

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

ISSN 1341-688X

Volume 2
No.1 1997

(社)日本鉄鋼協会会報

ふえらむ

Bulletin of

The Iron and Steel

Institute of Japan

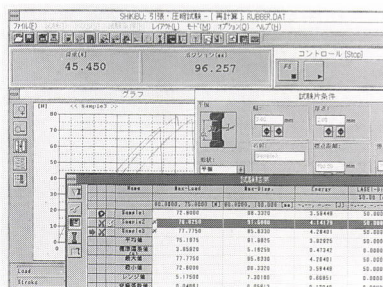


社団法人 日本鉄鋼協会
The Iron and Steel Institute of Japan

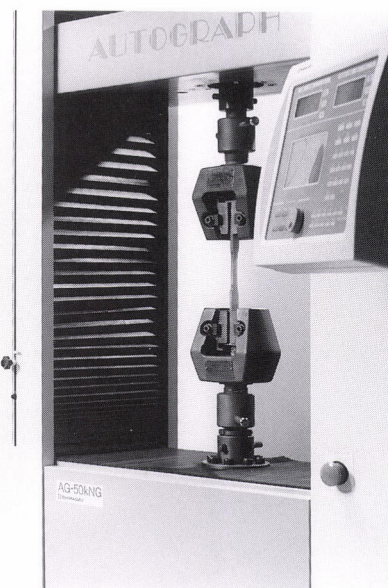
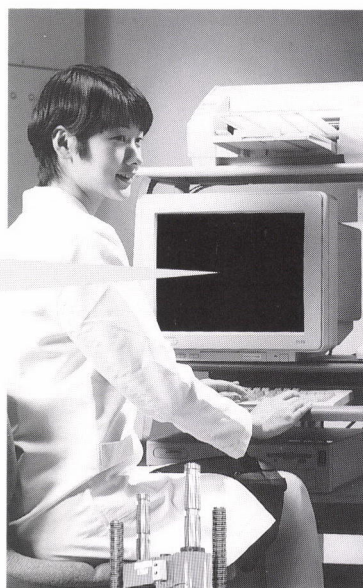
Windows 対応 材料試験システム

AG-GシリーズやUH-A, UH-Cシリーズと制御・データ処理ソフトウェアSHiKiBuとの融合により、さらに使い易い材料試験システムを実現しています。

SHiKiBu



- Windows ベースにより、楽しく容易に操作できます。
- 自由にレイアウトできるレポート機能を備えています。
- 再解析が簡単に行えるグラフ機能をもっています。
- アスキー形式保存による、各種アプリケーションへの展開が可能です。



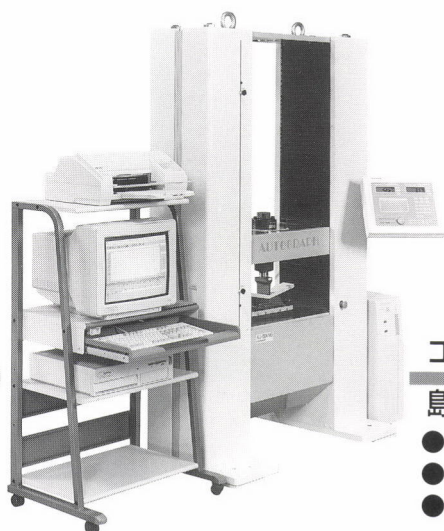
島津万能試験機 UH-A, UH-C 形

- コンピュータ制御・油圧サーボ式による高精度な試験ができます。
- 荷重ひょう量自動切換機能を備えています。
- 回転しないねじ支柱で、安全性を向上しています。

コンピュータ計測制御式 精密万能試験機

島津オートグラフ AG-G 形シリーズ

- 荷重のオートキャリブレーション機能/オートゼロ機能付属
- フルオート荷重レンジ切換え機能付属
- 信頼の高剛性フレーム



⊕ 島津製作所

本社 京都市中京区西ノ京桑原町1

試験計測事業部 (075)823-1986

お問合せはもよりの営業所へ

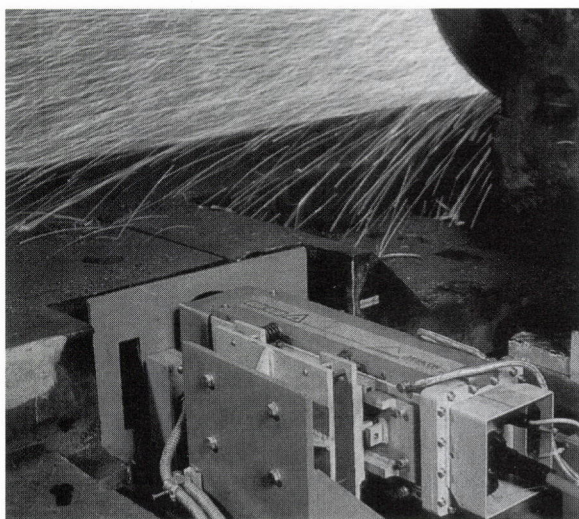
- 東京 3219-5735 ● 大阪 373-6562 ● 札幌 205-5500
- 仙台 221-6231 ● 郡山 39-3790 ● つくば 51-8516
- 大宮 646-0082 ● 横浜 311-4106 ● 静岡 272-5600
- 名古屋 565-7551 ● 京都 811-8198 ● 神戸 331-9765
- 岡山 221-2511 ● 高松 34-3031 ● 広島 248-4316
- 福岡 271-0337

ドイツ/メザコン社 高精度レーザー測定器



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

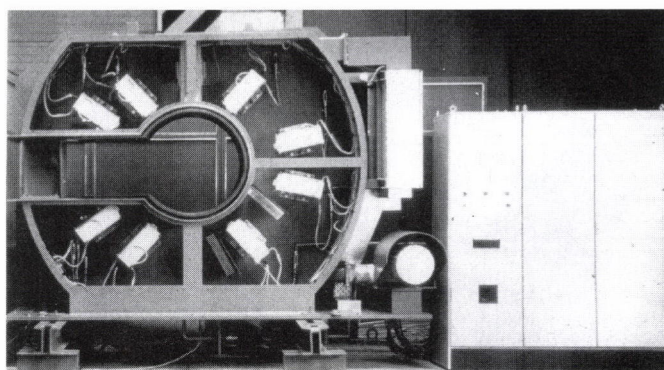
主仕様例 右図装置の場合

- ・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 東京都港区虎ノ門3丁目8番21号
TEL.03-5472-1746 FAX.03-5472-1740

国内メンテサービス

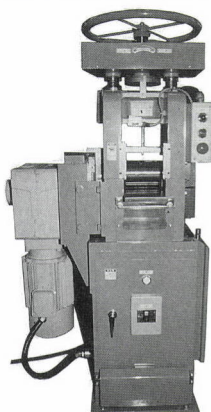
株式会社 **タウ技研**

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

新素材の研究・開発に

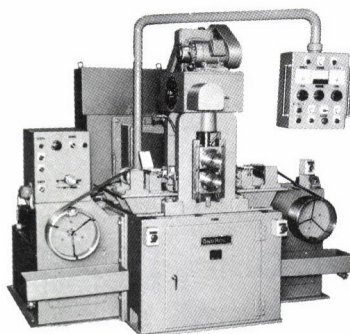
(学校・研究所に最適)
小規模生産用

直接駆動圧延機



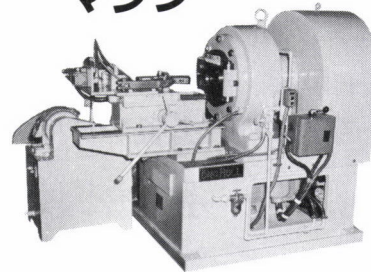
- ▲ ロールと減速機を直結しました、機床スペースが少なくツイン駆動もすぐ出来ます
- $\phi 63, 100, 125, 150, 250$ 等色々なサイズがあります
- 主に小規模な生産、荒伸し、中間圧延用
- 4段アタッチメントを、ロードセルの取付を、ローラを組替えればミゾ圧延を、フープ材の圧延には巻取装置をご使用ください

5型可逆2段/4段圧延機



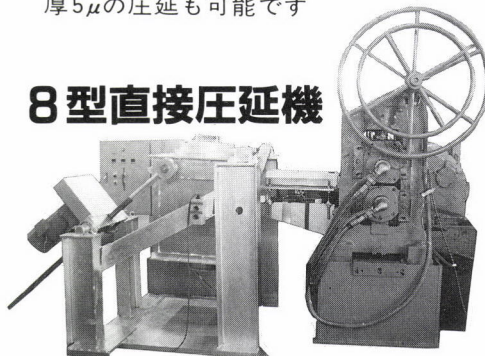
- ▲ 巻取機を取付け高精度圧延ユニットを組込めば $\pm 1.5\mu$ の圧延も可能です
- 多段ロールユニットを組込めば最小板厚 5μ の圧延も可能です

スエーピングマシン



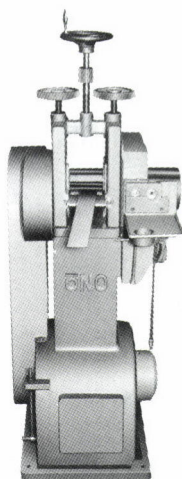
- ▲ 冷間および熱間で鍛造します
- 丸、角の形で加工出来ます

8型直接圧延機



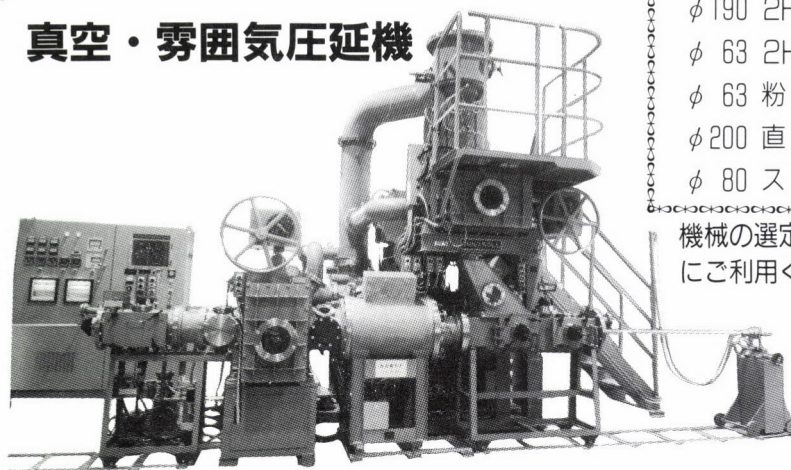
- ▲ アルミの溶湯より直接板を作ります
- $2t \times 200W, 7t \times 200W$, 等色々出来ます
- アップコイラー付シャーリング付

63mm 2段圧延機



- ▲ 貴金属工芸、学校、研究所等での資料作り用として一台でミゾ圧延、板圧延、伸線作業も出来る万能機

真空・雰囲気圧延機



- ▲ 真空中(5×10^{-5} トール)で熱間粉末圧延または熱間圧延を行なえます
- ロールの大きさにより、5型、6型、8型、10型、12型、等

テスト機もあります

- $\phi 190$ 2Hiロール機
- $\phi 63$ 2Hiロール機
- $\phi 63$ 粉末圧延機
- $\phi 200$ 直接圧延機
- $\phi 80$ スリッター

機械の選定・探索テスト
にご利用ください

- 各機種があります
- 色々な金属粉末より板(グリーンシート)が連続的に成形出来ます



大野ロール株式会社

本社 東京都練馬区豊玉中2丁目27番14号 O&Yビル
(〒176) TEL.03-3994-1655代・FAX.03-3994-5828
水戸北工場 茨城県那珂郡大宮町工業団地5-9
(〒319-21) TEL.02955-3-5141代・FAX.02955-3-5050

あふれる発想。
広がる可能性。



王子製鉄株式会社

本社：03-5201-7722 群馬工場：0276-56-2111



試料自動研磨/琢磨用
卓上型強力システム

ロトシステム 300

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

ロトシステム 300は次のモジュールで構成されています。

ロトポール-31 強力な研磨/琢磨装置

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

ロトフォース-3 試料回転機

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

マルチドーザ 自動定量供給装置

- ダイヤモンド懸濁液、ループリカント琢磨用酸化剤懸濁液の自動供給

ロトコム 記憶・制御装置

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

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

ロトシステムは他にスマートなロトシステム 250があります



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

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

ロトシステム 300 資料請求票

- ☐ 詳細カタログがほしい
☐ 価格が知りたい

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

MARUMOTO

RADIOMETERグループ

丸本工業株式会社

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

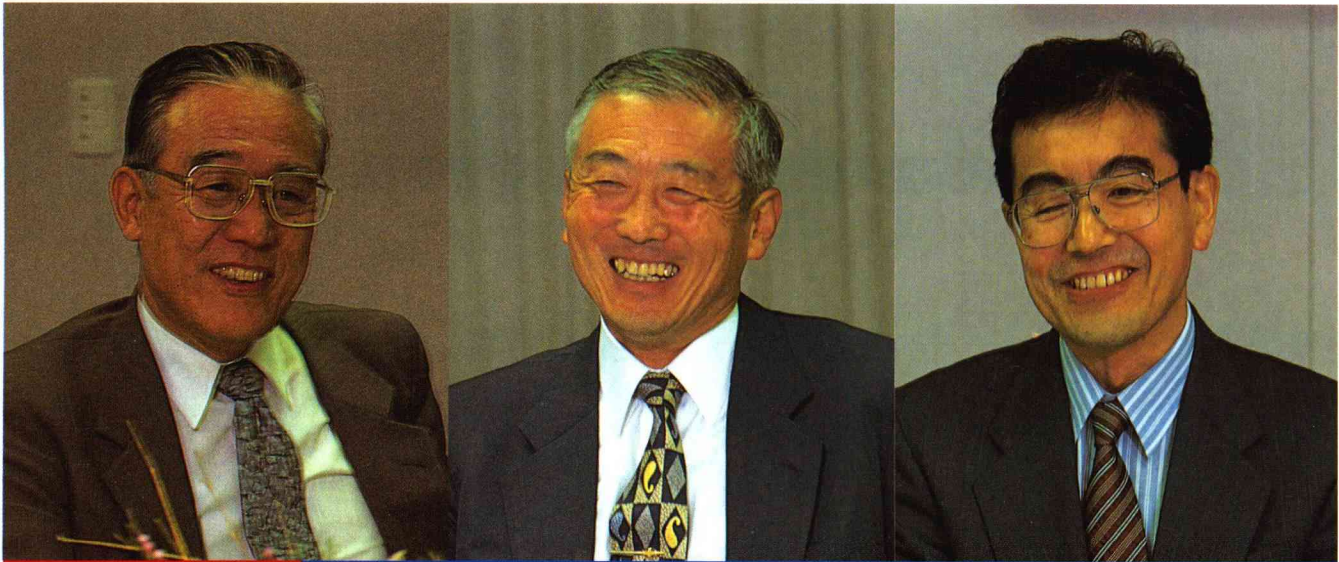
ふえらむ

Vol.2 (1997) No.1

C O N T E N T S

目 次

新春鼎談	日本鉄鋼協会'97の展望と話題2 (社)日本鉄鋼協会会長 野田忠吉 (住友金属工業(株)代表取締役副社長) 会報編集委員会委員長 阿部光延 (新日本製鐵(株)フェロー) 会報編集委員会副委員長 雀部 実 (千葉工業大学教授)
Techno Scope	新素材の夢と現実10
話題のプロジェクト	ヘリックス研究所14
鉄の絶景	海を渡る鉄 神奈川～千葉18
1996年鉄鋼生産技術の歩みー革新的製造プロセスへの挑戦	(社)日本鉄鋼協会生産技術部門 部門長 藤原俊朗21
名誉会員からのメッセージ	The Iron and Steel Institute of Japan-World Renowned Institute. A Tribute and A Challenge Senior UNIDO Consultant B.R.NIJHAWAN33 日本海軍の装甲鋳物語 NKK社友 堀川一男35
入門講座	制御技術編ー1 制御技術の歴史と制御理論の発展 (株)神戸製鋼所技術開発本部 常任顧問 藤井克彦37
鉄の歴史 ⑨	“みちのく”の地から中世の鉄をみる 岩手県立博物館主任専門学芸調査員 赤沼英男44
解 説	伸び続ける電磁鋼板 NKK鉄鋼事業部薄板技術開発部 主幹 岡見雄二52
会員へのお知らせ	58
出版案内	73



新春鼎談

日本鉄鋼協会 '97の展望と話題

明けて1997年。会報「ふえらむ」も、創刊2年目に入った。
「ふえらむ」から会員の皆様への新年の第一声として、会長を囲み、
編集委員長、副委員長がこもこもお話を伺うというかたちの鼎談をお届けする。
協会、会報の今後のありかたについて、
さらには、鉄や社会の未来に至るまで、
会長に縦横に語っていただいて、新春のご挨拶に代えようという趣向である。

社団法人日本鉄鋼協会会長
野田忠吉（住友金属工業株式会社
代表取締役副社長）
会報編集委員会委員長
阿部光延（新日本製鐵株式会社 フェロー）
会報編集委員会副委員長
雀部 実（千葉工業大学 工学部
金属工学科 教授）

リストラのあとさき

阿部 今年は「リストラ80」(大幅な機構改革を含む日本鉄鋼協会の活動の総見直し運動)の新体制になって3年目を迎えるわけですが、その前と後でどう変わったかという点について、会長としてはどうぞ覧になっていらっしゃいますか？

野田 「リストラ80」には長い伏線がありました。三好元

会長、森田元会長の時代あたりから鉄鋼協会の改革が必要だという気運が盛り上がってきて、佐野前会長の時に実行に移されました。そのあとを私が継いだというかたちになっているんですね。そういうことなのでリストラのあとさきの比較について語る資格はあまりないのですが、3代か4代にわたって醸成されたリストラの気運がここへ来て実り、協会の新しい活動としてまさに花が開きかけてきたのではないかなという気はするのです。

阿部 リストラで鉄鋼協会の組織が、生産技術部門と学会部門と全体を総括する総合企画部門という名は体をあらわすような構成に変わりました。これが鉄鋼協会の性格を非常にクリアにしたような感じがいたします。

野田 産と学、それに官も加わって、この三つが非常にうまく結びついた数少ないユニークな学会だと思います。そのうえでなおかつ、今度の「リストラ80」で学会部門というのをすっきり分けました。企業でいえば、事業部的な運営への

専門分野別部会 講演大会件数

部 会 名	第131回 (春季大会)	第132回 (秋季大会)
高温プロセス部会	204	246
社会鉄鋼工学会部会	7	8
計測・制御・システム工学部会	28	43
創形創質工学部会	47	61
材料の組織と特性部会(含む分析)	189	289
評価・分析・解析部会*	—	—
討論会	26	80
合計	501	727
シンポジウム	7	7
学生ポスターセッション	33	36

*平成9年度新設



右から野田会長、雀部会報編集委員会副委員長、阿部会報編集委員会委員長

転換です。学会部門は大学主体で、生産技術部門は企業主体で独自の運営をする。

ひいき目に見るわけではないが、昨年の北海道大学における秋季講演大会は前回に比べても非常に活性化したように思います。講演論文の数そのものはそう変わらないにしても、討論会の数は史上空前、新記録でした。しかもその内容が、非常に活気にあふれたものが多かったですね。たとえば、「新鉄源の最近の動向」などは、私は会場に20分前に行ったのですが、席は全部埋まっている。有料なのにテキストも全部売り切れ。3つのフォーラムが共催された『耐震性向上のための構造材料・加工技術』に関するシンポジウムがありましたが、あれなども非常に活性化しているように思いました。北海道という土地柄もありましたが、懇親会もずいぶん盛り上がりました。リストラをやって、いろいろな面で、学会部門の活動に予算もシフトして、先生方も活性化していただいた。したがって学生さんも活性化した。いいサイクルが生まれつつあるのではないかなと思いました。

阿部 あとは、企業が学生さんをどんどん採用できるようなポテンシャルを持つと一番理想的かもしれませんが。

野田 企業はいい学生さんは採用していますよ。数は若干減っていますが。

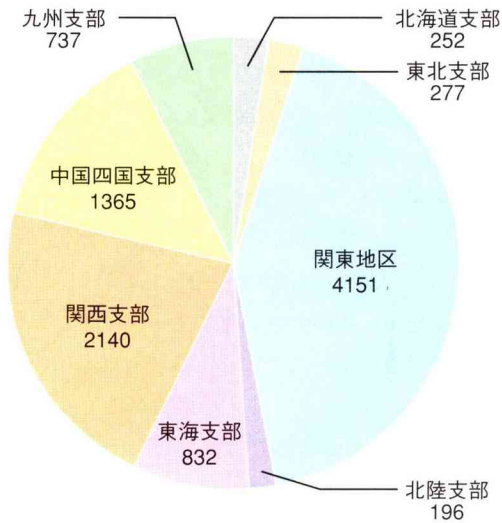
阿部 ここ1、2年、社会鉄鋼工学という新しい分野での講演が加わり数も増えていますが、文系の先生方の講演もございまして、私自身を含め、技術屋にとっては音痴の分野に目を開かれ、あれはずいぶん勉強になりますね。

野田 社会鉄鋼工学のシンポジウムは、回を追うごとに聴講者の数が増えているようです。特に印象深かったのはLCA (Life Cycle Accessment)に代表される環境問題です。LCAのインベントリー、インパクトを定量化していかなければいけないといったようないろいろと興味深い話があり、これから本格的な議論に発展して行くのでしょうね。社会鉄鋼工学

は、これ以外にもPL (Products Liability) の問題とか、法工学とか、多くの研究対象があり、これから有形無形に製鉄業界に影響してくる問題を取り扱っていると思うのです。その意味では着眼点が非常によかったと思います。

また、学会部門に評価・分析・解析部会が新しくできましたね。先生方がそういう専門分野別のものが必要だということで一昨年から分離独立されたわけです。これなども活性化しているからそういうことになるのでしょう。非常にいい傾向です。

さて、今後の課題としては支部の問題もありますね。今度、今井理事と工藤理事に支部担当の専任理事に就任していただきました。もっぱら支部の面倒をみていただくことで、支部の活動を盛り上げようというねらいです。それから、各支部からの推薦による現場の技能職に対する表彰制度もできました。ただ、現在では関東に支部がない。支部がなければ、表彰などでは不平等が生じます。関東に支部を



※国内 個人会員構成比率 (平成8年10月現在)

置くなどそういうことも含めて活性化の余地はまだまだあるかなと思います。

雀部 関東は大き過ぎるので、支部の範囲をどうするか、です。いろいろご助言をいただきながら、検討して行かなければならない課題だと思います。

野田 この間、理事会で聞いたのですが個人会員の現在数は1万600人とか……。私の就任のときに1万500人の個人会員達成が目標だと申し上げたのですが、達成しているんです。これもリストラ効果のりっぱなバロメーターじゃないかと思います。

「ふえらむ」が目指すもの

阿部 社会鉄鋼工学会ができたことが、実は「ふえらむ」の編集方針にかなり大きな影響を及ぼしておりますね。鉄鋼協会の会員というのは技術屋が主体なものですから、技術のことを載せるのは当然なのですが、技術だけでいいのかという話になりまして、社会鉄鋼工学会があるということがずいぶん参考になるというか、トリガーになり、できるだけ周辺の話も盛り込もうということになりました。

東大の経済の先生に原稿を書いていただくとか、官公庁の方に書いていただくとか、多少アットランダムなきらいはあるのですが、技術以外の側面から鉄を見ていただくこともできるだけ心掛けてはいるのです。そのへん、お読みになってのご感想はいかがですか。

野田 編集委員の方がたいへんだろうな、すごく努力してもらえるなというのがまず第一印象です。鉄の話題はもちろんですが、土木・建築、自動車、鉄道、船舶、電機といった鉄のユーザーの話、また、科学技術基本法の解説、入門講座、それから、鉄が日本の各地で使われているので地方巡りがある。鳥根県からはじまって、北海道、鹿児島、東北というふうに回っておられますね。見ていて実に面白いです。内容的には申し分ない。ただ、編集委員の方に負担がかかり過ぎて、長続きするのかなと心配になるくらいです。

いつも言っていることなんですが、私ども経営に携わる者は、社員の皆さんが「会社へ入ってよかったな」、株主の方々なら「この会社の株を買ってよかった」、ユーザーの方々なら「この会社の品物を買ってよかった」、そして、地域の皆さんなら「この会社に来てもらってよかった」とそれぞれの立場で思っただけのようにということを願って仕事をしていますつもりなのです。鉄鋼協会も、会員の皆さんに「鉄鋼協会に入ってよかったな」と思っただけ、維持会員の各社さんにも「維持会費を出しておいてよかった」と思っただけのようでありたい。それをアピールしていくのが「ふえらむ」の使命だと思うのです。

雀部 私どもの卒業生の若手で鉄鋼協会をやめようかというから、「ふえらむ」をもうちょっと読んでごらんといっておいたら「やめることをやめました」というのが出てきて、よかったと思っているのです。

阿部 学会の会報にしてはちょっと記事がやわらか過ぎないかというご批判を耳にすることもあるんです。もうちょっとアカデミックなムードを盛り込んでほしいという。

野田 あまり難しくすると読みづらくなりますよね。私にはちょうどいい。いろいろとご苦心のあとがにじみ出ていて、いまのところは、非常にいいと思っております。

雀部 女性の編集委員が何人かおられ、かなり視点の異なる意見が出ました。たとえば、ハンドバッグに入って週刊誌気分で電車の中でも持ち歩けるものにして下さいといったような。また、論文誌の「鉄と鋼」が自分のところへきたらどうしますかと、スタート時に編集委員1人1人にご意見を伺ったのです。読まずに積んでおくとか、1カ月ぐらい置いておいてごみ箱行きとか、いろいろ手厳しい意見も出ました。そこで、会報編集の基本方針としてはまず第一に皆さんに読んでいただける雑誌にしようということになりました。表紙のデザインなどもどちらかというと女性の委員の方のセンスで、あれだったら電車の中で広げて読んでも表紙として恥ずかしくないというんです。

野田 会長になってからは「ふえらむ」も「鉄と鋼」も、一応目を通してはいますが、以前は、自分の興味のあるところだけを破って、そこだけを整理して、ある程度まとったら製本するとか、そういうやり方をしておりました。

雀部 そのためには、今みたいにガッチリ綴じずに、バラしやすくして下さいというご意見があるのですが、いかがでしょうか。

野田 昔は糸で綴じていたがこの頃は糊づけだから、わりあい剥がしやすいんじゃないですか。

国際化に向かって

野田 国際化への動きも見逃せません。佐野前会長がISS (Iron & Steel Society = アメリカ鉄鋼協会)の前会長のブリマコーム (James Keith Brimacombe)先生と話をされたあとを受けて、私も昨年9月にISSに行き日本鉄鋼協会との今後の具体的な交流のしかたについて話をしてきたのです。国際交流はもう少し活発にやってもいいのではないかと思います。日米の交流状況を調べてみたら、それぞれの学会へ日本側からは年間130人ぐらい、アメリカからは20人ぐらい参加している。今回取り決めた会員の資格の相互活用を適用すれば、金銭的にはあきらかに日本側は黒字なんです (笑)。学会誌は、「ISIJ International」は英文ですから当然向こう

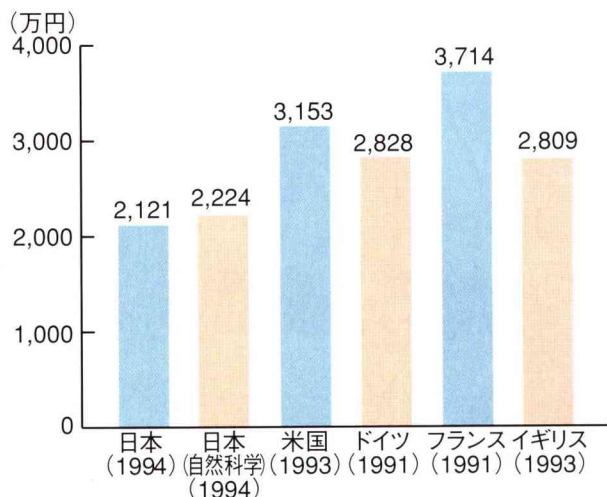
の方はよく読んでおられる。非常にいい雑誌だと評価されております。「鉄と鋼」は日本語ですが、生産技術部門の論文も結構多いですから、これはと思う興味ある論文は海外の企業でボランティアに訳している。そういうふうToWorldの方々にご活用いただけるのならば、英語版もいいのではないかと、そういう時代がきたのかなと思うのです。日本の鉄鋼技術というのは、もはや世界のトップクラスだと思うのです。ただ、日本国内だけでいくらトップだ、トップだといっているしょうがないので、世界がトップだと認めてくれないと何もならない。そういう意味のプレステージを高めるためにも、たとえば翻訳権を与えて出版してもらおうといったことがあってもいいのではないかと。もちろん著作権等はきちんとしなければいけないが、これから検討していただきたいと思うのですがね。それ以外にもISSの会長と話をし、ISSにもいろいろ学ぶべき点がありそうです。会員数、会費の額は日本鉄鋼協会と似かよってありますが、総収入の52%がいわゆる事業収入で、会費収入は12%ぐらい。日本は逆に会費収入が60%。一個の事業体としては、もっと皆の事業意識を高め、今後会費への依存体質を少しずつ改めて行かなければならないと思います。ISSにはElectric Furnace、Iron-making、Mechanical Working and Steel Processing、Process Technology、Steelmakingの5部会があり、Steelmaking部会が人が一番多いのですが、最近のミニミ志向の現れでElectric Furnace部会も活発なようです。会員資格にしても実務経験が要求され、実地を非常に重視している。文化の違いはありますが、いいところを吸収して日本鉄鋼協会の更なる体質強化と発展に役立てればよいなと思います。

これからの科学技術政策と教育

阿部 昨年のふえらむ5月号でも取り上げましたが、科学技術基本法というのが最近話題になっています。官のほうではそれに関連した科学技術政策を検討中ですが、この動きについて会長はどのように見ておられますか？

野田 国の対応としては遅すぎるくらいだと思いますね。講演大会で会場にお借りした大学によく行きますが、老朽化しているところが多い。寂しい思いをします。もちろん、昨年秋の講演大会を開催した北大などは非常によく整備されて、キャンパスも広いし、のびのびした感じもしましたが……。

科学技術関連施設老朽化の度合いは、国立大学で49%、国研、科技厅、通産の設備で29%、陳腐化にいたっては82%、研究費の対GNPの政府負担額も欧米に比べたら6割、政府の負担率そのものも日本は2割程度ですが欧米は4割程度ということですから、政府の科学技術に対する施策は、もっと強化して戴かなくてはと思います。科学技術基本法



主要国の研究者一人当たり使用研究費

注) 1.国際比較を行うため、各国とも人文・社会科学を含めている。
 なお、日本については自然科学のみの値を併せて表示してある。
 2.研究費はOECD購買力平価換算。
 3.日本のみ専従換算 (full-time equivalent) をしていない。

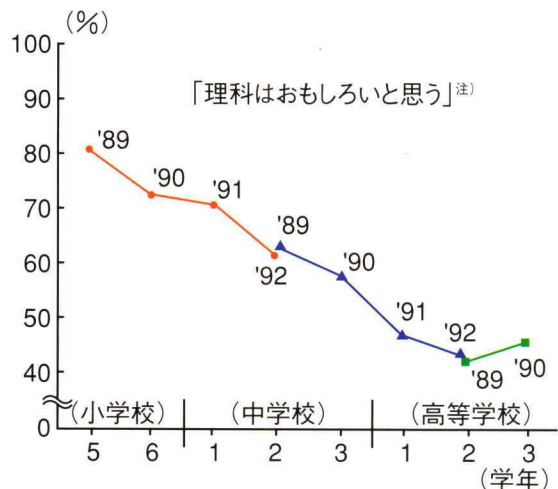
で予算がつくということになれば、われわれの立場としては、中でもやはり、金属系、なかんずく鉄の研究開発に予算を回していただけるようにしなければいけないですね。その意味で、科学技術庁の「STX21」のプロジェクトは注目に値します。強度が2倍で、寿命も2倍の材料を目指しているわけですが、寿命といっても疲労寿命もあれば、磨耗寿命もあるし、腐食寿命もある。それをみなクリアすることです。この間の阪神大震災で戦後高度成長期に建てられた建築構造物の耐震安全性にも疑問が投げかけられているわけですから、大幅にインフラを再構築する場面がすでにきていると思います。金属系の学・協会が団結して、国に対して、これからの日本のインフラストラクチャーの整備のために金属系の研究開発が大事なのということについて国が正しいご認識をいただくようなことをアピールしなければいけないと思うのです。

それから、科学技術基本法の第11条とか19条にあった、研究者等の確保と学習の振興、この2つはペアになることだと思うのです。これは鉄鋼協会でも育成委員会が中心になって、研究者等の確保のための育成・助成をやっているわけです。また、学習の振興ということで、小学生、中学生、高校生の理科、数学の教育のあり方は大事なところですよ。

最近、「たたら吹き」について、出雲のほうで盛んにやっているし、東京工大でもやっておられるし、私の勤めている住友金属でも鹿島製鉄所で夏休みに地元の小・中学生を集めてテントを張って、2日ばかりで、たたらをやりました。もちろん安全には十分注意しています。たくさん集まってくるのです。ああいったことを通じて、たたらばかりではな



たたら製鉄の体験学習風景



小中高校生の科学技術に関する関心

科学技術庁「平成5年度版 科学技術白書」より

注)「そうだと思う」または「どちらかといえばそうだと思う」の回答を選択した者の比率。

く、製鉄業、金属製造法、金属加工法についての理解をもっともっと広めていかなければいかんと思います。

雀部 いま会長のおっしゃったような活動を鉄鋼協会のなかでやろうというプロポーザルがあります。それはまだ審議の段階を全部終わっていませんので、実現するかどうかは定かではありませんが、われわれよりは先輩の方々からのご提案で、われわれクラスまでが、一緒にやろうよと誘われているのです。われわれがさらに若い学生に、面白いからやろうよと誘えばもっと裾野が広がるのではないかと考えておりますがね。

阿部 材料のつくり方に関する教育というのは、初等・中等教育の過程ではあまりないのではないかと思います。どうしてないのでしょかね。「ふえらむ」次号の工学教育特集に執筆を依頼している小学校の先生によりますと、社会科の中で製鉄所についての学習がなくなったということです。

野田 私の子どもが小学生の頃には5年の2学期に鉄が出てきました。そのときはうちの会社なども見せてやったのです。おやじは毎日ここで働いているのだ、と。

阿部 そういうのはぜひ残していただきたいですね。

科学技術は無尽蔵の資源

野田 会社で「現場をよく見なさい」ということをよく言われましたし、われわれも若い人たちに言います。現場というのは情報があふれているのです。私はいまでも、本社で、3時間報告を聞くよりは、30分でも、3分でも、現場を見たほうがよくわかると言っているのです。われわれの大学の頃は、1ヶ月間の企業での工場実習制度があり、あれがないと卒業できなかったのです。残したい制度なんですがね。

クリントン大統領は、一昨年、「科学技術というのは尽きることのない資源だ」といっています。さらに、21世紀の科学技術者の育成とか、国民の科学技術に対する理解力の向上といったことを謳っている。資源大国のアメリカにしてこうした認識がある。日本は資源はないわけです。本当に切羽詰まった気持で科学技術しかないのだということを政府から国民までみな認識して取り組まなければいけないと思います。そういう意味で工学教育というのはやるべきだと思います。

阿部 会長のいまのお話ですと、どちらかというモノを見る、モノに触れる、現場的な教育も必要だということ……。

野田 ところが、いまは偏差値教育でしょう。何でもかんでもマニュアルですから、でき合いの筋書きとか答がすべてであってプロセスを重視しない。そこで工学離れ、理学離れになっていると思うのです。

雀部 大学側も評判に気を使って、1点でも偏差値を上げようというヘンな努力をしますからね。偏差値というのはどうしてこんなに蔓延してしまったのか、そのもとに辿り着かないと直せないと思うのです。

野田 とは言うものの、いまの学生さんなり若い人が全然駄目だということではないんです。昨年7月、梅田先生以下でたいへんご苦労いただいて、蔵王で恒例の鉄鋼工学セミナーをやりましたね。私は昨年初めて会長として最初30分ほど話をさせてもらって、あとは懇親会等で話をし、各部門の講義をひと回り聞いたのですが、やっぱり、若い人たちのエネルギーを感じました。私、頼まれて京大とか阪大へときどき特別講義にいくのです。ある時、技術屋が企業に入っても、単に現場に入って汗みどろになったり研究所の仕事をするだけではなくて、最近は経営企画なども技術屋が担当役員になっている



鉄道車輪の圧延

し、人事も、生産管理も、資材も技術屋の役割に入っている、今はそういうふうにならぬ面々で技術屋の活躍する舞台が広がっているんだ、という実例を話したのです。感想文を書いてもらったのですが、「私の高校の先輩はみな文系へ行きました。証券や銀行へ入りました」というのがありました。バブル華やかかなりし頃ですから、就職なんかもよかったんでしょう。「その人達は給料も高いし、ボーナスもいい。自分は機械工学を専攻して人生誤ったと思っていた」というんです。ところが「きょうの野田さんの話を聴いて自信を回復しました。証券や銀行へ行くために法学部や経済学部に入らなくてよかった」というんです。私はその場で先生に見せて、こんな話をするぐらいで学生さんの工学部離れ防止に役に立つのだったらなんぼでも話をしにきますよ、といったのです。当時は工学部を卒業しても銀行や商社に行く学生も結構あったのです。

伝承は新しいものへの挑戦から

野田 私は、最良の技術伝承というのは、現場でも研究の場でも、新しいことをやることじゃないかと思うのです。技術伝承のための図面や分厚いマニュアルは確かに役に立ちますが、それだけでは駄目です。新しいことをやろうと思ったら、過去、現在のことを徹底的に勉強しないと失敗しますよ。ターゲットは決まっていますから、過去、現在の関連する技術を集中的に勉強する。そして実地にやってみる。それが最大の技術伝承になると思うのです。

私は、学部卒の卒業実験が、切削理論だったのです。当然、当時の計算では三次元なんて無理ですから二次元切削です。

はじめに銅を切ったのですが、試験結果がばらついて、データにならないわけです。次に黄銅でやったのですが、黄銅もばらつく。単結晶の鉛をつくって、これで二次元切削をやり、理論と対比したのです。それでもどうもデータがばらつく。そのときに指導の教官の方に非常に神秘的なことを言われたんです。切削の実験なんていうのは、テストピースを積み上げておいて一挙にパッとやらなければいけない、そうしないとばらつくのだ、と。そこで本番のときは、丸一日位連続切削できるようにテストピースを積み上げておきまして、昼夜分かたず連続的にやったんです。当時は、ストレーン・メーターの印画紙が、ドラムで1回転すると終わりなんです。それを現像に出して新しい印画紙を詰めてやらなければいけない。それを暗室と工作機械との間を持って走らなければいけません。私はラグビーをやっていたから走るのには私の役（笑）。東京大学と秩父宮競技場で定期戦をやりまして、夜行で帰ってきてその日の朝から丸一日ぶっ続けにやったんです。結果は教官の指摘どおり、かなりきれいに揃いました。

阿部 それはどういう現象が絡んでいるのですか。

野田 よく判りませんが、気温、湿気、工作機械の調子とか、それからバイトの研磨のしかたとか、微妙に違うのでしょうね。マニュアルや理論ではわからない神秘的なところがあったのです。

また別の経験ですが、私は若い頃、鉄道車両用の圧延車輪の製造に携わっていましたが、あるとき、インドから特殊な断面形状の鉄道車輪の注文がきた。車輪圧延機というのはロールが8つあり、その設計と配置でうまく作れるかどうかが決まるわけです。私は入ってまだ5年ぐらいでしたが、

非常に変わった形状の車輪だったものですから、従来のロールの設計のやり方と違うやり方で設計したのです。ところが工場長が現場あがりの方で、こんな危険なことはやれんと言うわけです。私も若かったものですから一戦交えました(笑)。侃々諤々やって、議論では勝負がつかんわけです。すると、その工場長が、よしッ、金にかかるが二通りの型とロールを準備しろ、どっちが勝つか実際にやってみよう、という。先に野田がやれというので加熱炉から出た焼けた鋼片をプレスで荒地を作り圧延機にかけたわけです。ドキドキした(笑)。工場中が見守っているわけです。もし負けたら満座のなかで恥をかく。私の技術屋の生命も終わる(笑)。ところが、うまいこといきました。どんなもんやと思って工場長の顔を見たら、ウンウンと頷いているわけです。そして次に工場長の方法でやった。それもうまくできたんです。勝ち負け無し。しかし、現場の私を見る目はその日からガラッと変わりました。工場長にあれだけ楯突いてモノがうまいことできたのですから。だから、いまにして思えば、その工場長が、恥かきかも知らんがそういうことをやらして、うまくいけばこの点数になる。みんなの前で、どっちが正しいかということ、口だけではなしに立証する場を与えてくれたということで、当時はくそッと思ったけど(笑)、非常に感謝しております。そして、その時「科学」というのは正解は一つかもしれないが、「技術」というのは正解がいくつもあるんだなと実感しました。

阿部 いまは、どちらかというやや過保護になっている気味がありますね。失敗したら落ち込むから、失敗しないように上司が気をつかいます。

野田 どうかと思います。私は大学の時、ラグビー部でしたが、夏合宿といたら、あのくそ暑い8月の下旬、午前3時間、昼から4時間、早朝1時間、1日8時間練習しましたからね。スポーツも教育の一環でしょうが、大事に大事にしていたら強くなりません。

阿部 スポーツの場合には、監督がいて、一番発言権があるわけです。いまの企業のなかでは、どちらかという皆で一緒に考えて、賛成・反対でものごとを決めていくというパターンが多すぎるように思います。

野田 あるアメリカンフットボールの強い大学に聞いた話ですが、試合前に、「きょうは気合入れて頑張れよッ」といったらそのコーチは失格らしいですな。

阿部 それはどういう意味ですか。

野田 気合入れて頑張るなんていうのは誰でもわかっていることで、そんなことをいうコーチはいらん。相手のクォーターバックは50 m 何秒で走るから、お前はこれを取って何秒以内にこのスポットにほうらなければ向こうへ取られるぞ、という具合に指示は具体的・定量的にやらなければいけな

い。私もこの頃工場の管理者に、指示が曖昧だ、具体的・定量的にやれ、といっているのです。

鉄が未来に架ける夢

野田 日本の社会インフラストラクチャーの整備というのはまだまだ遅れています。たとえば下水道の整備は、アメリカで71、イギリスで96、ドイツで90%に対して、日本の水準は51%です。共同溝や、C.C.BOXの整備などもあります。高速道路でも、アメリカが73,257kmに対して日本は6,545km。土地が狭いこともありますが住宅も狭いです。アメリカで1戸当たり160㎡、それに対して日本は92㎡。都市の公園なども狭い東京はわずか1人当たり2.8㎡ですから欧米の10分の1くらいです。しかし橋梁など鋼の構造物は防食の点からメンテナンスに費用がかさむという弱点があります。防食の塗料を塗りなおさなければいけない。だから、さっきの「STX21」ではないが、そういう欠点のないような鋼をつくる必要がある。この間、日本鉄鋼協会とISSとの交流に関する調印にいったときに最初の日にピッツバーグへ寄ってきましたが、USXの本社が耐候性鋼でチョコレート色のそのままで、塗装していないのですね。あれは10年がかりぐらいでああいう安定錆により耐食性が出るわけですよ。つくった瞬間に安定錆ができるような、うまいプロセスがないかなと思う。

また最近、高速道路用の橋桁の合理化された断面形状のものが開発されています。テーパー鋼板など、コストパフォーマンスの高い建設用鋼材を開発する。何といっても鍵はコスト競争力です。材料コストの単純比較なら、たとえば、コンクリート1kgと鉄1kgを比べたら鉄が高いのは当たり前です。

「日経アーキテクチャー」で、4階建のビルを、同じ設計で、鉄筋コンクリートと鉄骨構造でつくり、その年々の水準で建設コストを積算して10年間フォローアップしたデータがあります。それを見ますと、はじめは鉄骨構造のほうが高いのですが、あるところから逆転しているのです。なぜか。鉄骨構造は概ね工場生産です。工場生産はだんだん機械化されてきます。それを持ち込んで組み立てるだけです。鉄筋コンクリートの場合は、鉄筋を入れて、型枠をつくり、流し込む。その前に鉄筋も鍛接したり、鉄筋を結わえたりする熟練労働者の労務単価が上がってきているので、総合的には高くなってきた。

また、阪神大震災の後始末の際、こわれた鉄筋コンクリートのビルは苦勞しました。7階建のマンションの例で、鉄筋コンクリートと鉄骨構造とで、壊す費用を比較したら3倍ぐらい違ったのです。鉄骨の場合はリサイクルが容易にでき



メガフロートの接合実験（横須賀沖）

ますから、それを入れると4倍ぐらい違う。鉄筋のコンクリート建物のほうが高いのです。鉄はコンクリートに比べあらゆる方向に強い。だから、鉄で強度シミュレーションをやった設計は非常に信頼性が高い。ということは、建築構造物の発注主のニーズに合った設計を経済的にできるわけです。たとえば、柱を細くできる、出窓もできる。関西新空港のターミナルビルは複雑な格好をしているが、あれも鉄ならではですね。福岡ドーム等、ドーム球場も鉄骨構造です。ああいった空間利用の生産性を上げるという意味では鉄しかないと思う。広い意味で、トータルコストを合わせて考えたら銅のほうが安い。

それにプラス、地震等の災害に対する安全性がある。阪神大震災の被害は10兆円とありますが、家が全部鉄骨構造であつたらそこまではいかなかったかもしれない。補修も鉄骨ならば経済的にできる。また木造住宅をスチールハウスに置き換えていけば、森林資源の保護にもなり、地球環境的にも大切な意味を持つことになる。LCAでどういう計算になるか、これから社会鉄鋼工学の問題になってきます。

阿部 たぶん、鉄が一番いいよということになると思いますがね。

野田 鉄を伸ばす新分野はいくらでもあると思います。海上空港に始まり、ヘリポートの話も出てきているメガフロート。自動車のULSAB（Ultra-Light Steel Auto Body）。テラードブランク（Tailored blank）成形技術や液圧バルジ加工で必要ところに必要な断面係数の中空材を配備できるフレームの採用などの新技術を活用すれば、全部鉄を使って現在よりもさらに20%以上軽量化ができる。

鉄は素材ですから、環境負荷の問題も、単に鉄の製造プロセスで環境負荷を減らす、そのために省エネルギーをやる

ということだけではなくて、それを使っていただく需要サイドでも、たとえば自動車を軽量化したら排気ガスが減り、地球環境的に環境負荷が減る。性能のいい電磁鋼板を開発したら電力ロスは少なくなるから、その分は発電のための環境負荷が減る。ユーザーさんの分野にまで広げてものを考えていただきたい。それもぜひ社会鉄鋼工学で立証してもらいたいと思っていますのです。

「STX21」というのは夢ですね。ぜひ大蔵省で通していただいて、このプロジェクトを正式に発足していただきたいと思いますが、従来の概念を捨てて、強度2倍、しかも寿命2倍。寿命2倍ということになったら、疲労寿命の面では超清浄鋼、磨耗寿命は表面処理の革新……。

阿部 イオンインプランテーション（Ion Implantation=イオン注入）ですか。

野田 ええ。あるいは、アロイイング（Alloying=合金化）といった手法。それから、耐食性となるといまはめっきというのは別のラインですが、それを圧延と同時にやるインライン・コーティング（In-line coating）。プロセス面でも夢は限りないわけです。夢の実現には、基礎技術が大事です。基礎は鉄鋼協会の両部門で育てていただきたいなと思います。いままでは日本の鉄鋼業も欧米の後追いでやってきたのですが、ようやくキャッチアップして、リーダーシップを取るようになりますから、これからは教科書がないわけです。自分で考えて開発していくしかない。われわれのクリエイティブな活動が要求される時代だと思うのです。ぜひ、協会活動を盛り上げて、21世紀に向けて、やっぱり鉄鋼協会があってよかったなというふうになりたいと思いますね。

阿部・雀部 会報もこれからそういう方向で頑張りますので…。

野田 よろしくお願ひします。



新素材の夢と現実



素材ブームは、未知の素材が可能にする産業と社会の
希望に満ちた未来像を描き出して見せてくれた。

しかし、景気の停滞とともに、
各企業の研究開発への姿勢は、より現実路線へと復し、
新世紀を切り開く画期的な技術に対しての情熱は
薄れて来たかのようにも見える。
そうした試練の時を迎える新素材の現状を探ってみる。

ブームが去って……

80年代後半から90年代はじめにかけて、新素材ブームといわれる現象があった。次々と未知なる素材の可能性が示され、それらの高機能素材が薔薇色の未来を築くだろうといったイメージが敷衍された。

そしてブームから数年後の現在。景気低迷の長く薄暗いトンネルの中、各社はすぐには回収のメドがたたないテーマに多額の研究開発費をかけることにあまり積極的でなくなってきたかのようにも見える。多くの企業がやりかたを改め、既存の素材を発展させて、より高度な機能をもたせることで少しでも収益向上につなげていくという姿勢になっている。

ブームで頭を出した技術の芽が淘汰される時期と見る向きもある。が、やはり日本のハイテク受難時代という感拭えないだろう。そうした時代背景を意識しつつ、ここでは現在健闘している新素材のいくつかをハイライト的に概観してみたい。

—金属系の新素材—

高純度合金・傾斜機能材料・水素吸蔵合金

金属系の新素材として現在大きな関心が集まっているもののひとつとして高純度金属がある。東北大学の金属材料研究所では、純度99.995%という史上最高純度の鉄を作り、そこに50%（重量比）のクロムを混ぜることに成功した。この合金は1000℃という高温に耐えるという。通常、鉄にクロムを30%以上混ぜるとボロボロにモロくなってしまふ。これまでの常識では50%もクロムを混ぜた合金鉄などは考えられなかった。ところが、99.995%という高純度にしたことで、劇的に鉄の性質が変化し、高い延性が生れるとともに50%ものクロムを混ぜても使用可能な鉄—クロム合金ができたのである。さらに同研究所では、高純度鉄42%、高純度クロム50%、タングステン8%の合金を作成。この合金はフェライト系ステンレス鋼の3倍の強度を示すという。

豪速球ストレートが高純度メタルだとすれば、高度な変化球にあたるのが傾斜機能材料だろう。名称が示すとおり、表から

裏にかけて組成が連続的に変化していく素材だ。単体での素材開発技術というよりは、アイデアと加工技術から生まれた新素材とも考えられる。例えばスペースシャトルは金属の躯体の上にセラミックタイルを貼ることで強度と耐熱性を高いレベルで両立させているが、セラミックと金属の傾斜機能材料を作ることができれば、宇宙船材料としてきわめて優秀な素材となりうるわけだ。そうした発想をもとに、科学技術庁ではすでに1987年から92年にかけてのプロジェクトでスペースプレーン用の素材として、外側1700℃、内側700℃という温度勾配に耐える傾斜機能材料の開発に成功している。

産業レベルでも94年に川崎重工が発表している。軽量構造材であるチタン・アルミとセラミックの材料にも使われる耐熱材のジルコニアを両端に用い、連続的に含有量が変化する10層を合わせたものだ。チタン・アルミの耐熱温度は1000℃だが、この傾斜機能材では、1600℃まで向上した。

傾斜機能材料の大きなメリットは、組成の変化がゆるやかなため、剥離の心配がないことにある。ただし、スペースプレーンが実用化されるのは2020年以降と考えられているから、それまでの間の用途開発が、産業レベルで存続していくうえでは重要になるかもしれない。

水素自動車実現のための技術として注目されてきた水素吸蔵合金は、ここへきて違った切り口から需要が伸びている。ニッケル水素電池の電極としてである。ニッケル水素電池は、高性能の充電式電池で、現在主流のニッケル・カドミウム電池（ニッカド電池）の次世代に来ると考えられているもの。水素吸蔵合金を充電式電池の負極に使うニッケル水素電池ではニッカド電池よりもさらに大幅な軽量化と性能向上が可能になる。

水素吸蔵合金には、鉄-チタン系、マグネシウム-ニッケル系、希土系など、10数種類以上があるが、94年に工学院大学で開発されたフッ化水素吸蔵合金は、水素の吸蔵速度がきわめて速く、従来のものの数100倍におよぶという。この新たな素材の登場も、さらに水素吸蔵合金熱に刺激を与えているようだ。

水素吸蔵合金は、体積比にして約1000倍もの水素を吸蔵することができる素材。爆発力の強い水素を安定した形で貯蔵する技術として有望視されてきた。将来、水素自動車など水

素エネルギーを実現する際にはキーテクノロジーとなると考えられている技術でもある。水素エネルギー実現の見通しそのものがかなり先だということもあり、景気低迷とともに開発熱も薄れていた。だがここで電池用電極素材としての需要拡大・生産増がコストダウンへのステップとなれば、水素貯蔵という当初から考えられていた用途にも、さらに使いやすい状況が生まれることも考えられる。

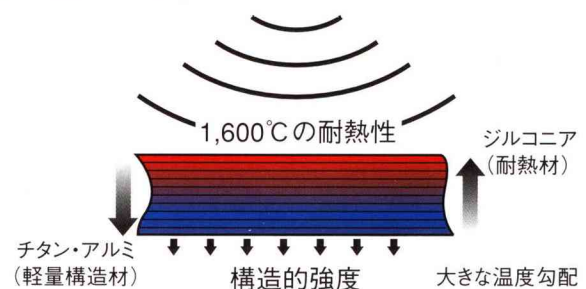
ープラスチック系の新素材ー スーパーエンブラ・導電性ホリマー・生分解プラスチック

プラスチック系の新素材のうち、機能面でまず注目すべきもののといえば、スーパー・エンジニアリング・プラスチックだろう。スーパーという名前からも分かるとおり、従来のエンジニアリング・プラスチックをさらに上回る強度、耐熱性、寸法安定性などを持つプラスチックである。代表的なものとしては、PEEK（ポリエーテル・エーテル・ケトン）、ポリイミドといったものがあげられる。

これらスーパー・エンブラは樹脂そのものの値段の高さ（1キロ数万円から数千万円）から一時は伸び悩んできた経緯もあったのだが、折からのパソコンブームが突破口となって新たな需要が生まれてきた。すなわちスーパーエンブラはハウジングと配線基盤を一体成形したり、樹脂そのものの表面に回路を作り込んでしまう技術などを可能にする。半導体そのものや、携帯電話、ノートパソコンなどに代表される電子・情報機器にこうした技術が採用されることで、小型軽量化がさらに進み、歩留まりも改善される結果を生んだ。またそれが総体としての商品のコスト低減につながるなど、相乗効果となり、採用が増加しているという。

三井東圧化学とデュボンが共同開発している炭素繊維で強化

■傾斜機能材料の構造例



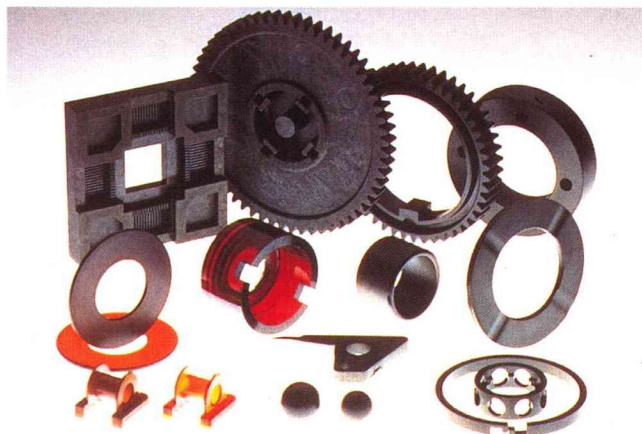
水素吸蔵合金の種類は10数種にわたるが、写真はランタンリッチミッシュメタルのニッケル系合金。左から塊状合金、粉碎したもの、水素吸蔵・放出を繰り返したもの（写真提供：日本重化学工業）

したポリイミドは、米国で開発中の次世代超音速旅客機の胴体や翼の材料として使われる。このカーボン強化ポリイミドは、現在航空機の機体材料であるアルミ系やチタン系などの合金と比べ、比重が2分の1から3分の1程度ときわめて小さい。航空機の素材としては理想的だ。性能面でも200℃におよぶ高温下で飛行時間10万時間以上をクリアできるという。

液晶ポリマーも、新たな高機能樹脂として注目されている。ポリマーの高分子が真っ直ぐで、曲らない性質を持つ樹脂である。製造時に引っ張りを与えてやると方向が揃い、高分子のラインがちょうどガラス繊維などで強化した場合と似たような役割を果たし、高い強度が得られる。10%ガラス繊維強化エンブラに匹敵する強さを持ち、しかも流動性が高く寸法安定性に優れているため成形がしやすいというメリットがある。OA機器用の素材として需要が出てきているという。

プラスチック系としてはユニークなものに導電性ポリマーがある。ポリマーであるにもかかわらず電気が流れる素材で、鐘紡と京都大学が共同で開発に成功したポリアセンがすでにリチウム電池の電極として実用化されている。電気を貯える能力が高く、大幅に電池サイズを小型化できるうえ、高い電圧をかけ続けても性能の劣化がないなど、優れた特性を発揮する。また電極に重金属を使わずに済むようになるため、環境汚染の心配がなくなる。次世代型として理想的な性質を持った電池が製造できるのである。

大きな需要が見込まれるプラスチック系の新素材としては、プラスチック光ファイバーがある。かつて光ファイバーはガラス製のものが主流と考えられていたが、1995年にガラス製光ファイバーなみの伝送能力を持ったプラスチック光ファイバーが登場し、にわかに脚光を浴びている。ガラス製光ファイバーはもろくて扱いが難しく、光ファイバーそのものの値段も比較的高価。対するプラスチック光ファイバーは比較的廉価で曲げても折れにくいなど取扱いが容易。とりわけ敷設コストはガラス製に比べて約10分の1ですむという。



スーパー・エンブラの代表格ポリイミドで作られた製品群
(写真提供：三井東圧化学)

プラスチック製光ファイバーの素材は、ポリメチルメタクリレート (PMMA) といわれる樹脂で、樹脂繊維の中心部と周辺部の屈折率を変えたグレード・インデックス構造によって毎秒3ギガビットという伝送能力を可能にした。今後日本の光ファイバー網の整備に大きな需要が見込まれる。また建築物などのライティング・アップやデコレーションに多用されるなど照明用の素材としても需要が伸びている。

時代的な要請から、環境関連の新素材も需要が伸びている。代表的なところでは生分解性プラスチックと呼ばれるものがある。自然の素材が腐るのと同じように、微生物によって分解され、無害な物質に変わるプラスチックである。昨今プラスチック廃棄物による海洋汚染によって、野生動物が傷付いたり死んだりする例が増えている。廃棄物の海洋投棄は国際的にも禁じられているものの、漁具、漁網、釣糸などはやむをえず流出するケースも多く、半永久的な安定性を持つプラスチックではなく、自然に分解されるプラスチックへの要請が高まっている。農業用のフィルムや環境土木用、アウトドアなどレジャー用なども採用が待たれる分野である。

現在60社以上が参入し、開発競争が続いているが、当面の問題は価格で、ごく一般的な汎用樹脂の値段が1kgあたり100円前後であるのに対して、生分解性プラスチックでは1,000円前後と、十倍近い価格となっている。現在の価格はパイロットプラントによるサンプル出荷（生産規模が年間数100～1,000トン程度）時点でのものであり、生産規模が年間10万トン以上になれば、200～300円程度まで下がり、一般の汎用樹脂とも十分に競争できる見通しだという。

大きなマーケットとして期待できるものとしては、生ゴミをコンポスト（有機堆肥）として処理するためのゴミ袋という用途。生ゴミのみを分別収集して発酵させ、土に還そうというもので、1995年に広島市で実際に生分解性プラスチックの袋を使ったモデル事業がおおよそ3カ月にわたって行われている。ゴミの分別体制の改変という制度上の変革を前提としているものの、昨今のゴミ事情の悪化を考えると、必要とされる可能性が高いものと考えられるだろう。



導電性ポリマーを電極として使うオールポリマー電池は、充電式電池の大幅な小型軽量化を可能にした (写真提供：鐘紡)



プラスチック製光ファイバーと
ライティング・アップ用の照明
設備に採用された例
(写真提供：三菱レイヨン)

生分解性プラスチックは燃やした場合の熱量もポリエチレンなどの半分であるため、ゴミになった後、焼却してその熱を発電などのエネルギーに使用することが可能だという。実用化が期待される素材といえそうだ。

—セラミックス系の新素材— 高次構造制御セラミックス

新素材としてのセラミックスは、すでにさまざまな形で実用化されているが、最近の話題としては、高次構造制御セラミックス（シナジー・セラミックス）と呼ばれるものが新たに有望視されている。これまで金属で行われてきたように、原子単位のマクロ構造から、組織レベルでのマクロ構造までを巧妙に制御し、必要とされるさまざまな性質をコントロールして高機能なセラミックスを作ろうというものだ。

セラミックスの構造は、強度を得るためには細かく均質なほうがよく、韌性を出すには微視的レベルで不均質なほうがいい。その両方の性質をどう両立させるかが、構造材としてのセラミックスを開発するに際しての課題となってきた。

通産省工業技術院では、高次構造制御によって従来のものより強度で1.4倍、韌性が1.7倍というセラミックス（アルミナ系）の試作に成功した。このシナジー・セラミックスでガスタービンを作ることにより、きわめて効率のよいコジェネレーション（利用地密着型発電）用の発電システムが可能になるという。試作された出力300キロWの小型タービンでは、入り口温度1200℃、熱効率33.1%という高性能が検証され、セラミックス・ガスタービンへの道が開けた。セラミックス・エンジンの実現にも、この技術が鍵になるであろうことはいままでの間。

通産省ではさらに、自動車、電気関連などの企業15社が参加する「シナジーセラミックス開発計画」をスタート。シナジー・セラミックスの応用へむけて研究が進んでいる。

厳しい試練に向かう新素材と日本のテクノロジー

新素材には、開発のコストが伴う。世は総じてコスト低減の



生分解性プラスチックの経時変化。左から新品、2週間経過、4週間経過、6週間経過の順（写真提供：昭和高分子）

大合唱。開発成功が即収益改善につながる保証のない新素材関連の研究開発から撤退していく企業も目立つ。例えば新素材開発に成功し、それを商品化したにしても、さして需要が伸びない。高度な機能・性能にもかかわらず、どうしても欲しいモノではなかったりする。コストがかさむ新素材を使うよりは、多少質は落ちてでも安いものを使ったほうが、現状のニーズに合っている……etc.

そんな情勢下、サバイバルに成功しているのは、官が強力に主導する特定のテーマに属するもの、本来的にその素材にかけられていた大きな夢とは別に「日々の米を稼ぐ」ことができるもの、情報化・パソコンブームの潮流を背景とするもの、の三つくらいに集約されてきたように思われる。

バブル期から現在にかけ、多くの製造業は生産コストがかさむ日本国内で製造していたのでは十分な国際競争力が保てず、海外へと製造拠点を移した。さらに国際的なマーケットの構造として、NIES、ASEAN、そして中国といった国々が、大きな消費需要を生み出し、中国系の事業者たちが、すでに過去の技術となったテレビやビデオ、自動車などの技術を自らのものとして、そのビッグマーケットにアプローチしていくといった動きが現実のものとなりつつある。

こうした昨今の世界市場の中で日本が活力を保っていくには、他国にマネのできない高度なテクノロジーを開発し続けることが肝要であるといわれてきた。にもかかわらず、国内での景気停滞と空洞化の中で、「未来の夢」へと橋を架けるだけの余裕がなくなっていることも否めない。景気は緩やかに回復しているという見方もあるが、ここ3年くらいの間に金融機関が抱え込んできたバブル後のツケが回ってくることも予見されている。

経済とテクノロジーの歯車が、いまひとつシンクロナイズしていない現在、日本の産業が見出だすべき活路はどこにあるのだろうか。その答えは未だ見つかっていない。

【取材協力・写真提供：鐘紡(株)、昭和高分子(株)、日本重化学工業(株)、三井東圧化学(株)、三菱レイヨン(株)】

話題の
PROJECT
プロジェクト
**ヘリックス
研究所**



ヒトの生命現象に迫る ゲノム・ベンチャーが設立

21世紀の基盤技術開発を目指して

21世紀は生命科学の時代と考えられている。

ここ数年、遺伝子工学は新たなブレイクスルーの段階を迎えている。

欧米を中心にヒト・ゲノム・プロジェクトが推進され、

ヒトの全DNA配列の解明も時間の問題となってきた。

アメリカに比べ遅れをとっている日本の遺伝子研究も、

新たな段階を迎えようとしている。

1996年に設立されたゲノム・ベンチャー企業の目的などにスポットをあててみた。



21世紀は生命科学の時代

20世紀が「物理学の時代」とするなら、生物学、生命科学は21世紀をリードする基本科学になると予想されている。そのことは、今後人類が直面する大きな課題、①人口爆発と食料問題、②がんの克服、③老化と慢性疾患、④環境調和型社会など、いずれをとっても生物学、生命科学の発展なしには解決し得ない問題ばかりだからである。同時に、「生命とは何か?」「進化のメカニズム」といった根元的な問題へのアプローチという側面も持っている。

1980年代初頭、日本ではバイオテクノロジーが一大ブームとなった。製薬会社、化学会社にとどまらず、あらゆる企業がバイオ分野への参入をはかり、人材確保に走った時期である。

この動きを決定づけたのが、成長ホルモンやインシュリン、インターフェロンといった、従来ごく少量しか精製することのできなかった物質を、大量に生産できるようになったことである。

これを支えたのが、制限酵素の発見^{*1}(1970年)、RNA^{*2}-DNA^{*3}逆転写酵素^{*4}の発見(1970年)、遺伝子組み換え技術(1973年)や、遺伝子を大量に増殖するクローニング技術^{*5}の確立といった、遺伝子工学の台頭だった。しかし、バイオテクノロジーの産業利用には、まだまだ膨大な時間とコストがかかることが次第に明らかになるにつれ、産業界のバイオテクノロジーブームは終息していった。

一方アメリカでは、生命科学、医学・医療分野の基礎研究が盛んで、NIH (National Institute of Health : 国立保健研究所) が一元的に管理していること、遺伝病治療^{*6}に対する社会的要請が強いこと、バイオテクノロジーの先端分野をベンチャー企業化することが活発に行われることなどから、その後も研究開発が積極的に行われてきた。

1990年、生命科学分野の国家プロジェクトといえる「ヒト・ゲノム・プロジェクト (Human Genome Project)」が、NIH

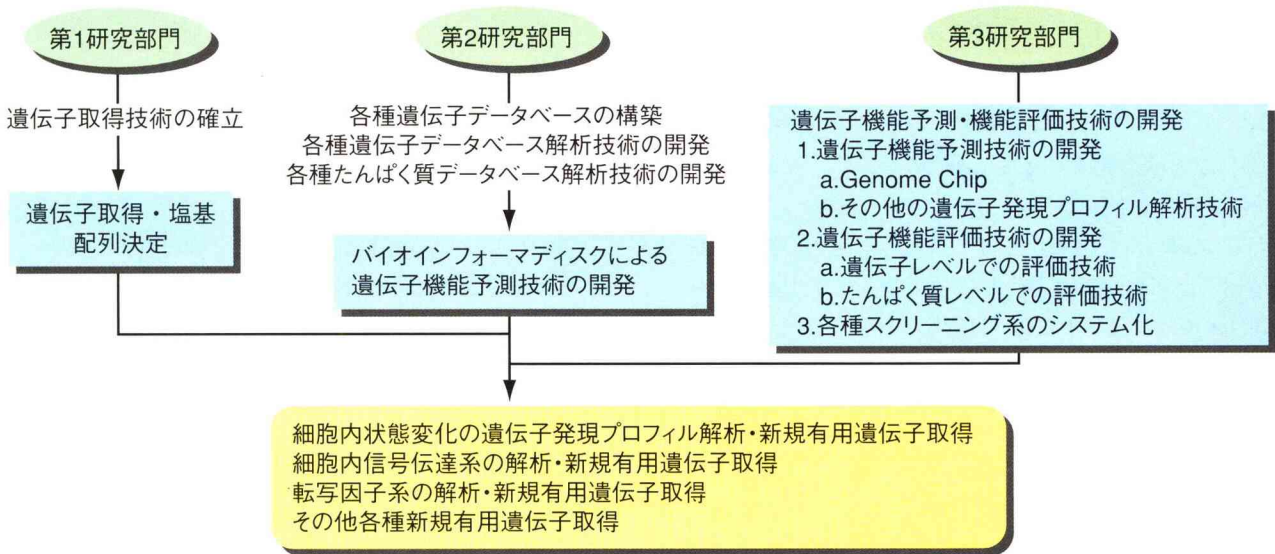


図1 ヘリックス研究所の研究領域

とDOE (Department Of Energy : エネルギー省)の共同研究計画として開始された。この計画は、人間の30億対に及ぶ全DNAの塩基配列を決定しようというもの。毎年2億ドル、15年間で合計30億ドルを投入するビッグプロジェクトだ。

これ以前にも、ヒトのゲノム^{*}分析は各国で行われていたが、ある特定の部分に限られたもので、しかも得られたDNA情報をデータベース化する方法について、統一した基準が設けられていなかった。もしヒトの全DNAについて、遺伝子データベースが完成すれば、医学・医療分野に画期的な発展をもたらす可能性がある。

ここで問題になったのが、「基礎研究ただ乗り論」である。日本の経済発展に伴って、経済力に見合った応分の負担を求める動きと、アメリカの「内向き」政策の顕在化は、従来の応用分野に特化した日本の技術開発のあり方に大きな警鐘を鳴らし始めている。遺伝子分野の研究では、わが国はアメリカに比べ5年は遅れているといわれる。最近の研究開発の進捗状況からすると、すでに取り返しのつかないところまで、その差が開いているのではないかという意見もある。

ようやく日本でもゲノムベンチャーが誕生

こうした状況をふまえて、わが国でも遺伝子分野の研究開発を積極的に推進しようとする動きが目立ってきた。特に、ベンチャー企業の設立に、その傾向が顕著に現れている。1996年3月末、2つのヒト・ゲノム解析や応用研究を目的とした官民出資会社が設立された。通産省、郵政省共管の基盤技術研究促進センターと民間企業10社が設立したヘリックス研究所(社長・野口照久山之内製薬副社長)と、厚生省所管の医薬品副作用被害救済・研究振興調査機構と民間企業8社が設立したジェノックス創薬研究所(社長・内藤靖夫エーザイ社長)である。

ヘリックス研究所が遺伝子の機能解析や有用遺伝子の取得を目的とするのに対して、ジェノックス創薬研究所は、遺伝子レベルからヒトの病気の起こるメカニズムなどを研究するというように、互いに研究分野のすみ分けを行っている。では、具体的に、どのような研究開発を行うのか、ヘリックス研究所について見ていくことにしよう。

ヘリックス研究所の出資比率は、基盤技術研究促進センターが70%、協和発酵工業、住友化学工業、大正製薬、中外製薬、日本合同ファイナンス、日立製作所、藤沢薬品工業、三菱化学、山之内製薬、吉富製薬の10社が30%となっている。研究期間は1996年3月～2002年3月までの約6年間、その間約66億円が出資され、すべての出資金は研究開発に投入される。

研究成果は、最終的には特許という形を取るようになる。ただし、出資企業などが優先的に利用するのではなく、基盤

技術として公開される予定だ。

同研究所は、千葉県木更津市に千葉県が開発を進めている「かずさアカデミアパーク」内の(財)かずさDNA研究所に研究施設を開設している。1996年10月18日に開所式が行われ、現在26人の研究員を擁している。ゆくゆくは40人体制を目指す。

ヘリックス研究所の研究分野は、主に次の3つからなっている(図1)。第1研究部門は、大学や国公立研究機関と協力して遺伝子取得技術の確立や塩基配列を決定することで、有用遺伝子の取得を目指す。第2研究部門は、パブリックな遺伝子データベースを利用しながら、独自のデータベースの構築、遺伝子データベース解析技術の開発など、主にコンピュータを利用した遺伝子機能予測技術を開発する。第3研究部門は、第1・第2研究部門の成果などをふまえながら、実証的な遺伝子機能の予測・評価技術を開発することになっている。

注意すべきなのは、ヘリックス研究所の研究範囲には、アメリカのヒト・ゲノム・プロジェクトに代表される、遺伝子の塩基配列データベースへの参加はふくまれていないこと。あくまで、どの遺伝子がどのような遺伝情報の発現^{*}に関与しているのか、遺伝子機能の解析・評価に向けられる。つまり、応用技術に特化することを意味している。

ただし、これは半導体などの分野で見られる「基礎研究ただ乗り」とは、若干趣を異にしている。現在の遺伝子研究は、DNAの塩基配列の決定といった構造解析が主流だが、30億対の塩基配列、遺伝子でいえば約10万個の構造がすべてわかったとしても、それだけではなんの利用価値もない。どの遺伝子がどのような機能を持っているのかを解明して、初めて医療分野などへの応用が可能となる。事実、最近遺伝子研究は、そのウエートを構造解析から機能解析に徐々に移しつつある。日本における分子生物学の草分け、渡邊格・慶應義塾大学名誉教授も、ルーチン作業的な構造解析から、もっと創造的な研究へシフトする必要性を強調している。

遺伝子の機能解析を中心に研究開発を進める

では、ヘリックス研究所が目指す、遺伝子の機能予測・評価技術とは、具体的にどのようなものなのだろうか。

同研究所では、研究を図2のようなサイクルで進める予定だ。実は、近年遺伝子情報の解析が急速に進んだ背景として、コンピュータ技術の進歩がある。スーパーコンピュータを利用して、膨大なDNAの塩基配列から人間にも理解できる遺伝子機能のシンボルに書き直してくれるソフトウェアが開発されている。

集められた遺伝子情報を基に、コンピュータで解析することで、ある遺伝子がどのような機能を有するか、おおその機能を予測することが可能になった。ソフトウェアを進歩させることで、より正確な機能予測が可能になるわけだ。

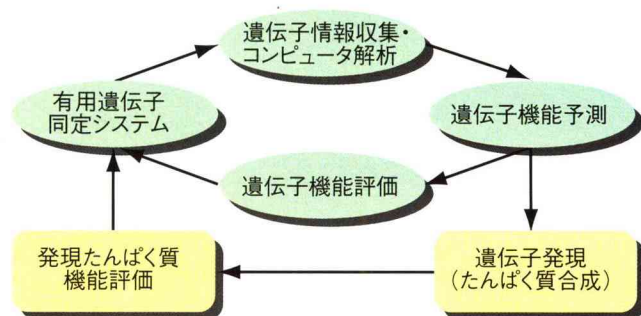


図2 研究サイクル

こうした機能予測に基づいて、実際にある遺伝子がどのような機能を有しているか、実験的に解析する段階に進む。たとえば遺伝病の研究から、ある特定の遺伝子の機能が解明されているケースがある。また、正常なヒトの遺伝子と病気を発症したヒトの遺伝子を比較することで、どのような状態になれば、どのような遺伝情報の発現が起こるのかわかる。

同様に、体を構成する細胞は、すべて同じ遺伝子を持っているが、どの組織を構成するかで使われる遺伝情報が違っている（脳と肝臓の細胞では、基は同じ細胞から分化したにもかかわらず、持っている機能はまったく違っている）。こうした、体の設計図としての遺伝情報をどのように使用しているのか（発現プロファイル）という側面から研究を進めるのが、遺伝子の機能解析と呼ばれる研究分野だ。

こうした機能解析を行う研究手法として、Gene Signature、Differential Display、Subtraction、Gene Chipなどがある。同研究所では、特定の細胞でどの遺伝子の発現頻度が高いかを明らかにするDifferential Displayの手法を中心に、解析技術の開発・改良に取り組んでいく方針だ。

また、たとえば約1cm角のガラス片に1000～1万個のDNA断片を固定して、未知のDNAをハイブリッド形成法(Hybridization)を用いて同定する技法の開発も目指す。DNAProbe Array法と呼ばれるこの技術は、遺伝子診断の新しい手法としても期待されている。アメリカではGene Chipという名前で開発が進んでいるが、同研究所では「Genome Chip」と名づけて、遺伝子発現プロファイル解析を自動化するシステムの開発にも取り組む予定だ。

このような遺伝子の機能解析を通じて、有用遺伝子の取得や同定システムの開発に結びつけていく。有用遺伝子とは、たとえば作物の耐病性など、人間にとって利用可能な形質を発現する遺伝子のことだが、同研究所が目指すのは、あくまでヒトの有用遺伝子だ。特に近年、生命現象のなかでも中枢神経系の機能に注目が集まっている。つまり「脳の働き」を明らかにしようという試みだ。アルツハイマー型痴呆の研究者のなかにも、遺伝子レベルの研究を進める研究者が増えてきている。ただ、この分野の機能解析は評価が非常にむずかしく、中枢

神経系への応用研究はまだかなりの時間を要するだろう。

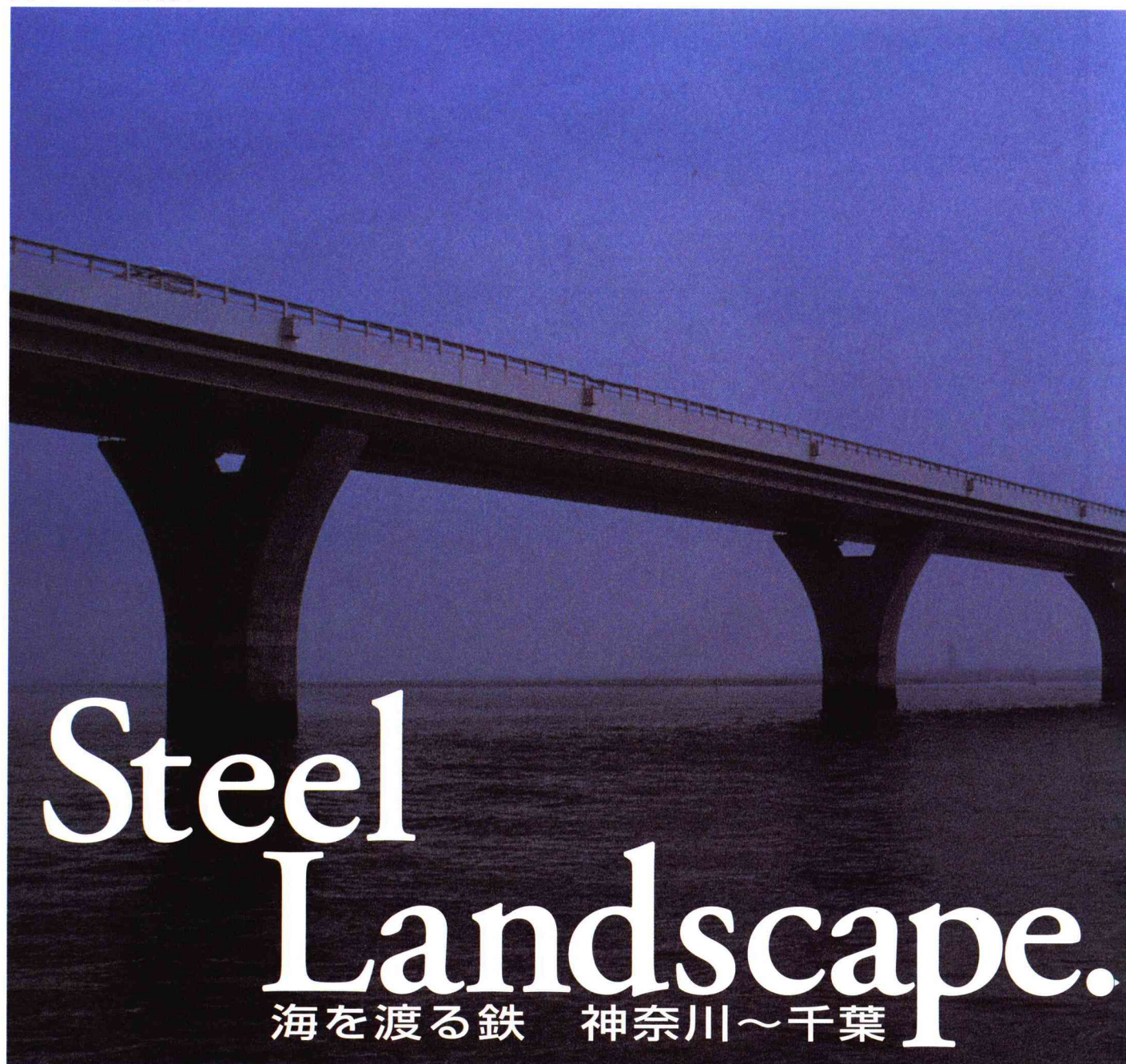
アメリカでは、線虫という線形動物を使って、遺伝子の機能評価を行うベンチャービジネスも登場しているという。あるヒト遺伝子がどのような生理機能を司っているのかを自動的に予測・評価する技術が開発されれば、この分野の研究開発を一挙に進歩させることは間違いない。また有用遺伝子を発見すれば、その特許収入も膨大なものになる可能性がある。

もちろん、遺伝子に関する知的財産権に関しては、まだ国際的な統一基準が固まっているわけではない。過去にはNIHがDNA塩基の構造配列のみを特許申請して、国際的な問題となった経緯もある（その後NIHはこの特許申請を取り下げている）。しかしながら、この分野の研究開発の遅れは、10年後には必ず大きな経済力の差となって現れるに違いない。遺伝子の機能解析技術は、開発競争の緒についたばかりの分野だ。6年間という、けっして長くはない研究期間のなかで、どこまで技術開発の芽を伸ばすことができるかに、注目が集まっている。

[取材協力・写真提供：ヘリックス研究所]

- *1 制限酵素：DNAの特定の塩基配列を識別して、その場所や近辺の一定部位で切断する働きをもった酵素の総称。
- *2 RNA(Ribonucleic Acid)：リボ核酸。細胞内にふくまれる生命維持に欠かせない高分子物質で、塩基・糖・リン酸が結合した核酸のうち、糖の部分がリボースであるもの。
- *3 DNA(Deoxyribonucleic Acid)：デオキシリボ核酸。核酸のうち糖の部分がデオキシリボースのもの。遺伝情報を格納する本体物質。1953年、ワトソンとクリックの2人により分子構造が解明され、2本の鎖が塩基で結びついた二重らせん構造となっていることが発見された。DNAを構成する塩基は、アデニン(Adenine)、グアニン(Guanine)、シトシン(Cytosine)、チミン(Thymine)の4種類しかない。
- *4 逆転写酵素：通常、伝令RNA(mRNA)は、DNAのもつ遺伝情報を写し取り(転写)、たんぱく質を合成するリボソームに情報を伝達する働きを持つ。その反対に、RNAを鋳型としてDNAを合成することを逆転写と呼ぶ。この働きに不可欠な酵素。この酵素の発見が、遺伝子工学を進展させる基礎となった。
- *5 クローニング(Cloning)：単一の遺伝子型をもつ細胞、ウイルスあるいは個体を、多様な遺伝子型の集団から純化する作業。不特定多数のDNA断片を、酵素を用いてプラスミドやファージなどのベクター(運搬体)に連結し、大腸菌などに導入する。この大腸菌を培養し、特定のDNA断片を増殖、単離する技術が確立されたことで、遺伝子工学の産業利用が可能となった。
- *6 遺伝病治療：鎌状赤血球症、嚢胞性繊維症、ハンチントン舞蹈病、血友病などがある。1983年、ベネズエラのハンチントン舞蹈病家系の追跡調査により、病原遺伝子が特定され話題となった。その後、多くの遺伝子病因遺伝子が解明されている。
- *7 ゲノム(Genome)：ゲノムとは遺伝子(Gene)と染色体(Chromosome)の合成語。1個の生物をつくるのに必要な最小限の遺伝子セットを意味する。
- *8 遺伝情報の発現：ヒトDNAは約30億塩基対、遺伝子にすると約10万存在するが、すべてのDNAが使用されているわけではない。遺伝子のなかには細胞の形成や生命維持に必要な情報をもつ部分(Exon：構造配列)と、情報のない部分(Intron：介在配列)がある。このExonのDNA解析をすれば、生命現象をおおよそ解明することができる。なぜ遺伝情報をもたないDNAが存在するのかについては、進化の過程で不要になった部分ではないかと考えられている。

鉄の絶景



地域の風物やその地にゆかりの多彩な鉄の姿に触れつつ、日本各地を巡ってきた「鉄の絶景」シリーズ。今年から少し趣を変え、鉄が深くかかわっているプロジェクトやシーンを主体に取り上げていくこととする。

その第1回目は『東京湾横断道路』。東京湾をまたぎ、神奈川県川崎市と千葉県木更津市を結ぶ。見渡すかぎりの海にまっすぐに伸びるその姿は、未来感覚の新しい景観を創りだしつつある。この海を渡る「夢の道」はわれわれの生活をどう変えてくれるのだろうか。



■密閉型シールド工法で建設されたトンネル部分。



■東京湾にまっすぐのびる橋梁部分

今世紀最後の巨大プロジェクト

年々増大する東京都市圏の交通需要を円滑化するべく、昭和41年に建設省が調査を開始。その後約30年近い年月を経て、平成元年5月、日本道路公団、地方公共団体、民間企業などが出資する『東京湾横断道路株式会社』により東京湾横断道路の建設工事は着工された。神奈川県川崎市と千葉県木更津市のあいだを東京湾をまたいで結ぶ、全長15.1kmの一般有料道路である。川崎市川崎区浮島町から9.1kmは直径13.9mの二本の海底トンネル、木更津市中島から4.4kmは長大橋、またこのトンネルと橋の接続部・トンネル中央部には休憩および換気施設として人工島がつけられる。当面は片側2車線ずつ計4車線の予定だが、将来はさらに1本のトンネルを掘り、計6車線にする計画だ。

世界最大規模の海洋土木工事といわれるこの巨大プロジェクトには、設計から施工まですべてにわたり最先端の技術とノウハウが駆使されている。なかでもトンネル部分には日本が技術上最先端をはしる、密閉型シールド工法が起用された。トンネルの壁が崩れてこないように保護しながら軟弱地盤を掘削するシールド工法は、水運の妨げとなる橋に代わり、川下にトンネル建設をするための技術として1823年にフランスで開発された。これが1960年代になると、それまで空気圧で保護していた“切羽”（掘削中のトンネルの先端部分）に隔壁を設けて泥水で満たし、この圧力によって切羽を安定させるという飛躍的な技術の進歩をとげる。さらにこの技術に、堅い地盤向けにカッターを回して掘るトンネルボーリングマシンの掘削技術が合体し、現在のような密閉型シールド工法が完成したのである。

密閉型シールド工法は川底や海底などの軟弱地盤のほか、都市圏などさまざまな構造物や周辺環境への影響のないよう配慮されたトンネル掘削技術であり、東京湾横断道路のトンネル建設にも最適な掘削技術といえる。

トンネル内部の設計には安全面でも細心の注意が払われ、事故発生や地震などを想定した万全の策が施されている。一例を挙げれば、コンクリート・セグメントのつなぎめに使われている水膨脹性シールが水と反応して約2倍に膨脹し、海水の侵入を防ぐ。地震などの災害で万一セグメントが崩れた場合は、これが海水と反応してさらに膨脹するしかけだ。また火災時には電気集塵機によって煙の排出と空気洗浄がなされるほか、道路下には煙が入り込まないように設計された避難通路も設けられている。

橋梁部分においても、沖合部および浅瀬部はそれぞれ鋼製・鉄筋コンクリート製の橋脚で支えられている。また海底面下約30mが軟弱地盤層となっている川崎人工島施工区域は、地盤改良の後、土留め・護岸および足場となる鋼製ジャケットを設置し、耐風性や耐震性に優れた強度と安全性を確保している。梁に桁に脚に海底に、プロジェクト全体を通じて使用される鉄は約46万トン、東京タワー115基分に上るのである。



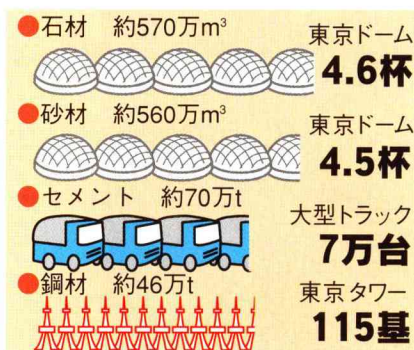
■工事進捗率約83%に達した川崎人工島



■建設途中（H8.5月現在）の木更津人工島。



■木更津人工島完成予想図



時空を結ぶ夢の架け橋

完成目標年度の平成9年に向かって着々とその歩を進める東京湾横断道路は、平成8年4月末現在で工事進捗率83%に達している。完成すれば川崎～木更津間は走行距離（各市役所間で表示）110kmが30kmに、所要時間も（設計速度80kmで）約4分の1に短縮される。また東京～木更津間も距離にして約45km短縮されることになる。

道路の中間地点や川崎よりには、東京ドームがすっぽりと入ってしまうほどの広さをもつ直径約200mの川崎人工島が浮かぶ。中間地点や木更津よりには浮かぶ木更津人工島とは、さながら親子島のような。東京湾横断道路を通過する人々には目的地へ行くあいだの憩いの場となり、東京湾をホームポートとして海で働く人々には灯台の明りのごとく家路へと導くシーマークとなってくれることだろう。

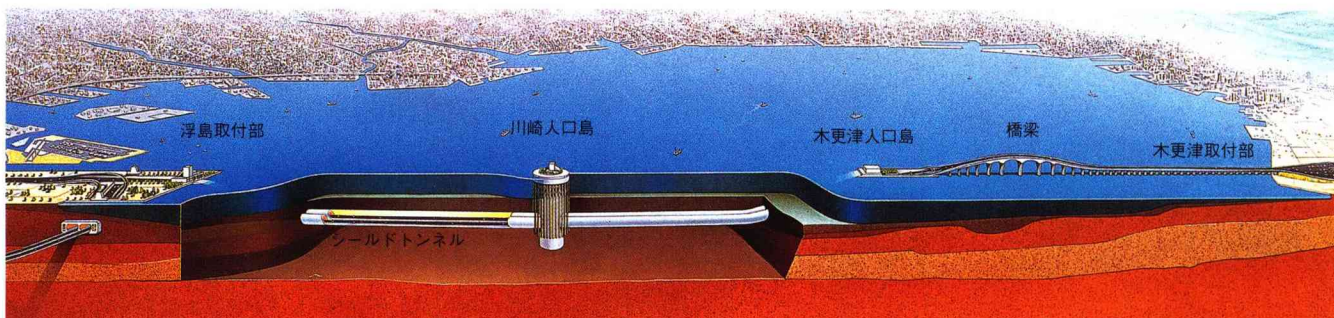
濃紺の東京湾をまっすぐに横断する端正な姿の橋梁部からは、うまくすれば富士山を眺められる日もあるという。木更津あたりの海岸は東京からはもちろん、埼玉や栃木からもぐっと近くなり、春から夏にかけて手軽に潮干狩りを楽しめるようにもなるだろう。

木更津は、古くは安房・下総と鎌倉・江戸とを結ぶ港町としておおいに栄えていた。その繁栄ぶりは明治維新の廃藩置県で安房下総一帯が千葉県と変わっても、別個に木更津県と称されるほどだったという。だが、鉄道が発達して東京湾の海運が没落するとともに、木更津はしだいに東京や神奈川からは近くて遠い土地になってしまった。

今、木更津は、江戸の昔にもどって、ふたたび近くて近い存在に蘇ろうとしている。東京湾横断道路はいわば時間と空間を縮め、昔を今に蘇らせる夢のマリン・ロードなのである。

予定の通行料金は5050円とちょっと高めだが、マリンロード・東京湾横断道路が提供するものは、距離と時間の短縮という利便性だけではない。都心部と周辺部の交通混雑の緩和に大きな役割を果たすとともに、ひいては産業活動のさらなる活性化に大きく寄与することも期待されているのだ。また、海上から海越しの街を眺めるというクルージング感覚のドライブが楽しめる、新しいレジャーゾーンとしても人気を集めることだろう。

[取材協力・写真提供：東京湾横断道路(株)]



■東京湾横断道路完成予想図

1996年鉄鋼生産技術の歩み

—革新的製造プロセスへの挑戦—

藤原俊朗

生産技術部門 部門長

Toshiro Fujiwara

Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 1996

1 鉄鋼業をめぐる諸情勢

1995年の情勢

1995年のわが国経済は、前年後半からの緩やかな回復過程が、年初の阪神・淡路大震災による大打撃と3月以降の急激な円高により、景気は足踏み状態に陥った。しかし、夏場以降、行き過ぎた円高も是正されるとともに、9月には公定歩合の引き下げ、政府による過去最大規模の経済対策が決定されたこともあって景気は年末にかけて緩やかながら回復基調を取り戻した。

こうした中で、国内鉄鋼需要は、年前半は復旧需要を見込んだ一部仮需の積み上がりもあり大きく増加したが、後半は復旧需要の遅れや円高による実需の停滞により減少に転じた。通年では、年前半の好調に支えられ、国内需要は増加となった。部門別には、建設用は公共関連を中心に増加した。製造業用は産業機械、船舶部門等で増加、一方、自動車部門は現地生産の進展による完成車輸出の落ち込みから、わずかに前年を上回るに止まった。また輸出は、普通鋼鋼材が増加したものの、銑鉄、鋼塊・半製品の激減から全鉄鋼ベースでは5年ぶりの減少となった。

以上の内外需動向を反映して、1995年の銑鉄生産は、7,490万tと前年比113万t、1.5%増と、3年連続の増加となったが、5

年連続の8,000万t割れに止まった。同粗鋼生産は1億164万tで、前年比335万t、3.4%の増加となり、4年ぶりの1億t乗せとなった。炉別にみると、転炉鋼が6,884万t、前年比162万t、2.4%増、電炉鋼も3,280万t、同173万t、5.6%増とともに増加、転炉鋼は4年連続の6,000万t台、電炉鋼は4年ぶりの3,200万tを超えて、全粗鋼に占める電炉鋼構成比は32.3%と前年に比べ0.7ポイント上昇し過去最高となった。また、鋼種別では普通鋼が8,239万t、前年比215万t、2.7%の増加と2年ぶりの増加、一方、特殊鋼は1,925万t、同119万t、6.6%の増加となり、2年連続の増加となった。

普通鋼圧延鋼材の生産は、上期は建設用、製造業用ともに堅調に推移、下期に入り製造業用の主要需要産業である自動車用、産業機械用向け等が低迷したが、建設用に支えられる等で7,796万tと前年比311万t、4.2%の増加となり、2年ぶりの増加となったが、4年連続の8,000万t割れとなった。品種別では、条鋼類が2,951万t、前年比1.4%増、鋼板類が4,150万t、同6.5%増とともに増加となり、このうち、鋼矢板、H形鋼、大形形鋼、小形棒鋼、厚板、鋼帯等が増加となり、軌条、中小形形鋼、普通線材、特殊線材等は減少となった。一方、冷間仕上鋼材、めっき鋼材では、冷延広幅帯鋼、冷延電気鋼帯、亜鉛めっき鋼板、その他金属めっき鋼板が増加、ブリキ、ティンフリー・スチールは減少となった。なお、冷延広幅帯鋼

表1 高炉銑・鋼塊及び鋼材の生産推移

(単位: 千t/月)

項目	年	1993年 平均	1994年 平均	1995年 平均	1996年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	1996年 1-6月平均	7月	8月	9月
高炉銑		6,140	6,144	6,241	6,340	5,710	6,147	6,071	6,317	6,094	6,113	6,349	6,281	6,070
粗計		8,302	8,191	8,470	8,075	7,704	8,138	8,194	8,419	8,244	8,129	8,111	8,008	8,084
転炉		5,708	5,602	5,737	5,469	5,023	5,315	5,451	5,623	5,398	5,380	5,597	5,575	5,286
電気炉		2,594	2,589	2,733	2,605	2,681	2,823	2,742	2,797	2,846	2,749	2,514	2,433	2,798
普通鋼熱延鋼材 (一般)		6,559	6,357	6,596	6,399	6,381	6,487	6,296	6,568	6,467	6,433	6,461	6,441	6,290
主要熱延鋼材														
中小形形鋼		172	158	151	149	171	169	165	172	184	168	171	158	183
小形棒鋼		984	1,042	1,054	1,030	1,040	1,109	1,055	1,087	1,098	1,070	1,076	1,025	1,106
普通線材		136	131	121	128	118	124	130	130	136	128	121	123	135
厚中板		683	651	711	749	687	711	687	730	737	717	751	734	772
薄板		10	7	6	5	4	6	4	4	3	4	4	5	4
広幅帯鋼		3,341	3,186	3,343	3,112	3,184	3,156	3,068	3,160	3,096	3,129	3,108	3,123	2,768
特殊鋼熱延鋼材		1,231	1,251	1,348	1,179	1,194	1,280	1,209	1,262	1,272	1,233	1,311	1,241	1,341

出所: 日本鉄鋼連盟資料

は840万tで4年ぶりの800万t台に回復、また、冷延電気鋼帯は198万tとなり、1991年の173万tを上回り過去最高となっている。その外の品種では熱間鋼管、めっき鋼管がともに4年ぶりの増加となっている。

特殊鋼圧延鋼材の生産は、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、また、輸出向けも堅調であったこと等から、全体で1,562万tと前年比101万t、6.9%増となり、3年連続して増加、4年ぶりに1,500万t超えとなった。鋼種別では、機械構造用炭素鋼、構造用合金鋼、高抗張力鋼、ステンレス鋼、快削鋼、ピアノ線材、軸受鋼等ほとんどの鋼種で前年比増加、僅かに高マンガン鋼、その他工具鋼が減少となった。なお、ステンレス鋼(292万t)、ピアノ線材(67万t)等は過去最高を記録した。

1995年の鉄鋼輸出に関しては、2,299万t、前年比96万t、4.0%減と5年ぶりの減少となった。仕向先としては米国を除きアジア諸国が上位を占めており、中国(及び中国への中継貿易が多いとみられる香港)の他はいずれも前年より輸出数量が増加した。中国は、1993年以降3年連続して最大の仕向先となったものの、年初から過剰在庫調整のため輸入抑制を行ったこと等により前年比12.7%減の384万tと2年連続して減少した。また、1994年に半製品を中心として激増した米国向けは、1995年には住宅、自動車の伸び悩み等により鋼材見掛消費が前年割れとなったこと等から、前年を35.8%下回る233万tに止まった。品種別には、1994年に韓国、台湾向けが大幅に増加した銑鉄は52.6万t(前年比57.0%減)、米国向けが激増した鋼塊・半製品は63.3万t(同59.4%減)といずれも大きく減少した。普通鋼鋼材のうち、厚中板、熱延広幅帯鋼、冷延コイル、亜鉛めっき鋼板の輸出は東南アジア諸国における需要の急増に伴い前年比2桁台の大きな伸びとなった反面、形鋼類、鋼管は前年実績を大幅に下回った。普通鋼鋼材全体の輸出は1,715万tと前年比3.4%増加し、特殊鋼鋼材輸出も403万tと、前年比2.3%増加した。

全鉄鋼輸入に関しては、1,172万tと前年比30.4%の大幅増となり、4年ぶりの1,000万t超となった。品種別には銑鉄が278万t、前年比53.3%増、フェロアロイが187万t、同26.8%増、鋼塊・半製品が57万t、同82.9%増、全鉄鋼輸入の過半を占める普通鋼鋼材が614万t、前年比20.1%増、特殊鋼鋼材も9.5万t、同14.9%増となる等、軌条を除く全品種で前年比増となった。普通鋼鋼材の最大の輸入仕入先は韓国で1995年には前年を10.7%上回る293万tが輸入された。これに次ぐのは中国、台湾、ブラジルの順で、特に中国からの輸入は前年の13万tから77万tへと激増した。また、注目されるのは、1994年には僅か2万tに過ぎなかった米国からの輸入が激増したことで、1995年には24万tと前年の10倍強となった。

鉄鋼業の従業員数は、1995年12月末で255,875人と前年

271,905人に対し5.9%の減少となった。業態別には製鉄業、製鋼及び圧延業・鋼材製造業、鋳鍛鋼・鋳物・その他鉄鋼業ともに減少している。新規採用については、鉄鋼43社((社)日本鉄鋼連盟会員会社)の1995年の採用者数は2,577人で前年比48.8%の減となっている。これらは鉄鋼各社が出向増や早期退職者優遇制度の活用を含めて要員の合理化に取り組んできた結果である。

鉄鋼の主要原料である鉄鉱石、原料炭の1995年の消費量は、年前半の景気の緩やかな回復に伴い増加となった鉄鋼生産を反映して鉄鉱石、原料炭ともに増加した。

鉄鉱石類消費量は1億1,048万乾量tで前年比175万t、1.6%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1億1,314万乾量t、前年比426万t、3.9%の増加となった。輸入ソース別シェアはオーストラリア49.0%、ブラジル22.7%、インド15.0%で、これら三大ソースで全体の86.7%を占めている。

原料炭消費量は6,072万tで前年比134万t、2.3%の増加となり、輸入量も6,202万tで、前年比275万t、4.6%増加した。輸入ソース別シェアは、オーストラリア47.5%、カナダ23.9%、米国12.2%と、これら三大ソースで全体の83.6%を占めている。このうち非微粘炭の輸入量は、コークス配合用の増加等により、前年比12.7%増の2,529万tとなり、全輸入量の40.8%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3.2%増の3,142万t、転炉用が同6.3%減の556万t、鋳物・再生鋼材用が同0.9%増の675万tとなり、その他消費も含め全体で4,381万tと前年比1.6%の増加となった。1994年に、年央以降の鉄鋼増産により急増した転炉での消費量は、1995年に入って徐々に減少、年後半の転炉鋼減産もあり1993年に近いレベルとなった。一方、供給量は、自家発生が前年比0.7%減の1,239万t、国内市中スクラップの購入が同4.1%増の3,173万t、輸入が同2.0%増の97万tとなり、合計で4,509万t、前年比2.7%の増加となった。また、1992年から出超に転じた鉄スクラップの輸出入は、前年に引き続き輸入量が増加、輸出量は91万tと同6万t減少し、輸入増・輸出減の傾向は変わらず、1995年は入超に再び戻った。

1996年上期の情勢

1996年上期の国内需要は、景気の緩やかな回復が続く中、建設部門が前年秋の景気対策により土木を中心に堅調に推移したものの、自動車をはじめとした製造業が低迷、更に鉄鋼輸出の減少や過剰在庫の解消に向けた在庫調整の長期化等も重なった結果、生産は低調に推移した。

1996年上期の銑鉄生産は、3,668万tと前年同期比65万t、1.7%の減少となった。粗鋼生産は4,877万tと同320万t、6.2%減となり、1994年上期の4,705万t以来2年ぶりの低水準となった。

炉別にみると、転炉鋼が3,228万tと前年同期比276万t、7.9%減、電炉鋼も1,649万tと同44万t、2.6%減となった。この結果、全粗鋼に占める電炉鋼構成比は33.8%と前年同期の32.6%から1.2ポイント上昇した。また、鋼種別では、普通鋼が3,997万tと前年同期比198万t、4.7%減、特殊鋼は881万tと同122万t、12.2%減となり、ともに4期ぶりに普通鋼は4,000万t割れ、特殊鋼も900万t割れとなった。

普通鋼熱間圧延鋼材（一般）の生産は、内需では建設関係が堅調に推移したものの製造業が低迷するとともに、輸出向けも減少したこと等から、3,860万tと前年同期比183万t、4.5%減少し、2期連続の4,000万t割れとなった。品種別では、条鋼類が1,424万t、前年同期比1.6%増、鋼板類が2,382万t、同7.5%減と鋼板類の減少が目立った。特殊鋼熱間圧延鋼材の生産は、内需における製造業の低迷等から減少し、740万tと前年同期比88万t、10.6%の大幅な減少となった。

鉄鋼貿易を前年同期比でみると、輸出において普通鋼鋼材、特殊鋼鋼材、二次製品、半製品等が減少となったのに対し、銑鉄は前年同期に激減した反動から大幅増になり、輸入については特殊鋼鋼材が増加したものの、過半を占める普通鋼鋼材、銑鉄、鋼塊・半製品が前年を大幅に下回り、フェロアロイも減少したため、全体として大幅な減少となった。

すなわち、1996年上期の鉄鋼輸出は、1,036万tと10期連続の1,000万t超となったが、前年同期比では5.0%の減少となった。仕向先別にみると、韓国が銑鉄、鋼塊・半製品の大幅増加に加え、普通鋼鋼材も2桁台の増加となったことから、前年同期を40.3%上回る174万tと、中国に代わり最大の仕向国となった。反面、中国は冷延コイル、亜鉛めっき鋼板等の増加があったものの全般的に低調で、142万tと同19.4%の減少となった。また、タイ（113万t、6.7%減）が5期ぶりに減少するとともに、台湾（106万t、25.3%減）、米国（99万t、22.3%減）も前年水準を下回った。

一方、1996年上期の全鉄鋼輸入量も441万tと前年同期比31.1%の大幅減少となった。普通鋼鋼材を仕入国別にみると、最大の仕入国である韓国が133万t、12.6%減と2期連続の減少となったのに対し、台湾（34万t、11.6%増）は厚中板の倍増等により3期ぶりの増加、ブラジル（19万t、31.1%増）も広幅帯鋼の倍増により5期ぶりの増加となった。このほか、昨年、厚板、広幅帯鋼等を中心に急増した中国は12万tと74.6%の大幅減となった。

鉄鋼業の従業員数は、1996年6月末で249,629人と前年に引き続き年率5%台の減少を示しており、リストラによる要員削減計画が着実に実行されていることが伺われる。

1996年上期の原料動向は以下のとおりである。

鉄鉱石類消費量は5,450万乾量tで前年同期比62万t、1.1%減少し、輸入量も5,542万乾量tと同119万t、2.1%の減少となった。

原料炭消費量は3,021万tで、前年同期比2万t増加したのに対し、輸入量は3,002万tと、同100万t、3.2%減少した。このうち非微粘結炭の輸入量は、PCI用の増加及びブークス配合用の増加等により、前年同期比7.1%増の1,332万tとなり、全輸入量の44.4%を占めた。

鉄スクラップ消費量については、電気炉用が前年同期比1.9%減の1,587万t、転炉用が同17.7%減の247万t、鋳物・再生鋼材用が同4.6%減の335万tとなり、その他消費も含め全体で2,174万tと同4.4%、99万tの減少となった。一方、供給量は、自家発生が前年同期比0.5%減の620万t、国内市中スクラップの購入が同0.7%減の1,622万t（見込み）、輸入が同81.2%減の13万tとなり、合計で2,255万tと同3.0%、70万tの減少となった。また、1995年に入超に戻った鉄スクラップの輸出入は、1996年上期の輸出量が96万tと前年同期比66万t増加し、83万tの出超に再び転じた。

鉄鋼生産に関わる諸情勢が以上のような動きのなかにあつて、鉄鋼業（鉄素形材製造業を除く）の1996年度設備投資計画は5,315億円と1995年度見込みに比べ1,967億円、27.0%の大幅な落ち込みとなっている。これは、これまで投資を下支えしてきた高炉各社における生産関連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したことに加え、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中で、投資案件を厳選して設備投資全体を圧縮する傾向にあるためとみられる。

設備投資の内容をみると、生産関連投資がより一層厳しく選別されてその比重を下けているのに対し、合理化・省力化投資は逆にその比重を増している。その他の分野では、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。

なお、今後についても、鋼材需要の先行き不透明感、収益回復を優先する企業の方針、今世紀中は投資額の過半を占める高炉業において新規の大型案件が予定されていないこと等から、引き続き投資規模は圧縮される傾向にあり、当分の間は低水準の投資が続くものと思われる。

2 技術と設備

2.1 製鉄

1996年上期の銑鉄生産量は、前年上期比（1～6月）1.7%減と若干減少した。平均出銑比も前年の1.93t/m³・日に対して、1996年上期1.88t/m³・日と低下している。

最近の1年間に火入れされた高炉は、(株)神戸製鋼所加古川3高炉（1996年4月火入れ、内容積：4,500m³）のみであり、吹止めされたのは同加古川2高炉（16年2ヶ月間稼働、内容積：3,850m³）の1基のみであった。したがって、1996年10月現在の

表2 高炉作業成績

項目	年	1993年 平均	1994年 平均	1995年 平均	1996年 1月	2月	3月	4月	5月	6月	1996年 1-6月平均	7月	8月	9月
鉱石比(kg/t)		1,627	1,628	1,629	1,624	1,624	1,630	1,633	1,631	1,632	1,629	1,634	1,628	1,630
コークス比(平均)(kg/t)		427	412	412	399	397	399	410	409	405	403	410	407	403
出鉄比(t/m ³ ・日)		1.90	1.93	1.93	1.91	1.84	1.85	1.88	1.89	1.89	1.88	1.90	1.88	1.88
焼結鉱・ペレット使用率(%)		83.7	83.3	81.9	82.8	82.9	83.2	83.1	83.0	82.4	82.9	82.5	82.3	82.3
燃料比(kg/t)		514	512	515	518	519	516	522	518	521	519	527	524	522
微粉炭比(kg/t)		84.5	97.9	99.1	115.3	118.2	113.8	108.7	105.5	113.5	112.4	115.0	114.6	115.8

出所：日本鉄鋼連盟資料

稼働高炉数は、30基で前年と同数である。

表2に高炉作業成績を示す。特徴的には、微粉炭吹き込み比の増加であり、1996年上期平均は112kg/tで前年平均比13%増となった。また、(株)神戸製鋼所神戸3高炉は、震災復旧後、高微粉炭比・低コークス比操業を継続しており、1995年10月～1996年3月の半年平均でコークス比 294kg/tの国内記録を達成した。

高炉炉寿命については、川崎製鉄(株)千葉6高炉(内容積：4,500m³)が稼働後20年目に入っており、炉寿命の日本記録を更新している。新日本製鉄(株)君津4高炉では、シャフト部の冷却盤をステーブに変更する設備改造を行い、安定操業による炉寿命延長を図った。

一方、焼結鉱製造プロセスでは、NKK福山が4焼結機無人操業技術を開発し、世界で初めて実用化した。また、同所では高炉でのスラグ量低減を目的に、焼結鉱のシリカ成分低減の技術開発を行い、5焼結機(H P S)で国内初のシリカ成分3.9%を達成した。住友金属工業(株)は生産性向上とシリカレベル低下を目的に原料の分割造粒技術を開発し、和歌山製鉄所で実用化した。

コークス部門においては、川崎製鉄(株)水島で、石炭の全量調湿処理と炉体補修技術の開発により、コークス炉の乾留熱量原単位が1995年度の年間平均値2.09GJ/tの国内最小記録を達成し、自己記録を更新した。新日本製鉄(株)大分では、石炭水分を2%まで低減し、生産性、コークス強度、省エネルギーを大幅に改善できる微粉塊成炭配合技術で高い評価を得た。また、NKKはコークス炉移動機の無人運転システムを開発し、福山で無人操業を開始し、世界最速の窯出しサイクルを達成した。

さらに、環境関係の技術開発としては、NKKが、廃プラスチックの有効利用を目的に、高炉へ吹き込む技術の開発を進めており、京浜1高炉において1996年10月に実用化した。都市共生型製鉄所を目指した再資源化技術として注目される。

共同国家プロジェクトとしては、高炉法に代わる次世代製鉄プロセスである(社)日本鉄鋼連盟の溶融還元製鉄法(DIOS法)が、8年間の試験計画を終了した。今後、実用化に向けて業界内で検討を進める。一方、新コークスプロセスの開発(SCOPE21)が、石炭資源の有効利用、高生産性、環境調和を目的に、パイロットプラント試験による、6年間の実用化研

究に入った。2000年以降にコークス炉のリプレース時期を控え、成果が期待される。

2.2 製鋼

製鋼作業の状況は、表3の転炉作業成績および表4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が増加基調にある。一方転炉では大きな変化は見られない。

転炉における複合吹錬転炉割合は約86%(総基数69基中59基が複合吹錬転炉；鉄鋼統計月報による)であり高い水準で推移している。

二次精錬処理比率も表5に示すように、高い水準で推移している。

圧延用鋼塊に占める連铸鋼片の比率は、図1に示すように、1995年度は、97.1%と1994年度より若干高くなっている。鋼種別では、普通鋼が99.3%、特殊鋼が87.2%であり特殊鋼における増加が目立つ。

鉄鋼業を取り巻く経済環境が厳しい中であって、主原料事情の変化、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とも見られた。

連铸分野での新設備としては、住友金属工業(株)和歌山の新ラウンドCC(新シームレスミルの前工程)、トーア・スチール(株)鹿島のブルームCCとビレットCCさらには実証プラントでの鑄造試験を終え、現在建設中の新日本製鉄(株)光の双ドラム式ストリップ連铸がある。

連铸技術としては、電磁力利用による品質向上を目的とした新日本製鉄(株)名古屋のスラブ鑄型内電磁ブレーキ技術、および同君津のスラブ鑄型内電磁攪拌技術、さらには川崎製鉄(株)千葉の遠心分離タンディッシュ設備、住友金属工業(株)総合技術研究所で開発された薄スラブ未凝固圧下鑄造技術等が見られる。

(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2年目に入り、軟接触鑄造技術や鑄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。

一方、電気炉においては、電力・電極原単位の低減およびブリッカー対策、自動化等を目的とした2炉1電源方式直流電気炉が2基〔トーア・スチール(株)鹿島150t炉、住友金属工業(株)関西40t炉〕、およびシャフト型予熱装置付き直流電気炉が2基〔大和工業(株)130t炉、東京製鐵(株)宇都宮140t炉〕導入された。

JRCMの新製鋼プロセス・フォーラムが推進している環境調和型次世代製鋼技術の研究は、8年計画の前半にあたる総合基礎研究調査およびトランプ・エレメント除去技術研究がほぼ終了し、1996年度から総合システム研究が開始されている。

さらに、製鋼プロセス等で発生する廃棄物の利用技術開発

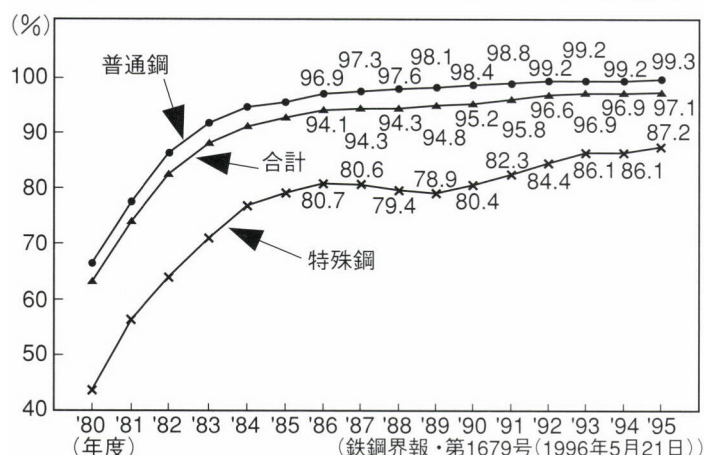


図1 連続比の推移

も多く見られ、新日本製鐵(株)君津のダスト、スラグ、廃棄耐火物の再利用技術、川崎製鐵(株)水島の転炉スラグの全量焼結リサイクル、愛知製鋼(株)知多の電気炉ダストの真空還元技術によるリサイクル等が挙げられる。

2.3 厚板・条鋼・鋼管

条鋼分野で工場の新設が見られると共に、鋼管でのレーザー溶接導入など新プロセスが指向されてきた。また、従来と同様に高品質化、合理化、省力化を目的とした設備投資、技術開発が進んでいる。

厚板関係では、住友金属工業(株)鹿島にて粗ミルメインモーターがパワーアップ更新され新たにGTOインバーター制御が採用された。形状に関しては、(株)神戸製鋼所加古川にて水量分布付きロール冷却により、ワークロール(WR)のサーマルプロフィールを変化させ、圧延時のWRクラウン量を適正化する形状制御技術が導入されたほか、川崎製鐵(株)水島ではシャライン検査にレーザー機器を応用した平面形状計が開発された。また、NKK京浜ではチャープ波パルス圧縮技術を適用し、探傷のSN比を従来の3～10倍に向上させた、次世代超音波探傷技術が開発導入された。この技術は、今後鋼管分野などにも波及し高精度探傷の適用拡大が期待されている。

鋼管関係では、NKK京浜で世界で初めて25kWの高出力レーザー溶接法が大径電縫管ラインへ導入された。また、住友金

表3 転炉作業成績

項目	年	1993年平均	1994年平均	1995年平均	1996年1月	2月	3月	4月	5月	6月	1996年1-6月平均	7月	8月	9月
製鋼時間当りの生産高指数*		104	107	110	109	108	108	114	108	108	109	110	110	107
1回当りの製鋼時間指数*		98	98	98	98	100	98	95	98	98	98	98	98	100
銑鉄配合率(%)		93.4	92.3	93.0	94.1	93.6	93.6	93.1	92.7	93.2	93.4	93.1	92.9	93.3
溶鉄配合率(%)		91.6	91.2	91.5	93.5	93.0	92.9	92.3	91.8	92.6	92.7	92.7	92.4	93.0
酸素原単位(Nm ³ /t)		55.8	56.8	57.9	59.2	59.0	58.6	57.8	59.6	60.0	59.0	58.1	58.8	59.2
連続比(%)		98.0	98.1	98.2	98.8	98.7	98.7	98.9	99.1	99.1	98.9	98.9	99.0	98.9
真空処理比率(%)		58.4	60.3	60.4	61.4	61.9	61.8	60.0	61.1	61.0	61.2	61.9	62.0	62.2

*1990～1992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 電気炉作業成績

項目	年	1993年平均	1994年平均	1995年平均	1996年1月	2月	3月	4月	5月	6月	1996年1-6月平均	7月	8月	9月
製鋼時間当りの生産高指数*		108	112	115	114	119	120	121	126	124	121	119	120	124
良塊当りの電気消費量(kWh/t)		399.8	394.8	395.6	394.6	394.8	397.0	374.5	396.6	397.4	392.5	402.2	402.6	399.6
良塊当りの酸素消費量(Nm ³ /t)		25.4	24.6	23.9	24.1	23.9	23.9	23.9	24.6	23.7	24.0	23.5	23.6	24.2
良塊歩留り(%)		91.6	91.7	91.5	91.6	91.6	91.3	91.6	91.5	91.3	91.5	91.2	91.2	91.3
良塊連続比(%)		87.9	88.3	88.2	89.0	88.8	88.3	88.6	88.8	88.3	88.6	88.4	87.9	88.4
合金鋼比率(%)		30.6	32.1	33.2	30.5	32.4	32.4	31.9	30.0	32.7	31.7	33.1	30.3	32.9

*1990～1992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5 転炉・電気炉鋼の二次精錬処理比率の推移 (単位：%)

項目	年	1992年	1993年	1994年	1995年
転炉鋼	二次精錬処理比率	80.3	79.4	80.1	80.3
	内真空処理比率	61.3	58.4	60.3	60.4
電気炉鋼	二次精錬処理比率	72.0	85.2	85.3	85.6

出所：日本鉄鋼連盟資料

属工業(株)和歌山では25kW高出力レーザ溶接と高周波予熱の併用で世界で初めて中・大径レーザ溶接管量産化に成功した。いずれもレーザ溶接を適用した新たな溶接管製造プロセスの展開であり、高品質・高生産性が期待される。NKK京浜ではストレッチレデュサの増強、一括組替設備の導入によりノンストップ鍛接管ミルが実現した。溶接管の外径チャンスフリー造管設備として日本金属工業(株)衣浦でFFミルの導入がなされた。住友金属工業(株)関西では、1分間に160回的高速鍛造が可能な油圧とメカニカルを組み合わせた、1,500 t大型高速鍛造機が導入され、少量多品種のビレット生産に適用されている。また、住友金属工業(株)和歌山では、最新NCネジ切り機導入、ネジ切り付帯作業の完全自動化、梱包ラインの集約などで、小径製品工場における特殊品ネジ製造体制が確立された。銅管の利用分野では、新日本製鐵(株)君津にてロボット適用技術の開発・確立と大電流高速溶接の適用により、銅管矢板自動溶接ロボットが実用化し、大幅な省力化及び生産能力増強が達成された。また、川崎製鉄(株)では銅管の内外面を同時に溶接する円周自動溶接機が開発され、パイプライン建設工事の溶接時間が従来の3分の1となった。

形鋼関係では、トーア・スチール(株)鹿島に全自動組替システムを配した連続圧延ラインや、多品種生産に即応するクイックチェンジシステムなどを特徴とする大形、中小形工場が新設された。川崎製鉄(株)水島では2次元レーザ距離計を複数台組み合わせて、粗ミルで圧延の初期から完了までの全パス全長に亘る断面形状をオンラインで連続測定できる形鋼熱間形状計が開発された。

棒鋼・線材関係では、トピー工業(株)豊橋で日本で初めて細物サイズから太物サイズまでを1ラインで対応できる、ブロックミル仕上げとH-V仕上げの共用ラインを採用した棒鋼工場が新設された。この工場では大型炉に日本で初めて左右交互切替燃焼する「LS軽油型リジェネレーティブバーナー炉」が採用されている。また、いずれも新日本製鐵(株)光にて、ステンレス鋼丸鋳片をウォーキングビーム式加熱炉で加熱後、インダクションヒータで再加熱することにより、高品質化を実現する鋳片の複合加熱方式が開発されると共に、遊星型傾斜3ロール圧延機を設置し最適減面率を与え、粗から仕上げまでの孔型全てを楕円形と丸形の組み合わせで圧延することにより、高表面品質化を実現する傾斜ステンレス線材製造技術が開発された。大同特殊鋼(株)星崎では従来サイジング、軟化焼鈍、直線化等複数工程で行っていた難加工線材のシングル工程化の可能な、温間コンバインド技術が開発された。

2.4 薄鋼板（表面処理鋼板を含む）

熱延工程は川崎製鉄(株)千葉の3HOTにおいてエンドレスホ

ットストリップ圧延設備が稼働開始し、世界で初めてシートバー接合による連続仕上げ圧延の量産化を実現した。住友金属工業(株)和歌山では生産効率向上を目的とした熱延ミリリフレッシュの一環として粗ミルモーターのパワーアップが完了した。また、クラウン制御として新日本製鐵(株)名古屋及び君津では仕上げ前段の2スタンドをペアクロス化した。(株)神戸製鋼所加古川ではワークロールを片クラウン形状とすることでワークロールシフトミルでの磨耗、サーマルクラウン分散とクラウン制御能力の両立を可能とした。

冷延工程は住友金属工業(株)鹿島にてNo.2連続焼鈍設備の能力を月産5万tから8万tに増強し、連続焼鈍比率を従来の55%から90%へ引き上げた。また、大同特殊鋼(株)知多では品質保証精度及び生産性の向上を目的として従来手作業で行われていた冷延帯鋼の平坦度判定が自動化された。

表面処理鋼板関係ではいずれも(株)神戸製鋼所加古川にて、脱脂能力強化による表面外観品質向上を目的としてCGL入側洗浄に高圧スプレーが増設されたと共に、めっき浴中のボトムドロスが品質に及ぼす影響を解析し、実機でのドロス管理を実施する技術が開発された。イゲタ鋼板(株)堺では、ゼロボックスを縦長にし鋼板と薬液ミストとの接触時間を長くし、ゼロスパンゲル化を促進する装置が開発された。また、川崎製鉄(株)千葉では溶融亜鉛に鉄が拡散する際の放射率変化を利用し、合金化度を推定し、その値をフィードバック制御して合金化度を制御するシステムが開発された。

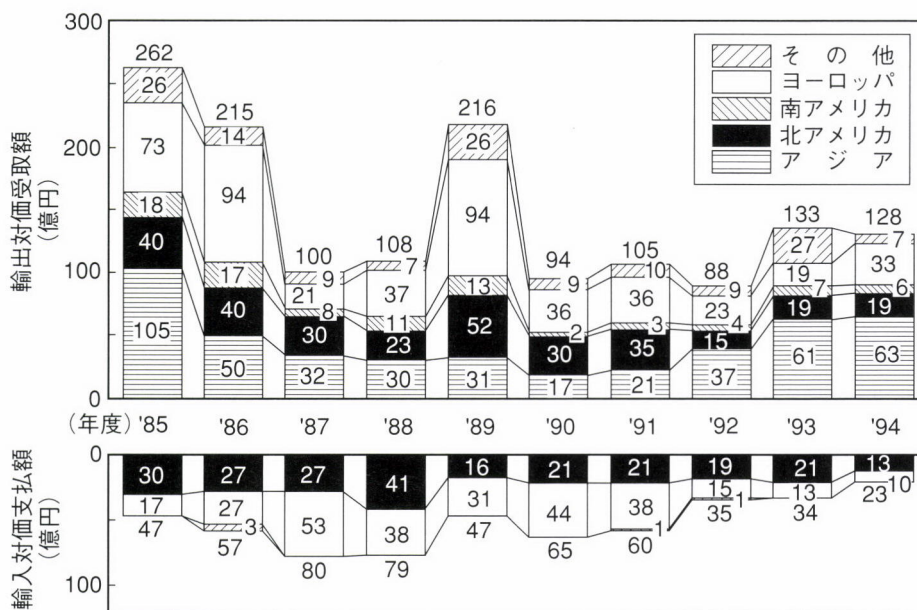
2.5 試験・分析、設備保全、その他

試験・分析関連では、数多くの自動化技術が開発された。新日本製鐵(株)では、八幡および名古屋の転炉炉前分析作業のFAシステム化、名古屋の薄板製品機械試験作業のFAシステム化、釜石の13工程のハンドリング作業をロボットなどの機械化およびシステム導入で無人化した顕微鏡検査用サンプル作製全自動システムが開発された。NKKでは自動超音波ビッカース硬さ測定システムの開発が行われた。

また新分析法としては、NKK京浜および福山でのレーザを用いた発光分析装置による鉄鋼製造プロセスでの鋼中成分オンサイト分析技術、川崎製鉄(株)のSEM反射電子モードによる元素分布の測定技術等が開発された。

設備保全に関する技術開発も活発に行われており、川崎製鉄(株)の設備情報検索機能等を有する設備保全支援システム、NKKが(株)富士セラミックスと共同開発した回転装置等を使用する診断機能内蔵型振動アラームセンサー等が導入された。

物流関係では、物流費削減および客先への的確な納期対応を目的とした全天候パースが新日本製鐵(株)君津および名古屋に導入された。



[総務庁統計局：科学技術研究調査報告]

図2 鉄鋼業の技術貿易収支

表6 技術輸出状況 (期間：1995年8月1日～1996年8月31日) (件)

技術分野		地域	アジア	北アメリカ	南アメリカ	ヨーロッパ	オセアニア	アフリカ	計
A. 原料・製鉄	1. 原料処理				1	1			2
	2. 高炉	1	1			2	1		5
B. 製鋼	1. 転炉		1			1			2
	2. 電炉			1	2				3
	3. 炉外精錬	2			3				5
	4. 連铸・造塊	1	3	2	2	4	1	13	
C. 加工・処理	1. 条鋼・線材	2	4	1	1	1			9
	2. 鋼管	1	1						2
	3. 厚板	1						1	2
	4. 薄板	3	1			1	1	1	7
	5. 表面処理	1			1	3	1		6
	6. 熱処理	1							1
	7. 成形加工			7		1			8
D. 操業全般(研究を含む)									0
E. 製鉄所全般	1. フィージビリティスタディ	1				2			3
	2. 総合的操業指導			1		2			3
	3. 整備保全				1	1			2
	4. その他	1			1				2
合 計		15	20	12	17	8	3		75

調査範囲：協会維持会員会社40社

表7 技術輸入状況 (期間：1995年8月1日～1996年8月31日) (件)

技術分野	地域	北アメリカ	計
A. 原料・製鉄			0
B. 製鋼	1. 付帯設備	1	1
C. 加工・処理	1. 成形加工	1	1
D. 操業全般(研究を含む)			0
E. 製鉄所全般			0
合 計		2	2

調査範囲：協会維持会員会社40社



技術輸出・技術輸入

図2に鉄鋼業界の海外に対する技術貿易上の収支を日本政府統計(科学技術研究調査報告)により示す。1994年度の輸出入

対価受領額の超過差は、前年比6%増の105億円となった。

最近1年間における技術貿易の内容について本会維持会員会社を対象に調査した結果を、表6および表7に示す。技術輸出は、75件と前年に比べて、57件減少した。その内訳をみると、北アメリカ、ヨーロッパの先進国向けは37件と前年並みであったが、アジアが15件、オセアニアが8件と、この地域で57件もの大幅減少となった。

一方、技術輸入は2件で、昨年度3件、一昨年度6件とこの3年間低いレベルで推移している。

表 8 鉄鋼業の研究費支出

年度	社内使用研究費支出額(100万円) A	研究本務者数(人) B	売上高(億円) C	従業員数(人) D	A/C (%)	A/B (万円/人)	従業員1万人当たりの 研究本務者数(人)
1990	303,805	5,946	130,344	240,632	2.3	4,916	247
1991	360,054	6,180	126,983	249,174	2.8	5,600	248
1992	311,485	6,429	120,498	243,951	2.6	4,748	264
1993	286,114	6,561	105,329	250,399	2.7	4,528	262
1994	237,707	6,319	108,350	230,063	2.2	3,901	275
1995	—	6,093	—	227,884	—	—	267

出所：総理府統計局：平成7年 科学技術研究調査報告

4 研究費支出

鉄鋼各社の研究開発は、以降に示す数値からうかがわれるように、ここ数年の厳しい状況を持続している。

表8に総務庁の「平成7年 科学技術研究調査報告」の中の鉄鋼業に関する基本数値を示した。

本統計によれば、社内使用研究費支出額は、1994年度は、2,377.1億円で、前年度比16.9%の減少（1993年度は、2,861.1億円で、同8.1%の減少）と減少が拡大した。その売上高に対する割合は、1994年度2.2%（1993年度2.7%）と0.5ポイントのダウンを示した。研究本務者1人当たりの社内研究費（給与を含む）は3,901万円（1993年度4,528万円）と本指標を取り始めた1986年以来初めて3千万円台への下落を示した。

一方、従業員1万人当たりの研究本務者数は、1995年度267人と、前年度（275人）よりやや減少を示し、増減比率としても減少に転じた。これより従業員の減少よりも研究本務者の減少が加速したことが窺える。

これらのことから、研究投資については、さらに厳しい環境になっていることが窺われる。

1994年度の社外研究費支出は、69.1億円（1993年度77.9億円）で11.3%の減少を示した。社外支出の比率内訳は、国公立研究機関向け11.7%（同8.5%）、特殊法人向け4.5%（同6.1%）、民間向け81.0%（同78.7%）及び外国向け2.8%（同6.7%）と民間、国公立研究機関でそれぞれ約3ポイントの増加を示している。

5 日本鉄鋼協会における技術創出活動

1995年4月に発足した生産技術部門では、分野別部会、技術検討会、分野横断的技術検討部会活動を通じ、維持会員相互及び産学官の連携に基づき、革新的で効率的な技術創出及び課題抽出活動を行っている。改組から2年目を迎え、課題抽出、テーマ化、研究実行、成果評価に至る体系的な流れは、各部会活動に定着しつつあり、それぞれ確かな実効をあげている。

5.1 分野別部会

生産技術部門の支柱である分野別部会は、鉄鋼生産に関する技術交流を主体とし、現場技術水準の向上を図るとともに、

技術課題の抽出、研究実行を行っている。鉄鋼製造全般にわたる22の分野別部会が設置され、各々鉄鋼企業の技術者、研究者及び大学人から構成される委員会により運営される。各部会が個別に開催する春秋部会大会では、表9に示すような共通及び重点テーマ等を取り上げ、活発な議論を展開し、有意義な成果を得ている。1996年度の部会大会参加者数は3,300名に達している。

また、学会部門専門分野別部会との情報交流活動も活発に行われている。その一例として、制御技術部会は、学会部門計測・制御・システム工学部会と共催で定期的にシンポジウムを開催し、企業技術者、研究者及び大学人に大変好評を得ている。

その分野の技術課題を重点的に討議する技術検討会は、昨年の発足以来、技術創出を担う重要な場として、また産学の情報交流の場として、活発に活動している。1996年度は、新規に下記の14技術検討会が発足した。既存を含め、現在34技術検討会が活動中である。

- ・ 製鋼スラグ半減（製鋼部会）
- ・ 海外形鋼ミルの共同調査（大形部会）
- ・ 次世代形鋼（大形部会）
- ・ 棒鋼・線材マニュアル改訂（中小形部会）
- ・ 製鉄プロセスにおけるエクセルギー評価と有効利用の可能性研究（熱経済技術部会）
- ・ 耐火物のリサイクル（耐火物部会）
- ・ パソコンの鉄鋼プラント制御への適用調査（制御技術部会）
- ・ リアルタイム制御システム用ミドルウェアの現状と今後のあり方（制御技術部会）
- ・ 海外品の調達状況調査・評価（制御技術部会）
- ・ 汎用シーケンサー適用拡大（制御技術部会）
- ・ 制御システムの2000年問題調査（制御技術部会）
- ・ 製品輸送途上における品質管理の実体と今後のあり方（物流部会）
- ・ 熱間圧延設備の配管系の諸問題とその対策（設備技術部会）
- ・ 高炉設備の長寿命化（設備技術部会）

5.2 研究会

研究会は、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ている。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。現在活動中の研究会を表10に示す。4研究会は1996年度発足、10研究会は従前の継続である。

1996年度に終了する研究会及び活動成果について、以下に記す。

(1) 4流体の移動現象

高炉内への微粉炭多量吹き込みに伴う粉体の発生、移動、蓄積、液体・気体の流動と相互作用、炉心の加熱等高炉操業の基本に関わる現象のメカニズムを解明し、さらにはシミュレーションモデルを作成して、現象の相互作用、並びに高炉操業の性能評価を可能にするための多くの知見を得た。

(2) 鉄鋼の高強度化

鋼の高純度化や組織制御の原理方法に関する基礎知識・技術を結集し、鉄鋼材料の強度・靱性の極限を追求し、さらには実用鉄鋼材料の性質向上に活かす知見を得た。

(3) 高強度鋼の遅れ破壊

高強度鋼の対遅れ破壊向上の期待に対し、遅れ破壊感受性の定量的評価方法や簡易評価方法を確立し、さらには遅れ破壊を支配する因子や、遅れ破壊機構の解明を基礎的に行って、対水素脆化感受性に優れた高強度鋼材を開発するための指針を明らかにした。

(4) スクラップ起因不純物元素の鋼材への影響

Cu、Sn、As、Sb、Cr、Ni等の元素について、鋼材の熱間加工性等の製造性や機械的性質、冷間加工性等の製品特性への影響を基礎及び応用の両面から研究し、定量的に把握し、市中スクラップをより多く使用して鋼材製品を製造する際の指針を得た。

1996年度に新規発足した研究会の研究計画内容は、次の通りである。

(1) 新塊成鉱の基礎

従来にない塊成鉱、特に焼結鉱の組織と構造の形成、その特性の制御技術に関する研究・開発は重要であり、特に新たな視点に立った研究の基盤造りとシーズの発掘を目指す。

表9 分野別部会の1996年度活動状況

部会名	共通・重点テーマ・技術検討会報告等 (①:春期部会大会、②:秋期部会大会)
製鉄	①焼結工程における高生産・高歩留
コークス	②コークス工場の自動化技術の現状と今後の方向
製鋼	①小ロット対応製造技術 ②ホワイトの生産性向上
電気炉	①鉄バランスおよび歩留改善 ②間欠操業下での省エネ、コストダウン
特殊鋼	①製鋼工場の生産性向上 (100回記念大会) ②高級条鋼製造における最近の技術進歩—清浄化及び1ヒート圧延化—
厚板	①工場操業状況報告 ②スタッフグループ：寸法形状のばらつきと造り込み技術、作業長グループ：操業管理と労務管理 (圧延)
熱延鋼板	①品質と直行率 ②工場概況報告、技術検討会報告「まっすぐ圧延」
冷延	①ロール ②工場操業状況報告、事業所概況報告
表面処理鋼板	①ミニマイズド、合金化処理 ②工場操業状況報告
大形	①ロールの現状と今後の課題 ②生産性
中小形	①Aグループ：製造コスト低減、Bグループ：品質保証体制 ②ABグループ：工場操業状況報告
線材	①自由議題、工場操業報告 ②スタッフグループ：要員合理化、作業長グループ：作業長の業務と役割及び効率化
鋼管	①工場操業状況報告 ②技術検討会報告「溶接管」、「HLP」、「継目無鋼管」
圧延理論	①薄板・厚板・条鋼圧延・鋼管圧延・成形等及び関連基礎技術開発 ②薄板・厚板・条鋼圧延・鋼管圧延・成形等及び関連基礎技術開発
熱経済技術	①エネルギーの有効利用 ②技術検討会報告「鉄鋼プロセスにおける流動解析」
耐火物	①冷却関連特集 ②研究発表：基礎・試験評価、取鍋耐火物
制御技術	①技術検討会報告「大型主義の老朽更新」「フィールドバス標準化への期待と要望」、研究報告 ②技術検討会報告「海外品の調達状況調査・評価」、研究報告
品質管理	①(QAQC)PL対応とQAQC業務の課題 ②(NDI)薄板目視検査の自動化、定期実態調査報告 (機械試験)検査制度、自動化・能率化事例紹介、定例作業実績報告
物流	②技術検討会報告「製品輸送途上における品質管理の実体と今後の在り方」、事例発表
分析技術	①技術検討会報告、JE6分科会併催 ②技術検討会報告、JE6分科会併催
設備技術	①技術検討会報告「連鑄ロールの長寿命化—腐食・磨耗・亀裂抑止およびベアリング破損防止技術—」 ②技術検討会報告「熱間圧延設備の配管系の諸問題と対策」
情報管理	①情報共有化環境の整備状況と今後の情報サービスに関する事例発表

表10 研究会の活動状況

研究会名	所属部門	活動期間(年度)
鉄鋼スラグの基礎と応用	生産技術	1993～1997
新コークスプロセス工学	生産技術	1994～1997
耐火物の組織評価	生産技術	1994～1998
棒鋼・線材圧延3次元FEM解析システムの開発	生産技術	1995～1998
冷間圧延における焼き付き機構	生産技術	1995～1998
多変数制御系のオンライン調整方法	生産技術	1995～1998
超清浄鋼	学会	1995～1998
電磁ノーマルプロセッシング	学会	1995～1999
新塊成鉄の基礎	学会	1996～1999
技術系ヒューマンリソース	学会	1996～1999
再結晶・集合組織	学会	1994～1998
耐熱鋼・耐熱合金の高強度化	学会	1995～1999
計算機支援による組織制御	学会	1996～1999
有害試薬を用いない新高感度分析技術	学会	1996～1999

(2) 有害試薬を用いない新高感度分析技術

溶媒抽出法に利用可能な無害溶媒の探索研究、溶媒抽出法に代わるイオン交換分離法、共沈分離法、電解分離法、ガス分離法の開発等を行い、吸光光度法、原子吸光法、ICP発光分析法/質量分析法との組み合わせにより、Se、Sn、Pb、As、V、W等の新高感度分析法を創出することを目的とする。

(3) 計算機支援による組織制御

鋼中の炭窒化物、硫化物の固溶析出に関する計算予測手法の開発、鉄鋼の種々の物性値の推定手法の開発並びに拡散型相変態の動力学的の開発に関する研究を遂行する。さらにこの手法を工具鋼、耐熱鋼、ステンレス鋼等の高合金鋼へも適用し鉄鋼材料の組織制御法の新たな展開を図る。

(4) 技術系ヒューマンリソース

独創的・先端的な諸科学・技術創造のための経営資源、特に技術系ヒューマンリソースの確保と運用を目的とし、資源賦存状況、研究開発活動への運用状況、リソースマネジメントの実施状況等を、量的・質的・心理的側面から学際的に研究し、リソース活用の適正化条件を明らかにする。

5.3 技術検討部会

鉄鋼業の各分野にまたがる分野横断的、あるいは業際的技術課題に関する研究を行う技術検討部会を設置している。活動内容は、技術の方向と課題解決のための技術討議、調査である。委員会は、異業種の技術者、研究者、大学人により構成される。1テーマにつき、活動は3年以内としている。

表11 技術検討部会の活動状況

部会名	活動期間
自動車用材料技術検討部会	1992～1997年度
実用構造鋼の基礎特性技術検討部会	1994～1997年度

以上は、生産技術部門の具体的な技術創出活動である。鉄鋼生産技術に関する基礎的研究、次世代へ向けた新シーズ抽出の研究は、学会部門の専門分野別部会、及びその下部組織である各フォーラムで行っている。

5.4 課題抽出ワーキンググループ

1995年度から鉄鋼協会の「リストラ80」の新体制下で技術創出活動を展開してきた。さらに有効なテーマ提案を生むための環境整備が必要との認識から1996年度第1回技術企画小委員会において本小委員会の活動を補佐する目的で課題抽出ワーキンググループを設置した。メンバーは各社技術企画委員6名、シニアブレイン5名、派遣スタッフ4名の計15名である。

テーマの募集・評価については従来、日本鉄鋼連盟、日本鉄鋼協会が個別に実施していたため、各社に作業の重複感が認められた。これを改善するため、今年から、鉄鋼連盟・鉄鋼協会の統一募集フォーマットを作成し、テーマの募集と評価・フォローを共同で実施することになった。

7月末のテーマ募集の締め切りに対し、(1)鉄鋼協会ルートで28件(分野別部会：10、課題抽出WG：15、その他：3)および(2)鉄鋼連盟ルートで14件のテーマ提案があった。課題抽出WGおよび鉄連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については①新規研究会候補案件が7件、②新規技術検討会候補案件が5件などがあり、順次手続きを進めている。
- ・今回の募集テーマにはすぐに大規模共同研究に繋がるテーマは認められなかったが、将来大規模共同研究に繋がる可能性の大きいテーマは7件あった。

6 新製品

本協会維持会員会社各社が1995年8月以降に発表した新製品を表12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製鉄課(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12 新製品一覧

区分	会社名	製品名	概 説	発表時期
条 鋼	新日本製鐵	カラー重防食鋼矢板 カラーNS-PAC	長期耐候性に優れ、色彩変化が小さい鋼矢板で、景観性を配慮した9種類のカラーを準備	1995
		高強度鉄筋USD685	従来鉄筋の2倍の強度で同等の延性を併せ持つ耐震設計型高強度鉄筋	1996.9
	住友金属工業	耐遅れ破壊用鋼ADS-3	13T級の高強度域でも優れた耐遅れ破壊性を示す高張力ボルト用鋼	1996.4
		高耐久比高強度非調質鋼	高耐久比と被削性を兼ね備えた900～1,000N/mm ² 級高強度非調質鋼	1996.9
		経済型非磁性鉄筋 AMCR	TMCD活用により合金元素を削減した経済型非磁性鉄筋AMCR	1995.8
		経済型歯車用軟窒化用鋼 スミタフナイト	前熱処理省略が可能な高精度高強度歯車用軟窒化用鋼	1996.9
		SMJパイル	隣接建物と最大限に近接してビルの基礎工事が可能な新形状土留め鋼材	1995.10
		神戸製鋼所	10Tボルト用ボロン鋼	2次加工工程の簡略が可能で、かつ耐遅れ破壊特性に優れたボルト用ボロン鋼
	愛知製鋼	高強度コンロッド用鋼	疲労強度と座屈強度の向上により自動車用コンロッドを低コストで軽量化できる鋼	1996.4
	三菱製鋼室 蘭特殊鋼	冷間鍛造用中炭素鋼 LS35BC、LS43BC	高周波焼入を伴う冷間鍛造成形部品用で球状化焼鈍処理を施さずに成形することができる中炭素鋼	1995.10
冷間鍛造用クロム鋼 LSCR422H、LSCR420H、 LSCR415H		浸炭後の特性を維持するため焼入性を従来値としながら冷間成形性を改良したクロム鋼	1995.12	
耐ピッチング用浸炭鋼 HS822H		歯車として使用される際の滑りによる表面硬度の低下を防止し、耐ピッチング性を改善した浸炭鋼	1996.4	
厚 板	新日本製鐵	高アレスト鋼板 HIAREST	表層部に超微細粒組織を導入し、脆性亀裂伝播停止特性を飛躍的に高めた鋼材	1995.10
		液按混載LPG船タンク用 低温用鋼	HAZの組織改善技術を適用し、溶接継ぎ手部の靱性及び耐SCC特性を大幅に高めた鋼材	1996
		建築用780N/mm ² 鋼 BT-HT620	低降伏比を実現した溶接性に優れた建築用780Nクラス高強度鋼	1996
	NKK	NKハイテンU2、NKハイテンE2、 NKハイテンU2L	鋼構造物の溶接性向上を目的とした、溶接予熱不要で大入熱溶接性に優れた新60kg級高張力鋼	1996.9
	神戸製鋼所	建築構造用590N/mm ² 級 高張力鋼板	大入熱溶接継手特性に優れ、かつ予熱軽減が可能な低YR型高張力鋼板	1996.11
鋼 管	新日本製鐵	高耐食耐サワー13%Cr 油井用鋼管	Cu-Ni添加等により耐食性を改良し、従来二相鋼を使用した環境にも対応可能な油井管	1995.12
	住友金属工業	ボイラー用高強度高耐食ステンレス鋼管 SAVE25	高温での強度が極めて高く、かつ耐食性に優れた過熱器、再熱器用経済型ステンレス鋼管	1996.4
	川崎製鉄	ウェルダブル12%Cr KL-HP12CR	マルテンサイト系ステンレス鋼管の接続に際し、予熱後熱処理を必要としないで溶接可能な材料	1996.5
		地すべり抑止用鋼管杭Kパイル 高強度地すべり杭K-60	従来の地すべり抑止用鋼管杭に比べ強度アップ(60kg/mm ²)し、地すべり抑止工事費の削減がはかれる鋼管杭	1995.10
		地すべり抑止杭ねじ継手	溶接継手よりも現地施工性の優れたねじ継手で、特に敷合性、締付性を向上させた製品	1996.9
ステンレス鋼	新日本製鐵	耐応力腐食割れ性オーステナイト系ステンレス鋼 YUS110M	SUS304並の加工性を保持し中性塩化物環境における耐応力腐食割れ性を向上し、かつSUS316並の耐孔食性やすま腐食性を有するステンレス鋼	1996
		耐応力腐食割れ性に優れたオーステナイト系ステンレス鋼 YUS27AM	SUS304に比べて深絞り性、張り出し性に優れ、かつ応力腐食割れ性を向上したステンレス鋼	1996.6
	日新製鋼	フェライト系抗菌ステンレス鋼	17CrステンレスをベースにCuを多量に含有させ、優れた抗菌力を発揮するステンレス鋼	1996.4
	山陽特殊製鋼	オーステナイト系析出硬化型非磁性鋼 QSD15	SUS304以上の被削性と時効硬化硬さ45HRCが得られる非磁性ステンレス鋼	1996.4
		マルテンサイト系快削ステンレス鋼 QSF416LX	快削元素と組織の適切な制御により、広範囲の切削条件下で優れた被削性を示すステンレス鋼	1996.4
	日本金属工業	建材用Niクラッド・ステンレス鋼	耐候性に優れた堅固なNi酸化被膜を表面に施した、緑色を帯びた黒灰色の屋根用材料	1996.1

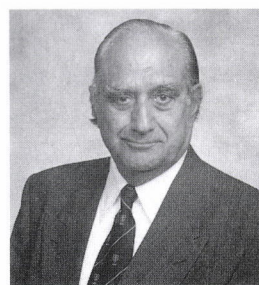
区分	会社名	製品名	概 説	発表時期
ステンレス鋼	日立金属	高強度・高耐食プロペラシャフト材 HRA50HT	SUS630(H1150)並みの強度を持ち、耐食性、耐孔食性が優れているプロペラシャフト材	1996.1
工具鋼	住友金属工業	プラスチック成形用鋼 SD10	被削性、溶接性および放電加工性に優れたプラスチック成形用鋼	1996.4
	大同特殊鋼	耐食プラスチック型用鋼 S-STAR	鏡面性、耐食性に優れ、熱処理変形の少ないHRC53程度の高硬度プラスチック型用鋼	1996.6
		高硬度・高靱性圧造工具材料 MH88	HRC64以上の高硬度でかつ高い靱性を保持することで圧造寿命を向上させた材料	1996.4
		高硬度・高靱性高速度鋼 MH69	HRC69の高硬度域でも高い靱性を有することで耐摩耗性と研削性を兼ねさせた高速度鋼	1996.1
	山陽特殊製鋼	析出硬化型熱間工具鋼 QXD7	析出硬化域の靱性が高く、耐亀裂進展性に優れた熱間加工用金型鋼	1996.4
	日立金属	高靱性焼結ハイス YAP100	粉末ハイスに適度の硬質粒子を分散させ、耐摩耗性と被研削性を兼ね備えた焼結ハイス	1996.1
		高性能ダイカスト型材 DAC55	靱性、高温強度と焼入性に優れたスクイズ、大物ダイカスト製品に適した高性能型材	1995.10
	日本製鋼所	高耐食性金型用鋼 NPD8	ESR法による高清浄度と高均質化による、耐食性、鏡面性、切削性に優れたプラスチック用金型材料	1996.6
	不二越	MDSシリーズ MDS1、MDS3、MDS7、MDS9	金型の割れ、欠け対策に適合させたマトリックスハイス系冷間型用鋼シリーズ	1996.6
その他特殊鋼	大同特殊鋼	アルミクラッド帯鋼	SUS板の両面をアルミの板で挟み冷延し、拡散処理により硬化層を生成するようにした新材質	1996.4
	日立金属	ハイス系熱延ワークロール HINEX72	絞り事故を起こし難く、かつ耐焼付性に富む。熱延でのオールハイス化も実現可能	1996.2
		ハイス系熱延ワークロール HINEX42	圧延荷重が在来ロール並みに低く、耐久性に優れるとともにスケール疵にも効果あり	1995.8
		熱延仕上ワークロール スーパーグレン	初径から廃却径まで均質肌。偏析による不定期ロール替えや製品品質にも効果あり	1995.8
	日本製鋼所	送電線用新高強度インバー線 ZMG87	低熱膨張でかつ鋼線と同等の強度を有し、送電線の送電量アップと低弛度化が可能	1996.1
		FGD装置用Ni基合金クラッド鋼板	湿式脱硫方式での高酸性塩化物環境に耐え得る広幅長尺ハステロイ系Ni基合金クラッド鋼板	1996.4
		Alloy904Lクラッド鋼管	N、Cr含有量制御による熱的安定性を改善した高強度、高靱性、高耐食性Alloy904Lクラッド鋼管	1996.7
表面処理	川崎製鉄	リバーウォールFR60	ロックウールボードを主とした軟式耐火被覆により、外壁1時間耐火性能を確性したホーロー鋼板パネル	1995.10
	NKK	NKKタイマックスGL	屋根、外壁等の建材向けのガルバリウム鋼板ベースの耐摩耗性、曲げ加工性に優れた鋼板	1995.12
	神戸製鋼所	耐摩耗KENI COATチタン	表面活性化とアンカー効果を強化した耐摩耗Ni-Pめっき処理チタン	1996.6
	日新製鋼	ガルバスター	耐食性、耐熱性に優れた55%アルミニウム-亜鉛溶融めっき鋼板	1995.11
その他	神戸製鋼所	KS100 700MPa級高加工性高強度チタン	同強度のTi合金に比べ加工性・コストに優れ、純Tiより美しい鏡面等の仕上げ可能な高強度チタン	1996.5
		生体適合性人工股関節	生体に有害なVを含まない、新設計になるチタン合金製人工股関節	1995.8
	愛知製鋼	トップライト用チタン部材	線膨張係数が、ガラスと同等でシール材をグリップできる形状のトップライト用チタン部材	1996.1
	日立金属	省資源型高性能エンジンバルブ材 HRV40	高性能エンジンバルブ用として開発した低コストのNi基超耐熱合金	1996.1
	日本製鋼所	12Crタービンケーシング材料	火力発電プラントの高温化に適合する高クリーブ破断強度を有する12Crケーシング材料	1996.5

名誉会員からのメッセージ

The Iron and Steel Institute of Japan - World Renowned Institute. A Tribute and a Challenge

Bal Raj NIJHAWAN

Ph.D.,B.Sc.,F.I.M.,F.N.A.,F.A.S.M.D,Sc.
SENIOR UNIDO CONSULTANT
EX-SENIOR INTER-REGIONAL ADVISOR



It is indeed a pleasure and a great privilege for me to send the following Message to ISIJ.

The Iron and Steel Institute of Japan is today acknowledged to be world renowned not only because of its substantive technical supremacy but also by virtue of its outstanding technical journals and publications in English and in Japanese as also for its convening International Conferences / Congress / Conventions on important technical subjects pertaining to the iron and steel industry on a global basis; the outstanding publications resulting therefrom are masterpieces.

In particular the monthly journals of the Iron and Steel Institute of Japan both in English and Japanese represent synergy of fundamental researches and basic metallurgical technologies of superlative academic value. The substantive technical depth of the papers published covers a wide spectrum of basic fundamental kinetics, researches and developments in multiple fields of ferrous metallurgy authored by not only leading Japanese scientists and metallurgists but also leading metallurgical scientists from many countries highly developed and others developing.

In this Message I would like to pay my tribute to the Iron and Steel Institute of Japan and its organizers for consistently upholding superbly high standard of technical exposition of fundamental and basic researches covering vast spectra of iron and steel production metallurgy and processing placing high premium on research ingenuity.

The Iron and Steel Institute of Japan has effectively succeeded in attracting and compiling the valuable results of iron and steel research projects on a global basis and presenting them to global reception centres and readers on an almost flawless pattern of high standard and efficiency. Likewise, the published Proceedings of International Conferences / Conventions / Congress organized by ISIJ condense the results of fundamental technologies and academic research papers on metallurgical reactions and

processing of iron and steel including their diverse raw materials and by products.

The differences between fundamental researches and applied industrial research and development work including the operations of pilot plants and demonstration prototype plants are perceptible; the former aim at the discovery of new knowledge and the latter encompass the translation of new knowledge into plans and design for a new product and associated relevant innovative technologies which find eventual applications on industrial scale. Thus successful adaptation of scientific discoveries into technical innovation and industrial implementation directly contribute to economic growth and market development.

It is in such multiple fields of applied research and development work and application of their results on industrial and commercial scale that the Iron and Steel Institute of Japan has to align and focus its efforts for the global innovators and metallurgists. The industrial scale developments and innovations for the Japanese iron and steel industry and indeed globally are the areas posing future challenges for the Iron and Steel Institute of Japan.

The restructuring of the global steel industry in the wake of restructured global boundaries, while driving annual global steel output up or down, will eventually lead to the re-orientation of the industry based on the elimination of obsolete capacity and still more obsolete technologies on the one hand to the industrial scale implementation of the latest technological innovations and processes on the other resulting in a market oriented balance of the steel industry.

In the global economy, where the only certainty is uncertainty, gathering and dissemination of technical information and data are key factors in maintaining a competitive edge and that exactly is where the Iron and Steel Institute of Japan has to play a dominant role not only nationally for Japan but also internationally for developing and developed countries. This is the CHALLENGE facing

the Iron and Steel Institute of Japan.

During the 20th century, industrial developments that have been evolved and applied globally on commercial scale in iron and steel making, secondary refining, degassing, ladle metallurgy, continuous casting to produce billets, beam blanks and thin slabs, automation and computerization, new steel alloys and superalloys particularly in the technology and production of low carbon, low residual and micro-alloyed HSLA and high strength steels, have resulted in specialized processes and products that required abnormal foresight at the end of the 19th century.

Likewise, equal foresight is required at the end of the 20th century since the challenges for the steel industry in the 21st century will be much more dramatic, intense and competitive and since the development of new, substitute and advanced materials and composites will threaten to overtake and supersede many industrial applications and products currently based on steel and its alloys. The automobile industry is one area where steel is currently facing acute competition such as depicted in the new German AUDI - A8 car which displays the advantages of the wholly aluminum car body. Thus the requirements for higher performance steels and lighter weight products epitomize the need for changed industrial outlook world wide.

The continual emergence of advanced materials such as composites and other hybrid materials, makes it difficult to predict what global steel output during the 21st century and what steel technologies will be dominant and what the product-mix will be. The intense competition from alternate and substitute materials not only provides formidable challenges but also offers high premium for technological ingenuity and initiative.

Thus the Iron and Steel Institute of Japan has to widen

and broaden its projections and expositions to cover the steel spectra not only for and in Japan but world wide. Japan is undoubtedly a leading steel producer. At the same time, however, current steel developments taking place world wide will have to be closely studied and followed such as in the case of mini steel mills, continuous thin slab casting and strip technologies and in the near-net shape casting, direct hot slab charging and subsequent in-tandem processing, accelerated cooling, direct quenching, pickling, annealing and coating etc. The Iron and Steel Institute of Japan will have to face the renewed challenge to highlight developments and strides in these and allied fields world wide and open its citadels to these epoch making technologies and breakthroughs. Comprehensive industrial review articles in these and allied arenas of topical developments, will need to be stepped up, enlarged and masterly presented for global study by the Iron and Steel Institute of Japan through its monthly journals and related publications. No doubt the ISIJ deals with and embraces these subjects in relation to their fundamental researches and theoretical basis. Now the ISIJ will need to expand its coverage and presentation to industrial scale developments and applications within and outside Japan through industrial review articles and this is the challenge before the world renowned Iron and Steel Institute of Japan and this is the Message I wish to convey to ISIJ to catalyze new industrial ventures based on synergies with fundamental researches and industrial development studies.

In conclusion, it is hoped that this Message will be taken in the constructive spirit in which it has been offered in all sincerity to uphold the Iron and Steel Institute of Japan as a paradigm of Japanese supremacy in the domains of the iron and steel industry.

(1996年9月20日受付)

名誉会員からのメッセージ

日本海軍の装甲鉄物語

NKK 社友

堀川一男



1 まえがき

装甲鉄は軍艦の重要部分を防禦する耐弾力の優れた銅板であって、明治政府は国防上兵器の独立を志して夙に試作に着手したが、本格的な取組みは明治36年の呉海軍工廠製銅部の発足以降である。日本海軍の装甲鉄は砲身、弾丸或いは魚雷気室用等の素材と違って同部の唯一の「最終製品」であり、極く一部を除きすべて同部で製造した。その製法は軍機扱いで担当者以外に漏らす事は厳禁され、しかも敗戦時関係書類の焼却を命ぜられて、折角長年月莫大な国費を投じ粒々辛苦蓄積した国家的遺産である高度の技術は闇に葬られた。しかし幸にも焼却を免れた貴重な記録が平成に入って収集され、未公表だった全貌が明らかになった。压力容器や大型軸類等の製造の参考になるほか、その技術水準が極めて急速に向上した経過から技術開発の有益な示唆を読取る事ができる。

2 海外における装甲鉄の歴史

2.1 19世紀の中葉迄

金属材料で軍艦を防禦したのは1537年にスペインで船の両舷に鉄鎖で鍊鉄板を吊したのが初めである。しかし帆船時代には航海能力が小さいので重い装甲鉄は着けられなくて普及せず、19世紀の後半に蒸気船が出現してから採用される様になった。余談だが、天正4(1576)年に敵味方夫々約300艘の安宅(アタケ)船の海戦で不覚をとった織田信長は、2年後に敵の火矢や砲烙(ホウロク 焼夷弾)を3~4mm厚の鍊鉄板の装甲で防ぐ巨大鉄船を造って毛利方の村上水軍を撃破したといわれている。スペインに遅れること僅か40年の事である。安土城や新銃撃戦法を考案した奇才信長の事だから彼の独創であろうが、ポルトガル人あたりから「情報」を得たのかも知れない。

2.2 鍊鉄甲鉄時代

1854年に仏人Dupuy de Lômeが厚さ110mmの鍊鉄板を浮砲台に取付けてクリミヤ戦争で著しい効果を挙げたので、フランスでは1859年に70~120mm厚の甲鉄帯を着けた軍艦を建造し、英国やイタリーもこれに倣った。弾丸威力強化に抗し

て甲鉄厚さが増し、英国のインフレキシブルでは遂に600mmにもなり、新材質による薄肉化が切望された。厚くなると材質が落ちるので、ドイツで2枚の板を重ねた「サンドイッチ」甲鉄を着想したが、耐弾力が合計厚さの75%に過ぎず失敗だった。フランスのシュナイダー社は平炉製炭素鋼を鍛造して鍊鉄の70%の厚さでも同等の耐弾力を示すと主張したが、弾丸の衝撃で割裂し易い欠点があった。鍊鉄は多数の層から成る繊維組織なので強靱で割裂しないと考えていた。そこでシェフィールドのウィルソンは鍊鉄の基鉄に0.8%Cの鋼を鑄込んだ後鍛着させる画期的な「複合甲鉄」を考案し、仏伊を除く各国が採用して日本の「富士」「八島」も18inの「複合甲鉄」を採用した。

2.3 鋼製甲鉄時代

硬い鉄の方が耐弾力が勝るがCは韌性を害するので仏国シュナイダー社は1886年頃Niを3.25%加えた「Ni鋼甲鉄」を開発し、アナポリスの試射で16%厚い「炭素鋼」或いは「複合甲鉄」に匹敵する事を証明した。ドイツは早速「複合甲鉄」から6.8%Ni鋼甲鉄に切替え、更にC量を0.12%から0.35%に高めて調質した。1891年米人ハーベイは表層を浸炭して焼入れし、Ni鋼甲鉄より1.4倍強い「HS(ハーベイ)甲鉄」を発明した。クルップ社は此の特許を買い、浸炭方法の改善、Ni-Cr鋼に変更、焼戻脆性の克服等により1895年遂に鍊鉄甲鉄の2倍の耐弾力がある「KC(クルップ、セメントット)甲鉄」を完成して全世界を風靡し、英国もKCの特許を逆輸入した。1897年に英国のテームス社で起工した「敷島」他2隻には9in「ハーベイ甲鉄」を採用したが、翌年ビッカース社で起工した「三笠」には新製品のKCが間に合い急遽切替えている。この事が日本海海戦の勝利に貢献した。後に英国のビッカース社はKCのC、Ni、Crを高める等により「VC(ビッカース、セメントット)甲鉄」を開発し、わが国は1911年に「金剛」の建造を同社に依頼した機会に此れを技術導入して、以降「陸奥」「長門」までの全艦に国産のVCを採用した。

3 日本海軍の装甲鉄製造技術の発展

3.1 明治30年末迄の輸入と試作の時代

用兵側からの装甲鉄の要請は明治18年の、水雷局と扶桑艦からの機関砲とノルデンフェルト砲の砲盾が最初だった。適材選定の為英、米、仏等から試験鉄を購入した折築地の兵器製造所で初めて厚さ上部0.9in、下部0.75inの甲鉄を試作した。しかし日露戦争までの日本海軍の装甲鉄はすべて輸入品だった。有事の際の入手杜絶を懸念して国産化を急いでいたが、当時わが国の重工業は未熟で製造出来る企業は無く、明治34年に発足した官営製鉄所も民需生産で余裕がなかった。そこで機密保持と巨大投資を勘案して海軍自営と決定、明治34年に6inKCの試作を経験した呉造兵廠の製鋼部門を拡充して「呉海軍工廠製鋼部」を明治36年に独立させ、装甲鉄を製造する事となった。「技術導入」はせず監督官からの情報等を参考にした自力開発であり、錬鉄時代を飛ばして直接最新の技術に挑んだので苦心した。試行錯誤を繰り返して遂に日露戦争の頃には輸入品並の物が製造可能になり、明治40年の「筑波」用8inKCから国産時代に入った。

3.2 列強と並んだ大正10年頃迄の時代

自力開発の国産KCの性能は製法がほぼ同じだったので欧米品に遜色は無かったが、ムラがあった。弾丸による割裂を避けようとして硬化層が薄くなったり反対に硬化層が厚過ぎて韌性が劣ったりした。焼戻脆性についての理解も充分でなかった。これらは研究を重ねて解決したが、明治44年正式にVC（ピッカース、セメント鉄）甲鉄の技術を導入した。化学成分がC 0.48、Ni 4、Cr 2（%）で強度、焼入性がKCより優れているので、後日大和級超厚物を造るに際して好都合だった。大正7～8年には「長門」「陸奥」の12in厚VC迄製造が可能となり、大正11年の軍縮会議でわが国に厳しい軍備制限が課せられた事は欧米の技術水準と並んでいた事を裏付けている。

3.3 列強に優越した昭和15年頃迄の時代

軍縮会議の結果甲鉄の製造高は大正9、10年の平均年産12,000tから11、12年の2,700tに暴落し、製鋼部の職工数も72,000人から2,400人へ急激に削減させられた。予算は激減し工場の火は消えたが、軍縮制限枠に危機感を懐く海軍は量を

質で補おうと各種の試験研究に励んだ。特記事項は昭和元年既に大和級の450mm（18in）厚の甲鉄も試作していた事である。又昭和11年には製鋼実験部も発足しており、こうして蓄積した技術が昭和12年に海軍無条約時代へ突入と同時に着手した巨艦の建造に生かされたのである。46cm砲の巨艦の甲鉄重量は21,266tで舷側甲鉄の厚さは410mm、砲盾前鉄は510mmであって従来の製法では性能も納期も間に合わないので大谷益次郎（元海軍技師）と、佐々川清（元海軍技術少将）の両氏は苦心の末画期的な「VH（表面焼入）甲鉄」を発明して解決した。浸炭をやめ甲鉄の裏面から熱電対を鉄厚の2/3迄挿入し、表面から加熱して変態点に達したら急冷する方法であるが、徹甲弾防禦用極厚甲鉄の製法としてはクルップ法を凌いでいる。大鋼塊熔製のため70t平炉4基と板厚中心部鍛錬用として世界最大の15,000tプレスを新設した。なお装甲鉄には用途により表面硬化しない「均質甲鉄」や「傾斜」或いは「蜂の巣」状のものもあったが、別の機会に譲りたい。

3.4 技術維持伝承の戦時中

「大和」の工事が終わった頃第二次大戦が勃発して次第に戦況が推移し、戦艦同志相搏つ機会が失われて徹甲弾防禦用極厚甲鉄は無用の長物と化した。装甲鉄研究の重点は資源節約の代用鋼や能率向上対策の塩基性炉による熔製等に移った。

4 あとがき

日本海軍の装甲鉄製造技術の歴史を顧みると、零に近い状態から僅か半世紀で世界の頂点を窮めたのに驚く。新技術を迅速に消化する日本人の特技にもよるが、全国民が海軍の強化を望んで巨費を支出し、海軍当局が技術を優先して人材を厚遇で集め教育と研究を重視したので、技術者達は誇りを持って職務に邁進できた。この素晴らしい職場環境が奇跡を齎らしたのだと思う。今わが国の鉄鋼業界は先行き不透明で混乱しているけれども鉄は未来を支える基幹素材であり21世紀も鉄の時代である。ただ鉄鋼業が繁栄を享受するには環境、エネルギー、コスト、高性能化等の難問を克服せねばならない。それには多方面の優秀な頭脳の結集と莫大な金と時間が要るから共同研究態勢が必須と思われるが、何よりも生き甲斐と魅力を感じる職場環境の醸成が成功の鍵となろう。

(1996年9月18日受付)



入門講座 制御技術編-1

制御技術の歴史と制御理論の発展

藤井克彦
Katsuhiko Fujii

(株)神戸製鋼所技術開発本部 常任顧問

Historical Prospects of Control Theory and Technology

1 はじめに

日本の鉄鋼業は数多くの技術革新を実現し世界のトップの座を維持している。これには自動化技術の果たした役割は極めて大きいものがある。しかし、今後の業界の趨勢は予測を許さないものがある。明日の鉄鋼業を発展に導くためには、より一層の生産性向上、高品質化の実現が必要である。そのためには鉄鋼業に従事する人々が広く自動化技術に対する認識と理解を持つことが大切であると考え。

そのために本稿では、鉄鋼業の立場に立って既に成果を上げている制御技術、今後役に立つ制御理論について、3回にわたって解説することとする。なお、紙面の都合で詳細に記述することができないので、基本的な考え方について触れることにする。詳細についてはそれぞれの参考文献を参照していただきたい。

1.1 鉄鋼業は制御技術の優等生、しかし・・・

日本の鉄鋼業では多数の先駆的制御技術者の努力によって生産工程の自動化、効率化に取り組んでこられた。1960年代にはいち早く計算機制御を導入し、品質・歩留まり向上や生産性向上に効果を発揮した。さらに、高品質、多品種少量生産のプロセスイノベーションを実現し業界のトップの地位を維持している。現在は転炉、圧延機など各プロセスでの自動化はほぼ完成し、多くの研究報告がある。これらの成果に裏打ちされ、他の製造業全体に対しても学協会などを通じて先導的役割を果たしている。

しかし、鉄鋼プロセスは巨大なシステムであり多変数相互干渉系で、かつ非線形性の強い系である。さらに、高温、悪環境の工程であるため計測できない状態量が多いなど、制御技術者が乗り越えなければならない峠が沢山ある。これに対しては熟練者による勘と経験に頼った制御が行われているのが現状である。また、各プロセスの自動化だけでなく生産ライン全体の最適化も実現しなければならない課題である。

1.2 計測・自動制御に関する専門学会の現状

計測自動制御学会、システム制御情報学会などわが国には

専門の学会があり、活発に活動している。'95年北海道で開催された計測自動制御学会学術講演会では、発表件数674件、参加者1200名と盛会であった。しかし、提案型の発表が多く、抽象的で現場のニーズに答えられるものは少ないように見受けられる。玉石混交で、本物と偽物（実用化できないもの）とを区別する必要がある。

日本鉄鋼協会では春秋の講演大会で制御技術の応用を主とした事例報告が行われている。実際の課題と、その解決法を知る場として大いに活用するべきであると考え。

1.3 制御技術、制御理論は実学である

制御技術、制御理論は現場のニーズから生じた学問である。理論体系が整備されることによって、広い分野への適用が可能となった。しかし、その後数理学者の参加によって理論は整備されたが、抽象化され難解な表現となった傾向がある。『最近の制御理論は役に立たない』と言う人がいる。これらの理論不信論者には次の2種類がある。理解する能力、努力不足による食わずぎらいの人と、十分理解した上で役に立つかどうか判断できる人である。利用する企業側では後者の意見を傾聴し、選別する必要がある。

また、最近のコンピュータの発展、普及にともなって、従来実用化には不向きと考えられていた手法も利用できる時代になりつつあることも注意する必要がある。

2 自動化技術の推移とコンピュータの発展、普及

将来制御技術を活用するためには、それらの技術が過去にどのような経過をたどって発展してきたかを知ることが有用である。図1に制御技術の変遷とコンピュータとの関係を示す。コンピュータの発展が制御技術の進歩に大きな役割を果たしていることが見られる。制御技術とコンピュータ技術とは二人三脚で発展してきたのである。

図をご覧になれば全体の流れがご理解いただけると思うが、一時期を画したと考えられている事項について簡単に説明する。

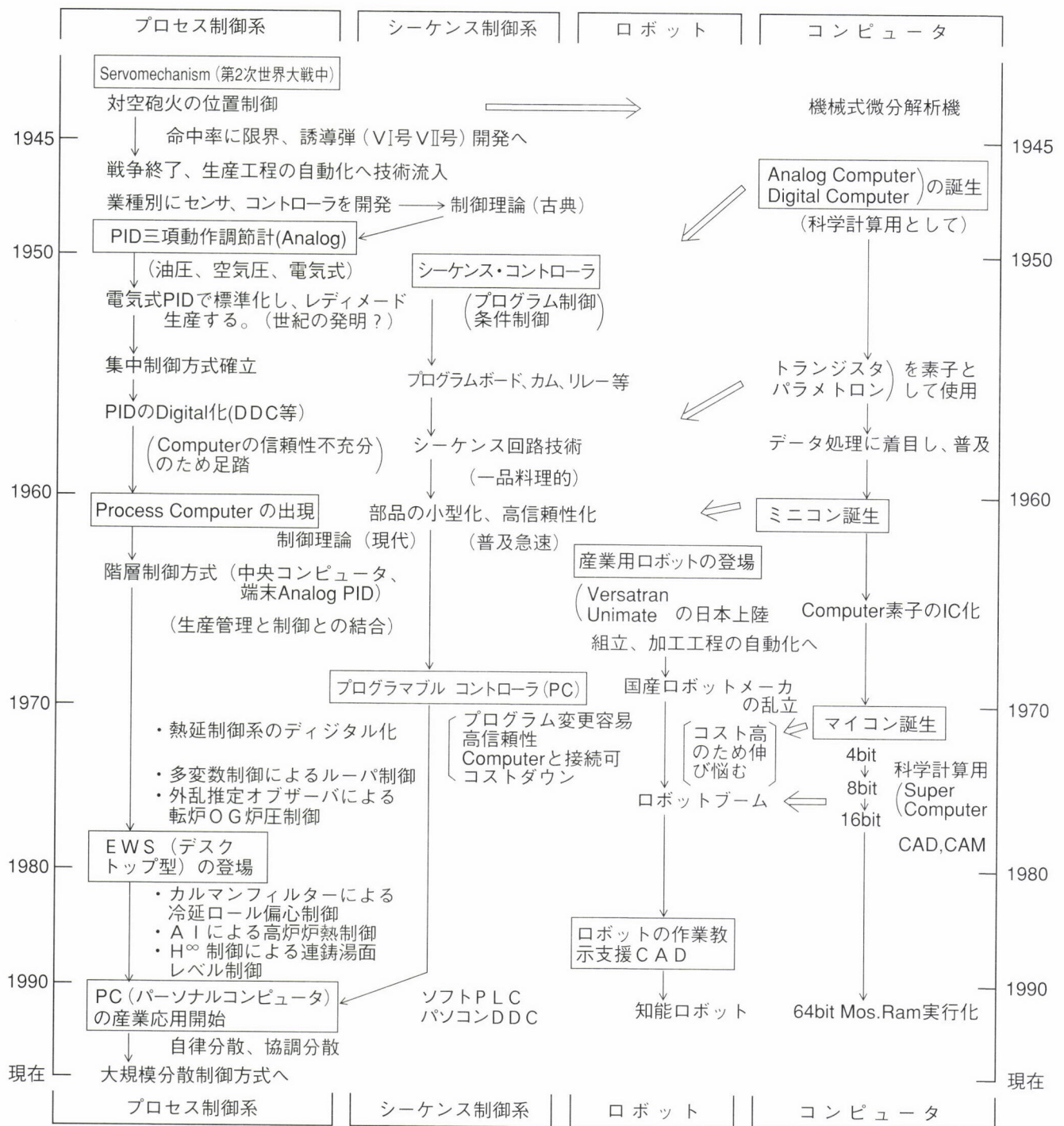


図1 自動化技術の推移とコンピュータ

2.1 サーボメカニズムと微分解析機

自動制御装置の草分けとしては種々のものが伝えられているが、第二次世界大戦中に開発された対空砲火の位置制御の技術が、戦後大きな技術革新の火種となった。弾を命中させるために弾道の方程式（微分方程式）を速やかに、精度良く解く機械式微分解析機は今日のコンピュータの源流と見なされるものである。砲身の位置制御技術は戦後工業生産に転用されサーボメカニズムとしてオートメーション時代の基礎技術となった。

2.2 PID 三項動作調節計の発明

鉄鋼、石油、化学工業等各種産業で温度、圧力、流量等を制御するためのコントローラが個別に開発されていた。サーボメカニズムの原理を体系化した自動制御理論の確立により、各種のコントローラはいずれも P（比例動作）、I（積分動作）、D（微分動作）の三要素が用途により組み合わせられていることが明らかとなった。そこで、比例、積分、微分の 3 機能を備えたコントローラ（PID 三項動作調節計）をレディメイドで製作し、制御すべき各種物理量、化学量をコントローラ入力に変換するトランスデューサとを組み合わせることでプロセスの制御を可能にした。これらの調節計は用途に応じて油圧式、空気圧式、電気・電子式のものが製作されたが、その後半導体素子の進歩により小型で信頼度の高い電子式に統一された。

かくして PID 三項動作調節計は大量生産され自動化技術の普及を加速する原動力となった。

2.3 プロセスコンピュータの出現

コンピュータは、その素子の集積化（IC 化）により信頼度が飛躍的に向上し、生産ラインでオンライン使用できるようになった。アナログ型のコントローラもデジタル化（DDC）され本格的な計算機制御系が構成されることとなった。生産管理と自動制御とがコンピュータによって結合され、生産効率が格段に向上し、文字どおりのオートメーション時代が実現した。プロセス制御系だけでなく、シーケンス制御系もシーケンサーのプログラムをコンピュータソフトで実現することで適用効率が向上した。

かくして、大規模システムの制御や CIM（コンピュータを用いた生産情報の統合）化のための道具立てが揃ったこととなった。

2.4 鉄鋼プロセスの革新と制御技術の発展

最近 20 年間に鉄鋼プロセスの技術革新が実現し高い生産性とコスト競争力を確保した。連続化を目指して連続鋳造、連続圧延、連続焼鈍などが次々と実用化された。これに伴い高生産性のもとの高品質と高歩留まりが追求され各種制御技

術が開発適用された。すなわち、連鑄機の 2 次冷却水制御、モールド内湯面レベル制御、圧延機での压下系の油圧化とミル剛性可変化した走間板厚変更、連続焼鈍炉の炉温制御などが実用化されプロセスの技術革新を支えてきた。

また、材質面での圧延加速冷却による材質作り込みがあり鋼種統合化が実現しているが、この分野でもコンピュータ制御が寄与している。

3 フィードバック制御系の理論 (古典制御理論)

制御理論はシステムの特性を解析することが目的ではなく、その方法を逆に使用して制御システムを構成（シンセシス）するための理論である（図 2 参照）。図（a）に示すように特性既知のシステムにある原因（入力）が加わったときの結果（出力）を求めるのではなく、図（b）に示すように原因と結果とが与えられて、この関係を満たすようなシステムを構成する方法を与えるものである。

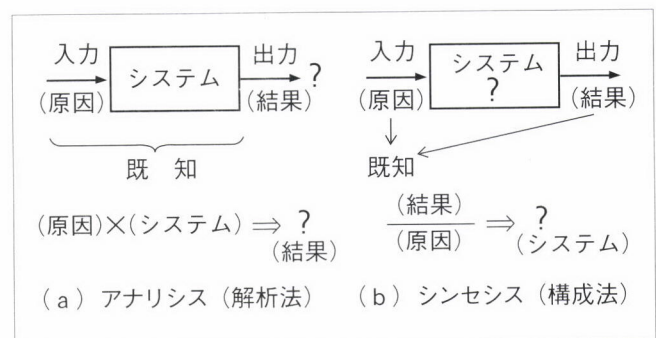


図2 アナリシスとシンセシス

3.1 システムの表現法、伝達関数

制御系は時々刻々変化する入力または外乱に対して、望ましい出力が得られるように構成することを目的としているた

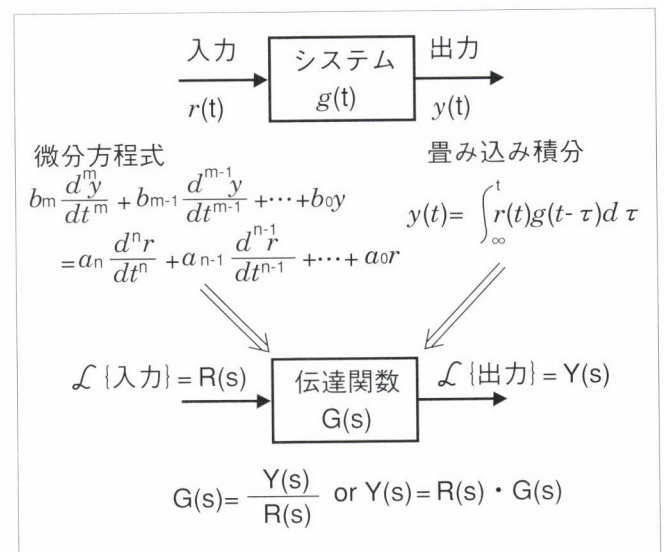
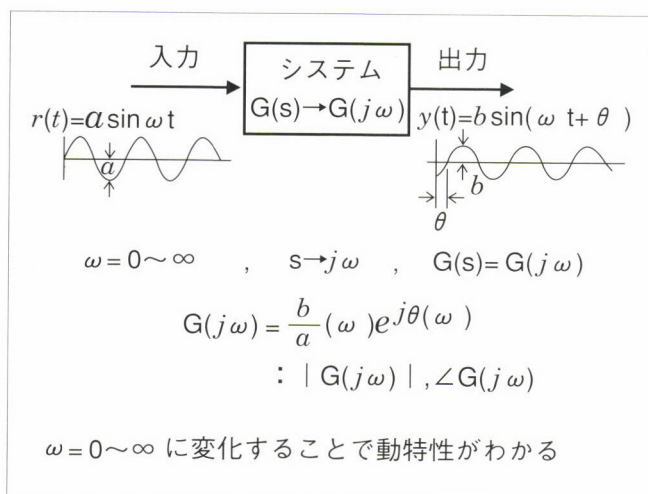


図3 伝達関数

め、システムの動的特性に着目する必要がある。それには微分方程式で表現されるのが普通である。しかし、シンセシスのためにはこの方程式の解を求めるのではなく、ラプラス変換することにより代数方程式として入出力関係を表現する伝達関数を定義する。また、時間領域での入出力関係は畳み込み積分で表現することもできるが、これもラプラス変換することにより簡単な有理式となり、伝達関数が定義できる。(図3 参照)

3.2 周波数領域でのシステム表現法

電子回路理論で用いられている手法を利用したものである。入力信号として正弦波形を加えたときの入出力信号の振幅比及び位相差に着目する。入力信号の周波数を 0 から無限大まで変化させたときの振幅比及び位相差の変化から周波数特性としてシステムの特性を表現する方法である。周波数 0 から無限大まで変化させる操作によって動特性の情報が得られる。(図4 参照)



3.3 不規則入力信号からのシステム表現法

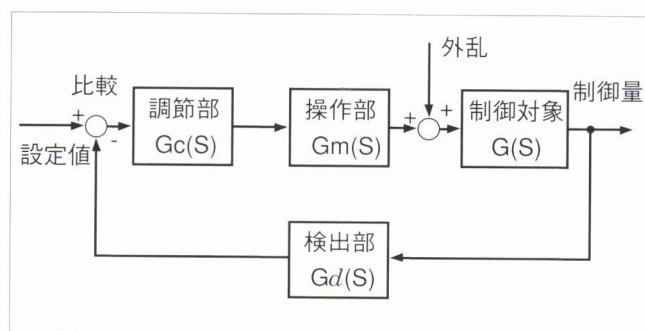
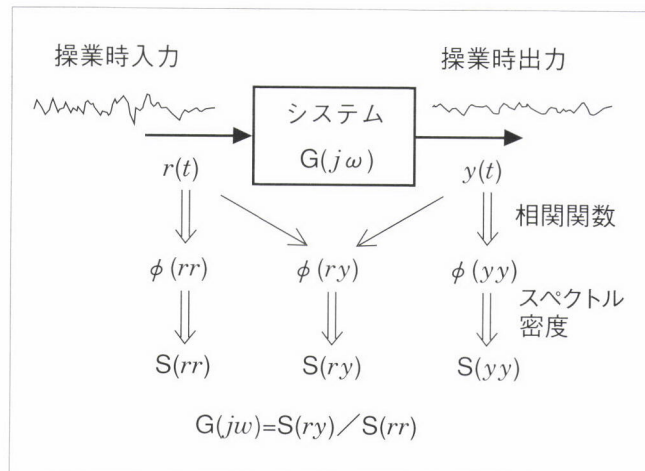
システムが既に操業状態にある場合にその入出力信号からシステムの特性を表現する方法が考案されている。操業時入力及び出力信号がそれぞれ定常不規則過程の条件を満足していると仮定して、入力信号、出力信号の自己相関関数及び入出力信号の相互相関関数を計算する。この操作は不規則信号から雑音成分を除き信号成分を取り出すためのものである。これらの相関関数からスペクトル密度を求めると、システムの特性を表現することができる。なお、これらの操作には複雑な計算を伴うので計算機の援用が必要である。(図5 参照)

3.4 フィードバック制御系

与えられた設定値（希望する値）にシステムの入出力（制御量）を近づけたり、外乱の影響を打ち消すためには出力を入力側に戻す（フィードバック）構成がとられる。これがフィ

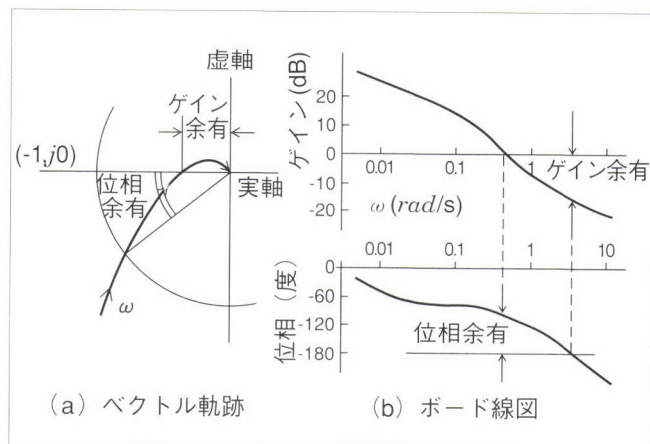
ードバック制御系である。(図6 参照)

制御系の各構成要素は抽象化した数学モデル（伝達関数）で表現し、信号の流れにもとづいた制御系全体の構成をブロック線図で描く。



3.5 制御系の設計法

フィードバック制御系が最適な条件を満たすように調節部のパラメータを設定したり、補償要素を付加することを制御系の設計（シンセシス）という。これらの操作の指針を与える手法としてナイキスト線図、ボード線図などが考案されて



いる。いずれもフィードバック制御系のフィードバックループを切り離し、オープンループの伝達特性から、位相余裕、ゲイン余裕などのパラメータを目安として、フィードバックループを構成したときの系の特性が最適な状態になる条件を推定するものである。(図7 参照)

以上が制御理論の骨子であるが、線形連続システムのみでなく非線形制御系、サンプル値制御系などの設計にも本手法の拡張が試みられている。

終わりに、圧延工程におけるフィードバック制御系の典型的な例を図8に示しておく。図は5スタンド・タンデムミルで4および5号スタンドのモータ電圧を調整して4、5スタンド間張力を変化させることにより5号出側板厚を一定に制御する回路の一例である。5号出側にX線厚さ計を設置し、検出された厚さの偏差信号はPI動作調整回路を通じてミルモータの速度にフィードバックされている。

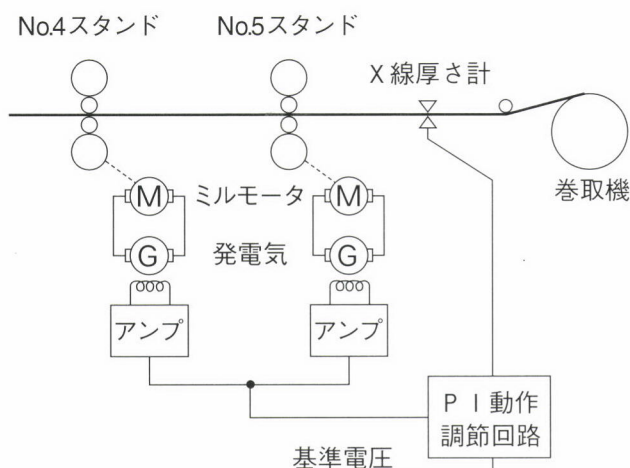


図8 張力制御AGC回路の例

4 状態変数による制御理論

米国とソ連（現在のロシア）との宇宙競争時代にロケットの軌道制御を目的として、フィードバックにとらわれずに最適制御解をもとめる一般的な理論が注目された。この理論は状態ベクトルを用いてシステムを表現することにより非線形系を含む一般力学系の理論を制御の分野に応用したものである。この理論はフィードバックを基本にした理論とは異質のもので、近代制御理論と名づけて従来の理論と区別している。

4.1 フィードバック制御理論からの脱皮

伝達関数によるシステム動特性の表現法には以下に述べるような限界があり、それらが自動化技術拡大の隘路となっ

いた。すなわち、

- (1) 伝達関数によって入力に対するシステムの出力を求める方法では、システム内部の状態を知ることができない。
- (2) 伝達関数は1個の入力と1個の出力間の応答を規定するもので、多入力多出力のシステムを取り扱うのに不向きである。
- (3) 伝達関数は線形システムに対して定義されたもので、非線形システムには適用できない。

これらの限界を越えるケースに対しては状態変数によるシステムの表現法を採用すべきである。

4.2 状態変数によるシステムの表現法

図9に示すようにシステムを多入力多出力の系であると想定し、 r 個の入力群 $u_1 u_2 \cdots u_r$ を r 次元の入力ベクトル $\mathbf{u}$ 、 m 個の出力群 $y_1 y_2 \cdots y_m$ を m 次元の出力ベクトル $\mathbf{y}$ 、システムの状態を現す n 個の変数 $x_1 x_2 \cdots x_n$ を n 次元状態変数ベクトル $\mathbf{x}$ とし

$$\text{状態の運動方程式} \quad \frac{d\mathbf{x}}{dt} = \mathbf{f}(\mathbf{x}, \mathbf{u})$$

$$\text{出力の方程式} \quad \mathbf{y}(t) = \mathbf{h}(\mathbf{x}, \mathbf{u})$$

と表現する。上式は1階の微分方程式であるから、その解は簡単に求まる。

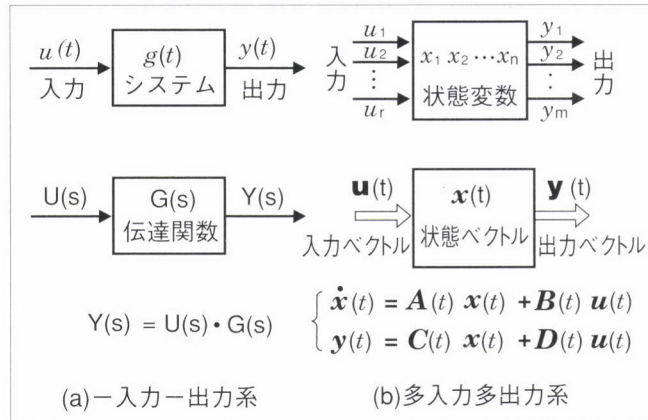


図9 多入力多出力システムの状態変数表示

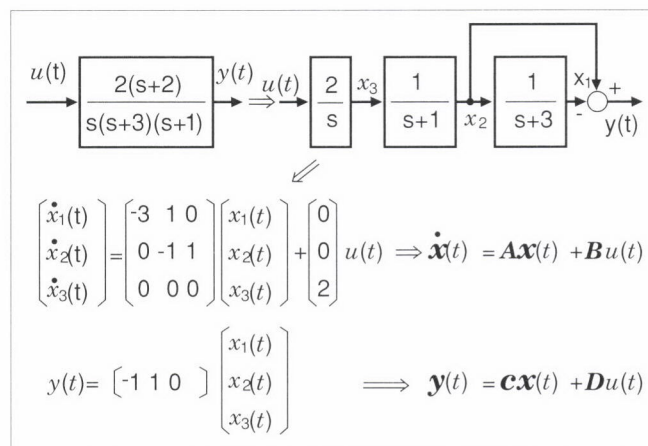


図10 伝達関数から状態方程式への変換

なお、伝達関数、ブロック線図で表現されたシステムと状態方程式表現との関係を理解していただく為に、ブロック線図で示されたシステムから状態方程式を求めた例を図10に示す。ブロック線図の出力側から順次 x_1 、 x_2 、 x_3 と状態変数を定めている点に注意されたい。

4.3 現代制御理論の効用

状態方程式でシステムを表現することによって、以下に示すような展開が可能になった。

- (1) リアプノフの安定定理・・・非線形を含む極めて一般的な力学系の安定を論じる方法を提案した。しかし、リアプノフ関数の存在を前提としたもので、この定理を用いて直ちに安定判別ができるというものではない。
- (2) 最適制御理論・・・ベルマン(米国)はダイナミック・プログラミングというコンピュータ演算形式の手法で離散時間過程の最適制御理論を提案した。ポントリアギン(ソ連)は連続時間過程の最適制御理論を確立した。これは、変分法を基礎とする厳密な理論で最大原理という定理に集約した。
- (3) 可制御性、可観測性・・・カルマン(米国)は状態変数によるシステムの記述によって、内部変数(状態変数)と外部変数(入力と出力)との相互関係から解析、設計が可能な条件を明らかにした。
- (4) 大規模システムへの適用・・・鉄鋼業のような多入力多出力で大規模なシステムの制御問題を取り扱うには状態変数を用いた表現が適している。しかし、従来のフィードバック制御理論で処理できるシステムが沢山実在していることも忘れてはならない。
- (5) 内部状態に着目した制御系の構成・・・状態変数により、内部状態の情報が得られるので、非干渉システムの設計や根配置を考慮したシステムの設計を容易にした。また、オブザーバ(状態観測器)、カルマンフィルタを用いて予測制御、適応制御など新しい制御システムの構成を可能にした。
- (6) フィードバック制御理論との融合・・・最近ではフィードバック制御理論と状態変数制御理論との区別が消えて適応制御理論やロバスト制御理論が盛んに採用されるようになってきている。

5 制御対象のモデリングと同定

前章までで制御理論の基本的な事項について述べた。しかし、制御理論はいずれもシステムの数学モデルが与えられたとして、その最適解を求める方法を与えるものである。しかし実際には制御対象が簡単に、正確に数学モデルで表現され

るとは限らない。数理学者は制御理論には興味を示すが、制御対象の数学モデルを作成することには関心を持たない。このモデルの作成は非常に労力を必要とし、また困難な作業であるが、現場の担当者が取り組まねばならない仕事である。しかも、モデルの精度が最終的な制御精度を左右するので精力的に取り組まねばならない作業である。

5.1 制御対象のモデリング

制御対象のあらゆる物理的、化学的知見を利用して動的な特性をモデル化するのであるが、その開発には多大な工数を要する。高炉または転炉の動的特性を数学モデルで表現する例を考えていただければ作業の困難さが理解できると思う。しかも、作成されたモデルは経時変化や操業形態の変化にも追従できる事が望まれる。

また、モデリングではある種の仮定に基づいて現象を数式化するのであるから、実現象との間に誤差が生じる。このため、制御系設計においてモデルの誤差を考慮しなければならない。ロバスト制御や適応制御の適用がこの面からも必要となってくる。

5.2 制御対象の同定

制御対象のモデリングが困難である場合は、許される範囲で特性既知の入力信号を加えて出力を計測し、その入出力関係から対象の動特性を推定する方法を採用する。

この場合、入力信号には出来るだけ広い周波数成分を含んだ信号を採用する。また、特定の入力を加えることが許されない場合は操業状態の入出力信号を利用することを考える。微弱なパルス列を入力する方法や、暗号信号を利用する方法も考案されている。(図11参照)

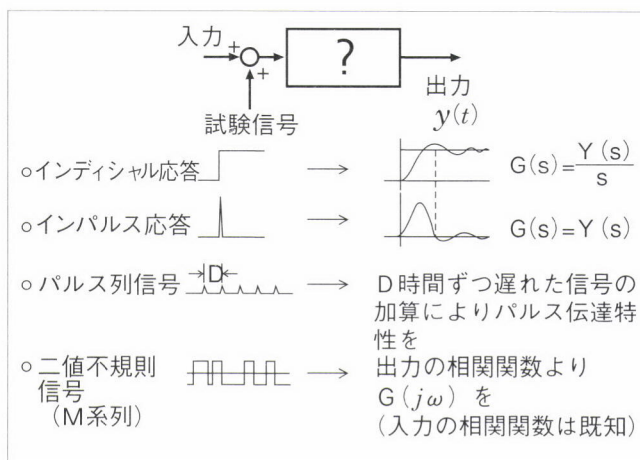


図11 システムの同定法の基本（隗より始めよ）

5.3 知識工学の利用

鉄鋼業の生産現場には多くのノウハウが存在する。物理、化学モデルでは十分にモデル化できない場合には、熟練した人間が最終的に調整、介入して処理している。この人間の知識を分析してモデル化を行う方法が研究されている。制御理論といえば数式ばかりが沢山出て来て理解するのにうんざりさせられたが、数式化できない人間の感性をモデル化する段階で、数式のない制御理論の時代となった。AI、エキスパートシステムなどが登場してきた。これらについては後に詳述する。

5.4 次回、次々回の予定

本稿ではフィードバック制御理論、近代制御理論、システムのモデリングについて、それぞれ基本的な事項について概説した。

次回、次々回は鉄鋼業において活躍している制御技術、明

目をめざして研究されている新しい技術について、具体例を引用しながら解説することとする。

参考文献

本稿は制御工学の基礎的な事項について述べたので全般にわたる参考書をあげる。

- 1) 近藤文次, 藤井克彦共著: 大学課程 制御工学, オーム社 (1995、25刷り)
- 2) 須田信英: 制御工学, コロナ社, (1989)
- 3) 増淵正美: システム制御, コロナ社, (1994)
- 4) 前田 肇, 杉江俊治共著: アドバンスト制御のためのシステム制御理論, 朝倉書店, (1994)
- 5) 鉄と鋼創立80周年記念特集号 第5章 計測・制御, Vol.81, No.4 (1995)

(1996年9月30日受付)



鉄の歴史 ⑨

“みちのく”の地から中世の鉄をみる

赤沼 英男 岩手県立博物館主任専門学芸調査員
Hideo Akanuma

Considering Japanese Iron in the Middle Ages from the Northern Part of Japan Michinoku

1 はじめに

岩手県立博物館には、近世、盛岡藩時代の鉄生産に係わる資料が収蔵されている。盛岡藩は、17世紀以降、鉄造りを振興した。19世紀にいたると生産された南部鉄は茨城県以北に広く流通し、当時の江戸において山陰、山陽の中国鉄と競合するまでになったという¹⁾。“みちのく”^{*1}と呼ばれ、辺境の地とされてきたこの地域が、近世後半に至りわが国の原料鉄生産地の一つとして知られるまでに発展したことを示すものといえよう。

このように“みちのく”の鉄が近世に隆盛をみるにいたるには、いくつかの段階を経た可能性が高く、中世、さらには古代末、奥州藤原氏の時代にまで遡って、その要因を求めることができる。ここで“みちのく”の地より、古代末、そして中世の列島内全域の様相を見渡せば、そこには、農業生産性の向上とともに、幾多の戦乱と相まって、鉄器の普及を進めた時代がみえてくる。わが国の鉄文化を代表する日本刀も既に生まれ、形態上の変遷を経ながらおびただしい数の刀剣が造られ、やがて、30万振り近くの刀剣が輸出されるようにまでなる。しかし、その時代の鉄関連遺構は希薄であり、列島内の中世の鉄生産については、その様相がつかめない状況が続いている。

一方、最近の考古学による発掘調査によって、中世の“みちのく”は、中国陶磁器や銭貨にみられるように、東北アジアから様々な文物を受容し、独自の生活を営んでいる様子が明らかになりつつある²⁾。“みちのく”の鉄もそのような経済活動の中に位置づけることによって、解決できるのではなかろうか。以下では交換経済という要素を念頭に置きながら、“みちのく”の地から出土した遺物の分析結果、それに考古学の発掘調査結果と文献史学の研究結果を加味し、必要に応じ他地

域との比較を行いながら、文化財科学^{*2}の立場にたって、“みちのく”、そして列島内の中世の鉄について述べることにする。

2 古代末のみちのく

2.1 鉄関連遺構の検出状況

考古学の発掘調査によって青森県津軽地方では10世紀頃から住居跡の検出例が増し、時代の経過とともに大型化することが明らかにされている³⁾。この地域における人口の増加とそれを支える農業生産性の向上があったことを示すものといえる。そして住居跡群からかなりの数に上る鉄製農工具や武器が出土し、それらの多くに鉄関連炉（鉄器の製作を含め、鉄に関する生産活動に使用されたとみなすことのできる炉）が付随するという事実を考慮すると、上述の状況を生みだした要因の一つとして、鉄・鉄器の普及が挙げられる。

秋田県北東部、津軽平野に隣接する奥羽山脈の中にある鉾山の町、小坂町のはりま館遺跡には、鉄関連炉を伴う平安中期（10～11世紀代）に比定可能な住居跡群が存在する。この遺跡には内径20cm程度の火窪炉^{ほどろ}（地面を適当に掘り下げボール状とし、その内側に粘土を張り付けた炉）と、平面が長軸55cm、短軸39cmの楕円形を呈する灰黄褐色土からなる炉床面をもつ大型の炉跡が確認されている。火窪炉の周辺には鍛造薄片（加熱した鋼を鍛打する際に剥離するスケール）が散在していたことから、そこで小鍛冶（鋼を鍛打し造形する操作）がなされていたことはまちがいない。一方、大型の炉跡からは流状滓と塊状滓が見いだされており、その設備と立地状況から小鍛冶に使用する鋼（加熱・鍛打が可能な過共析鋼、もしくはそれ以下の炭素含有量の鋼）の製造が有力視された。ここに原料鉄の供給を受けながら目的とする鋼を製造し、その地域の生活に必要な鋼製鉄器を製作するという、小規模な

*1 本稿で用いた“みちのく”は、一般にはばくぜんと東北地方を指す意味で使われている。古くは“道奥”といい、奈良時代ごろから“陸奥”と書かれるようになった。厳密には中央政府の辺境政策の関係でその領域は時代とともに変わるが、ここでは、青森、岩手の両県と秋田県の一部を“みちのく”として扱うこととし、その範囲と遺跡の位置を図5の右に示す。

*2 文化財を自然科学的方法で調査した結果と考古学をはじめとする人文社会科学の研究成果とを総合的に考察し、文化史の解明を行う研究をわが国では文化財科学と呼ぶ。

生産活動を想定できる。

10世紀後半以降、日本海に注ぐ秋田県米代川中・上流域や青森県津軽地方の岩木山麓一帯では、平面が長楕円形を呈し、防湿と保温のための下部構造を有する半地下式竪型炉が相当数出現するようになる。特に津軽西部の日本海に面した鰺ヶ沢町全沢遺跡^{＊3}では、34基にのぼる炉跡群が木炭窯とともに検出された。その立地も砂鉄の採取が容易な地にあることから、この遺跡では砂鉄を始発原料とする製錬が行われた。そして、その製錬産物がみちのくに点在する住居跡群に供給され、製品鉄器へと加工された、というふうにみなされてきたわけである。しかし、最近の考古学と文化財科学の研究によって、全沢遺跡における炉跡群が、銑鉄中の炭素を低減し鋼を製造するという鋼精錬炉（製造される鋼の組成については後述のとおり）である可能性が高いとする見解が提示されるようになった⁴。半地下式竪型炉による鉄造りを想定し、歴史をみつめれば、そこには当該地域の技術的あるいは経済的な自立の姿がみえてくる。一方、鋼精錬の見方に立てば、他地域からの原料銑鉄の供給という交換経済の要素を加え、歴史を解釈する必要が生じることになる。このように遺跡の性格の判定は、歴史の見直しにつながる重要な問題を含んでいる。

2.2 鉄関連炉の機能

発掘調査によって明らかにされた全沢遺跡の半地下式竪型炉の築炉状況はつぎのとおりである^{＊3}。すなわち、傾斜角約20°の斜面の下を堀込み、焼土粒や鉄滓などが混じった黒色土などを使って整備する（図1）。その上に藁のような植物繊維を混ぜた粘土を焼き固め、瓦状にしたものを炉床面に対し

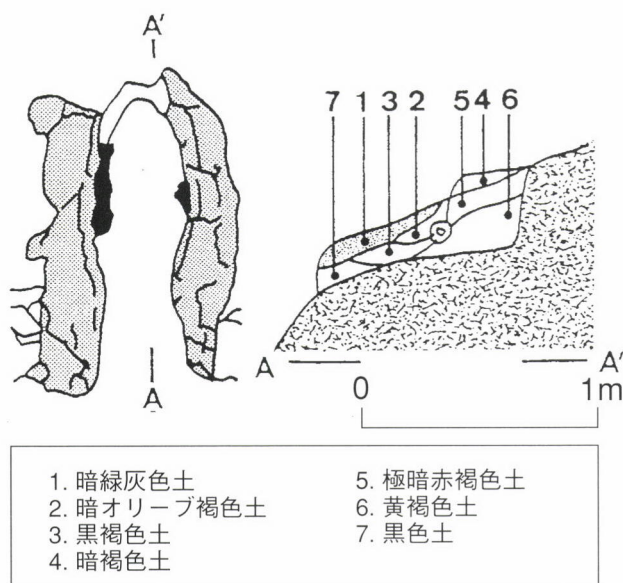


図1 全沢遺跡半地下式竪型炉の平面図・縦断面図

ほぼ垂直に積み、平面が長軸1m20cm、短軸35cmの細長い長方形をした炉を築く。炉本体下方部はあらかじめハの字状に開口した形とし、斜面最上部の炉壁中央部に切り込みを入れ羽口を装着するというものである。なお、炉壁の残存状況から操業時の炉高は50cm未満であったと推定されている⁴。

この発掘調査結果によって、斜面上方の羽口先から炉内に空気を送り込み、羽口先直下から炉床部中心部までの暗緑灰色を呈した部分の上に鉄（その組成については後述する）の生成を計る。そして、炉の下方部から鉄滓を排出するという操作を想定できる。ここで注意すべきことは、炉高が低く炉本体下部が大きく開口するという、開放形の炉で操業が行われていたこと、そして、炉床部の限られた部分で鉄が造られていた可能性が高い、という点である。炉跡群に近接して同時代の複数の住居跡も確認され、住居跡内からかなりの数の鍛造薄片や小さく破碎された黒褐色のガラス化した鉄滓、鍛造薄片をかみこんだ鉄滓状物質、それに金床石と思われる遺物を伴った火焔炉が検出された。住居跡内で鋼の加熱・鍛打と付着する鉄滓の除去がなされていたことは確実であり、炉群では火焔炉での鍛打が可能な過共析鋼もしくはそれ以下の炭素含有量の鋼が製造されていたとみることができる。みちのくから遠く離れるが、13世紀に比定される、有明海に面した熊本県荒尾市狐谷遺跡^{＊5}でも、上述とほぼ同じ炉形をした2基の半地下式竪型炉とその回りに鍛造薄片が散在した火焔炉が確認されている。一方、日本海に近接する新潟県豊浦町北沢遺跡では3基の炉跡が発見され、それらのうちの1基は幅50cm、奥行き75cmの長方形をした炉床の上に砂粒を混ぜて造った粘土ブロックを積み重ねるという方法で築炉されており、さらに炉床部の下には炉壁ブロックを層状に配した地下構造も認められた。なお、北沢、全沢両遺跡ともに炉床部は焼きしめられた粘土であり、北沢遺跡では鉄滓等の付着がみられないことが発掘調査を実施した川上貞雄氏によって指摘されている⁴。

全沢遺跡では、炉跡周辺から流状滓と塊状滓が検出された。流状滓はMgを固溶したイルメナイト $[(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{TiO}_2]$ またはウルボスピネル $[2(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{TiO}_2]$ 、鉄かんらん石 $[2(\text{Fe}, \text{Mg})\text{O} \cdot \text{SiO}_2]$ 、 $\text{FeO}-\text{CaO}-\text{Al}_2\text{O}_3-\text{SiO}_2$ 系のガラス質けい酸塩からなる。塊状滓は錯層中に鉄滓が複雑に入り組み、いたるところに空孔が認められるという点で特徴的であり、鉄滓の大部分は鉄チタン化合物（ウルボスピネル、イルメナイト、それらのいずれにも同定されない、Fe、Tiを主成分とする化合物相の総称）、鉄かんらん石、それにFe分を相当量含むガラス質けい酸塩で構成されていた。また、摘出した試料片をTG-DTA分析に供したところ、流状滓では1,200℃に始まり1,450℃に終わるブロードな吸熱のピークが、塊状滓でも1,300～1,500℃に同様のピーク

＊3 鉄生産遺構の解析を難しくしている理由の一つに、生成物が回収され遺構には残らないことが挙げられる。炉内で造り出された鉄の組成が明らかになれば、その操作のかなりの部分を解明できるが、現実にはそれは困難であり、炉跡周辺に残存する鉄滓組成から主生成物を推測せざるをえない。もう一つは、炉のかなりの部分が破壊されているため、操作時の設備を完全に復元できないことがある。

表1 結晶XcのEPMAによる定量分析結果 (mass%)

試料名	測定箇所	Ti	C	N	合計
空沢A3炉No.1	a	78.40	1.81	22.78	102.99
	b	77.18	1.68	21.91	100.77
狐谷F-5G-8	a	77.53	2.52	18.54	98.59
	b	78.39	4.67	18.03	101.09

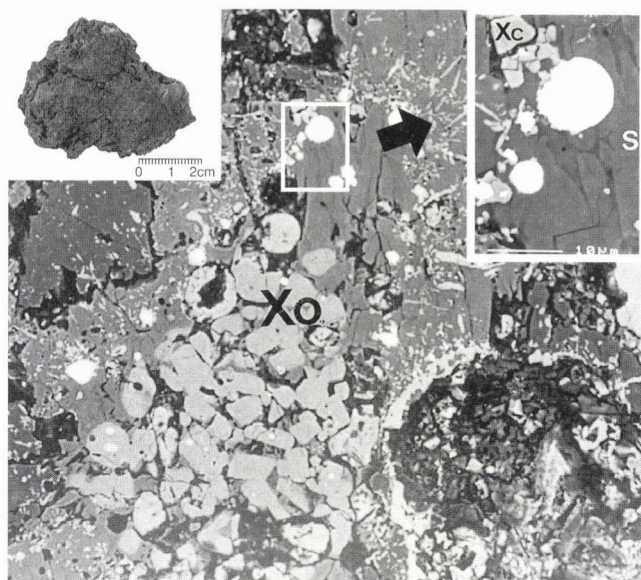
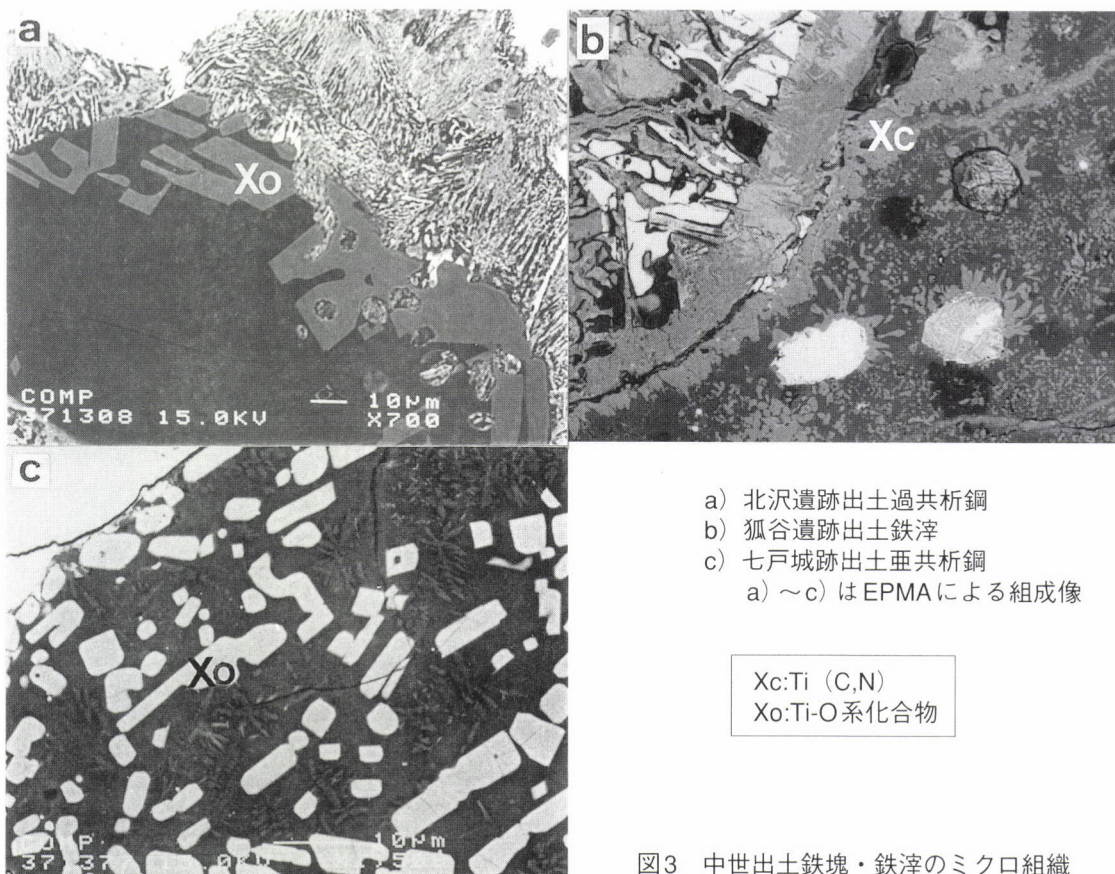


図2 空沢遺跡出土鉄滓の外観とマイクロ組織のEPMAによる組成像 (COMP)

Xc:Ti (C,N)、Xo:Ti-O系化合物、S:ガラス質けい酸塩

クが認められ、鉄滓の溶融開始温度は流状滓で1,200℃以上、塊状滓では1,300℃以上にあったとみなすことができた。Fe分に富むスラグ浴の下に鉄が造り出されていたことを示す結果といえる。引き続き行われた組織観察により、暗灰色をした柱状のTi-O系化合物 (Xo:主として酸化チタンからなる化合物) と灰色の化合物 (Xc) が塊状滓の鉄滓と錆層の境界部分に局所的に見いだされた (図2)。後者はEPMAによる定量分析によりTi(C,N)と同定され (表1)、化合物Xo、XcはともにCaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂系のガラス質けい酸塩で取り囲まれていることもわかった。北沢遺跡では片状黒鉛からなる銑鉄と鉄滓の境界部分、境界に近い銑鉄、鉄滓それぞれの中に、狐谷遺跡ではレーデブライトと片状黒鉛からなる銑鉄の回りにTi(C,N)が残存した遺物が検出された (図3b)。このような組成の遺物とTG-DTA分析結果によって、空沢、北沢、狐谷の各遺跡では、炉内に溶融銑鉄とスラグ浴とが接触した状態が存在していたことが推定される。北沢、狐谷両遺跡では、Ti-O系化合物とCaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂系のガラス質けい酸塩からなる非金属介在物の残存する過共析鋼も発見された (図3a)。上述の結果に基づき、砂鉄を始発原料として、銑鉄や鋼が混在した炭素含有量の不均一な鉄が造り出されていたと解釈することができるわけであるが、同時にいくつかの疑問も生まれる。

これら3つの遺跡では、鉄滓 (厳密にはもとの鉄浴の再酸化化物をさけ、鉄滓のスラグ部分を顕微鏡下で摘出した試料) と



- a) 北沢遺跡出土過共析鋼
- b) 狐谷遺跡出土鉄滓
- c) 七戸城跡出土亜共析鋼
- a) ~ c) はEPMAによる組成像

図3 中世出土鉄塊・鉄滓のマイクロ組織

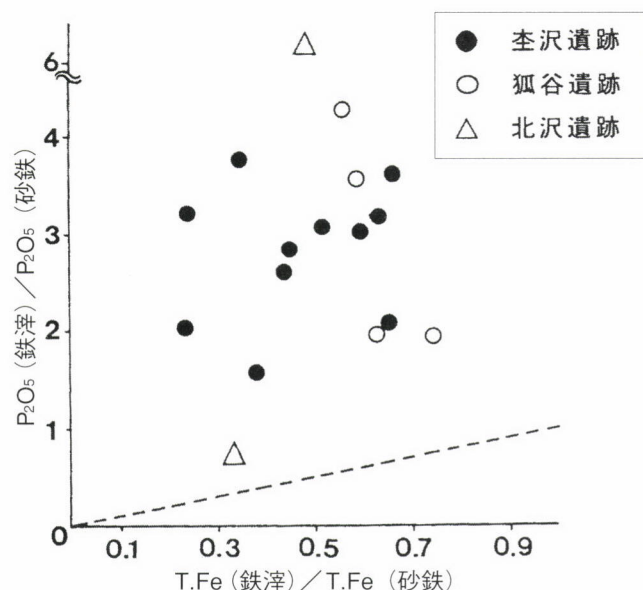


図4 鉄滓中のスラグ部分を顕微鏡下で摘出した試料のT・Fe、P₂O₅の対砂鉄比

ともに炉跡群と同一の遺構面から採取された砂鉄が化学分析に供された。その分析結果を基にスラグ部分と砂鉄のT・Fe、P₂O₅それぞれの比を求めプロットすると、砂鉄に比べスラグ部分中のT・Feが減量しているにもかかわらず、P分が一様に増量していることがわかる(図4)。鉄滓の溶融開始温度を考慮すると、砂鉄を始発原料とする製錬を想定した場合には説明が困難な現象である。また、Fe分に富むスラグ浴の下に鉄の生成が計られたことが推測されたわけであるが、築炉状況をふまえるとそのようなスラグ浴の下に、片状黒鉛が析出した鉄鉄の生成につながる鉄浴が操業終了まで存在しえたであろうか。この解析結果によって、空沢遺跡をはじめとする3遺跡では、鉄鉄の脱炭が行われていたとする、これまでとは異なった解釈が提示されたわけである。この操作がなされていたとすれば生成する鋼は過共析鋼(0.8~2% C)であり、炉内条件によってはそれ以下の炭素含有量の鋼も得ることができたと推測される。従って、ここでの鋼精錬は、炭素含有量0.数%以下の亜共析鋼を製造する現代製鋼とはその意味が異なることをこわっておきたい。

しかし、上述の解釈が導き出された解析結果は、小規模生産による不均一な反応で排出された鉄滓から摘出された、微量試料に基づくものである。従って、得られた結果が炉内全体の状況を反映しているという保証はない。それ以前に、脱炭材として砂鉄や鉄鉱石といった少量の鉄酸化物の使用を想定した場合の、鋼精錬温度の維持という技術的な問題が存在する。これらに、Ti(C,N)の生成経路の問題も加わって、鋼精錬の実施を疑問視する見方もとれる。

空沢、北沢両遺跡では、炉跡周辺からお供え餅を逆さにした形の碗状滓や、その外側に半溶解した粘土壁の残存する遺物が検出されている。さらに、空沢遺跡では炉床の一部で鉄の生成が計られていた可能性の高いこと、北沢遺跡の炉床に鉄滓の付着がみられないことを考慮すると、吸熱反応である、砂鉄による脱炭に伴う温度低下を抑制し、鋼精錬温度の維持と木炭の共存に伴う問題とを解決するための設備または操作方法が隠されている可能性が多分にある。そして、後述する原料鉄鉄ならびに鑄造技術と鑄造鉄器の普及状況を加味すれば、やはり鋼精錬が実施されていた可能性が高いと筆者は考える。なお、鉄滓中に見いだされたTi-O系化合物やTi(C,N)については、スラグが鉄鉄中のCおよびSiによって還元され、その過程もしくはその後Ti-O系化合物やTi(C,N)が生成したと思われるが、この点を含め砂鉄による鉄鉄の脱炭反応については、鉄鋼製錬の専門家による、不均一で非定常な炉内で生ずる種々の反応の熱力学的および動力学的な研究による解明を待つことにしたい。

2.3 みちのくの鋼製鉄器の組成

みちのくでは10世紀以降、半地下式堅型炉での大規模な鋼製造が行われる一方で、住居跡群での自給自足を主体とする鋼製造と鉄器製作がなされていた可能性の高いことが明らかとなった。前者の場合、他地域への供給を前提にその生産活動を考える必要がある。

図5aにはみちのくの9~11世紀代に比定される住居跡から出土した鋼製鉄器と、みちのく、北海道の遺跡内から検出された砂鉄に含まれるCu、Co、Pの3成分とT・Feの関係を示した*4。砂鉄を上回るCu、Co、P分を含む鋼製鉄器が存在する。特にCu分、Co分については、砂鉄の数倍の含有量レベルをとるものがある。これらの中には非金属介在物中にチタン化合物を見いだすことができないものもあった。そして、同一時期の遺構から組成の異なる鋼製鉄器が出土していることを考慮すると、製品鉄器あるいは原料鉄に関する複数の流通ルートが出来上がっていた可能性が高く、しかも始発原料を砂鉄に限定してこの時期のみちのくの鉄を考えることは難しい。

図5aに同時期の北海道出土鋼製鉄器の分析結果を重ねると、みちのくと同じ組成のものが相当数みられることに気がつく。空沢遺跡が日本海に面した水上輸送に恵まれた地にあること、この遺跡から北海道系の土器が出土していること、そして、この時期北海道では、津軽地方で生産された土器がかなりの数検出されていることを考慮すると、土器の交流とともに津軽から北海道へ鋼素材や製品鉄器が供給されていた可能性がある。今後、両地域から出土した遺物の形態と材質

* 4 出土遺物から摘出した試料片の多くは錆化が進んでいる。この場合、化学成分の埋蔵環境下からの富化が問題となるが、本論では異種金属の付着がみられず、同じ埋蔵環境下から出土した遺物間での化学成分上の対比によって、その影響が少ないと判断されたもののみを取り上げた。

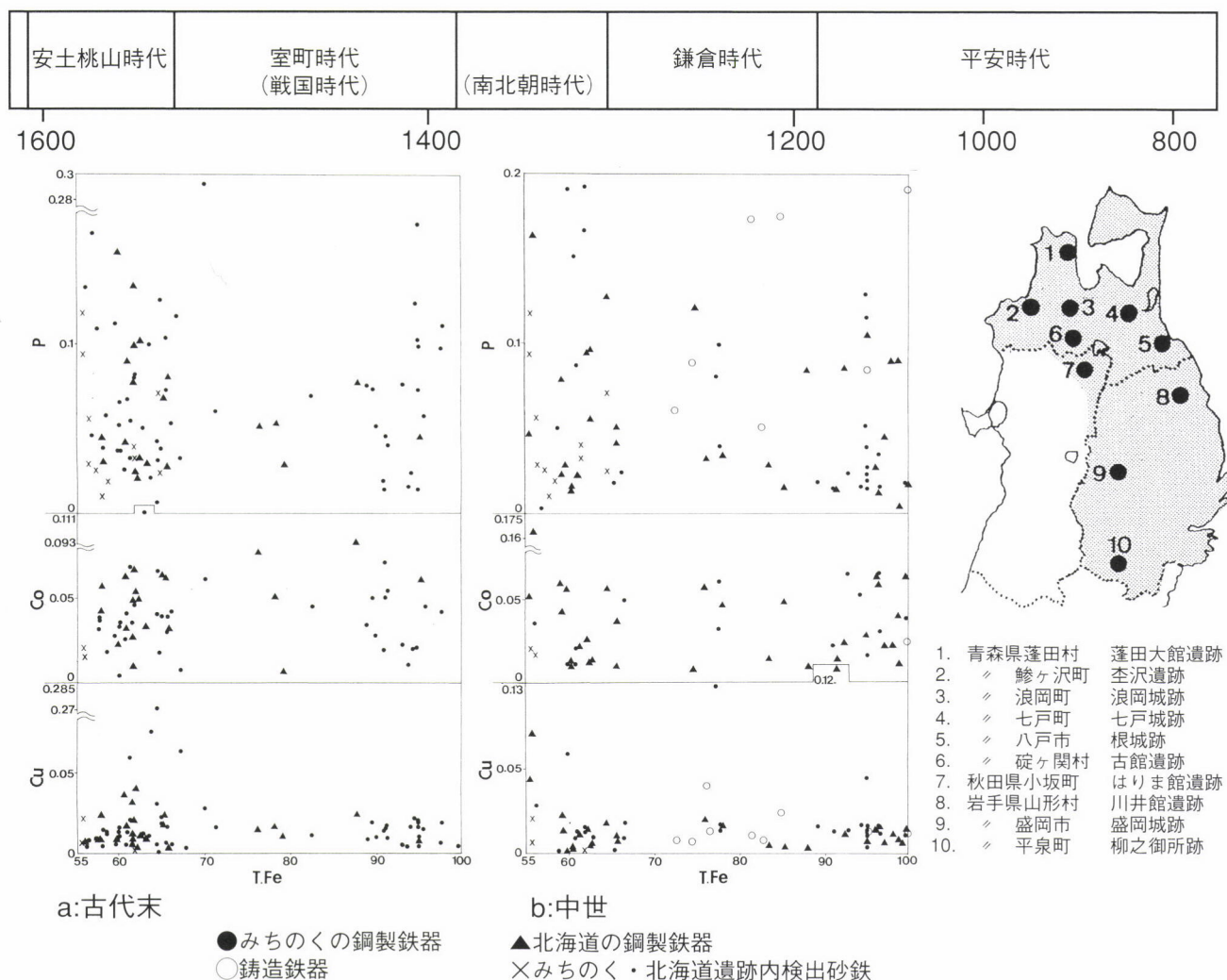


図5 みちのくと北海道の古代末・中世出土鉄器の化学成分の比較

の両面からの研究が進めば、流通形態の実態に迫ることができると思われる。

3 奥州藤原氏の勢力下における銅製造と鉄器製作

李沢遺跡での生産活動は11世紀後半にその終焉を迎える。みちのくでも半地下式竪型炉跡群をもつ遺跡は次第に姿を消し、それとともに住居跡の大型化が進む。青森県の陸奥湾に面した蓬田村蓬田大館遺跡は周囲を環濠(堀)に囲まれた特異な住居跡であるが、住居跡内からは鉄滓が検出され、その組成から銅の製造がなされていた可能性の高いことが報告されている²⁹⁾。同じ形態の住居跡は青森県の津軽地方や上北地方はもとより、北海道南部にまで分布するという³⁰⁾。鉄に関する流通が広域的に進んだことを示しており、それを受容する生産基盤がみちのくはもとより北海道でも整ってきたものと解釈できる。そして、このような流通の拡充は奥州藤原氏の時代にいたり一層顕著となる。

岩手県平泉町に立地する柳之御所跡は、北方社会に独自の

文化を展開させた奥州藤原氏の政庁「平泉館」である可能性の高いことが指摘され³¹⁾、貴族社会から武家社会への転換期の様相を知ることのできる数少ない遺跡として、考古学、歴史学の研究者から注目を集めている。この遺跡からは膨大な数の中国製陶磁器が発見され、その交易範囲が大陸にまで及んでいたことが遺物の上からも確かめられた。遺跡内からは相当数の鉄器も検出されている³²⁾。柳之御所跡とその関連遺跡から出土した代表的な銅製鉄器の分析結果(表2)によると、0.1%を越えるCu分、Mn分、0.051%のNi分というように通常の砂鉄では説明が困難な化学組成をとり、非金属介在物中に鉄チタン化合物を見出すことのできないヤットコ、あるいは非金属介在物中に鉄チタン化合物が残存し砂鉄の使用が確実な雁又鋏など、材質の異なる鉄器が共存する。また、P分を0.113%、Co分を0.034%含む銑鉄塊も確認されており(表3)、原料銑鉄、製品鉄器の複数にわたる入手ルートが確保されていたことが窺える。

柳之御所跡からは、古代末・中世の鉄を検討するうえで重要な遺物である鉄鍋も見いだされている(図6)。抽出した試料

表2 古代末・中世出土銅製鉄器の分析結果

No. 出土地	遺跡名	推定年代	器種	化 学 成 分 (%)							非金属 介在物
				T.Fe	Cu	Co	Ni	P	Mn	Ti	
1 岩手県平泉町	柳之御所跡	12C後半	ヤットコ	96.26	0.132	0.019	0.051	0.041	0.473	0.005	S
2 “	“	“	鉄鋤	94.52	0.009	0.068	0.037	0.041	0.014	0.004	W,F,M
3 “	白山社遺跡	“	雁又鍬	96.90	0.008	0.049	0.019	0.112	0.007	0.010	X,M
4 大分県三光村	深水邸埋納遺跡	14C代	鉄鎌	57.84	0.287	0.040	0.025	0.418	0.003	0.062	X
5 青森県八戸市	根城跡	16C代	刀子	77.56	0.098	—	—	0.081	0.001	0.009	X,S
6 福井県福井市	朝倉氏遺跡	“	小柄	91.97	0.001	0.018	0.011	0.012	0.020	0.018	X,S

注) Xは鉄チタン化合物、Wはウスタイト (化学理論組成 FeO)、Fは鉄かんらん石 (化学組成 2(Fe,Mg)O・SiO₂)、Sはガラス質けい酸塩、Mはマトリックス。

表3 古代末・中世出土原料銑鉄の組成

No. 遺跡名	推定年代	形状	化 学 組 成 (%)										ミクロ組織
			T.Fe	C	S	Cu	Co	Ni	P	Mn	Ti	Si	
1 東京都別所遺跡	10C後半	板状	91.30	4.16	0.055	0.031	0.045	0.022	0.195	0.009	tr	0.064	G,L
2 長野県吉田川西遺跡	11C前半	塊状	—	2.57	0.061	0.006	—	—	0.278	<0.001	0.006	0.23	G
3 岩手県柳之御所跡	12C後半	塊状	90.90	3.51	—	0.008	0.034	0.019	0.113	<0.001	0.007	0.176	G
4 新潟県北沢遺跡	13C代	塊状	91.60	2.82	0.072	0.006	0.021	0.016	0.226	<0.001	0.006	0.699	G
5 福井県朝倉氏遺跡	16C代	三ヶ月状	85.44	—	0.051	0.03	0.01	0.03	0.24	0.02	0.03	0.10	L

注1) Gは片状黒鉛、Lはレーデブライト組織。注2) No.3は伊藤薫氏による。分析は健全なメタル試料で実施。注3) No.4には鉄滓の付着がみられる。

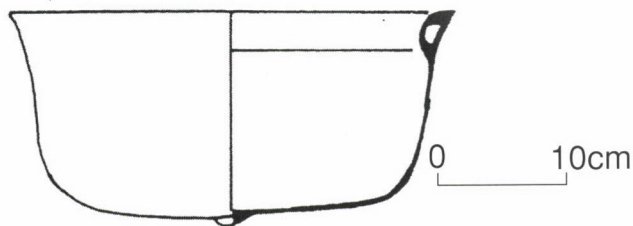


図6 柳之御所跡出土内耳鉄鍋

片にはレーデブライト組織が認められ、鑄造鉄器であることが確かめられた。この鉄鍋は内側に吊りさげるための環状の突起を持つ内耳鉄鍋とよばれるものであるが、青森県いかりがせき碓ヶ関村古館遺跡など複数の遺跡において確認されている。11世紀後半から12世紀に、みちのくでその普及が進んだことを示すものといえる。他地域に目を転ずれば、埼玉県ながめ坂戸市金井遺跡B区、大阪府美原町真福寺遺跡からは、13世紀代の鑄造遺跡が見つかった。そこでは鑄型製作と鑄込みが実施されているものの、鑄造に必要な銑鉄の入手は外部に依拠していたことが明らかにされている⁴⁾。遺跡外で生産されたとみることのできる原料銑鉄は、東京都西部の多摩ニュータウン別所遺跡、松本盆地にある長野県塩尻市吉田川西遺跡の、それぞれ10世紀、11世紀代の遺構からも発見されている (表3)。原料銑鉄の流通が平安中期にあったことは確実である。なお、北海道では13世紀頃までに、煮沸のための長甕 (深鉢形土器) が消滅し、カマドを持つなかがめ竪穴式の住居から床の中央に方形の炉を切る平地式家屋がみられるようになる。生活様式が大きく変わったことを示すものであるが、北海道考古学の研究者はそれ以降をアイヌ文化期とし、それ以前とは区別して扱っ

ている。10世紀代のみちのくにおける大規模な銅製造の展開と鑄造鉄器の普及にみられる鉄・鉄器に関する流通形態の多様化が、アイヌ文化の形成にも少なからぬ影響を与えたと考えることができる。

奥州藤原氏滅亡後しばらくの間、みちのくでは鉄関連遺構がみえなくなるが、その一方で、新潟県の北沢遺跡、さらに遠く離れた九州の狐谷遺跡が示すように、他地域では半地下式竪型炉による銅の製造が行われる。経済、政治基盤が整いまとまった量の鉄器を必要とする他地域への技術集団の移動があったようにみえる。

最近、神奈川県横浜市ふるさと歴史財団埋蔵文化財センターにより同市西ノ谷遺跡の発掘調査が行われ、11～12世紀代の火窯炉を伴う住居跡とともに、大鎧の製作に使用されたものに類似する加工途中の小札、刀子、鍬、馬具などの武具が検出された。坂本彰・伊藤薫の両氏により、火窯炉には青緑色の炉床をもつものと、鉄浴の再酸化物と思われる遺物を伴い内部が赤褐色に焼けたものの2種類が確認されている⁴⁾。出土した鉄塊、鉄滓、鉄器の金属学的解析が行われ、銅の製造と小札の製作がなされていた可能性の高いことが明らかにされた。この結果をふまえ、日本中世史の研究者福田豊彦氏は、武将の鎧として尊重される大鎧の誕生に東国の果たした役割の大きいことを指摘している⁷⁾。一方、応永30年 (1432年) の写本という最古の刀剣書『観智院本銘尽』の中には、奥州刀工、舞草鍛冶がみられるという⁸⁾。舞草は現在の岩手県一関市舞草の観音山南山麓と推定され、奥州藤原氏との関係が重要視されている。この地はもとより、みちのくから出土する刀剣の中に、直刀から湾刀への変遷をたどることがで

きるといわれているが⁸⁾、舞草鍛冶がその形態上の発展に影響を与えた可能性がある。奥州藤原氏滅亡後の活動については不明であるが、鎌倉期以降に舞草在銘の刀剣があることを考慮すると、地域を変えて作刀を続けたとみることもできる。謎につつまれた日本刀と大鎧誕生、そしてその後の変遷の解明にあたっては、社会情勢とともに生産拠点を換え活動を行った可能性のある銅製造技術集団との関係を視野に入れ、研究する必要がある。なお、網野善彦氏をはじめ、多くの歴史研究者は文献資料を基に、列島内を広域的に渡り歩いた複数の鋳物師あるいは鍛冶集団を指摘し、その活動が平安末まで遡る可能性のあることを述べている⁹⁾。今後文献史学と、考古学、文化財科学の研究結果とを突き合わせることによって、鍛冶や鑄造に係わった技術集団の実態が一層明らかになるものと思われる。

4 中世の城館跡にみる鉄器製作とその流通

南北朝、室町時代にはみちのくでも自然の地形を利用した地方豪族のとりで、館が築かれる。館は防衛機能のみにとどまらず日常生活の場としての役割をも担っていた。そこからは日常雑器や中世陶磁器とともに、武具や農工具に分類される豊富な鉄器が出土する。こうした状況は、時代経過とともに鉄器の普及が着実に進んだことを示すものといえる。前出の文献では、南北朝以降には平民百姓クラスの人々の生活の中にも、前代に比べ多様かつ豊富な鉄器が浸透したことが指摘されている⁹⁾。このような鉄器の普及とは逆に、みちのくでは南北朝、室町時代の鉄関連遺構が希薄になる。その状況は他地域でも同様であり、中世の鉄生産は見えにくくなるのである。この問題はどのように解釈できるだろうか。

15～16世紀に比定される青森県七戸町七戸城矢館跡からは、塊状滓とともに鉄塊に鉄滓が付着した遺物が検出された。鉄塊は、Ti-O系化合物とCaO-MgO-Al₂O₃-SiO₂系のガラス質けい酸塩からなる非金属介在物を含む、亜共析鋼であることが判明した(図3c)。共伴する鉄滓の中には、チタン化合物の残存する塊状滓もみられる。みちのくの北にある、同時期の北海道ノ国町上之国勝山館跡からは、レーデブライト組織と過共析鋼からなる鉄に鉄チタン化合物とガラス質けい酸塩によって構成される鉄滓が付着した遺物が、岩手県北部の山形村川井館遺跡では、レーデブライト組織の回りにTi(C,N)が残

存する遺物が見いだされた。それらの化学組成は表4に示すとおりであり、遺構の状況を考慮すると、小規模な銅製造が館の中もしくは周辺で行われていたとみることができる。上述をはじめとする城館跡からは多くの場合、鉄鍋、鉄釜、もしくはその破片が出土する。特に上之国勝山館跡の鉄鍋破片は膨大な数にのぼる。煮沸具が確実に鑄造鉄器に置き変わったことを示すものであり、ここに、原料鉄生産の増大とその流通の拡大をみてとれる。なお、北陸越前岬の^{いちじょうだに}戦国大名朝倉氏によって築かれた城下町、福井市一乗谷朝倉氏遺跡からは、厚さ7mm程度の三ヶ月状の遺物が出土し(図7)、P分を0.2%以上含有する鑄鉄であることが確認された(表3)。この時期の原料鉄鉄の流通形態を示す資料として注目される。

一方、青森県津軽平野にある浪岡町浪岡城跡からは34本に上る鉄鋌状鉄器が検出され(図8)、分析の結果、非金属介在物中に鉄チタン化合物の残存する亜共析鋼であることが判明した。同形態のものは青森県八戸市根城跡、岩手県盛岡市盛岡城跡、福島県福島市飯坂からも見いだされている。これらの事実は、室町時代には原料鉄鉄とともに銅素材の広域的流通があったことを示している。

原料鉄が流通経済にのっとり市場に放出された可能性のあることは、福田豊彦氏による「鉄を年貢に出す荘園一覧」¹⁰⁾、今谷明氏の『兵庫北関入船納帳』をもとにまとめた「鉄の輸送記事」¹¹⁾ という文献史学の研究からも指摘されている。さらに、佐々木稔氏は上述の文献資料に異なった単位が使用されているという事実に着目し、原料鉄鉄と銅素材がそれぞれ別に流通していたのではないかと推測しているが¹²⁾、このよ

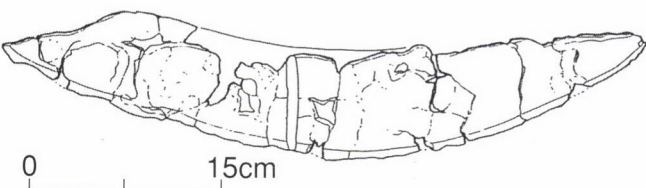


図7 福井県朝倉氏遺跡出土鑄鉄板

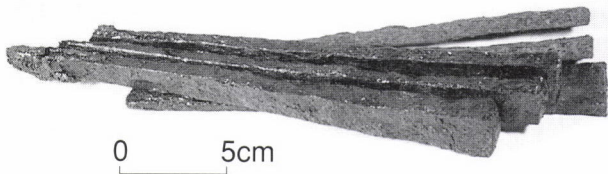


図8 青森県浪岡城跡出土鉄鋌状鉄器

表4 城館跡出土鉄塊・鉄滓の化学組成

No. 出土地	遺跡名	推定年代	化 学 成 分 (%)									
			T.Fe	C	S	Cu	Co	Ni	P	Mn	Ti	Si
1 北海道上之国町	勝山館	15～16C	83.30	2.60	0.045	0.18	0.01	0.02	0.12	0.01	0.066	0.29
2 青森県七戸町	七戸城矢館	〃	89.90	0.11	0.024	0.02	0.03	0.01	0.15	<0.01	0.017	0.41
3 岩手県山形村	川井館	〃	56.61	—	0.096	<0.01	<0.01	<0.01	0.06	0.30	11.2	0.62

うな研究結果も上述の遺物の解析結果と合致する。

遺物の出土状況とその組成、および文献資料に基づけば、中世の鉄・鉄器生産は古代末同様、銑鉄生産、銅製造、それらを素材とする鑄造または銅製鉄器の製作に整理でき、とりわけ銅製造法に着目すれば、空気酸化という点で具体的方法が異なるが、近世たたら吹製鉄における銑押法に技術的に近似することに気がつく。銑押法では砂鉄を始発原料として銑鉄を生産する。つぎに得られた銑鉄を大鍛冶場に運び、左下と本場と呼ばれる2段階の工程をへて、目的とする銅が製造されたといわれている¹³⁾。みちのくにおける原料鉄の流通、鉄器の製作とその使用状況、ならびに他地域との比較をとおして、鉄器需要が増加していくなか、銑鉄使用量も増え、生産体制が分業化し、近世たたら吹製鉄の銑押法が確立していく様相を読みとることができるのである。

このようにみれば、列島内の古代末から中世の鉄・鉄器生産とその流通問題を解き明かす第一歩は、流通の出発点にある銑鉄生産地域の推定にあるといえよう。中国地方では岡山県田淵 1号遺跡、広島県石神遺跡をはじめとし、14～16世紀に比定される製錬炉跡が発掘されている¹⁴⁾。鉄の生産拠点がこの地域にまとまり近世たたら吹製鉄へと発展したと解釈できるが、前代に比べその数は少ない。また、検出された炉の多くはその下部構造から箱型炉とみなされてはいるものの、炉床部の上の設備や炉内で造り出された鉄の組成は不明である。現在製錬炉跡と扱われているものについて、まず上述の問題の解明をはかり、遺物の分析結果と対比しながら列島内における銑鉄供給候補地を推定する必要がある。

表3には原料銑鉄、図5bには中世のみちのくと北海道出土鉄器、それに両地域の遺跡内から検出された砂鉄の組成を示した。古代末同様、砂鉄よりはるかに高いレベルのCu分やCo分を含む鉄器の存在を考慮すると、始発の原料鉱石を砂鉄に限定して中世の鉄を説明することは難しく、鉄鉱石の使用を想定しなければならない。みちのくはもとより、列島内の中世の遺跡からは膨大な数にのぼる舶載陶磁器や中国銭貨が出土する。唐王朝の滅亡をきっかけとして、東アジア諸国の国際的政治秩序が変容し、経済的交易関係が形成されたとする見解が提出されているが¹⁴⁾、前述の遺物の解析結果は、銑鉄供給候補地として大陸を設定し、そこから派生する中世の鉄の流通問題を、東北アジア経済圏の中で解明を計る必要があることを示している。列島内、さらにはそれを取りまく東北アジア全体の社会情勢の変化の中で、列島内のそれぞれの地域に応じた鉄文化が生まれ、生産地域あるいは生産形態の変化を重ねながら、近世たたら吹製鉄へと集約されていったと筆者は考える。南部鉄もそうした時代の中で発展したと思われるが、そこには、大航海時代の幕開けによる西欧各国の東アジアへの進出、幕藩体制の確立と鎖国という、政治・経

済情勢の激変の影響があったのかもしれない。

中世の鉄の問題については、考古学、文献史学、文化財科学等を専門とする研究者により学際的研究が開始され、その成果も公表され始めた⁹⁾。今後、統計学的研究手法の導入による原料銑鉄の供給地域と供給量の経時変化を推定することによって、その実態が一層みえてくるにちがいない。

5 おわりに

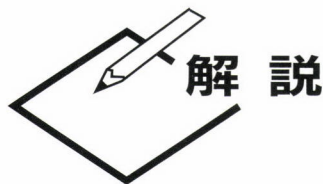
文化財科学の立場から“みちのく”の地を通し、中世の鉄を概観した。その結果、東北アジア経済圏の中で列島内の鉄・鉄器生産が営まれ、政治・経済情勢の変化に応じて発展していく様相がみえてきた。現在の産業構造の一端を中世に垣間みることができたともいえる。過去を振り返り、今後の産業が進むべき方向を見つめ直す必要を感じさせられた次第である。なお、本稿における金属学的説明のいたるなさは、すべて筆者の金属学的知識の不足によるものであり、ご叱正を賜れば幸いである。

おわりに臨み、貴重な資料の提供と、専門分野からのご指導、ご助言をいただいた考古学、歴史学、金属工学の先生方に厚くお礼申し上げる。

引用文献

- 1) 『北の鉄文化』岩手県立博物館編、(1990)
- 2) 『よみがえる中世4 北の中世』、菊池徹夫、福田豊彦編、(1989)
- 3) 三浦圭介：『中世都市十三湊と安藤氏』、国立歴史民俗博物館編、(1994)、p.137
- 4) 季刊考古学、57、雄山閣出版、(1996)
- 5) 佐々木稔：『蓬田大館遺跡』、桜井清彦、菊池徹夫編、(1987)、p.251
- 6) 『柳之御所跡発掘調査展』、岩手県立埋蔵文化財センター編、(1995)
- 7) 坂本彰、福田豊彦：「神奈川県横浜市 西ノ谷遺跡」『日本史研究』、480、p.50
- 8) 石井昌国：『蔵手刀』、雄山閣出版、(1966)
- 9) 網野善彦：『日本中世の民衆像』、岩波新書、(1985)
- 10) 福田豊彦：『中世の風景を読む1』、網野善彦、石井進編、(1995)、p.153
- 11) 今谷明：『統鉄の文化史』、東洋経済新聞社、(1988)
- 12) 佐々木稔：『いくさ』、福田豊彦編、(1993)、p.39
- 13) 河瀬正利：『たたら吹製鉄の技術と構造の考古学的研究』、溪水社、(1995)
- 14) 西島定生：『日本歴史の国際環境』、東京大学出版会、(1994)

(1996年10月7日受付)



伸び続ける電磁鋼板

岡見雄二
Yuji Okami

NKK鉄鋼事業部薄板技術開発部 主幹

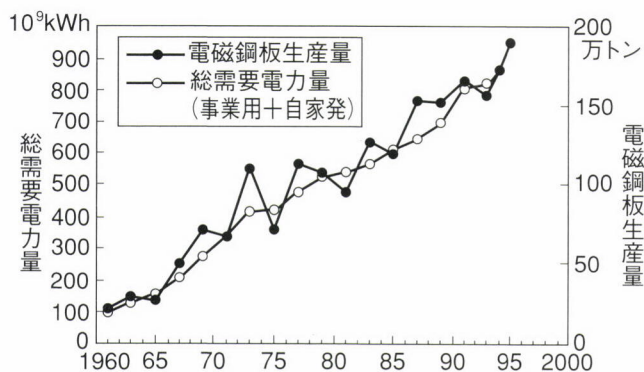
Increasing Magnetic Steel Sheet and Strip

1 はじめに

身の回りを見渡すとほとんど全ての機器がスイッチひとつで動く「電気文明」の中で、私どもは生活している。一般的には水力・原子力・火力発電で発電機を通して、力学・物理・化学的エネルギーを電気エネルギーに変換し、変圧器（トランス）を介して電気エネルギーを輸送・調整し、直接使うか、電動機（モータ）で機械的エネルギーに変換して使う訳である。各家庭で使われているモータ数を数えてみると、自動車に30～40、エアコンに9、換気扇に3、VTRに4……、優に100個は使われている。皆さんご存じでしたか？

これらのモータやトランス等の鉄心に使われているのが電磁鋼板である。磁気を通し易く、鉄損（鉄心によるエネルギーロス）が少なく、効率的なエネルギー変換・調整が可能になる。即ち、電気文明は電磁鋼板があって初めて成り立ち、発展するのである。しかし、電気には馴染みがあるが、磁気、電磁鋼板？なんだそれはという話をよく耳にする。本報告は電磁鋼板の生産動向、歴史や技術動向など全般に亘り客観的に、かつ平易に解説したものである。

2 電磁鋼板の生産動向



参考資料：電力白書、日本鉄鋼連盟生産実績

図1 日本における総需要電力量と電磁鋼板生産量

図1に我が国における電磁鋼板の生産量と総需要電力量を示す。電力量は当然ながら電気文明の発展と共にコンスタントに伸びている。また、電磁鋼板の生産量も景気の波に振られてはいるが電力量とほぼ同じ傾向であり、電気文明を支えている事を証明している。

電磁鋼板は、主にトランスなどの静止器に使われる方向性電磁鋼板と主にモータ等の回転機に使われる無方向性電磁鋼板に分けられる。我が国における方向性電磁鋼板の生産量比率は全体の20～30％であり、世界全体で見てもほぼ同じ比率である。

国別生産量の最近の統計を得るのは難しいが、1988年の統計（図2）によれば、日本は世界のほぼ30％を生産し、世界最大の生産国である。日本の輸出比率は50～60％であり、日本は世界最大の供給国でもある。世界的には電磁鋼板の供給能力は不足気味である。また現在東南アジア各国を中心に電気文明化の進展が目覚ましく、電磁鋼板使用量の伸び

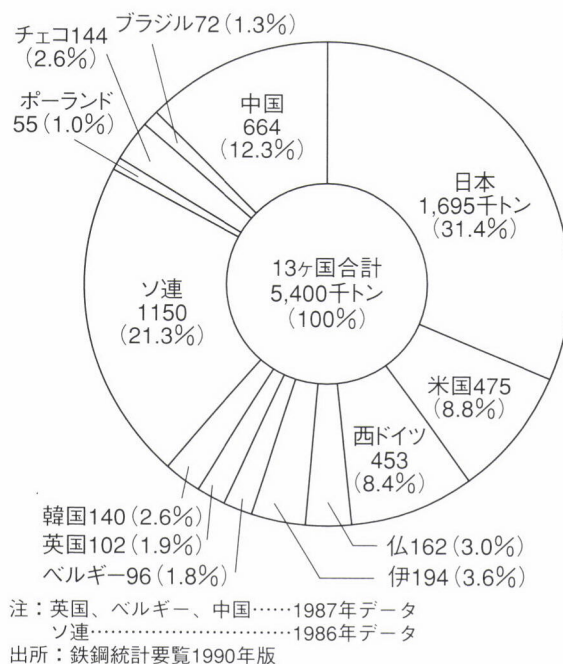


図2 電磁鋼板の国別生産量（1988年）

が顕著である。日本が今後これらの国、更には全世界に対してどのような形で貢献して行くのかに興味を持たれる。

3 電磁鋼板の歴史

表1に日本を中心にした電磁鋼板の歴史を示す。鉄に珪素を添加すると鉄損が非常に小さくなることを1900年英国人Hadfieldが発見した。以来珪素鋼板として発展してきた訳であるが、現在は電磁鋼板と呼ばれる様になった。歴史を振り返る時全てを電磁鋼板と呼ぶのは問題との指摘を理解し

表1 日本を主体にした電磁鋼板の歴史

年	主な事項
1900	Hadfield (英) が電磁鋼板の発見
1904	米、独で熱延電磁鋼板の工業生産開始
1924	新日鉄 (当時の官営八幡製鉄所) が熱延電磁鋼板の工業生産開始
1926	本田、茅による鉄の磁気異方性の発見
1929	新日鉄がトランス用T級熱延電磁鋼板の生産開始
1931	川鉄が熱延電磁鋼板の生産開始
1934	Goss (米) が方向性電磁鋼板の発明
1935	Armco社が方向性電磁鋼板の生産開始
1954	川鉄が無方向性冷延電磁鋼板の生産開始
1956	新日鉄が無方向性冷延電磁鋼板の生産開始
1958	新日鉄、川鉄が方向性電磁鋼板の生産開始
1961	新日鉄が熱延電磁鋼板の生産中止
1968	新日鉄が高磁束密度方向性電磁鋼板 (HI-B) の生産開始
1972	川鉄が高磁束密度方向性電磁鋼板 (RG-H) の生産開始
1983	新日鉄がレーザーによる磁区幅制御材 (ZDKH) を生産開始
1987	川鉄がプラズマによる磁区幅制御材 (PJ) を生産開始
1993	NKKが珪素6.5%含む特殊電磁鋼板 (通称6.5%珪素鋼板) の生産開始

注) 現在の製造メーカー

＜方向性:新日鉄,川鉄
無方向性:新日鉄,川鉄,NKK,住友金属,神鋼

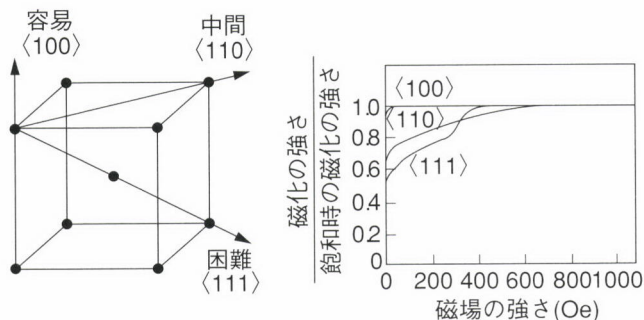
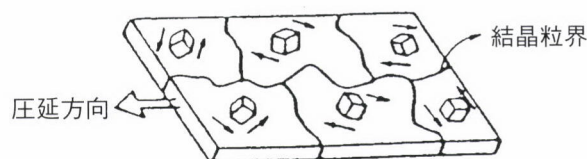


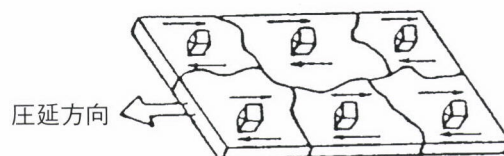
図3 鉄の結晶方位と磁化特性¹⁾

ながらも全て電磁鋼板と呼ぶことにした。

1904年頃から欧米各国で熱延電磁鋼板の工業生産が開始されたが、日本では1924年当時の官営八幡製鉄所 (現新日鉄) で製造が開始された。1926年に本田、茅により鉄の結晶磁気異方性の発見¹⁾ (図3) があり、Armco社のGossによって、この磁化しやすい<100>軸を圧延方向に揃えた方向性電磁鋼板が発明された。これは(110)<001>方位を有している。この組織は現在でもGoss組織と呼ばれている。またランダム組織のものは無方向性電磁鋼板として区別された(図4)。



(1) 無方向性電磁鋼板 (ランダム組織)



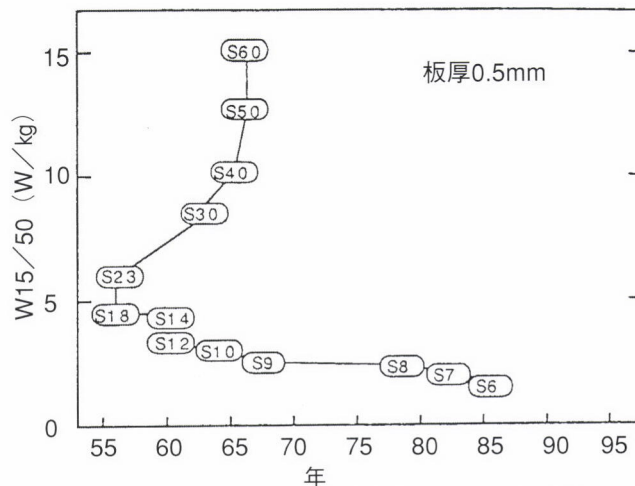
(2) 方向性電磁鋼板 (Goss 組織)

(注) →磁化容易方向 (<001>軸) を示す

図4 電磁鋼板の結晶配列

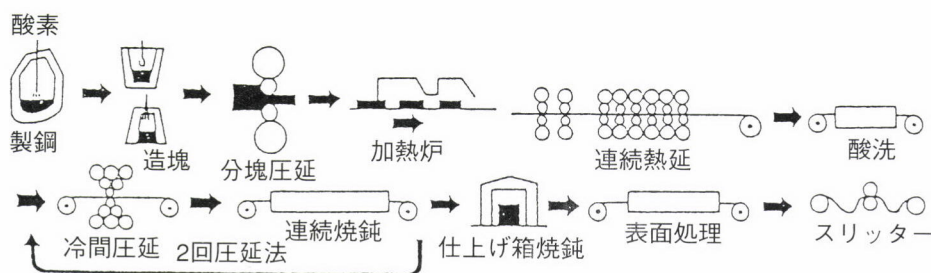
3.1 無方向性電磁鋼板の歴史

熱延電磁鋼板は1925年珪素量1~2%のB級材の製造に始まり、C級、D級……、更には変圧器用のT級 (珪素量4~4.5%) と特性は向上したが、プルオーバーミルによる生産性の悪い切板圧延であった。その後溶接によるコイル化の



(注) W15/50: 周波数50Hz, 磁束密度1.5テスラ時の鉄損

図5 無方向性電磁鋼板のグレード別開発推移²⁾

図6 Armco社（米）の方向性電磁鋼板製造プロセス³⁾

動きもあったが、1954年特性の優れた、高品質の無方向性冷延電磁鋼板がコイル状で量産され、1967年熱延電磁鋼板は生産中止となった。無方向性冷延電磁鋼板（以後無方向性電磁鋼板）は中級品（S23～S18）から製造が開始されたが、低珪素・低コスト化と高珪素・低鉄損化に2極分化して発展し²⁾（図5）、更に全体的に低鉄損化していった。

3.2 方向性電磁鋼板の歴史

Gossによって発明された方向性電磁鋼板は1935年Armco社（米）によって工業化された。その製造プロセス³⁾を図6に示す。この技術は日本に導入され、日本では1958年に生産が開始された。この方法は2回の冷間圧延を行い、2回目の連続焼鈍で脱炭し、最後に1200℃という高温で長時間の仕上げ箱焼鈍を行い、Goss組織を得ると共に成分を純化する方式で、2回冷延法と呼ばれている。その後特性向上の研究が進められ、磁束密度の高い、鉄損の非常に少ない高磁束密度方向性電磁鋼板が1968年1回冷延法（HI-B）で、1972年には2回冷延法（RG-H）で製造された。これらの技術は世界中に輸出されるなど現在では日本が世界をリードしていると言っても過言ではない。

4 現代の電磁鋼板製造プロセス

方向性電磁鋼板の製造プロセスはArmco社の製造プロセス（図6）のうち造塊、分塊工程が連続鋳造に変わってはいるが、大きなプロセス差はない。製造や特性の安定・向上面での付带的設備（図に表示なし）には差があるが、メインプロセスに差がないということは1935年当時の技術の素晴らしさを物語っている。

無方向性電磁鋼板の製造プロセスを図6で説明すると、先ず1回冷延法が主体である。Goss組織を成長させる仕上げ箱焼鈍は必要なく、連続焼鈍が最終の仕上げ焼鈍になっている。また、連続鋳造化と連続冷間圧延化が進んでいる。更に絶縁皮膜（後述）は連続焼鈍の出側でインライン処理されており、表面処理ラインを省くのが一般的である。

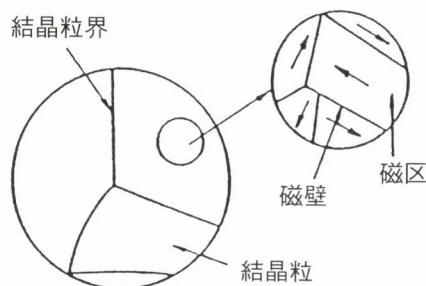
方向性電磁鋼板と無方向性電磁鋼板との製造プロセス差

は意外と少ないように見えるが、方向性のGoss組織を安定して得るために必要な設備と無方向性のものとは設備内容に大きな差がある。例えば加熱炉で比較すると、無方向性電磁鋼板の場合加熱温度は1100℃～1200℃であるが、方向性電磁鋼板の場合1300℃となる。ところが表面の珪素を含むスケール層は1200℃を越えてくると熔融するため、方向性電磁鋼板の場合加熱炉は無酸化方式となる。

5 電磁鋼板の磁化と鉄損および高品質化

皆さんは釘に磁石を近づけると吸いつき、更に釘に釘が連鎖状に繋がった経験を持っていると思う。これは釘が磁化されているのである。このように強く磁化されるものを強磁性体と呼び、鉄、ニッケル、コバルトで代表される。この様な強磁性体は最大限に磁化された自発磁化（小さな磁石⁴⁾）を持つ磁区で構成されている。鉄の場合最も磁化され易い<100>軸と自発磁化の方向が一致している。最も磁化され易い<100>軸とは図3より立方晶の一边を意味しているから、磁化容易軸は互いに平行か直交している。従って、隣りあう磁区は180°（平行）か90°（直交）である。また、磁区の境界は磁壁と呼ばれている⁴⁾（図7）。

1つの結晶粒毎にこの様な磁区に区分され、磁化されていない時は材料全体で磁気を持たない消磁状態になっている。初磁化曲線を図8に示す。模式的に説明すると磁界の強さ（磁化する電流：A/m）を大きくすると最初は動き易い180°磁壁が移動し（図8（b））、続いて90°磁壁が動く（図8（c））。最後に自発磁化が磁化方向に回転し、磁化は飽

図7 結晶粒と磁区⁴⁾

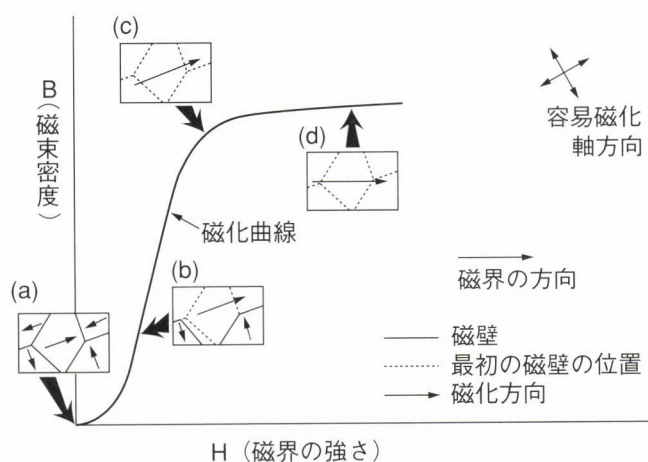


図8 電磁鋼板の初磁化曲線と磁壁の移動⁴⁾

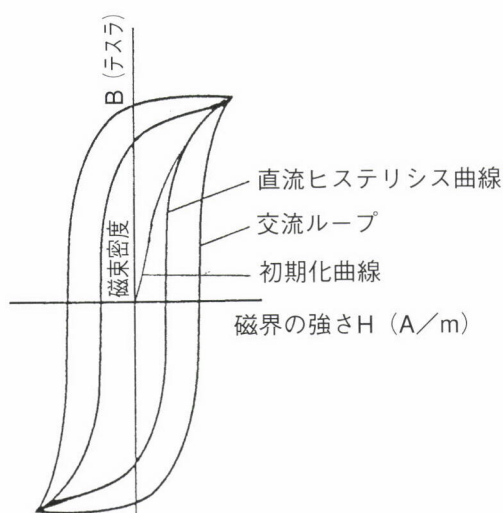


図9 直流ヒステリシス曲線、交流ループ

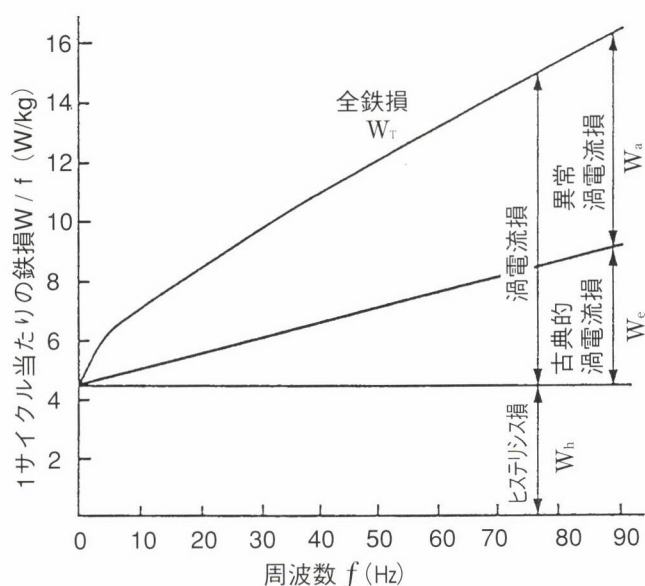


図10 1サイクル当たりの鉄損との周波数との関係

表2 鉄損に及ぼす要因と主な対策

鉄損 W_T	[主な要因]	[主な対策]
ヒステリシス損 W_h	内部歪み	少なく
	不純物	高純度化
	集合組織	
	結晶方位	
	結晶粒径	大きく
渦電流損	表面粗さ	平滑化
	固有抵抗	大きく
	板厚	薄く
	磁区幅	磁区細分化
		張力皮膜
異常渦電流損 W_a	古典的渦電流損 W_e	
	異常渦電流損 W_a	

※1 無方向性の場合、結晶粒が小さいため一般的には無視できる

和する(図8 (d))。なお、鉄心の単位断面積当たりの磁化の大きさを磁束密度(テスラ、または W_b / m^2)と呼ぶ。

磁化後電流を下げて元に戻らず、図9の様な直流ヒステリシス曲線を描く。交流で磁化すると直流ヒステリシスループが更に広がった交流ループになる。この交流ループの面積が1サイクル当たりの鉄損となる。この1サイクル当たりの鉄損 W/f は図10のようになる。1サイクル当たりのヒステリシス損 W_h/f は周波数によらず一定であるが、渦電流損は磁束変化に伴う古典的渦電流損 W_e と磁壁移動に伴う異常渦電流損 W_a の合計となる。これらの損失は色々解析されており、次の式で概略表せる。

$$W_T = W_h + W_e + W_a$$

$$W_h = a_1 \cdot f \cdot B_m^{1.6}$$

$$W_e = a_2 \cdot t^2 \cdot f^2 \cdot B_m^2 / \rho$$

$$W_a = a_3 \cdot B_s^2 \cdot V^2 \cdot t / \rho$$

$$\left[\begin{array}{ll} f: \text{周波数} & \rho: \text{固有抵抗} \\ t: \text{板厚} & V: \text{磁壁の移動速度} \\ B_m: \text{最大磁束密度} & a_1, a_2, a_3: \text{定数} \\ B_s: \text{飽和磁束密度} \end{array} \right]$$

W_e が板厚の2乗に比例するため、電磁鋼板の板厚は一般的には0.2～0.5mmと薄く、積層して使用される。また積層時の板間の絶縁を確保する必要があり、電磁鋼板の表裏面には絶縁皮膜が施されている。更に W_h は鉄の固有抵抗に反比例するが、鉄の固有抵抗を最も効果的に大きくする元素が珪素であり、これが珪素量を増やすと鉄損が低下する理由である。鉄損に及ぼす各種要因を表2に示す。内部歪みは磁気特性を大幅に劣化させるが、製造に当たっては原則的に除去されている。使用に当たって特に注意する必要がある。

5.1 無方向性電磁鋼板

W_a は、結晶粒が小さいため磁区幅が狭く、磁壁の移動速度が遅いため無視できる。一般的に珪素を添加し W_e を下げると W_h 比率が増大し、 W_h を如何に低減するかが過去の歴史であった。現在でも W_h は板厚0.5mmの場合通常全鉄損の60～70%を占めている。 W_h を小さくするには、磁壁移動を妨げる微小な不純物を少なくする(高純度化)ことや残存する不純物を粗大化させ、数を少なくし、悪影響をミニマム化するなどの対策が取られた。更に集合組織面では、磁気を通しにくい $\langle 111 \rangle$ 軸を如何に少なくするかなどの検討が進み、製品の多様化が図られた⁵⁾。

5.2 方向性電磁鋼板

一般の方向性電磁鋼板では $W_h : W_e : W_a = 4 : 3 : 3$ ⁶⁾程度。このうち W_e は板厚と珪素量でほぼ決まる。珪素量は製造上やGoss方位の安定性より3.2%前後で調整余地が少ない為、薄手化が W_e 低減には有効である。また W_h の低減はGoss方位の圧延方向からのずれを如何に小さくするかであり、 W_a の低減は磁区間隔を狭く、均一化し、磁壁の移動速度を遅くかつ均一化することである。以上集合組織制御^{*1}、磁区の細分化と薄手化が特性向上の歴史であった。

Armco社の実現した製造技術は現在に於いても主要技術であるが、当時は何故Goss方位ができるのか明らかではなかった。その後基礎研究が進み⁷⁾、Goss粒がマトリクス粒を喰って成長する時間を与えれば良いことが明らかに成った。そしてMnS、AlNをインヒビター^{*2}とする高磁束度電磁鋼板HI-B (新日本製鉄)、MnSe、SbのRG-H (川崎製鉄)が生まれたのである。これらの製品ではGoss方位の圧延方向からのずれは一般材の平均7°に対し、3°と実に見事なものである。しかし方位のずれが少ないと磁区間隔が広がり、 W_a が増大する。そこで皮膜により張力を掛け、ランセット磁区を消滅させ、磁区を細分化する⁸⁾方法が取られた。更に、磁区細分化の研究が進み、現在ではレーザー照射により磁区を細分化した電磁鋼板 (ZDKH)⁹⁾なども市販されている。

6 技術動向および新材料

方向性、無方向性電磁鋼板とも技術の進歩は目覚ましく、どんどん多様化しているが、今後の方向や注目すべき新材料全てについて言及するのは紙面が足りないので、2～3に絞って解説する。

6.1 方向性電磁鋼板

集合組織・磁区幅制御は今後も進展し、低鉄損化して行く筈であるが、どこまで行くのかを考えた場合、アモルファス (Fe基) を凌げるかに興味を持たれる。アモルファスの板厚は25 μ mと薄く、飽和磁束密度が低く、単純に鉄損だけで比較するのには疑問があるが、その比較を図11に示す。アモルファスが一般的に使われる磁束密度1.3テスラで50Hzの鉄損 ($W_{13/50}$) で比較すると、HI-Bレーザー磁区幅制御材 (ZDKH) で0.43W/kg (新日鉄カタログ) とアモルファスの0.16～0.20W/kg (ラップコア) に届かないが、表面エネルギー差を利用した三次^{*}再結晶電磁鋼板は0.17W/kg (板厚71 μ m) が得られており¹⁰⁾、アモルファスにほぼ届いている。薄物方向性電磁鋼板の研究は進んでおり、その製造には幾多の困難が待ち構えている筈であるが、近い将来アモルファスを凌ぐ方向性電磁鋼板工業化という吉報を期待したい。

6.2 無方向性電磁鋼板

つい最近まで実用化している電磁鋼板の珪素量は3.5%程度までであり、この範囲で高磁束密度化、低鉄損化などの高品質化、多様化が図られて来た。珪素量と諸特性との相関は1950年代迄には明らかにされていた^{11～13)}。それを図12に示す。定性的に見ると、珪素量が6.5%近辺で鉄損が最小になり、透磁率 (磁化のし易さ) が最大になり、磁歪 (磁

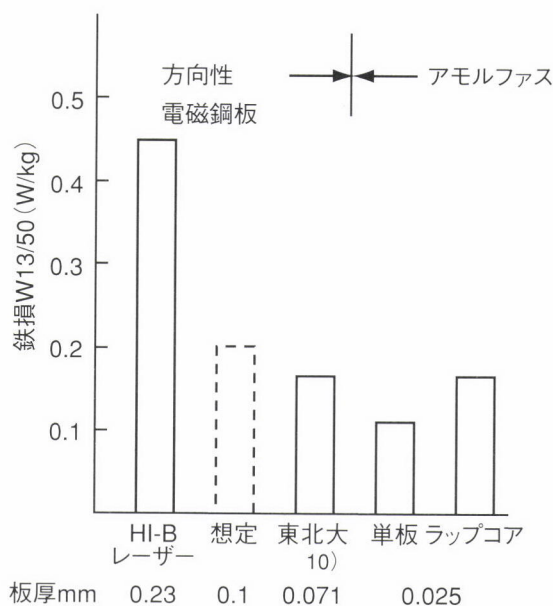


図11 鉄損 ($W_{13/50}$) 比較

*1 磁気を通し易い方位配列とすること。方向性電磁鋼板の場合は $\langle 111 \rangle$ < 001 >方位とすること。

*2 抑制剤。地の結晶粒 (マトリクス粒) の成長を抑制する析出物。目的: GOSS粒がマトリクス粒を蚕食する時間を確保するため、マトリクス粒の成長を抑制する。

*3 温度を上げると一次再結晶粒が浸食され、二次再結晶による粒成長が進む。薄鋼板の場合、二次再結晶粒が板厚より大きくなってから、真空中では $\langle 110 \rangle$ < 001 >方位が他の粒を蚕食して異常粒成長をおこす。荒井らはこれを三次再結晶と名付けた。

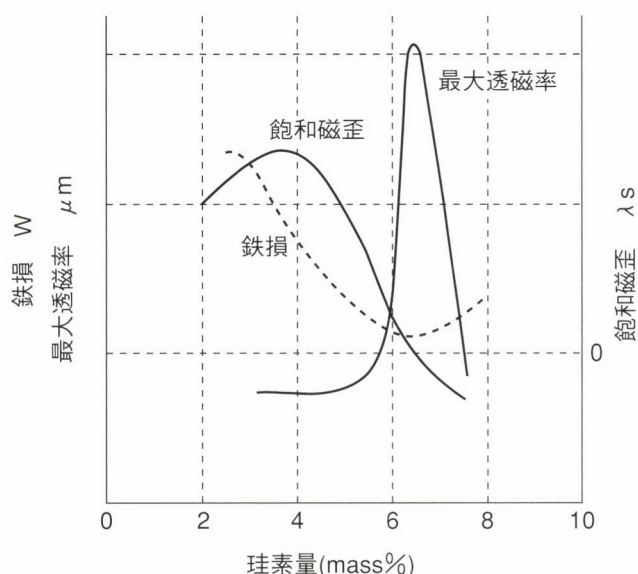


図12 珪素量と磁気特性

化した時の寸法変化)が零になる。磁歪が零とは磁歪振動が起きない、即ち低騒音という観点からも注目された。しかし珪素量が4.5%以上になると常温伸びが零になる¹⁴⁾という壁を破ることが出来ず、工業化されなかった。ところが珪素量3%で薄鋼板を作り、その後珪素を連続的に反応・拡散させる連続珪法^{15,16)}で1993年NKKによって工業化された。この6.5%珪素鋼板は粒界酸化防止などの加工性向上対策により常温伸び5%を示し、高周波用機器を主体に幅広く使用されつつある¹⁷⁾。今後は広い珪素量範囲で高品質化、高機能化、多様化が進むものと考えられる。

6.3 超高磁束密度化

6.1、6.2は従来からの延長線上での動きであるが、更に原点に戻って見よう。機器の小型化より高磁束密度材へのニーズは強い。純鉄の飽和磁束密度は2.15テスラ、3%珪素の電磁鋼板で2テスラ。しかし α 鉄の磁気モーメントの最大値は3dホールの数約3個より約 $3\mu_B$ (約3テスラ)であり、体積膨張が可能ならば、高磁束密度化が期待できる¹⁸⁾。既に窒化鉄($Fe_{16}N_2$)で飽和磁束密度は2.8テスラが得られている。だがこれは相の不安定など電磁鋼板には向かないのが現状である。技術の進歩は目覚ましく、超高磁束密度電磁鋼板の開発が加速することを期待している。

7 おわりに

電気文明が続く限り電磁鋼板の生産量は今後とも伸び続けるであろうし、高品質化、高機能化、多様化が進むであろう。電磁鋼板全般に渡って、筆者の私見も若干は入ったが、出来るだけ客観的に解説したつもりである。電磁鋼板の理解に若干なりとも役立てば幸いである。また文献を引用させて戴いた方々には紙面を借りて厚く御礼申し上げます。

文献

- 1) K.Honda and S.Kaya : Sci-Repts.Tohoku Imp.Univ., 15 (1926) ,p.721
- 2) 電磁・ステンレス技術部：製鉄研究,310 (1982) ,p.150
- 3) 磁性体ハンドブック,朝倉書店, (1988) ,p.1073
- 4) 幸田成康：百万人の金属学(基礎編),アグネ社 (1965) , p.257
- 5) 小原隆史：第155・156回西山記念技術講座,日本鉄鋼協会編, (1994) ,p.192
- 6) J.E.L.Bishop : IEEE Trans.,MAG-16 (1980) ,p.129
- 7) J.E.May and D.Turnbull:Trans.AIME, 212 (1958) ,p.769
- 8) N.Baer, A.Hubert and W.Jillek : J.Mag.Mag.Mat, 6 (1977) ,p.242
- 9) 新日本製鉄株式会社：方向性電磁鋼帯カタログ Cat.No.SC 503,p.6
- 10) 荒井賢一,石山和志：第155・156回西山記念技術講座,日本鉄鋼協会編, (1994) ,p.12
- 11) 増本量,山本達治：日本金属学会誌,1 (1937) ,p.127
- 12) W.E.Ruder : Proc.I.R.E., (1942) ,p.437
- 13) W.J.Carr and R.Smoluchowski : Phys. Rev, 83 (1951), p.1236
- 14) R.M.Bozorth : Ferromagnetism, D.Nostrand Co.Inc,N.J., (1951), p.77
- 15) 石川勝,岡田和久,岡見雄二,鈴木絃之,田中靖,高田芳一 : NKK技報,145 (1994) ,p.53
- 16) 岡見雄二,阿部正広,山路常広,高田芳一,二宮弘憲：鉄と鋼,80 (1994) ,p.777
- 17) 日経マテリアル, 144 (1994) ,p.80
- 18) 志賀正幸：日本応用磁気学会誌,3 (1991) ,p.685

(1996年10月29日受付)

名 誉 会 員 追 悼



故 名誉会員 橋口 隆吉 君

社団法人日本鉄鋼協会名誉会員、元副会長、日本学士院会員、東京大学名誉教授、元東京理科大学工学部長故橋口隆吉博士は、平成8年10月4日、ご逝去されました。享年82才でした。謹んでご冥福をお祈り申し上げますとともに追悼の辞を捧げます。

先生は本会の理事2期4年間、うち昭和41年4月から同43年4月までは副会長を勤められ、その後長期に渡り本会評議員として本会の発展に寄与されました。また昭和41年8月から同55年4月まで欧文会誌分科会主査としてTransactions of the ISIJを世界的最高水準の学術誌とすることに寄与され、昭和50年協会事業功労賞を受けておられます。この他関連学協会での活動も目覚ましく、日本金属学会会長、日本結晶成長学会会長を勤められ、日本学術振興会におきましても委員会委員長として活躍されました。

先生は金属学および関連領域において優れた研究業績をあげておられます。特に格子欠陥論の分野では“橋口ピーク”と呼ばれる緩和型内部摩擦の発見とその転位論的解明により、国際的に知られております。これらに対し昭和49年に西山賞をうけられ、同51年には日本学士院賞、同56年には日本金属学会賞、同57年には本多記念賞を受けておられます。更に昭和61年には鉄鋼その他の物理冶金的金属学研究に対する大きな貢献をされたことにより本会名誉会員とされました。

先生は学術の国際交流には特に力を入れてこられ、昭和45年本会主催の第1回鉄鋼科学技術国際会議で実行委員長を勤められたほか、数多くの国際会議で組織委員長としてご活躍されました。この間オーストリア科学アカデミー外国人名誉会員とされました。また、日中科学技術交流協会会長として両国の友好と学術交流に尽力され、中国科学院金属研究所名誉教授とされました。更に、国際学会誌におきましてもCrystal Lattice Defects, Journal of Nuclear Materialsなどの編集委員長、Acta Metallurgica副編集委員長、Radiation Effects編集長として国際的に指導力を発揮されました。

このような研究ならびに教育における著しいご業績に対し昭和62年には勲二等瑞宝章を受けられました。

平常ご健康に留意しておられ、お元気であられたので益々のご指導を賜れるものと思っておりましたが、永遠のお別れをしなければならなくなり、誠に痛恨の極みであります。

名誉会員橋口隆吉先生の本会発展に尽くされました偉大なご業績を偲び、会員一同心から哀悼の意を捧げ、謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

平成8年10月

社団法人日本鉄鋼協会 会長 野田 忠吉

名 誉 会 員 追 悼



故 名誉会員 Einar Louis AMÉEN 君

社団法人日本鉄鋼協会名誉会員Einar Louis AMÉEN氏（スウェーデン）は1996年8月9日ご逝去されました。享年95才でした。

氏は1901年ストックホルム市に生まれ、1926年ストックホルムの王立工科大学（Royal Institute of Technology）を卒業、Norsk Staal A.S. および Uddeholms A.B. において主としてステンレス鋼の研究に従事した後、1947年から1966年までSurahammars Bruks A.B.の社長の重責にありました。その間スウェーデン鉄鋼連盟、スウェーデン鉄鋼協会（Jernkontoret）の役員に就任、殊にスウェーデン鉄鋼協会では共同研究会議長として同国の鉄鋼技術の進歩発展に指導的役割を果たされました。その他ストックホルム金属協会議長などの要職を歴任されており、これらの業績によりVasa 2等勲章が授与されています。また、1960年には王立理工学アカデミー会員に推挙されています。

氏は日本をはじめアメリカ、ヨーロッパ諸国との技術交流にも活躍され、1967年（昭和42年）には本会名誉会員に推挙されました。

名誉会員Einar Louis AMÉEN氏のご業績を偲び、会員一同心から哀悼の意を捧げ、ご冥福をお祈り申し上げます。

平成8年10月

社団法人日本鉄鋼協会 会長 野田 忠吉

Strängnäs Oct 10, 1996

Dear Sirs,

With regret I have to inform you that my father, Einar Améen, (ISIJ I.D. NO. 901273) peacefully passed away on August 9, 1996 at the age of 95.

Though he had had a stroke five years ago he luckily kept his mental abilities clear and among other things was reading your Journal regularly.

He very much appreciated the membership on the Iron and Steel Institute of Japan and frequently referred to the trips he made to Japan during the seventies. Trips that he enjoyed and that impressed him very much.

With my best regards

Sincerely

Louis Améen

第2回世界製鉄会議 (ICSTI '98) への参加案内

1994年に仙台で開催された第1回会議に引き続き、第2回会議がアメリカのIron & Steel Society主催で下記要領で開催されます。

- 1.期日：1998年3月22日～25日
- 2.場所：シェラトンセンター、トロント、カナダ
- 3.応募テーマ：①基礎理論、②新製鉄法 & 新コークス・プロセス、③原料関係、④製鉄関係の設備の長寿命化、⑤高炉のコークス比低減、⑥環境関係、⑦計測・制御およびモデリング

* 論文発表ご希望の方は、1997年2月末日までにアブストラクト (50words) をISSへ直接送付のこと。

問合せ先	(社)日本鉄鋼協会 生産技術部門事務局 技術企画グループ 笹原
	TEL.03-3279-6023 FAX.03-3245-1355

本会インターネット電子メールアドレスのお知らせ

本会は会員増強特別委員会の提言に基づき、インターネットによる本会情報の発信を行い、会員各位へのサービスを向上するため、本会ホームページ設置の準備を進めております (公開予定は1997年1月)。それに先立ち、1996年10月15日より協会業務グループ単位で電子メールアドレスを持つこととなりました。つきましては、今後は下記のグループ別アドレスをご活用下さるようご案内いたします。

総合企画事務局	総合企画グループ：corplan@isij.or.jp 経理グループ：finance@isij.or.jp	総務グループ：admion@isij.or.jp 会員事務・システム管理グループ：members@isij.or.jp
学会部門事務局	学術企画グループ：acapan@isij.or.jp 刊行・文献情報グループ：publid@isij.or.jp	編集グループ：editol@isij.or.jp
生産技術部門事務局	技術企画グループ：techplan@isij.or.jp 育成グループ：educact@isij.or.jp	部会担当グループ：restech@isij.or.jp

本会情報一覧

記事内容	掲載号
鉄鋼研究振興助成 (含む石原・浅田研究助成) 第6回受給者のお知らせ	本号 60頁
第3回外国人博士研究員奨学助成募集案内	本号 61頁
第33回白石記念講座「発電事業とビジネスチャンスーわが国の電力事情の現状と将来」開催案内	本号 62頁
第2回世界製鉄会議 (ICSTI'98) への参加案内	本号 63頁
本会インターネット電子メールアドレスのお知らせ	本号 63頁
計測・制御・システム工学部会賞候補者推薦のお願い	本号 64頁
シンポジウム「鉄鋼業のCIM・FA化のためのシステム技術ー最適化のメタ戦略とその応用」開催案内	本号 64頁
出版案内	本号 73頁
会員異動・変更連絡のお願い	本号 巻末
米国鉄鋼協会 (Iron & Steel Society of AIME) との交流協定改訂のお知らせ	12号 950頁
第3回次世代鉄鋼奨学助成の募集案内	12号 950頁
シンポジウム「トランプエレメントの鉄鋼材料科学ースクラップ起因不純物元素との上手なつき合い方」開催案内	12号 951頁
シンポジウム「遅れ破壊解明の新展開 遅れ破壊は解決が可能か？」開催案内	12号 952頁
「鉄と鋼」小特集号「鉄鋼製精錬プロセスにおける界面物理化学の基礎と応用」原稿募集案内	12号 953頁
学生会員向け'97北欧の大学・研究所・製鉄所めぐり参加者募集案内	12号 954頁
専門分野別部会 (分析関連分野) 新設のお知らせ	11号 876頁
第133回春季講演大会 一般講演募集案内	11号 877頁
第133回春季講演大会 予告セッションへの講演申込のお願い	11号 879頁
講演大会参加方法のご案内	11号 879頁
第133回春季講演大会 学生ポスターセッションでの発表のお願い	11号 881頁
鉄鋼技術用語辞書 Ver.2.0 発売のお知らせ	11号 882頁
平成9年度 俵・澤村論文賞候補論文推薦に関するお知らせ	11号 884頁
第12回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会および学生セミナーのお知らせ	11号 885頁
ISIJ International 特集号「Fatigue,Cyclic Deformation and Microstructure」原稿募集のご案内	10号 794頁

行事等予定

太字は本会主催の行事

開催期日	行事（開催地）	締切	掲載号及び頁
1997年			
1月 16,17日	画像技術の表面探傷への応用シンポジウム（東京）	1996/10/31	11号 893頁
20～24日	7th International Symposium on Physical Simulation（つくば）	1996/4/1	8号 651頁
21,22日	第12回環境工学連合講演会「21世紀に向けての環境創造技術」（東京）		12号 963頁
23,24日	北海道支部 平成8年度総会・評議員会・講演大会（室蘭）		本号 65頁
24日	シンポジウム「鉄鋼業のCIM・FA化のためのシステム技術－最適化のメタ戦略とその応用」（東京）	1997/1/20	本号 64頁
24日	東北支部 第10回プロセス工学研究会「固・液系における反応速度と移動現象」（仙台）	1997/1/22	本号 65頁
27,28日	シンポジウム「遅れ破壊解明の新展開 遅れ破壊は解決が可能か？」	1996/12/27	12号 952頁
28日	第74回塑性加工講習会「コスト削減と塑性加工－その実例と具体策」（東京）		本号 68頁
29日	第20回ウィンターセミナー「レーザならできる！プロセッシング」（東京）		12号 963頁
30,31日	第4回超音波による非破壊評価シンポジウム（東京）	1996/11/18	11号 893頁
2月 2,3日	SICEセミナー「ロボスト制御入門」（東京）		12号 963頁
4,5日	第46回システム制御情報講習会「ネットワークと情報システム」（大阪・東京）		本号 68頁
5日	第13回技術セミナー「最近の高温腐食問題とその対策」（東京）		本号 68頁
6,7日	第2回ASPシンポジウム（兵庫）		11号 893頁
7日	国際フォーラム「スーパーメタルの創製」（東京）	1997/1/31	本号 68頁
7日	塑性加工シンポジウム「高精度塑性加工における型と潤滑技術の最新動向－高精度とコストダウンの両立」（大阪）		本号 68頁
21日	関西支部 講演会・2月見学会（加古川）	1997/2/7	本号 65頁
21日	混相流レクチャーシリーズ「基礎から最前線まで」（東京）	1997/2/14	本号 68頁
26日	第33回白石記念講座「発電事業とビジネスチャンス－わが国の電力事情の現状と将来」（東京）		本号 62頁
3月 11～12日	学生セミナー「鉄鋼の最先端技術」（鹿嶋）	1997/1/20	11号 886頁
11～13日	第12回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会（全国15会場）	1997/1/20	11号 885頁
18,19日	ダイアー記念シンポジウム（東京）		10号 805頁
18,19日	シンポジウム「トランプエレメントの鉄鋼材料科学－スクラップ起因不純物元素との上手なつき合い方」（東京）		12号 951頁
中旬～下旬	学生会員向け'97年北欧の大学・研究所・製鉄所めぐり（ストックホルム、他）	1997/1/17	12号 954頁
27～29日	第133回春季講演大会（東京）	1997/1/9	11号 877頁
4月 22～24日	第31回空気調和・冷凍連合講演会（東京）	1997/1/10	10号 805頁
5月 7～9日	第6回複合材料界面シンポジウム（大阪）	1997/1/10	12号 963頁
15～17日	非破壊検査協会春季大会・非破壊検査総合展（東京）		11号 893頁
23～25日	第28回塑性加工春季講演会（東京）	1997/2/7	本号 68頁
28～30日	第2回日本計算工学会講演会（東京）	1997/1/31	本号 68頁
7月 8～11日	第2回PIV国際会議'97（福井）		12号 963頁
8月 25～29日	第16回高圧力科学と技術に関する国際会議（京都）		10号 805頁
9月 24～26日	第134回秋季講演大会（仙台）		
10月 26～31日	第8回核融合炉材料国際会議（仙台）	1997/2/28	11号 893頁
29～31日	先端材料国際会議（豊橋）	1997/3/15	12号 963頁
1998年			
3月 22～25日	第2回世界製鉄会議（ICSTI '98）（トロント）	1997/2/28	本号 63頁

編集後記

最近では、朝食をバイキング形式にしているホテルも多い。一定の料金を払って、和洋中さまざまな料理の中から、好みのものだけを自分で選んでテーブルに運んで食べる。このバイキング形式の料理に似て、「ふえらむ」にはさまざまな記事が並べられている。中には自分の味覚に合わない料理もあろうし、食わず嫌いもあろう。でも、食べてみたら意外においしかった、そうありたいものである。自分の口に合うものだけを選んでいては、栄養のバランスが崩れることもある。全ての料理に口をつけて戴ければ幸いである。

難しく書くのはやさしいが、やさしく書くのは難しい。「ふえらむ」にご執筆戴く方々には、やさしく書いて下さい、と難しいことをお願いしている。少しでも料理の口当たりをよくしようと考えたからである。そんな「ふえらむ」も満一才を迎えた。鉄鋼協会のアンケート調査の結果も発表されることであろう。読者の方々のご要望に沿って、料理の品数や種類を再吟味し、皆様の体力づくりに役立つようこれからも努力したい。

(M.A.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 阿部 光延 (新日本製鐵 (株))

副委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

委員 石井 邦宜 (北海道大学)	石井 満男 (新日本製鐵 (株))	梅本 実 (豊橋技術科学大学)
上村 正 (いすゞ自動車(株))	川田 豊 ((株) 神戸製鋼所)	北村 高士 ((株) ニューマーケット)
小林 正人 ((社) 日本鉄鋼連盟)	近藤 隆明 (NKK)	佐藤 駿 (住友金属工業(株))
手塚 誠 ((社) 日本鉄鋼協会)	友田 陽 (茨城大学)	中村小夜子 ((社) 日本鉄鋼協会)
古田 修 (愛知製鋼 (株))	三宅 苞 (川崎製鉄 (株))	柳 謙一 (三菱重工業 (株))
山口 周 (名古屋工業大学)		

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000 円 (消費税本会負担)

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

1996年5月10日 第3種郵便物認可 1997年1月1日印刷納本・発行 (毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館内 島田 仁

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

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

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021 (代)

学会部門事務局: 03-3279-6022 (代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023 (代)

FAX: 03-3245-1355 (共通)

郵便振替 口座東京00170-4-193 番 (会員の購読料は会費に含む)

©COPYRIGHT 1997 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

〒107 東京都港区赤坂9-6-41 社団法人 日本工学会内 TEL 03-3475-4621 FAX 03-3403-1738

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 001-1-215-386-6362

表紙デザイン 出澤 由野

ふえらむ Vol.2 No.1 広告目次

表2 (株)島津製作所	材料試験システム	前3 王子製鉄(株)	企業PR	後1 (株)協会通信社	広告案内
前1 (株)マツボー		4 丸本工業(株)	試料準備機器	2 富士電波工機(株)	非接触浮揚溶解装置
	高精度レーザー測定器			表3 日本ミンコ(株)	サンプル・サンブラ
2 大野ロール(株)	各種圧延装置	後1 本誌広告目次		表4 (株)テクノヨコハマ	炉外精錬装置

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

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

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANÉ

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

日本鉄鋼協会講演論文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

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

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

*For more Information,
Write or Facsimile.*

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

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

非接触浮揚溶解装置!!

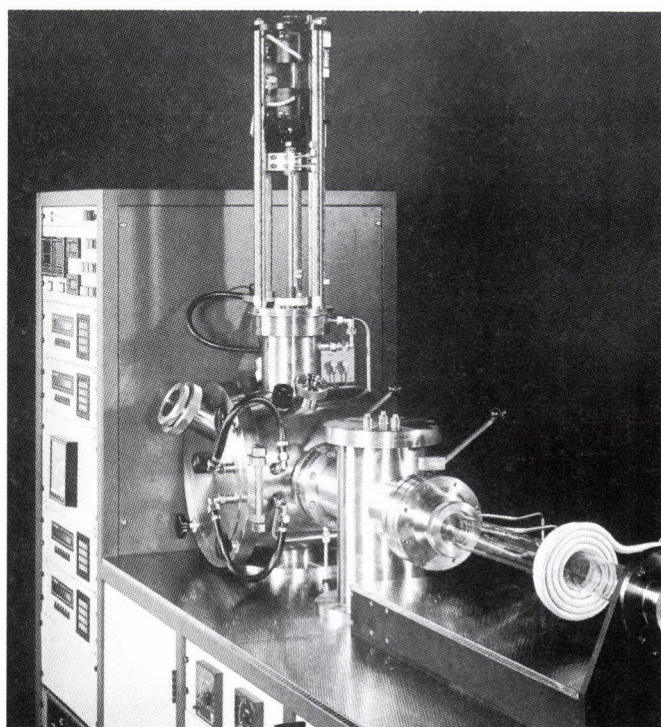
COLD CRUCIBLE INDUCTION MELTING

新素材の研究・開発に最適

溶融金属がルツボ壁に接触することなく溶融・浮揚・保持

特徴

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



溶解可能な金属

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

(英国Crystalox社と提携)



富士電波工機株式会社

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

Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

品質向上のパイオニア

■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)



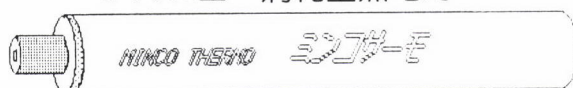
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

PT301型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968
白金・白金ロジウム

■ 標準試料

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

日本ミンコ株式会社

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

お問い合わせは

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

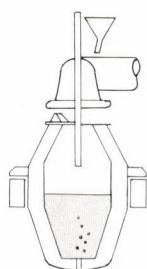
MINCO U.S.A. (WISCONSIN)
MINCO GERMANY (DÜSSELDORF)
MINCO AUSTRALIA (WOLLONGONG)

炉外精錬装置

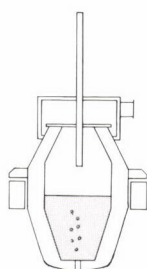
小容量装置(DETEM)から大容量熔鋼処理まで 品質改善と精錬費合理化に役立ちます

テクノメタル社は、我が国鉄鋼界に数々の実績を残したドイツ人技師 Mr.Luven, Mr.Holtermannらが中心になって経営している各種炉外精錬装置のエンジニアリング会社です。VODの開発で著名なDr.Bauerも冶金顧問の一員として活躍しており、皆様のご計画をお手伝い致します。

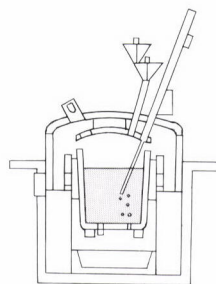
貴社の状況、ご希望等に応じて各種の炉外精錬装置を、お見積もり致します。お気軽にご相談ください。



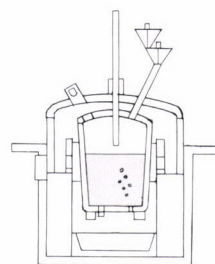
Inertgas Oxygen Converter



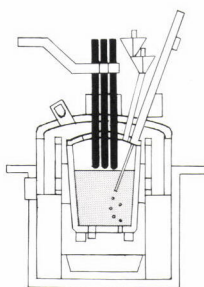
Vacuum Oxygen Decarburization Converter



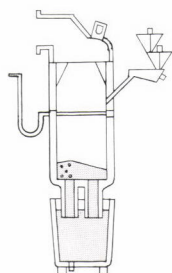
Vacuum Degassing



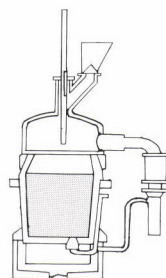
Vacuum Oxygen Decarburization



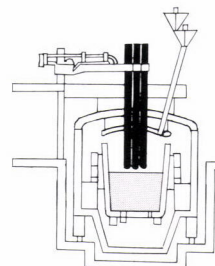
Vacuum Arc Degassing



Vacuum Circulation Process



Detem



Ladle Furnace

総代理店



株式会社 テクノヨコハマ

代表取締役社長 中村 道生

本社 〒225 横浜市青葉区市ヶ尾町1161番地14
アーバンプラザA-2号室

TEL:045-972-1066 FAX:045-972-1065
東京事務所 〒101 東京都千代田区岩本町2-1-16 千代田技研工業株内
TEL:03-3861-3623 FAX:03-3863-3075



TECHNOMETAL

Gesellschaft für Metalltechnologie mbH

Königstrasse 53 Postfach 101319

D-47051 Duisburg 1

Telephone (0203) 30503-0

Telefax (0203) 3050380

Telex 8551369