耐マジック汚染性に優れた常温用途のプレコート鋼板	1997.1
	日新製鋼	テクスター5種	エアコン室外機等の屋外で使用される加工用途に適した高耐食・高耐候用プレコート鋼板	1997.3
	東京製鐵	溶融亜鉛めっき帯鋼(T-ZINC、T-ALLOY)	最新の設備を用いて電気炉鋼から一貫生産した溶融亜鉛めっき帯鋼。建材・家電向けに販売	1997.4
	新日本製鐵	NSコラム	柱・梁のダイヤフラムを梁が取り付く位置に予め溶接した建築構造用鋼管	1996.10
鉄鋼製品その他	N K K	横連結間柱型制震ダンパー	極低降伏点鋼の適用により地震エネルギーを吸収。既存建築物の耐震補強にも適用可能	1997.9
	神戸製鋼所	高機能抗菌チタン SPARKT (スパーク)	光触媒機能により抗菌、異臭分解、汚れ防止、NOx低減能を有するチタン材	1997.6
	大同特殊鋼	PPW スーパーヒータ	廃棄物発電の高効率化を狙い、高耐食材料をプラズマ溶接で肉盛りしたスーパーヒータ管	1997.4

区 分	会 社 名	製 品 名	概 説	発表時期
	大同特殊鋼	MA合金製ランスパイプ	高温下で安定したクリープ強度を持つMA合金を応用した高炉微粉炭吹き込み用ランスパイプ	1997.4
	大同特殊鋼	無機系抗菌材 ギンテック	Agメタルをセラミック粉末に分散コートした0.2 μ m以下の微細抗菌粉末	1997.5
	大同特殊鋼	電磁波吸収材料	広い周波数域で高い透磁率を持つ磁性体(Cr系電磁SUS)をゴムと複合して成形した新材料	1997.10
	日立金属	ZDP189	カスタムナイフ材として最高の硬さと優れた靱性、耐食性を兼ね備えた粉末ステンレス鋼	1996.9
	日立金属	YSS HS718	結晶粒の微細均一化で低サイクル疲労強度を向上したジェットエンジン用Ni基超耐熱合金	1996.10
	日立金属	微結晶Tiターゲット	低パーティクル化のため、平均粒径5 μ mを実現した微結晶ターゲット材	1997.1
	合同製鐵	G ジョイント	鉄筋端部に予めネジ部品を圧接しカプラーとナットで締め付ける高強度機械式鉄筋継手	1997.6
	大平洋金属	磁気シールドルーム用 PCパーマロイ材	地磁気や変動磁界から電顕やEB描画機等をシールドする材料。過去4件の実績がある。	1997.11



入門講座

分析試験法編-1

総論「元素を定量する」

吉川裕泰

NKK 基盤技術研究所
物性解析研究部

Hiroyasu Yoshikawa

Element Analysis in Iron and Steel

1 はじめに

鉄鋼材料の分析技術について分析専門外の研究者・技術者のための入門としてその概要を示し、材料研究等により有効な形で利用するための講座としたい。まず、本稿は総論として「元素を定量する」というタイトルで分析全体の概観を述べることにする。なお、本講座はこの総論をはじめ、鉄鋼分析技術に関する各種の技術を紹介する予定である。

2 「分析」とは

「分析」とは何を意味する言葉であろうか？

物質を構成する元素を分離(化学反応を利用する分離、分光学的なスペクトル分離学を用いて)し、そこから得られる情報をもとに物質を解析することと定義できようか。よって、鉄鋼材料の分析とは材料中に含まれている炭素、けい素、マンガンなどの元素を化学的または物理的に分離し、そこから得られる情報(存在の有無、または量的情報)をもとに材料を解析することになる。

分析は定性分析と定量分析の二つに大別できる。定性分析とは目的の元素または化合物が含まれているか否かを判断する方法であり、定量分析とはその量を求める方法である。

定量分析の中で(1)主成分分析、(2)微量分析、(3)超微量分析、といった言葉もよく使われている。(1)～(3)は分析目的成分の量的関係から使用されており、主成分分析とは文字どおり材料中の主成分(例えばステンレス鋼中のニッケル、クロム)の分析を意味し、0.01%以下1 ppm程度の濃度の分析を微量分析、それ以下を超微量分析と呼ぶことが多い。主として鉄鋼材料全体に含まれている量を把握することが多いことから、元素分析とも呼ばれている。

一方、形態(状態)分析、局所分析といった言葉もよく用いられている。形態(状態)分析とは鉄鋼材料中の介在物、析出物をその組成と量を把握するための分析方法を意味し、局所分析とは材料表面・結晶粒界等の特定の位置(場所)における分析(元素分析、形態分析)という意味で使用されている。

また、化学分析、機器分析といった言葉もよく用いられている。化学分析とは純粹には全て化学反応式で記述できる(すなわち化学量論的に事象を取り扱うことができる)分析方法を意味するが、現在ではこれに加えて測定は機器分析であるものの装置校正(キャリブレーション)を純粹な物質などを用いている分析(後述する吸光光度法、原子吸光法など)もこの範疇に入れている。

一方、機器分析法とは相対的に分析値を求める方法を意味し、例えば固体発光分光分析(通称カントバック)や蛍光X線分析法がこれにあたる。これら機器分析法は認証標準物質(認証値は化学分析法で決定してある)によって分析装置を校正し、それに対して相対的に供試材の成分分析を行う。

表1 主な分析方法の原理

原 理	具体的な分析方法
(1)質量・容量の測定	重量法 滴定法
(2)電気化学的な測定	pH測定 導電率測定 電位測定 電量測定
(3)電磁波を測定	吸光光度法 原子吸光法 化学発光法 蛍光光度法 ICP(プラズマ発光分析)法 スパーク発光法 蛍光X線分析法 赤外線吸収法、質量分析法
(4)核反応の利用	中性子放射化分析法 荷電粒子放射化分析法

3 分析の種類

近代化学の発展は18世紀末のラボアジェによるものと言われているが、分析の発展も同じである。19世紀における化学反応論の基礎とそれに伴う分析方法(前述した純粋な化学分析法)の確立、さらには20世紀初頭から起こった量子論、X線や電子線の発見とその分析化学への応用による分光学の進歩が、現在の分析全般に寄与しており、鉄鋼分析もその一つである。

現在利用可能な分析法は非常に数多い。表1にその一例を示した。質量・容量を測定するもの、電気化学的なもの、電磁波(可視光、紫外光、赤外光、X線、電子線等)を利用するもの、核反応を利用するもの等、非常に多くの現象を分析方法に応用していることがわかる。

4 鉄鋼分析に利用される分析

本稿は元素を定量するをテーマとしているので、ここからは鉄鋼の元素分析法を中心に解説を進めることとする。なお、本講座で今後取り上げられる予定になっている方法についてはその概略を示すのみとしたい。

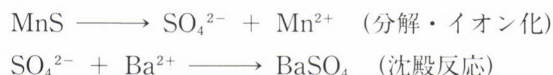
4.1 化学分析法

化学分析法とは化学反応として記述できる、すなわち化学量論的な絶対法と基準物質をベースとし測定は機器分析手法による相対法の2種類に大別できることは前述した。前者では重量法や滴定法が相当し、後者は吸光光度法等である。

4.1.1 重量法

鉄鋼材料を酸等で分解し、全元素をイオン化した後、分析目的元素のみを化学反応によって沈殿させ、固体として分離する。この沈殿をろ過操作等によってこし別けて、その質量測定から元素の濃度を求める方法である。

鉄鋼中の硫黄分析の例¹⁾を述べよう。分析試料を王水で分解・イオン化すると鋼中硫黄は硫酸イオンとなる。これにバリウムイオン(塩化バリウム溶液)を添加すると、白色の硫酸バリウム(BaSO_4)が直ちに生成し始める。この沈殿の質量を測定し、化学量論比から硫黄量を求める。反応式は以下のように記述できる。



4.1.2 滴定法

滴定法はその検出方法がいくつかある。代表的なもの

としてpH滴定(中和滴定もこの範疇)、酸化還元滴定、電位差滴定、導電率滴定および錯(錯体)滴定がある。鉄鋼材料の場合は酸化還元滴定および錯滴定が主として用いられている。滴定とは材料を酸等で分解・イオン化した後に分析目的元素のみと反応(酸化還元反応、錯体生成反応など)する物質(イオンまたは分子)を溶液としてビュレット等で滴下し、その当量(反応の終点)を電気化学的(pH、電位差等)に、または目視(錯体生成に伴う溶液の色の変化を判断する)で決定する方法である。この場合滴定に用いられるイオンまたは分子は第1次標準物質またはそれによって力価を決定してある物質である。

鋼中クロムの定量方法²⁾を紹介する。分析試料を酸等で分解した後、生成した3価クロムイオンを6価クロムイオンに酸化する。これを第一鉄イオン(モル塩を水に溶解したもので滴定(6価クロムの還元反応)し、還元に要した第一鉄イオン量からクロム量を反応のモル比に基づき求める。なお、ここで滴定に用いられるモル塩(硫酸第一鉄アンモニウム)は第一次標準物質ではないために、あらかじめその力価を第一次標準物質である二クロム酸カリウム(重クロム酸カリウム)を用いて決定しておく必要がある。

4.1.3 吸光光度法

溶液中に存在するイオンまたは分子に特定の光を照射すると物質の濃度に対応して光が吸収される現象を利用する方法である。一般には紫外・可視光が光源として用いられる。一定距離の中を光が通過するとき $A = -\log I/I_0 = \epsilon CL$ の関係(ここでA:吸光度、I:透過光の強度、 I_0 :入射光の強度、 ϵ :吸光係数、C:濃度、L:光の通過する層長、ランバート・ベールの法則)がある。

鉄鋼中のりん分析法³⁾を具体例としてその適用方法を述べる。試料を硝酸または王水で分解・イオン化した後、過塩素酸白煙処理によりりんを正りん酸イオンまで酸化する。これにモリブデン酸イオンを反応させるとモリブドリン酸錯体が生成する。この錯体は300nm付近で光を吸収する性質を持っており、錯体を酢酸ブチル等の有機溶媒に抽出して定量する方法がある。また、このモリブドリン酸錯体は2価のすずイオンで還元すると青色の還元錯体を生成することが知られており、これを780nm付近における吸光度を測定することで定量も可能である。これら方法は感度(錯体1モル当たりの吸光係数、一般にモル吸光係数と呼ばれる)が異なるために、予想濃度にあわせて分析方法を選択しているのが現状である。

4.1.4 原子吸光法

本方法も光の吸収を利用(利用する波長も紫外・可視領域)

域)する分析方法である。前述の吸光光度法との相違点は吸光光度法が溶液中における分子・イオンの光吸収現象であるのに対して、本法は炎や高温(1000～3000℃程度)の雰囲気中で生成した原子蒸気の吸光を利用するものである。すなわち、溶液試料中に含まれるイオンを高温状態にすると原子蒸気層が形成される。この蒸気中にある原子を基底状態から励起させる波長の光を通過させてやると原子の数に応じて吸光現象が起こる。この吸光量から濃度を求めることができる。

理論的には前述の吸光光度法と同じランバート・ベールの法則が適用できる。分析可能な元素は金属元素が主であり、分析の操作性も良好である。

原子蒸気の作り方(加熱の方法)の代表的なものは以下のとおりである。一つは化学炎(フレイム、例えば、アルゴン-水素：約1000℃、空気-アセチレン：約2000℃、一酸化二窒素-アセチレン：約3000℃)による方法と、もう一つは黒鉛キューベットの加熱(小型の黒鉛キューベットに高電流を通じ、この時の抵抗加熱により瞬時に高温を得る)による方法がある。前者をフレイム原子吸光法、後者を黒鉛炉原子吸光法(フレイムレス原子吸光法)と呼んでいる。フレイム原子吸光法の装置概略を図1⁴⁾に示した。光源部、原子化部および測定部に大別できる。具体的には溶液試料をキャピラリーを通じて原子化部(フレイム中)へ霧化し、そこでの吸光現象を測定する。

一方、原子吸光測定時に試料中の共存元素がバックグラウンドの吸収を引き起こすことがある。すなわち、共存物質が加熱時に分子を生成し、測定対象元素の光を吸収することが主な原因となっている。このバックグラウンド吸収を補正しないと正しい分析値を得ることができない。補正方法としては重水素ランプ(3510nm以下の波長)、または強磁場中におけるゼーマン効果を利用する方法(全ての波長域)が主として用いられている。

原子吸光法による鉄鋼中の元素分析方法には例えば、マンガン以下18元素がJIS法⁵⁾として採用されている。通常は試料を塩酸・硝酸などの酸に分解後、そのまま分析に供される。分析可能濃度域は元素によって異なるものの、0.00X～2%程度まで定量可能である。

4.1.5 誘導結合プラズマ発光分析(ICP-AES)およびICP質量分析(ICP-MS)法

ICP-AESおよびICP-MS法の詳細は今後本講座で解説予定であるので、ここでは簡単に述べる。図2に示したようにプラズマトーチにアルゴンを通じておき、誘導コイルに高周波を導くと、電磁誘導のために強力な電界が発生する。その結果としてアルゴン分子が電離されプラズマ状態

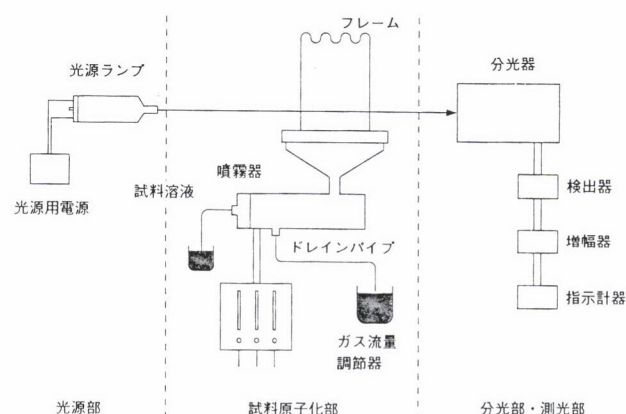


図1 フレイム原子吸光法の概要

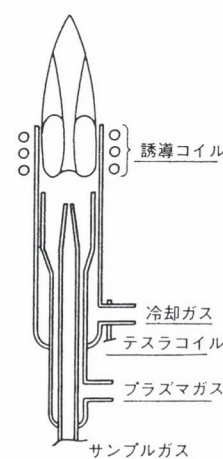


図2 トーチの構造

(温度8000～10000K)を生成することができる。ここに前述した原子吸光法と同じように溶液を霧化すると、プラズマの熱エネルギーによってほとんどの元素が発光する。この光を分光器で分光し、各元素特有の波長における発光強度から元素を定量する方法である。

一方、ICP-MS法はアルゴンプラズマ内で生成されるイオンを質量分析計に導き、そのイオン電流の強度を測定することによって各元素を定量する方法である。これら方法は金属、非金属関係なく多くの元素を同時に定量できる特徴を有している。

4.2 機器分析法

鉄鋼中の各元素の定量に主として用いられる機器分析法は固体発光分析法および蛍光X線分析法である。両者は1960年代に鉄鋼分析に適用されて種々の研究等により迅速にかつ多くの元素を同時に定量可能な方法として確立され、鉄鋼分析の生産性向上等に多くの成果をあげている。

なお、以降述べる分析方法については今後詳細な解説が予定されているため、ここでは概略を記すにとどめる。

4.2.1 固体発光分析法

分析試料と対極との間でスパーク放電を起こさせ、その時に発生する各元素特有の輝線スペクトル強度を光電的に測定し、濃度を求める方法である。

最近ではこの方法以外にグロー放電による発光分析も鉄鋼材料に適用されている。

4.2.2 蛍光X線分析法

RhまたはSc等のX線管から発生させた1次X線を分析試料に照射すると、各元素特有のX線(2次X線)が発生する。これを分光器で分光後、検出することで定量する方法である。分析機器には波長分散型およびエネルギー分散型の2種類がある。

以上述べた固体発光分析法および蛍光X線分析法は組成の類似した標準試料を用いた装置校正後の測定を行う相対的な分析方法である。

4.2.3 燃焼赤外線吸収法

鉄鋼中の炭素および硫黄分析に用いられる方法である。銅試料から採取したチップ状または内抜きされたペレット状試料をアルミナシリカ質のろつばに助燃剤(すずまたはタングステン)とともに入れ、酸素雰囲気化で加熱(高周波加熱または電気管状炉加熱)し、炭素は二酸化炭素、硫黄は二酸化硫黄として酸化し、気体として試料から分離する。発生したそれぞれのガスの赤外線吸収度合から定量する方法である。

4.2.4 不活性ガス融解法

鉄鋼中空素、酸素および水素分析に用いられる分析方法である。純黒鉛のろつばにチップ状、ペレット状またはピン状に試料調製した分析試料を入れ、ヘリウム雰囲気下で加熱(抵抗加熱)し、窒素は窒素ガス、酸素は一酸化炭素または二酸化炭素、水素は水素ガスとして気化させる。発生した窒素および水素ガスは熱伝導度法により、酸素(一酸化炭素または二酸化炭素)は赤外線吸収法によりそれぞれ定量する。

4.3 放射化分析

試料に熱中性子または荷電粒子を照射して特定の元素を放射性核種に転換させる。その後 γ 線等のエネルギー等から定量分析する手法である。原子炉等の特殊な装置が必要でどこでも分析できるというわけにはいかないが、超微量

分析には大きな力を発揮する分析方法である。

4.4 その他の分析方法

介在物・析出物分析は材料中の化合物をその形態ごとに定量する方法であり、原理的には酸による抽出または各種有機溶媒中における電解抽出分離操作を行った後に、前述した分析方法(例えばICP-AES、原子吸光法等)によって各元素を定量している。

5 分析方法のパフォーマンス

分析方法のパフォーマンスとは何であろうか?例えば感度、精度、正確さ、定量範囲および迅速性(分析時間)等と考えるとさしつかえない。

そこで、前項までに解説した分析方法のうち主たるものについて表2にそれをまとめた。意味のある分析を実施するには目的に応じた方法を選択することが重要である。

6 鉄鋼分析用認証標準物質

機器分析のための校正(キャリブレーション)や分析の正確さを実証するために多くの鉄鋼認証標準物質がある。これらは何箇所かの分析所間で同一試料を分析し、得られた結果を統計処理等によって処理し、認証値(標準値)を定めている。

例えば、日本鉄鋼認証標準物質(通称JSS CRMS)として現在は鉄鉄から超合金まで327種類の物質を日本鉄鋼連盟が発売・頒布している。JSS CRMSの製造は素材の製造、試料の調製、認証値決定用分析さらに認証値の決定のプロセスからなっている。特に認証値決定プロセスは重要であり、大学・国立研究機関および鉄鋼各社などの参加のもとに、約15箇所の分析所の共同実験として行われている。

その他にNIST(米国)をはじめ各国の認証標準物質がある。

表2 主な鉄鋼分析法のパフォーマンス比較

	感度	精度	正確度	定量範囲	迅速性
(1)重量法	△	◎	◎	主成分	X
(2)滴定法	△	◎	◎	主成分	X
(3)吸光光度法	○	◎	◎	微量	△
(4)原子吸光法	○	◎	◎	微量～超微量	○
(5)ICP法	○	◎	◎	微量	○
(6)ICPMS法	◎	○	○	超微量	○
(7)固体発光法	○	◎	○	微量	◎
(8)蛍光X線法	○	◎	○	微量～主成分	◎

7 分析法の公定化

鉄鋼材料商的取り引きの円滑化等を推進するために、分析方法の標準化が進んできた。JISではG部門に30規格の分析方法が制定されており、つねにリニューアルが計られている。特に最近ではISOに定められた方法のJIS化も進んでいる。これら規格標準化は日本鉄鋼連盟標準化センターを中心に作業が進められている。

一方、ISO 9000シリーズの取得をはじめ米国ファスナー法に基づく試験所認定、さらにはISOガイド25に基づく一般試験所認定など分析方法の規格化のみならず、分析室の質(能力)を認定する動きが起こっており、各分析所でそれぞれの対応を実施しているのが現状である。

規格化とは別に日本鉄鋼協会生産技術部門分析技術部会では製鉄所における共通する分析技術検討等を共同で進める体制ができており、例えば、フレイムレス原子吸光法による分析技術検討、発光分光法による酸素分析、ICP-AES分析法の適用拡大、高濃度域の新しい化学分析法検討が進捗している。また、学会部門の評価・分析・解析部会では極微量分析法検討、FIA(フローインジェクション分析)の検討等4つのフォーラム、7つの自主フォーラムが活発に活動しており、次世代の元素分析・形態分析方法の検討を共同で進めている。

8 おわりに

本稿では総論「元素を定量する」のタイトルで化学分析をはじめいくつかの分析方法、鉄鋼認証標準物質、分析方法の標準化等について分析全体にわたって述べた。参考にいただき、ぜひより有効な分析を実施して、研究開発等に役立てていただきたい。

最後になるが、分析(技術)は装置だけそろえればよいわけではない。むしろそれを十分に使いこなし、役立つ内容を情報として発信することが重要である。

より高い能力を有する技術者・技能者の育成(伝承)が必要であろう。

参考文献

- 1) JIS G 1215 (1994), 鉄及鋼—硫黄定量方法
- 2) JIS G 1217 (1992), 鉄及鋼中のクロム定量方法
- 3) JIS G 1214 (1992), 鉄及鋼中のりん定量方法
- 4) 機器分析のてびき, 化学同人, (1984) No. 3, 29.
- 5) JIS G 1257 (199), 鉄及鋼—原子吸光分析方法
- 6) 日本鉄鋼業における分析技術, 日本鉄鋼協会, (1982)
(1998年2月10日受付)



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 鉄鋼の圧延技術抄史 1945-1965

中川吉左衛門 広島電機大学 教授

Kichizaemon Nakagawa

Historical Aspects of the Steel Rolling in Japan 1945-1965

1 はじめに

社団法人日本鉄鋼協会の会報編集委員会は、本会共同研究会の各部長経験者に、終戦から1965年までの戦後復興と発展の足取りについて、分担執筆するように依頼しているという。筆者は1951年大学卒業後直ちに川崎製鉄株式会社に入社したので、この初期には経験がないと辞退したが、この時期に活躍され、復興・発展に真に尽力された先輩諸兄に、そのご指導への感謝を捧げるため、ご指名を受けることにした。

戦後の復興に当たって、占領下でのことで、苦労されたことと思う。また、その後の発展は大きい、零からの出発ではなく、戦中またはもっと以前からの、それぞれの分野がどうあるべきかを深く考えていた諸先輩の方々の叡智が、周囲の援助と時機を得て、この時期に急成長したと思う。圧延技術についても、その連続化、自動化、さらに大型化、高速化も加わり、連続大量生産方式によるコストダウンを遂行していった。連続化、高速化は新しい高度な品質を生むことにもなった。

さて、終戦後から始まるこの時期の一般状況に触れることへの是非はあると思うが、尋常ならざる状況であり、これを脱出し地ならしをなし得たからこそ、その後の発展があったと考えられるので、この時期の共通認識を持つため触れたいと思う。このシリーズにおけるコークス技術抄史¹⁾、日本鉄鋼業(その軌跡)など^{2,3)}からも引用すると、1945年8月15日、第2次世界大戦が終わり、あらゆる状況は悲しいが荒廃の極にあった。その上、占領管理下の重工業に対して、極東委員会(主たる対日交戦11か国—後に13か国から成る)並びに連合国の対日占領政策は、「日本の潜在的戦争能力の完全排除」と「経済の民主化」を主眼として行われ、1946年8月にGHQ(連合軍総司令部)より鉄鋼13社22工場に対して賠償指定が行われた。これは1949年5月に

解除されたが、筆者が1951年4月に入社した当時、設備の一部に賠償指定の貼紙が一部残っていたように思う。その他、財閥の解体、主要企業の責任者の追放、企業の解体など、行方がどうなるかわからぬままに混迷を続けた。

2 戦後の復興

2.1 復興に向かって

戦争が終わっても、占領された我が国にとって、すぐに復興とはいかなかった。日本鉄鋼業(その軌跡)²⁾によると、復興時代を1946年～55年(昭和21年～30年)と、1955年までとしているが、同書33頁には、わが国鉄鋼業の戦後生産の立ち上がりは、在来の設備を復旧し、利用して、1950年にはほぼ戦前の生産を取り戻すことができたともあり、種々凸凹はあるが、朝鮮戦争までの1946年～50年を復興時代としてよいと思う。

とりあえず、平和産業としての鉄鋼業の姿が模索され、1946年12月、経済安定本部を中心に、「傾斜生産方式」が計画され、まず炭鉱へ鉄鋼を重点的に投入し、増産された石炭を重点的に鉄鋼生産のために投入し、こうして増産される鉄・石炭を他の産業に割り当てることによって、順次生産全体に効果を及ぼしていく方式が推進された。この施策は戦後再建に最も効果があったと評価されている⁴⁾。

1947年3月、ギリシャ内乱を契機とする東西の対立が明らかになり、国際状況を急角度に変化させた。西側自由圏における発展・復興が計画され、同年6月にマーシャル・プランが発表された。これが、米国の対日政策に微妙な変化を与えて行くことになる³⁾。

1947年7月、拙速の努力によりとして、最初の経済白書(この時には、経済実相報告書といった)が経済安定本部から発表された⁵⁾。以来順次継続されることになる。1948年6月にインドで開かれたエカフェ会議で、東アジアの経済

再建と発展のため、日本の工業力が利用されるべきことが決議され、我が国の復興への温かい援護が与えられた²⁾とある。

1947年の後半から、米国ストライク調査団による技術調査が行われた。鉄鋼班長としてUSスチールのベネット圧延部長が来日（その後もしばしば来日）し、1948年には、屑鉄（製鋼用原料である）調査団が、1949年初めにも第2回同調査団が来日し、これらにUSスチールの部長などの来日があり、我が国の技術者が米国の実情を知り、アドバイスを得る絶好の機会であったという²⁾。筆者の入社早々の記憶では、「すべてを計測して、その値をもとに操業する」という、勘を排除する提言が心に残っている。

また、調査団とは別に、GHQの招請により、指導のためにUSスチールの人々が来日し、これらは示唆多いものであった。前述のストライク調査団の報告は好意的で、「鉄鋼無用論を一掃した」とある。この時期のアメリカの調査団の来日とその指導は、わが国の技術向上に大きな刺激であったことがわかる²⁾。

2.2 復興期の技術

戦中、戦後の「生産設備年次調査表」によると、表1のように示されている⁶⁾。圧延技術は製品の種類の数と圧延機の種類の数だけあると考えられるが、大きくくりすることにする。

また、分塊圧延や厚板圧延などの熱間圧延においては、加熱と冷却の技術が圧延技術とその理論に大きく影響す

る。冷間圧延においても、その圧下率とその後の焼鈍技術が同様である。しかし、製品ごとの部会などもあり、圧延工場のうち、圧延機設備と圧延技術に注目する。

当時より若干あとの終戦後9年経った1954年、日本鉄鋼協会、通商産業省重工業局、日本鉄鋼連盟の3者からなる鉄鋼技術共同研究会の中の鋼材部会は、鋼材部会報告（鉄鋼圧延に関する研究）第1～3巻⁷⁾

第1巻 圧延理論、分塊圧延、薄板圧延

第2巻 中小形圧延、線材圧延

第3巻 帯鋼圧延、鋼管圧延

を報告している。

2.2.1 分塊圧延

大型鋼片を処理する分塊工場は、すべて二重逆転式圧延機を用い、駆動にはイルグナー式電動発電機により高圧の交流を直流に変換し、これを圧延機に直結したミルモーターに導いて運転を行うのが普通であった。分塊工場の配列には分塊圧延機のみにより構成されているものと、これに1～2組の連続式鋼片圧延機を付属させて、小断面鋼片およびシートバーの圧延を行うものに分類される⁸⁾。

また、形鋼用の分塊圧延は、ブルームやビレットを圧延し、継目無管用の分塊圧延は丸鋼を圧延した。

2.2.2 形鋼・線材圧延

大形圧延においては、分塊工場より直接送り込まれた熱鋼片もしくは冷鋼片の再加熱したものをを用い、3重もしくは

表1 圧延工場建設年次別表⁶⁾

種 別	昭和12年	13年	14年	15年	16年	17年	18年	19年	20年	21年	22年	23年
分 塊	3297(12)	0	79.8(3)	600(1)	600(1)	165(1)	801.6(4)	199.2(3)	0	0.5(1)		5,743.1(26)
大 形	818(7)	0	36(1)	120(1)	0	135(1)	0	0	37.5(1)	0	0	1,146.5(11)
中 形	771.4(15)	282.8(5)	7.04(5)	48(2)	24(2)	40.2(3)	150(2)	50(3)	▲110(2)	6(1)	0	1,466.4(36)
中小形	231.14(10)	60.3(3)	47.4(5)	0	0	0	6(1)	5.6(2)	0	150(1)	0	500.44(22)
小 形	1,072.94(37)	28.4(6)	71.2(7)	37.8(6)	41.4(4)	6(1)	8.4(2)	▲ 75(1) 39.25(3)	14.35(2)	2.1(2)	0	1,246.84(69)
線 材	562(6)	0	0	0	0	180(1)	3.84(1)	0	0	0	0	745.84(8)
厚 板	1,026.35(11)	3.6(1)	297.02(5)	110(2)	21.6(1)	450(1)	0	▲ 60(1) 12(1)	0	0	0	1,860.57(21)
中 板	313.79(9)	0	0	0	0	0	0	0	1.2(1)	0	0	314.99(10)
薄 板	445.65(11)	1.2(1)	3.6(1)	2.4(1)	0	0	0.6(1)	0	0	0	0	453.45(15)
ブリキ	150(2)	0	0	0	0	0	0	0	54(1) ▲120(1)	0	0	81(2)
ユニバーサル 高級生鉄鋼板	135(3)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	135(3)
帯 鋼	194.5(5)	6(1)	3(1)	0	ストリップ 270(1)	0	0	0	0	0	0	473.5(8)
筒 管	359.2(11)	0	0	0	0	0	116(3)	0	5(1)	0	0	464.2(15)
外 輪	36(3)	0	0	0	0	0	0	13(1)	0	0	0	49(4)
その他	10.75(4)	0.012(1)	0.18(1)	1.41(2)	0.54(2)	0	0.36(1)	4.65(4)	0	0.97(2)	0	18.842(47)

▲：廃止、()：工場数

は2重逆転式圧延機にて圧延を行う。圧延機は3～4基のスタンドを横一列に配列して構成する⁸⁾。

中形圧延は普通3重圧延機を用い、4～5基のスタンドを横一列に並べるが、仕上最終スタンドを2基または複2重式としたものもあった。小形圧延機を併置した中小形工場にしたものもあった⁸⁾。

小形圧延においては、圧延機を2列に配列し、第1列を粗圧延機とし、1～2基の3重圧延機を横に配列して粗圧延を行い、仕上列はこの列に平行に配列され、4～5組の圧延機を備えて仕上圧延を行うものが、いわば旧式工場の標準であった。進歩したものでは、粗圧延として2重連続式圧延機を用いていた。中形圧延機と併置するときは、前記の如き中形圧延機に小形圧延機を平行に配置する。

更に進歩した中小形工場が戦争末期に、日鉄輪西に建設された。いわゆるジグザグ配列の工場で、粗圧延機は準連続式と連続式とを組み合わせた形式で、通過材をチルターにより回転させ、材料通過に無理がなく、正確な製品寸法が得られたとある⁸⁾。

線材圧延の圧延機は、普通4列に分かれており、この中最初の1列に3重圧延機を配し、他は複2重式とし、3～4組の圧延機を1列として配置したもの、最初より複2重式をもって階段状としたものがあった。進歩したものでは、最初の2列を連続圧延機としている。仕上げまでの通過数は16～19パスで、仕上径の最小は5.5mm丸が普通である⁸⁾。この仕上径の最小が5.5mmより若干小さくなったのは最近のことである⁹⁾。

2.2.3 鋼板圧延

鋼板では、板厚6mm以上のものを厚板、板厚3mm未満のものを薄板、この中間のものを中板という。

(1) 厚板圧延

厚板の圧延は、二重逆転式圧延機によるものと三重ラウト式圧延機によるものがある。前者は大型の鋼板、後者は比較的薄い厚板圧延に利用された。二重逆転式圧延では、直接鋼塊からあるいは分塊圧延された鋼片から圧延され、粗圧延用と仕上圧延用の2基を備えるのが普通であった。三重ラウト式圧延では、非逆転駆動で中ロールの上下で往復圧延されるが、パスラインの高さが中ロール径の大きさだけ上下するので、その前後において鋼板の受け渡しをするチルチングテーブルも連動して上下する¹⁰⁾。

板厚3.5mm程度以上は三重ラウト式で圧延され、板厚3.2mm以下はプルオーバーミルで圧延されたようである。取引厚と圧延する機種とは、あまり関係なかったという¹¹⁾。

(2) 薄板圧延

プルオーバーミルによる圧延を薄板圧延ということにす

る。

熱間薄板圧延では、素材はシートバーで、その寸法の一例では、幅は200～250mm、長さは790～950mm、厚さは製品の大きさにより種々で6.8～12.5mm、一枚の重量は13～24kgくらいであった¹²⁾。プルオーバーミルの説明図を図1に示す。薄物に仕上げるときには、8枚または10枚重ね圧延を行った。その熱間圧延薄板製造工程を図2に示す。この図は仕上がり8枚重ね圧延のときを示している¹³⁾。

川崎製鉄(株)では、1951年2月に千葉製鉄所を開設し、その建設費を少しでも自前で持つということから、千葉において、1952年11月に、プルオーバーミルによる薄板工場

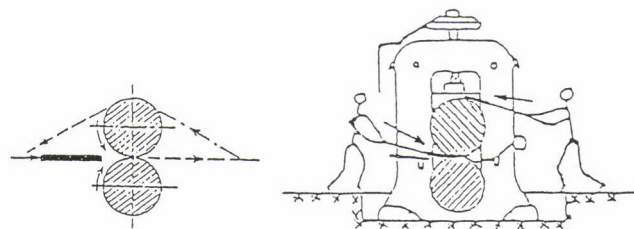


図1 プルオーバーミル¹³⁾

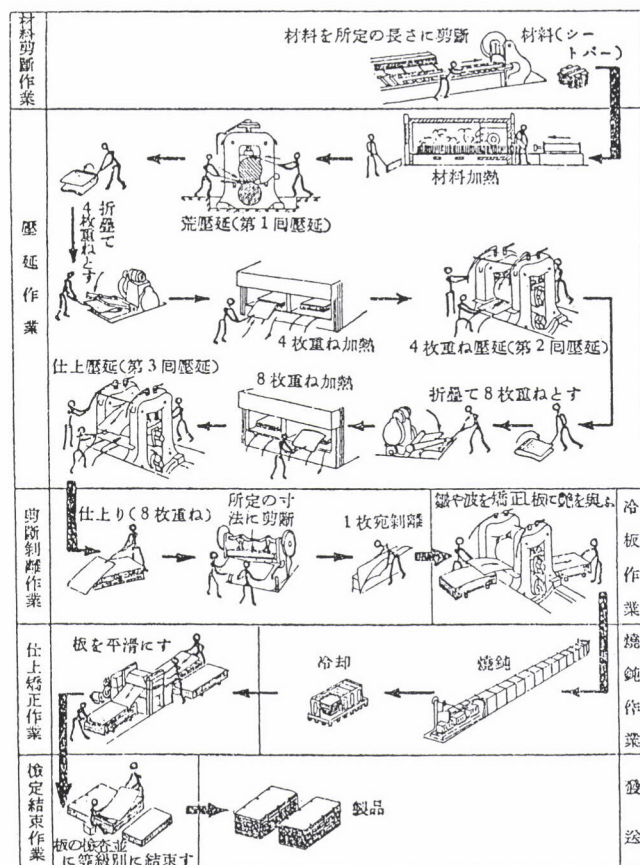


図2 プルオーバーミルによる熱延薄板工程図¹³⁾

表2 戸畑ストリップ熱延粗圧延機¹⁸⁾

圧延機名称	型式	ロール寸法		電 動 機			減速比	ロ ー ル		スタンド間 距 離
		径	長	馬力	電圧	R.P.M.		R.P.M.	周 F. P. M.	
スケール プレーカー	2Hi	27"	43"	HP 500	A.C. 3,300	500	17.20	28.9	203	} 19'~8 $\frac{1}{2}$ " 32'~0"
No.1	"	32"	43"	2500	"	500	20.00	25.0	215	
No.2	"	"	"	2500	"	500	20.00	25.0	215	
同 上 縦		24"		200	220	400/950	28.70	13.9/33.2	87.5/208	} 56'~8"
No.3	2Hi	32"	43"	2500	3,300	500	13.10	38.2	328	
同 上 縦		24"		200	220	400/950	18.00	21.6/51.0	135/320	
No.4	2Hi	32"	43"	2500	3,300	500	9.87	51.0	439	} 79'~ $\frac{1}{2}$
同 上 縦		24"		200	220	400/950	14.35	27.8/66.2	175/416	

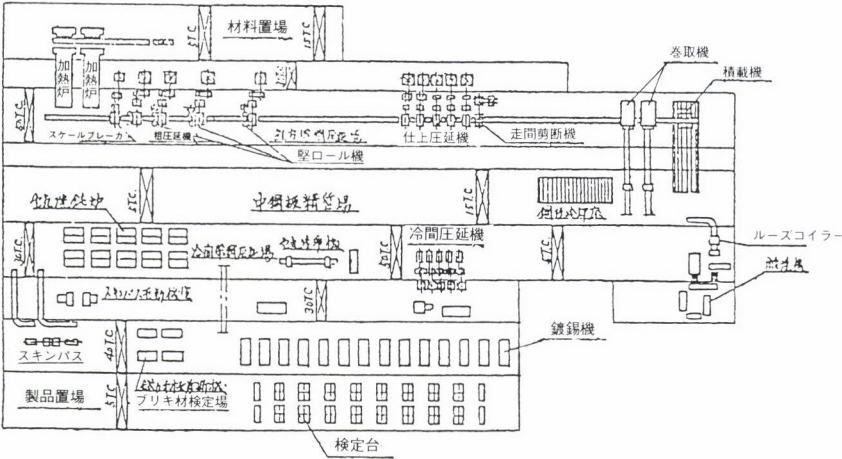


図3 八幡製鉄所戸畑ストリップ工場 (1941年)¹⁸⁾

を建設し操業を始めている。千葉の第1ストリトリップミルが1958年4月に稼働し、この熱延プルオーバーミル工場は1959年1月に休止した¹⁴⁾。

高級薄鋼板の冷間圧延では強圧下を与えるため、3重式冷間薄板圧延機および4重式冷間薄板圧延機が用いられた¹⁵⁾。

川崎製鉄では自動車用、車両用の高級仕上鋼板（特優鋼板）が生産されていたが、戦時中の生産は民需用の普通鋼板が抑制され、航空機用鋼板、防弾鋼板、けい素鋼板、鉄かぶと用鋼板さらに葉きょう用鋼板（久慈製鉄所のルッペを使用し、1942年から生産）が製造された¹⁶⁾。

(3) 帯鋼圧延

帯鋼圧延については、鋼材部会・帯鋼分科会の報告¹⁷⁾に詳しいので、抜粋して述べる。帯鋼は主として米国において発達し、1890年頃までは、スケルプなどは形鋼工場で圧延された。帯鋼薄物の需要が高まり、専門工場で圧延されるようになった。高級材質ものをフープ（帯鋼）、普通品をcottontie（綿花梱包材）といった。

日本最初の帯鋼工場は1935年3月稼働の日本鉄板徳山工

場と4月稼働の日亜製鋼尼崎工場とである。これより前、1931年から日本鋼管では小形工場でスケルプの圧延を初めていた。

(4) 広幅帯鋼連続圧延

ホットストリップ圧延（連続式）

帯鋼の幅は、5/8～3"くらいから、次第に広くなり、7"、10"と広くなり、1920年には22"幅、1923年にはAshlandの連続圧延機で36"幅になり、1926年にはPennsylvania州のButlerの工場で48"幅になった。このButler Millが広幅帯鋼（ワイドストリップ）の模範として発展を続けていく¹⁷⁾。

1941年にアメリカより輸入された広幅帯鋼連続圧延機（ストリップミル）が八幡製鉄所に建設された。図3、表2¹⁸⁾に示すように、粗圧延機は4基あり、それぞれ逆転をしない連続圧延である。粗圧延機では仕上圧延機と異なり、それぞれの圧延機が圧延材料を同時に噛み込んでいることはない。次の熱間仕上圧延機群は、設計では6基であったが都合により5基で建設され、各スタンドの仕様は表3に示すようである¹⁸⁾。

1942年に、アメリカより続いて輸入された中厚板連続圧

表3 戸畑ストリップ熱延仕上圧延機¹⁸⁾

スタンド	ロール寸法		電 動 機				減 速 比	ロ ー ル	
	径	長	馬 力	電 圧	R.P.M.	型 式		R.P.M.	周速F.P.M.
No.1	W. B. 21"×45"	43"	HP 3500	600	200/400	D. C.	3.00	66.5/133	366/ 732
2	"	"	3500	"	200/400	"	1.96	102/204	561/1122
3	"	"	3500	"	135/270	"	直 結	135/270	742/1484
4	"	"	3000	"	170/370	"	"	170/370	935/2035
5	"	"	3000	"	170/370	"	"	170/370	935/2035

注；ロール間隔は18'~0"発電設備は9000 k.V.A. 同期電動機に2基の直流発電機(3250kW)を連絡して構成せるもの2組を用いる

表4 戸畑冷延圧延機設備¹⁹⁾

		1 号	2 号	3 号	4 号	5 号
ウワーク	寸 法	18"×42"	"	"	"	"
	r. p. m. 回 転 数	47 ~72	86~115	144~193	203~273	241~321
バック アップ	寸 法	40"×42"	"	"	"	"
	回 転 数	17 ~27	31~57	53~71	74~100	88~120
減 速 比		8.36	6.923	4.15	2.93	2.458
電 動 機	出 力	500	1000	1000	1000	1250
	回 転 数	400/600	600/800	"	"	"
原 動 機 設 備						
電 動 機	5200HP	3300V		375r.p.m.	3 相 同 期	
発 電 機	3500kW	600V D.C.		375r.p.m.	他 励 複 巻	
励 磁 機	90kW	220V D.C.		375r.p.m.	自 励 複 巻	

延機が広畑製鉄所に建設された。これは粗圧延機が逆転式になっており、半連続式といわれるものである。仕上圧延機群は4基よりなっている。戦後2基を追加して、6基からなる仕上圧延機とし、ホットストリップ圧延を行っている¹⁹⁾。

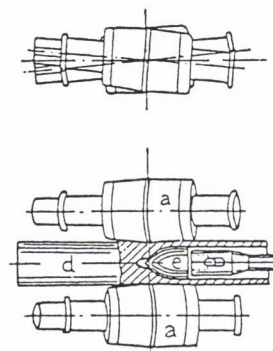
コールドストリップ圧延（タンデムミル）

八幡製鉄所戸畑ストリップ工場には冷間圧延機も設置されている。図3のヤードの中央近くにみえる。この冷間圧延機は4重圧延機の5基の連続式よりなり（5タンデムという）、表4の設備仕様である。5番スタンドの後面にはフライングマイクロメータを付し、走間で厚み測定を行う。圧延中には各スタンド前において、スプレーガンを用いてパーム油を吹きつけ板の延びを良くする。このパーム油は後に電気清浄装置により取り除く。

フライングマイクロメータは規定寸法にて零を指し、厚みの過不足により+-の値を示す。この指示をみて圧下調整を行うが、原則としてまず4号と5号スタンド間のテンション調節を行い、これで不十分な時には1号スタンドの圧下調整を行う。

ロールの旋削に当たっては、4号と5号の上ワークロールのみ0.02mmの中凸とし、他はすべてフラットにした。

1～5号スタンドの仕様は表4のようである¹⁹⁾。

図4 マンネスマン式穿孔法²¹⁾

2.2.4 継目無管圧延

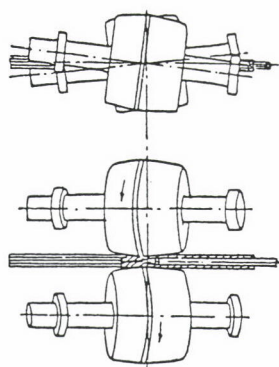
継目無鋼管を圧延製造する最初の工程において、中実の丸鋼片を穿孔して中空素材にする。これが穿孔圧延である。この工程に使用する穿孔機として用いられるものに、ピアサ、クランクプレス、ハイドロリックプレスがある。

このピアサは圧延に分類されるもので、マンネスマン兄弟により発明され、実用化されたピアサでは主ロールおよび補助ロールを使用して穿孔を行い、比較的厚肉の素管を得ていた。その後ロールを改良し、ロール直径増加に伴う周速度の増加と、ガイドシューの適切な使用により、穿孔素管の肉厚を薄くすることを可能にし、次の工程の圧延作業を容易にすることができた^{20,21)}。この両穿孔法を次に示す。

マンネスマン式穿孔は、図4に示すように細長いロールを用い、厚肉素管を製造し、丸鋼塊の穿孔も可能であった。図5に示すスティーフェルマンネスマン式穿孔では、胴径が比較的大きく、胴長が比較的短いロールを用い、加工速度が大きく、薄肉素管を製造し、分塊圧延による丸鋼片のみを素材とした²¹⁾。

しかし、両者は原理的に差がないのでともにマンネスマン式ピアサと称し、前者を厚肉穿孔方式、後者を薄肉穿孔方式と区別することもある。同時の設備をこの分類で表5に示す²⁰⁾。

ピアサにはこの他に、円錐型または円盤型のロールを有

図5 スティーフェルマン式穿孔法²¹⁾表5 厚肉／薄肉・穿孔方式²⁰⁾

型 式	会 社 名	製 作 所 名	台 数	電 動 機		ロ ー ル			能 力						
				馬 力 r.p.m.	r.p.m.	傾 斜 角	最大 径 mm	長 さ mm	使用丸棒		素 管 最大長	能 率			
									max	min		寸法	本/ 時間	トン/ 時間	
厚肉穿孔方式	A-1	Demag	1	850	184	92	6°	445φ	600	185φ	122φ	3M200	3" 6" GP	118 100	11.6 22.0
	A-2	島村工業	1	600	194	97	6°35'	400φ	600	130φ	122φ	1M800	2" 1 1/2"	120 128	11.5 9.2
	A-5	Demag	1	3,350	147.5	61	4°	650φ	927	515φ	279φ	3M200	8" 10"	39 30	25.0 27.0
薄肉穿孔方式	B	Demag	1	1,300	980	91	6°~10°	800φ	500	180φ	75φ	5M800	3" 5"	140 85	6.9 10.5
	C-1	Meer	1	2,000	300	80	4°~10°	970φ	508	220φ	85φ	7M000	3" 6"	120 82	14 22
	C-5	芝浦共同	1	2,700	300	80	4°~10°	970φ	508	220φ	85φ	7M000	3" 4"	120 100	14 15

するスティーフェル式ピアサがあるが、現在我が国にはこの種ピアサを設置した工場はない²⁰⁾。

この原理による穿孔圧延法の特許は1885年1月に認可されたが、実用的に初めて成功したのは1886年8月といわれている²²⁾。

穿孔に続いて行われる製管法は多い²³⁾が、プラグミルによる場合には、プラグとロールの間に圧延され、全長さを圧延後に素管は90°回転され、その後新しいプラグで再度圧延される。つぎに、磨きロール機、定径ロール機（あるいは絞りロール機）に送られて外径を整えられたのち冷却され、精製・検査の後出荷される²³⁾。1945年までの鋼管の生産量は表6のようである²⁴⁾。

2.3 復興期を振り返って

復興期の初期には、何も手付かずの時期があり、これを過ぎてやっと何かをしても、混乱と赤字から抜けられなかった。傾斜生産法を実施するようになって復興が目に見えてきたところで、朝鮮戦争の特需を足がかりに、復興を確かなものとし、次なる発展をめざす気力を持つことが出来たと言えよう。

どの辺からを復興と言えよいであろうか。その日暮らしの生産は終戦後すぐにもあったであろうが、ストックを消費するだけの生産を復興と言うのはつらい。戸畑のコー

表6 1936年から1945年まで10年間のわが国の鋼管の生産量と日本鋼管および住友金属の占めるシェア（製鉄業参考資料による）²⁴⁾

年 次	全 国	N K K		住 友		N K K + 住友	
	トン	トン	%	トン	%	トン	%
1936	188,659	147,260	78.0	41,399	22.0	188,659	100.0
1937	224,256	156,656	69.8	52,298	23.3	208,954	93.2
1938	225,838	151,639	67.1	51,314	22.7	202,953	89.9
1939	270,000	188,878	69.9	52,037	19.2	240,915	89.2
1940	261,186	187,211	71.6	45,804	17.5	233,015	89.2
1941	230,645	157,155	68.1	47,902	20.7	205,507	88.9
1943	204,526	141,421	69.1	36,261	17.7	177,682	86.8
1944	187,731	109,895	58.5	51,734	27.6	161,629	86.1
1945	45,149	20,971	46.5	20,169	44.7	41,140	91.1

（1942年（昭和17年）の統計は見当らなかったで省略した。また、1943～45年の値は戦後1950年にまとめて発表されているので、それを利用した。）

ルドストリップミルは1946年10月に、ホットストリップミルは同年12月に、圧延作業を再開した²⁵⁾。葺合の製鋼工場は1946年10月に再開した²⁶⁾。このあたりの時期が復興の開始とみてよいのではないかと考える。

先述のように、毎年経済白書が出されるようになったが、最初の1947年7月の22年経済白書（この時には、経済実相報告書といった）では、経済緊急対策が付けられており、「財政も赤字、企業も赤字、家計も赤字」と表現され⁴⁾、「傾斜生産方式」が推進されて行く。経済白書の副題は、

22年 付経済緊急対策、23年 回顧と展望、

24年 経済現況の分析、25年 安定計画下の日本経済であり、わが国経済が次第に落ち着きを取り戻しつつあることが、よく判る表現になっている。

3 戦後の発展

3.1 発展に向かって

戦後5年間、懸命の復興努力を行っているところに、1950年6月、朝鮮戦争が勃発し、わが国では鉄鋼業のみならず経済全般が活気づくことになる。

これより少し前、1950年4月、半官半民であった日鉄が、純然たる民間会社2社に分割された²⁷⁾。これを機会に、関西大手3社、住金、川鉄（1950年8月に川重より分離）、神戸が一貫会社に転身することが企画され、鋼管（この時一貫体制であった）を含めた6社体制で日本鉄鋼業は進むことになった。

1951年9月には、対日講和条約（49か国）が調印され、終戦後の占領政策は終了して、米国は我々に資金を提供し、技術と市場を与えてくれた²⁸⁾というようになり、我が国は自立して本格的な進展をはかる気運にあった。

第1次合理化計画が1952年に発表になり、1951年を初年度年、1953年までを予定したが、計画が延びて結局のとき

表7 戦後日本鉄鋼業の近代化投資の推移³⁰⁾

時期区分 (年)	投資額 (億円)	近代化投資の特徴	各期末における年間生産設備能力(1000t)				新 設 一 貫 製 鉄 所			
			粗鋼生産能力 (LD転炉)	連続铸造	ストリップミル 熱 間 冷 間		社 名	製鉄所名	1号高炉 火入れ 年月日	炉内容積 (m ³)
戦 後 (1946～50)		壊滅的狀態にあった設備の補修と改善。	11,552	—	270	139	—	—	—	—
第1次 合理化 (1951～55)	1,282	導入技術による技術の遅れの回復。ストリップ・ミルを中心とした圧延部門近代化。	11,279	—	1,476	1,278	川崎製鉄	千 葉	53. 6.17	877
第2次 合理化 (1956～60)	6,253	臨海一貫製鉄設備新設による能力拡大。LD転炉導入。専用船建造。	28,194 (4,843)	—	7,698	3,929	神戸製鋼 八幡製鉄	神 戸 八 幡 (戸畑)	59. 1.16 59. 9. 1	753 1,603
第3次 合理化 (1961～65)	10,138	新立地製鉄所の新設、大型投資による大幅能力増。	53,256 (24,745)	—	22,380	9,481	住友金属 日本鋼管 東海製鉄 八幡製鉄	和歌山 水 江 名古屋 堺	61. 3.15 62.11.16 64. 9. 5 65. 6.24	1,350 1,709 2,021 2,047
(1966～70)	22,428	新鋭拡大投資(高炉・転炉の大型化。連続化。一貫コンピュータ化。連铸の導入)。	114,635 (91,480)	11,169	39,882	18,370	日本鋼管 川崎製鉄 八幡製鉄 神戸製鋼	福 山 水 島 君 津 加古川	66. 8.26 67. 4.18 68.11.27 70. 8. 7	2,004 2,156 2,705 2,843
(1971～75)	40,258	公害防止投資割合の増加。	152,010 (125,319)	44,826	56,928	23,937	住友金属 新日本製鉄	鹿 島 大 分	71. 1.20 72. 4.19	3,159 4,158

ろ1955年までとし、表7のごとく、5年刻みで第1次から第3次まで行われた²⁹⁻³¹⁾。

第1次から第3次合理化計画(5か年計画)の15年間、1951-1965年はその後に続く大きな発展の前期というべき時期であろうと考えている。

3.2 合理化計画

3.2.1 第1次合理化計画(1951-1955年)

第1次合理化計画の主たる狙いは、戦時中荒廃ないし老朽化した圧延設備の更新・近代化であり、とくにストリップミルの導入であった^{32,33)}。これはマーシャル援助によってストリップ化をはかった欧州鉄鋼業への対抗措置と戦時中の技術進歩の遅れを取り戻す試みであった。したがって、ストリップミルの他、分塊、形鋼・線材、厚板、帯鋼、銅管などの近代的圧延設備への投資が我が国全体の投資の半分以上を占めた。

この間、川崎製鉄は千葉での新立地による近代的一貫製鉄所の建設をいち早くスタートさせた。

その他、操業技術の導入も積極的に行われ、八幡、富士両社はアームコ社から、ホット、コールドストリップや亜鉛鉄板、珪素鋼板などの技術導入を行い、これらはその後の技術導入の先駆的なものとなった。かくして圧延部門を中心に外国技術の吸収が精力的に行われた。この近代化設備の6割は輸入機械であった^{32,33)}。

3.2.2 第2次合理化計画(1956-1960年)

1953年7月、朝鮮休戦協定調印の運びとなり、朝鮮特需が無くなったためか、1954年は大不況であったと記憶している。1955年は「静かなるブーム」といわれるように好転し、第2次合理化計画の初年度である1956年には、経済白書で「もはや戦後ではない」と宣言している。

1956年5月、通産省は20か年計画と称される試案を発表し、鉄鋼生産の構造の質的転換を要望している³²⁾。そして、川鉄千葉につぐ新立地製鉄所として、戸畑、水江、灘浜や製鉄所の拡張計画が起きている³²⁾。

第2次合理化計画の狙いは、能力の拡充に重点がおかれたものであった。圧延関係では、分塊6基、ホットストリップ5基、コールドタンデム2基、同レバース16基、厚板2基、線材7基が新設されている³²⁾。

世界銀行より主要6社に対する高炉を中心(高炉10基)とする包括的融資が与えられ、操業管理方式では米式のラインスタフシステムを採用し、原料管理から高炉、転炉、圧延を一直線に結ぶ集中管理方式を採用し、また大型専用船にそなえて築港、埠頭にも意を用い、あらゆる意味で模範的新製鉄所が出現した³²⁾。

ちなみに転炉は1957年に導入され、転炉への転換は急速に行われている。

3.2.3 第3次合理化計画(1961-1965年)

第3次合理化計画では、高炉4～5基、製鋼能力600～800

万トンの大規模製鉄所の建設をめざし、まさに倍増計画になった。この趨勢は次の5か年にも続いていく。

この間、1956年には、わが国造船量が世界1位となり、1960年には、池田内閣は所得倍増計画を策定している。そして、第3次期間中に投資された製鉄所は、表7のようであり、1961年頃には、次の数年の6製鉄所の立地手当が行われている。

この期中の1962年、1965年は大不況といわれるが、1954年の不況時とは異なり、それ程のこととは感じなかった。輸出力がついており、内需と生産量の差は輸出に向かい、国際問題化することになる。

3.3 合理化期の各圧延技術の発展

3.3.1 分塊圧延

第1次合理化計画では、従来小型鋼塊から直接圧延されるものが大部分であったが、大型鋼塊を造り分塊してから圧延機にかける方式に順次変えるため、分塊圧延機の新設増強が行われた³⁴⁾。

第1～第3次合理化期に建設された分塊設備は表8、表9のようである³⁵⁾。この表を見ると、能力増が著しい(スラブ用とブルーム用、その他でレベルが異なる)。

表8 戦後の分塊設備 (昭和41.12現在)³⁵⁾

社場・工場名	形 式	公称能力 千トン/年	メーカ	建設 年
川鉄・千葉	ハイリフト式	1,600	U. E	29
八幡・八幡	"	1,600	Sack	33
神戸・神戸	"	840	自 社	34
鋼管・水江	"	1,200	Blow Knox	34
八幡・戸畑	"	1,600	Sack	34
住金・和歌山	"	1,200	Sack	35
富士・室蘭	"	1,200	日 立	35
富士・広畑	ユニバーサル式	2,400	U. E	35
神戸・神戸	ハイリフト式	1,200	自 社	36
川鉄・千葉	ユニバーサル式	2,400	Blow Knox	36
住金・小倉	ハイリフト式	840	日 立	37
八幡・戸畑	ユニバーサル式	3,000	Blow Knox	37
東海・名古屋	"	3,000	Mesta 三菱	39
八幡・堺	ハイリフト式	1,440	日 立	40
住金・和歌山	ユニバーサル式	3,000	石 川 島	40
日新・呉	ハイリフト式	950	A. B	40
鋼管・福山	ユニバーサル式	4,500	B. K. 日 立	41
住金・和歌山	"	3,600	Sack 石川島	41

表9 分塊圧延設備数の推移³⁵⁾

	昭28	昭39
ブルーミング・ミル	3重式 4) 10 2重逆転式 6) 13	2) 15
スラビング・ミル	2重逆転式 3) 3 ユニバーサル式 0) 4	7) 11

(注) ブルーミング・ミルは3重式が2重逆転式に変わり、スラビング・ミルは高効率のユニバーサル・ミルに変わってきている。

二重式圧延機で広幅スラブの幅圧下をするために、ハイリフト式が用いられるようになり、次の段階で垂直ロールを付けたユニバーサル式にして、パス時間を短縮して能率アップをはかり、ホットスカーフィングを付けてスケール疵を防ぎ、その他圧延歩止り向上のために種々の改善を行い、圧延機を国産化する努力がなされた。

3.3.2 形鋼・線材圧延

形鋼は二次加工をうけることが少なく、工場出荷のままの形で使用されることが多く、そのために多様な用途に向けた多様な製品形があり、その圧延方法も非常に多くの手段・手法が開発されてきた。3重圧延機の孔型ロールと孔型前後面のガイドで各種断面を製造し、経験的手法も多く、孔型内のメタルフローなどモデルを使った検討も多く行われている。

高層ビル建築用に広幅H形鋼の需要が高まり、ユニバーサルミルを設置した広幅H形専門工場を建設するようになり、1961年11月堺製鉄所で稼動にはいり、同年10月川鉄・葦合工場、1963年3月、富士鉄・広畑で続いて稼動にはいった^{36,37)}。

中小形圧延では、従来の並行式、半連続式のものが、全連続式またはクロスカントリー式の採用となり、1955年から1965年にかけて改善設備が設置された³⁵⁾。圧延機については、圧延速度の高速度化のために縦ロールを採用し、寸法精度向上のためにプレストレス方式採用などの改良が行われた³⁶⁾。

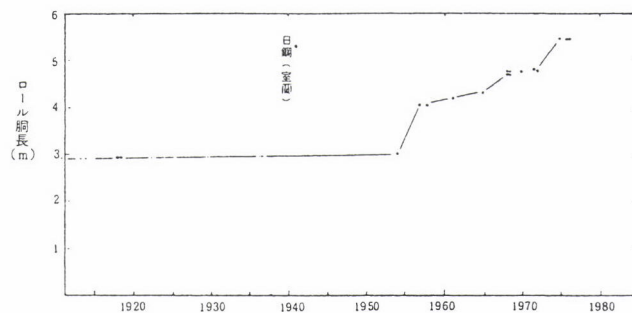
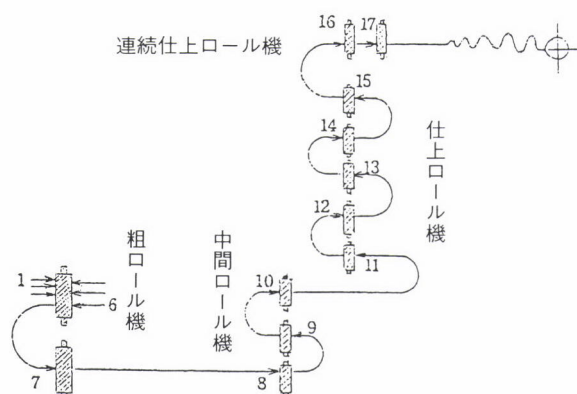
線材圧延では、旧来のガレット式あるいは半連続式などに代わって全連続式圧延機が出現して以来10年を経過し、生産能力は1953年度から1962年度で1.5倍になった。その改

表10 戦後の主なる高速連続線材圧延設備³⁹⁾

会社	工場	昭和 年	機 械	電機
八幡	光	29	Siemag	東芝
神戸	神戸	31	Morgårdshammer	富士
富士	室蘭	33	U. E. 芝共	東芝
大同	昆崎	33	Morgårdshammer	日立
住金	小倉	33	B. K. 日立	日立
神戸	神戸	35	Schlöemann	日立
吾嬬	吾嬬	35	日 立	日立
中山	武豊	35	中 山	各社
神戸	神戸	36	神 戸	富士
八幡	光	36	住友機械	Siemag
富士	釜石	36	Schlöemann	三菱
大阪	西島	36	大阪製鋼	東洋
住金	小倉	40	日 立	日立
川鉄	水島	40	新 潟 鉄 工	東芝
神戸	神戸	40	神 戸	富士

表11 厚板ミル年表⁴¹⁾

年	記 事
1941 1944	日本製鋼室蘭に5300mmミル、世界一広幅 アメリカ Homestead に現在の厚板工場の教科 書といわれる 160" (4064mm) ミル稼働
1954	鋼管鶴見に日本最初の本格的厚板ミル、120" (3040mm) ミル稼働
1957	八幡に 160" (4064mm) ミル稼働
1958	広畑に 160" (4064mm) ミル稼働
1960	アメリカ Republic Steel, Gadsden 134" (3400 mm) ミルに厚板ミルとしてはじめて圧延プロコ ン導入
1961	川鉄千葉 166" (4200mm) ミル稼働
1963	鋼管鶴見ミル改造 134" (3400mm)
1964	アメリカ Bethlehem Steel, Burns Houbert 160" (4064mm) ミルに厚板ミルとしてはじめて AGC導入
1965	住金和歌山に 170" (4300mm) ミルの分塊厚板 兼用ミル稼働、その後厚板専用となる。なお厚板 ミルハウジングの国産としてはこれが最初
1967	川鉄水島 4100mm ミル稼働。厚板としては日 本ではじめてAGC、圧延プロコン導入

図6 厚板圧延のロール胴長の推移⁴³⁾図7 帯鋼圧延のロールスタンド 配列・パスの順序例⁴⁴⁾表12 ホット・ストリップ・ミル（昭和42.6現在）⁴⁷⁾

社名・工場名	型式ロール幅	メーカー	建設 年月	圧延 速度 m/min	公称 能力 千トン
八幡・戸畑1H 2H 堺 計	全連続43"	U.E 芝共	16.9	620	1,200
	半連続80"	Mesta 芝共	33.11	713	1,800
	全連続56"	U.E 芝共	39.1	945	3,000
					6,000
富士・広畑 室蘭 計	半連続86"	U.E 芝共	17.12	650	1,560
	半連続56"	U.E 芝共	32.9	680	1,560
					3,120
東海・名古屋	全連続68"	U.E 芝共	38.7	915	2,400
鋼管・水江 福山	半連続68"	Mesta	34.8	680	1,800
	全連続80"	Mesta 三菱	41.8	883	3,000
川鉄・千葉1H 2H 計	半連続56"	U.E	33.4	680	1,200
	全連続80"	U.E	38.9	1,015	3,000
					4,200
住金・和歌山	半連続80"	U.E 芝共	37.3	748	2,220
日新・呉 " 周 南 計	全連続36"	Louis 三菱・日立	28.8	724	540
	全連続60"	Mesta 三菱	40.11	865	1,920
	ステッセル59"	Krupp 日立	36.3	305	180
					2,640
日本・川崎 冶金	プラネタリー	日立	41.6	112	810

善は、圧延速度の高速化、コイル単重の増加、圧延温度の均一化による品質向上、作業員の低減などである。その他、特殊鋼主体の圧延機の設置やロールの材質改善などを進んだが、まだブロックミルは出現していない³⁸⁻⁴⁰⁾。表10に戦後の主なる高速連続線材圧延設備を示す³⁹⁾。

3.3.3 厚板圧延

戦前のラウト3重式圧延機に代わって、新しい160インチおよびそれ以上のロール胴長の4重式仕上圧延機を設備した広幅厚板圧延機が戦後の標準となった。厚板ミルの建設年表^{41,42)}を表11に示す。

厚板の主たる用途に造船用があり、船の大型化やUOEパイプの大径化などに対応して、建設を追って胴長が広がっている。その様子を図6に示す⁴³⁾。また、AGCの導入、自動化、高精度化、国産化をはかり、1965年に稼動した住友金属の分塊、厚板のコンビネーション・ミルは国産1号といえるものである⁴¹⁾。

3.3.4 帯鋼圧延

帯鋼圧延では、広幅帯鋼圧延（ストリップ圧延）が代替として発展するので、深くは触れないで置く。先述したように、小形工場で圧延を始めている。例えば、図7のように、レピータを使つての圧延であった⁴⁴⁾。

戦後の新しいものが、1953年2月、川崎製鉄西宮工場、

同年6月住友金属和歌山工場、同年8月日亜製鋼呉工場稼働している⁴⁵⁾。1954年8月、日本鋼管川崎に、デマーク社製の帯鋼（フープ）と帯厚板の連続式15スタンド、フープ幅は最大450mmで、年産30万トンのものが稼動し、鍛接管

表13 コールド・ストリップ・ミル (タンデム)⁵⁰⁾
(昭和42.6現在)

会社名・工場名	型式 ロール幅	メーカー	建 設 年 月	圧 延 速 度 m/min	公 称 力 千トン
八 幡・戸 畑 1 C	54"	Mesta	15. 9	915	480
2 C	42"	"	29. 3	1,220	360
4 C	56"	"	37. 2	2,170	480
富 士・広 畑 1 C	56"	U. E	29. 1	1,250	504
東 海・名古屋 1 C	56"	U. E	36.11	1,430	540
鋼 管・水 江	56"	U. E	36. 4	1,830	720
福 山	80"	U. E 芝共	41. 7	1,676	1,320
川 鋼・千 葉 1 C	56"	U. E	33. 6	1,320	480
2 C	56"	Mesta	38. 4	2,170	600
住 金・和歌山 1 C	56"	Mesta	38. 3	1,700	720
神 戸・堺	56"	芝 共	38. 5	1,070	780
東洋鋳・下 松	56"	Mesta	34. 2	1,370	600

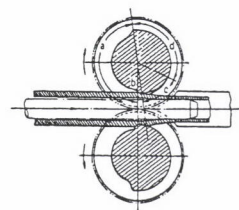


図8 ピルガーミル(1891年)^{54,55)}

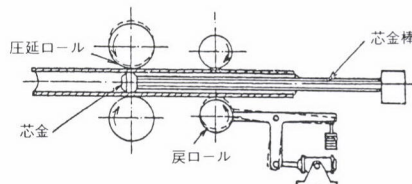


図9 プラグミル(1906年)^{54,55)}

表14 わが国の継目無管製管方式別台数と外径可能範囲⁵²⁾

製 管 方 式	台数	外 径 範 囲 (mm)
傾斜圧延方式		
マンネスマンー プラグミル	4	34.0～381.0
マンネスマンー ピルガーミル	1	165.2～457.0
マンネスマンー アッセルミル	1	50.8～165.2
マンネスマンー マンドレルミル	2	34.0～140.0
プレス方式		
エルハルトブッシュベンチ法	2	210.0～1061
ジンガー法	1	21.7～ 76.2
ユージーヌセジュールネ法	7	25.4～280

昭和44年3月現在

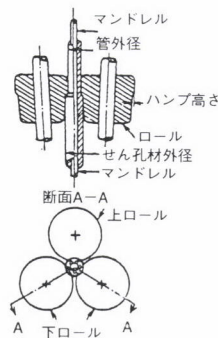


図10 アッセルミル(1935年)^{54,55)}

(フレッツムーン法)の材料として用いられた。これは、1971年9月その役目を終えた⁴⁶⁾。

3.3.5 ストリップ圧延

(1) ホットストリップ圧延

この時期におけるホットストリップミル一覧表を表12に示す^{47,48)}。合理化計画でストリップミルに重点がおかれたことがよく判る。ミルの高速化、扱うスラブの大型化、寸法品質の均一化、歩留りの向上をめざし、自動化についても意欲的に取り組んでいる。粗圧延も連続化して生産性の向上をはかっている。ロール組替にターンテーブル方式を採用してロスタイムを軽減し、BISRAゲージメータ方式によるAGCの効果を上げ、ホットランテーブル上での冷却効果を上げるなど、生産量の拡大に比例して技術も目覚ましく進展した⁴⁹⁾。

半連続式よりも連続式を多く用いるようになってともに、熱延ステンレス用にステッセルミル、またこれも熱延ステンレス用にプラネタリーミルが設置された⁴⁷⁾。

(2) コールドストリップ圧延

タンデム圧延

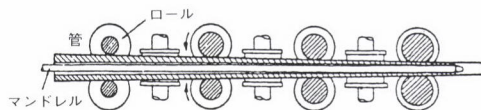


図11 マンドレルミル(1949年)^{54,55)}

この時期におけるコールドストリップミルの一覧表を表13に示す⁵⁰⁾。タンデム圧延は、全スタンド同時に噛み込んでいる状態で圧延し、比較的厚いものは4タンデム、薄物は6タンデム、多くは5タンデムである。この表を見ると、建設年を追って圧延速度が増大していく。より薄いものを能率良く生産するためである。製鉄、電機、機械、制御、圧延油などの関係者の合作といえる。

レバース圧延

レバース圧延設備では、1937年に東洋銅鋳下松においてU.E.製のものが設置され稼動した。レバースミルはシングルスタンドで4重式圧延機が普通である。

その他、ステンレス鋼板、電磁鋼板、普通鋼の極薄板などを生産する目的で、6重式、Y型(7重式)、6重式をさらにバックアップした12段式、さらにもう一段バックアッ

ブした20段式圧延機（ゼンジミア・ミル）などが開発された。これらは、材料に直接触れて圧延するワークロールの直径が極く小径であり、広幅硬質材料の冷間圧延に有用である⁵¹⁾。

3.3.6 継目無管圧延

銅管は用途が多様であり、従ってその製造法もそれぞれに合うように非常に多様である。これを大別すると、継目無管と溶接・鍛接管である。継目無管の最初の穿孔工程には、マンネスマン圧延穿孔法と他にプレス法などがある。1969年3月時点のわが国の状況は表14のようである^{52,53)}。

マンネスマン圧延穿孔の後に続く圧延法は前表のようであり、図8～図11にそれぞれが開発された年と説明を加えて示す^{54,55)}。このあとなお仕上げ工程がある。この4つの方式のうち、マンドレルミル圧延法は連続圧延法とも言われ、連続式で能率が高い方式である⁵⁶⁾。

戦前は継目無銅管の比重が高かったが、戦後には溶接技術の進歩により溶接管が増加した。その他、石油の価格が上がると、継目無銅管（油井用）だけが多忙になるという印象が強い。

3.4 発展（前期）を振り返って

分塊圧延における開発は、その大能力化、バスタイムの短縮および歩留り向上であった。しかし次の時期には、連続鑄造のニャネットシェーブ効果と連続化効果により、分塊圧延は連続鑄造と交替することになる。

形鋼圧延では、広幅H形鋼（当時は特に広幅といった）が、生産性および寸法精度の良さをもって躍進しはじめた。線材圧延では、高速化、直線パス化が進んだが、まだブロックミルの出現には至っていない。

厚板圧延では、広幅への進展（次の時期にもう一段の広幅化が進む）、大型化、AGC技術が進んだ。

帯鋼圧延はストリップ圧延と、やがて交替をすることになる。

ホットストリップ圧延では、BISRA（The British Iron and Steel Research Association）によるロードセルを用いたゲージメーター方式による板厚測定および板厚制御に熱が入った時期があった。また、プラネタリーミルの運転が行われた。

コールドストリップ圧延では、薄物の形状や疵問題の解決に力が注がれ、自動車用鋼板の製造技術（深絞り性向上）などが進展した。圧延油の共同研究、変形抵抗（熱・冷延とも）の共同測定なども行われた。

継目無管圧延では、モデルミルを作っての研究も盛んになった。モデル穿孔ミルでは、そのプラグの材質がポイン

トであった。

第一次合理化期の経済白書の副題をみると、
26年 年次経済報告、27年 独立日本の経済力、
28年 自立経済達成の諸条件、29年 地固めの時、
30年 前進への道、
とあり、1951年（昭和26年）9月に講和条約調印を行った我が国が、「これから再出発」という熱意に燃えていたことが強く感じとられる。

4 むすび

1948年に、日本鉄鋼協会、通産省重工業局、日本鉄鋼連盟の三者共同運営により日本鉄鋼協会・研究部会が発足し、その一部門として鋼材部会が置かれた。鋼材部会は1954年10月に、「鋼材部会報告」として、鋼材圧延に関する研究、1～3巻の大著を出版して、1955年に組織を改め、日本鉄鋼協会・技術共同研究会・鋼材部会・圧延理論分科会が発足した。1961年に鋼材部会が発展的に分割され、圧延理論分科会は共同研究会の直属になり、1972年に部会に昇格し、圧延理論部会になった⁵⁷⁾。

発足してからやがて半世紀になる。この初期の20年間を、圧延の多岐にわたる分野について、駆け抜けて見てきた思いである。不可欠な設備や付帯設備は数多く、それらに触れないで来た。また、割愛、抜け落ちも多々あると思うが、お許しを頂きたい。

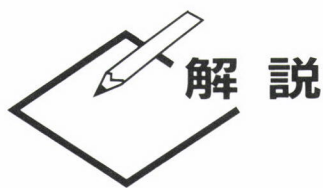
この時期の終わりの頃は、急発展の緒に着いた時期であったと考える。さらなる大発展に向かって、共同研究も増々盛り上がっていた。

参考文献

- 1) 石川 泰：ふえらむ，2（1997）515.
- 2) 川崎 勉：日本鉄鋼業—その軌跡—，（株）鉄鋼新聞社，（1982），29-38.
- 3) 川崎 勉：戦後鉄鋼業論，（株）鉄鋼新聞社，（1968），26-36.
- 4) 内野達郎：復刻経済白書月報No.2，（株）日本経済評論社，（1975），4.
- 5) 復刻経済白書第一巻昭和22年版，（株）日本経済評論社，（1947），4.
- 6) 日本鉄鋼協会編：最近日本鉄鋼技術概観，日本学術振興会，（1950），324.
- 7) 日本鉄鋼協会，通産省重工業局，日本鉄鋼連盟：鋼材圧延に関する研究，第1～3巻，（1954）
- 8) 前掲6)，312-316.
- 9) 浅川基男，中川吉左衛門：塑性と加工，38（1997），

- 787-793.
- 10) 材料研究会：工業材料便覧（金属），（株）理工出版社，（1952），1367-1368.
 - 11) 前掲10)，1369.
 - 12) 前掲10)，1379の第11表
 - 13) 前掲10)，1380.
 - 14) 川崎製鉄（株）：千葉製鉄所建設15年の歩み，（1967），168, 172.
 - 15) 前掲10)，1373.
 - 16) 川崎製鉄（株）：川崎製鉄25年史，（1976），30.
 - 17) 前掲7)，第3巻第6編帯鋼圧延，1-2.
 - 18) 前掲6)，317, 318.
 - 19) 前掲6)，321-322.
 - 20) 前掲7)，第3巻第7編鋼管圧延，187.
 - 21) 日本鉄鋼協会編：鉄鋼便覧，丸善（株），（1954），453.
 - 22) J. P. プーア：シームレス物語，今井宏訳・発行，（1984），6, 17.
 - 23) 日本鉄鋼協会編：鋼材製造法 [鉄鋼技術講座第2巻]，地人書館，（1959），170.
 - 24) 下川義雄：日本鉄鋼技術史，（株）アグネ，（1989），421.
 - 25) 福田宣雄：ストリップ技術の変遷，新日本製鉄（株），（1981），57, 67.
 - 26) 川崎製鉄（株）：せいはん60年，川崎製鉄（株），（1977），34.
 - 27) 前掲2)，537.
 - 28) 田畑新太郎：戦後復興期におけるわが国鉄鋼技術の発展，前付 [発刊にあたって]，日本鉄鋼協会，（1992）
 - 29) 前掲2)，55, 56.
 - 30) 飯田賢一：日本の技術2・鉄の100年八幡製鉄所，第一法規出版（株），（1988），94.
 - 31) 前掲24)，427.
 - 32) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼十年史（昭和43年-52年），（1981），14-21.
 - 33) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼十年史（昭和53年-62年），（1988），4-8.
 - 34) 前掲28)，188, 189.
 - 35) 前掲3)，517.
 - 36) 前掲2)，495.
 - 37) 前掲3)，541, 542.
 - 38) 前掲2)，496.
 - 39) 前掲3)，546, 547.
 - 40) 鉄鋼技術の進歩、鉄と鋼，51（1965），475-478.
 - 41) 新日本製鉄（株）：製鉄研究，（1982）310, 110.
 - 42) 河野耕二：最近の厚板製造技術、第11回西山記念技術講座、日本鉄鋼協会，（1971），7.
 - 43) 日本塑性加工学会：日本の塑性加工・I 歴史と進歩，（1986），228.
 - 44) 前掲7)，第3巻第6編帯鋼圧延，42.
 - 45) 前掲7)，第3巻第6編帯鋼圧延，2.
 - 46) 日本鋼管（株）：日本鋼管50年史，（1962），582.
 - 47) 前掲3)，524.
 - 48) 日本鉄鋼協会：わが国における最近のホットストリップ設備および製造技術の進歩，（1976），3.
 - 49) 前掲40)，456-461.
 - 50) 前掲3)，530.
 - 51) 前掲3)，531.
 - 52) 日本鉄鋼協会：鋼管マニュアル，（1970），19.
 - 53) 小島浩：継目無鋼管の製造技術、第23・25回西山記念技術講座，日本鉄鋼協会，（1973），70.
 - 54) 前掲52)，21-23.
 - 55) 前掲41)，165.
 - 56) 前掲21)，456.
 - 57) 日本鉄鋼協会圧延理論部会：第100回記念シンポジウム，（1994），1.

（1997年10月20日受付）



形の科学と界面の数理

高木隆司
Ryuji Takaki

東京農工大学 機械システム工学科 教授

Science of Form and Mathematical Analysis of Interface

1 はしがき—人は形から何を読みとるか

私たちが自然に親しむ、あるいは自然を研究しようとするとき、対象物のどんな属性に着目するだろうか。昔からしばしば着目されてきた属性には、数、大きさ、形、重さ、時間（あるいは速さ）等がある。これらのうち、数、大きさ、重さ、時間は、1次元的な量であり、1個の数字で表現できる。それらは、数学的にも扱いやすいし、異なる対象物について同じ座標軸上で比較できる。したがって、近代科学において、これらの量は自然を理解する際の中心的な位置を占めてきた。

一方、結晶学、解剖学、生物の形態学、地形学、冶金学等においては、「形」が研究対象にされてきた。しかし、これらの分野でも、対称をスケッチしたり、形の特徴を定性的に述べるにとどまることが多かった。したがって、形の

研究は近代科学の主流にはなにくかった。

ところで、定量的に扱いにくいとはいえ、「形」は非常に多くの自由度を持つ。また、どんなに複雑な形も私たちは即座に認識できる。私たちが眼という非常に優れた形のセンサーを持っていることを考えると、形を媒介とした学問体系を発達させることは自然ななりゆきである。形が重要な役割を演じることによって成立する学問を、「形の科学」と呼んでおこう。そのうち、数理的な内容を含む部分が「形の数理」である。

近代科学において、形が重要な要因になって大発見にいたった例がいくつかある。その代表的な例を、2つほど紹介しよう。

ドイツの天文学者ケプラーは、惑星の数が6個であることと、プラトンの正多面体の数が5個であることのあいだになんらかの関係を見いだそうとして、図1のような太陽系のモデルを考えだした。球面に正6面体を内接させ、それに第2の球面を内接させ、それに正4面体を内接させ、……と続けて、最も内側の球面まで考えると、全部で6個の球面ができる。それらの半径比を計算すると、惑星軌道の半径比とかなりの精度で一致したのである。この発見に神の啓示を感じて、彼の処女作「宇宙の神秘」が生まれた¹⁾。

この発見は、後にケプラーをティコ・ブラーエのもとに向かわせ、ついには惑星の楕円軌道の発見に至るのである。彼の太陽系のモデルはまったく無意味なものとはいえ、形の研究が世紀の大発見を導いたと言ってもよいのである。

ドイツの地球物理学者ウェーゲナーは、地殻が定常不変のものであるという固定観念を打ち破って、1912年に大陸移動説を唱えた。南北アメリカ、アフリカの海岸線の形から、地殻が移動したという結論を導き、これが現代のプレートテクトニクスに発展したことはあまりにも有名である（もっとも、イギリスの哲学者F. ベーコンも海岸線の一致に着目していたらしい）。大陸移動説は、発表当時は注目さ

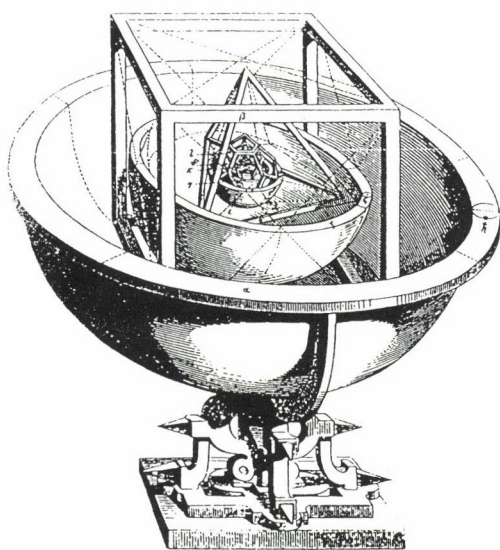


図1 ケプラーによる太陽系のモデル¹⁾

れなかった。一方、寺田寅彦は、発表直後からその真実性を直感し、日本に紹介したとのことである。大陸移動説は、形の研究が大発見を生み出したという意味で、形の科学のハイライトであった。

最近、形、あるいはパターンに関する関心が徐々に高まりつつある。その原因は、形の研究の潜在的な重要性が認識され始めたこと、20世紀に栄えた微視的世界の科学が一段落し、科学者の眼が巨視的な現象に向き始めたこと、電子計算機の発達によって複雑な形の解析が容易になってきたことが挙げられる。

筆者は、数年前「形態形成の科学的研究」という課題のもとに、文部省の科学研究費補助金を交付され、総合研究を遂行した。その成果が後に単行本「形の数理」になった²⁾。形の数理一般については、この書物を参照されたい。以下では、まず形の科学の全容を簡単に説明した後、主として界面の形にしばって形の数理とは何かということを述べていく。

2 形の科学とは何か

筆者は、拙著「巻き貝はなぜらせん形か」の中³⁾で、形の科学の定義や、現代の科学における位置づけについて述べた。以下は、その要点である。形の科学（形の数理）は次の4つの分野からなる。

(1) 空間の性質の研究

これは、空間を分割したときの要素の形、空間に要素を充填するときの分布の性質等、幾何学の応用と言ってよい。要素の配列が不規則である場合は、形について統計的な処理をしなければならないので、幾何統計学という統計学の一分野を応用することになる⁴⁾。空間の性質の研究は、準結晶、アモルファス、コンクリート、合金のような複合材料の構造、地域における施設の最適配置、動物の縄張りの研究、宇宙における構造物の設計、等の分野に応用される。なお、準結晶とは、数理的な遊びとして普及しているペローズタイリングのように、完全に一意的に決定されるが、決して周期的でないような原子配列を持つ物質である⁵⁾。

(2) 形の形成機構の研究

形がどのような仕組みでできあがるかという問題を扱うもので、物理、生物、社会機構、等、いろいろな分野で問題にされる。これらの研究は、本来それぞれの分野の方法論で取り組まれている。しかし、方法論に共通性があり、分野を越えた共同研究が可能である。方法論の共通性に関する代表例として、樹枝状結晶、粘性突起、拡散律則凝集の類似性について第3節で触れよう。

(3) 形の計測

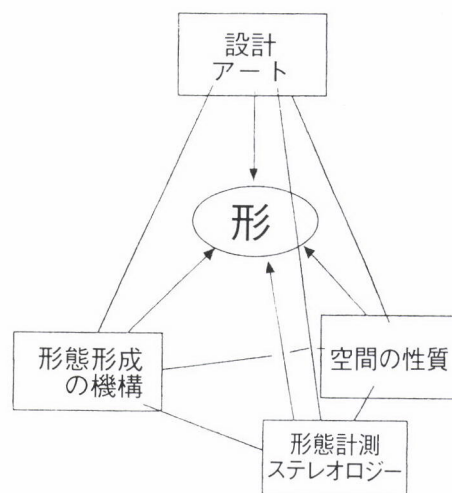


図2 形の科学の分野と目的

形の計測は、本来は光学機器の応用や、画像データの解析に関する技術である。しかし、より高度な計測をおこなうには、形に関する基本的な知識や概念を把握しておくことが必要である。このような基本的な研究分野として、1960年頃から発達したステレオロジーがある^{6,7)}。この学問は、生体組織や合金の顕微鏡写真のような2次元断面の情報から3次元構造を推定する技術として出発した。最近では、形態と機能の橋渡しをする学問と考えて、ステレオロジーを一般化する傾向が現れている。

(4) 形の表現と創造

形の研究を、形の表現方法、形の創造に結びつける方法に結びつける分野がこれである。アート、デザイン、建築などにも対応するので、研究ばかりでなく、造形活動も含まれる。たとえば、最近の機械工学のなかに、感性設計という動きが出はじめている。筆者は、日本機械学会主催の感性設計に関する講習会に招かれて講演をしたことがある。そのとき、大きな熱気を感じた覚えがある⁸⁾。

以上の4つの分野が、図2に示したように、互いに関連し合って形の理解に向かうというのが、形の科学の目的である。

3 界面の形の動力学

異種物質間の界面には、界面張力、拡散や吸着などの物質移動、熱伝達や潜熱の発生など、さまざまな現象が起きる。これらの現象の微視的な機構の研究は、界面化学（あるいは界面科学）に属する。形の科学として界面に着目するときは、界面の微視的な性質を考慮した上で、巨視的な界面形状、あるいはその変化を問題にする。このような観

点から、興味ある話題を紹介しよう。

3.1 成長形の解析

熱平衡からはずれた条件の下で、絶えず成長するときに現れる形を成長形と呼んでいる。その対極は平衡形である。たとえば、シャボン膜の形は平衡形、雪の樹枝状結晶は成長形である。

形の科学においては、樹枝状結晶、粘性突起 (viscous finger)、拡散律則凝集 (diffusion limited aggregation, DLAと略記される) という類似の成長形があり、これらは統一的に理解されている (図3 参照)。

粘性突起とは、高粘性率の液体を満たした多孔質物質、あるいは狭い平板の間を、低粘性率の液体や気体が圧力に押されて広がっていくときに、それらの界面が樹枝状に成長する現象である。拡散律則凝集とは、溶媒中を拡散してきた粒子が次々と付着することにより、不規則な形を持つ凝集体が形成される現象である。

これらは、成長の過程で現れるという点で共通しているし、それらを理論的に解析するときに用いる支配方程式も互いに似ているのである²⁾。結晶は、空气中を拡散してきた蒸気が、結晶表面に結合することにより成長する。それに伴って潜熱が放出され、熱が周囲に伝達される。したがって、界面付近の温度には熱伝導方程式を用い、界面におけるエネルギー保存、および界面の融点温度が界面の曲率に依存するというギブス-トムソンの関係式を仮定する。雪の結晶の場合は、6個の方向に成長が速いという水分子の性質も取り入れる。

粘性突起を理論的に解析するときは、高粘性率液体中の圧力分布を支配するラプラス方程式 (熱伝導方程式の時間微分がない場合)、および界面における曲率と圧力差の関係を基にする。拡散律則凝集では、粒子の拡散方程式、凝集体表面で粒子密度が0になる (必ず付着する) という条件を課する。この場合は、界面の曲率は重要ではない。

このように、これら3つの現象を支配する機構は互いに似ている。一方、支配方程式にわずかな相違点もあり、そのために図3に示した形も少しずつ異なるのである。

3.2 その他の界面運動

高温度で2種類の物質を溶融しておいて、急激に冷却すると (物質によっては加熱することもある)、相分離が起き、そのパターンが時間的に発展することがある。これをスピノーダル分解と呼んでいる^{12,13)}。

観察によると、まず微視的なスケールで相分離が起き、各相が合併することによりだんだんスケールが大きくなる。そのとき、相の界面は乱雑な形状を持っているが、時間とともにスケールを変換していくと、統計的には常に同じようなパターンが現れているというものである (図4 参照)。

この現象は、多くの物質に共通に存在し、ギンツブルグ-ランダウ方程式と呼ばれるかなり普遍的な偏微分方程式を用いて解析されている。詳細は省略するが、界面の各部分が、局所的な曲率に比例する速度で法線方向に移動するという性質が導かれることを指摘しておく。

もう一つ、巨視的な流れに生じる界面運動を紹介しよう。異なる速度で平行に流れている2つの流れが、1つの界面で接しているとき、界面が変形して渦の列に発達することが、以前から知られている。渦の間隔が不均一であれば、そのなかでも近い渦同士が合併して、大きな渦が誕生する。この過程によって、渦列を含む流体層はしだいに厚くなっていく。渦があると、両側の流体はよく混ざる。したがって、この渦列の成長は流体の混合過程を支配するとも言えるのである。¹⁴⁾ 固体金属同士の接触面でも、もし強いずれがあれば、同様の混合が起きる可能性がある。

ここで紹介した3つの例、成長形、スピノーダル分解、および渦列成長には、自己相似という性質がある。すなわち、一部を拡大しても元と同じような形になっているというものである。もっとも、変化する形はすべて自己相似で

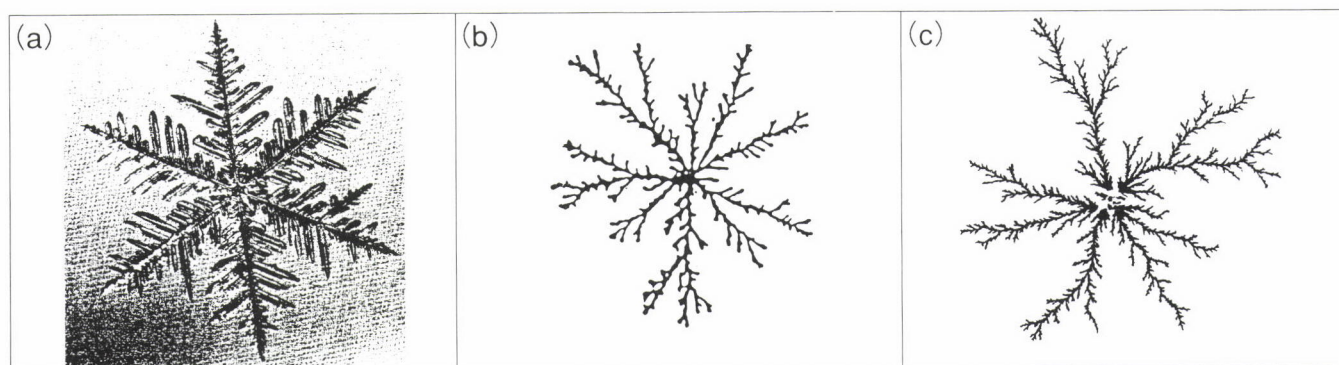
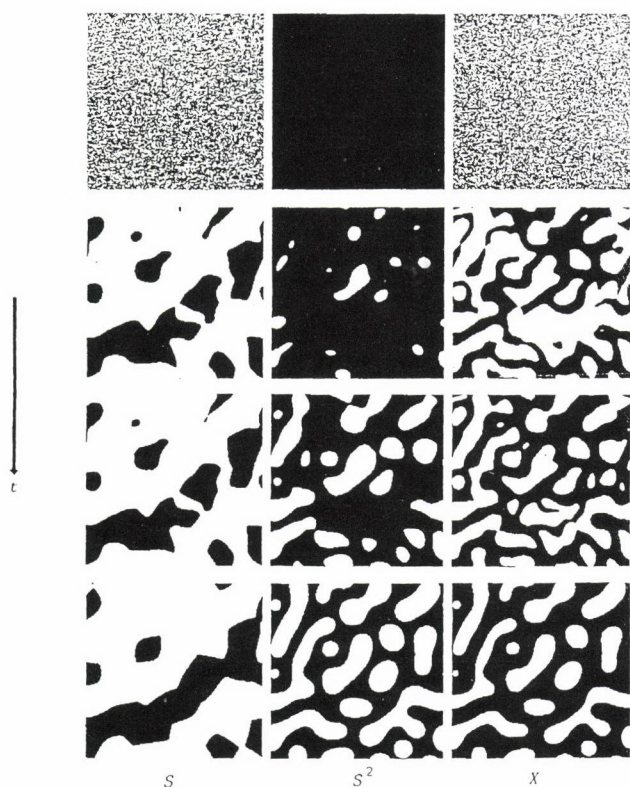


図3 類似した成長形
(a)雪の樹枝状結晶⁹⁾ (b)粘性突起¹⁰⁾ (c)拡散律則凝集¹¹⁾

図4 スピノーダル分解の数値シミュレーション¹³⁾

あるとは言えない。しかしながら、自己相似性を持つ形は興味を引くので、しばしば研究の対象になるのである。

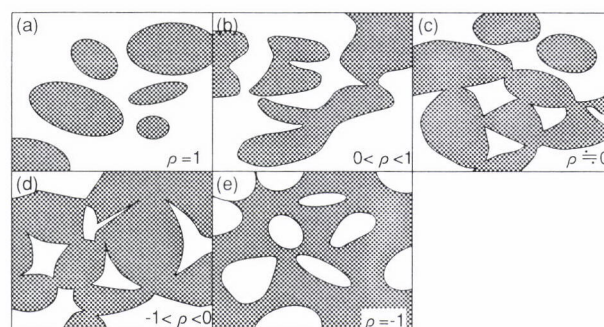
4 界面の形の計測

ものの形を実験的に研究する際には、まずその形を計測することから始めねばならない。そこでは、形の特徴を表す量を抽出することが必要になる。

いままで扱われてきた形の主な特徴量を、5つに分類して下に列挙しよう。

- | | |
|--------|-----------------------------|
| サイズと比 | (大きさ、面積、体積、充填率、アスペクト比、曲率、等) |
| トポロジー | (連結性、貫通する穴の数、からみあいの程度、等) |
| 複雑さ | (図形の不規則性、対称面の数、サイズ分布の分散、等) |
| フラクタル性 | (フラクタル次元、フラクタル性を持つサイズ領域、等) |
| 分岐の特徴 | (分岐比、流域面積比、勾配比、等) |

これらのうち、サイズや比に関する量は、もっとも理解しやすく、形の計測において多く採用されている。たとえば、粒子が空間を充填する体積の割合である充填率や、3次元物体の表面積と体積の比（その物体の凹凸の多さを表



- (a)孤立した凸図形
(b)凹部を含む孤立した図形
(c)孤立した図形と孤立した穴の混在
(d)凹部を含む孤立した穴
(e)孤立した凸形の穴

図5 連結性パラメーター ρ の値

す) はよく使われる。

トポロジーに関する量は、形の本質的な側面だけを抽出したものとと言える。たとえば、連結性とは、多数の要素の連結や分離の程度を示す量であり、合金、生体組織、地質等の組織の特徴を表す。その数学的な定義は文献15)を参照していただきたい。ここでは、連結性を表すパラメーター ρ の値が、図5に示すように、注目する物質部分のつながり方によって-1から+1までの値をとることを指摘しておく。

図形の複雑さはなかなか定義しにくいので、その試みは多くはない。詳細は文献2)を参照されたい。フラクタルについては、参考書が多いのでここでは省略しよう。分岐の特徴に関する量は、主として河川の形について開発されたものである²⁾。

第2節でステレオロジーについて言及した。初期のステレオロジーの成果の一つに、空間に分布する粒子のサイズ分布を推定する公式がある^{6,7)}。空間内の1つの断面で、粒子の直径分布や面積分布、あるいは断面内に引いた直線が粒子によって切りとられる線分の長さ分布が与えられたとき、それらから粒子の半径分布を推定する公式である。現在は、上記の形の特徴量の計測も含めて、ステレオロジーはもっと広く解釈されている。詳細は、最近の解説を参照されたい¹⁶⁾。

5 終わりに

形の科学は、まだ完全に一人立ちするまでに成長していない。諸分野の境界領域とみなされ、研究者たちが集まって情報交換や共同研究を行うという状態である。これらの研究者の努力によって、形の科学は物理学や情報科学とな

らぶ位置に来るであろう。

このような情勢を反映して、1985年に日本で「形の科学会」という学会が誕生した。この学会に関する問い合わせは、筆者宛をお願いしたい。連絡先は下記の通りである。

〒184-8588 小金井市中町2-24-16

東京農工大学 機械システム工学科 高木隆司

phone: 0423-88-7224 fax: 0423-85-7204

E-mail:takaki@cc.tuat.ac.jp

参考文献

- 1) ヨハネス・ケプラー：宇宙の神秘，工作舎，(1982)
- 2) 高木隆司：形の数理，朝倉書店，(1992)
- 3) 高木隆司：巻き貝はなぜらせん形か，講談社ブルーバックス，(1997)
- 4) F. L. トート：配置の問題，みすず書房，(1983)
- 5) 伊藤邦明，小川 泰，他：かたちの科学，朝倉書店，(1987)
- 6) R. T. デホッフ，F. N. ラインズ：計量形態学，内田老鶴圃，(1962)
- 7) 諏訪紀夫：定量形態学，岩波書店，(1977)
- 8) 高木隆司：形と感性，講習会「時代をとらえる感性応用設計の基礎」，(1996)11月
- 9) 黒田登志雄：結晶は生きている，サイエンス社，(1984)
- 10) G. M. Homsy: Viscous fingering in porous media, Ann. Rev. Fluid Mech., 19(1984), 271.
- 11) M. Matsushita et al.: Phys. Rev. Lett., 53(1984), 286.
- 12) 川崎恭治：日本物理学会誌，38(1983)12, 919.
- 13) K. Shiyama, H. Ninomiya and T. Eguchi: Evolution of antiphase ordered domain structure and phase separation activated by ordering, in Research of Pattern Formation, ed. by R. Takaki, KTK Scientific Publishers, (1994), 441.
- 14) 高木隆司，佐野 理：ながれ(日本流体力学会誌)，7 (1988) 3, 212.
- 15) 高木隆司，新井洋二：濃度分布の連結性解析，第32回通研シンポジウム「統計物理学と情報科学」報告書，(1995), 125.
- 16) 高橋 徹，千場良司：形を計るーステレオロジーの展開，科学，岩波書店，62(1992), 786.

(1997年11月7日受付)



オキサイドメタラジーにおける界面物理化学

溝口 庄三

(財)金属系材料研究開発センター 研究開発部長

Syozo Mizoguchi

Interfacial Phenomena in So-called "Oxides Metallurgy"

1 はじめに

21世紀を目前にして、資源、エネルギー、環境など問題が山積しているにもかかわらず、世紀末特有の閉塞感が漂っている。このような地球規模の話は大きすぎて取っつきにくいことは確かであるが、何とか研究課題にまでブレイクダウンできれば、もっと見通しが利くようになる。そこで、21世紀型材料の研究開発について、ひとつの話題を提供したい。

材料は組織でもつ。つまり、物質は元素の集まりであるが、この集まりを目的に合わせて組織化したものが材料であると言われる。たとえば、群衆は人の集まりで無力であるが、集団はそれを組織化したもので強力である。金属の組織を制御する学問体系については、西沢¹⁾は1864年のSorby以来の金属組織学の歴史を振り返り、鉄の持つ絶妙な性質である相変態と、析出現象を利用した組織制御法を興味深く解説している。この組織制御法を巧みに操る人たちが材料屋である。

このように歴史のある組織制御法であるが、最近は材料の高機能化の観点からまた見直されている。平成9年度から5年間の予定でスタートした、科学技術庁と通商産業省の2つのプロジェクトがその好例である。前者は鋼を対象にしたフロンティア構造材料の開発「STX-21」²⁾であり、後者は新エネルギー・産業技術総合開発機構が公募した「スーパーメタル」の研究³⁾で、鉄だけでなくアルミニウムなど非鉄金属も対象にする。いずれも金属材料のメゾスコピックからミクロスコピックの結晶組織を極限まで微細化し、新しい機能を創出しようとするものである。

一般に、結晶微細化の原理は、第一には、いかにして新しい多数の結晶核を生成させるかであり、第二には、いかにしてそれらの結晶を成長させないでおくかである。具体的には、前者に対しては、核生成に必要なエネルギーと有

利な核生成サイトを多量に与えることであり、後者に対しては、結晶粒界の移動を阻止することである。この場合、金属の酸化物、硫化物、あるいは窒化物や炭化物などの分散粒子は、核生成サイトとしての効果も、粒界のピンニングの効果もあり好ましいことがよく知られている。高村⁴⁾はある種の酸化物が後続する各種の析出物のオリジナルなサイトとして有効であることを示し、高温の脱酸から冷却過程における変態と析出までを一貫して制御し、最終的に材料の強度や靱性を制御する“オキサイドメタラジー”を提唱した。この考え方の特徴は、鋼中の酸素や硫黄などの不純物元素も有効に活用しようとするもので、いたずらに高純度化を指向しないことである。つまり、製鋼屋と材料屋が協力すれば不純物とも共生できるわけで、21世紀型の環境調和型技術として、今後とも鋼の組織制御のための有力なシーズに間違いない。

この考え方を適用した事例については、若生⁵⁾、山本⁶⁾や大橋⁷⁾の解説があるが、本稿では、従来充分に解明されていない界面問題に絞って研究課題を提言する。

2 オキサイドメタラジーのポイント

化学工学の世界では、気体や液体のマトリクス中に、別の気体、液体、あるいは固体の微少な粒子を分散させて、化学反応を効率的に制御するのが常識である。また、材料工学の世界でも、分散強化合金やコンポジットが開発され使われている。しかし、ここで取り上げるオキサイドメタラジーは単なる分散工学ではなく、高温の液体から凝固させ加工した素材に至るまで、金属の相変態や析出現象を連続的に制御する考え方である点が新しい。つまり、端的に言えばこのポイントは、熱と加工の物理的駆動力と、構成成分の化学的駆動力を利用して、分散粒子とマトリクスの間で強力な相互作用を起こさせることである。この作用を

均一に広範囲にわたって引き起こすための第一の条件として、酸化物に始まる各種の晶出物や析出物粒子の種類、サイズ、および、分布状態を最適化し核生成サイトの個数を増やすことであり、第二の条件として、粒子周囲の地鉄との相互作用を促す環境を整えることである。いずれも不可欠の条件であるが、後者に対する配慮をとかく忘れがちである。そのために、適正な粒子条件を与えても効果がバラツいたり、全く効果がない場合もある。例えば、これらの粒子をとりまくマトリクスの地鉄にミクロな偏析があれば、その部分では望むような変態や析出が進行しにくくなるのは当然である。高橋⁸⁾が解説しているように、鋼の素性が決まるのは液体鉄から固体鉄の結晶が誕生する時まで遡るが、それは凝固時に結晶組織や偏析状態が決まるからである。

しかし、オキサイドメタラジの出发点は、凝固よりもさらに前段階の溶鋼の脱酸にまで遡る。何故なら、後に続く鋼の凝固、相変態や析出現象を効果的に誘起する酸化物の条件は限られており、その種類やサイズ、分布状態など、全てが最初の脱酸に始まるからである。もちろん、凝固時にはそれら酸化物粒子の存在状態が大きく変化するので、凝固条件の最適化も同じく非常に重要である。このように、凝固段階までに酸化物の分布状態が決まってしまう、後のプロセスではもはや何とも制御のしようがないので、その重要性はどれほど強調してもしすぎることはないほどである。

3 オキサイドメタラジにおける界面現象

分散粒子とマトリクスの界面では、どんな界面現象が考えられるだろうか？ それは第一に、分散粒子を種結晶とする不均質核生成にまつわる物理的な現象である。例えば、鑄物の接種剤がある。鑄鉄溶湯にマグネシウム合金を添加すると、その酸化物を核として黒鉛が生成する。また、アルミニウムの溶湯にTiB₂を添加すると、多数の微細な結晶が生成する。これらは典型的な不均質核生成の例であり、種結晶と新しい結晶間の良好な結晶整合性で説明される。溶鋼中に新しい鉄の結晶が核生成する場合も同様で、その結晶格子によく整合した結晶構造を持つ分散粒子の界面で、鉄結晶の核生成がしやすくなるのは自然である。また、固体鉄中の分散粒子を核として、新しい鉄の結晶や析出物が生成する場合も同様である。例えば、ある種の酸化物の表面に硫化物、炭化物や窒化物が核生成したり、その上にさらにフェライト結晶が核生成する場合である。

第二の界面現象としては、分散粒子とマトリクスの界面

の物理化学的な相互作用である。例えば、マグネシウムで接種処理した鑄鉄では、黒鉛の形態が鱗片状から球状に変化する。このような結晶のモルフォロジーの変化は、単なる結晶の整合性だけでは説明できない。また、凝固中に固体鉄の結晶が成長しそのフロントが分散粒子に接近するような場合、分散粒子が押し出されるのか、固体鉄に取り込まれるのかという問題がある。さらには、凝固後に固体鉄の結晶粒界が移動するような場合に、分散粒子がその移動をどの程度妨げるのかという問題もある。このような物理化学的な問題に対して、大きい影響を持つ界面物性の視点から、もう少し詳しく見てみよう。

3.1 溶鉄中の酸化物の核生成と成長

一般に溶鋼に脱酸剤を添加した時、等温変化で生じた酸化物は一次脱酸生成物であり、その後の温度低下により生成した酸化物は二次脱酸生成物である。いずれにしても、オキサイドメタラジでは微細な粒子を多数分散したいのであるが、酸化物のサイズは時間とともに大きくなるので、冷却速度に大きく依存することに注意しなければならない。Lindborgら⁹⁾の古典的な解析によれば、サブミクロンサイズの粒子を得るには秒単位の制御が必要であり、それを過ぎると急速に成長し個数も減少する。この結論のままでは、工業的には急冷法以外にはむずかしくなるが、酸化物の性質によってその挙動は大きく異なるので、界面エネルギーなど何か制御手段があるのではないだろうか？

最近、柴田ら¹⁰⁾は共焦点走査型レーザー顕微鏡を用いて、溶鋼表面の酸化物粒子の挙動を直接観察し、酸化物の種類によって極めて風変わりな振る舞いをするという興味深い事実を明らかにした。例えば、アルミニウム脱酸鋼の1μm程度の角張ったアルミナ粒子は、遠方ではお互いに全く無関係に動いているが、約50μmの距離に近づくと両者は突然強く引き合い合体しようとする。こうして次々に接着してクラスターとなる。他方、Mn-Si脱酸鋼のマンガンシリケート粒子は球状で、通常は接近しても全く相互作用が見られないが、凝固が進行するにつれて集積した多数の小球が、ごく最終段階になると突然合体して一つの大きな球となる。両者ともに何とも不思議な現象であるが、もともとアルミナ粒子は特にクラスターになりやすいことや、マンガンシリケートは球状で粗大化しやすいことなど良く知られており、それらを説明する重要な観察結果である。もちろん、これは溶鋼表面の現象であり表面張力の影響がありうるが、これほど強い遠達力は説明しにくいとされている。しかし、このような粒子間の相互作用については、まだ十分には理解されておらず、今後の研究が大いに期待される。その結果、長い間の懸案事項である、連続鑄

造のノズル詰まり問題も一挙に解決するかも知れない。

いずれにしても、微細な分散状態を作り出したいオキサイドメタラジーの観点から言えば、このような粒子の合体挙動は望ましくない。しかし、粒子間力についての何か新しい理論が確立されれば、制御手段も自ずから見つかるであろう。

Guzow¹¹⁾によれば、ガラス融体での不均質核生成は界面エネルギーの影響を強く受け、サイトの大きさに依存するという“Size Effect”がある。すなわち、曲率半径の小さなサイトはエネルギーが高く不利である。したがって、界面エネルギーに応じて有効な核生成サイトのサイズがあることになる。これを理解することも、酸化物のサイズを制御する一つの手段になりうる。

そもそも微細な粒子にとっては、その挙動に対する物性値として、表面エネルギーの寄与が非常に大きくなることは当然である。その効果を上手に利用している例として、化学工業における界面活性剤があり、分散粒子の重要な制御手段である。それに比べて高温冶金反応においては、表面活性元素の利用は全く不十分であり今後の重要な研究課題である。

3.2 鉄の凝固界面における粒子や気泡の挙動

進行する凝固界面と、その前面に位置する酸化物粒子や気泡との相互作用については、Uhlman and Chalmers¹²⁾の古典的な研究以来、粒子と凝固界面間に働く力の釣り合いから、捕捉されるか押し出されるかの限界条件を求めた多くの研究がある。その中でも、Poetchke and Rogge¹³⁾の構築した理論は、Korberら¹⁴⁾のモデル実験結果をよく説明する詳細なものである。それによると、凝固界面が粒子に接近した時、その間にできる狭いチャンネルから、液体が流出するための粘性抵抗が逆に界面への吸引力となる。この力は界面の進行速度や形状に大きく依存するが、関連する力の釣り合い条件から捕捉される限界の界面進行速度が求められる。

さらに、Mohanty¹⁵⁾らは、溶銅中に溶解した水素の凝固界面での濃縮度と、チャンネルから水素が拡散する速度を解析した。すなわち、チャンネル内の濃縮速度が、拡散して流出する速度より大きいと水素が過飽和になり、界面にある異物質を核生成サイトとして水素気泡が生成し、凝固界面に捕捉されてボイドとなる。伝熱解析によると、界面前方に熱伝導度の低い粒子があると、その断熱効果で影に入った部分の等温線が前方に飛び出し、一旦、界面形状が凸に隆起する。いわゆるBumpである。さらに界面が接近すると、今度は溶質元素の濃縮効果で固相線温度が降下し、界面の凸部の形状は再び窪んで先端部分が凹状となる。そ

の結果、粒子は凝固界面にくるまれた状態になる。これをEngulfmentという。この場合、曲率の大きい凝固界面では、BumpやEngulfmentは不安定となることは容易に想像できる。事実、向井ら¹⁶⁾はデンドライト界面は平滑界面に比べて、粒子の捕捉が不均一になることを示した。また、柴田ら¹⁰⁾の直接観察結果は、このような凝固界面と粒子の相互作用を明確に裏付けた。

これらの解析結果をまとめると、粒子の捕捉限界速度を低下させる、つまり、捕捉を促進する因子は以下のようになる。

- (1) 粒子、または、気泡のサイズが大きい
- (2) 粒子、または、気泡の熱伝導度が小さい
- (3) 3相間の界面エネルギーバランス < 0、
つまり、固体鉄/粒子間E < (溶銅/粒子間E + 溶銅/固体鉄間E)
- (4) 溶銅の粘性大 (物性値であるが、溶質成分の濃縮により変化する)
- (5) 溶質元素の界面濃縮大 (濃縮するほどチャンネル形状が深く流出しにくくなる)
- (6) 凝固界面の曲率 ≤ 0 (粒子は凹部で安定、凸部は不安定)

小さい粒子ほど捕捉の限界凝固速度が大きくなることは、明らかに捕捉が難しいことを意味し、オキサイドメタラジーにとっては望ましくないところである。しかし、粒子が液体か固体かによる相互作用の違いや、凝固の3相界面でのエネルギーバランスの影響は、もっとはっきりさせるべきである。その結果によって適当な表面活性元素の利用や、最適な組成の酸化物を得るための脱酸元素の選定をすることができる。

結局、大中¹⁷⁾や向井¹⁸⁾らは、凝固界面近傍の微少な粒子や気泡に作用する力を、以下のように整理している。

- マクロな力 (1) 速度勾配による力 (2) 粒子の回転による力 (3) 浮力 (重力)
- (4) 粘性力
- ミクロな力 (5) van der Waals 力 (6) 界面エネルギー勾配力 (7) 非連続体粘性力
- (8) 静電力

特に、向井¹⁶⁾は、界面エネルギー勾配によるマランゴニ効果を定量的に計算し、その重要性を明確に指摘している。そのモデル実験によれば、凝固シェル前面での界面張力勾配により、粒子が急激に進路を曲げてシェルに向かって吸引される様子が明確に観察されている。実際にも、横山ら¹⁹⁾は、チタンキルド銅とアルミキルド銅の酸化物介在物が、凝固シェルに捕足される挙動を比較し、チタンキルド銅の酸化物の方が高速度でシェルに吸引されると結論づけた。

これらの力の他に、Asakura and Oosawa²⁰⁾は1964年、コロイド液体中の微粒子の相互作用として、Entropy力ともいべきユニークな新概念を発表した。この考え方は、その後も発展し、最近もいくつかの研究報告がある。Dinsmore²¹⁾は、大小2つの剛体球の混合溶液の中での粒子間力を考察している。今、大小の粒子半径をそれぞれ R 、 r とすると、 $R < x \leq R + r$ の領域は、剛体球の仮定から小さい粒子が接近できない制限領域である。そうすると、大きい粒子同士が接触すると上記の領域は重複しあい、その重複した領域の分だけ、制限領域が減少することになる。つまり、小さい粒子の接近できる領域が増えるわけで、結局、系のEntropyが増加する。したがって、大きい粒子同士が合体する方が、系はより安定するのである。また、容器の壁や凹凸部でも粒子の衝突によりEntropy増大効果が現れるので、粒子が特に集積しやすい場所となる。

ところで、以上はアルミナのような固体粒子に適用できる剛体球モデルであるが、マンガンシリケートのような液体粒子の衝突時には界面が容易に変形するので、このようなEntropy増大効果はないはずである。むしろ、界面エネルギーバランスが支配するであろう。また、サイズ分布を持つ混合粒子の系ではどうなるのであろうか？連鎖的な効果がありそうで興味深いのが、これらについて報告されたものはまだ見あたらない。今後は、高温の溶鉄中の酸化物粒子の場合に、Entropy効果と界面エネルギー効果がどの程度の影響を持つのか、さらに理論的に発展することが期待される。

3.3 溶鉄中の固体鉄結晶の不均質核生成

液体中に固体結晶が生成する現象については、何らかの異質の物質を核とする不均質核生成が普通である。その方が均質核生成に比べて、はるかに低いエネルギーですむからである。溶鉄中の固体鉄の核生成については、Bramfit²²⁾は20種類の核生成物質と晶出する鉄双方の結晶整合性を調べて、それらの中で、TiNとTiCがフェライト結晶核として非常に有効であることを見だし、結晶間の整合性を表す一般的な数式に整理した。この有名な研究以降、多くの研究者がこの考え方を継承している。

オキサイドメタラジーでは、結晶の個数ばかりでなく、その形態や異方性が問題となる。その理由は、粒子を均一に多数分散させることはもちろんのこと、粒子とマトリクスの相互作用を促進したいからで、結晶の形態や異方性が重要な因子である。すなわち、結晶の核生成ばかりではなく、成長の問題も等しく重要視する。そのためには、単に、結晶の整合性だけではなく、界面物性にももっと注意を払う必要がある。界面エネルギーは核生成のための臨界サイ

ズに対して非常に大きな影響を及ぼすが、核生成後の結晶の成長も同様であり、生成した結晶の形態を大きく変化させる。

Skaland²³⁾は球状黒鉛鉄の接種効果を、巧妙な二つの理屈で説明する。まず第一に、黒鉛のhcp型結晶の底面である(001)面と、その核となるhcp型酸化物の(001)面が良い整合性を持つ場合に、核生成しやすいという理屈である。第二に黒鉛の球状化は、黒鉛の特定の結晶面が優先的に成長することを阻止することで説明する。すなわち、鑄鉄中に含まれるSは界面活性作用があり、黒鉛結晶のエネルギーの高い側面（プリズム面）に吸着してそのエネルギーを下げるので、側面が底面より早く成長する。その結果として、底面が平板状に広がった鱗片状となる。逆に、Sが低いと側面よりも底面の方がエネルギーが低いので、スクリュエ転位などを使って底面が優先的に成長し棒状になる。その結果、中心の核からあらゆる方向に伸びた小さな棒の集合体、つまり、見かけ上の球となる。

鑄鉄の接種剤として有名なMgやCa合金は、巧まずしてこの二つの作用をおよぼす。まず、MgやCaは不純物のSと反応してMgSやCaSを生成する。それを芯にしてhcp型のMgOSiO₂酸化物が生成し、その(001)面は黒鉛の(001)面との結晶整合性が良く、ここで黒鉛が核生成する。同時に、MgやCaの強力な脱硫作用のため、核の周囲では局所的にS濃度が低下するのでその界面活性作用も低下し、上述のように底面が優先的に成長する。その結果、MgOSiO₂酸化物を核として、四方八方に向かって多数のプリズム型黒鉛結晶が成長して球状化する。このように、新しい結晶の核生成と同時に、その形態にも非常に大きな作用を及ぼすのが界面活性成分なのである。

3.4 固体鉄中の新たな鉄結晶の核生成

この現象には2種類ある。 δ 鉄から γ 鉄、あるいは、 γ 鉄から α 鉄が生成する場合などのいわゆる相変態と、同じ α 鉄から新たな α 鉄が生成する場合のようないわゆる再結晶である。前者ではMnSや炭化物、窒化物などが核となり、後者ではその他に転位などが核の役割を果たしている。各種の析出物を核とする場合、さらにその核となっている酸化物の制御にまで遡る必要があり、ここで再びオキサイドメタラジーの問題となる。転位にしても十分な密度を確保するためには、析出物による転位のピン止め効果により加工歪みを蓄積しなければならない。

結晶の核生成と同様に、新しく生まれた結晶の成長も重要な問題である。 γ 鉄から α 鉄が生成するような、いわゆる相変態では2つの制限条件がある。第1の条件は、核生成サイトである析出物と α 結晶の整合性であるが、第2の

条件は、その後の成長段階での γ 鉄と α 鉄の結晶整合性である。これは有名なK-S方位関係といわれ、 α 鉄が成長するために満足しなければならない条件である。このため鉄の結晶の核生成は、液体からよりも固体からの方が障壁が高く、多くのエネルギーが必要となるので過冷却しやすいといえる。

さらに、核生成物質の周囲の γ 鉄マトリックスの状態も、 α 鉄の生成と成長に対して強い影響力を持つ。例えば、MnS析出物の変態促進作用である。成長しつつあるMnS析出物は、その周囲からMnとS原子を吸収するが、拡散速度の遅いMnは供給が追いつかず濃度の希薄帯ができやすい。Mnは γ 鉄を安定化する、いわゆる、オーステナイトフォーマーであるからその希薄帯は γ 鉄を不安定にし、結局、 α 鉄の生成に有利な環境を作り出すことになる。

したがって、どうすれば多数の微細なMnS粒子を、均一に析出させられるかという問題は非常に重要である。この分野にもまたオキサイドメタラジーの考え方が必要であり、適正な組成とサイズの酸化物を、均一に分布させるための製鋼技術が望まれる。この問題について、上島ら²⁴⁾、若生ら²⁵⁾は、各種の脱酸剤を添加して凝固させ、冷却中に析出するMnS粒子の挙動を詳細に調べた。その結果、最も広範囲に使われるアルミニウム脱酸は、MnSの析出にとっては最も核生成作用が低いこと、逆に、チタンやジルコニウム脱酸が好ましいことがわかった。チタン脱酸では生成したチタニアがマンガンシリケートと適度に複合した酸化物を形成しているのに対して、アルミニウム脱酸では、マンガンシリケートが完全に還元されてアルミナ単独の粒子となっていた。適度に複合したマンガンシリケート酸化物は、溶鉄の温度で液体でありS原子をその中に溶解している。温度が下がってくるとその中のS溶解度が下がってくるため、MnSとして晶出してエンブリオとなるものと考えられる。結局、MnSが析出しやすい酸化物は、マンガンシリケートのように高温でSの溶解度の高い、いわゆる、サルファイドキャパシティの高い酸化物であることが分かった。

このようなMnS粒子は、続いて複合析出してくる他の炭化物や窒化物の核としても作用する。もしこれらの析出物が相変態で生成する α 鉄と結晶整合性が良いと、MnS粒子の周囲のMn希薄帯による相変態促進効果との相乗効果が生まれることになる。

次に、同じ α 鉄の中に新しい α 鉄結晶を生成させる再結晶の場合、部分的に再結晶核が急激に成長すると混粒となり、材料としての均質性が損なわれ加工時に問題となる。したがって、ここでもまた、結晶を均一に核生成させた後、その粒界の移動を妨げるような、析出物効果に期待するオ

キサイドメタラジーの課題がある。この問題も結局、核生成作用があって、しかも、粒界の移動を抑制するような析出物を利用することにつきる。したがって、 α 鉄との結晶整合性ばかりではなく、結晶粒界の構造に関わる析出物のピン止め作用を理解した上で、適正な析出物の種類、サイズ、分布を決めなければならない。結晶粒界も立派な界面である以上、このような場合の界面エネルギー問題も重要なテーマである。

3.5 鋼材の加工中における粒子のサイズ、組成、空間分布の変化

実際の材料は凝固後に熱間加工、さらには、冷間加工を受けて、全体の形状が薄く長く変形する。したがって、製鋼段階で折角調整した粒子も加工によって変化する。従来から大型介在物の場合は、鋼鉄のキズ問題として広く研究され、熱間変形挙動はその組成に大きく依存するというBernardら²⁶⁾の優れた整理がある。

しかし、ここで問題にするのは、もっと微細な粒子の挙動である。鉄マトリックスの変形に対して、粒子群はどのような挙動をするのだろうか？ 当然、硬質粒子は破壊されてさらに細かく広く分散するであろうし、軟質粒子は変形方向に長く延びて異方性のある分布となるであろう。均一に分散させるためには、粒子の組成など物性の制御が重要であるとともに、粒子分散材料としての塑性加工の研究も興味深い。

4 まとめ

従来、材料にとって有害として忌避されてきた非金属介在物も、その組成、サイズ、個数、空間分布などを適正に制御できれば、非常に有効な材質制御手段になることが分かってきた。問題は正確に制御することである。G.スティックス²⁷⁾のいうように、世はまさにナノテクノロジーの時代である。今後、ナノメーターサイズの微粒子を思うままに制御できたとしたら、夢のような材料の開発も可能となるだろう。そのためには今までにない研究手法として、材料屋も上流の脱酸や凝固の製鋼工程までさかのぼってみることも、また、製鋼屋も下流の圧延・加工工程まで降りてみることも大事ではないだろうか？ そのキーワードは界面エネルギーである。21世紀の風景は、そこから見えてくるかもしれない。

参考文献

- 1) 西沢泰二：ふえらむ，1(1996)，108.
- 2) 金属材料技術研究所：「フロンティア構造材料研究セ

- ンター」パンフレット, (1997) 7月
- 3) 通商産業省基礎産業局製鉄課: 鉄鋼界, (1996)12月, 18.
 - 4) J.Takamura and S.Mizoguchi: Proc. 6th Int. Iron and Steel Congress, ISIJ., Nagoya, October, Vol. 1 (1990), 591.
 - 5) 若生昌光: まてりあ, 35(1996), 1311.
 - 6) 山本広一: ふえらむ, 2(1997), 351.
 - 7) 大橋徹郎, 為広博, 高橋学: まてりあ, 36(1997), 159.
 - 8) 高橋忠義: ふえらむ, 1(1996), 257.
 - 9) U.Lindborg and K.Torssell: Trans. Metallurgical Soc. AIME, 242(1968), 94.
 - 10) 柴田浩幸, 江見俊彦: まてりあ, 36(1997), 809.
 - 11) I. Gutzow: Contemp. Phys., 21(1980), 121.
 - 12) D.R. Uhlman and B. Chalmers: J. Applied Physics, 35(1964), 2986.
 - 13) J. Poetschke and V. Rogge: J. Crystal Growth, 94 (1989), 726.
 - 14) C. Korber, G. Rau, M. D. Gosman and E. G. Cravalho: J. Crystal Growth, 72(1985), 649.
 - 15) P. S. Mohanty, F. H. Samuel and J. E. Gruzlesky: Metallurgical Trans. A, 24A(1992), 669.
 - 16) 向井楠宏, Wei Lin: 鉄と銅, 80(1994), 533.
 - 17) 大中逸雄: 日本学術振興会, 製銅第19委員会資料, 19委-11545. (1995) 1月
 - 18) 向井楠宏: 鉄と銅, 82(1996), 8.
 - 19) 横山隆宏, 上島良之, 笹井勝浩, 水上義正, 垣見英信, 加藤誠: 鉄と銅, 83(1997), 563.
 - 20) S. Asakura and F. Oosawa: J. Chem. Physics, 22 (1954), 1255.
 - 21) A.D. Dinsmore, A.G. Yodth and D.J. Pines: Nature, 383 (1996), 239.
 - 22) B.L. Bramfit: Metallurgical Trans., 1(1970), 1987.
 - 23) T. Skaland, O. Grong and T. Grong: Metallurgical Trans. A, 24A(1993), 2321.
 - 24) 上島良之, 湯山英俊, 溝口庄三, 梶岡博幸: 鉄と銅, 75(1989), 501.
 - 25) 若生昌光, 澤井隆, 溝口庄三: 鉄と銅, 78(1992), 1697.
 - 26) G. Bernard, P.V. Ribout and G. Urbain: CIT Revue de Metallurgie, (1981) May, 421.
 - 27) G. スティックス: 日経サイエンス, (1996)6月号, 128.

(1997年11月10日受付)



記事広告

膨大な文書情報の整理・活用を飛躍的に向上させる

ドキュメント・スキャナー コダック株式会社

Kodak Japan Ltd.

Document scanners for greatly improved storage and utilization
of huge documentary information



文書の保管・活用に威力を発揮

膨大な資料やデータの山をどう保管し、活用していくのかは、高度情報化時代にあって、ひとつの大きなテーマといえる。ここでとりあげるドキュメント・スキャナー(コダック(株))は、そうした困難で地道な努力が必要とされるファイリング・マネジメントを考えるうえでの、きわめて有効なツールとなるものである。

ドキュメント・スキャナーとは、あらゆる文書(印刷物、手書き書類、図版も含め)を、画像イメージとしてコンピュータに取り込む装置である。用紙上に写真技術を用いて画像イメージを焼き付けるのがいわゆるコピー機だとすれば、コンピュータ上のメモリーに同様に画像イメージを写しとっていくのがドキュメント・スキャナーだと考えられるだろう。文書原稿を画像イメージとしてデジタル化し、保存していくため、手で書かれたり印刷されたりしたものであれば、どんなものでも読み込むことができる。ただし精密図面や数値的な厳密さを求められるもの(たとえばCAD情報など)は、その性質上限界がありえる。文書であればほとんどが対象にできると考えられるだろう。写真は、新聞のモノクロページ程度のタッチでは保存できる。

ドキュメント・スキャナーを用いれば、あらゆる文書をデジタル・データとして保存しておくことができる。つまり、膨大な情報をCDや光ディスクとして保存できるわけである。



毎分100枚レベルの高速処理

ドキュメント・スキャナーの場合、毎分60~160枚(200dpiの場合)というスピードで文書をそのまま画像イメージとして読み取り(裏表両面可能)、保存することができる。簡単な分類番号などを与えておけば、膨大な蓄積資料の中

から目的とする文書を探し出すことも容易になる。むろんパソコンと連動させることで、保存データを活用することが可能である。たんにイメージ・データとして保存するのではなく、文字情報として活用したい場合はOCR(イメージ上の文字情報をコードに変換し、コンピュータ上で処理可能にする装置)と連動させることもできる。

捨てるに捨てられずに埃を被っている資料を、まとめてCDや光ディスクに保存しておけば書類そのものは破棄してしまっても、記録は原本と同じイメージで保存できる。いるかいないか分からない、思い切って捨てるだけの決意がつかない文書類も、こうしたイメージ・データとして保管しておけば、場所をとらず、机の引き出しもすっきりする。イメージ・データなら筆跡まで鮮明に残せるから、記憶をたどらねばならない場合にもいい。

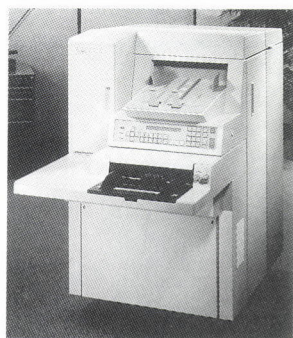
作業としてはコピー機とほとんど同様で、フィーダーに読み取りたい文書をセットしてスイッチを押せば、そのままコンピュータに読み込まれる。そこから先は電子メールのやりとりができる程度のコンピュータ操作能力があれば、誰にでも簡単に作業ができるはずである。



マイクロ・フィルムとの並列保存も可能

現状、こうしたドキュメント・スキャナーは現在、各図書館で実施している電子化図書館事業にも利用されている。年々増加する出版物をすべて半永久的に保存していかねばならないとすれば、とんでもないスペースが必要とされることは想像がつく。

これまでにはマイクロフィルムとして残すという方法があったが、電子化しておけば検索性、活用性が高まるといった利点がある。反面、半永久的な保存性を考えるとマイクロフィルムのほうが安心ではある。10年後に今日と同じ



ドキュメントスキャナー990
電子スキャニングとマイクロフィルム
撮影を同時処理。



ドキュメントスキャナー7550
標準向け、コンパクト・デザイン。



ドキュメントスキャナー9500
毎分160枚の高速スキャニングが可能。

データを処理できる機械が継続して使われているかどうか
がまったく予想できないからである。その点アナログのマイ
クロ・フィルムならレンズで拡大すれば見ることができ
るわけだから、周辺機器に関連する心配はより小さくなる。

こうした発想からドキュメント・スキャナーのイメー
ジ・データは、CDや光ディスクなどのデジタルのデータか
らマイクロ・フィルムに落とすこともできるようになって
いる。並列保存である。

阪神大震災では、水道配管の配置図をデジタルで保管し
ていた自治体でコンピュータの使用が不能になり、マイク
ロ・フィルムで保管していた自治体ではむしろ復旧がス
ムーズに行えたという経験がある。その結果、よりシンプ
ルで汎用性のあるマイクロ・フィルムの利点が見直される
ようになってきた。そうした経験も加味すると、比較的近
い未来での情報活用にはデジタルのイメージ・データを用
い、恒久保存にはマイクロフィルムを用いるという発想も
されるようになっていく。ドキュメント・スキャナーには、
機種によって一度の読取りでデジタル・データとマイク
ロ・フィルムの両方をいっぺんに作成できるものも用意さ
れており、並列保存・活用を考える場合には、この機種が
役に立つだろう。

4 ヨゴレ、折れがあっても鮮明画質

図書館以外でのこれまでの採用例としては、大量の帳票
類を扱う運送業界などが代表としてあげられる。配送伝票
などヨゴレやしわなどでくしゃくしゃの書類を支障なく1
分間に240枚の高速で読み取ることができ、伝票上のバー
コードデータも活用できるドキュメント・スキャナーは、

物流の現場では、いまやなくてはならない存在になりつつ
ある。くしゃくしゃの書類が読み取れるということは、変
色したり、補修されたりしたものでも大丈夫だということ
だ。老朽化が激しい文書資料を保管する場合でも安心して
使用することができるだろう。テストでは、模様付きトイ
レットペーパーでも、うまく読み取ることができたという
ことなので、たいていの書類は大丈夫なはずだという。ま
たより上位の機種では、2灯式照明によって、紙の折れや
段差が画面に出ないものもある。切り貼り資料をより美し
く残したい場合には、これらの上位機種が有効だと考えら
れるだろう。

コダック(株)では、要請に応じてこれらの機器に関する
セミナーなども開催しているから、セミナーを利用して使用
目的にもっとも適した機種を選定することができるだろう。

また機械を導入するほどではないが、手元の文書をデジ
タル・イメージやマイクロ・フィルムとして保存しておき
たいというニーズには、変換作業のみの請負いもあるとの
ことなので、相談してみるとよいのではないだろうか。

この記事広告の内容に関する問合せ先

コダック株式会社 ビジネスイメージングシステムズ事業部
(ふえらむ係)

(5月10日まで) 電話：03-5488-2433 FAX：03-5488-4500
〒140-8686 東京都品川区北品川4-7-35

(5月11日より) 電話：03-5644-5016 FAX：03-5644-5066
〒103-8540 東京都中央区日本橋小網6-1

*株式会社コダック情報システムズ及び日本コダック株式
会社は5月1日よりコダック株式会社と社名変更いたしま
した。

「ふえらむ」に新たに本ページ掲載の「記事広告」欄を開設いたしました。
記事広告についての詳細につきましては本号 後1 ページをご参照願います。

「ふえらむ」会報編集委員会

第38回(平成9年度)東レ科学技術研究助成金受領者の決定

(財)東レ科学振興会より研究助成される平成9年度東レ科学技術研究の助成金受領者11件が決定され、そのうち本会推薦の月橋文孝氏(東京大学、超高純度鉄の製造プロセスの速度論に関する研究)が選ばれました。

本会情報一覧

記事内容	掲載号
第136回秋季講演大会 一般講演募集案内	本号369頁
第136回秋季講演大会 予告セッションへの講演申込のお誘い	本号370頁
講演大会参加方法のご案内	本号371頁
第136回秋季講演大会 討論会講演募集案内	本号371頁
第136回秋季講演大会 学生ポスターセッションでの発表のお誘い	本号373頁
専門分野別部会登録のご案内	本号374頁
ISS主催行事予定	本号376頁
平成10年度重点研究募集要領	本号378頁
計測・制御・システム工学部会フォーラムのご案内	本号379頁
鍛鍛品工学フォーラム研究会「面摩擦材料の創製」開催案内	本号379頁
1997年度下期分野別部会部会大会状況	本号380頁
「圧延の有限要素法による理論解析の実際」開催案内	本号381頁
平成9年度鉄鋼技能功績賞受賞者決定のお知らせ	4号296頁
第8回鉄鋼研究振興助成(含む石原・浅田研究助成)募集案内および運用の一部変更のお知らせ	4号297頁
第7回鉄鋼圧延国際会議参加登録のご案内	4号299頁
シンポジウム「自動制御系の調整方法」開催案内	4号300頁
材料の組織と特性部会 平成10年度新規発足フォーラムと参加へのご案内	4号300頁
材料の組織と特性部会 「自主フォーラム」発足のご案内	4号301頁
理事、監事、評議員候補者氏名一覧	3号210頁
新名誉会員および受賞者のお知らせ	3号210頁
第24回鉄鋼工学セミナー受講者募集案内	3号213頁
論文誌投稿規程改訂のお知らせ	2号132頁
本会会員への大学研究支援設備紹介事業のお知らせ	2号132頁
公的資金による提案公募型研究開発推進制度等のご案内	2号134頁
「鉄と鋼」特集号「評価・分析・解析」原稿募集のご案内	1号57頁

訂正:

「ふえらむ」4月号299ページに掲載されました、第7回鉄鋼圧延国際会議参加登録のご案内につきまして、参加登録の締切日が6月30日となっておりましたが、正しくは下記の通りです。

- ・講演者の参加登録締切日: 1998年6月30日(火)
- ・一般参加者の参加登録締切日: 1998年9月30日(水)

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
1998年			
5月 8日	平成10年度「工学教育」連合講演会（東京）		4号305頁
11～13日	トライボロジー会議'98（春東京）		4号305頁
12～15日	Fourth Special Symposium on Advanced Materials(SSAM-4)（名古屋）		4号306頁
14日	第180回塑性加工シンポジウム「軽量化最前線」（大阪）		4号306頁
18,19日	日本複合材料学会1998年度研究発表講演会（東京）		4号306頁
20～22日	自動車技術会'98春期大会（ULSAB試作車展示と講演）（横浜）		本号383頁
22日	「圧延の有限要素法による理論解析の実際」（東京）	1998/5/15	本号381頁
25～28日	'98国際金属歴史会議しまね（島根）		4号306頁
26～28日	第3回日本計算工学会講習会（東京）		1号58頁
28,29日	超高温材料シンポジウムⅡ「新しいエネルギー材料」（宇部）		4号306頁
6月 2日	鑄鍛品工学フォーラム研究会「耐磨耗材料の創製」（東京）		本号379頁
5日	セラミック・分析セミナー（東京）		本号383頁
8,9日	第28回初心者のための有限要素法講習会（京都）		本号383頁
10日	シンポジウム「自動制御系の調整方法」（千葉）	1998/5/20	4号300頁
11,12日	平成10年度溶接技術基礎講座（東京）		4号306頁
11,12日	HPI技術セミナー第8回「圧力設備の材料、設計、施工、維持管理」（東京）		4号306頁
14～19日	International Deep Drawing Research Group(IDDRG'98)（Belgium）		本号383頁
15,16日	第28回初心者のための有限要素法講習会（大阪）		本号383頁
17,18日	SICE夏期セミナー'98－実践デジタル信号処理－（千葉）		4号306頁
24,25日	金属学会セミナー「計算機シミュレーションを用いた材料開発の基礎と応用」（東京）		本号383頁
24～26日	第39回塗料入門講座（東京）		本号383頁
25,26日	第24回実用溶接講座（川崎）		4号306頁
30日,7月1日	第20回宇宙ステーション利用計画ワークショップ（東京）		本号383頁
7月 1日	第17回技術セミナー「腐食を理解するための電気化学入門」（東京）		本号383頁
8～10日	第25回コロージョンセミナー「エネルギー産業を支える防食技術」（新潟県）		本号383頁
9,10日	システム制御情報学会「チュートリアル講座'98」（大阪、東京）		本号383頁
14～16日	平成10年度溶接工学夏季大学「溶接・接合による材料・製品の高品質化と高機能化」（大阪）		4号306頁
14～16日	第29回結晶成長国内会議（NCCG-29）（浜松）		本号383頁
23,24日	第34回X線材料強度に関するシンポジウム（京都）		4号306頁
23,24日	混相流シンポジウム'98（東京）		本号383頁
24日	第78回塑性加工講習会「インプロセスセンシングとセンサ技術」（東京）		4号306頁
25～31日	第24回鉄鋼工学セミナー（蔵王）	1998/5/8	3号213頁
30日	第46回年次大会（平成10年度）「工学・工業教育に関する研究講演」（福岡）		本号384頁
8月 6～8日	第9回電顕サマースクール1998「極微構造解明の新展開」（福岡）		本号384頁
17～20日	Dynamics and Design Conference '98（札幌）		本号384頁
26～28日	第73回塑性加工学講座「有限要素法入門セミナー」（東京）		本号384頁
9月 3,4日	第42回日本学術会議材料研究連合講演会（東京）		本号384頁
21～23日	GALVATECH'98国際会議（千葉）		9号693頁
28～30日	第136回秋季講演大会（愛媛）	1998/7/8	本号369頁
10月 13～15日	ASM's Materials Solutions Conference/Exposition（USA Illinois）		本号384頁
21～23日	第19回日本熱物性シンポジウム（福岡）		本号384頁
28～30日	第24回疲労シンポジウム（福岡）		本号384頁
11月 9～11日	第7回鉄鋼圧延国際会議（千葉）		4号299頁
25～27日	テクノ・オーシャン'98（神戸）		本号384頁
26,27日	HPI技術セミナー第8回「圧力設備の材料、設計、施工、維持管理」（大阪）		4号306頁
12月 1～3日	第2回高温エネルギー変換システムおよび関連技術に関する国際シンポジウム（名古屋）		1号58頁
1999年			
11月 14～18日	Second International Conference on Processing Materials for Properties (PMP'99)（サンフランシスコ市）		本号384頁

編集後記

明石海峡大橋の開通に先立ちブリッジ・ウォークなるイベントが催され、子供に連れられ参加した。当日だけで約8万人が参加し、夏祭りさながらの混雑ぶりであったが、早春の爽やかな風の中を、往復約10kmの散策を楽しんだ。

万葉の時代から詩に詠まれてきた景観に、世界一の橋長を誇る秀麗な機能美が映え、まさしく「鉄の絶景」。間近に見るアンカレッジの巨大さや、仰ぎ見る主塔の高さ等、スケールの大きさには圧倒される思いだが、それに比べ、直径1.1mのメインケーブルは華奢に見える。新たに開発され

た180kgf強度の鋼線が、軽量化と低コスト化に寄与した結果、この長大橋を実現せしめた事を実感し、思わず子供に自慢する次第…。

残念ながら長大橋の建設は端境期に入るようだが、鉄鋼技術のさらなる進展が新たなニーズを開拓し、このような社会資本の充実に一層貢献していく事を念じつつ、帰途についた。

(Y.K.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

副委員長 近藤 隆明 (NKK)

委員 石井 邦宜 (北海道大学)	梅本 実 (豊橋技術科学大学)	大河内春乃 (東京理科大学)
上村 正 (いすゞ自動車㈱)	久保田 猛 (新日本製鐵㈱)	小西 正躬 (㈱神戸製鋼所)
小林 正人 (㈱日本鉄鋼連盟)	今野 美博 (住友金属工業㈱)	佐藤 駿 (財金属系材料研究開発センター)
下川 成海 (㈱日本鉄鋼協会)	塚本 顕彦 (三菱重工業㈱)	長坂 徹也 (東北大学)
中村 欣弘 (㈱トライ)	古田 修 (愛知製鋼㈱)	丸山 俊夫 (東京工業大学)
三浦 和哉 (㈱日本鉄鋼協会)	山下 孝子 (川崎製鉄㈱)	

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000円 (消費税等込・送料本会負担)

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 1998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 内仲康夫

印刷人/印刷所 東京都文京区白山 1-33-15 (㈱トライ)

発行所 社団法人日本鉄鋼協会 〒100-0004 東京都千代田区大手町 1-9-4 経団連会館 3階

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021(代)

学会部門事務局: 03-3279-6022(代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023(代)

FAX: 03-3245-1355(共通)

郵便振替 口座東京 00170-4-193 番

(会員の購読料は会費に含む)

© COPYRIGHT 1998 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

〒107-0052 東京都港区赤坂 9-6-41 乃木坂ビル 3階 TEL&FAX 03-3475-5618

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

Copyright Clearance Center, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

表紙デザイン 出澤 由野

「記事広告」開設のお知らせ

「ふえらむ」に「記事広告」欄を開設いたしました。記事広告のページ数：1件につき刷り上がり2ページ以内

原稿の作成：次の2種類があります

- 1) 広告主が作成したもの
- 2) 編集委員会が用意したライターが取材し記事作成したもの

掲載料：

- 1) 広告主作成記事の場合→基本料金
- 2) ライター記事取材 →基本料金+取材費用

なお、記事内容が不適切な場合はお断りする場合があります。

(記事広告内容は本号 367～368 ページをご参照願います。会報編集委員会)

申込み・問合せ先：(社)日本鉄鋼協会 学会部門事務局 編集グループ
TEL.03-3279-6022 FAX.03-3245-1355

ふえらむ Vol.3 No.5 広告目次

表2 住友金属工業(株)	前4 オリックス・レンテック(株)	後2 富士電波工機(株)	非接触浮揚溶解装置
エンジニアリング各分野	レンタル機器	3 ロザイ工業(株)	蓄熱式脱臭装置
前1 (株)マツボー 高精度レーザー測定器	記事広告 コダック(株)	4 神奈川機器工業(株)	強力磁気フィルタ
2 丸本ストルアス(株) 試料準備機器	ドキュメント・スキャナー	(株)協会通信社	広告案内
3 ハルツォク・ジャパン(株)	後1 本誌広告目次	表3 日本ミンコ(株)	サンプル・サンブラ
発光分光分析装置	(株)大同分析リサーチ 試験分析サービス	表4 日本アナリスト(株)	炭素分析装置

本誌広告取扱 株協会通信社 TEL.03-3571-8291 / 株共栄通信社 TEL.03-3572-3381 / 株スノウ TEL.03-3257-9565
FAX.03-3574-1467 / FAX.03-3572-3590 / FAX.03-3257-9568

分析・試験・調査

大同特殊鋼グループの
蓄積された技術とノウハウで、
材料開発・品質管理のための
調査および解析データを提供。

材料解析

各種材料の
破断原因調査

環境分析

産業廃棄物の分析
工場排水の測定

化学成分分析

鉄鋼、非鉄金属の
成分分析

機械試験

各種材料の強度・
靱延性の試験

腐食試験

金属、ステンレス等の
沸騰試験薬腐食試験

DBR 株式会社 大同分析リサーチ
DAIDO BUNSEKI RESEARCH, INC., ; DBR

〒457-8545 名古屋市中区大同町2丁目30番地 大同特殊鋼株式会社技術開発研究所内

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

詳しくはホームページまで

<http://www.daido.co.jp/dbr/index.html>

ご意見・ご感想等はメールで

E-MAIL:webmaster_dbr@daido.co.jp

非接触浮揚溶解装置!!

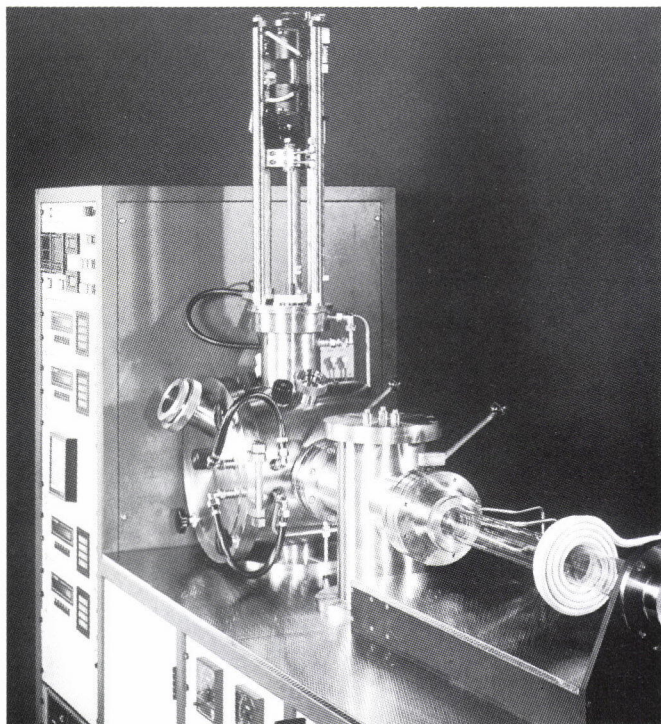
COLD CRUCIBLE INDUCTION MELTING

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
- 溶解時の雰囲気は自由に選択できる
- 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)



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
〒350-2201 ☎(0492)86-3211 FAX (0492)86-5581
大阪営業所 ☎(06)539-7501 名古屋営業所 ☎(052)763-7511

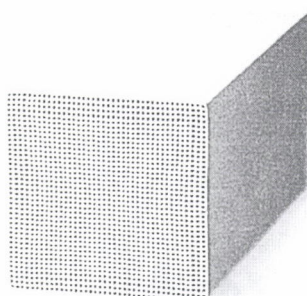
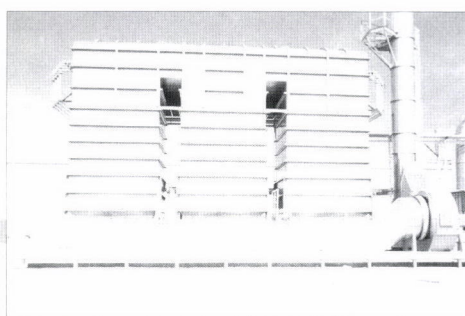
エコピュアー® RTO 蓄熱式脱臭装置

容量：25m³/min.～17,000m³/min.

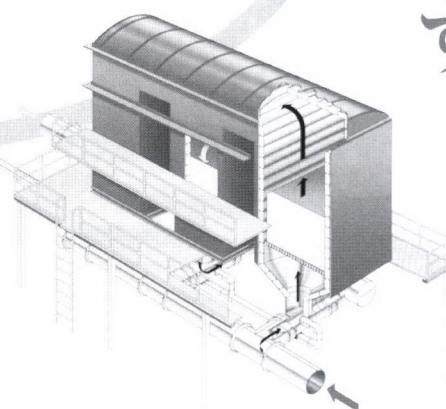
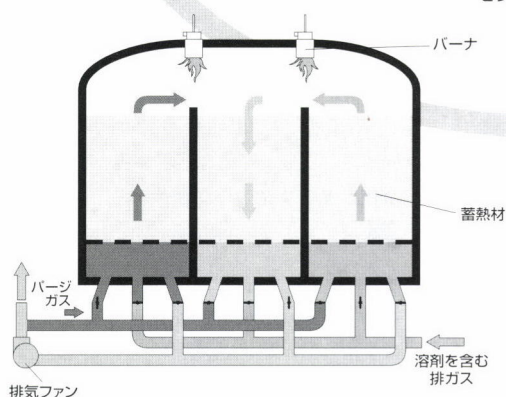
世界でも有数の環境設備のトップメーカーであるデュール社との技術提携によるエコピュアーRTOは蓄熱材にセラミックハニカムを採用し、VOC含有排ガスを高性能処理します。

特 長

- 高いVOC分解効率(最大99.9%)
- 高い熱回収効率(最大96%)
- 圧力損失が少い(低電力消費)
- 設備がコンパクトである
- 容易なメンテナンス



セラミックハニカム



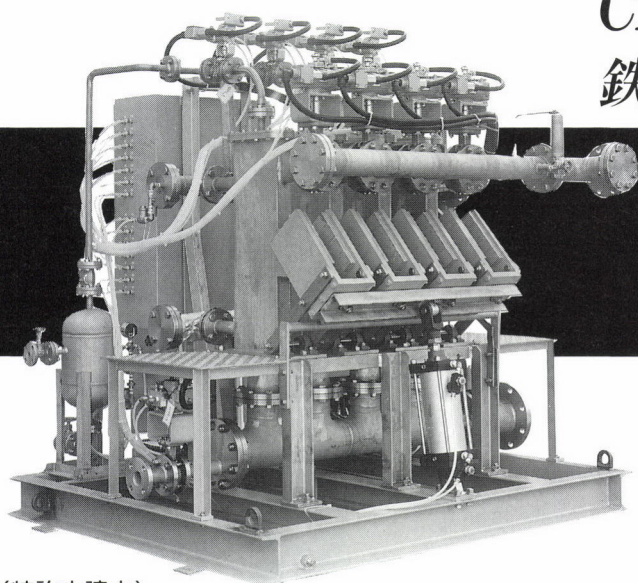
独自のセラミックハニカムにより
優れた脱臭性能を発揮します。



次世代の「熱と環境」を創造する

ロザイ工業株式会社

本 社 〒550-0015 大阪市西区南堀江1丁目2-14
TEL(06) 534-3611(代表案内) FAX(06) 531-2043
東京支店 〒104-0061 東京都中央区銀座5丁目10-2 (銀座中央ビル)
TEL(03)3571-9361(代 表) FAX(03)3573-4050



(特許申請中)

**CAL・CGLでの
鉄分除去はおまかせ下さい!!**

最新技術による 強力磁気フィルタ

- 強力永久磁石による高い除去効率
- 高流速逆洗によるメンテナンスフリー
- 逆洗水循環利用による低ランニングコスト



神奈川機器工業株式会社

本社・工場 〒235-0021 横浜市磯子区岡村8-19-1 TEL.(045)761-0351(代)

TEL.(045)753-3800~2(営業部直通) FAX.(045)755-0089

神戸営業所 〒650-0037 神戸市中央区明石町32(明海ビル809号室)

TEL.(078)321-6400(代) FAX.(078)321-6403

E-mail: kanakee@a1.mbn.or.jp



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

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANE

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

日本鉄鋼協会講演論文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

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

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

For more Information,
Write or Facsimile.

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

3-13, GINZA 7 CHOME CHUO-KU,
TOKYO 104-0061 JAPAN
Tel. 03-3571-8291 • Fax. 03-3574-1467

Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

品質向上のパイオニア

■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)



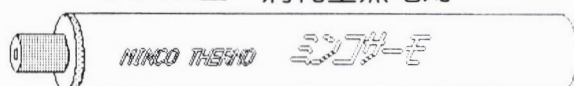
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

PT301型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968

白金・白金ロジウム

■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。

化学分析用、発光分光分析用、蛍光X線分析用、英国BAS、米国NBS、
BRAMMER、ALPHA、MINCO、カナダALCAN、ドイツBAM、
フランスIRSID、スウェーデンSKF、他 ご用命下さい。

日本ミンコ株式会社

お問い合わせは

営業本部・三郷工場 〒341-0032
埼玉県三郷市谷中388-1
TEL.0489(52)8701~4 FAX.0489(52)8705

本 社 〒160-0023

東京都新宿区西新宿6-6-3 新宿国際ビル
TEL.03(3342)8728 新館4階

MINCO U.S.A. (WISCONSIN)

MINCO GERMANY (DÜSSELDORF)

MINCO AUSTRALIA (WOLLONGONG)

米国 **LECO** 社製 **WC-200**

— 最新型 —

炭素分析装置

高炭素含有量域の精度向上

分析対象物質：各種セラミックス・耐火物(SiC、TiC)
鉄、鉄鋼、フェロアロイ、非鉄金属、鉬石、触媒等



本体寸法／W700、H775、D600mm

製造プロセスの工程管理や製品の品質管理に威力を発揮します。

■ 広く高精度な分析範囲

測定範囲：40ppm～4.0% (1g試料)

測定範囲は、試料重量を変えることにより広がります。

分析精度：20ppmまたは0.15%RSD

(いずれか大きい方)

■ 分析時間 3 分以内

■ 高周波燃焼法/赤外線吸収方式

姉妹炭素分析装置

IR-412型

高感度(0.1ppm)分析用

C-400、C-200型

ルーティン分析用

日本国内では、日本アナリストの定評あるサービス態勢がLECO分析装置の精度・信頼度を一層高いものにしています。
本社(東京五反田)には、常設展示場と分析研究室があり、分析技術のご相談を承っております。



日本総代理店

日本アナリスト株式会社



ISO-9001
No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

本社 〒141-0031 東京都品川区西五反田3-9-23 ☎(03)3493-7281代 FAX(03)5496-7935
大阪支店 〒560-0023 大阪府豊中市岡上の町2-6-7 ☎(06) 849-7466 FAX(06) 842-2260
九州営業所 〒804-0003 北九州市戸畑区中原新町2-1(北九州テク/センター) ☎(093)884-0309 FAX(093)873-1190