

ふえらむ

Vol.8 No.5 2003

(社)日本鉄鋼協会会報

B u l l e t i n o f

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

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



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

ホームページ <http://www.isij.or.jp>

水素吸蔵合金の水素を定量したい
金属脆化因子の水素が見たい

TDS

今すぐ ESCO に測定依頼



昇温脱離ガス分析装置：EMD-WA1000S

検出器をサンプルの極近傍に設置
超高感度化を実現

- (1) 1200℃まで加熱可能
- (2) 試料あたりppm以下のガス成分を検出可能
- (3) 無機ガス成分の定量が可能
- (4) 四重極質量分析計(QMS)により
質量数1~200amuの脱離ガス成分を検出
- (5) 大型磁気浮上ターボ分子ポンプと
小容量ロードロックチャンバの組み合わせで
測定チャンバ内圧力 10^{-8} Paオーダーを達成

TDS (Thermal Desorption Spectrometer) とは?

試料を一定速度で加熱したときの
脱離ガス成分を温度軸分解のスペクトル
として検出する装置です。

検出器に四重極質量分析計(QMS)を使用。

詳細については、弊社営業部までお問い合わせください。

ESCO

電子科学株式会社

電話 0422-55-1011 FAX 0422-55-1960

URL: <http://www.escoltd.co.jp/>

営業担当(受託測定含む): 前島 (maejima@escoltd.co.jp)
堀川 (horikawa@escoltd.co.jp)

ふえらむ

Vol.8 (2003) No.5

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	いよいよ始まる地上デジタル放送	266
鉄の点景	農業機械	271
2002 年鉄鋼生産技術の歩み	大橋徹郎	273
展 望	薄鋼板開発の現状と展望 瀬沼武秀	289
入門講座	計測・制御技術入門 制御技術-2 サンプル値制御系入門—サンプル点間応答を考慮した設計 山本 裕、永原正章	297
鉄の歴史	鉄の人物史-14 湯川正夫 加藤 健	303
	スウェーデンの製鉄史概論 近代製鋼法（Bessemer 転炉）誕生まで 1. 鉄器時代から高炉の誕生まで 矢島忠正	308
解 説	実用鉄基多元系合金における状態図計算の最前線 山下孝子	316
鉄好人海外行		322
海外鉄鋼関連最新論文		323
会員へのお知らせ		324
第 11 回日本鉄鋼協会・日本金属学会奨学賞受賞者		348



1億のテレビが変わる

いよいよ始まる 地上デジタル放送

2003年12月1日から、関東、中京および近畿の三大広域圏で地上デジタル放送が始まる。これは、現在最も普及しているアナログ方式の地上波テレビ放送がデジタル方式に変わる一大事業である。放送開始まで1年をきった今、送受信関連設備の対応が急ピッチで進められている。新しい方式による地上波テレビ放送の実現へ向けて、多くの鉄鋼材料が中継網の整備に役立てられている。

中京広域圏に新設される瀬戸テレビ放送所（仮称）は、地上デジタル放送専用の基幹局である。2003年秋の完成予定であり、地上デジタル放送開始に向けて建設が進められている（上は完成予想図）

50年目に迎える放送方式の大転換

日本でテレビ放送が始まったのは、1953年2月である。当時放送されたプロレス中継では力道山の活躍が人々の目を釘づけにし、映像の面白さを伝えた。やがてテレビは、三種の神器と言われるほどもてはやされ、お茶の間になくはならない存在となった。その後、白黒映像からカラー映像へ、そして衛星放送、ハイビジョン放送と、テレビは急速な発展を遂げ、一家に2、3台あるのはあたりまえという時代になった。

テレビ放送は、2003年2月に50周年を迎えた。そして今大きな転換期が訪れようとしている。というのは、本年から地上デジタル放送が始まり、2011年までに地上波放送がアナログ方式からデジタル方式へ完全に移行する計画が進行しているからである。

我々の周囲には、CDプレーヤ、DVDプレーヤ、パソコン等のデジタル機器が溢れており、「デジタル」という言葉は一般

に馴染みがある。それでは、テレビはデジタル化でどのように変わるのだろうか。テレビ放送がアナログ方式からデジタル方式に変わると、視聴者には以下のような利点がある。

- 1.画質と音質の高品位化（高精細度テレビ）
- 2.データ放送、電子番組ガイド、双方向サービス対応等の高機能化
- 3.チャンネルの多様化
- 4.携帯電話等の移動体での受信が可能^{*1}

デジタル方式は通信衛星（Communication Satellite）を利用したCS放送や放送衛星（Broadcasting Satellite）を用いたBS放送ですでに実現されているが、地上デジタル放送は、全国で1億台以上におよぶ地上波テレビ受像機への配信方式をアナログ方式からデジタル方式に置き換えるものである。この計画は、国が推進する事業である。総務省が発表した「情報通信白書」（平成14年度版）によると、21世紀を「IT(Information Technology)の時代」と位置づけ、地上デ

^{*1} 地上デジタル放送を受信するための携帯受信機の規格について検討中である（2003年3月現在）。



「ビジネスショウ2002TOKYO」展（2002年5月）では、実用化が期待される携帯テレビの試作品が出展された（写真提供：日本経済新聞社）



地上デジタル放送対応の高精細度
テレビ(下)は16:9のワイド画面が標
準となる(右は従来型の4:3画面テレビ)



デジタル放送の普及によって家庭におけるIT社会への入口としての役割をテレビが果たすものと期待している。

地上デジタル放送は、2003年12月1日に関東、中京および近畿の三大広域圏で始まるが、2006年までに順次全国に広がる予定である。一方、地上アナログ放送は、この間も併行して継続されるが、2011年に終了することがすでに決まっている。

デジタル技術が可能にする高品位な放送サービス

テレビ放送におけるアナログ方式とデジタル方式の大きな違いは、電気信号の変換形態にある。放送局は、映像情報や音声情報を電気信号に変換し送信電波(搬送波)を変調させている。アナログ方式では、搬送波を映像信号によって振幅変調(Amplitude Modulation,略してAM)し、音声信号によって周波数変調(Frequency Modulation,略してFM)している。一方、デジタル方式では、映像信号および音声信号をデジタル化した後、0と1に対応した2種類の値に搬送波の振幅を変調している。さらに、デジタル方式では、電気信号のデジタル化の際に、「符号化」によって信号容量を圧縮し、「多重化」によって圧縮信号を複合化し、「誤り訂正符号化」によって複合信号の堅固性を上げている。

デジタル方式は、アナログ方式に比べ工程数が多く煩雑な手法のように思われるが、以下のような利点がある。

アナログ方式では、ビルや気象条件によって搬送波が影響を受けた場合、信号が劣化することになる。これに対して、デジタル方式では、信号が多少劣化しても、デジタル信号で

12月16日(土) 番組ガイド

現在12月16日(土) 21:00~23:00

自らの作品群を「論壇再発見」とテーマ付け
 できた軍民衆、白川町農兵の「世界百名山パ
 ロジエクト」。その撮影の現場に、NHKテ
 レビが密着する。

	101 BS1	102 BS2	103 ハイビジョン
21	われら世界の仲間たち 50 BS封鎖	オールディーズがやってくる	00 ハイビジョンスペシャル (世界百名山)
22		15 週間ブックレビュー	
23	00 ワールドドキュメンタリー 50 アメリカ・CNNニュース	10 シネマ・パラダイス 55 ニニ劇場	00 ニーベルングの指輪 1 シークアリート

録画予約が簡単にできる電子番組ガイド (Electronic Program Guide, EPG)

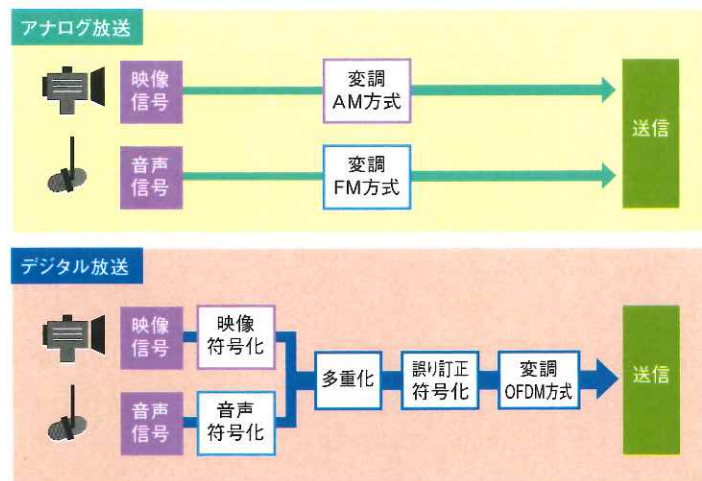
■テレビ放送デジタル化のスケジュール

(年)	96	97	98	99	00	01	02	03	04	05	06	07	08	09	10	11
地上波放送	地上デジタル放送三大広域圏で開始 その他地域で開始 アナログ放送停止															
衛星放送	BS BSデジタル放送開始 CS CSデジタル放送開始 東経110°CSデジタル放送開始															

ある0と1の値が判別できれば情報の修元が可能である。このため、放送局による送信情報と家庭における受信情報の品質をはほぼ同じ水準に保つことができ、高品位の映像や音声を楽しむことができる。

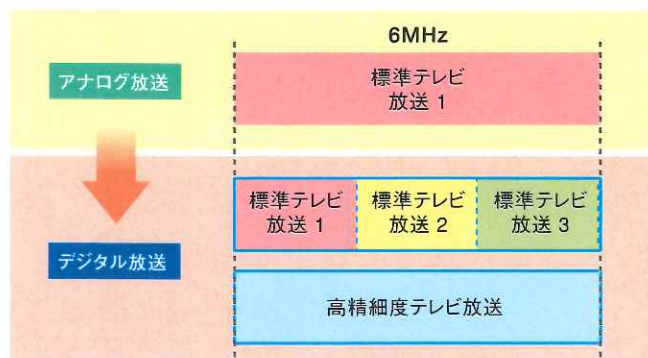
また、符号化や多重化により大容量の情報を送信することができる。1チャンネルに対し6MHz帯域の割り当が決まっているが、この帯域は、標準テレビ放送では3種類の番組が、高精細度テレビ放送では1種類の番組が、それぞれ送信可能となっている。ちなみに、現行のアナログ方式では、標準テレビ放送の番組を1種類送信できるのみである。このような大容量送信技術を用いると、野球中継の終了時刻を過ぎても、定刻通りドラマを放送しながら延長試合の中継を続ける放送サー

■デジタル放送送出システムの特徴



ビスが可能となる。また、受信情報がデジタル化されているので、マルチメディア対応が容易であり、将来のユビキタス社会への整合性が高い。

■地上デジタル放送の番組構成例



鮮明な映像、迫力のある音質臨場感を味わえる ハイビジョンと5.1チャンネルサラウンド

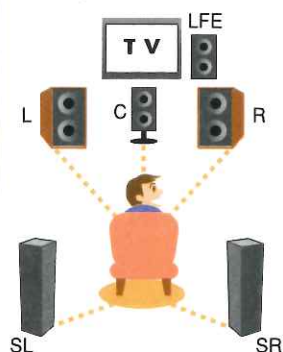


デジタル方式の特徴として注目されているのが、ハイビジョン画像と5.1チャンネルサラウンド音声の再生である。ハイビジョンとは、日本で名付けられた高精細度テレビの呼称である。テレビブラウン管の走査線の数は、標準放送では525本（有効走査線数480本）であり、ハイビジョン放送では1,125本（有効走査線数1,080本）となっている。また、走査線1本当たりの情報量を考慮すると、ハイビジョン放送の1画面には標準放送の5倍以上の画像情報が含まれていることになる。大画面で映し出されるハイビジョン放送は、臨場感あふれる映像を実感することができる。

5.1チャンネルサラウンド方式とは、BSデジタル放送の音声圧縮方式MPEG-2AAC^{*2}によって可能となった音声再生技術であり、前方に左右2チャンネルと中央1チャンネルの3つのスピーカーを設置し、後方に左右2チャンネルのスピーカーを配置し、低音補強用のスーパーウーハー（無指向性なので便宜的に0.1チャンネルと数える）を加えた音声再生環境を指す。この方式により、広がり感や迫力のある音響に身を浸すことができる。

ハイビジョンと5.1チャンネルサラウンドによって、家にいながらにして選手の表情や競技場の興奮を楽しむことが可能となるかもしれない。

5.1チャンネルサラウンド環境のイメージ

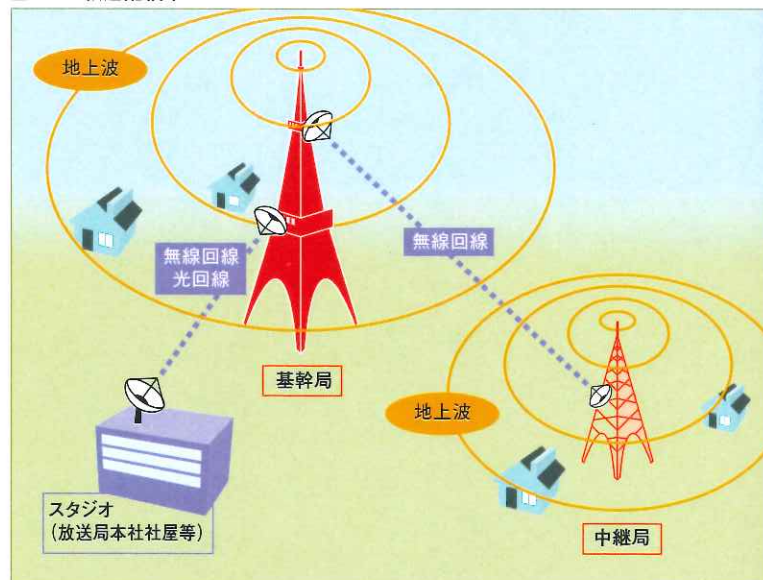


L: 左スピーカー
R: 右スピーカー
C: センタースピーカー
SL: 左後方スピーカー
SR: 右後方スピーカー
LFE: 低音補強スピーカー

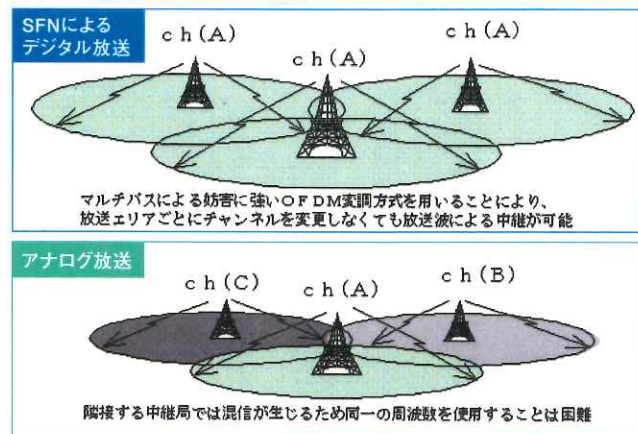
周波数の有効利用が可能に

現行の地上アナログ放送では、放送局から送信される変調信号は、光回線、無線回線等を経由し東京タワーのような基幹局に一旦伝送された後、地上波として各家庭に配信される。また、基幹局の電波が届かない地域では、中継局へ無線回線を用いて送信した後、各家庭に配信されている。また、電波の伝播過程において多くの障害物により変調信号が劣化する。このような劣化を少なくするために、障害物の影響を受けにくい周波数帯である超短波（VHF^{*3}）や極超短波（UHF^{*4}）が利用されている。また、基幹局から各家庭に配信される電波と中継局から配信される電波との干渉を避けるために、中継局は基幹局と周波数の異なる電波を送信している。この方法では、同一放送に対して複数の周波数が必要となる。このため、使用できる周波数が現在不足している。

■テレビ放送配信ネットワーク



■単一周波数中継 (SFN) の特徴



総務省「HDTV放送や移動受信向け放送等の多様な放送が可能な地上デジタルTV放送の暫定方式の策定」(1998.9.28)より

*2 Motion Picture Expert Group-2 Advance Audio Coding

これに対して、地上デジタル放送では、UHFを利用し、干渉に強い直交周波数分割多重変調(OFDM^{*5})方式を採用することになっている。OFDM方式の採用は、中継局と基幹局が同一の周波数を利用する単一周波数中継(SFN^{*6})を可能にし、周波数の有効利用に寄与することになる。

ネットワークをつなぐデジタル対応設備

地上デジタル放送に対応した送信アンテナを東京タワーに設置する工事が2002年10月に始まった。2003年9月には設置工事が完了し、2003年12月1日に開始する首都圏の地上デジタル放送を担当することになっている。東京タワーは、現在、半径100kmの首都圏に配信しており、日本一の基幹局である。

基幹局は、主要な地域において、効率良く広範囲に電波を配信できる場所(山頂等)に放送局ごとに設置されるのが一

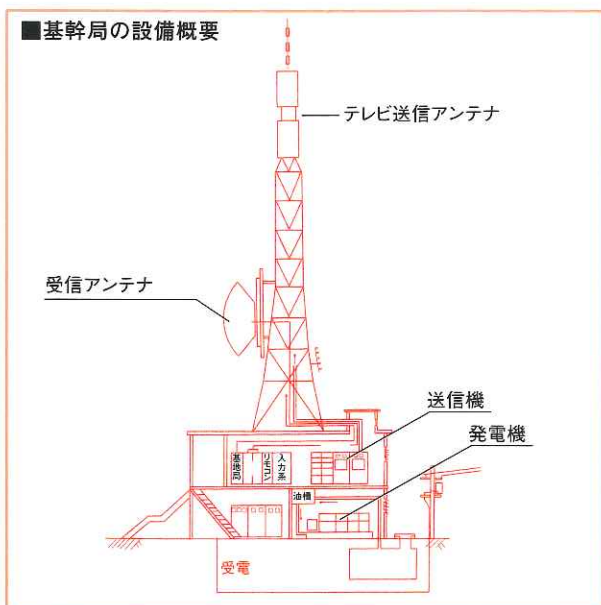
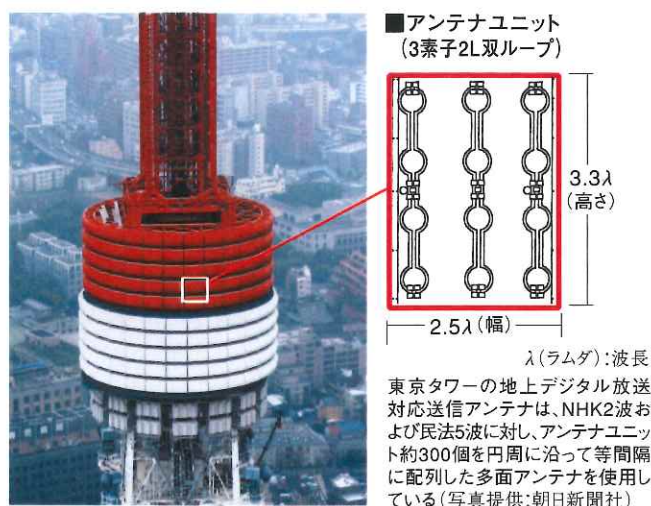
般的である。一方、東京タワーのように、放送局が共同で設置する場合もある。基幹局からの電波が届かない周辺地域には中継局を介して配信を行うが、起伏の激しい日本では全国にあまねく電波を届けるために約15,000基もの中継局が設置されている。

基幹局や中継局では、主に鉄塔の上部に送信アンテナを設置し、下部に受信アンテナを取付けている。また、併設の局舎は、送信機(増幅機)や電源装置を備えている。原理的には、同一のアンテナで送受信の両方を行うことが可能である。しかし、実際には、それぞれの機能に特化したアンテナが設置されている。受信アンテナに届いた電波は、増幅機で出力を高めた後、送信アンテナから送り出される。

鉄塔は、一般的にはトラス構造になっている。また素材には、鋼管やアングル材が利用されている。東京タワーに設置された地上デジタル放送対応の送信アンテナは、重量が約40tである。アナログ放送とデジタル放送の併行放送期間では、それぞれの方式に対応した2種類のアンテナが設置されることになる。東京タワーでは、このような荷重に耐えるための高強度化対策が施されている。

基幹局の送信アンテナは、現在ほとんどがVHF用であるが、地上波放送のデジタル化に伴い新しくUHF用の送信アンテナが必要になる。また、すでにUHF用の送信アンテナを設置していても、既設送信アンテナの性能では対応できない場合もある。特に、デジタル方式と周波数の異なるUHF波を使用している場合には、新しい送信アンテナを設置しなければならない。

一方、中継局では、一般的に基幹局から受信した低い周波数帯のUHF波は高い周波数帯のUHF波に変換され、各家庭に配信している。これに対して、地上デジタル放送では、SFNの導入によって中継局においても基幹局と同じ周波数帯のUHF波を配信することになる。このため、新配信方式に対応した新しい送信アンテナが必要になる。新送信アンテナは、



*3 Very High Frequency *4 Ultra High Frequency *5 Orthogonal Frequency Division Multiplex *6 Single Frequency Network

現行の鉄塔に設置すればよいが、設置場所に余裕がない場合には、新たに鉄塔を建設しなければならない。また、UHF波は、VHF波に比べて直進性が高く回折による電波の回込みが少ないため、新たな中継局が必要となる地域もある。

デジタル化に伴い、日本放送協会（NHK）では、民放と共同で仙台の基幹局の鉄塔を新設し、静岡、広島の基幹局の鉄塔建設も検討している。その他、デジタル方式に対応した鉄塔の新設が相次いでいる。特に、現在建設中の名古屋の瀬戸テレビ放送所（仮称）では、約2,500tの鉄鋼材料を使用したデジタル方式専用の鉄塔が新設される予定である。2003～2011年における両方式の併行放送期間では、アナログ放送は名古屋テレビ塔から配信され、デジタル放送は瀬戸テレビ放送所から配信される。

成功の鍵は視聴者が握る

地上デジタル放送が普及するためには、いくつかの課題がある。第一の課題は、アナログ放送で現在利用しているUHF波を高い周波数帯に移行し、デジタル放送で使用する予定の低い周波数帯のUHF波を確保することである。第二の課題は、地上デジタル放送を受信するための専用アンテナ、チューナー、チューナー内蔵受像機等を視聴者が購入しなければならない点である。また現在、アナログ放送用のUHF受信アンテナを設置していても、低い周波帯のUHF波に対応していない場合には、取替える必要がある。

英国では、世界に先駆けて1998年に地上デジタル放送を開始し、デジタル放送の普及率は現在40%程度に達している。しかし、その内訳は、衛星放送が約6割、ケーブルテレビが約2割、地上波放送が約2割であり、地上デジタル放送の本格的な普及には到っていないのが現状である。2002年3月には、地上デジタル放送番組を有料で提供していた放送局（ITV デジタル）が経営破綻したが、同社の放送免許を英国放送協会と送信事業者（クラウンキャッスル）が共同で獲得し、「フリービュー」として無料放送を開始している。

英国に次いで米国でも、同じく1998年に地上デジタル放送が始まった。普及率は、放送開始当初は芳しくなかったが、最近では徐々に増加している。2002年に米国連邦通信委員会は、2007年までに13インチ以上のテレビ受像機には全て地上波デジタルチューナーを内蔵するよう義務づけている。

地上デジタル放送の実現には、さまざまな課題があり、批判的な意見も多い。しかしながら、総務省がまとめた「地上デジタル放送の経済効果（2000～2010年）」によると、2010年までの放送中継網設備に対する投資額は約18兆円にのぼる。また、経済波及効果は約212兆円であり、雇用誘発効果も約711万人となっている。これらの数字はあくまで試算であるが、

ゴースト対策で活躍する フェライト電波吸収体

近年、高層ビルの建設が進められているが、高層ビルの外壁の反射による電波障害（ゴースト）は数万世帯におよぶこともあり、障害対策が不可欠である。最も一般的な対策法は、電波吸収体を外壁に貼り付けて反射を防ぐ方法である。このような電波吸収体には、フェライト（スピネル型金属酸化物）製のタイルやコンクリートが使用されている。従来は、この障害対策が主に都市部の高層ビルに対して行われていたため、VHF波のみを対象にしていたが、最近では地方でも高層ビルが建設されるようになりUHF波にも対応する必要がでてきた。地上デジタル放送では、訂正処理により、電波障害によって損傷を受けた信号の復元がある程度可能である。しかし、高層ビルの反射強度が高い場合や複合反射を起こした場合には、完全な復元処理ができなくなる可能性がある。このような状況にも対応するために、地上デジタル放送で使用するUHF波に対して高い電波吸収特性を発揮する新製品が開発されている。



長引く不況下にこれほどの規模の事業が始まるのである。関連業界からの期待は、いやがうえにも高まっている。

地上デジタル放送を普及させるためには、他国の先例にならない、新しい受信機器を視聴者が容易に導入できるような環境をいち早く整備する必要がある。そして何より、新方式の特徴を生かした魅力ある番組作りが重要である。

1953年のテレビ放送開始時における受信契約数は、わずか866件であった。現在に至るその後の爆発的な普及を促したのは、テレビ番組への感動である。当時、映像と音声伝わる迫力は、多くの人々の心に衝撃を与えた。地上デジタル放送では、臨場感溢れる高品位の映像や音声の提供、パソコンや移動体との連携などによって、従来のアナログ放送では不可能であった高機能な表現が可能になる。このような特徴をうまく生かせば、テレビの世界の可能性は無限に広がることになる。多くの視聴者がこれまでにない新しい感動に出会えた時、テレビはアナログからデジタルへ、飛躍的な変身を遂げるであろう。

取材協力：総務省、日本放送協会、住友電気工業（株）、大成建設（株）

Steel Landscape

鉄の点景

農業機械

縄文時代の終わり頃に中国や朝鮮から我が国に伝えられた稲作技術は、紀元前3世紀には西日本から東日本へと急速に広がっていく。また、稲作技術とともに青銅器や鉄器の文化も流れ込み、古墳時代には鉄の刃先を持った鋤や鍬が使われるようになる。木製農具の技術しか持ち合わせなかった我が民族にとって、このような高度な文化の流入は革命的な事であった。それから長い年月が流れ、近世において発明された発動機は、かつての“鉄の伝来”に匹敵する大きな転機を農業機械の分野にもたらすことになる。「鉄」や「発動機」の出現に由来し、機能的な技術の進歩が加味され、進化を続ける現在の農業機械に、焦点をあててみた。

土づくりの基本性能と使いやすさを追求したトラクタ
(写真提供: (株)クボタ)

農家を重労働から解放した農業機械

人手や牛馬を使う農作業は、戦前までの日本ではごく日常的な風景であった。その後、急速な発展を遂げる農業機械の進歩は、石油発動機等の小型農業用エンジンの発達と密接な関係を持っている。発動機は、利用分野によって要求される性能が異なるものの、様々な産業において瞬く間に浸透していくことになる。自動車産業、航空機産業、海運業等の輸送分野では速さが追求され、農業分野では力強さや効率が追求された。特に、第二次世界大戦後の我が国では、緊急課題であった食糧増産を契機とし、主に稲作関連の農業機械が次々に研究開発され、今日の農業近代化の礎が築かれることになる。

発動機を備えた「農業機械」は、作業体系の観点から次のように8つに分類することができる。すなわち、(1) 整地用機器(トラクタ、耕耘機等)、(2) 栽培用機器(田植機、水田中耕除草機等)、(3) 管理用機器(噴霧機、散粉機等)、(4) 収穫調製用機器(コンバイン、穀物用乾燥機等)、(5) 農業繊維加工機器(製

縄機、藁打機等)、(6) 飼料機器(飼料截断機等)、(7) 食品加工機器(製粉機、製麺機等)、および(8) 農用運搬車である。

これら農業機械は、昭和40年を境として急速に発展し、重労働からの開放と大幅な労働時間の短縮に寄与することになる。

日本における農業機械普及の流れ

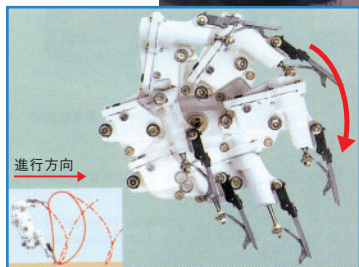
我が国の発動機付農業機械の歴史は、欧米に比べると出現の歴史は浅いものの、進歩においてめざましいものがある。

昭和20年代後半に普及し始めた農業用発動機は、当初揚水用ポンプや脱穀機に使用されていた。昭和30年代になると、初の本格的な農業機械である耕耘機が開発され、農作業風景から牛馬の大半を駆逐することになった。

昭和40年代には、腰を曲げるつらい作業であった田植えや稲刈りも機械化されるようになり、昭和50年代には農業機械の大型化や高性能化が進行する。また、歩行式から乗用式への移



稲の刈り取りから脱穀および選別までを機械化したコンバイン
(写真提供:ヤンマー農機(株))



田植機では、鉄鋼材料製の植え込みフォークが、人の手の微妙な動きを忠実に再現する(写真左)
(写真提供:三菱農機(株))

行が進み、トラクタの大型化や田植機およびコンバインの多条化による高性能化も図られた。

昭和60年以降には、使いやすさを追求した農業機械の自動制御機能が著しく進歩する。また、高度経済成長と共に向上した生活水準を反映し、大型トラクタの運転席には乗用車と同じような冷暖房、音響機器などが装備され、快適な作業環境が求められるようになる。

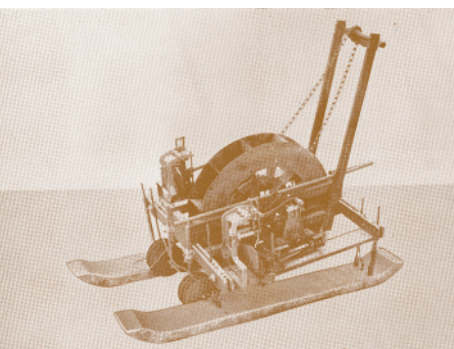
日本を代表する3種類の農業機械

前述の8種類の農業機械の中で、トラクタ、田植機およびコンバインが、全普及台数の約7割を占めている。これら3種類が、我が国を代表する農業機械と見なすことができる。その中で、米を主食とする日本人にとって最も関わりの深い農業機械が、田植機とコンバインである。

特に田植機は、最も過酷な農作業の機械化に貢献した重要な農業機械である。田植機は、当時東京電研製作所に籍を置く関口正夫氏によって昭和36年に第1号機が試作された。また、昭和40年に発売された第2号機は、1,000m²当たりの田植え時間が2.5～3hであり、従来の手植え方式よりも7～8倍速い速度で作業を行うことができた。当時は画期的な機械として一躍脚光を浴びたが、「苗箱を積んだそり付きの手押し車」というおもちゃのような単純な構造であった。

現在普及している田植機は、苗供給装置、植え付け装置、機体支持走行装置およびエンジンによって

昭和30年頃の田植機。発電機部はなく、手押しソリのような形状であった
「資料館陳列品目録」(農業機械化研究所より)



構成されている。特に植え付け装置は、ローリング制御、速度感応型の根付深さ制御、圃場固さ検出による油圧感度の自動設定等、最新の機能を備え、様々な条件の水田において小さな苗を正確に植え込んでいく作業を可能にしている。苗の束から適当な量を摘み取り、田面に運び、土中に差し、苗を離す…という人間の指先の微細な働きを忠実に再現できる鉄鋼材料製の植え込みフォークによって、田植作業の高度な機械化が実現されている。

日本の風土から生まれたコンバイン

我が国において独自に発展したもう1つの農業機械が、コンバインである。コンバインは、^{もみ}稲が^{ほじょう}ついた穂先の部分だけを脱穀部にかける自脱式(我が国独自のもの)と、^{かん}稈全体を脱穀部にかける普通式とに分けられる。また、転作の普及から、稲の他に麦類や豆類の収穫にも利用されている。

日本以外のアジア圏では、地面に叩きつけばすぐに稲が落ちてしまうほど脱粒性のよい稲が主流である。しかし、日本の稲は、台風に耐えられるような強い品種に改良されているため、脱穀に要する手間が大きくなっている。このため、刈り取り、脱穀および選別の作業を同時にこなすコンバインが待ち望まれていた。昭和45年以降におけるコンバインの普及により、収穫作業に要する時間は従来の1/4程度に短縮されることとなった。

農業機械の発展は、農業従事者の生活の近代化ばかりでなく、農業から他産業への労働力の移動を可能とし、我が国の社会産業構造に重要な影響を及ぼしている。このような労働力の移動は、我が国の工業や経済の成長に大きく貢献した。しかし最近では、後継者不足の顕在化、食料の自給率の低下等の新たな問題が生じている現実も忘れてはならない。

●取材協力

(社)日本農業機械工業会、井関農機(株)、(株)クボタ、三菱農機(株)、ヤンマー農機(株)、生物系特定産業技術研究推進機構

2002年鉄鋼生産技術の歩み

Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 2002

大橋徹郎
Tetsurou Ohashi

日本鉄鋼協会 生産技術部門 部門長

1 日本鉄鋼業の概況

我が国経済は、2002年当初から非常に厳しい経済情勢と予想されていたが、不良債権処理の進展が見られない中、株価の低迷が続き、消費者物価指数が37ヶ月連続の前年割れとなり、デフレは4年目に突入することとなった。

雇用情勢で見ると完全失業率は5.4%と調査を開始した1953年以降で最悪だった昨年を上回り、すべての月で5.2%以上という状況となった。完全失業者数も359万人と4年連続で300万人を超えて過去最多となり、依然厳しい状況が続いている。なお、就業者数は2001年に比べて82万人減少の6,330万人と5年連続減少した。業種別には、サービス業は増加したが、製造業は10年連続の減少、建設業も5年連続の減少、運輸・通信業は2年連続の減少という状況である。

鉄鋼業について見ると、2002年末時点で対2001年末比約1万5千人(8.2%)減の165,960人で、1994年以降9年連続で年率5%以上の減少となった。

その内訳を見ると、鉄鋼部門7.3%、加工部門12.1%、その他部門8.7%の減少である。

投資面については、公共投資の減少が続き、民間設備投資や住宅投資にも動きが見られなかった。個人消費は緩やかながら回復基調をたどり、外需は米国、アジア向けを中心に増加し、これらが景気を牽引した。

こうした中、鉄鋼の需給について見ると、鉄鋼内需は、建設では公共土木の低迷が続き、建築は住宅が2001年水準を下回り、非住宅も都市再開発関連と店舗が堅調に推移しているものの前年比マイナスが避けられず、建設全体では前年度を下回った。

一方、製造業では、自動車が米国向けを中心とした輸出増と小型車販売の好調を反映して高水準の生産が続き、造船も2年分近い手持ち工事量を背景に堅調な建造活動が持続したことから前年度比微増した。以上のような内需環境下、在庫

調整が急速に進展し、普通鋼鋼材国内向け在庫は適正に近い水準まで圧縮された。

一方、鉄鋼輸出については、中国向けが秋口まで高水準で推移したことや、東南アジアを中心とした旺盛な需要から、全鉄鋼ベースで2001年を大きく上回った。しかし、中国、EUにおいてセーフガード措置が相次いで発動され、慎重な輸出姿勢が求められる状況の中、今後輸出の伸びが鈍化することが予想される。

生産面についてみると、2002年の外需大幅増により、粗鋼生産量は、9,500万トン前後という当初予想値を大きく上回り、対2001年比488万トン(4.7%)増の1億775万トンと3年連続で1億トン台を確保した。

炉別では転炉鋼が5.5%増の7,853万トン、電炉鋼が2.8%増の2,921万トンとなったが、電炉鋼比率は27.1%と6年連続の低下となった。

鋼種別では、普通鋼が4.0%増の8,735万トン、特殊鋼が7.9%増の2,040万トンとなり、特殊鋼は過去最高を記録した。

次に鋼材ベースで見ると、普通鋼熱延鋼材生産量は対2001年比194万トン(2.5%)増の8,086万トンと再び8,000万トン台を回復した。

品種別にみると、中厚板は2.5%減となり、一般線材は二桁台の減少、H形・大形形鋼は4.7%の減と対2001年比でマイナスに転じた。一方、特殊鋼熱延鋼材生産量は、対2001年比161万トン(10.1%)増の1,744万トンと3年連続で1,500万トン台を確保し、91年の1,681万トンを上回って過去最高を記録した。

従って両者合計の鋼材生産量は355万トン(3.7%)増の9,831万トンとなり、3年連続で9,000万トン台を確保した(表1)。

全鉄鋼輸出は、対2001年比584万トン(19.2%)増の3,632万トンと6年連続の増加となった。内訳は、銑鉄と普

表1 銑鉄、粗鋼生産および主要鋼材生産実績推移 (単位：千トン)

		1999年	2000年	2001年	2002年					対前年
		総生産量	総生産量	総生産量	総生産量	1～3月	4～6月	7～9月	10～12月	増減%
生 主 要 鋼 材 種 別	粗鋼生産量	94,192	106,444	102,863	107,745	25,055	27,287	27,342	28,062	5.7
	転炉鋼	65,452	75,784	74,442	78,533	18,182	19,725	20,304	20,322	5.5
	電気炉鋼	28,740	30,660	28,421	29,212	6,873	7,562	7,038	7,740	2.8
	高炉銑鉄生産量	74,518	81,068	78,833	80,979	19,395	20,242	20,689	20,654	2.7
	普通鋼熱延鋼材	73,221	83,044	78,789	80,864	19,428	20,167	20,513	20,756	2.6
	H形大形鋼	6,652	7,235	6,206	5,914	1,504	1,509	1,407	1,495	-4.7
	中小形鋼	1,636	1,752	1,558	1,576	403	416	370	387	1.2
	小形棒鋼	11,850	12,247	11,908	12,430	3,066	3,172	3,038	3,154	4.4
	一般線材	2,896	2,736	2,401	2,056	560	528	494	473	-14.4
	中厚板	7,629	8,618	9,301	9,066	2,313	2,131	2,167	2,455	-2.5
	広幅帯鋼	36,873	44,529	41,724	44,152	10,193	11,021	11,626	11,313	5.8
	特殊鋼熱延鋼材	14,224	15,748	15,828	17,443	3,953	4,330	4,555	4,605	10.2
	構造用鋼	5,430	6,209	6,087	6,688	1,527	1,638	1,711	1,812	9.9
	ステンレス鋼	2,651	3,021	3,138	3,096	740	762	815	779	-1.3
	パネ、軸受鋼	1,008	1,172	1,009	1,099	232	265	295	307	8.9

出所：経済産業省 経済産業政策局 調査統計部「鉄鋼・非鉄金属・金属製品統計月報」

通鋼鋼塊、普通鋼鋼材、特殊鋼鋼材および二次製品が増加した。フェロアロイ、特殊鋼鋼塊半製品が減少した。なお、普通鋼鋼材については、厚板、鋼管、主力品である鋼板類（熱延広幅帯鋼、亜鉛めっき鋼板、冷延広幅帯鋼、電気鋼板等）が増加したがブリキは若干減少した。

また仕向国別では、韓国と中国が4年連続の増加、米国は大きく減少となったが、台湾が3年振りで増加し、タイも2002年は増加した。

一方輸入については、対2001年比83万トン（13.6%）減の526万トンと大きく減少した。内訳は、二次製品、フェロアロイが増加したのに対し銑鉄、半製品、普通鋼鋼材、特殊鋼鋼材が減少した。特に主力品である普通鋼鋼材の中では厚板、熱延広幅帯鋼、冷延広幅帯鋼、亜鉛めっき鋼板等が減少した。

また仕入国別では、主要国である韓国、台湾、中国のすべてが2001年のレベルを下回った。

以上のような厳しい環境下において、2001年に引き続き高炉業界では不採算品種からの撤退や品種別提携、物流・保全・購買など補助部門毎の協力、あるいはグローバル化を視野に入れた海外鉄鋼企業との技術提携等が進みつつある。

具体的には、2002年9月にNKKと川崎製鉄（株）の統合持ち株会社であるJFEホールディングスが設立された。

また2002年11月14日には新日本製鐵（株）と住友金属工業（株）と（株）神戸製鋼所の三社が提携強化を目的として相互に株式を持ち合う形での資本提携に踏み切った。この動きの中で新日鐵と住友金属の提携ではステンレス事業の2003年10月の統合が決まった。また大同鋼板（株）、大洋製鋼（株）の経営統合で10月に日鉄鋼板（株）が設立された。2001年

からの流通業界の再編も急で、「伊藤忠丸紅鉄鋼」に続き2003年1月には三菱商事、日商岩井の鉄鋼部門統合会社「メタルワン」がスタートした。

このような動きは、経済の一層のグローバル化と競争激化や、需要家の選択・集中による供給者選別方針等に対する日本鉄鋼業の体質強化に向けた構造改革と位置付けられ、ここ数年間は続いていくものと推定される。

2 技術と設備

2.1 製銑

2002年の銑鉄生産量は、8,098万トンと2001年比を2.7%上回り、2年振りに8千万トンに復帰した。平均出銑比も前年の1.94トン／m³・日に対して、1.97トン／m³・日と若干増加した。

個別の高炉の動きをみると次の通りである。川崎製鉄水島4高炉が炉容積を4,826m³から5,005m³に拡大し、2002年1月8日に再火入れされた後、同月23日に水島1高炉が吹き止められた。（株）住友金属小倉の小倉2高炉が2002年3月31日の吹き止め後、10日間の短期切替工事で炉容積を1,850m³から2,150m³に拡大し、4月10日に再火入れされた。住友金属工業鹿島1高炉の改修工事が5月1日に着工された（2004年9月末火入れ予定）。（株）中山製鋼所船町1、2高炉が各々7月10、23日に吹き止められた。以上のように2002年の高炉稼働状況は年初31基から年末29基の変化となった。川崎製鉄水島2高炉（1979年3月20日の火入れ）の炉寿命世界記録は現在も更新中である。

2002年の高炉の微粉炭吹き込み量は、図1に示すように、

微粉炭吹き込み比 (PCI比) の平均は132.2kg/トンと前々年からほぼ横ばいの状況であった。

製鉄関連の新技术としては、NKKが京浜製鉄所において、ベルトコンベア上で搬送中の石炭粒度をオンラインで連続計測する技術を実用化した。

スラグ利用技術において、NKKが前年実用化された「高炉水砕スラグ覆砂材」やマリンプロックを使用してメンテナンスフリーの藻場造成を図る海域環境改善技術を開発した。川崎製鉄が「高炉スラグ透水性兼備型ヒートアイランド現象抑止舗装」なる路面温度低下効果を有する舗装材への活用技術を開発した。

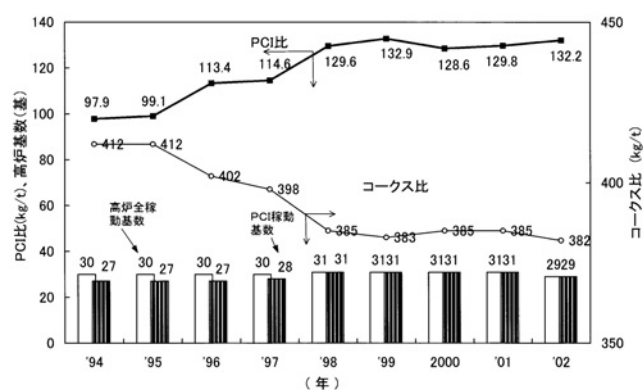


図1 高炉稼働状況の推移
出所：日本鉄鋼連盟資料

2.2 製鋼

製鋼作業の状況は、表2の転炉作業成績および表3の電気炉作業成績に示すように、製鋼時間当たりの生産高指数は転炉については上昇傾向が続き、電気炉についても持ち直してきた。

圧延用鋼塊に占める連铸鋼片の比率を図2に示すが、普通鋼は2001年99.7%に対し横ばいとなり、特殊鋼は2001年92.8%が93.6%に上昇している。

製鋼関連の技術・設備の動きとしては、市場要求の高度化・厳格化、国際的コスト競争力の確保、更には地球環境負荷軽減に対応するための技術開発が各社に見られた。

精錬分野では、新日本製鐵室蘭製鐵所および大分製鐵所の脱珪・脱磷・脱炭工程を1つの炉で連続して行い熱ロス削減およびスラグ量削減を実現した多機能転炉法の開発（トピックス参照）が挙げられる。

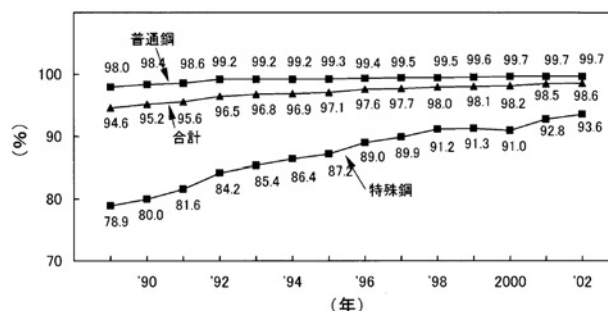


図2 連铸比率の推移
出所：経済産業省 経済産業政策局
調査統計部「鉄鋼・非金属・金属製品統計月報」

表2 転炉作業成績

項目	年	1999年 平均	2000年 平均	2001年 平均	2002年 1～3月	4～6月	2002年 上期平均
製鋼時間当たりの生産高指数*		102	105	106	108	110	109
1回当たりの製鋼時間指数*		101	101	100	100	99	100
鉄鉄配合率(%)		93.6	92.1	92.5	92.9	91.6	92.3
溶鉄配合率(%)		92.8	91.1	91.7	91.9	90.0	91.0
酸素原単位(Nm ³ /t)		60.4	59.5	59.5	58.8	57.9	58.4
連铸比率(%)		99.3	99.3	99.3	99.1	99.1	99.1
真空処理比率(%)		62.4	63.3	65.5	68.0	68.2	68.1

*1996～1998までの平均値を100としたときの指数値

出所：日本鉄鋼連盟資料

表3 電気炉作業成績

項目	年	1999年 平均	2000年 平均	2001年 平均	2002年 上期
製鋼時間当たりの生産高指数*		93	94	94	99
良塊t当りの電気消費量(kWh/t)		406.8	407.3	415.5	415.7
良塊t当りの酸素消費量(Nm ³ /t)		20.8	20.3	19.9	19.7
良塊歩留り(%)		91.4	91.4	91.3	91.9
良塊連铸比率(%)		88.2	87.2	87.9	89.0
合金鋼比率(%)		35.9	37.7	37.8	35.5

*1996～1998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

連鑄分野では、日本工業大学および大阪大学の基礎研究を基に住友金属工業和歌山製鉄所で実用化された連続鑄造用浸漬ノズル内旋回流付与技術の開発による高品質化、生産性向上が挙げられる。

その他として、山陽特殊製鋼(株)本社工場電気炉における消耗ランス型のランスパイプ自動接続式酸素吹き込み装置の開発やNKK京浜製鉄所の遺伝的アルゴリズムを適用した転炉から連鑄までの製造ダイヤグラム自動作成システムの開発などが挙げられる。

2.3 厚板・鋼管・条鋼

厚板関係では、川崎製鉄水島が、連続鑄造スラブを用いて通常の厚板圧延前に二方向鍛造圧下を加える新プロセスによる高品位極厚鋼板製造技術を開発した。

また、神戸製鋼所では、厚鋼板を圧延する際、材質予測技術から圧延のパススケジュールを設定し、かつオンラインで各パス毎に微調整出来る新材質制御技術(プロメシテム)を完成し材質バラツキ(YP)を半分以下に低減させた。

棒鋼・線材関係では、山陽特殊製鋼本社では、限られたスペースに2段構造のランアウトテーブルと逆送テーブルを併せ持つ事により切断から結束秤量が可能な新精整ラインを増強した。

また、ダイワスチール(株)東部事業所では粗圧延後の45φバーを接合する方式での棒鋼連続圧延設備が稼動した。

この他、新日本製鐵鉄鋼研究所では主に高張力ボルトに関しての遅れ破壊評価技術として限界拡散水素法を提示し、その評価と応用技術について発表した。

2.4 薄鋼板

NKK福山では、第一熱延工場のランアウト冷却装置に高精度オンライン加速冷却設備(Super-OLAC H)を設置し、鋼板熱履歴制御や幅・長手方向の温度均一化、結晶粒微細化、材質均質化を図った(トピックス参照)。

新日本製鐵八幡では冷延鋼板、合金化亜鉛めっき鋼板兼用製造設備G.A.P.L.が4月より稼動開始した。年間製造能力は46万トン、主に自動車用等高品位製品を製造する。

住友金属工業総合技術研究所では、室内にて従来の10倍以上の光触媒活性を発揮する可視光応答型光触媒を開発した。今後、塗料化により各種建材、内装材、家電用鋼板などへ展開される予定である。

2.5 その他

設備・計測関係として、NKKでは、次世代型設備診断オンラインモニタリングシステムを開発した。これは適正なしきい値が設定されていない場合でもデータのトレンドから設備

の異常を検知する異常判定機能、保全性を考慮したシステム時効診断機能、設備を遠方から常時監視できるWeb機能など高機能化を進めながら同時にコンパクト化を実現したものである。

分析関係として、川崎製鉄技術研究所では、従来10日程度を要していたダイオキシン類の分析を半分の時間で行う迅速分析技術を開発した。特にサンプルを溶かす工程が複数あったクリーンアップ過程を2段カラムクロマトグラフを用いて1段階での連続処理を実現した。

3 技術輸出・技術輸入

2002年の1年間における技術貿易の内訳について、本会維持会員会社(37社)を対象に調査した結果を表4に示す。技術輸出は2001年の37件に対して93件と大きく増加し、輸入は4件とほぼ横ばい(2001年5件)であった。輸出対象地域は、アジアが全体の49%を占め、次いで北アメリカ、中南米、欧州と続く。昨年1件のみであった北アメリカへの輸出が22件(24%)と大きく増えた。

技術分野では加工・処理分野が54%、製鋼関連が25%、次いで製鉄関連が13%となり、これらで全体の92%を占める。2000年には18%を占めていた操業全般は昨年同様低水準に止まった。図3に鉄鋼業の2001年度までの技術貿易収支を示す。技術輸出対価受け取り額は前年度比28%減となったが、技術輸入対価支払い額はほぼ横ばいであった。

4 研究費支出

総務庁統計局「科学技術研究調査報告」による企業の研究費支出、研究者数の推移等を図4から図8に示す。

社内研究費の総額を見ると、全産業ではここ数年の横ばい傾向から2001年度は再び上昇に転じたのに対し、鉄鋼業は

表4 技術輸出・技術輸入状況(期間:2002年1月1日~12月31日)

技術分野		地域	アジア	北アメリカ	中・南アメリカ	ヨーロッパ	オセアニア	アフリカ	計
技術輸出	A. 原料・製鉄	1・コークス			1				1
		2・原料処理	1				1		2
		3・高炉	2	2	2	2	1	0	9
	B. 製鋼	1・溶鉄処理	1						1
		2・転炉	2	9	4	0	0	0	15
		3・電炉	1		1				2
		4・連続・連続塊	1	2	0	2	0	0	5
		1・条鋼・線材	1	1	2	1	0	0	5
	C. 加工・処理	2・鋼管	3	2	0	0	0	0	5
		3・厚板	6	0	0	0	0	0	6
		4・薄板	4	1	0	0	0	1	6
		5・表面処理	21	3	0	2	0	0	26
		6・熱処理	1	0	0	1	0	0	2
	D. 操業全般(研究含む)		2	2	2	1	0	0	7
	E. 製鉄所全般								
		1・その他			1				1
		計	46	22	13	9	2	1	93
技術輸入	C. 加工・処理	1・鋼管		2	1				3
		2・成形加工				1			1
		計	0	2	1	1	0	0	4

調査範囲:日本鉄鋼協会維持会員会社 37社

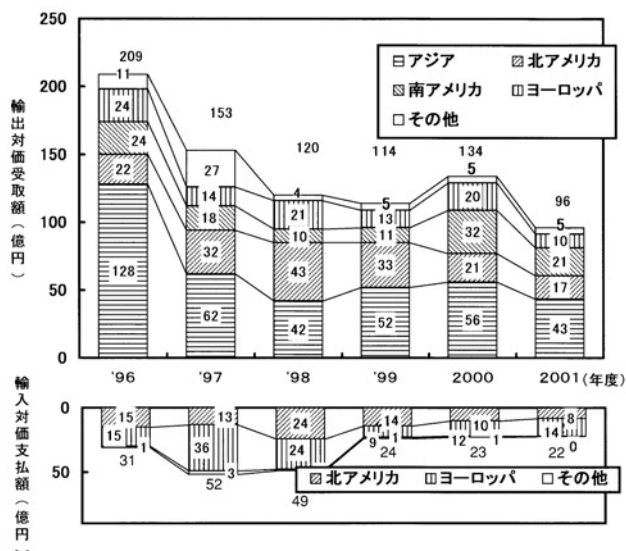


図3 鉄鋼業の技術貿易収支
出所：総務省統計局統計センター「科学技術研究調査報告」

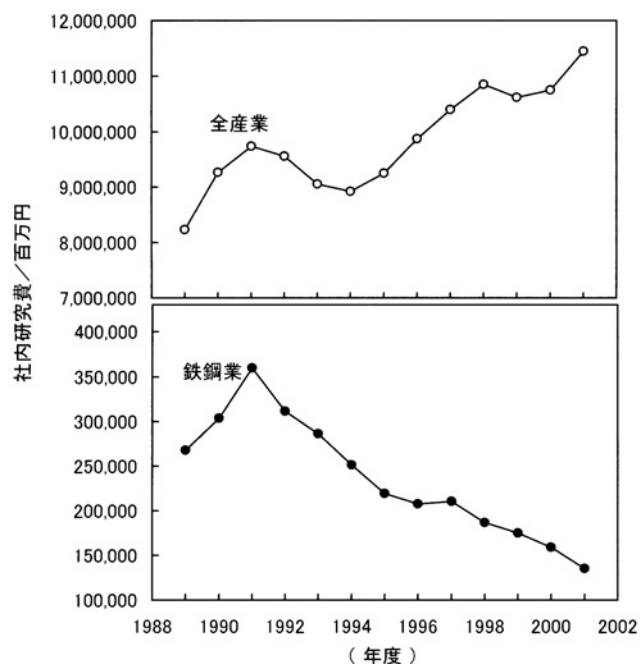


図4 社内研究費の経年変化
出所：総務省統計局統計センター
「平成14年度科学技術研究調査報告書」

1992年度来の低下傾向が依然として続いている（図4）。

売上高対研究費支出比率についても、全産業は2001年度上昇に転じたが、鉄鋼業は微増にとどまった（図5）。

研究本務者数については全産業では2001年度に低下したものが再び増加に転じた。これに対し、鉄鋼業では1998年を除いて減少傾向が継続している（図6）。

研究本務者1人当たりの研究費は鉄鋼業が全産業を上回っているが、全産業が微増傾向にあるのに対して鉄鋼業は減少傾向にありその差は縮まりつつある（図7）。

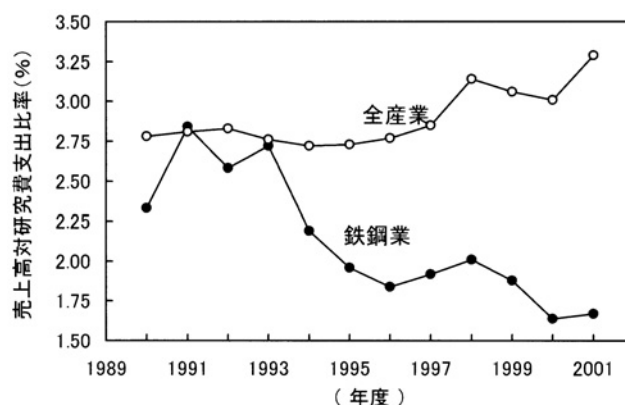


図5 売上高対研究費支出率の経年変化
出所：総務省統計局統計センター
「平成14年度科学技術研究調査報告書」

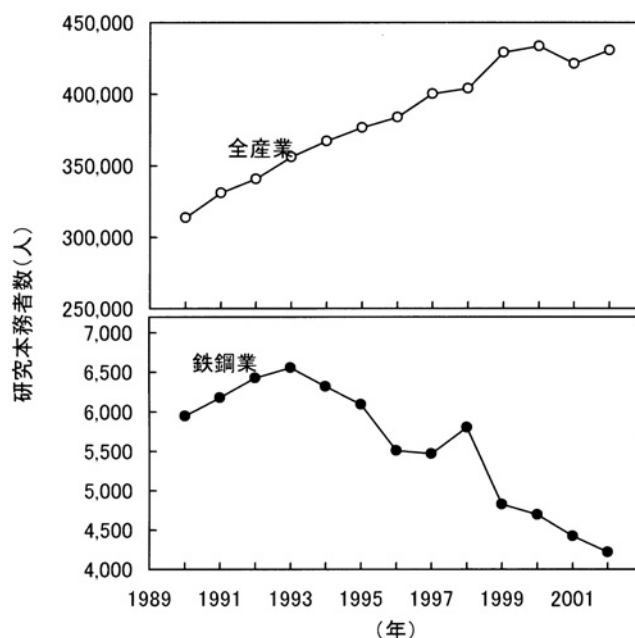


図6 研究本務者数の経年変化
出所：総務省統計局統計センター
「平成14年度科学技術研究調査報告書」

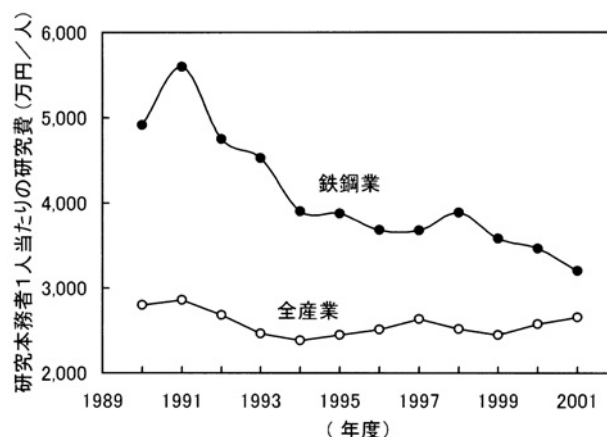


図7 研究本務者1人当たりの研究費の経年変化（万円／人）
出所：総務省統計局統計センター
「平成14年度科学技術研究調査報告書」

従業員1万人当たりの研究本務者数については、全産業、鉄鋼業ともに上昇傾向にあるが、鉄鋼業の上昇率は全産業に比べて小さく、その差が広がりつつある（図8）。

5 日本鉄鋼協会における技術創出活動

本会では、鉄鋼生産技術に関する研究および課題発信活動を生産技術部門を中心に行っており、その活動の種類および内容を表5に掲げる。

なお、2002年における本会の課題発信の特筆事項の一つとして、鉄鋼環境技術に関する提言を国に対し実施した（具体的には5.4に記載）。

（鉄鋼に関する学術研究は、学会部門の学術部会、またその下部組織であるフォーラム等で行っている。）

5.1 技術部会

技術部会では、部会を活動内容によりグループ分けし、学会部門の学術部会に対応させ産学交流と技術開発課題提案の活発化を目指し相互交流を推進している。

2002年度の部会大会は、本誌7巻9号737頁（上期大会開催一覧）、本号344頁（下期大会開催一覧）に掲載のように現

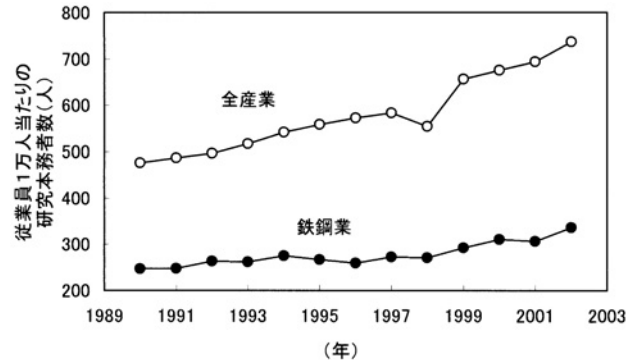


図8 従業員1万人当たりの研究本務者数の経年変化 (人)
出所：総務省統計局統計センター
「平成14年度科学技術研究調査報告書」

時点で重要なテーマを共通・重点テーマとして取り上げ、活
発な議論を展開した。

技術創出を目指す産学連携強化のため進めてきた部会大会
への大学研究者の参加や、学会部門学術部会との合同開催や
相互乗り入れなどの交流が定着しつつある。

また、年2回開催する部会ではうち1回を1日部会として
研究討論の場に特化したり、部会の活性化策と発表論文の質
的向上を目指し表彰制度を導入する等、各部会はそれぞれの
活動内容に合わせて負担を軽減しながらも、有効な部会大会
とすべく運営改革を行っている。

2002年度に発足した技術検討会は下記の13技術検討会で
あり、年度内に終了するものも含めて29技術検討会が活動
した。

- ・電気炉のトータルエネルギー（電気炉部会）
- ・取鍋精錬の精錬機能と加熱機能（特殊鋼部会）
- ・取鍋炉修方法（耐火物部会）
- ・要員合理化の現状と今後の課題（熱延鋼板部会）
- ・生産性向上「高速製造」（表面処理鋼板部会）
- ・鉄鋼プロセスにおけるゼロエミッションへの展望（熱経済技術部会）
- ・超音波手法による内部欠陥検出の高精度化（制御技術部会）
- ・磁気的手法による内部欠陥検出の高精度化（制御技術部会）
- ・製鉄工程摩耗部品の寿命延長技術（設備技術部会）
- ・鋼板NDI設備定期実態調査（品質管理部会）
- ・新プローブによる渦流探傷試験特性の調査（品質管理部会）
- ・鉄鋼製品の磁粉探傷法テキスト改訂（品質管理部会）
- ・継目無鋼管の超音波探傷法テキスト改訂（品質管理部会）

5.2 技術検討部会

「実用構造用鋼における変態組織と特性の制御技術検討部
会」の活動が終了した。また、「自動車用材料検討部会」は、
第Ⅲ期が活動中である（2003年度まで）。

表5 技術部会・研究部会の活動内容

技術創出活動の種類	活動内容
技術部会	現場技術水準の向上を目指し、鉄鋼生産に関する技術交流を図るとともに、各分野における技術課題を抽出、研究の実行を行っている。鉄鋼製造全般にわたる20部会*が活動し、各部会には鉄鋼企業の技術者、研究者の他大学研究者も参加している。年1〜2回部会大会を開催し、また下部組織には技術課題を重点的に議論する「技術検討会」が置かれ、技術創出を担う活動が行われている。
技術検討部会	鉄鋼生産プロセスの各分野にまたがる分野横断的、または業界的技術課題に対して、技術の方向と課題解決のための技術討議、調査等の研究活動を行っている。
研究会	鉄鋼企業からのニーズと大学等研究機関からのニーズに基づき、重要なテーマについて産学協同で研究を行っている。

*技術部会……製鉄部会、コークス部会、製鋼部会、電気炉部会、特殊鋼部会、耐火物部会、厚板部会、熱延鋼板部会、冷延部会、表面処理鋼板部会、大形部会、中小形部会、線材部会、鋼管部会、圧延理論部会、熱経済技術部会、制御技術部会、設備技術部会、品質管理部会、分析技術部会

表6 2002年度における新規研究会の活動目的と終了研究会の活動成果

	研究会名	活動目的／活動成果	活動期間 (年度)
新規	劣質炭対応型コークス化技術研究会	石炭資源の劣質化（低粘結性石炭の大幅な増加）の背景を睨み、コークス強度低下とコークス粒径低下を回避する「劣質炭多量使用時のコークス強度及びコークス粒径制御技術」を確立するための基礎研究を推進する。	2002～2005
	溶融酸化物高温物性値研究会	溶融スラグの粘性、表面（界面）張力、熱伝導度の高温物性値の主要かつ最新のデータの調査と評価、推定方法の開発、測定、測定方法の採録、事例収集を行い、これらの結果を書籍として刊行する。	2002～2005
	CO ₂ 発生ミニマム化を目指した高炉限界現象の制御研究会	CO ₂ 低減のため、低燃料比操業の実現を目標とし、高炉内部の移動現象の限界規程要因の抽出とその制御、及び低燃料比下の不安定現象の解消に向けた研究を行い、総合的に高炉モデル解析の精度向上を図る。	2002～2005
	強磁場を利用した鉄鋼材料の組織制御研究会	鉄鋼材料における種々の固相／固相変態の生成組織に及ぼす強磁場の影響を明らかにすることにより、どのような機構で組織が配向するか、磁場によりどの程度組織制御ができるかといった組織制御の基本原則を解明する。	2002～2005
終了	高度電磁力利用マテリアル・プロセスング	具体的なプロセスに結びつく成果として、介在物の電磁分離装置、移動磁界攪拌機、コールドクルーシブルによる製煉効率化などが提案され、その適用性が具体的に示された。また、電磁超音波や電磁界面攪乱などの技術もプロセス化を強く指向した展開を見せている。強磁場利用技術に関しては、磁気浮上技術、新機能膜製造、燃料電池の高性能化、高強度炭素繊維や異方性特殊材料の製造などへの応用が示された。シミュレーション技術においては、電磁力場における介在物粒子周囲の電磁流動や磁化力による気相および液相の対流が明らかにされた。	1999～2002
	製鋼スラグを栄養源として利用した海洋植物プランクトン増殖によるCO ₂ 固定化	製鋼スラグを用いて藻類プランクトンを増殖させることにより大気中CO ₂ の固定化を図る。そのアプローチは、1) 多元系製鋼スラグからの特定成分溶出技術の開発 2) 藻類プランクトン増殖と光合成に適正な海水中への溶出成分の検討 3) 生態系におよぼす影響評価法検討。これらの結果に基づいた、製鋼スラグを利用した炭酸ガス固定化の実用化についても検討を行った。	1999～2002
	大量データをベースにした省力化のための診断・制御の高度化	計測制御システムの高度化・知能化による人手作業の完全自動化、設備・操業の集中監視、設備劣化診断の知能化による保全体制の最適化、総合運転安全システムの実現、情報データモデリング技術の開発・利用による熟練者の技術・ノウハウの伝承し支援を目指した方法論の整理及び基盤技術の確立を行った。	1999～2002
	鉄鋼材料における微量ホウ素の挙動解明と利用促進研究会	各種鉄鋼材料における微量ホウ素の挙動を明らかにして、特性改善に向けた微量ホウ素の一層の利用促進を可能とした。	1999～2002
	析出制御メタラジー	析出の熱力学、核生成・成長、速度論、モデリング、析出と力学特性の関係、変態・再結晶・粒成長と析出現象の相互作用、析出物を利用した材料開発、析出物の解析技術等 様々な課題に関して研究と討論を行い、これらに関する最新情報を基に析出基礎と組織形成、材質との関わりに関する理解を深めると同時に、今後の検討課題も整理した。	1999～2002

5.3 研究会

2002年度には、4研究会が発足し、5研究会が終了した。それぞれの活動目的、活動成果を表6に掲げる。また、継続研究会（2002年発足、終了研究会を除く）についても表7に示す。

5.4 鉄鋼環境技術の将来展望委員会

標記委員会は産学官の専門家17名を集めて昨年7月末に発足し、①鉄鋼技術を基盤にした環境・エネルギー重点化技術②将来展望③国の制度設計④大学での環境技術教育・研究のあり方⑤学協会の役割⑥環境技術学会の必要性、などについて検討し、その結果を報告書としてまとめた。その中で産

業間連携・地域社会連携の資源・エネルギー循環の「エコ・コンビナート」として製鉄プラットフォームを活用し、環境・エネルギーに関する以下の3つの分野で重点技術の開発を展開することを国へ提言した。

- ①クリーンエネルギー（水素・電力）の供給産業としての技術開発
- ②CO₂問題解決への貢献（CO₂削減・固定・分離、エコプロダクツ）
- ③産業間資源循環リンケージのプラットフォーム・製鉄インフラを社会システムとして利用（資源循環コンビナートの形成他）

表7 活動中の研究会一覧（2002年度発足、終了研究会を除く）

研究会名	活動期間(年度)
革新的高効率混合・分離リアクター創出	2000～2003
スラグ利用ブリッジ構造材	2000～2003
合金化溶融めっき皮膜の構造と特性	2000～2003
鉄鋼プロセス化学分析技術のスケール化	2000～2003
表面疵発生過程予測技術の開発	2000～2003
多孔質メソモザイク組織焼結	2001～2004
表面処理鋼板の防錆機構解明および寿命設計	2001～2004
鋼材表面特性に及ぼすスケール性状の影響	2001～2004
スクラップ利用拡大に伴う鋼中の微量不純物分析法の開発	2001～2004

謝辞

本稿の起草にあたって各段のご協力をいただいた、経済産業省製造産業局鉄鋼課製鉄企画室（鉄鋼業における諸情勢）、（社）日本鉄鋼連盟（鉄鋼業における諸情勢他各種統計資料）並びに本会関係者の労に對し、深く感謝の意を表します。

☆ 新製品 ☆

本会維持会員会社が2002年1月1日～12月末までに発表した新製品を表8に示す。

表8 新製品（2002年1月1日～12月31日）

	会社名	製品名	概説	発表時期
普通鋼・条鋼、線材	新日本製鐵	高強度PC鋼より線	過共析鋼で2140MPa級PC鋼燃線を試作し、道路床版への適用技術評価を行った。	2002.5
	川崎製鐵	JES形鋼	鉄道や道路の立体交差トンネル工法に用いられる専用継手を有する熱間圧延形鋼。	2002.6
特殊鋼・条鋼、線材	新日本製鐵	Alレス脱酸軸受鋼	硬質介在物を回避するアルミレス脱酸軸受鋼を試作し、転動疲労寿命延長を達成した。	2002.11
		鉛フリー快削鋼	MnS微細化・分散化技術により、被削性と機械的性質を両立する非鉛快削性鋼。	2002.9
	川崎製鐵	SAE規格 12L14代替用鉛フリー快削鋼	鋼の母材組織を制御して超硬工具切削性に優れた鉛フリー快削鋼。	2002.12
		直接切削用非調質鋼	極低炭素ベイナイト組織と制御圧延による析出制御で強度・靱性に優れた非調質鋼。	2002.4
		中炭素系軸受鋼NKJ65M	JIS-SUJ2鋼と同等以上の転動疲労寿命及び2次加工特性を有する中炭素新軸受用鋼。	2002.6
	三菱製鋼	みつびし Non-Pb Super快削鋼	JIS SUM24L鉛快削鋼の鉛フリー化を達成した代替の快削鋼。	2002.4
		みつびし Non-Pb SC系快削鋼	硫黄添加鉛快削鋼(S1-L2)の鉛フリー化を達成した代替の快削鋼。	2002.8
	住友金属小倉	高強度機械部品用鉛フリー快削鋼（スミグリーンS）	Ca添加硫黄快削鋼をベースに、自動加工ラインで問題となる切屑処理性を画期的に向上。	2002.2
		精密切削部品用12L14代替鉛フリー快削鋼	環境に無害な特殊元素の活用により、硫化物を微細分散させ、良好な切屑処理性を発揮。	2002.11
厚板	新日本製鐵	新S-TEN1	耐硫酸露点腐食性を維持し、耐塩酸露点腐食性を飛躍的に向上させた低合金耐食鋼材。	2002.10
	川崎製鐵	船積みタンク用新KD51鋼	予熱フリーでYP≧500N/mm ² の非調質鋼。	2002.6
		超大入熱溶接部靱性に優れた建築構造用厚鋼板	大入熱溶接継手の靱性に優れた建築構造用のYP325MPa、YP355MPa級厚鋼板。	2002.4
	住友金属工業	Ez WELD鋼材 イージーウエルド鋼材	入熱70KJ/cm、バス間温度600℃の溶接で、柱梁接合部70Jが得られる鋼材。	2002.9
	神戸製鋼所	スーパーヒズミレス	曲げ加工時の変形ばらつきを大幅に低減できる世界初の厚鋼板。	2002.8
		エコビュー	ライフサイクルコストを大幅に低減させる橋梁向け塗装用厚鋼板。	2002.10
熱延	NKK	ハイパーバーリング高炭素鋼板	加速冷却設備（Super-OLAC H）を活用し、自動車駆動系強度部品などに適用する、穴拡げ率2倍の高炭素熱延鋼板。	2002.6
冷延	新日本製鐵	サイドパネル用高張力鋼板	高い延性と深絞り性を持つ自動車用サイドパネルなど難成形部品用の40kおよび45k級高張力鋼板。	2002.10
	神戸製鋼所	自動車シート骨格部品用980MPa級超高强度冷延鋼板	局部延性及び曲げ特性に優れ、2001年よりレール部品等に本格採用され、適用拡大中。	2002.12
鋼管	NKK	X100グレードのラインパイプ	加速冷却Super-OLACにより、高強度・高靱性と溶接性を両立した、世界初のX100グレードのラインパイプ。	2002.7
	川崎製鐵	油井管用特殊ネジ継手「KS-BEAR」	耐「圧縮」「外圧」「曲げ」性に優れた油井管用特殊ネジ継手。	2002.1

新製品（2002年1月1日～12月31日）つづき

		会社名	製品名	概説	発表時期
粉末・粉末製品		川崎製鉄	高成形性還元鉄粉「KIP230M」	複雑形状の自動車用小型部品などを対象に従来比で成形体強度が80%向上する。	2002.9
			高密度用「温間金型潤滑成形工法」	高密度の焼結機械部品を対象に独自に開発した金型潤滑剤により7.5Mg/m ³ の高密度を得る。	2002.12
			高強度複雑形状部品用「焼結冷間鍛造工法」	自動車用部品等を対象に鋼粉・工法開発で複雑形状の7.7 Mg/m ³ 超の高密度と5GPaの高面圧疲れ強さを得る。	2002.12
ステンレス鋼		川崎製鉄	超深絞り加工用フェライト系ステンレス鋼	世界最高の高r値達成による優れた深絞り性を有する高耐食フェライト系ステンレス鋼板。	2002.11
		住友金属工業	NAR-DP-3 W鋼板	高塩化物環境で優れた耐食性を示すスーパーニ相ステンレス。海水、食品機器等に適用。	2002.1
		大同特殊鋼	高切削性ステンレス棒鋼（ACE鋼）	鋼中快削元素の介在物形態制御を行うことで、耐食性を損なうことなく切削性が大幅に向上。	2002.3
			自動車耐熱バネ用合金	自動車のマフラー部に使用されるバネ材として従来のインコネル合金よりも優れた耐熱性を有する合金。	2002.4
		愛知製鋼	スクリーンバー	熱間圧延機で直接成形することにより、コストダウンと納期短縮を実現したステンレス鋼。	2002.1
		山陽特殊製鋼	QSF190LM1	耐食性、耐アウトガス性および被削性に優れたフェライト系快削ステンレス鋼。	2002.6
工具鋼		山陽特殊製鋼	QCM10	表面処理性に優れた冷間工具鋼。ダイス鋼の熱処理でハイス並の型寿命を実現。	2002.6
表面処理		新日本製鐵	高吸熱性鋼板	吸熱性に優れ、電気機器内部の熱を効率良く外部に放出することができる鋼板。	2002.7
			帯電防止型ビュコート	ごみの付着の減少、加工組立時の省力化等に寄与する静電気が発生し難い塗装鋼板。	2002.11
		NKK	ガルフレックスカラーマルチシリーズ	つや消し・遮熱・抗菌・帯電防止の各機能を有するガルバリウム鋼板。	2002.1
			ユニバーサルブライトタイプE	無研磨溶接が可能なTFSの表面にポリプロピレンかポリエチレンテレフタレーートのいずれかをラミネートした、環境対応の缶用鋼板。	2002.10
		住友金属工業	住友ハイコートNEO	表面処理にクロムをまったく含まない耐食性に優れた家電用途の塗装鋼板。	2002.3
			住友アルジंकNEOコート（AZ-FN）	耐食性に優れた55%アルミ亜鉛合金めっき鋼板のクロムフリータイプ。	2002.2
表面処理		住友金属工業	GA無機系潤滑処理鋼板（タフジンクアロイV）	リン酸亜鉛系皮膜を施した潤滑性に優れた合金化溶融亜鉛めっき鋼板。	2002.9
			スーパーDL	熱延鋼板や冷延鋼板に無機系皮膜を施した複雑なプレス加工に適した潤滑処理鋼板。	2002.9
		神戸製鋼所	放熱性鋼板コーベホーネツ [®]	亜鉛メッキ材より7倍以上の放熱性を有し、加工性、導電性を付与した高機能鋼板。	2002.10
		日新製鋼	パール調クリヤーコートステンレス	パール顔料を光の干渉で発色させるクリヤーコートステンレス。家電用外板に採用。	2002.4
			プレコート鋼板「テクスター」のクロムフリー化	塗装前処理や塗膜中にクロムを含まない環境にやさしいプレコート鋼板。	2002.5
その他鉄鋼製品	電磁鋼板	新日本製鐵	高張力薄手電磁鋼板	鉄損の増加を最小限に抑えながら、従来の2倍以上の高強度を有する薄手電磁鋼板。	2002.1
			高トルク・良加工性電磁鋼板	鉄損を許容範囲に保ち、より高磁束密度で加工性の良好な薄手電磁鋼板。	2002.11
		住友金属工業	高トルク低鉄損型スミロックス	電気自動車用高効率モーターに適した高磁束密度型の無方向性電磁鋼板。	2002.8
	建材	川崎製鉄	建単構造用円形鋼管 KTP440	590MPa級建築構造用円形鋼管で外側半径が厚さの5.5倍以上、厚みが19～80 mmの鋼管。	2002.1
	溶接棒	川崎製鉄	KB-55IAD	ボックス柱角溶接用高能率・高品質フラックスであり、高入熱溶接での性能が優れている。	2002.8
	その他	川崎製鉄	鉄鋼スラグ水和固化体「フェロフォーム」	製鋼スラグ等の副産物のみを原料とする固化体でコンクリート相当の強度を有し、環境負荷が小さい。	2002.1
			高炉スラグ透水性兼備型ヒートアイランド現象抑止舗装。	高炉スラグからなる保水材を複合させた舗装材で、最大18℃路面温度を低下させ、かつ透水性を兼備する。	2002.8
		住友金属直江津	感温磁性クラッド材	キュリー点を制御することで、自発的な温度制御するIH加熱用のクラッド鋼材。	2002.2
		山陽特殊製鋼	INVAR-H3	超高強度で優れたねじり特性を有する高圧送電線の芯線用新インバー合金。	2002.11
		日立金属	高耐食FeCrCo系低熱膨張材	ステンレス並の耐食性を有する低熱膨張材。熱膨張係数はSUS304の十分の一である。	2002.8
			有機ELメタルマスク用3層箔	中間バリヤ層を有する3層構造であり、高精細のマスクパターン形成が可能。	2002.12

☆ 2002年生産技術トピックス ☆

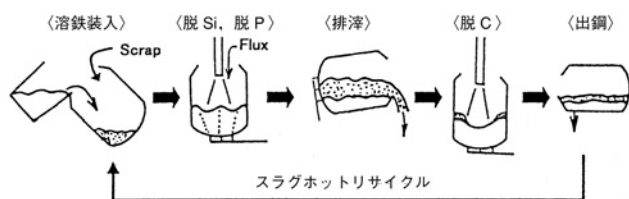
1. 転炉・二次製錬

転炉多機能化による新精錬プロセス

新日本製鐵 (株)

従来の溶銑予備処理法においては、多段分割精錬により、熱ロスや処理及び滞留時間の増加という課題を抱えていた。新日本製鐵においては、転炉に脱Si・脱Pの予備処理機能を集約し、同一炉で連続して脱Si・脱P、排滓、脱炭を行う多機能転炉法 (MURC: Multi-Refining Converter) の開発を行い、予備処理効果を保持しつつ、普通銑と同等以上のスクラップ利用の大幅な改善および処理時間、滞留時間の大幅な短縮を可能とした。現在、室蘭製鐵所、大分製鐵所に導入している。

本法は転炉を用いて低塩基度・高 (%T.Fe) スラグにて高速脱Pを行うが、脱Si・脱P期には意識的にスラグ中の (%T.Fe) 濃度を高めてスラグをフォーミング状態に制御し、その後転炉を傾動してスラグを自然排滓する。そして連続して脱炭を行い、出鋼に至るが、脱炭後のスラグは一部を炉内に残し、ホトリサイクルとして次回の脱Si・脱P吹錬へ使用する。転炉型の脱P方式を採用しているため酸化鉄の利用を抑える事が可能であり、かつスラグのホトリサイクルによる熱の再利用向上も可能なことから、溶銑配合率は普通銑吹錬と同等以上の低減が可能である。処理時間については、一連の処理を連続して行うため、例えば大分製鐵所では約38分のサイクルタイムでの処理となり、脱Si、脱P、脱炭のトータルの処理時間は大幅に短縮されている。



多機能転炉法 (MURC: Multi-Refining Converter) の概要

2. 熱延鋼板

次世代型高精度加速冷却設備「Super-OLAC H」

NKK (現JFEスチール(株))

NKK 福山製鐵所・福山第一熱延工場のランアウトに、次世代型 高精度加速冷却設備「Super-OLAC H」*が2002年4月に設置され、世界に先駆けて実用化された。高精度加速冷却装置 (Super-OLAC) は、すでに、1998年に厚板工場に設置され、生産実績が飛躍的に拡大している。この技術は、

世界最高冷却速度の超急速冷却と鋼板全面の均一冷却を両立し、製造された商品は強度のバラツキを大幅に低減する高い品質精度を誇っている。

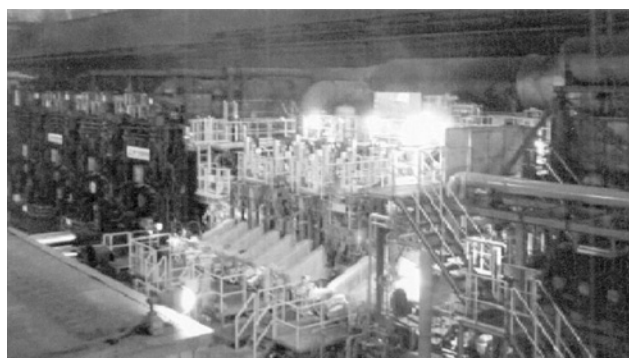
従来、熱延仕上圧延機後面のランアウトテーブルにおいて、70km/H以上の速度で巻き取られるストリップの通板性を維持した上で、強冷却を行うことは技術的に困難であった。今回導入したSuper-OLAC Hでは、テーブルロールの駆動方法の改善等により通板性を確保し、高精度冷却装置の能力を限界まで引き出し、世界最速の冷却速度 (700℃/秒 at 板厚3mm) の実現に成功した。

今回のSuper-OLAC Hの設置・稼働により、以下の効果が期待されている。

- ①温度制御精度の向上 熱履歴制御の精度並びに幅・長手方向の温度精度アップ
- ②薄板品質の向上 結晶粒の微細化や材質の均一化及び向上 (高強度化・高韌性化・溶接性安定・加工性アップ)
- ③ランアウトテーブルのコンパクト化 従来100mの1/4以下

この急速冷却と均一冷却の実現により、自動車用ハイテン等の高品質薄板商品の安定製造や加工熱処理の能力が大幅に拡大するものと期待されている。福山製鐵所では既に、厚板、形鋼へSuper-OLACを導入し、加工熱処理の体系化を図ってきたが、今回の熱延ランアウトへのSuper-OLAC Hの導入により、熱延工場の加熱炉・粗バーヒータ・ミル能力増強等の一連の高品質化対応と合わせて、熱延ミルでの加工熱処理技術が完成した。

*Super On-Line Accelerated Cooling for Hot Strip Millの略



熱延次世代加速冷却設備 Super-OLAC H

ハイパーバーリング高炭素鋼板

NKK (現JFEスチール(株))

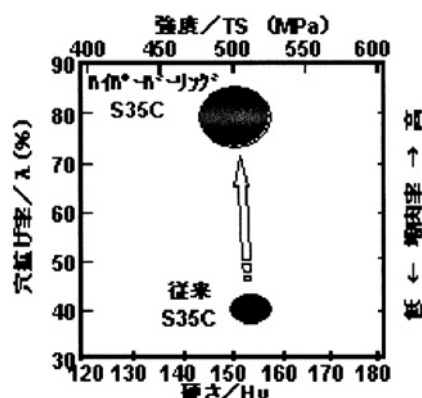
NKKは2002年4月に福山製鐵所に導入した熱延ランアウト高精度超高速冷却装置 (Super-OLAC H) *を活用し、自動車駆動系強度部品用等のバーリング加工に適する高炭素熱

延鋼板「ハイパーバーリング高炭素鋼板」を開発した。従来、自動車の駆動系部品は鋳造または鍛造により製造されてきたが、製造コスト低減のため鋼板を用いた一体プレス化が積極的に進められている。しかしながら、フランジ部分の板厚を部分的に厚くするような加工では高いバーリング加工性が要求され、従来の高炭素鋼板では加工時に割れが発生するため、プレス化の障害になっていた。

NKKが導入したSuper-OLAC Hは世界最高速度の冷却速度（700℃/秒at板厚3mm）を実現することができ、従来設備では達成困難であった熱延組織の均一・微細組織制御が可能となった。これにより焼鈍後の炭化物は冷延鋼板およびみがき帯鋼レベル以上の均一微細分散が得られ、バーリング加工性が大幅に向上した。

非常に優れたバーリング加工性と優れた焼入れ性を有したハイパーバーリング高炭素鋼板は、複雑形状の部品の一体成形および部分強化による製造コストの合理化に一層寄与することが期待される。

*Super On-Line Accelerated Cooling for Hot Strip Millの略



強度—穴抜け性バランス

BHT鋼板

川崎製鉄（株）（現JFEスチール（株））

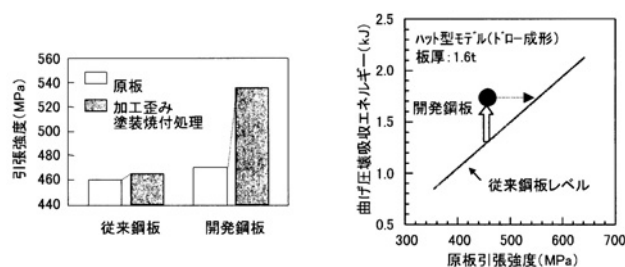
川崎製鉄では、窒素による歪み時効硬化を活用した、自動車の強度部材、耐衝突部材に適した高強度高成形性熱延鋼板「BHT (Bake Hardenable steel with Tensile strength increase) 鋼板」の開発に成功した。

本開発鋼板は、高い歪み時効硬化能を有し、塗装焼付け処理後には大きな降伏強度の上昇を示すとともに、従来の塗装焼付け型鋼板には無い「引張強度の上昇」を実現している（左図）。これは、プレス成形により導入された転位を、塗装焼付け処理時に窒素で強固に固着し、塗装焼付け後の塑性変形時に転位の増殖を促進させることで、変形応力（加工硬化）

が増大するためである。熱間圧延工程での高精度の冷却制御により、鋼中の固溶窒素量を適正に調整するとともに結晶粒径の微細化を施して、高い歪み時効硬化能と良好な耐常温時効性を両立している。一方、プレス成形時には低強度であるため加工性に優れ、母材強度レベルが同一の従来鋼板と同等の成形性を示す。

本開発鋼板では、歪み時効硬化により高速変形時の吸収エネルギーや疲労強度が向上するため、耐衝突特性や耐久性が要求される自動車の構造部材に適している（右図）。部材の衝突特性の評価での吸収エネルギーに対する歪み時効硬化の寄与は、TSに換算すると60～70MPaの上昇と同等であった。これは、吸収エネルギーを同等のまま板厚を約0.1mm低減できることを意味している。このように、本開発鋼板は、自動車の衝突特性の向上あるいは板厚低減による車体軽量化に寄与することから、自動車の安全性、環境問題に大いに貢献するものである。実際に、自動車の耐衝突部材に既に採用されており、10%以上の部品軽量化が達成されている。

本開発鋼板は2002年度の先端技術大賞・経済産業大臣賞（日本工業新聞社主催）を受賞しており、その工業的価値は広く認められているものである。



左図 従来鋼板と開発鋼板の引張強度上昇量の比較
右図 開発鋼板の衝突特性向上効果

3. 冷延鋼板・表面処理鋼板

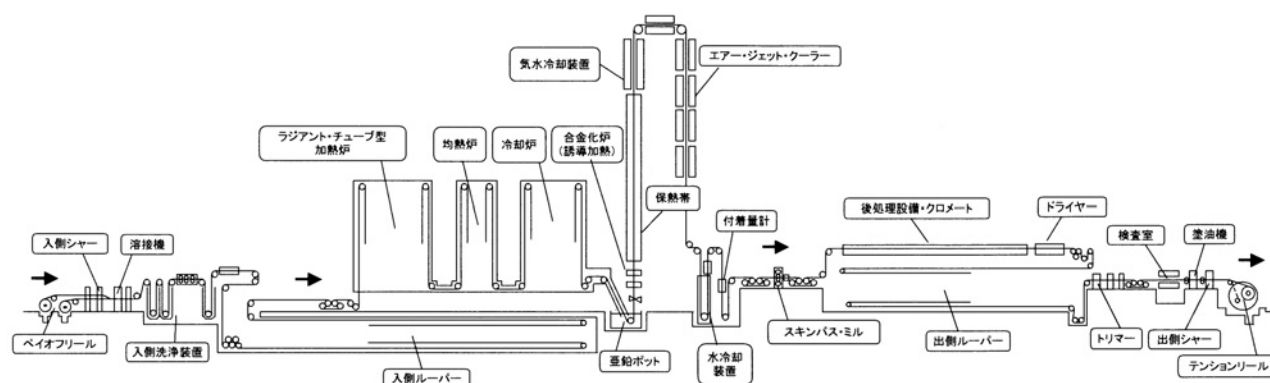
冷延・めっき鋼板製造設備G.A.P.L新設

新日本製鐵（株）

新日本製鐵は自動車用途を主体とした高品位鋼板の供給力向上と、老朽化した焼鈍、溶融亜鉛めっき関連ラインの集約を目的に、八幡製鐵所にG.A.P.L. (Galvanizing, Annealing and Processing Line) を建設し、平成14年4月に操業を開始した。

同設備は冷延鋼板（CR）と合金化溶融亜鉛めっき鋼板（GA）の双方を製造できる世界初の新設兼用設備であり、板厚は0.4mmから2.3mmまで、板幅は600mmから、最大は同様の設備としては最大級の1880mmまでの製造が可能で、年間の生産能力は46万トンに達する。

個々の設備としては、素材となる冷間圧延済みコイルの清



G.A.P.L.ライン構成図 (GA材製造時)

浄化に電解・ブラシ併用型設備を、焼鈍炉にオール・ラジアン・チューブ型炉を、また、GA製造のためのめっき層合金化炉には誘導加熱炉（インダクション・ヒーター）をそれぞれ採用し、更に設備の随所に社として蓄積してきた自動車用鋼板製造に関するノウハウを十二分に盛り込み、CR・GAの炉内ロール疵や、GAのドロスなどめっき欠陥、合金化不良等の極めて少ない高品質の自動車用鋼板を高効率に製造できるライン構成としている。

操業開始以降、安定生産を継続し、かつ各カスタマーからの製品に対する承認も早期に獲得を完了し、今後、国内、海外からの更なるCR・GA製品の受注拡大が期待されている。

省エネに貢献する薄手高効率電磁鋼板

新日本製鐵 (株)

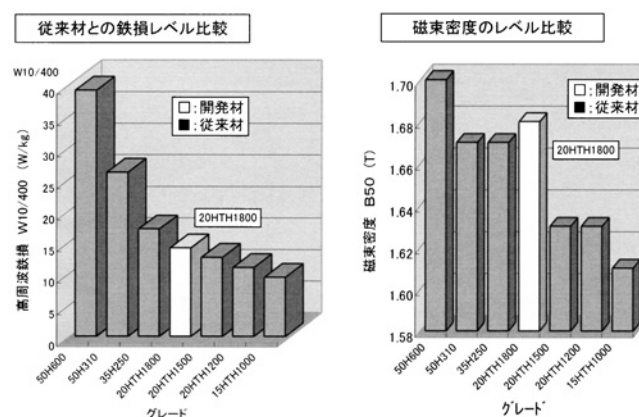
電磁鋼板は、モーターをはじめとする電気機器の鉄心材料として広く使用され、その電力損失が機器の効率エネルギー消費量を左右する重要な材料である。モーターのエネルギーロス（鉄損）低減のためには、使用される電磁鋼板の薄手化が有力な方法で、新日本製鐵では従来の板厚0.15～0.2mmに加えて、さらに性能をアップした高張力薄手電磁鋼板と高トルク・良加工性薄手電磁鋼板を拡充した。

モーターの回転子が高速回転する際に大きな遠心力が作用するため、電磁鋼板の強度が不足すると破壊に至る危険性がある。特に電磁鋼板の回転子に穴を開けて磁石を挿入しているタイプのモーターでは、構造上、磁石を保持する部分の強度確保が重要な課題となる。高張力薄手電磁鋼板は鉄損の増加を最小限に抑えながら、従来の2倍以上の高強度を実現している。

また、HDD用モーターの生産台数の増加にともない、金型の損耗を防ぐため打ち抜き加工性の改善（低硬度）も求められている。鉄損値を許容範囲に保ちながら、より高トルクに適し（磁束密度が高く）、併せて加工性の良い（低硬度）の

薄手電磁鋼板を開発した。

既に、これらの新商品を使って、数万回転を超える高速スピンドルモーター、磁気軸受け、あるいは電気自動車用モーター等をターゲットに試作開発が進んでいる。今後、これらの新商品が、小型化の進むモバイル機器や電気自動車の普及・発展のために重要な材料として幅広く使用され、環境問題・省エネルギーに大きく貢献することが期待される。



従来材との鉄損レベル比較

超高加工性フェライト系ステンレス鋼板

新日本製鐵 (株)

新日本製鐵は高効率真空精錬技術、鍛造から熱間圧延～冷間圧延までの一貫製造プロセスにおける金属組織制御技術を駆使し、加工性、深絞り性を飛躍的に向上させた超高加工性フェライト系ステンレス鋼板を開発した。

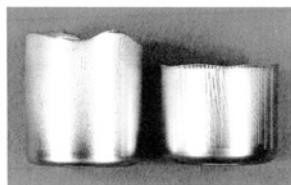
従来のフェライト系ステンレス鋼は、ニッケルを含有するオーステナイト系ステンレス鋼に比べ破断までの伸びが小さく、成形性に劣っていた。伸びを低下させる不純物を高効率真空精錬技術によって低減させ、添加するチタンを最小限にすることで、従来のSUS430鋼に比較して伸びで約10%向

上させ、ランクフォード値も2.0程度まで上昇させ、プレス成形性を飛躍的に向上させている。

また、フェライト系ステンレス鋼の不純物を低減し高純度化すると、鑄造した時の金属組織が粗大化し、プレス加工するとリジングと称する表面凹凸が大きくなる問題があるが、鑄造から熱間圧延～冷間圧延までの一貫製造プロセスの最適制御によって、プレス加工後もリジングはほとんど認められないのが特徴である。

用途としては、燃焼器具、電池ケース、自動車部品、厨房機器、建物内装部品等の加工部品を中心に、プレス成形性を活かして、複数部材の溶接構造からプレス一体化成形化やプレス工程の簡略化も可能で、部品製造コストの削減に役立つと期待される。

プレス成形後の外観写真



プレス成形後の外観写真

成形加工例
(燃焼機器部品)



成形加工例 (燃焼機器部品)

一般缶用ラミネート鋼板「ユニバーサルブライト タイプE」 NKK (現JFEスチール)

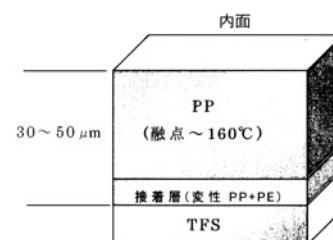
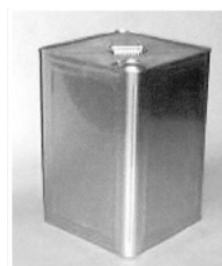
NKKは、低コストで、地球環境にやさしく、酸～アルカリの汎用内容物を充填できる、一般缶用ラミネート鋼板、「ユニバーサルブライト タイプE (=Ecology)」の実用化を、世界に先駆け達成した。

従来、18L缶、ペール缶等の一般缶は、内面塗装缶が主流を占めていた。しかしながら塗装コストが高く、有機溶媒や炭酸ガスのような環境負荷物質の排出量が多いという問題があり、近年ラミネート化に対する要望が高かった。「ユニバーサルブライト タイプE」は、独自設計の2層ポリプロピレン (PP) フィルムをTFS (Tin Free Steel) にコイルラミネートしたものであり、以下のような特長を有する。

- ①低コストで、酸～アルカリの幅広いpH領域で化学的に安定なPPフィルムを使用。汎用用途として現在広く使われている二回塗装缶の代替が可能。
- ②塗装工程省略による環境負荷物質の低減が可能。
- ③フィルムの母層には耐熱性の高いPP (融点160℃) を使用。外面印刷 (焼付け温度～150℃) 時の熱でもフィルムが融けず、缶に意匠性の付与が容易。
- ④接着層には、カルボン酸変性PP中に溶融濡れ性に優れる

ポリエチレン (PE) を適正比配合したものを使用。フィルムが下地TFSと強く密着するため、耐食性や気密性に優れる。

「ユニバーサルブライト タイプE」は、薬品・洗剤などの幅広い内容物に対して適性が確認され、大手18L缶メーカーで実用化された。今後もいっそうの需要の拡大が期待される。



左 ラミネート18L缶の製缶例

右 ユニバーサルブライト タイプEの断面模式図

耐久性に優れた400MPa級11%Cr鋼材R410DHの開発と 建築構造物認定の取得

川崎製鉄 (株) (現JFEスチール)

住宅構造用鋼材としては、一般にカチオン電着塗装や亜鉛めっきなどの防錆処置をした鋼材が使用されている。しかし、最近の長寿命3世代対応住宅、中古住宅の鋼材を再利用した住宅などの展開に対応してさらなる耐久性の向上が求められている。

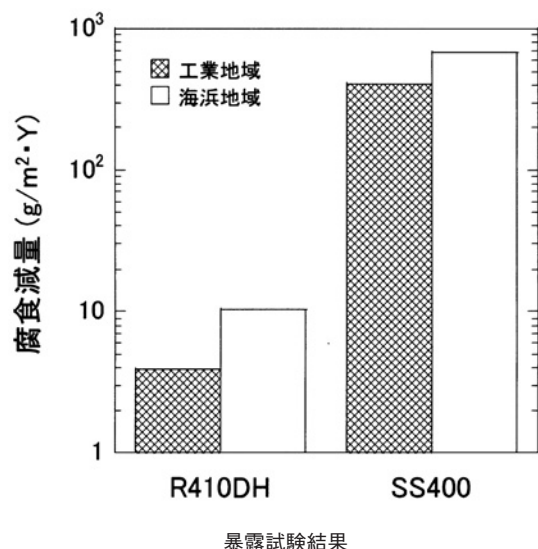
そこで、川崎製鉄では一般的な建築構造用鋼材と同じ設計手法・部材加工が適用でき、かつ極めて耐久性に優れた「建築構造用11%Cr鋼材R410DH」を開発した。

R410DHの代表化学成分は、0.01% C-11% Cr-1.5% Mn-0.3% Cuである。Cの低減とMnの1.5%添加により、韌性に優れた微細マルテンサイト組織を溶接部に生成させるように成分設計することで、優れた韌性を有していることが本鋼種の大きな特徴である。また、機械的性質が建築用400MPa級炭素鋼と同等になるように製造プロセス条件の最適化を図った。そのため、鉄骨造の構造設計・部材加工において、従来使用されている鋼材と同様に扱うことができる。

R410DHはCrを11%含むために、大気環境において極めて優れた耐久性を示す。図に暴露試験した結果を示すが、R410DHは建築用400MPa級炭素鋼の約1/80の腐食減量であることから、極めて長期間の耐久性が期待できる。

R410DHは11%Cr鋼として、初めて (財) 日本建築センター鋼構造審査委員会の性能評価 (平成13年12月14日：

BCJ基評—ST0101—01)を取得し、併せて国土交通大臣認定(平成14年1月28日:MSTL—0071)も取得した。400MPa級R410DHの開発とその建築構造材認定の取得により、低コストで耐久性に優れた建築構造用Cr鋼材の使用が可能となった。



放熱性鋼板「コーベホーネツ®」

(株) 神戸製鋼所

近年、DVDや液晶モニター等の電子機器や、家電製品の高性能化に伴って、ICや半導体などの発熱量が大きくなる傾向にある。ファンによる強制冷却、装置そのものに穴をあけ内部の熱を逃がすなどの対策を実施しているが、加工費の増加、気密性や電磁波シールド性における問題などがあった。

神戸製鋼所は、これらの問題の解決に寄与することを目的として、従来の電気垂鉛めっき鋼板に比べて7倍以上の放熱性を持つ鋼板「コーベホーネツ®」を開発した。この鋼板は、特殊皮膜に放熱性が優れる添加剤を適性配合し、鋼板表面にコーティングすることによって放射率を極限まで向上させている。「コーベホーネツ®」を用いることにより、電子機器内の温度を下げるができるため(図1)、冷却ファンモーターの容量低減、あるいはファンレスも可能になり、電子機器の高速化・高機能化・小型化ニーズに対応できる。しかも、環境負荷の低減を考慮したクロムフリー対応の鋼板である。また、「コーベホーネツ®」には、高い放熱性に加えて、(1)表面導電性を有し、筐体を通したアースがとれる、(2)保護フィルムなしで曲げ・絞り・張出し加工が可能(写真1)、(3)つやを抑えた、落ち着いた色調で、意匠性が高い、(4)高い耐食性を有する、などの特徴がある。

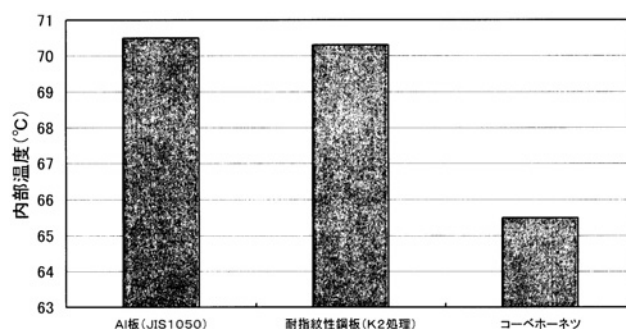


図1 放熱特性 (120℃の熱源を有する試験装置の1面を、Al板からコーベホーネツ®に置き換えることにより、内部温度が約5℃低下する—弊社測定法による)

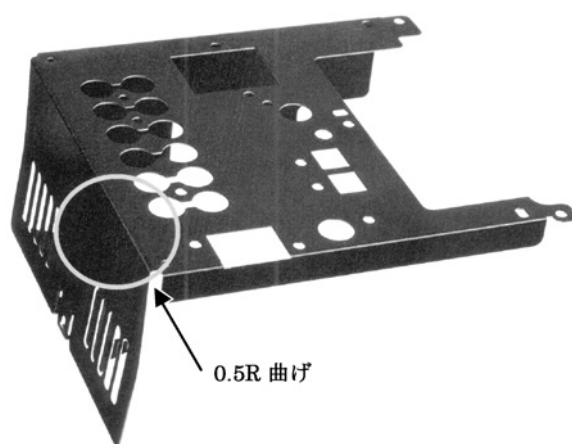


写真1 コーベホーネツ®の加工例

4. 鋼管

X100 グレードのラインパイプ

NKK (現JFEスチール)

NKKでは、世界で初めて「X100グレード(規格下限降伏強度:690MPa)」という世界最高強度のラインパイプの商業生産を開始した。

現在API (American Petroleum Institute) 規格における最高グレードはX80で、X100は規格化が検討されている。また、X100相当のラインパイプはCSA (Canadian Standards Association) 規格においてグレード690として規格化されている。この規格に基づいて世界初のX100ラインパイプは製造された。世界的な長距離パイプラインにおける、高強度鋼管に対するニーズの高まりがこのX100の開発に結びついた。高強度化によるトータルのコストメリットは、現在広く用いられているX65に対してX80が約5%、X100は約8.5%に及ぶと試算されている。

高強度かつ高靱性、優れた溶接性を達成するため、X100ラインパイプの製造には、世界最高速の冷却速度と均一冷却

を特徴とする加速冷却技術 (Super-OLAC) を適用している。NKKでは、世界最高速の冷却速度と均一冷却を得るため、新加速冷却技術Super-OLACを開発し、1998年からこれを稼働させている。スプリングバックを考慮した成形技術の確立と高品質な溶接技術の開発もX100開発に欠かせない要素であった。

長距離ガスパイプラインの建設増加が予想されるなか、X80以上の高強度ラインパイプの適用拡大を図っていききたい。



図 パイプライン建設工事

5. 計測・制御

新しい鉄道台車「制御台車」の実用化

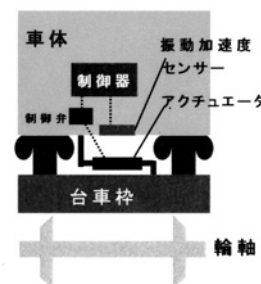
住友金属工業 (株)

住友金属工業交通産機品カンパニーでは、鉄道車両の新しいニーズに対応する高付加価値製品として、車両のサスペンションにコンピュータ制御を導入した「制御台車」を開発してきたが、この度、新幹線の高速での乗り心地向上を図る「アクティブサスペンション」が世界で初めて採用されることとなった。

「アクティブサスペンション」は、H13年よりJR東日本の東北新幹線の一部に適用され、12月1日の八戸延伸開業にともない「はやて」「こまち」の両先頭車両とグリーン車に順次装着されている。

従来の鉄道車両は、台車と車体の間に備えられた空気ばねやオイルダンパの作用によって振動を吸収する構造をとってきたが、今後のさらなる高速化のためには飛躍的に乗り心地を改善する必要性に迫られていた。そこで、今回のシステムでは、車体に設置した加速度センサーによって車体の振動を検知し、 $H\infty$ 制御理論に基づいて制御力を演算し、空気圧アクチュエータにより、車体の左右方向の振動を積極的に打ち消す方式を採用した。その結果、本システムの採用により、

車体の左右振動は $1/2$ 以下と大きく改善され、新幹線車両の乗り心地改善に大きく貢献することができた。



東北新幹線 (JR東日本) アクティブサスペンション概念図

6. その他

世界初の還元溶融法『Hi-QIP』のパイロットプラント

川崎製鉄 (株) (現JFEスチール)

炭材ベッド型還元溶融法 (Hi-QIP) プロセスは、安価な粉状鉱石、一般炭から直接粒状の銑鉄を製造する世界初の還元、溶融型の新製鉄法である。本プロセスでは、回転する炉床上に炭材を敷き詰め、炭材表面にたこ焼き鉄板状の凹部を多数設け、さらにその上に粉状の鉱石と炭材の混合物を装入する。上部よりバーナで加熱することにより、鉱石を還元、溶融させる。溶融物は、凹部に自然に凝集し、溶銑とスラグに分離する。炉床上にて冷却、凝固した粒状の銑鉄、スラグは、排出装置により炉外に排出される (図)。

このプロセスの特長は

1) コークス炉、焼結機が不要であり、コークス炉老朽化に対応できる。2) 炭材を炉内で完全燃焼 ($C \rightarrow CO_2$) し、有効利用することにより熱効率が改善され、炭酸ガスの排出量の低減につながる。3) 製品の粒鉄には、スラグなどの不純物を含まず、高品位である。高品位粒鉄がプロセスの名称 Hi-QIP (High quality iron pebble) 法の由来である。

NEDOの民間基盤技術研究促進事業として委託を受けて、15t/d規模のパイロットプラントでの研究開発 (平成13年度から17年度) を進める。平成14年度はパイロットプラントの第一期工事と冷間実験を実施した。

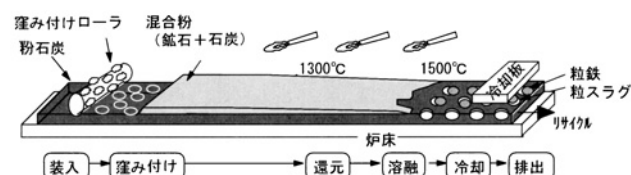


図 Hi-QIPプロセスの概要

鉄系粉末冶金用温間・金型潤滑成形法

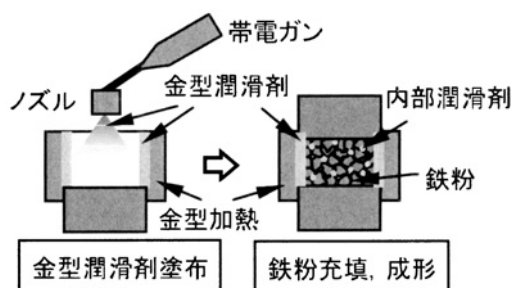
川崎製鉄(株)(現JFEスチール)

川崎製鉄は、粉末冶金法において高い成形体密度が得られる、新工法「温間・金型潤滑成形法」を開発した。

自動車エンジンの高性能化に伴い、自動車部品にかかる応力は高くなる傾向にあり、鉄系焼結部品に対しても疲労強度向上の要求が高まっている。このような要求に対応するためには、焼結部品の高密度化が有効であるが、従来の高密度成形工法である2回成形2回焼結法では、コストが高く、また小型の部品しか製造できないという問題があった。また、鉄粉と金型を100～150℃に加熱する温間成形法で得られる密度は、高い疲労強度を達成するには十分ではなかった。

そこで、当社では、温間成形法より高い密度を実現するため、粉末潤滑剤を金型に帯電塗布する金型潤滑法を温間成形法に組み合わせた高密度成形工法を開発した。この方法により、比重の小さい内部潤滑剤の配合量を低減することができ、温間成形法に比べ約 $0.1 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ の密度向上を図ることが可能となる。1例として、686MPaの成形圧力で、従来製造が困難であった $7.4 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ の成形体密度を達成した。この成形体を焼結した場合、密度が $7.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 程度の高密度焼結部品となり、疲労強度は約8%増加する。

今後、この成形工法は、粉末冶金法による自動車分野での高疲労強度部品製造への適用が期待される。



温間金型潤滑成形工法の概要

高炉スラグを用いた透・排水性を兼備したヒートアイランド現象抑止舗装

川崎製鉄(株)(現JFEスチール)

都市部で局地的に気温が高くなるヒートアイランド現象が

深刻な社会問題となりつつあり、国や自治体レベルで種々の対策が検討されている。

川崎製鉄は、鉄鋼副産物である高炉スラグ固化体製造技術を応用して開発したスラグ保水材と、排水性舗装を組合せた「透・排水性を持ちかつヒートアイランド現象を抑止する舗装技術」を、鹿島道路(株)と共同開発した。

高炉スラグを主成分とする保水材は、 $1 \mu\text{m}$ 近傍にシャープな気孔径分布を持ち、含水率が約50%の固化体である。太陽光線等で加熱されると、保持した水を徐々に放出し、その気化熱によって舗装面を冷却する。本開発技術では、この保水材をアスファルトの空隙に充填する際に、雨水の通り道が確保可能な特殊工法を採用し、ヒートアイランド抑止性能と共に、透・排水性を兼備させるという、従来にはない舗装を実現した(図1)。本舗装は多数の水みちが存在するため、雨水が舗装体内部へ早く浸透して保水材に効率よく吸収されるとともに、水溜まりや水はねが起りにくいこと、車走行時の騒音低減効果を有することが特徴である。

本舗装は、千葉製鉄所内での試験施工を通じた性能確認後、'02年3月にJR千葉駅前バスレーン(千葉市、施工面積 2680 m^2 、舗装厚さ5cm)で試験施工された。同年7月の舗装面温度測定では、一般舗装に比べて散水当日に 15°C 、翌日に 12°C の舗装面冷却効果が確認されている(図2)。今後さらに本舗装技術の普及に努め、「ヒートアイランド現象の抑止」や「鉄鋼スラグのリサイクルによる資源有効活用技術」を通じ、都市環境の改善・保全に貢献していく。

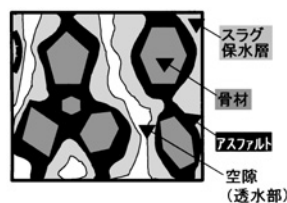


図1 ヒートアイランド現象抑制舗装模式図
実舗装における空隙の大きさは約1～3mm、骨材の大きさは5～12mm。

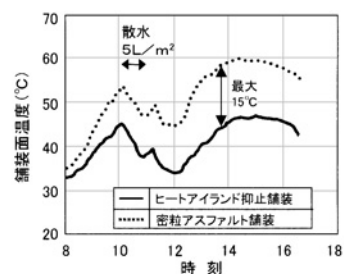


図2 散水後の舗装面温度比較

(2003年2月25日受付)



薄鋼板開発の現状と展望

Present Status and Future Perspective of Development of Sheet Steels

瀬沼武秀
Takehide Senuma

新日本製鐵(株) 技術開発本部
鉄鋼研究所 鋼材第一研究部長

1 はじめに

薄鋼板の開発は材質、表面処理そして利用技術の開発に大別される。本稿は材質の開発に焦点を絞って最近の動向と将来の展望について概説する。現在の薄鋼板の材料開発は自動車用鋼板を主体としており、その中心は燃費の向上を通して、21世紀の大きなテーマの一つである自然環境への負荷の低減を実現する車体の軽量化に寄与する高強度鋼板の開発である。鋼板の板厚は必要な強度、剛性そしてさび代などによって決まっている。強度が原因で板厚が決まる場合は高強度化により板厚減が果たせるが、その実現のためには部品成形に必要な成形性を確保する必要がある。すなわち、今日の材料開発は部品に合った強度と成形性のバランスを創出することに主眼が置かれている。それゆえ、本稿では成形性に優れた高強度鋼板の開発を中心に現状を紹介し、将来を展望する。その他にも軟質鋼板の開発動向並びにIT化時代の薄鋼板の材料開発についても言及する。また、本稿に先立ち本雑誌において「車体軽量化のための自動車用薄鋼板の動向」と題した自動車用鋼板全般およびプレス成形性並びに衝突安全性について分かりやすく解説されている展望が紹介されており¹⁾、本稿と補完し合う内容になっているので一読することを推奨したい。

2 加工用軟質鋼板

軟質鋼板は適度な強度を持ち、成形性に優れているので広く汎用鋼として使用されている。特に厳しいプレス成形を受ける自動車のクォーターパネルのような部品には超成形性鋼板が適用されている。複雑形状の厳しい成形には優れた張り出し成形性と深絞り成形性の両方が問われる場合が多い。一般に、張り出し成形性は延性との相関が強く、鋼成分の高純化により向上するため、図1に示すように不純物元素の低減

がポイントになっている²⁾。そのために特に溶銑予備処理、製鋼段階においてC, N, S, Pを低減するための技術開発が数多く行われた。例えば、Cを低減する技術として真空吸い上げ口を大径化し、底吹のArガスによる攪拌効率の向上を図った新製鋼法の開発³⁾によりC量が10ppm以下の鋼板が生産性を大きく落とさずに製造できるようになった。

一方、鋼板の深絞り性には深絞り加工時の材料の流れ込みが大きく板厚の変化が小さいことが望まれる。そのため、単軸引張成形による板幅と板厚の変化より求まるr値(=ln(w/w0)/ln(t/t0)、ここで、wおよびw0はそれぞれ変形後および変形前の板幅、tおよびt0はそれぞれ変形後および変形前の板厚)が高いほど優れることが知られている。この特性は集合組織制御に負うところが大きく、板面の法線方向に{111}方位の集積度が高い集合組織を有する鋼板が深絞り性に優れる。

図2に高r値を得るメタラジのポイントを示す。高r値を得るには成分調整として低C、N化を果たした上、Ti、

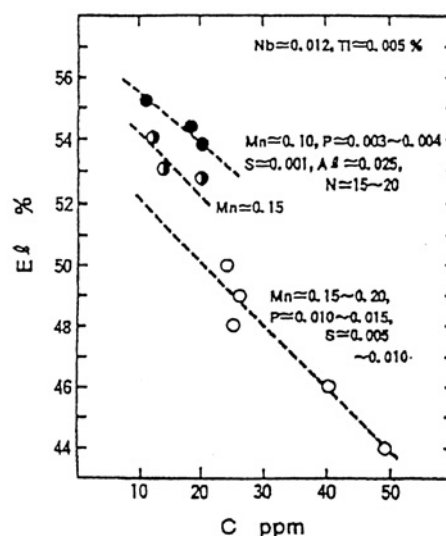


図1 延性に及ぼす添加元素の影響²⁾

Nbなどの炭窒化物形成元素で鋼のIF化 (Interstitial atom free) を行う必要がある。IF鋼の r 値は焼鈍時の粒成長により向上するので、生成した炭窒化物は粒成長を阻害しないようにスラブの低温加熱ならびに巻取温度の高温化により粗大に析出させることが望ましい。しかし、巻取温度の高温化はスケール形成を助長し、酸洗性を阻害するので、巻取温度に依存せずに析出物の粗大化を達成する方法として、適量のSの添加と低温スラブ加熱で炭硫化物を形成する技術が開発されている⁴⁾。

熱延段階では熱延鋼板のフェライト粒を微細にし、適切な集合組織制御を行うことが重要である。1970年代に低炭アルミキルド鋼の研究により、冷延後、焼鈍時に結晶粒界から核生成する結晶粒が $\{111\}$ 方位をもつ確率が高いことが明らかにされた^{5,6)}。この知見から熱延板組織の微細化により、粒界を増加させ、 $\{111\}$ 方位の集積アップによる冷延鋼板の

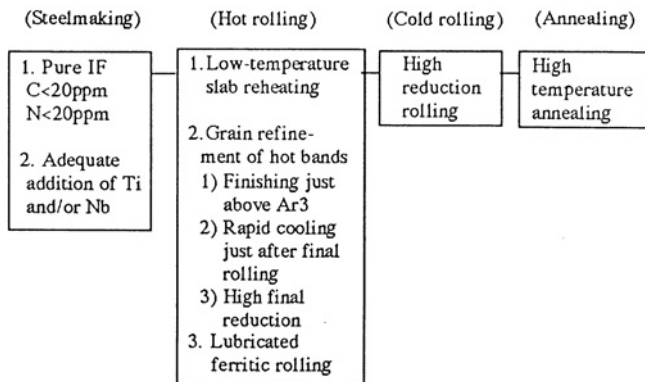


図2 深絞り性を向上させる冶金的手段

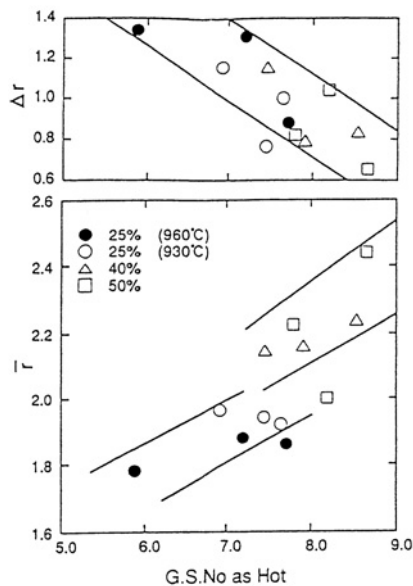


図3 冷延焼鈍板の r 値に及ぼす熱延板結晶粒径の影響 (0.0013% C, 0.18% Mnの極低炭素鋼、最終圧下率、仕上温度の異なる材料)

深絞り性の向上が積極的に図られている。熱延組織の微細化はIF鋼でも冷延鋼板の深絞り性を向上させるが、この場合は結晶粒が微細になると $\{111\}$ 加工粒の粒内から核生成する $\{111\}$ 再結晶粒の頻度が高まる可能性も報告されている⁷⁾。

熱延板のフェライト結晶粒の微細化には仕上圧延でのトータル圧下率の増加、特に仕上後段での圧下率の増加、Ar3変態点直上の仕上温度、仕上圧延直後の急冷が有効であることが知られている⁸⁾。ここで、注意を要するのは鋼を高純化すると結晶粒は粗大化する傾向なので r 値に関しては鋼を高純にするほど高くなるとは一概に言えないことである。

図3に示すように熱延板のフェライト粒径の微細化は冷延鋼板の r 値 (r 値の平均値) の増加ならびに Δr (r 値の面内異方性) の低下に効果があるだけでなく、図4に示すように延性の向上並びに異方性の低下にも寄与する。伸びの面内での最低値が張り出し性を決める事が多いので異方性を小さくし、伸びの最低値を上げることは意味深く、この観点からも熱延鋼板のフェライト粒の微細化は重要な課題である。

一方、適切な集合組織制御としては、一つには熱延鋼板に $\{111\}$ を主方位に持つ集合組織を形成させる技術^{9,10)}、もう一つは α ファイバーと言われる $\langle 011 \rangle // RD$ が発達した集合組織を形成させる技術が報告されている¹¹⁾。 r 値の向上としては前者の方が顕著であり、後者は r 値の異方性の低減に

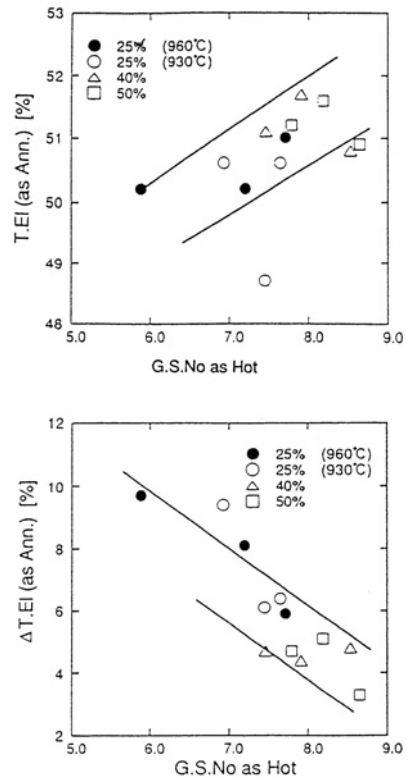


図4 冷延焼鈍板の延性に及ぼす熱延板結晶粒径の影響 (0.0013% C, 0.18% Mnの極低炭素鋼、最終圧下率、仕上温度の異なる材料)

効果を発揮する。熱延鋼板で $\{111\}$ を発達させるには、鋼をIF化し、 α 域で圧延する必要がある。その際、鋼板と圧延ロールの間で摩擦係数が高いと表面近傍にせん断ひずみによって深絞り性を損なう集合組織が発達するため¹²⁾、摩擦係数を下げる潤滑圧延が行われている^{13,14)}。図5はラボ圧延結果であるが、潤滑熱延により $\{111\}$ を発達させた熱延鋼板は高い $\bar{r}$ 値を示し、更に冷延焼鈍後は従来の熱延板を用いた鋼板より $\bar{r}$ 値が0.5以上も向上する¹³⁾。実機においても潤滑熱延を適用することにより $\bar{r}$ 値が3程度の超深絞り冷延鋼板が開発されている¹⁴⁾。また、潤滑圧延を γ 域で行い表層部のせん断変形を軽減することにより、冷延焼鈍後の $\bar{r}$ 値が若干上昇することも報告されている¹⁵⁾。潤滑熱延は材質の向上のほかにロール原単位の低減、スケール厚の低下¹⁶⁾ による酸洗性の向上、圧延荷重の低下による省エネルギーならびに難圧延材の圧延制御性の向上など利点があるので、噛み込みや通板性の問題を圧延制御技術によって解決し、効率的な潤滑システムを構築することができれば将来が開けるものと思われる。

一方、熱延鋼板の α ファイバーを発達させる熱延プロセスはフェライトの微細化技術と同様で、仕上温度の低温化、最終段大压下圧延、圧延直後の急冷などが有効である。

更なる高 $\bar{r}$ 値化を可能にする技術として、 $\{111\}$ 方位を主方位に持つ鋼板を電析により製造する方法が報告されている¹⁷⁾。この鋼板の組織は電析方向に長く伸びた針状粒よりなり、 $\bar{r}$ 値は7を超えることもある。ただし、この高い $\bar{r}$ 値は一般のすべり変形による塑性異方性では説明できず、粒界すべりが関与している可能性が高い¹⁸⁾。

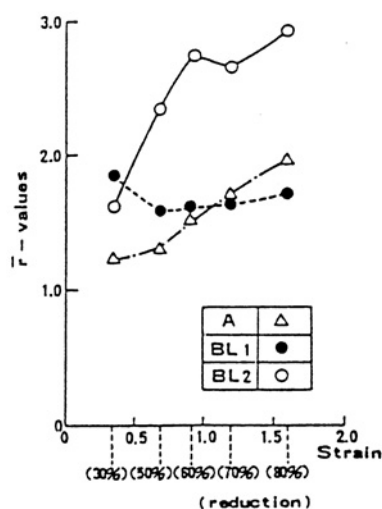


図5 平均 $\bar{r}$ 値に及ぼす冷延率並びに熱延条件の影響¹³⁾
(A: γ 域熱延材、BL1: α 域潤滑熱延まま、未再結晶組織、BL2: α 域潤滑熱延+熱延板焼鈍、再結晶組織)

3 BH鋼板

BH (Bake hardening) 鋼板はプレス加工時にはYPが低いためプレス加工が容易で、成形後の塗装焼付けにより強度を増す合理的な鋼板である。プレス時にYPが高いと面ひずみが生じ易く表面品質問題が懸念される一方で、YPを上げて耐デント性を確保したい自動車パネル用外板には最適な鋼板である。自動車パネル用外板は優れた成形性が要求されることが多いため主に極低炭素鋼が使用されている。BHの原理は固溶C,NがBH処理(一般に $170^{\circ}\text{C} \times 20$ 分)により転位に固着し、転位の動きを阻害して、降伏応力を高める現象である。また、この現象は室温近くの低い温度でも時間を掛ければ起きるので、プレスが行われるまでにこの自然時効現象が顕著に起きないように固溶C,Nの上限を限定する必要がある。この現象が起きるとプレス時に降伏点伸びに起因するストレッチャーストレイン (St-St) と称する縞状の表面欠陥が現れるので自動車用外板としての表面品質を損なう。それゆえ、得られるBH量も自ずから上限があり、現状は60MPa程度である。

極低炭素鋼のBH鋼板は製造方法が2通りあり、C、NがTiやNbの添加量より化学当量的に過剰に添加されている場合と逆にTiやNbの方が過剰に添加されている場合である。前者は固溶Cが製造工程中常に存在するため、その存在により $\bar{r}$ 値に好ましい集合組織が形成しにくいことが知られている。一方、後者の場合は冷延時には固溶Cが存在しないので、集合組織形成上は好ましく、高 $\bar{r}$ 値が得られるが、BH性を発揮させるためには焼鈍を高温で行い炭化物を再溶解させて、最終製品に固溶Cを適量存在させる必要がある。図6に示すように成分的にC量がばらついた場合、その影響がBH性のバラツキに結びつきにくいのはTiやNbを過飽和に添加

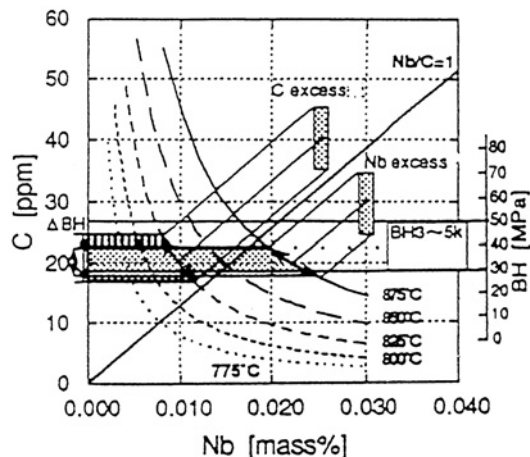


図6 BHのばらつきに及ぼす添加Cのばらつきの影響 (Excess C型とExcess Nb型の比較)¹⁹⁾

した鋼板の方である¹⁹⁾。しかし、制御技術が不十分で焼鈍温度の安定性に問題がある場合は、逆にCが過多の鋼板の方がバラツキが小さい可能性もある。

前に述べたように、高いBH性を達成するには鋼中に多量の固溶C、Nの存在が必要になるが、この場合、自然時効によりSt-Stが出易くなるだけでなく成形性の劣化も著しい。しかし、スキンプラス後短時間でプレス成形される場合は、自然時効による材質の劣化は避けられるので、IT技術を活用したSCM (Supply Chain Management) が普及すれば、自然時効劣化が起きる前にプレス加工が行える供給体制の実現が期待できる。すなわち、賞味期限付きの食品と同様に、使用期限付きBH鋼板が汎用化する可能性がある。

ところで、構造用部材ではSt-Stが起こっても品質上は問題がないので、さらに高いBH量を付与することが出来る。また、構造用部材としては衝突エネルギーの吸収能が問われるので、降伏時だけでなく応力ひずみ曲線全体をBH処理で高強度側にシフトすることが望まれる。その一例として、急冷して炭素のほかに窒素を過飽和に含んだ熱延鋼板に10%程度の予ひずみを加えBH処理することによりYPが80MPa程度、TSが60MPa程度上昇することが報告されている²⁰⁾。また、構造用部材の強度アップに関して、BH鋼ではないが、600℃前後の短時間熱処理でCuの析出を利用することによりTSを250MPa程度アップできる技術も報告されている²¹⁾。

更に、最近の動向として、極低碳素鋼にMoを0.025%程度添加することにより、自然時効温度域ではCの拡散がMoとの相互作用により遅行し、自然時効が遅れるが、BH温度ではこの相互作用は弱くなり十分なBH量が得られるという新しい知見が報告されている²²⁾。合金添加元素とCの相互作用の温度依存性を利用したこの技術は高BH化の新たな方向を示している。

BH鋼板以外にも、鋼板の表層を連続焼鈍時に短時間窒化して表層のみを高強度化することにより、耐面ひずみ性と耐デント性を両立するパネル外板用の鋼板が開発されている²³⁾。表層の硬化は鋼板の曲げて抵抗を増し、耐デント性を向上する。一方、窒化が進行していない内層部は低YPなので、平均的なYPは比較的低く留まり耐面ひずみ性の劣化は小さい。このハイブリット構造の鋼板はTi添加のIF鋼がベースなので高r値を有し、表面層が硬いのでしわの発生にも高い抵抗を示す。省エネルギー化のためにBH温度が低温化され、高いBHが付与できない場合は、この鋼板の優位性が顕在化する。

4 良成形性構造用ハイテン

図7は同強度のハイテンの穴広げ比と全伸びの関係を模式的に示す。材料の選択に当たっては部位の成形様式により、伸び重視型、穴広げ性重視型、それとも折衷案としての伸びー穴広げ性バランス型の材料を適用すべきかが決まる。

伸び重視型の代表は残留オーステナイト鋼 (TRIP, Transformation induced plasticity鋼) で加工中に残留オーステナイトが加工誘起マルテンサイトに変態し (TRIP現象)、変形部が強化され、変形が集中せずに隣接する部分に変形が進むため、均一伸びが向上して高延性が得られる鋼である。薄板で使用されるTRIP鋼は溶接性を考慮してC量が0.2%以下の低碳素鋼がベースになるが、オーステナイトを室温で残留させるには、1%程度のC量をオーステナイト中に濃化させる必要がある²⁴⁾。すなわち、フェライト、ベイナイト変態の進行に伴い未変態オーステナイトに濃化したCをセメンタイトとして析出させない工夫が必要となる。そのためにセメンタイトの自由エネルギーを上げるSi、Alなどの元素を添加して、セメンタイトの析出を抑制する。また、低碳素TRIP鋼の製造方法は熱延板も冷延板も基本的には同じであり、フェライトをある程度析出させた状態で急冷してオーステナイトへのCの濃化を伴わないパーライト変態を回避して400℃程度の温度でベイナイト変態を起こさせ、残留オーステナイト量が数%から20%程度存在するように制御するというものである。この鋼は延性とよい相関のある張り出し性の良いだけでなく、以下の理由によりr値が低いにもかかわらず深絞り性にも優れる。TRIP現象による変態量は変形モードにより異なり、縮フランジ成形を受けるフランジ部に比べ、等2軸成形を受ける壁部の方が加工誘起変態が起き易い²⁵⁾。そのため、フランジ部の材料は比較的流れ込みやすく、壁部は硬化が進むので優れた深絞り性も示す²⁵⁾。また、TRIP現象は衝突安全性にも効果を示すことが確認されており²⁶⁾、自動車用構造用材料として広く使用されていくものと思われる。

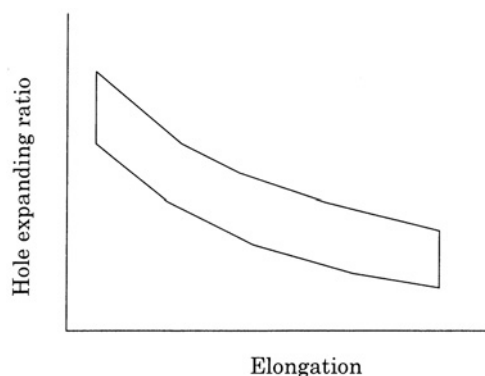


図7 同強度のハイテンの穴広げ比と全伸びの関係を模式的に示す図

現在進められているTRIP鋼板の開発の一つに合金化溶融亜鉛めっき鋼板の開発がある。この開発で問題になるのはセメントタイトの析出を抑制するために添加されているSiが鋼板と溶融亜鉛の濡れ性を劣化させめっきを起こさせると共に合金化を遅らせることである。必要な合金化を果たすために合金化温度を高めるとセメントタイトの析出が促進し、TRIP現象に必要なオーステナイトを十分に残留させることが難しくなる。Siの弊害を回避するためにSiの代替として濡れ性への悪影響が比較的少なく、合金化を顕著に遅延しないAlを添加した合金化亜鉛めっきTRIP鋼板の研究が世界各国で精力的に行われている²⁷⁾。

最近、TRIP鋼を凌ぐ高延性ハイテンが度々話題に上がる^{28,29)}。原理はMnを25%程度添加して組織をオーステナイトにし、変形時に加工誘起双晶を起こさせ、TRIP現象と同様に均一伸びを向上させるものである。この現象はTWIP (Twinning induced plasticity) 現象と称され、その機構のモデル化も進められている³⁰⁾。この鋼板は製造性、コスト、構造用材料としてのパフォーマンス特性にまだ問題点があり、実用化には至っていないが欧州、韓国を中心に積極的に研究が進められている。

一方、穴広げ性重視型の代表は高バーリング鋼である。穴広げ加工に代表される伸びフランジ加工部は端面が打ち抜かれたままで加工されることが多い。打ち抜き面はせん断面と破断面からなり、伸びフランジ加工性の優れた材料とは、一般的に、破断面のボイドが少ない材料である。ボイドの生成を抑制する方法として組織の均一化が報告されている。ボイドの生成箇所は硬い相と柔らかい相の界面の柔らかい側で多く観察される。すなわち、硬い相と柔らかい相の硬度差が大きいと歪みの集中が柔らかい側の界面近傍部に起こり、ボイドが生じると考えられる。硬い相と柔らかい相が混在し、その硬度差が大きい材料はパーライト鋼、DP (Dual phase) 鋼、残留オーステナイト鋼などが挙げられる。一方、組織の不均一が小さい鋼としてはフェライト単相鋼、ベイナイト単相鋼が挙げられる。すなわち、高強度鋼板ではベイナイト鋼 (ベネティックフェライトを含む) が優れた伸びフランジ加工性を有する³¹⁾。一方、フェライト単相を保持しながら高張力化を図る方法として析出強化が考えられる。例えば、TiCや(TiMo)Cを熱延冷却時に相界面析出利用して大量に析出させた熱延鋼板が開発されている^{32,33)}。また、IF鋼ベースにCuを析出させた鋼板も優れた穴広げ性を示す²³⁾。

伸び穴広げ性バランス型の鋼板としては、伸び重視型に属するDP鋼のフェライト部を上記の熱延冷却時に微細に析出した析出物により強化し、第2相との硬度差を低減することにより穴広げ性を向上させた鋼板が開発されている³⁴⁾。また、TRIP鋼の伸びフランジ加工性を向上させる方法とし

ては従来のフェライト、ベイナイト、残留オーステナイトの3相組織ではなく、ベイナイトを母相とし、フィルム状に残留オーステナイトを2-3%分散させた組織を形成する方法が提案されている³⁵⁾。このコンセプトはベイナイトを主相にすることにより、組織の均一化を図り、オーステナイトの残留量を少なくすることにより、オーステナイトの安定性を増し、打ち抜き加工時には加工誘起変態があまり起きずに、母相と第2相の硬度差を増さずにミクロクラックの生成を抑制し、その後の伸びフランジ加工時にTRIP効果を発現し、亀裂の発生と伝播を抑制し、伸びフランジ加工性を高めるというものである。

ところで、構造用ハイテンは溶接HAZ部の軟化に伴う材質劣化がよく問題になる。そこで、HAZ部の軟化を抑制するためにNb, Moを複合添加した溶接部高疲労鋼板が開発された³⁶⁾。この鋼板の特徴は、HAZ部の熱履歴で(Nb,Mo)Cの複合析出物がごく短時間に析出し、HAZ部の強度低下を抑制する点である。析出物が短時間に析出する理由は、溶接時の昇温過程でMoが加工時に導入された転位とインターアクションを起こし、転位の消滅を抑え、その転位をサイトとして析出物が短時間に生成するためと考えられている。

最近、リサイクルならびに省資源の観点で合金元素の添加に頼らずに、できるだけPlain Carbon系でハイテン化を図ることを目的として構造用鋼の組織を超微細化する研究開発が国の支援を受けて活発に進められている³⁷⁾。薄鋼板においても超微細フェライト組織を有する鋼板は疲労限の向上や優れた強度-延性バランスが期待できることから研究成果の応用が考えられている³⁸⁾。超微細組織の鋼板を得るには大圧下圧延が必要とされ、 γ 域³⁹⁾、過冷却 γ 域⁴⁰⁾、2相域⁴¹⁾ならびに α 域⁴²⁾で $1\mu\text{m}$ 前後の超微細組織が得られる条件が提示されている。また、 γ 域の強加工による加工誘起変態を利用した超細粒鋼の開発も報告されている⁴³⁾。今のところ、サブミクロンオーダーの微細組織を得るには一パスでは少なくとも70%以上の圧下率が、多段加工でも各パスの圧下率が少なくとも50%程度必要ことが報告されている。しかし、ホットストリップのような高速圧延ではたとえ、このような大圧下を実現しても加工発熱による温度上昇が顕著で、適切な冷却制御を行わないと組織の微細化を得るのは難しい。一方、現実的な累積歪み効果を利用したホットストリップ圧延を念頭に置いた組織制御では、 $2\mu\text{m}$ 程度の微細化までしか報告されていない^{44,45)}。

超細粒組織鋼の材質については、超微細化により靱性が顕著に向上することは確認されているが、薄鋼板では靱性を問題にすることはほとんどない。疲労限については超微細化により従来材の上限に近い値が得られたことが報告されているが⁴⁶⁾、従来材を超える耐疲労特性は得られていない。

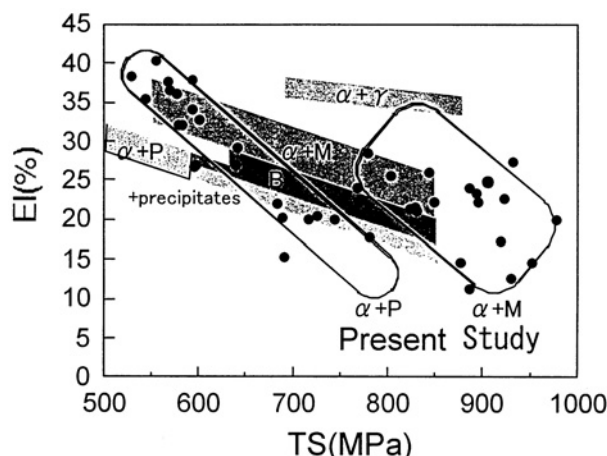


図8 強度－延性バランス¹⁹⁾ (黒丸が超細粒鋼)

一方、強度－延性バランスの観点では、図8に示すように良いものでDP鋼と同等あるいは若干良い程度で、TRIP鋼のレベルには至っていない⁴⁷⁾。また、パーリング性についても結晶粒の微細化は有利な方向ではあるが同強度の超微細フェライト組織鋼板が既存のベネティックフェライト組織の高パーリング鋼を凌駕するものにはなっていない。今後、超細粒鋼が魅力のある商品として薄板市場で受け入れられるには現在進められている国家プロジェクトで新たな付加価値を創造する必要があると思われる。

5 超ハイテン

超ハイテンと称する鋼板の強度は明確には定義されていないが、ここでは980MPa超の鋼板について述べる。980 MPa超級のハイテン薄鋼板は自動車のドアインパクトビーム、シートレール、センターピラーのリンフォース、バンパービームなどで使用され始めている。もし、成形能が高まれば構造用鋼板としてさらなる用途の拡大が期待できる。超ハイテンを用いた部品の製造方法はプレスあるいはロール成形による一般の成形方法の他に、低強度の鋼板を成形後に焼き入れ、焼き戻しをする方法、そして最近では変態点以上に加熱した材料をプレス加工し、金型の抜熱により焼きを入れて高強度を得るホットプレス法が採用されるようになってきた。室温での超ハイテンのプレス成形は曲げ加工やハット型加工が多いが、その場合は組織の均一性が成形性に重要なことが報告されている⁴⁸⁾。

ホットプレスには通常裸材が用いられるために加熱によりスケールが形成され、それを除去するために成形後にショットピーニングや酸洗が必要になる。しかし、最近アルミめっき鋼板を使用することにより、スケール除去をするための後処理が不要になるばかりでなく優れた耐食性を付与できることが報告されている⁴⁹⁾。鋼板の $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態点以上に加熱す

ると、アルミの融点が660℃なのでめっきは溶融すると考えられた。しかし、加熱速度を調整すると加熱中に母材の鉄とめっき層のアルミが合金化を起こし、鉄の比率が高くなるにつれてFe-Al合金の融点が高くなり、めっき層が溶融せずにホットプレスが可能になることが分かり、実用化に繋がった。

ところで、鋼板の強度が高くなると高張力ボルトなどで発生する水素脆化による割れの発生が懸念される。水素脆性破壊のメカニズムに関しては多くの学説が提案されているが、未だに定説の確立には至っていない⁵⁰⁾。確かなことは鋼の強度、組織、応力状態に依存した限界量以上の拡散性水素が鋼中に存在すると割れが発生することである。自然使用環境では拡散性水素が鋼中に入る主な原因は腐食であるが、さらなる超ハイテン化が検討されている自動車のドアインパクトビーム、シートレール、センターピラーのリンフォースなどの腐食環境は比較的マイルドなため浸入水素量は少なく水素脆性破壊の危険性は低い。その上、薄鋼板の場合は、薄いがゆえに水素が抜け易いことも水素脆性破壊の危険性を下げている。しかし、安全性を確認するには薄鋼板用の水素脆性破壊の評価法を確立する必要がある。そのためには実車走行による各部品中の拡散性水素量の経時変化を測定すると共に、それに則した促進試験の確立が急務である。

一般に耐水素脆性破壊性を上げるには、材料面からはV炭化物などの析出物と母材の整合界面⁵¹⁾や結晶粒界⁵²⁾などの水素をトラップする場所を増やすことや加工熱処理によって γ 粒を伸長すること⁵³⁾などが有効であると報告されている⁵⁴⁾。

6 IT化時代の薄鋼板の開発

IT化は世の中を激変しつつあり、薄鋼板の分野でもIT化を活かした開発が今後益々重要になると思われる。本稿の主題である材料開発に特化すれば、今までの材料開発は研究者、技術者の学識並びに経験を基に市場ニーズに応える商品を創出してきたが、これからはIT技術を生かしデータベースや計算モデルを用いた材料開発が重要な位置を占められると思われる。その中核になるのが材質予測モデルである。材質予測モデルとは成分と操業条件を入力すると鋼板の組織と機械的性質を求めることが出来るコンピュータプログラムである⁵⁵⁾。材質予測モデルは1980年代に日本を中心に世界的に開発が進められたが、成分範囲ならびに予測できる組織および機械的性質が限られ汎用性が確立できなかったため現状は限定的な使用に留まっている。しかし、材質予測モデルは表1に示す材料の研究開発ならびに品質設計・管理のツールとして多くの将来ニーズに応えることが出来るため、その精度アップ

表1 材質予測モデルの必要性

- ・ 総合シミュレーションシステムによる無駄のない（品質安定性）環境に優しい（省合金、易リサイクル性）材質作り込み技術の確立。
- ・ IT 社会に対応する材質自動設計による短納期化。
- ・ モデルを利用することによる研究開発期間の短縮、コストの削減。
- ・ グローバル化対応として、モデルを媒介にした製造技術のトランスファー。
- ・ ニーズの多様化を鋼種集約思想で作り分けるフレキシブル製造体制の確立。
- ・ 労働人口の減に伴う技術の電子化。
- ・ ナノ組織製造技術など、シミュレーションによる作り込み技術の構築並びに設備設計への展開。

と汎用性の確保が期待される⁵⁶⁾。具体的には、①現状考慮されていないCr、Ni、Mo、Ti、S、N、V、Bなどの合金元素を考慮できる汎用モデルに拡張する。②組織材質予測システムの中核である再結晶、変態、析出のモデルの再構築を図る。これらのモデルは当時機構の解明が不十分であったため一部で普遍性に欠ける定式化が進められた。最近の10年間でこれらの冶金現象の解明は種々の研究会の活動により飛躍的に進み⁵⁷⁻⁵⁹⁾、普遍性のあるモデルが構築できる可能性が高まった。それにより、再結晶、変態、析出がそれぞれ相互に影響を与えていた現象を理論に基づく形でモデルに取り入れることができる。③既存のモデルでは予測できていないマルテンサイト組織、残留オーステナイト組織、焼き戻し組織などを予測するモデルを構築することによりすべての組織を予測できるモデルを完成する。④既存のモデルでは組織と機械的性質の関係に関しては強度と組織の関係だけが物理モデルとして構築されている。その他の機械的性質（延性、靱性など）についても物理モデルの構築を試みる。例えば、局部伸び領域を含む完全な応力-ひずみ曲線を予測するモデルを構築する。現在は均一伸びの領域までしか予測できないためハイテンの成形で特に重要な特性である伸びフランジ性や曲げ性に関して定量的指針が提示できていない。⑤材質予測モデルは現在熱延鋼板についてのみ開発されているが、それを冷延鋼板の組織材質予測モデルの構築に展開する。以上のような課題が挙げられる。

7 おわりに

今後の薄板材質研究を展望すると前章で言及した材質予測制御技術の開発のほかに、自動車部品のハイテン化をさらに推進するために、組織制御を駆使した成形性の優れたハイテンの開発が主流になると考えられる。2002年10月に日本鉄鋼協会の材料の組織と特性部会の研究戦略WGが提示した中長期の研究課題のロードマップによると⁶⁰⁾、今後の10年間で展望して薄板材質研究分野では表2に示すテーマが材料の組織と特性部会の研究対象に推奨されている。ここでもテ

表2 日本鉄鋼協会材料の組織と特性部会研究戦略WG活動における薄鋼板の将来研究課題案⁶⁰⁾

- ・ 計算状態図の拡充と高精度化
- ・ 組織・特性予測システムの実用化
- ・ 熱力学、拡散係数などのデータベースの拡充
- ・ 降伏強度と組織の関係の明確化
- ・ 加工硬化特性と組織の関係の明確化
- ・ 延性・脆性破壊と組織の関係の明確化
- ・ 材料特性極限化のための組織制御技術
- ・ 超微細複相組織鋼板の特性/組織制御技術
- ・ 高強度鋼板スポット溶接部の材質制御技術
- ・ 加工中の組織材質変化予測
- ・ 材料及び構造体の剛性制御技術
- ・ Fe/Al ハイブリッド化技術

マを大別すると組織材質の予測モデルと必要データベースの充実ならびに材料特性の極限を追求する組織制御技術に集約されている。

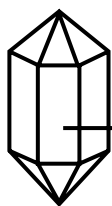
一方、薄鋼板のさらなる適用拡大を進めるには材料開発と並行に成形技術や接合技術などの利用技術の開発が不可欠である。今後の薄鋼板の開発は優れた材料とその特性をフルに発揮できる利用技術を同時に提供するソリューション型開発が一つの流れになるものと思われる。

参考文献

- 1) 高橋学：ふえらむ，7 (2002) 11，870.
- 2) K. Yamazaki, T. Oka, Y. Tsuchiya and M. Yamada：Tetsu-to-Hagane, 73 (1987), S1337.
- 3) S. Kitamura, H. Aoki, K. Miyamoto, H. Furuta, K. Yamashita and K. Yonezawa：ISIJ Int., 40 (2000), 455.
- 4) S. Sanagi, T. Kawano, N. Takahashi, O. Akisue, T. Yamada and M. Oda：CAMP-ISIJ, 3 (1990), 1768.
- 5) 阿部光延，小甲康二，林征夫，速見哲博：日本金属学会誌，44 (1980)，84.
- 6) 稲垣裕輔：日本金属学会誌，50 (1986)，250.
- 7) 瀬沼武秀：再結晶・集合組織とその組織制御への応用，日本鉄鋼協会，(1999)，227.
- 8) T. Senuma, M. Kameda and M. Suehiro：ISIJ Int., 38 (1998), 587.
- 9) 松岡才二，小原隆史，角山浩三，左海哲夫，斎藤好弘，加藤健三：日本金属学会シンポジウム予稿，(1986，10)，136.
- 10) 瀬沼武秀，矢田浩：日本金属学会シンポジウム予稿，(1986，10)，137.
- 11) 瀬沼武秀，亀田正春：日本金属学会誌，60 (1996)，717.
- 12) T. Senuma, H. Yada, Y. Matsumura and K. Yamada：Tetsu-to-Hagane, 73 (1987), 1598.
- 13) T. Senuma and K. Kawasaki：ISIJ Int., 34 (1994), 51.
- 14) 坂田敬，松岡才二，小原隆史，角山浩三，白石昌司：

- までりあ, 36 (1997), 376.
- 15) T. Senuma : International Symposium for LC and ULC Sheet Steels, Aachen, (1998), 157.
 - 16) 今江敏夫, 金成昌平: 創形創質工学会シンポジウム, 熱延潤滑圧延の現状と今後の課題, 日本鉄鋼協会, (1997), 15.
 - 17) N. Yoshinaga, S. Hiwatashi, K. Ushioda and O. Akisue : CAMP-ISIJ, 12 (1999), 1277.
 - 18) T. Mogi, S. Masuyama, K. Iida, T. Suzuki, H. Sato and Y. Tomota : Tetsu-to-Hagane, 88 (2002), 801.
 - 19) T. Senuma : ISIJ Int., 41 (2001), 520.
 - 20) 金子真次郎, 登坂章男, 坂田敬, 古角文雄, 菱沼至: までりあ, 41 (2002), 48.
 - 21) K. Kishida and O. Akisue : Tetsu-to-Hagane, 76 (1990), 759.
 - 22) Y. Taniguchi, K. Goto, C. Okamoto, M. Sugiyama and K. Yamazaki : Tetsu-to-Hagane, 88 (2002), 808.
 - 23) K. Kusumi and T. Senuma, M. Suehiro, M. Sugiyama and M. Matsuo: Tetsu-to-Hagane, 80 (2000), 682.
 - 24) O. Matsumura, Y. Sakuma and H. Takechi : Trans. ISIJ, 27 (1987), 570.
 - 25) S. Hiwatashi, M. Takahashi, T. Katayama and M. Usuda : J. of JSTP, 35 (1994), 1109.
 - 26) A. Uenishi, M. Suehiro, Y. Kuriyama and M. Usuda : IBEC'96, Automotive Body Interior & Safety Systems, Automotive Technology Group Inc., Michigan USA, (1996), 89.
 - 27) Proc. of Int. Conf. on TRIP-aided High Strength Ferrous Alloys, ed. by B. C. De Cooman, Wissenschaftsverlag Mainz GmbH, Ghent, Belgium, (2002)
 - 28) 金泰雄, 朴信華, 金泳吉: までりあ, 36 (1997), 502.
 - 29) O. Graessel and G. Frommeyer : Mater. Sci. Technol., 14 (1998), 1213.
 - 30) S. Allain, Ch. Jean-Philippe and O. Bouaziz : Proc. of Int. Conf. on TRIP-aided High Strength Ferrous Alloys, Wissenschaftsverlag Mainz GmbH, Ghent, Belgium, (2002), 51.
 - 31) N. Matsuzu, A. Itami and K. Koyama : SAE Technical Paper Series 910513, (1991)
 - 32) M. Morita, N. Kurosawa, S. Masui, T. Kato, T. Higashino and N. Aoyagi: CAMP-ISIJ, 5 (1992), 1863.
 - 33) K. Sato, J. Nakamichi, Y. Funakawa and T. Shiozaki : CAMP-ISIJ, 15 (2002), 1219.
 - 34) M. Morita, T. Shimizu, O. Furukimi, N. Aoyagi and T. Kato : Materia Japan, 37 (1998), 513.
 - 35) K. Sugimoto : CAMP-ISIJ, 13 (2000), 395.
 - 36) T. Tomokiyo, Y. Taniguchi, K. Yamazaki, H. Tanaba and I. Anai : CAMP-ISIJ, 13 (2000), 1278.
 - 37) スーパーメタルの技術開発、鉄系メゾスコピック組織制御材料創製技術成果報告書 (平成13年度), 金属系材料研究開発センター, (2002)
 - 38) 瀬戸一洋: 第177・178回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, (2002), 25.
 - 39) S. Genda, Y. Koga, S. Torizuka and K. Nagai : CAMP-ISIJ, 13 (2000), 1187.
 - 40) Y. Adachi, T. Tomita, S. Hinotani : Tetsu-to-Hagane, 85 (1999), 620.
 - 41) 栗倉功和, 難波茂信, 野村正裕, 槇井浩一: 日本機学会年次大会講演論文集, (2000), 473.
 - 42) M. Fujioka, Y. Abe and Y. Hagiwara : CAMP-ISIJ, 13 (2000), 1136.
 - 43) H. Yada, Y. Matsumura and T. Senuma : Proc. of "Thermec 88", ISIJ, (1988), 200.
 - 44) Y. Matsumura and H. Yada : Trans. ISIJ, 27 (1987), 492.
 - 45) 竹史伊知郎, 倉橋隆郎, 森本敬治: 超微細粒鋼の組織形成と変形のメカニズム, 自主フォーラムシンポジウム, 日本鉄鋼協会, (2002), 20.
 - 46) T. Hanamura, T. Yamashita, O. Umezawa, S. Torizuka and K. Nagai : CAMP-ISIJ, 14 (2001), 1051.
 - 47) 栗飯原周二: 第177・178回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, (2002), 25.
 - 48) K. Yamazaki, Y. Mizuyama and T. Oka : CAMP-ISIJ, 5 (1992), 1839.
 - 49) D. Cornette, H. Hourman, O. Hudin, J.P. Laurent and A. Reynaert : SAE Tech Ser, SAE-2001-01-0078, (2001), 19.
 - 50) 遅れ破壊解明の新展開, 日本鉄鋼協会編, 東京, (1997)
 - 51) S. Yamasaki and T. Takahashi : Tetsu-to-Hagane, 83 (1997), 454.
 - 52) S. Matsuyama : Tetsu-to-Hagane, 80 (1994), 679.
 - 53) T. Tarui, S. Yamasaki, M. Tateyama, T. Takahashi and Y. Noguchi : CAMP-ISIJ, 10 (1997), 1291.
 - 54) T. Tarui and S. Yamazaki : Tetsu-to-Hagane, 42 (2002), 612.
 - 55) 矢田浩, 瀬沼武秀: 日本金属学会会報, 6 (1990), 430.
 - 56) T. Senuma : CAMP-ISIJ, 15 (2002), 368.
 - 57) 再結晶・集合組織とその組織制御への応用, 日本鉄鋼協会編, 東京, (1999)
 - 58) 鉄鋼材料の計算機支援による組織制御, 日本鉄鋼協会編, 東京, (2000)
 - 59) 鉄鋼の析出制御メタラジー最前線, 日本鉄鋼協会編, 東京, (2001)
 - 60) 日本鉄鋼協会材料の組織と特性部会: 研究戦略WG 報告, (2002)

(2003年1月9日受付)



入門講座

計測・制御技術入門 制御技術-2

サンプル値制御系入門—サンプル点間応答を考慮した設計

Introduction to Sampled-data Control Systems – Design Considering the Intersample Behavior

山本 裕
Yutaka Yamamoto

京都大学 大学院情報学研究科
複雑系科学専攻 教授

永原正章
Masaaki Nagahara

京都大学 大学院情報学研究科
複雑系科学専攻

1 はじめに

連続時間プラントを離散時間補償器で制御する系をサンプル値制御系という。離散時間補償器で制御する理由はさまざまである。例えば系の挙動が一定時間間隔ごとにしか観測できない場合、離散的に補償器を構成する方が制御用コンピュータとの関わりで有利な場合、などである。連続時間と離散時間補償器のインタフェースをとるために、連続時間出力を一定時間ごとに観測するサンプラーと離散時間出力を連続時間の関数に変換するホールド要素が必要となる。後者では、離散時間出力をサンプル周期の長さだけ一定に保つ0次ホールドが多く用いられる。

いずれにせよ明らかな問題は、このような動作により、サンプル点の間での挙動が連続時間補償器と異なってくるのである。

簡単な例によりこの事情を見てみよう。図1のサンプル値単一フィードバック系を考える。

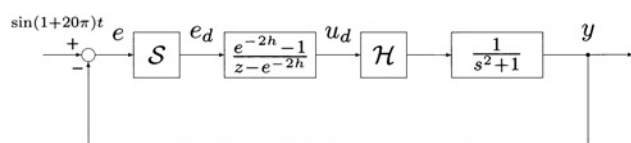


図1 サンプル値単一フィードバック系

これは自然周波数1 rad/secの連続時間プラント $1/(s^2+1)$ をサンプル周期 $h=0.1$ として離散時間コントローラで安定化し、目標入力 $r(t) = \sin(1+20\pi)t$ に対する応答を計算したものである。次の図2で分かるように、サンプル点間に大きなリップルが生じてしまっている。

この現象が生じるわけは、このトラッキング信号が $\sin t$ のエイリアス成分であり、したがってサンプル点上ではこの応答はトラッキングを達成している。しかしサンプル点間で

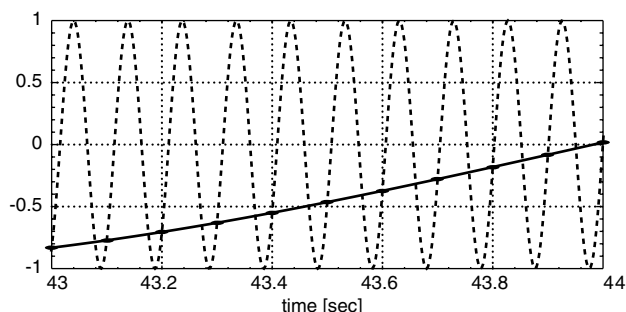


図2 時間応答
実線：トラッキング信号；点線：時間応答

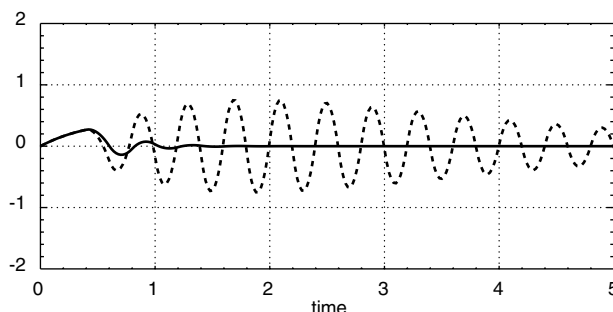


図3 H^2 設計応答 $h=0.2$

は大きなリップルが生じるが、この情報はサンプリングのために離散時間コントローラには伝わらない。したがってこのシステムは離散時間トラッキングは達成するものの、大きなサンプル点間リップルを発生してしまう。

さらに詳しく見ると、システムの応答はこの $\sin t$ に漸近している。これはプラントの自然周波数が1 rad/secであって、このプラント自身が $\sin t$ の内部モデルとして働いていることによる。トラッキング信号がサンプル点上では $\sin t$ と一致しているため、閉ループ系はトラッキングを達成していると誤認したと見ることもできよう。

今ひとつシミュレーション結果のグラフだけを挙げておこう (図3)。これは2次の振動系に対して、インパルス応答の

L^2 ノルムを最小化する H^2 設計を行ったものである。実線はサンプル値設計を行ったもの、点線は離散時間設計を行ったものでサンプル点間の応答が評価されていない。直ちに分かるようにサンプル点上の値のみを評価する離散時間設計では非常に大きなリップルが生じている。

このようにサンプル値制御系では注意しないとサンプル点での応答はよく制御出来ているように見えても、サンプル点間で望ましくない応答が発生し得る。それではこのような望ましくない応答を生じないように制御系を設計するにはどのようにすればよいであろうか。次章以降これに関する近年の発展を簡単に解説しよう。

2 リフティング

上で見たようにサンプル値制御系ではサンプル点間リップルを抑え、好ましい応答を得ることが目標となる。サンプル周期を短く取ったとしてもサンプル点間応答を評価していないと必ずしもよい結果が得られないことは上で注意したとおりである。またプラント制御などでは種々の制約からサンプル周期を短く取ることが必ずしも可能ではない。これらのことから、サンプル点間応答を性能評価に取り込んだ設計法が望まれる。しかしながら、このような設計法が確立したのはそう古いことではなく、1990年代以降の発展によるものである。以下では旧来のアプローチと対比しつつ、このサンプル値制御系の新しい設計法について解説する。なお、参考文献は膨大なので、ChenとFrancisによる成書³⁾、および筆者らによる解説^{10,9)}などを参照されたい。

2.1 古典的モデル

さて次のような連続時間系が与えられたとしよう。

$$\dot{x} = Ax + Bu, \quad y = Cx \quad \dots\dots\dots (1)$$

これに対して、サンプル点で離散時間入力 $\{u_k\}_{k=1}^{\infty}$ が入力され、それに0次ホールドをかけたとすると、このシステム(1)の挙動は

$$x_{k+1} = e^{Ah}x_k + \int_0^h e^{A\tau}Bd\tau u_k \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$y_k = Cx_k \quad \dots\dots\dots (3)$$

で与えられる。ただしここで h はサンプル周期、 $x_k = x(kh)$ 、 $u_k = u(kh)$ 、 $y_k = y(kh)$ である。これによりサンプル点上の挙動を記述するパルス伝達関数は

$$C(zI - e^{Ah})^{-1} \int_0^h e^{A\tau}Bd\tau$$

として求まることになる。こうして得られたモデル(2)を離散時間補償器で安定化したとすると、少なくともそのサンプル点上での挙動は安定化されることになる。しかしすでに

見たようにこれではサンプル点間の挙動は保障されない。サンプル点間では有限時間間隔 $[kh, (k+1)h]$ で定値入力が入るだけであり、しかもこの入力はサンプル点上のモデルとそれを安定化して得られた閉ループ系で定まるので、外部入力が0であれば0に収束する。したがって、サンプル点間での挙動もいずれは0に収束する。言い換えればサンプル値系の安定性はサンプル点上の挙動で決定される。これが古典的に(2)をサンプル値系の離散時間モデルとして採用してきた根拠であった。

しかし過渡特性はこれでは保証されず、しかもサンプル点間の挙動はすでにモデル(2)では失われてしまっている。これではサンプル点間応答を保証する設計はできない。しかし一方では、サンプル点間応答をモデルに持ち込むと時不変モデルではなくなり、時変系になってしまう。この問題を解消したのが次に述べるリフティングの概念であった。

2.2 リフティング

連続時間プラント(1)において、時刻 $t = kh$ で状態が $x_k = x(kh)$ であったとし、この時点から、 h 秒後までに入力 $u(t)$ がシステムに入ったとする。その間の状態遷移、出力値は

$$x(kh + \theta) = e^{A\theta}x_k + \int_{kh}^{kh+\theta} e^{A(kh+\theta-\tau)}Bu(\tau)d\tau \quad \dots\dots\dots (4)$$

$$y(kh + \theta) = Ce^{A\theta}x_k + \int_{kh}^{kh+\theta} Ce^{A(kh+\theta-\tau)}Bu(\tau)d\tau \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。リフティングの特徴はサンプル点間の時間パラメータを時間と思わず、単なるパラメータと捉えることにある。特徴は、入出力をこのまま関数を要素とする列ととらえるところにある^{7,8,2)}。

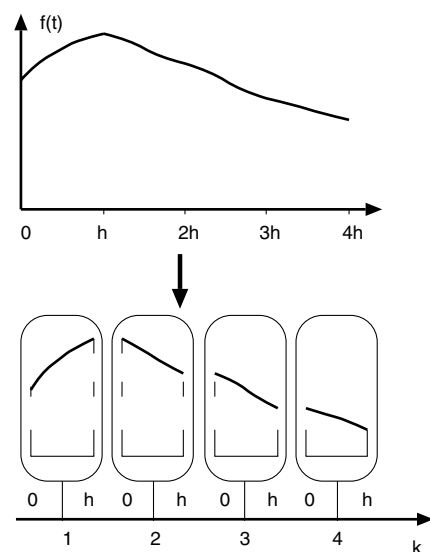


図4 リフティング

具体的には

$$W: L^2[0, \infty) \rightarrow L^2[0, h]: \phi(t) \rightarrow \{\phi_k(\theta)\}_{k=0}^\infty, \\ \phi_k(\theta) := \phi(kh + \theta) \dots\dots\dots (6)$$

という対応を考え、入力や出力関数を L^2 (他のものでも良い) 関数の列としてしまうのである (図4参照)。このような関数列 $\{\phi_k(\theta)\}_{k=0}^\infty$ に対し、その z 変換 $\hat{\phi}$ は通常と形式的に全く同様に

$$\hat{\phi}(\theta) := \sum_{k=0}^{\infty} \phi_k(\theta) z^{-k} \dots\dots\dots (7)$$

と定義されるのである⁸⁾。ただし z 変換されたものもパラメータ θ の関数であることに注意しよう。

これを用いて連続時間系 (1) のモデルをたてよう。上と同様時刻 kh における x の状態を x_k とし、区間 $[kh, (k+1)h)$ で入力 $u_k(\theta)$ 、 $0 \leq \theta < h$ が入ったとすると、次の時点 $t = (k+1)h$ での状態 x_{k+1} とその間の出力 $y_k(\theta)$ は (4)、(5) より容易に

$$x_{k+1} = e^{Ah}x_k + \int_0^h e^{A(h-\tau)}Bu_k(\tau)d\tau \dots\dots\dots (8)$$

$$y_k(\theta) = Ce^{A\theta}x_k + \int_0^\theta Ce^{A(\theta-\tau)}Bu_k(\tau)d\tau \dots\dots\dots (9)$$

と表される。すなわち、関数の入力ベクトル $u_k(\cdot)$ 、離散時間状態 x_k 、関数の出力ベクトル $y_k(\cdot)$ 、 $k=0, 1, 2, \dots$ の状態遷移式が得られた。ここで上の式に現れる θ はもはや時間変数ではなく、単なるパラメータである。このことに注意して、上の式を

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k \dots\dots\dots (10)$$

$$y_k(\theta) = Cx_k + Du_k \dots\dots\dots (11)$$

と形式的に書くことができる。しかもこれは (各作用素 A, B, C, D が k によらないと言う意味で) 時不変のシステム方程式である。

この時不変のモデルは次の利点を持つ：

1. 連続時間系が時不変の離散時間系として表されたので、離散時間コントローラとの結合が時不変系として自在に行なえる。
2. サンプル値系の伝達関数が定義できる。

3 伝達関数と定常特性

上で得られたモデルを使って実際にサンプル値制御系の伝達関数を求めてみよう。まずシステム (10)、(11) の伝達関数は、明らかに $D + C(zI - A)^{-1}B$ と定義すべきである。

すなわち実際には形式的に“両辺を z 変換する”だけで良い。違いはサンプル点間応答を記述するパラメータ θ が入っていることである。

より一般的に、サンプル値系をリフティングすると (10)、(11) と全く同様に

$$x_{k+1} = Ax_k + Bu_k, y_k(\theta) = Cx_k + Du_k \dots\dots\dots (12)$$

となることが分かる。しかもこのとき A はサンプル点毎の状態遷移を表しているの、 A は常に行列となり、かつこの系 (12) の安定性は行列 A の固有値の絶対値が全て1より小であることと同値であることも容易に確かめられる^{3, 8)}。これはまた伝達関数 $G(z) = D + C(zI - A)^{-1}B$ の極が全て単位円内に含まれることと同値である。

以上の安定性の定義の下で、離散時間系の場合に類似した次の事実が一般的に成り立つ。

定理3.1 $G(z)$ をリフティングされた安定なサンプル値系の伝達関数とする。このとき指数型入力 $r_k(\theta) = \{\lambda^{k-1}v(\theta)\}$ 、 $|\lambda| \geq 1$ にたいする応答は $\lambda^{k-1}[G(\lambda)v](\theta)$ に漸近する (図5参照)。

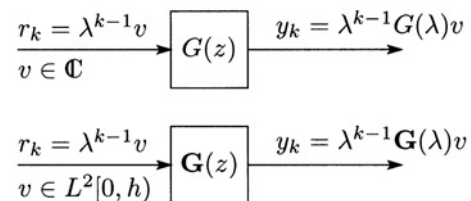


図5 定常応答：離散時間系 (上)、サンプル値系 (下)

これより次のことが分かる。

- ・ $\lambda=1$ のときは定常応答が存在し、 $[G(1)v](\theta)$ で与えられる。
- ・ $|\lambda|=1$ のときは応答は漸近的に $[G(\lambda)v](\theta)$ に各サンプル時刻ごとに λ を乗じて位相をずらせたものとなる。

この性質により、サーボ系の定常リップルの特徴付け、内部モデル原理などが得られる⁸⁾。また一方これは定常応答の定義を与えているとも考えられる。次章ではこれに基づいてサンプル値系の周波数応答を導入する。

4 周波数応答

正弦波入力 $e^{j\omega t}$ が与えられたとする。いま $t = kh + \theta$ と第 k ステップのサンプル変数を導入すると、 $e^{j\omega t} = (e^{j\omega h})^k e^{j\omega \theta}$ となるから、これをリフティングしたものは $\{e^{j\omega kh} e^{j\omega \theta}\}_{k=0}^\infty$

である。従って前章の結果を用いると安定な伝達関数 $G(z)$ に対する“定常応答”は

$$e^{j\omega kh} \mathbf{G}(e^{j\omega h}) (e^{j\omega h})^k, \quad k=0, 1, 2, \dots$$

となる。ここで位相遅れ要素 $e^{j\omega kh}$ を無視した部分 $\mathbf{G}(e^{j\omega h}) (e^{j\omega h})^k$ を周波数応答と呼ぶのは自然に見える。しかし既に第1章で述べたように、このような離散の角周波数 $e^{j\omega h}$ を導くのは $e^{j\omega t}$ だけではない。そのほかにも

$$e^{j(\omega + 2n\pi/h)t}, \quad n=0, \pm 1, \pm 2, \dots$$

と無数にあり、その間の事情を反映するのがむしろサンプル値系の周波数応答としては自然であろう。したがって、 $L^2[0, h]$ からそれ自身への作用素 (を周波数 ω の関数としてみたもの)

$$\mathbf{G}(e^{j\omega h}) : L^2[0, h] \rightarrow L^2[0, h] \dots\dots\dots (13)$$

を周波数応答と呼び、その中で最大の拡大率

$$\|\mathbf{G}(e^{j\omega h})\| = \sup_{v \in L^2[0, h]} \frac{\|\mathbf{G}(e^{j\omega h})v(\theta)\|}{\|v(\theta)\|} \dots\dots\dots (14)$$

ω でのゲインと呼ぶ。このようにすると、上で述べた事情を反映して周波数 ω の上に乗った全てのエイリアス成分に対する最大のゲインを見積もったことになっている。

5 ファーストサンプル近似によるサンプル値制御系の解析と設計

前章までの議論により、連続時間信号をリフティングすることによって、サンプル値制御系は (無限次元の) 離散時間系として記述できること、またサンプル値系にたいする周波数応答や伝達関数の概念が自然に導入されることがわかった。これによりサンプル点間の応答を考慮した設計が可能となる。実はこのようにリフティングされたモデルは無限次元系ではあるものの、それに対して定式化された H^∞ 制御問題などは実は本質的に有限次元の問題に帰着され得ることが知られている^{1,3,4,10)}。しかしこの等価離散時間系の導出はかなり面倒であるだけでなく、得られた等価系が一般には設計で要求する閉ループ系の H^∞ ノルムの値 (これを性能レベルと呼ぼう) に依存すると言う性質を持つ。これは設計した後でないと定まらない。このため、設計に当たってはある目標性能レベルを設定して等価離散時間系を計算し、それに基づいて設計を行い、満足できなければまた新たな性能レベルを設定して等価離散時間系の計算に戻って設計を繰り返すという作業を要求されることになる。これはかなりの計算量の増加をまねく。

現実にはこれに代わるファーストサンプルファーストホー

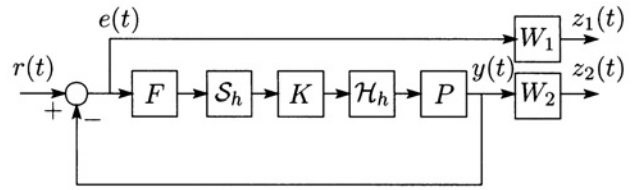


図6 サンプル値単一フィードバック系

ルド (Fast-Sample Fast-Hold, FSFH) 近似という手法が知られている^{5,11)}。これはサンプル点間の入力と出力を、それぞれ階段関数で近似するもので、多くの場合 (閉ループ系のゲインなどにも依存するが) H^∞ 制御ではサンプル周期を5分割程度に細分することで十分な近似精度が得られる。これによると、得られたモデルは単なる離散時間系で、性能レベルに依存せず、しかもサンプル周期を細分しているのサンプル点間応答も評価に反映されていることになる。

これについて説明しよう。まず、図6のサンプル値単一フィードバック系を考える。ここで P は連続時間プラント、 K は離散時間コントローラであり、 S_h 、 H_h はそれぞれサンプリング周期が h の理想サンプリング、零次ホールドである。また、サンプリングの前の F はアンチエイリアシングフィルタである。ここでは混合感度問題を考え、 W_1 、 W_2 は連続時間の重み関数とする。プラント P および、アンチエイリアシングフィルタ F 、重み関数 W_1 、 W_2 の実現をそれぞれ、 $\{A_P, B_P, C_P, 0\}$ 、 $\{A_F, B_F, C_F, 0\}$ 、 $\{A_1, B_1, C_1, D_1\}$ 、 $\{A_1, B_1, C_1, D_1\}$ とおく。

FSFHの手法は、図7のように連続時間系 G の入出力信号にたいして高速で動作するサンプリング $S_{h/N}$ および零次ホールド $H_{h/N}$ を接続することにより、離散時間系に近似する手法である。この近似は、図8に示すように、入力の連続時間信号を階段関数で近似し、出力の連続時間信号を高速でサンプリングすることに相当する。ここで、分割数 N を大きくしていけば、近似離散時間系の性能はもとのサンプル値系の性能に近



図7 ファーストサンプルファーストホールド (FSFH)

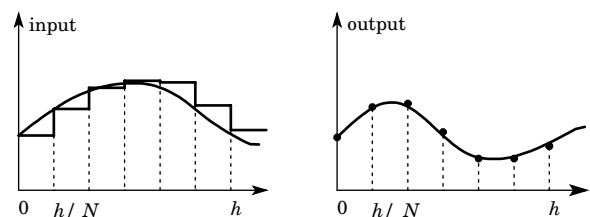


図8 FSFHによる連続時間入出力信号の離散時間近似

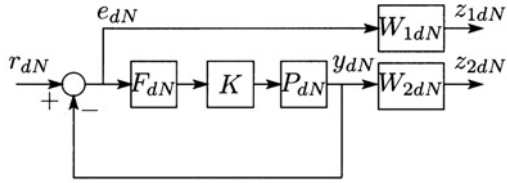


図9 FSFHによる近似離散時間系

づいていくことが示されている¹¹⁾。また分割数 N をどれくらいにとれば良いのかが問題となるが、文献6)では分割数 N にたいする近似誤差の評価が与えられ、設計の指標となる。

このFSFHを導入すれば、図6のサンプル値系は図9の離散時間系へと変換される。ここで、 P_{dN} 、 F_{dN} 、 W_{idN} ($i=1, 2$)は離散時間系で、それらの状態空間実現は次式で与えられる。

$$P_{dN}(z) := \begin{bmatrix} \frac{A_{dP}}{C_P} & \frac{B_{dP}}{0} \\ C_P A_{dP} & C_P B_{dP} \\ \vdots & \vdots \\ C_P A_{dP}^{N-1} & C_P A_{dP}^{N-2} B_{dP} \end{bmatrix},$$

$$A_{dP} := e^{A_P h}, \quad B_{dP} := \int_0^h e^{A_P t} B_P dt,$$

$$F_{dN}(z) := \begin{bmatrix} \frac{A_{dF}^N}{C_F} & \frac{A_{dF}^{N-1} B_{dF}}{0} & \frac{A_{dF}^{N-2} B_{dF}}{0} & \cdots & \frac{B_{dF}}{0} \\ C_F & 0 & 0 & \cdots & 0 \end{bmatrix},$$

$$A_{dF} := e^{A_F h/N}, \quad B_{dF} := \int_0^{h/N} e^{A_F t} B_F dt,$$

$$W_{idN}(z) := \begin{bmatrix} \frac{A_{di}^N}{C_i} & \frac{A_{di}^{N-1} B_{di}}{D_i} & \frac{A_{di}^{N-2} B_{di}}{0} & \cdots & \frac{B_{di}}{0} \\ C_i A_{di} & C_i B_{di} & D_i & \cdots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ C_i A_{di}^{N-1} & C_i A_{di}^{N-2} B_{di} & C_i A_{di}^{N-3} B_{di} & \cdots & D_i \end{bmatrix},$$

$$A_{di} := e^{A_i h/N}, \quad B_{di} := \int_0^{h/N} e^{A_i t} B_i dt,$$

$$i=1, 2.$$

なお、これらの導出は文献5)、3)を参照のこと。

図9のブロック線図を用いて離散時間コントローラを設計するには、MATLAB等の数値計算ソフトウェアを用いるのがよい。例えばMATLABではRobust Control Toolboxのdhinf関数、 μ Analysis and Synthesis Toolboxのdhfsyn関数、LMI Toolboxのdhinflmi関数などを用いれば、容易に最適な H^∞ コントローラが得られる。

6 設計例

本章では、前章で与えられたFSFH設計公式を用いて混合感度問題を解く。ここで、サンプル周期は $h=1$ とし、

$$P(s) = \frac{20-s}{(s+0.01)(s+20)}, \quad F(s) = \frac{1}{(0.5/\pi)s+1},$$

$$W_1(s) = \frac{1}{(2.5/\pi)s+1}, \quad W_2(s) = \frac{(2.5/\pi)s}{(2.5/\pi)s+1},$$

とする。この例題は文献3)に掲載されている設計例を少し変更したものである。FSFHの分割数を $N=5$ とする。また、比較のためにサンプル点間応答を考慮しない離散時間設計(FSFHで $N=1$ とった場合)も行う。

得られたコントローラのボード線図を図10に示す。サンプル値設計コントローラは離散時間設計のコントローラに比べ、低周波ではゲインがいくぶん高い一方、ナイキスト周波数付近で離散時間設計のコントローラはハイゲインになっている。また、位相では、 0.1 rad/sec あたりから違いが見られる。

次にサンプル値系の周波数応答を見てみよう。図6において入力 r から出力 e までのシステムを S (感度関数)、入力 r から出力 y までのシステムを T (相補感度関数)とおく。入力 r から出力 $[z_1, z_2]^T$ までのシステム $[W_1 S, W_2 T]$ のサンプル値系の周波数応答を図11に示す。離散時間設計では、ナイキスト周波数付近でゲインが高くなっている。この離散時間設計のゲインのピークはサンプル点間応答のリップルを引き起こすので有害である。一方、サンプル値設計で得られた周波数応答はよりフラットな特性で、このようなピークは見られない。

また、サンプル値設計および離散時間設計によって得られ

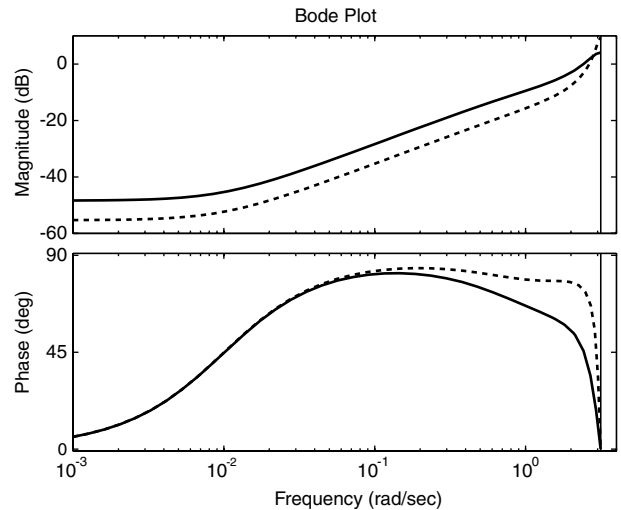


図10 コントローラのボード線図
サンプル値設計(実線)、離散時間設計(破線)

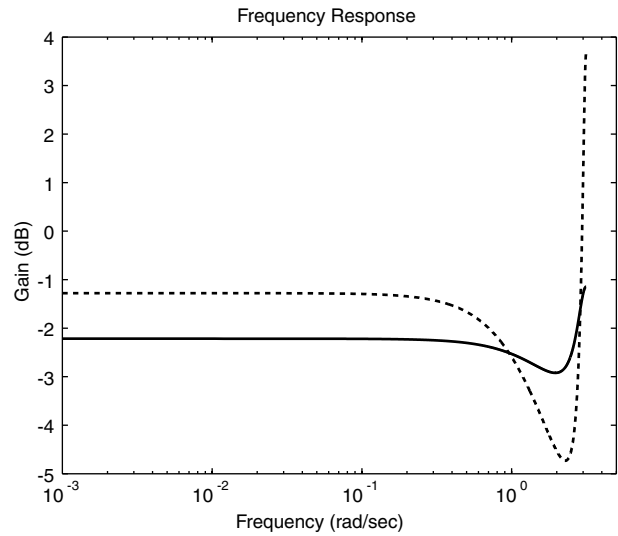


図11 サンプル値制御系の周波数応答
サンプル値設計(実線)、離散時間設計(破線)

表1 感度関数、相補感度関数の H^∞ ノルム

	$\ W_1S\ _\infty$	$\ W_2T\ _\infty$
サンプル値設計 ($N=5$)	0.762	0.622
離散時間設計 ($N=1$)	0.863	1.348

た $\|W_1S\|_\infty$ および $\|W_2T\|_\infty$ の値を表1に示す。この表からも、離散時間設計に比べサンプル値設計が有利であることがわかる。

7 おわりに

現代的なサンプル値制御について解説した。なお、紙幅の制約もあり、挙げた文献は解説、成書を中心としたので、オリジナルの文献を参照したわけではないことをお断りしておく。文献3)、9)、10)などを参照されたい。

参考文献

1) B. Bamieh and J. B. Pearson : A general framework for linear periodic systems with applications to H^∞ sampled- data control, IEEE Trans. Autom. Control,

AC-37, (1992), 418-435.
2) B. Bamieh, J. B. Pearson, B. A. Francis and A. Tannenbaum : A lifting technique for linear periodic systems with applications to sampled- data control systems, Syst. Control Lett., 17 (1991), 79-88.
3) T. Chen and B. A. Francis : Optimal Sampled- data Control Systems, Springer, (1995)
4) P. T. Kabamba and S. Hara : Worst case analysis and design of sampled data control systems, IEEE Trans. Autom. Control, AC-38, (1993), 1337-1357.
5) J. P. Keller and B. D. O. Anderson : A new approach to the discretization of continuous- time controllers, IEEE Trans. Autom. Control, AC-37, (1992), 214-223.
6) Y. Yamamoto, B. D. O. Anderson and M. Nagahara : Approximating sampled- data systems with applications to digital redesign, Proc. of 41th Conf. on Decision and Control, (2002), 3724-3729.
7) Y. Yamamoto : New approach to sampled- data systems, a function space method, Proc. 29th CDC, (1990), 1882-1887.
8) Y. Yamamoto : A function space approach to sampled- data control systems and tracking problems, IEEE Trans. Autom. Control, AC-39, (1994), 703-712.
9) Y. Yamamoto : Digital control, Wiley Encyclopedia of Electrical and Electronics Engineering, 5 (1999), 445-457.
10) 山本, 原, 藤岡 : サンプル値制御理論I-VI : システム/制御/情報, 43 (1999), 436-443, 561-568, 660-668, ; 44 (2000), 78-86, 223-231, 336-343.
11) Y. Yamamoto, A. G. Madievski and B. D. O. Anderson : Approximation of frequency response for sampled- data control systems, Automatica, 35 (1999), 729-734.

(2003年3月5日受付)



鉄の歴史 鉄の人物史-14

湯川正夫

Masao Yukawa

加藤 健

Takeshi Kato

合同製鐵(株) 社友

湯川正夫八幡製鐵副社長。昭和44年10月5日逝去。享年66。稀有の偉大な鉄鋼技術者だった。その優れた見識と洞察力、炯眼、抜群の実行力で八幡製鐵の発展に寄与したばかりでなく、国内外に大きな足跡を残した。

1 生い立ち

湯川は明治36年12月24日、逓信省通信管理局長湯川寛吉氏の次男として東京で誕生した。寛吉氏が退官して住友に入社、本店支配人兼任ととも大阪、芦屋と転居し、御影師範学校付属小学校、神戸一中、六高を経て東京帝大工学部冶金学科を大正15年3月に卒業、官営八幡製鐵所(商工省製鐵所)に入所した。寛吉氏は住友で製鋼所取締役会長などを経て住友本店総理事になったが、湯川が八幡製鐵所に就職することになったのはこの父の仕事と大いに関係があったであろう。

小学校の時からフットボール、野球、テニス、ランニング、水泳と運動は何でも巧みにこなしていたようだが、中学ではサッカーや水泳に力を入れ、高等学校では陸上競技の選手としてローハードルで輝かしい戦績を残し、大学ではラグビー



湯川正雄

2 若き時代の活躍

大正15年(昭和元年)4月、八幡製鐵所に入所した湯川は最初特殊鋼部珪素鋼板掛に配属された。ちょうどこの頃製鐵所はドイツのクルップ社の技師ルオウスキー氏他の指導によって珪素鋼板(電磁鋼板)とブリキ板の製造に成功し、12月には官制改正により両品種を製造する鋼板部第二鋼板課が誕生、湯川は創生期の両品種の製造に携わったが、昭和4年1月ルオウスキー氏の世話で在外研究員としてドイツに私費留学することになった。始めハノーバーの軍人未亡人の家に下宿してドイツ語を勉強し、ついでブレスラウの大学に留学、昭和6年4月デュッセルドルフに移り、ドイツ鉄鋼協会で種々調査したり欧州各地を視察し、アメリカ経由で昭和7年4月に帰国した。ブレスラウは今はポーランド領になっており、プロツラフと言っているが、当時はドイツの有名な大都市だった。この留学中に恩師俵教授の薦めでイギリス鉄鋼協会に終身会員として入会している。

帰国後間もなく監理部技術課勤務時代、昭和7年12月に住友本社技師長矢部忠治氏の長女夫佐子さんと結婚したが、夫佐子さんとは渡欧の際に神戸から出帆した諏訪丸の船中で知り合いになったようである。

湯川は昭和6年及び8年に八幡製鐵所の「製鉄研究」にそれぞれ「溶鉄炉瓦斯の洗滌について」及び「鉄鋼一貫工場に於ける燃料経済」という論文を寄稿しており、圧延の技術者ながら鉄鋼技術の広い分野に目を向けていたことは注目に値するが、監理部技術課では部長を兼務していた野田技監(技師長)の専属スタッフとして製鉄合同の仕事に携わり、この頃から頭角を現し始めたようである。昭和9年2月製鉄大合

同によって日本製鐵株式会社が発足、湯川は八幡製鐵所鋼板部第三製板課第一鋳力工場主任となったが、11年2月には鋼板部効率掛主任となり、戸畑臨時課企画掛主任を兼務、日本初のストリップミル建設の準備に携わった。

昭和12年5月職制改正があり、湯川は第五圧延課長になった。課内にはブリキ掛、珪素鋼板掛、高級鋼板掛、及び整理掛の4掛があったが、課内業務の有機的総合化を図り、総合事務所に各掛を統括したり、服装を統一したりしたがこのようなことは第五圧延課が率先して実施し、次第に他の工場にも及んでいった。

この年の7月日支事変が勃発、次第に戦時色が強くなってきて鉄鋼の統制機構が強化されつつあったのに対処するため昭和15年5月本社に新しく企画部が設置され、同年7月湯川は企画課長に転じた。我が国経済の戦時体制への転換は益々そのテンポを速め、鉄鋼業に於ける原料及び製品の一元的統制が必須の課題となり、翌16年4月には満州の昭和製鋼をも含めて鉄鋼統制会が発足した。この国家の鉄鋼政策を代行する新体制に即応して日鐵の主要幹部特に企画陣は挙げて鉄鋼統制会に移行することになり、湯川は鉄鋼統制会企画部企画課長に就任、生産部次長を経て、19年3月には企画部長に昇進した。この統制会での経験は技術者である湯川の経営的資質が育まれる上で大きな影響を与えた。

戦局は次第に悪化し、いよいよ本土決戦が話題になるようになり、本土が分断されても鉄鋼はなお各地で作らなくてはならないということで鉄鋼統制会は各地方支部を強化することになり、昭和20年7月湯川は近畿支部長となって大阪に移ったが、間もなく終戦、翌21年1月湯川は本社技術部副長として日鐵に戻り、統制会は2月に解散した。3月にはGHQの命によって主要鉄鋼会社之首脳陣も公職から追放されることになったので、5月には技術部長に任ぜられ以後日鐵技術陣の最高幹部の一員として終戦直後の多事多難の日本鉄鋼業再建のために目覚ましい活動を開始することになった。

戦後の鉄鋼の復興再建に東奔西走する中、鉄鋼協会に鉄鋼対策技術委員会が設置され、湯川は委員長に任ぜられた。この委員会の報告書では日本鉄鋼業の生産方式として銑鋼一貫方式を強く打ち出し、また将来の問題として酸素添加送風による製鉄法の研究が必要と説き、研究機関の整備強化などを進言しているが、その後の日本鉄鋼技術の発展を見るとこれらが如何に時流に抜きこんでいたかが解る。

その内に財閥解体の動きが出てきたが、日鐵も特殊会社としてGHQの指定を受け、昭和25年4月に八幡製鐵、富士製鐵、日鐵汽船及び播磨耐火煉瓦の四社に分割された。湯川は三鬼八幡製鐵社長のもとに常務取締役本社技術部長になった。

3 本社技術部長時代

終戦後の壊滅的な日本鉄鋼業の復活は容易なことではなかったが、昭和25年6月25日に朝鮮動乱が勃発して様子は一変した。鉄鋼需要はどんどん増加し、価格も大幅に上昇、業界の悲観的ムードはたちまち一掃された。

おりから策定された産業合理化審議会の鉄鋼石炭合理化案に基づく第一次鉄鋼合理化計画はこの動乱とそれに次ぐ復興特需が支えとなって実現したものと言える。八幡製鐵は積極的に欧米の技術を導入して、第四製鋼工場をアメリカ式の最新鋭工場に改造したのを始め、戸畑ストリップ工場の増強、珪素鋼板工場の拡充、光製鉄所線材工場の新設等々を実施すると共に連続亜鉛メッキ鋼板、熱延珪素鋼板、ボンデ鋼板、可縮坑梓鋼などを開発した。湯川がこれらの仕事の中心として活躍したことは言うまでもない。

またこの間湯川は日本学術会議会員に選出され32年まで2期在任した他、日本鉄鋼協会、日本鉄鋼連盟、通産省重工業局の三者が一体となって設置された鉄鋼技術共同研究会の鋼材部会長として優れた研究成果を挙げた。筆者は技術研究所製鋼研究課の製鋼掛長だったが、湯川が八幡に来て若手技術屋を集めて講演するのを聞いて、「この人は格が違う」と思っていた。

4 八幡製鐵所技師長時代

4.1 LD転炉の導入

昭和28年5月八幡製鐵所技師長小平博士が逝去し、(この人も偉大な技術者であり、学者だった)後任の技師長として湯川は八幡に赴任した。

本社技術部長の時から「いつまでもアメリカのスクラップに依存するのは問題です。転炉の研究をすべきです」と言っていた湯川は早速転炉設置の検討を命じた。当時欧州では燐分の高い鉱石が多いのでトーマス転炉が盛んだったが、一般には製鋼は平炉が主流で日本では転炉は日本鋼管がトーマス転炉を稼働させていただけで、八幡製鐵所は以前にベセマー転炉を稼働させていたが、品質が平炉鋼より劣るので昭和2年11月に中止した。

八幡製鐵所ではベセマーかトーマスかということから文献の調査を始めたが、欧州ではトーマス転炉に吹き込む空気に酸素を富化し、羽口を保護するために炭酸ガスや水蒸気を同時に吹き込むことが研究されており、更に横吹きや純酸素の上吹きが研究されているのを知った。そこで転炉製鋼の研究を急ぐことになり、湯川の「実用銅塊が一本とれるくらいの試験炉にしろ」との指示で、昭和29年3月5tの試験転炉が建設された。

始めは横吹きが試験されたが、当時既にオーストリアで純酸素上吹きのLD転炉の実用炉が稼働し、これが有望のように思われたので直ぐに上吹きに改造された。千数百回に及ぶ吹錬試験が行われたが、その途中で既に満足のいく結果が得られたので、昭和30年3月オーストリアから技術導入することになった。

八幡製鐵はLD転炉の特許管理会社と技術提携の交渉を開始したが、日本鋼管も別ルートで導入交渉を始めていた。通産省は二社の競合でフィーが高くなることを回避するため両社首脳間の調整に当たったが、渡辺八幡製鐵社長の英断で技術導入交渉は日本鋼管に一本化されることになった。八幡製鐵所では第一次合理化計画が進行中だったが、LD転炉は電炉工場に建設することになった。この工場は電炉と平炉のデュプレックス法を行えるようになっていたが平炉が既に休止していたので、その跡に設置することにしたものである。炉体はデマーズ社に発注されたが、折悪しくスエズ動乱が発生し、納期が大幅に遅れると見込まれた。湯川は強い態度で遅滞は許さないと指示、炉体を急遽石川島播磨重工に発注、かくて昭和32年9月日本最初の当時としては世界最大の50tLD転炉が八幡製鐵所で稼働した。

4.2 海に築く製鉄所

八幡製鐵は昭和31年から第二次合理化に着手したが、その白眉は戸畑製造所の建設である。これは湯川が最も心血を注いだ事業の一つで、湯川は建設局長事務取扱にも就任、筆舌に尽くしがたいような多忙な日々を送っていた。如何なる激務も繁忙も全然苦にならないという仕事への執念、酒も煙草もたしなまず、ゴルフや宴会もやむを得ないお付き合いの時だけで、朝は8時前から夕方は6時過ぎまで仕事一筋の縦横無尽の活躍、怒濤のごとき行動の偉力、積極果敢な課題処理はただただ驚嘆するのみだった。素晴らしい感度と透徹した理論による分析の鋭さは抜きんでていたが、それだけに部長連中に歯がゆさを感じたことも再々あったようで、的を外れたような意見には相当厳しい批判を述べ、会議の席上で「お辞めになって頂きましょうか」と言われた部長も何人かいた。事務屋には優しくだったが、技術屋には怖い存在で湯川の会議には緊張感が漂っていた。もっとも「お辞めになって……」は若い時からの癖のようで、課長時代にも「そんなことが出来ないのならお辞めになった方がいいのではないですか」などと机の前に呼ばれて言われた部下が少なくなかったようである。

当時としては世界最大の1,500t高炉、戸畑第一高炉は昭和35年9月に火入れされたが、この広大な埋立造成地の上に整然としたレイアウトを持つ「海に築く製鉄所」はその後の日本に於ける本格的な臨海製鉄所建設の基本パターンとなっ

た。

昭和34年4月八幡製鐵は堺地区進出に関して大阪府と基本協定を締結した。10月本社に堺建設本部が設置されるや湯川は本部長として堺製鐵所建設にも当たることになり、いよいよ忙しくなった。最初の製品をH形鋼と決めたのも湯川の発案によるもので、これは当時世界で三番目のワイドフランジ工場であり、日本では最初のものであった。

35年8月にはミナス製鐵の最高顧問としてブラジルへ行くことになったので堺建設本部長兼務は僅か10ヶ月ではあったが、建設当初の最も困難な時期に製鐵所の基礎を築いた。

4.3 ウジミナス製鐵所の建設

昭和31年3月アルゼンチンに輸出した電線管の材料に大量のクレームが生じたので、湯川は溶接研究室の守田室長を帯同してアルゼンチンに出張したが、その帰りにかねてブラジルより協力方申し入れのあった同国パウリスタ製鐵所建設予定地を視察するよう本社から連絡を受けた。

この頃ブラジルでは工業化を進めるためにクビチェック大統領を中心に経済開発五ヶ年計画を立て、その基礎をなす鉄鋼業の育成に熱心だった。そして第二次大戦後の日本鉄鋼業の驚異的な発展に着目し、我が国に協力の意向を打診してきた。同国がサンパウロ近郊に建設を予定していた製鐵所の用地を視察した湯川はこの場所は近代的製鐵所の建設には適さないとしたが、ブラジル側関係者は更に併行してミナス州に計画されている製鐵所の建設について調査を依頼した。湯川は直ちにその建設予定地、近くのイタピラ鉱山、ビトリア港などを視察、極めて有望であるとした。

東回りで帰国の途次、黄熱病の予防接種をしていないと、カラチで一週間飛行場の病院に軟禁されたというハプニングがあったが、帰国した湯川の報告で我が国内でも産業界全体の問題として具体的検討を進めることとなり、経団連に「ミナス製鐵所建設協力問題小委員会」が設置されることになった。湯川のもとで日産700t高炉2基と転炉、厚板、ストリップミルを持つ製鐵所の計画が作成されたが、これに要する建設資金は膨大で我が国に期待される投融資額も巨額に達した。当時我が国経済は神武景気を経て躍進への端緒にあったが、外国に大規模な援助を与えるほどの余裕はなかったので、援助額と資金の調達を巡って問題は紛糾した。

両国間で交渉が重ねられ昭和32年6月に至ってようやく「日伯合弁製鐵会社設立に関する協定」が締結され、日本は約1億ドルの機械輸出に対して15年間の長期ローンを与え、資本金の40%に相当する70億を出資し、建設から技術の全面的指導を行うことになった。

この事業は日本の製鐵7社、機械7社の共同事業として昭和32年12月日本ウジミナス株式会社が設立され、引き続き

翌年1月ブラジルに日伯合弁によるミナス・ジェライス製鉄所が発足した。同年5月湯川は八幡製鐵常務のまま日本ウジミナス顧問に就任し、創業計画に参画することになった。同年8月にはいよいよイパチングの現地で建設が開始されたが、ブラジル経済事情の悪化、インフレの昂進、国情習慣の相違その他いろいろの事情による困難に加え、日本からの派遣者は八幡製鐵が中心とはいえ製鉄三社、建設会社、機械メーカーの250名を越す寄合所帯、ややもすれば足並みの乱れも生じ、建設は順調ではなかった。ラナリー社長は最も信頼する湯川の来伯を再三要請、戸畑の拡張計画に加えて堺製鐵所の建設も始まり多忙を極めていた湯川は昭和35年8月、八幡製鐵小島社長の英断によって、ミナス・ジェライス製鉄所最高顧問として渡伯、約2年間に亘って同所建設の促進と操業開始の指導に当たった。

湯川の清廉無欲な人格と技術、経営の力量はたちまち関係者の信望と尊敬を一身に集め、建設は着々と進んで昭和37年10月第一高炉が完成、湯川は副社長として八幡製鐵に帰任することになった。40年9月には第二高炉が完成、その前後に圧延設備も逐次稼働し、八幡製鐵は単独でその後も技術援助をつづけ、ミナス・ジェライス製鉄所は中南米最優秀の製鉄所として欧米各国で高い評価を得るに至った。

同製鉄所は生みの親であり、ブラジル経済の発展に計り知れぬ功績を残した湯川を追慕してやまず、湯川逝去後に本社事務所内に「湯川講堂」を設け、その卓越した偉才と高潔な人格を永く讃えている。なお湯川は昭和39年7月ラテンアメリカ鉄鋼協会名誉会員になっている。

4.4 OGの開発

昭和34年ボイラーメーカーの横山工業がLD転炉に蓋を被せて排ガスを回収するアイディアを持ち込んで来た。湯川は相原製鋼部長に製鋼研究室と相談して検討するように指示した。当時八幡技研の製鋼研究室では100kgの試験転炉でLD転炉での優先脱磷を研究していた。初期の頃LD転炉では脱磷に難点があり、高炉では転炉用に特別に低磷銑を吹いているような状況だったからである。鋼浴を不活性ガスで攪拌することによって脱磷が促進されることを確かめ、更に本格的試験を行うべく2tの試験炉を発注していた。

この100kgの試験転炉では蓋を被せていたが、横山工業はこれに排ガス回収装置を付けさせてくれと言った。湯川は「どうせやるならすこし大きい試験炉でやったらどうですか」と言うので2t試験炉の製作を急がせ、35年6月第三製鋼工場の東端にこれを設置し、これに排ガス回収装置を付けて試験を開始した。横山工業のアイディアでは蓋をラビリンズでシールするというものだったが、これではスピittingですぐ詰まってしまうので窒素カーテンでシールすること

にした。何回か試験するうちに排ガス回収の可能性が見えてきたが、三製鋼の窓ガラスを割るようなCOガス爆発を二回経験した。

十数ヒートの試験の経過を湯川に報告したところ「問題の解決は可能でしょう。第二転炉工場への適用を検討しなさい」ということになった。当時戸畑では第三高炉に対応する炉容130tの第二転炉工場建設の計画が進んでいたが、湯川はこれでこの排ガス回収法を実機化しろと言うのである。未だ防爆策も検討中のこの段階での湯川の決断には関係者一同は非常に驚いた。この試験は研究所と製鋼部と横山工業とで構成したOG委員会(酸素転炉のガス回収という意味で名付けた)で進められていたが、目前に迫った二転炉の建設で実機化せよというので建設本部の関係者も加わって試験が促進され、37年3月OGを装備した戸畑二転炉が操業を開始、大形転炉の操業の安定を待って5月には世界初の転炉排ガス非燃焼回収法OGの操業がスタートした。湯川の決断がなかったらこんなに早く実機化することは出来なかったであろう。二転炉操業開始後も2t試験炉でOGの改良試験が続けられ、窒素カーテンなしに安定してガス回収が出来るようになった。湯川は横山工業の岡庭専務と共に大河内賞を受賞、OGは国内のみならず世界各国の注目を浴び、世界中で159基も設置されるに至った。

5 副社長時代

5.1 技術輸出

昭和37年10月ウジミナスの第一高炉の火入れが行われ、翌11月湯川は約2年間のブラジル滞在から帰国した。この年の5月に湯川は副社長に就任していたが、八幡製鐵に復帰後間もなく本社に勤務するようになった。この時には既に湯川が全力を傾注した八幡製鐵所戸畑製造所の三高炉体制が完成し、OGを装備した第二転炉工場も稼働して国内外の注目を集め、欧米へのライセンス供与の交渉が始っていたが、OGの技術輸出はその後の八幡製鐵の技術輸出の尖兵となった。

ウジミナスには引き続き技術援助を続けていたが、湯川が心血を注いだ戸畑製造所やウジミナスの建設実績で八幡製鐵の技術は次第に欧米でも認められるようになり、イタリアの国営製鉄会社イタルシデルや英国のスチール・カンパニー・オブ・ウェールズなどに技術援助をするようになった。八幡製鐵の技術の輸出入収支は昭和42年にはプラスに転じるに至った。

5.2 新製鉄所の建設

堺製鐵所の大形工場は既に稼働しており、H形鋼の生産が

始まっていたが、岩戸景気後の不況で昭和37年6月ホットストリップ工場の建設が中断され、38年2月には第1高炉の建設も中断された。37年12月湯川は堺のストリップ工場用のスラブには連続鋳造を適用したいと言い出した。当時連続鋳造はまだ揺籃期で、国内では住友金属がコンキャスト社と技術提携して大阪製造所に設置し、八幡製鐵がそのライセンスで光製鐵所にステンレス用の広幅スラブ連鋳機を稼働させているだけで、リムド鋼が主体の薄板用スラブへの適用は欧米でも未だ模索中だった。八幡製鐵は住友金属とリムド鋼の連鋳について共同研究を始めたが、リミングアクションを伴うリムド鋼の連鋳はやはり難しく、真空処理後に少量のSiかAlで脱酸することが必要だが、メッキ用薄板としては表面性状にやや難点があるというところまで研究が進んだ。しかし当時まだ真空処理設備と連鋳設備を兼ね備えた製鐵所がなかったので共同研究はここで中断、薄板用スラブ連鋳の開発はまだ時間がかかりそうだったので、39年10月湯川は諦めて堺にスラブ用分塊を設置することにした。

住金との技術懇談会は引き続き継続、コンキャスト社のフィーの値下げ交渉等を行っていたが、昭和40年高炉建設の調整についての五社協定に住金が難色を示し、不況に対応した五社の協調減産についての通産省案に従わなかったため、官界、政界まで巻き込んだいわゆる住金事件が起きて住金との連鋳技術懇談会は自然消滅した。

昭和41年2月堺製鐵所の第2高炉の火入れ式が行われ、堺の2高炉体制に目途をつけた八幡製鐵は引き続き君津製鐵所の建設に取りかかった。君津には昭和40年4月冷延工場が先行稼働していたが、一貫製鐵所建設に向けて準備が進められていた。湯川は「君津は我々の最後の製鐵所になるから考えられるありとあらゆる新技術を注入しよう」と再々会議を開いて検討を進めていた。41年10月第1期拡充計画が決定され、42年1月には君津推進本部が設置されたが、この頃すでに湯川は体調を崩していた。

5.3 国際的活躍

湯川は昭和39年4月鉄鋼協会会長に就任、訪英鉄鋼視察団団長として訪英後欧州各国を歴訪したが、これは世界各国との技術交流を盛んにし、我が国鉄鋼業の国際的地位を高からしめる糸口になった。湯川は40年6月訪ソ鉄鋼視察団団員として訪ソ、41年1月商工会議所訪印経済使節団に参加、41年9月訪独・ベネルックス鉄鋼使節団団員として渡欧するなど国際的に活動し、ラテンアメリカ鉄鋼協会名誉会員の他、英国、ドイツの鉄鋼協会名誉会員にも推挙された。

40年3月アメリカのパテル・インスチテュート元所長のク

ライド・ウィリアム氏が湯川に「AISI (米)、BISRA (英)、VDE (独)、日本鉄鋼協会などで世界的共同研究が出来るような組織を作り、これをIIW (国際溶接協会) のように情報センターにしたい」と提案し、「US スチールのオースティン氏にも話したが、同氏は近く訪日の機会があるので、湯川さんとも話し合ってみたいと言っている」とのことだった。湯川は具体性がないと協会長としては動きにくいと言い、ウィリアム氏は帰国後AISI から日本鉄鋼協会宛に手紙を出すと言って帰国した。しかしウィリアム氏は各国の協会への根回しをしていなかったようで、この話は進展しなかったが、後に国際鉄鋼協会 (IISI) が結成され、昭和42年11月第一回の会合がブリュッセルで開催された。

5.4 病魔との戦い

国内外の仕事に忙殺されているうちに病魔が湯川をおそい、42年1月癌研付属病院で手術を受けた。その後も科学技術庁金属材料研究所の運営委員長や鉄鋼協会の原子力部会長を務めたりして、社内外の仕事は変わることなく勤めていたが、43年9月東大病院で二回目の手術を受けるに至った。病状はかなり悪化していたようだが、それでも手術の後44年4月英国鉄鋼協会百年祭記念式典に参加のため渡英したり、アジア及び日本ラグビー・フットボール協会会長を勤めたりしていたので、身近な人以外は湯川の病状がそれ程ひどいとは思っていなかった。昭和44年5月東北大学大日方教授の葬儀に当たって湯川は東大冶金同期の友人代表として弔辞を述べたが、そのなかで「同じ病氣と闘っている私は今君にこうして先に逝かれ…」と言ったので参列者一同は非常に驚いた。大日方教授は直腸癌手術を受けた後だった。

この時は既に癌が肺に転移していたようで本人もそれを知っていたらしい。死を見つめながら鉄鋼業のために最後まで尽くそうとする気迫、一人で椅子から立ち上がれなくなるようになるまで執務を続ける強固な精神力、その姿には皆驚嘆していたが、ついに昭和44年10月5日東京衛生病院で逝去した。湯川には正四位勲二等瑞宝章が贈られた。

参考文献

- 1) 湯川正夫回想録, (1970)
- 2) 日本製鉄株式会社史, (1959)
- 3) 八幡製鐵所八十年史, (1980)
- 4) 堺製鐵所二十年史, (1984)
- 5) 日々新たに 君津製鐵所20年史, (1985)

(2003年1月22日受付)



鉄の歴史

スウェーデンの製鉄史概論 近代製鋼法 (Bessemer 転炉) 誕生まで

1. 鉄器時代から高炉の誕生まで

Iron in Sweden — Classical Processes up to 1900 —

矢島忠正

Tadamasa Yajima

元大同特殊鋼(株) 常務取締役
元日本鉄鋼協会共同研究会 特殊鋼部会長

序

1997年6月、Jernkontoret「スウェーデン鉄鋼協会」の250年記念講演会に出席する機会を得た。会議は製鉄技術の「現在、過去そして未来」の三部より構成されていたが、スウェーデン製鉄史を扱った「過去」のセッションが異色であった。

このセッションは地元スウェーデンに始まり、スウェーデン製鉄業と歴史的な繋がり強いベルギー、イギリス、フランス、ドイツ、オランダの諸国が発表した。

明治維新で「たたら吹き」から短期間で一挙に「近代製鉄法」に変革した島国日本では想像もつかない大河のようなヨーロッパの政治、経済、宗教の流れの中にあって、それに大きく影響した良質の「鉄鉱石」資源を持つ北欧の小国スウェーデンの姿がそこにあった。

2000年、スウェーデンは粗鋼生産量こそ5,229千t (CC比率87%) にすぎないが、合金鋼、ステンレス鋼が54% (2,787千t) と過半を占め、また自国鋼材生産量4,999千tの内実に77% (3,854千t、約4,800億円) を輸出し、逆に主に普通鋼鋼材を2,676千t (2,600億円) 輸入している²⁹⁾。

このように現在の特殊鋼大国スウェーデンも「鉄は国家なり」とその存亡を左右した製鉄業を「Bergsman (ベリスマン): Peasant Miner」と呼ばれた農業の傍ら製鉄業を営む独特の社会階級に依存した時代に始まり、1200年以後約700年の間にドイツ、ベルギーそして産業革命以後は最大の顧客イギリスから相次いで新製鉄技術を導入、消化して発展を遂げている。この姿に資源こそ持たないが、1945年灰燼の中から僅か30年余の間に自由主義社会のショウウィンドウとして西側諸国から相次いで新技術を原料、燃料と共に導入、消化しながら、開かれた西側市場にその製品を供給し、粗鋼生産量1億tにまで急成長した日本との共通点も数多く見出す事ができる。

以下3回にわたって近代製鋼法が生まれるまでの「スウェーデン古典的製鉄史」を纏めてみた。数々の貴重な資料を提供して頂いた先生方、多くの友人に心から御礼申し上げると共に、筆者固有の独断と偏見をご叱正頂ければ幸いである。

1 鉄器時代の誕生 アナトリアから アルプス北部へ BC2200-400年

鉄器時代は青銅器時代の紀元前2200年頃現在トルコのヒッタイト王朝が支配したアナトリア地方で誕生したと考えられている。しかし鉄器は青銅器や金、銀の装飾品よりはるかに錆びやすく、また当時金より高価であったと言われる程の貴重品であったので考古学的調査で発見される確立は極めて小さかった (Fig.1)。

BC1200年代前期頃、黒海の東南部古代Pontus (Kolchis 近傍) のヒッタイト国王ハッシュシュリ (Chattusil) III世 (BC 1298-1266) はエジプト国王ラムセス (Ramses) II世 (BC 1301-1234) に宛てたと思われる書簡で次のように述べている。

「御申越しの良質の鉄の件、残念ながら Kisvanda の倉庫に在庫がありません。今は鉄を造るには時期が悪いですが、できるだけよい鉄を造るよう部下に指示したところです。出来次第お送りします。今回は鉄の刃だけ送らせて頂きます。」¹⁾

しかしBC1200年頃気象の寒冷化による民族移動の結果、アナトリア地方の住民も難民として南へ移動、パレスチナに定住、ペリシテ人の名の下に製鉄技術を秘術として伝えたと



Fig.1 ツタンカーメン (BC 1358-1349) の棺から発見された鉄の短剣¹⁾ 全長31.9cm。刃は焼入れされた鉄、柄は七宝の金製。発見当時刃先に数箇所錆以外には鉄の輝きを保持していた。カイロ、エジプト博物館蔵。

言われている。

鉄に関して現存する最古の文献の一つ「旧約聖書」は「創世記第4章、ヨブ記第28章」等、数箇所鉄に関する記述があるが、「サムエル記上第13章」にはイスラエル建国当時 (BC1000年) サウロの頃のペリシテ人と鉄に関する記述が見られる²⁾。

日本書紀で「すさのおの尊」が「ヤマタノオロチ」の尻尾から熱田神宮に祀られている三種の神器の一つ、「天のムラクモの剣=草薙の剣」を取り出したのはこの頃であろうか。

この民族移動を契機に製鉄技術は更に地中海西部へ拡散し、ギリシャにはBC1200年頃到達する。ギリシャ神話は美と愛の女神「アフロダイテ (Aphrodite: ローマ神話の Venus)」の夫に鍛冶屋の神様「ヘファイストス (Hephaistos)」を配している。またギリシャ時代の遺跡から現イタリア、エルバ島産の鉄鉱石を用いた鉄塊が発見されており、当時既に広範囲に鉄の交易が行なわれていたことを示唆している。

オーストリア、ザルツブルグ近郷ザルツカンマーグート (Salzkammergut) はその名の通り BC2500 年から岩塩の産地として知られている。1846 年その一つ海拔 1000 m のハルシュタット (Hallstatt) 岩塩鉱近くの間山で砂利の採掘場所を探していた鉱山の管理者が偶然人骨を掘り当てた³⁾。更に掘り進むと BC800 年以降と推定される 993 基の墳墓から 6084 点もの青銅、金、銀製品と共に多数の鉄器の副葬品が出土した。アルプス以北の所謂第一鉄器時代の始まりと共に考古学誕生の瞬間である。

当時ケルト文化圏に属した Hallstatt 自身は山に湖が迫る狭い場所に位置し、そこで製鉄業が行われた形跡は無く、数々の副葬品は住人が当時「白い黄金」と呼ばれた岩塩から得られた富で購入したものと思われる。近くの現在レオーベン (Leoben) 近郷が属するシュタイヤーマルク州 (Steiermark) はローマ時代ノリカム (Noricum) を呼ばれ、既に鉄を生産しており、鉄器はそこで生産されたものと推定される。

今日 Leoben からドナビッツ (Donawitz)、エルツベルグ (Erzberg) 鉄鉱山を経て北上し、ドナウ川沿岸のリンツ (Linz) に至るローマ時代からの「鉄の道」(Eisenstrasse) が走っている。LD 法もそのルーツはローマ、更に遡ってケルト時代 (?) にあった。

製鉄技術がアルプス北部まで伝わったルートは明らかでないが、

1. 南ルート: ギリシャ・イタリア北部 (エトルリア)
ーオーストリア西部へ
2. 北ルート: 黒海ーウクライナードナウ川を遡上の二つが考えられる。

この10年後の1857年、Hallstattの西600kmのスイス、

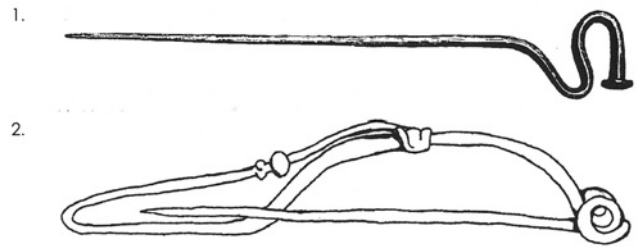


Fig.2 ノルウェーで発見された La Tène 期の鉄製装飾用ピン⁵⁾
1 は初期のストレート型、2 はバネ機構付の安全ピン型

ヌシャテル (Neuchâtel) 湖畔ラテーヌ (La Tène) の湖中から BC400 年以後と推定される多数の鉄器が発見される。ここでは Hallstatt の刀剣より数段進歩した鋼が登場、焼入れ焼戻し熱処理技術と共にクラッド技術が開発されていた。

従って BC400 年以降ローマ帝国誕生の AD0 年頃までは第二鉄器時代あるいは La Tène 期と呼ばれている⁴⁾。

日本に鉄器が伝わったとされる弥生時代前期 (BC300-) 頃である。

長く寒い冬を越すため食料を保存する岩塩は近世に至るまでスウェーデンの重要な輸入品であった。四方を海で囲まれたバルト海 (スウェーデンでは東海と呼ぶ) は塩分濃度が南部でも 1.5% 程度と通常の海水の半分以下で、沿岸に住む住民は輸入された岩塩に依存した。

ケルト時代から Hallstatt を始め南ドイツの岩塩産出地帯から所謂「塩の道」も北へ伸びており、これを通じ鉄器がその製造技術と共に遠く北欧の地まで伝わったと考える事もできよう。

ノルウェー、ベストフォルド (Vestfold) 郡サンデ (Sande) のオース (Ås) で BC100 年頃の青銅製骨壺の中から副葬品として La Tène 様式の安全ピン式ブローチが発見されている。女性にとっても当時鉄製品は金にも優る最高級の装飾品であった (Fig.2)。

鉄を意味するスウェーデン語のイエルン (Järn)、英語の Iron はケルト語を語源とする事からケルト人が鉄器の導入とその発展に尽くした役割の大きさを推し量る事が出来る²⁾。

因みに馬の蹄鉄や鉄たがを嵌めた車輪はステップ地方からヨーロッパの森林地帯に移住したケルト人の発明とされている²⁾。

このようにローマ時代以前でもアルプス北部では広範囲に交易が行なわれていた。

2 La Tène 期 吹錬炉 (低シャフト炉: Bloomery, Sw: Blåsterugn) による直接製鉄法

1938 年に始まったスウェーデン古代遺跡調査局 (Riksantikvarieämbetet) の記録によると今日までスウェーデン全土

で5000箇所の製鉄遺跡が発見されている。

近年考古学の分野でC¹⁴、サーモルミネッセンス法、年輪測定法等新しい手法を用いた発掘調査が行われている。製鉄遺跡もその例外ではなく、北欧諸国各地で従来の見解を書き改める新しい発見が各所で得られている。

歴史が新しいスウェーデンでは一般にTable1の時代区分が採用されている。

この分類に従うとHallstatt期（第一鉄器時代）は青銅器時代に、La Tène期（第二鉄器時代）はローマ前期に分類される。

中部スウェーデンベストマンランド（Västmanland）のリダーヒュッタン（Riddarhyttan）で発掘された製鉄遺跡はFig.3に示す吹錬炉で、全高約1 m、全幅0.5 m程の低シャフト炉である。C¹⁴による年代測定によりこの炉はBC400年頃と判定された⁶⁾。

鉄原料は酸により水に溶けた鉄が再度析出、沈殿した水酸化鉄（Limonite）、通称赤土（レードヨルド、Rödjord）で、灼熱減量—20 %、ドライベースで鉄分—60 %の比較的高品位鉱石で、ピットで焙焼後装入された。この赤土は石器時代、洞窟画の赤色顔料としても使われていた。産出形態は砂状、豆状、あるいはコインやコーヒークサスの性状を呈する粉末も

しくは日本の砂鉄と似た微粒鉄鉱石であった（Fig.4）。

燃料には初期は木材、後期は木炭が用いられた。

操業は木材、鉄鉱石を上方から装入、人力による送風で5-6時間の精錬後約20 kgの海綿状鉄塊（Bloom,Luppe）が造られた。これは軟鉄で、鑄造により夾雑物を搾出後製品に加工された。

「鉄は溶かす、即ち銑鉄にすると病気になり、健康にするには大変な労力、即ち木炭炉床で鉄鉱石を用いて脱炭精錬、を必要とする。」という事が当時から語り伝えられていた²⁾。

Riddarhyttanでは1×1.5 km²の赤土沖積地帯に各1-4基の炉を持つ7箇所の製鉄遺跡が発見されている。Fig.5はノルウェーの1996年冬季五輪開催地リリエハンメル（Lillehammer）の西約20 kmに位置するドックフロイ（Dokkfloy）周辺で発掘されたBC100年頃の製鉄遺跡分布を示す。海拔750 m、約3km²の沼沢地の谷間に多数の吹錬炉が木炭釜と共に発見されている⁷⁾。

この遺跡は6世紀まで500年間操業し、200年の休止期間の後再開されている。周辺の森林を伐採しつつ、その復元を待つて再開されたものであろう。

筆者が師事したストックホルム王立工業大学名誉教授、日本鉄鋼協会名誉会員のSven Eketorp氏はストックホルム郊

Table1 北欧に於ける時代区分⁶⁾

石器時代	青銅器時代	鉄器時代			
		ローマ前期	ローマ時代	民族移動期	Wendish 期
- 1500BC	1500 - 400BC	400 BC - 0	0 - 400	400 - 600	600 - 800
鉄器時代					
Viking 時代	中世	近世			
800 - 1050	1050 - 1500	1500 -			



Fig.3 吹錬炉（Blåsterugn）
Riddarhyttanの遺構とEketorpの復元炉⁵⁾
左 Riddarhyttan, Skinnskattebergの遺跡 BC400頃⁶⁾
右 Eketorp教授宅の復元炉。全高70cm、炉内径30cm。



Fig.4 沼鉱石（Bog ore：Limonite）の産出状況⁵⁾
左 赤土（Rödjord）⁶⁾
約80cmの水酸化鉄堆積層（Limonite）
鉄分30-50 %、lg-loss 10-20 %
右 湖鉱石（Sjömalm）²⁶⁾ 湖底で風化した塊鉱石。
鉄分40-50 %、lg-loss 3-7 %

成分出典：Das Eisenhüttenwesen Schwedens. 1885 Leipzig. 付表1-3.

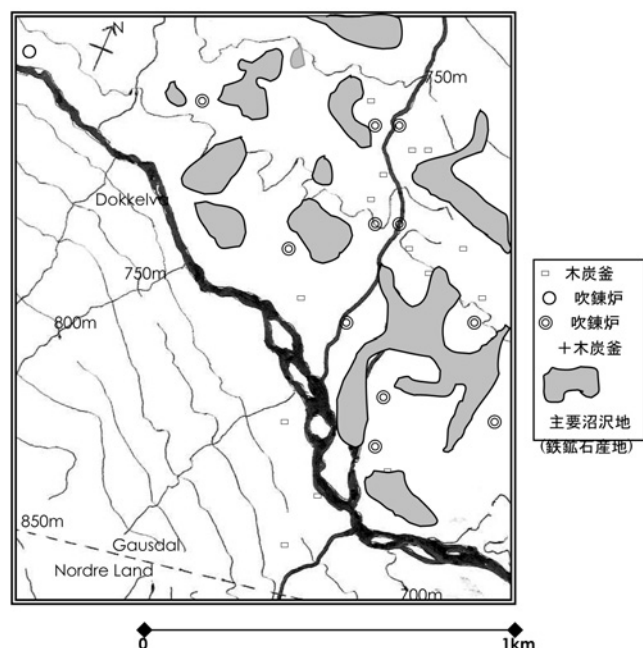
Fig.5 BC100頃のNorway, Dokkfloy周辺の吹鍊炉分布⁷⁾

Table 2 オクセレスンド (Oxelösund) のペレットを原料とした製品の成分の一例

C	Si	Mn	P	S	Cu	T-Fe
0.03	0.1	0.1	0.015	0.013	0.1	88

外の広大な自宅の庭に吹鍊炉を復元し (Fig.3)、毎年6月に学生を招いて試験操業を恒例の行事とされている。しかし毎年決まって海綿状の鉄塊を造る事は難しいとの事であった。オクセレスンド (Oxelösund) のペレットを原料とした製品の成分の一例 (%) を Table 2 に示すが、約10 wt %の脈石が含まれている。

またスラッグは酸化鉄を約50 %含有する思いファヤライト系 (2FeO , SiO_2) である。

この詳細については後述するが、本法は1150年頃高炉が誕生するまでの約1500年間、ローマ時代、バイキング時代の唯一の直接製鉄法であった。

③ ローマ帝国 (0 - 465)

アルプス以北に第一、第二鉄器時代をもたらし、英語、スウェーデン語に鉄という言葉を残したケルト民族は紀元前52年、現フランス東南部のアレスシアでシーザー率いるローマ軍団に破れ、その時代に終止符を打つ。代わって東はシリア、イラクから西はスペインに至る地中海沿岸全てを制覇したローマ帝国が誕生する。

その余勢を駆って北部ドイツ平原に進攻したローマ軍は

AD9年、オスナブリュック南方に広がるトイトブルグの森 (Teutoburger Wald) でゲルマン軍の待ち伏せ攻撃を受け三個軍団が壊滅、後世のスターリングラード的大打撃を受ける。これに懲りたのかローマ軍はドナウ川とライン川を結ぶ地域に対ゲルマン防衛線を設け、それ以北はアンタッチャブルとし、現在の北欧諸国もローマの支配圏外に置かれる。しかし通商ルートは確保され、シュレスウィッヒホルスタイン (Schleswig-Holstein) 地方からは沼沢鉱石が供給された。

矛先を転じたローマ軍団は北へ向い、AD43年スコットランドを除くイギリス本土を征服する。

大帝国を築いたローマにとって伸びきった兵站線を維持する事は何にも増して重要であった。特に武器製造の鉄鉱山、製鉄所、鍛造所の確保と維持が最優先であった。

鉄鉱山はスペイン、フランス中部、オーストリア、エルバ島、アナトリア、シリア等に点在し、その鉄からローマ軍兵士の短剣等の武器を製造する鍛造工場はライン軍団にはリーム (Reims) の刀、トリアー (Trier) の槍、アミアン (Amien) の楯、ドナウ軍団にはフランケン (Franken) やシュワベン (Schwaben)、また遠くギリシャ駐屯軍にも武器を供給したオーストリア、ノリクム (Noricum) が有名であった。更に東は、シリアのダマスкас (Damascus)、西はスペインのトレド (Toledo) 等にも特に刀剣で著名な鍛造所があり、駐屯するローマ軍の重要な補給廠の役割を果たした。

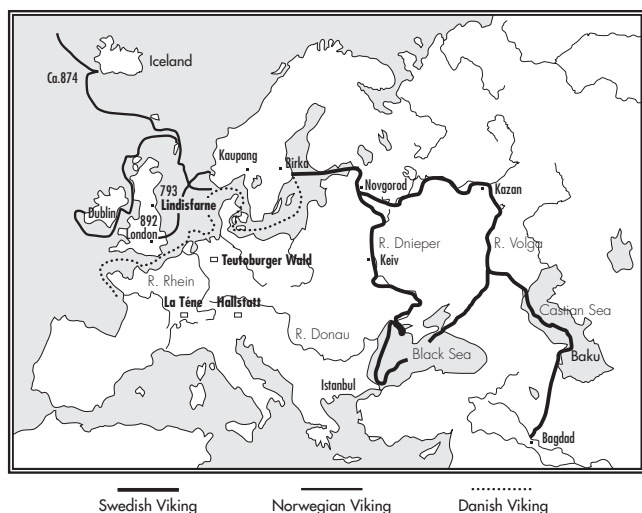
ローマ帝国がその体制を維持できた理由の一つには鉄鉱山、製鉄所の維持管理とそこから伸びる長大な兵站線を防衛できた事にあったと言われている。まさに鉄は国家なりであった²⁾。

ローマ時代にスウェーデンの製鉄所から鍛造所に至る河川の流域の拠点に設けられた城砦 (Borg) や櫓 (Skans) も遠くローマ帝国から伝えられた通商ルートの保護を目的としたものと考えられよう⁶⁾。

476年、強大なローマ帝国もゲルマン部族の攻撃を受け崩壊する。武器の携行を兵士にしか許可しなかったローマに対し、少数の遊牧民族のゲルマン部族は女、子供に至るまで武器を携行していたことがローマ敗因の一つであったといわれている²⁾。

④ バイキングの時代 (800 - 1066)

793年6月8日、イギリス、ノーザンバーランド (Northumberland) のリンデスファーン (Lindisfarne) 修道院が数隻の船団に襲撃される。以降1066年のヘイスティンクス (Hastings) の戦いまでの北欧諸国が世界史に初めて登場するバイキング時代の始まりである。

Fig.6 バイキングの通商ルート⁸⁾

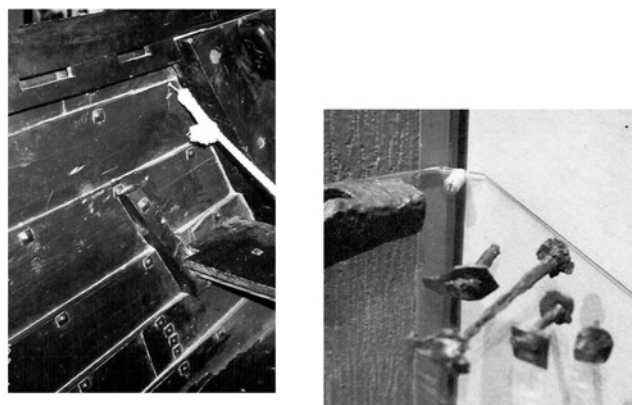
バイキングの起源、その目的などについては諸説があるが、増加した人口圧力が北欧の民族を国外に向わせたゲルマン民族大移動後の小規模な民族移動と考えることも出来る。彼等は兵士であると共に商人、農民で、修道院や集落の襲撃、略奪も行ったが、その一方イギリスやフランス北部そして南イタリア、更に北はアイスランド(874?)やグリーンランドに至る植民や広範囲な通商活動も行った。ケルト語がアイルランドに遺されているのと同様、現在のアイスランド語はバイキング時代の北欧語?を遺すと言われている。

デンマーク、ヘデビー(Hedeby)やノルウェー、カオパン(Kaupang)、ニダロス(Nidaros)を拠点とするバイキングはそれぞれ北へ、西へと向かったが、スウェーデンバイキングは主としてメーラレン湖のビルカ(Birka)から東に向かい、バルト海からロシアに入り、ボルガ、ドニエプル川を下ってカスピ海、黒海を経て遠くバグダードにまで達した。Birkaは800年から960年頃までスウェーデンバイキングの通商拠点として栄え、中部スウェーデン各地からの鉄の集散地としてデンマークのHedeby向の鉄製品輸出も行われた^{8, 9)}。

この大遠征を可能にした一つがバイキングシップを生んだ卓越した造船技術であった。

バイキングシップはキールを有する木造船で、キールから幅15 cm、厚み5 cm位の木板を鉄釘で互いに接合、1.5 m置きにリブを配した綺麗な曲線を描く全長35 m、最大幅4.5 m、排水量50トン程度の所謂ロングシップである。これに食料、武器、鉄の大鍋等の炊飯器具を満載、30-40名の乗組員と時には馬、家畜まで載せ、順風の時は一本マスト、110 m²の羊毛製一枚帆で、最速12 ktで帆走した。

鉄釘は写真(Fig.7)に示すように内部と外部共に小さな鉄片のワッシャーをつけ、釘をかしめる時に製鉄用木炭の製造時の副産物木タールを用い漏水を防いでいた。リブとマストの基礎には天然の木材をその形状、曲線を生かして活用、図

Fig.7 バイキングのロングシップ(内側と鉄釘)
Historisk Museum, Oslo. 2002、

面は一切無く、全てが現寸合わせの造船術であった。

造船資材としての鉄、木タール、木材を切り出し加工する手斧、鉋、武器としての斧、等全てがケルト人によりもたらされた製鉄技術の産物であった。

しかし中東、地中海沿岸にまで到達したバイキングを驚かせたものは進歩した製鉄技術と組織化された軍隊であった。ダマスカスの半月刀、フランク王国の直刀そして甲冑に身を固めた騎士は、斧を振り回し半裸の少数の盗賊集団バイキング文化とは全く異なるものであった。

1000年代後期、移住したバイキングがそれぞれの土地で同化し、一方キリスト教が北欧にも敷衍すると共にその活動も終息する。

一方1066年Hastingsの戦いでバイキングを打破したウィリアム征服王のイングランドではその後20年間で鉄の生産が2倍になった。民族国家の誕生と共に「国民を守り、国民を養う」鉄は国家なり時代が到来する。

5 シトー(Citeaux)派修道会による製鉄技術の拡散²⁾

北欧諸国がヨーロッパの一国となった背景の一つにキリスト教の伝道が大きな役割を演じた。これは単なる宗教の伝道以上に大きな意味を持った。

北欧の王国誕生はキリスト教の伝道と同時に起こり、スウェーデンの聖エリック(St.Erik)、ノルウェーの聖オラフ(St.Olaf)、デンマークの聖クヌート(St.Knut)等、各国の守護神(Patron saint)の名の下に教会により世襲制の国王が選任された。国王は教会に従属するローマ法王の僕で、僧侶は人々の魂を救済するので無税であった。記録によると1210年11月21日教会による戴冠式でエリック・クヌッソン(Erik Knutsson)がスウェーデン王位につくが、これは教会と国王が合意に達した事を意味した²⁾。

教会により、法制度、租税システム等が整備されてゆく。製鉄業に関しても「鋳や鋳の深さ以下にある資源は国王に帰属する。」「製鉄業に対する認可制度」「製品品質を維持する為のマーキングや罰則」等の諸制度の原型が作られた。マーキング制度は自家消費のために鉄を生産するベリスマンと国王のとの間に論争を引き起こした。

またバルト海沿岸のリューベック (Lübeck) やドイツ各地から商人、職人等がスウェーデンに移住し、通商や産業振興の一翼を担った (Fig.8)。

キリスト教に改宗した上流社会の人々は来世の幸福を願い、土地、製鉄所等を教会に寄進し、教会は財政的にもその基盤を強化してゆく。

一方1000年代ヨーロッパでは鉄鉱山の探鉱とその開発が積極的に行われた。この一翼を担ったのが、1098年フランス中部ディジョン (Dijon) 近傍に設立されたシトー派修道会に属する僧院であった。修道会は人里離れた原野や森林の中に僧院を建設、そこには修道士と修道労士が生活を共にし、自給自足のための農場や施設を組織的に運営した。

最盛期には700箇所の男子修道院と900箇所の女子修道院を擁した²⁾。

1115年に設立されたシトー派の一セクト、クレルボー (Chairvaux) 修道会はフランスを中心にイギリス、スウェーデン等に展開し、僧院から離れたところに立地した農場、水力式製粉工場、製材所等から構成される自給のみならず積極的に外販を行う生産部門を保有した。僧院によっては製鉄部門を持つところもあり、そこには熟練した精錬、鍛造修道労士が生産に従事し、彼等の発明した技術は同じセクトの修道会に伝承された。

修道会は土地を借受け、リース料を生産された品物で支払った。鉄の場合は生産量の10%がリース料として土地所有者 (王侯貴族、権力者、僧侶) に支払われた。

1100-1200年代のフランスでは35の修道会が製鉄事業に従事し、内クレルボー修道会は年産700tを生産する系列製鉄所を運営していた²⁾。

彼等はイギリスでもシェフィールド地区で6製鉄所を運営し、彼らこそがシェフィールド製鉄業の基礎を築いた人々であった。

スウェーデンに進出したシトー派修道会は、アルベストラ (Alvastra) (1143)、ニイダーラ (Nydale) (1143)、グードヘム (Gudhem) (1164)、ユーリタ (Julita) 等数箇所に僧院を建設、製鉄業を営んだ (Fig.8)。

当時スウェーデンには既に製鉄業に携わる農民、Bergsmanが存在したが、教会という管理されたシステムの下で製鉄業を行った修道会の存在も無視できない。

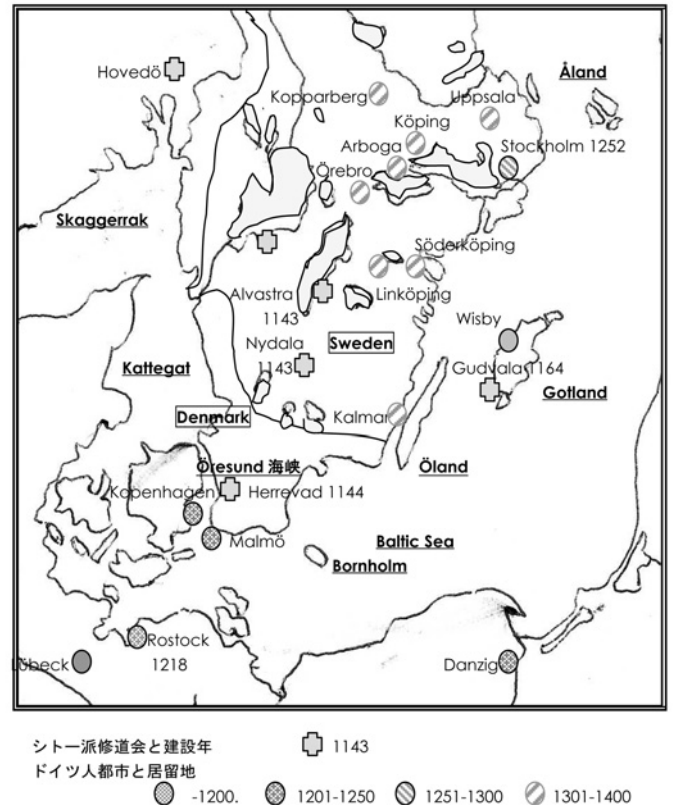


Fig.8 シトー派修道会とドイツ人移民 (1143-1400)¹⁰⁾

6 高炉と間接製鉄法の誕生 Lapphyttan (1200年頃)

1976-79年の予備調査後1984年まで中部スウェーデン、ノルベリ (Norberg) 近傍のラップヒュッタン (Lapphyttan) で中世の製鉄遺跡の大規模な発掘調査が行われた。

その結果Lapphyttanは高炉、Norberg地方の鉄鉱石を用い、鉱石と木炭倉庫、鉄鉱石の焙焼炉、八基の精錬炉床、鍛造工場、鍛冶屋、住居、製品倉庫等を有する大規模な製鉄所であった事が明らかとなった^{2, 8)} (Fig.9)。

高炉は残された遺構、構造物から水車により駆動される轆を備えた木壁式高炉でシャフト高は約3m、直径は約1mと推定される。廃棄スラッグ中に混じっている木炭のC¹⁴測定結果はこの高炉が1150-1225年のある時期に操業を開始し、1325-1400年に吹き止めされた事を示唆し、サーモルミネセンス法による炉床部の砂岩レンガの年代測定によるとこの高炉は1300年代末期に吹き止めされた。

廃棄されたスラッグ、鉄鉱石の分析はNorberg地域の山鉄石を使用したものであることが明らかにされた。また八基の精錬炉床の存在はこの製鉄所が8人で運営された事を物語っている。

ここにそれまでの吹錬炉とは異なり、

Fig.9 Lapphyttan 一貫製鉄所の復元想像図²⁸⁾

- (1) 山鉱石を用い、
 - (2) 焙焼炉による鉱石の予備処理を行い、
 - (3) 水車駆動の轆を備え長時間操業を行ない、
 - (4) 溶融銑鉄を製造し、
 - (5) それを炉床精錬法（人力送風）で可鍛鉄に精錬する
- 今日の製銑製鋼法の基本パターンである間接製鉄法が誕生した。

約200年の稼働後この高炉が休止された理由は明らかでないが、恐らくは周辺の木炭資源の枯渇か、1350年頃スウェーデンで大流行したペストによる人口急減によるものであろう。調査後この遺跡は再度埋め戻された。

1982-83年にかけてサックスヒュッタン (Saxhyttan) で Lapphyttan 高炉の原寸大復元炉を用いて銑鉄製造が行われた。しかし残念ながら数日間の連続操業で銑鉄を製造することは出来なかった。中世の高炉操業法にはまだまだ隠された秘密が多いようである¹¹⁾。

Lapphyttan 遺跡はドイツ、ウェストファーレン (Westfalen) のユーバッハ (Jubach) で発見されたものと並んで北ヨーロッパ最古の高炉遺跡と考えられている。

本稿では、スウェーデン製鉄史概論第1回目として鉄器時代から高炉の誕生までを解説した。次回は13-17世紀の製鉄技術の発展について解説したい。

用語解説1 鍛造法 (Forge) または炉床精錬法 (Hearth Process)

間接製鋼法の時代に入ると銑鉄の炭素を低減する必要がある。ベッセマー転炉の発明までこの工程は主に酸化鉄を敷詰めた炉床で木炭を燃焼させ銑鉄を溶かし、脱炭させる所謂鉱石脱炭法が採用された。製品は海綿状の純鉄でスラグを多量に含有していた。詳細は技術編に述べるが、今日の製鋼と圧延に当たるこの脱炭精錬工程＋スラグ搾出と熱間成型加工を総称して「鍛造工程：Forge」と呼んだ。本稿ではこれを鍛造法または炉床精錬法と呼ぶ。

用語解説2 焙焼法 (Roasting)

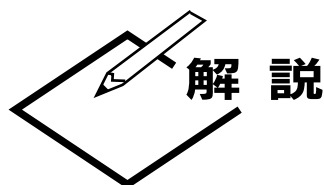
山鉱石は組織が稠密で硬く還元されにくかった。しかしある時からこれを事前に木材、木炭を用いて地中のピットで約一日間焙焼すると鉱石が微細に破碎されると共に組織が粗になる事が判明し、広く用いられた。水酸化鉄 (Limonite) 鉱石や湖中で風化した塊状鉱石の脱水、乾燥にも用いられた。後に鉱石中の硫黄を除去する酸化焙焼も兼ねるようになった。

参考文献 (3回連載分通し番号で記載します)

- 1) Forsmark och Vallonjärnet, Forsmarks Kraftgrupp AB, (1987), cover, 7, 8, 20, 100, 194, 227.
- 2) Hans Furuhausen : Mercurius och Vulcanus, Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie 32, (1997), 10,

- 16, 17, 19, 25, 28-30, 38, 41, 44, 57, 69-71, 72, 90, 91, 99, 105, 113, 131, 193.
- 3) G.E.Sandström : History of Tunneling, 31.
- 4) クリステアース・エリュエール : ケルト人, 創元社, (1994), 162.
- 5) Ellen Hoigård Hefseth : Brochure, Historisk Museum. Oslo, (2002), 58, 59.
- 6) Boken om Bergslagen, Förlaget Rubicon, (1988), 50-57, 102-108.
- 7) Brochure, Historisk Museum. Oslo, (2002)
- 8) Iron & Steel. Vol.3, Jernkontoret 250 years Conference Proceedings, (1997), 17, 22, 23, 39, 42, 70, 80, 102.
- 9) レジス・ボワイエ : パイキングの暮らしと文化, 白水社, (2001)
- 10) Grosser Atlas zur Weltgeschichte, Georg Westermann Verlag, (1976), 75, 87.
- 11) Nils Björkenstam : Saxhyttans Nya Masugn, Grythyttan. En antologi Del.2., (1985), 237-249.
- 12) Erik Sköld : Järn vid Helleforsverken under 200 År, (1991), 7.
- 13) National Geographic Atlas of World History, National Geographic Society, (1997), 197.
- 14) Birger Steckzen : Bofors Historia, AB Bofors, (1946), 17.
- 15) Karl-Gustav Hildebrand : Swedish Iron in the 17th & 18th Centuries, Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie 29, (1992), 11-12, 51, 66-67, 97-98, 145.
- 16) Ernst Ture Ström : Hyttebruket i Grythyttan, Grythyttan. En antologi Del.1., (1985), 162-176.
- 17) Carl Peter Thunberg : Resa Ut i Europa, Africa, Asia 1770-79, Tredje Delen. Resan til och uti kejsaredoomet Japan, 1775-76, Upsala. (1791), 316, 342.
- 18) シルビア・ジョンソン : 世界を変えた野菜読本, 晶文社, (1999)
- 19) Arthur Attman : Svenskt Järn och Stål 1800-1914, Jernkontorets Bergshistoriska Skriftserie 21, (1986), 10, 38, 54, 55, 57, 60, 67.
- 20) Sveriges Jernhantering 1936, Jernkontorets Annaler., 121 (1937), 735-744.
- 21) Sveriges Järnvägar hundra år. 1856-1956, Kungl. Järnvägsstyrelsen, Stockholm, (1956), 47-49.
- 22) Bergslagernas Järnvägar 1879-1979, Bergslagernas Järnvägssällskap, (1979), 30. 他
- 23) Ett Svenskt Jernverk. Sandviken 1862-1937, Armqvist & Wiksells Boktryckeri AB, Uppsala, (1937), 32-35, 106, 400.
- 24) Transformation. Sandvik 1862-1987, Sandvik AB, (1987)
- 25) Henry Dyer : Dai Nippon, Blackie & Son. London, (1905), 158.
- 26) Bert Olls : Brand Smeder och Gamla Bruk, Ekelids Förlag, (1996), 10. 他
- 27) Lars Paulsson : Gruvan : Lärarhandling, Tekniska Museet, Stockholm, (1999)
- 28) kulturminnen och kulturmiljövård, Sveriges Nationalatlas, (1994), 57.
- 29) Personal Information.

(2003年1月17日受付)



実用鉄基多元系合金における状態図計算の最前線

Forefront of Phase Diagram Calculations in Practical Multicomponent Fe-based Alloys

山下孝子 川崎製鉄(株) 技術研究所* 主任研究員
Takako Yamashita

1 緒言

合金状態図は、材料開発において指標となる地図のような役割を果たし、多くの材料の開発に不可欠である。鉄基合金の状態図も、1897年に発表された炭素鋼の基礎であるRoberts-AustinのFe-C2元系状態図¹⁾から始まり、様々な合金元素を含む系に対して実験的に求められてきた。いわゆる「実験状態図」の全盛期である。しかし、20世紀後半に入ってから各材料の設計技術の進歩により合金元素の複合添加による多元系化が急激に進み、実験状態図が材料開発を先導する地図の役割を果たさなくなった。

それに対して、実験データに基づき熱力学的解析によって相平衡を計算し、実験値の不足を補充しながら多元系合金の状態図を能率よく作成する「計算状態図」の利用が急速に進展した。計算状態図は1960年代後半から初歩的な試みが開始されていたが、1970年以降のコンピュータの飛躍的な計算処理能力向上により急速に進展した。1973年には米国のL.Kaufmanらによって国際的な研究グループCALPHAD (Computer Calculation of Phase Diagram)²⁾が結成され、計算状態図に関する状態図解析方法をCALPHAD法と呼び、CAD (計算機支援)の系列に属する手法として発展した。ここでは、多くの研究者の地道な努力によりソフトウェアと種々の成分系の熱力学パラメータが整備され³⁾、現在では、実用材料開発においては計算状態図が主流となっている。

近年の鉄鋼材料特性への要求内容は非常に多様化しており、1990年頃から鉄鋼各社に熱力学平衡計算ツールが導入された。材料開発の効率化にも合致することと相まって、今後、ますます、「計算状態図」は利用価値が高まると考えられる。ここでは、鉄鋼材料開発における計算状態図の利点および市販されている熱力学平衡計算ツールの概要を解説する

とともに、鉄鋼へのB添加の適用例をあげ、状態図計算の現状を述べる。

2 市販熱力学平衡計算ツールの特徴

熱力学平衡計算は非常に古くから行われているが、ここで対象とするのはCALPHAD法に立脚した計算熱力学である。熱力学的平衡状態を計算するためには、Gibbs自由エネルギーを熱力学モデルすなわち関数式で表すことが必要であり、ある関数式で記述されたGibbs自由エネルギーなど熱力学諸量を収録したものを熱力学データベースという。熱力学モデルおよびデータベースの種類の詳細は参考文献に委ねる³⁾が、これらは熱力学データベース、平衡計算機能、および作図機能を合わせたトータルシステムとして市販されている。これらのトータルシステムを熱力学データベースと呼ぶことも多い。特に、鉄鋼材料開発においては、合金系の計算状態図作成トータルシステムであるThermo-Calc⁴⁾や、化学平衡計算プログラムのSOLGASMIX⁵⁾をベースとしたChemSage⁶⁾、F*A*C*T⁷⁾ (以下、FACTと記す)といったツールが盛んに利用されている。

鉄鋼材料に関連した成分系の熱力学データの構築については、CALPHAD発足当初から盛んに行われている。特に、Hillert-Staffanssonの副格子モデル⁸⁾の開発により、C,Nといった侵入型元素の取り扱いが可能になったことを契機に、Fe-C-X系の熱力学パラメータの評価が精力的に行われた。これらは主として、後述のSGTE Solution databaseに収録されている。

平衡計算ツールとしては、Thermo-Calcはスウェーデン王立工科大学物理冶金学科で開発されたソフトウェアで、鉄基合金の熱力学平衡計算を出発点としており、使用できる熱

*現 JFE スチール (株) スチール研究所

力学パラメータは、副格子モデルあるいはそれを基本としたモデルに特化している。副格子モデルの記述例として、炭窒化合物 (A, B) (C, N) の自由エネルギーを (1) 式に示す。

$$G = G_{AC}^0 \cdot y_A y_C + G_{BC}^0 \cdot y_B y_C + G_{AN}^0 \cdot y_A y_N + G_{BN}^0 \cdot y_B y_N \\ + 1/2 RT (y_A \ln y_A + y_B \ln y_B + y_C \ln y_C + y_N \ln y_N) \\ + 1/2 (\Omega_{AB}^C \cdot y_C + \Omega_{AB}^N \cdot y_N) y_A y_B \\ + 1/2 (\Omega_{CN}^A \cdot y_A + \Omega_{CN}^B \cdot y_B) y_C y_N \dots\dots\dots (1)$$

すなわち副格子モデルは (2) 式に示す正則溶体モデルを基本としており、異種質元素間の相互作用パラメータ Ω_{AB} (A-B2 元系の場合) を評価することによって熱力学パラメータを構築するものである。

$$G = X_A G_A^0 + X_B G_B^0 + RT (X_A \ln X_A + X_B \ln X_B) \dots\dots\dots (2) \\ + \Omega_{AB} X_A X_B$$

相互作用パラメータ Ω は、Thermo-Calc では Redlich-Kister の多項式を用いて、温度と組成の関数で記述されている。

ここで、通常の鉄鋼材料では、合金元素の添加量が小さいために、相互作用パラメータが全成分系で揃っていない場合も多い。例えば、Fe-C-X₁-X₂ では、前述のように Fe-C-X₁, Fe-C-X₂ の 3 元系パラメータは評価されているとすると、X₁-X₂ の 2 元系パラメータが未評価であっても、X₁, X₂ の添加量が小さければ $\Omega_{X_1 X_2}$ をゼロと仮定することができ、Fe-C-X₁-X₂ の平衡計算が可能である。すなわち、文献に記載されている多元系実験状態図が非常に乏しい現状では、多元系への拡張が計算状態図の最大の利点であり、鉄鋼のみならず様々な材料開発への平衡計算の利用を加速している。また、熱力学モデルが統一されていることは、このような熱力学パラメータの多元系への拡張を容易にする。

一方で、硫黄など副格子モデルで記述しにくい元素は市販のデータベースに含まれないという欠点もある。また、Thermo-Calc にはスラグ系の平衡計算用にイオン性副格子モデルで構築された ION データベースや、Kapoor-Frohberg-Gaye モデルを用いたデータベース (IRSID) が用意されているが、これらのモデルは実用成分系のスラグの平衡計

算には適用できない。

それに対して、化学平衡計算に定評のある G.Eriksson の開発した SOLGASMIX を母体とした Chem-Sage は、複数の熱力学モデルを使用することができるという特徴を持つ。すなわち、多元系のスラグの熱力学モデルに準化学モデルなどを適用することが可能である。それには、多くのモデルに対応できる平衡計算ロジックの工夫が必要になるが、Thermo-Calc では Newton-Raphson 法を用いているのに対して、Chem-Sage では Lagrange 未定乗数法をベースとした計算ロジックを使用して、多くの熱力学モデルに対応可能である。さらに、2001 年には Chem-Sage と FACT が合体した Fact-Sage⁹⁾ も販売開始された。Fact-Sage は FACT のすべての機能を継続し、かつ平衡計算関連モジュールにおいて Chem-Sage のロジックを受け継いでおり、トータルシステムとして完成されたツールになっている。また、酸化物融体の熱力学データベースとして著名な FACT のデータベースを使用することも有効である。

以上の熱力学平衡計算ツール、および各々のツールで使用できる熱力学データベースの一例を図 1 に示す。ここで、SGTE Solution database (SSOL) は合金溶体系について最も信頼性の高い熱力学データベースである。前述のように、FACT の熱力学データベースは Fact-Sage でのみ使用可能であり、析出・相変態などの様々な現象において信頼性の高い計算結果を得るには、図 2 に示したように計算ツールおよび熱力学データベースを使い分ける必要がある。

3 鉄鋼材料開発への熱力学平衡計算の適用例

一方で、計算に必要な熱力学パラメータがすべて揃っていないとしても、市販のツールによる平衡計算を実材料の評価に適用するには次のような問題がある。

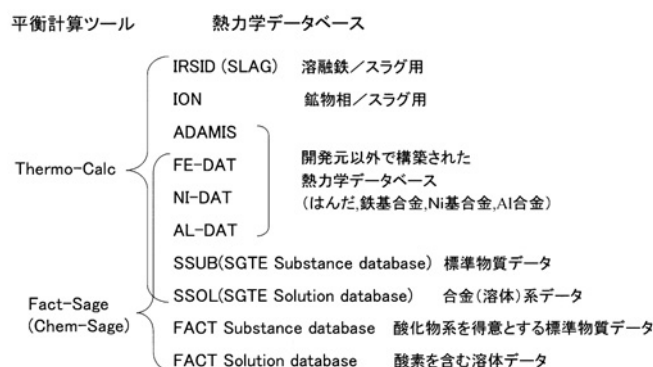


図1 市販されている主な熱力学平衡計算ツールと使用可能な熱力学データベース

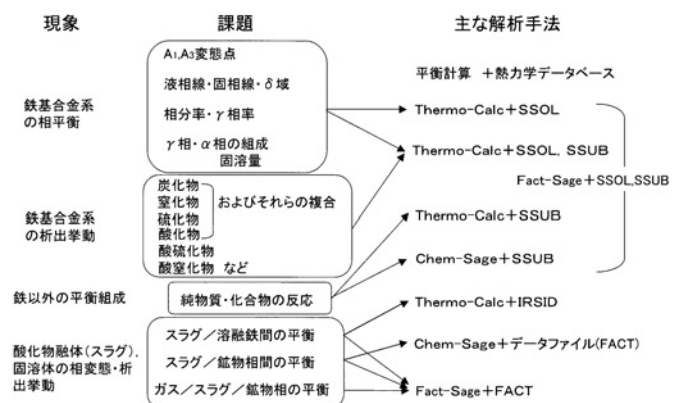


図2 計算の課題と使用する平衡計算手法および熱力学データベースの一例

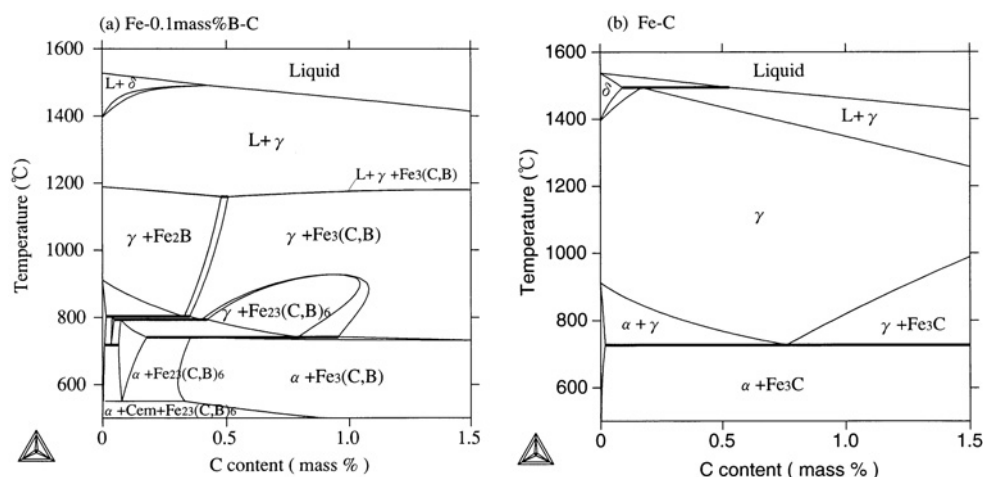


図3 Fe-0.1mass%B-C3元系、Fe-C2元系計算状態図

- (1) 鉄鋼材料の多くが連続冷却過程を経るために、凝固段階から非平衡状態である場合が多く、速度論の考察が必要である。
- (2) さらに加工工程を経たものは、上記の事柄に加えて歪みの影響を考慮する必要がある。

変態あるいは析出の駆動力は、化学ポテンシャルの差すなわち自由エネルギーにより導けるものであるため、化学的な駆動力を求めるのに熱力学平衡計算の利用が可能である。しかし、成長や核生成については別途考慮しなければならず、これまでに拡散律速で成長を取り扱ったものや古典的核生成理論を中心とした計算手法が多く研究され¹⁰⁾、新たな手法としてPhase-Field法やモンテカルロ法などの適用が検討されているものの¹¹⁾、これらは実材料を広く取り扱える段階にはない。

しかし、熱力学平衡計算でも次に紹介するような使い方をすれば、研究開発を行う上で多くの指標を得ることができる。そこで、Thermo-Calcを用いた熱力学平衡計算を、B添加による鉄鋼材料の新規用途開発に適用した例^{12,13)}を示す。

3.1 Fe-B-C3元系計算状態図

鉄鋼材料に微量のBを添加すると焼き入れ性が向上し、炭素鋼にBを添加した場合には、ホウ炭化物が粒界に生成し組織に影響を及ぼすことは古くから知られている。しかし、Bがすべての炭化物を熱力学的に安定にすることについては、さほど注目されていない。それは、Fe-B-C3元系状態図は実験状態図集には限られた断面しか掲載されていないことが原因である。Ohtaniらが構築したFe-B-C3元系パラメータ¹⁴⁾を用いて状態図を計算すると、図3のようになる。Fe-0.1mass%B-C状態図では、同時に示したFe-C2元系に比べて共析点が低炭素側に移動し、 γ +セメンタイト領域も広

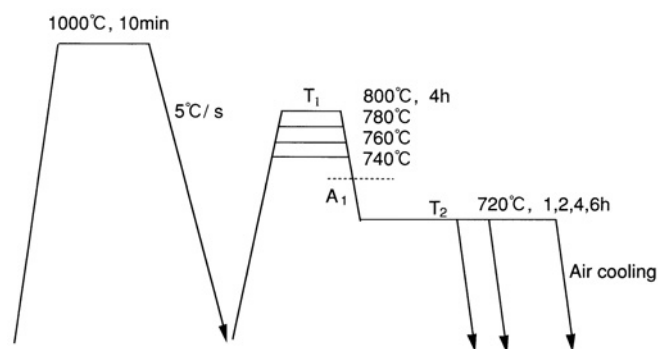


図4 球状化焼き鈍し焼鈍の熱処理条件

がり γ 単相領域が全くなくなる。従って、例えば0.8 mass% Cの共析鋼組成では、Bを40massppm添加しただけでセメンタイトが晶出するようになる。そこで、B添加により共析鋼組成で晶出するセメンタイトに注目し、共析鋼の球状化焼鈍 (Spheroidizing Annealing: 以下SAと略す) への影響を調査した。

3.2 実験方法

用いた試料は、Fe-0.8mass% CにBを0, 0.01mass%, 0.1mass%添加したもので、それぞれ0%B, 0.01%B, 0.1%Bと表す。これらは、真空溶解後1100°C, 30minで加熱、熱延で5mm厚のシートバーにして、図4の熱処理を行った。まず、初期組織を揃えるために1000°C, 10minの溶体化からの冷却でパーライト組織とし、Fe-C2元系のA₁変態点723°Cより高温 ($T_1=740\sim 800^\circ\text{C}$) で4h保持後、A₁変態点直下の720°C (T_2 温度) まで5°C/minで冷却し、所定時間保持後に空冷した。

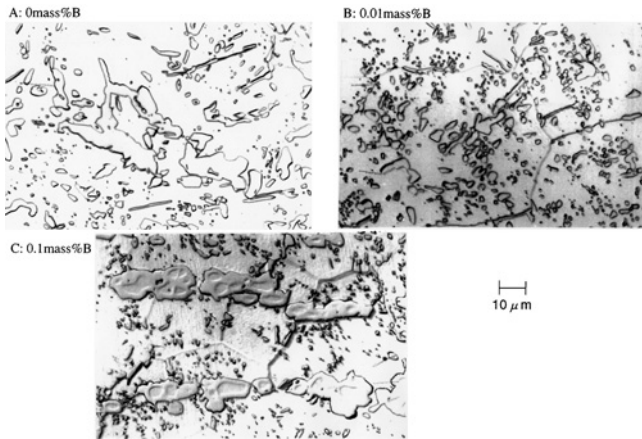
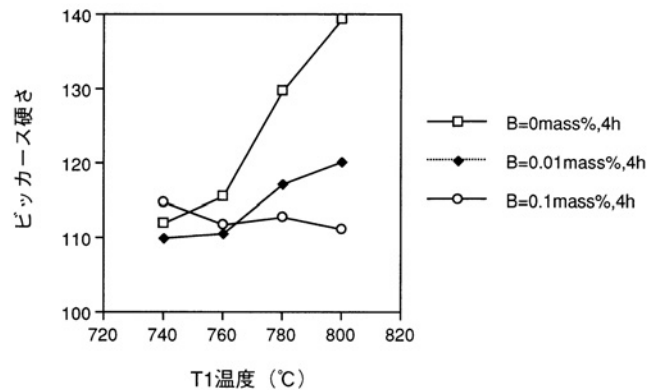
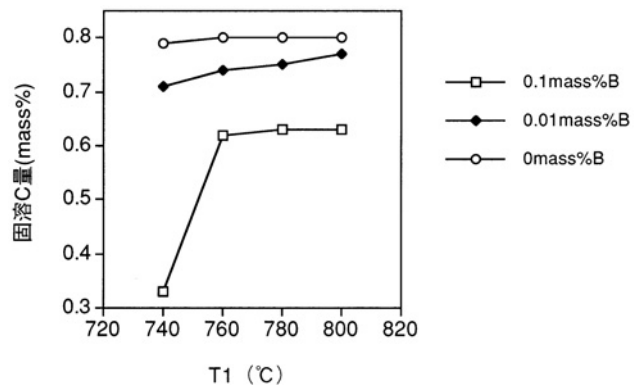


図5 球状化焼き鈍し焼鈍後L断面組織のB添加量による変化

3.3 共析鋼の球状化挙動に及ぼすBの影響

用いた3種の鋼のSA処理後の組織の代表例として、 T_1 温度=740℃、 T_2 温度=720℃、4h後のL断面光学顕微鏡組織を図5に示す。図より、0.01%Bの球状セメンタイトは、Bを添加しないものに比べて微細で個数も多くなる。また、0.1%Bは微細なセメンタイトとともに粗大なセメンタイトが生成し、しかもそれらの粗大析出物は内殻を有する二重構造であることがわかった。これらは、凝固偏析によりBを多く含んだ晶出セメンタイトを核として T_2 温度で析出したセメンタイトである¹²⁾。

次に、図6に T_2 処理時間4h後の硬さと T_1 温度との関係を示す。ここで、0%B、0.01%Bは T_1 温度の上昇とともに硬さが上昇しているが、その傾向はB添加により抑制される。さらに、0.1%Bについてはむしろ軟化しており、これらの硬度変化はB添加により共析反応が促進されたためと推察される。図7にこれらのSA条件における、 γ 相中の固溶C量を計算した結果を示すが、0%Bの場合、 T_1 温度での固溶C量はほとんど0.8mass%である。それにもかかわらず、図6で硬度が変化するのは明らかに未固溶セメンタイトの影響であり、 T_1 温度が高いと固溶C量が増え、冷却時に微細パーライトが生成するため硬度が上昇する。それに対して、0.01%Bはいずれの温度でも固溶C量が減少し、析出するセメンタイト量が増える。すなわち、 T_2 温度における球状セメンタイト析出核が増加し、共析反応が促進し短時間で球状化が達成される。従って、B添加により球状化の T_1 温度に対する感受性を抑え、球状化条件の温度範囲を広げる。これらはB添加量が多いほど顕著であるが、Bが炭化物を熱力学的に安定にして固溶C量を低減するという効果は、熱力学的観点からのBの新用途を示すものであり、今回紹介したSAプロセスへの活用のみならず、様々な炭素鋼への展開が期待される。


 図6 球状化焼鈍後の硬さへの T_1 温度の影響

 図7 球状化焼鈍 T_1 温度における γ 相中固溶C量のThermo-Calc計算結果

また、固溶C量は現状は分析することが困難であるため、熱力学平衡計算で推定することが非常に有効である。

4 市販熱力学平衡計算ツールの問題点と今後の動向

以上のように、計算状態図あるいは熱力学平衡計算の活用は新たなシーズ発掘においても有効であるが、これらは計算結果が正しいという前提のもとに成り立つ。それには、多元系の熱力学パラメータの構築が必要であるが、前述のように、「計算状態図」が1973年のCALPHAD発足以来の非常に新しい分野であることを考えれば、また、状態図研究者の努力により、近い将来には、安心して多元系の計算ができる時代がくると思われる。しかしながら、たとえ熱力学パラメータが構築されたとしても、計算状態図を利用するためには克服しなければならない“壁”があることも事実であり、簡単な例を挙げて説明する。

筆者が社内で熱力学平衡計算ツールの講習会を行う時に必ず使う例題がある。それは『Fe-Cr2元系状態図を作図せよ』である。Fe-Cr2元系状態図は、実験状態図も完成している

系であるが、特にThermo-Calcの計算方法が理解できて非常によい例題である。Thermo-Calcで計算する場合、Fe-Cr2元系のパラメータをデータベースから検索してきた後、何もしないで計算を開始するとエラーになり状態図は得られない。ここで、利用者は以下の2点を克服しなければ正解には到達しない。

まず、Fe-Cr2元系においてBCC相が2相分離するということをプログラムで指示する必要がある。次に、図8に示すように σ 相周辺・ γ ループ周辺・液相線周辺のそれぞれを計算しなければならない。つまり、Thermo-Calcでは、指定したX,Y軸の範囲を一筆書きのように境界線を辿りながら計算を進行させるので、状態図上で境界線が繋がっていない場合は、そこで計算は終了してしまう。すなわち、わかっていないと計算状態図が完成できないということになる。これらは現状のThermo-Calcの特徴であり欠点であるが、この2点は根本的に性質が異なる。すなわち、前者は利用者の知識の問題であり、後者は計算ロジックの問題である。計算ロジックの問題は、開発者によって改善される必要があり、アップグレードにより少しずつではあるが改善されつつある。

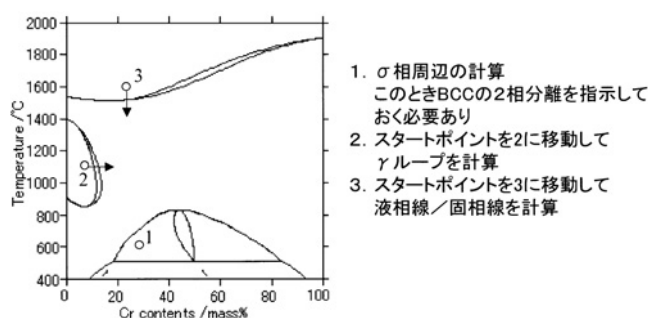


図8 Thermo-CalcによるFe-Cr2元系状態図の計算方法

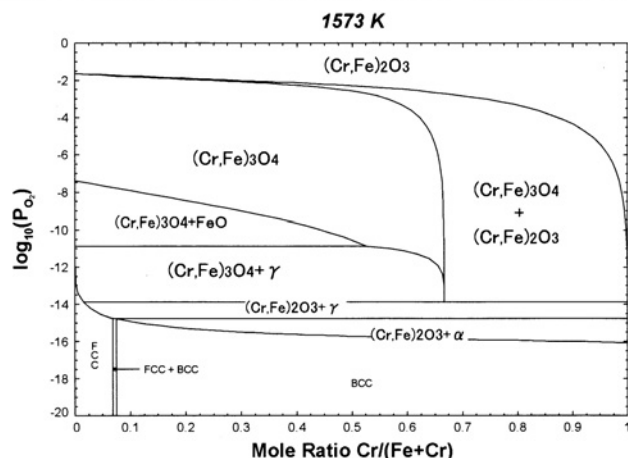
これらの問題については、2002年にアップグレードしたFact-Sage (Ver. 5.1) では、2相分離の指定は必要なものの、全領域の計算を一気にできるようなロジックになっている。さらには、FACTデータベースの利用により、図9に示したような酸化物・硫化物を含む状態図¹⁵⁾が計算可能なことが、Fact-Sageの大きな特徴であろう。すなわち、図2に示したように、Fact-Sageは多くの熱力学データベースが使用可能であるので、合金・酸化物・スラグと様々な系の計算を1つのシステムで行いたい場合は、Fact-Sageは最適なツールと考えられる。しかし、Fact-Sageは化学平衡計算であるので、材料研究者はやはりThermo-Calcを駆使する方がよいと思われる。例えば、2003年初年にリリース予定のThermo-Calcの新規バージョンでは、パラ平衡の計算が行えるコマンドも用意されるので、さらに材料開発に立脚した熱力学平衡計算ができるようになると思われる。

5 結言

熱力学平衡計算を用いれば析出挙動や添加元素による変態点の変動をあらかじめ予測でき、シーズ発掘を含む材料開発を効率的に行うことができることを述べた。さらに、使い方を工夫することによって、パーライト変態速度なども予測可能である¹⁶⁾。

一方で、前述のように、特に相変態挙動においては熱力学で与えられる情報には限界があり、速度論的な解析手法を併用する必要があると考えられる。速度論的手法としては、多くの現象を一般化して取り扱えるDICTRA¹⁷⁾という画期的な拡散律速変態解析手法が市販されている。これは、界面の異動しない脱炭挙動の解析は可能であるが¹⁸⁾、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態挙動を計算しても実験値とは一致しないのが現状である。こ

a) Fe-Cr合金の酸化挙動(1300°CのCr/P(O₂)状態図)



b) 50mole%Cr-Fe合金の1000°Cにおける酸化・硫化挙動

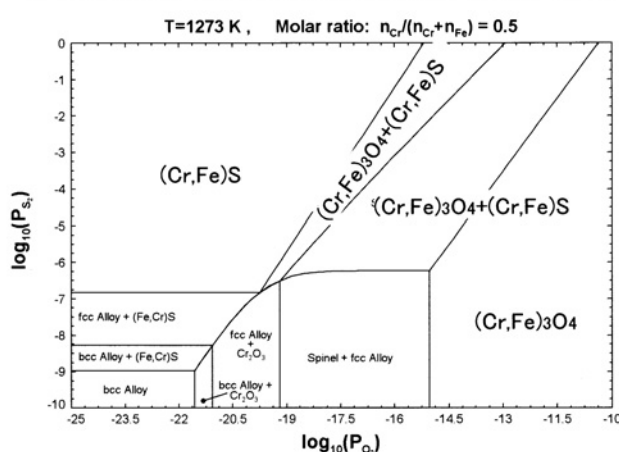


図9 Fact-Sageによる酸化物、硫化物を含むFe-Cr合金計算状態図

の原因としては核生成が考慮されていないことや、結晶粒の形態に関する考慮が適切でない、あるいは合金元素による変態の遅延が拡散係数への影響のみではないなど、さまざまな理由が考えられる。

従って、計算機による実用鋼の材料設計・評価の現状は、市販ソフトによる熱力学データおよび計算手法は急速に充実してきているものの、それらを実用材料へ適用するには、速度論的概念をいかに取り入れるかが今後の大きな課題になると考えられる。しかし、熱力学的に平衡である状態を知ることが研究開発において有効であることは明らかである。さらに、繰り返しになるが、計算状態図が実用的に使われ始めたのが1990年代に入ってからであることを考慮すれば、まだその歴史は浅く、今後の発展に多に期待したい。

参考文献

- 1) A. Sauveur : Metallography and Heat Treatment of Iron and Steel, 2nd Ed., McGraw Hill, (1935), 461.
- 2) L. Kaufman and H. Bernstein : Computer Calculation of Phase Diagram, Applied Science Publishers, New York, (1970)
- 3) たとえば、日本金属学会セミナーテキスト 材料開発・設計における状態図の基礎と応用, (1994)
- 4) B. Jansson, M. Schalin, M. Selleby and B. Sundman : The Mat.Soc. of CIM, Quebec, (1993), 57.
- 5) G.Eriksson : Chem. Scr., 4 (1973), 193.
- 6) G. Eriksson and K. Hack:Metall. Trans. B, 21B (1990), 1013.
- 7) A. D. Pelton : High Temp. Sci., 26 (1988-1989), 231.
- 8) M. Hillert and L. I. Staffansson : Acta. Chem. Scand., 24 (1970), 3618.
- 9) C. W. Bale, P. Chartrand, S. A. Degterov, G. Eriksson, K. Hack, R. Ben Mahfoud, J. Melancon, A. D. Pelton and S. Petersen : Calphad, 26 (2002) 2, 189.
- 10) 例えば、第131, 132回西山記念講座 鉄鋼材料の材質予測・制御技術の将来と現状, 日本鉄鋼協会, (1989)
- 11) 材料の組織と特性部会, 計算機支援による組織制御研究会 最終報告書, 日本鉄鋼協会, (2001)
- 12) 山下孝子, 松崎明博, 高城重彰, 長谷部光弘 : 日本金属学会誌, 63 (1999), 708.
- 13) 山下孝子, 松崎明博, 高城重彰 : 鉄と鋼, 85 (1999), 486.
- 14) H. Ohtani, M Hasebe, K. Ishida and T. Nishizawa : Trans, ISIJ, 28 (1988), 1043.
- 15) Fact-Sage ユーザーズミーティング2002資料, (2002)
- 16) 山下孝子, 成谷哲, 齊藤良行 : 鉄と鋼, 86 (2000), 458.
- 17) John Ågren : ISIJ Int., 32 (1992), 291.
- 18) 山下孝子, 登坂章男, 荒谷昌利, 成谷哲 : 鉄と鋼, 85 (1999), 821.

(2003年1月9日受付)

ブックレビュー

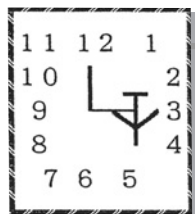
チタンの小事典

2002年10月 社団法人日本チタン協会発行(Tel.03-3295-5958)
B6判 224頁 定価 チタン協会会員2,000円、非会員3,000円(消費税、送料別)

日本でチタンの研究開発に着手されたのは1949年で、その後間もない1952年にわが国のチタン産業を育てるための団体としてチタニウム懇話会との名前で発足した日本チタン協会が、創立50周年記念事業の一環として本チタン小事典を刊行した。

見出しはチタン専門用語、金属学用語、物理・化学用語、機械用語、あるいは、業界用語や用途そのものであったりして、事典としては若干奇異な感じがする。しかし、それだけに技術者のみならず様々な立場でチタンに興味のある人、基礎知識を必要とする人がちょっと調べたいと思ったことを、一般論や歴史なども交えて知ることができる。付録には、原料や主要な展伸材の製造工程、実用化されている各種チタン材料の特性一覧、他材料との比較なども掲載されている。さらに、見出しに英語も併記されているため、欧米との繋がりも多いチタン関係者には便利である。事典という体裁上見出しはあいいうえお順であるが、編集次第では簡便なチタンの入門書とも言える内容である。サイズのポケットには行かないだろうが、カバンの中ならちょうどよい一冊である。

((株)神戸製鋼所 鉄鋼部門チタン本部 チタン技術部チタン技術室 大山 英人)



ちょっとお茶にしませんか

第5話

鉄好人海外行

フライトさまざま Attention Please

山本誠志

Masashi Yamamoto

日科情報株式会社 (元) 住友金属工業 (株)

■待ち構えていたかのように後部席で拍手が起こりました。飛行機の車輪が滑走路に接地したのです。拍手はやはり、どこかの国のインターナショナルスクールの生徒達でした。かれらの団体旅行とよくであります。どのフライトでも着陸のときに拍手をします。誰に拍手しているのでしょうか。機長、自分達、あるいは神様に？。かれらも個人旅行のときはしません。学校の慣習なのでしょう。いいじゃないですか。感謝の気持ちの表現かも知れません。

■おしゃべりをする人、アルコールを飲む人もなく、行儀の良いことこの上ない団体と乗り合わせたことがありました。恐る恐る尋ねてみました。「どういふご旅行ですか？」と。「巡礼に行く途中です。公共の場では、おしゃべりを慎むよう日頃から教をうけています」とのことでした。窮屈そうな感じではなく、自然体の感じをうけました。

■こりゃ、どうなっているんだというフライトに乗り合わせたこともあります。持込み手荷物を入れる座席上の棚が全て占拠されており、後で来た多くの人が自分の手荷物の納めどころに途方にくれたのです。クルーの人が預かって収まりました。収納棚を占拠したのは、真っ先に搭乗した団体でした。まず搭乗手続きのときに目一杯預け、さらに、持込み手荷物として目一杯持ち込んだそうです。そこら中の棚が占拠されるはず。そういえば、搭乗時間のかかなり前から並び、我先にとかけ込むのを思い出しました。搭乗直前に持込み手荷物の追加料金をとられている人もいました。

いろんな人に、いろんな状況があるのでしょうか。その人達には当たり前のことなのでしょう。こんな経験をできるのも「海外行」のおもしろいところです。

■パリからリスボンへのフライト。途中でトイレにたちました。クルーの人が使用中とのことで、待たされました。用をたして出てきたとき、操縦室をのぞいてみないかとクルーに誘われました。わたしには初めての経験です。喜んでつい

ていきました。ちょうど、フランスとスペインの国境の上だと教えてくれました。赤道と一緒に「線」は見当たりませんでした。当たり前のことですが、なぜかにかを期待しませんか。操縦計器の説明もしてくれました。びっくりしたことがあります。わたしのことを「ミスターヤマモト」と呼ぶのです。搭乗者名簿で調べたのでしょうか。そのフライトには、東洋人／とりわけ日本人はわたし一人だったようです。機体は中型機で、中央の通路を通して操縦室への出入りが確認できます。座席に戻ると、隣席の酔いどれムッシュが俺も操縦室を見たいと言いつきました。クルーは一言「ミスターヤマモトは酒を飲んでないからOK。あなたは酔っぱらっているからダメだ」と。これで一件落着。おもしろい。

■今回のフライトではセニョールが隣の席に。実に陽気なもので、ドリンクサービスが始まるや、さっそくオーダー。隣のわたしにも勧めるが「疲れているから眠らしてくれ」と、しばし微睡む。そのセニョール、追加オーダーのたびに「お前もどうだ？」と起こしてくれる。たぶん飲み相手が欲しかったのでしょう。こんな状況にも眠りこけたわたしは余程疲れていたのですね。着陸サインで起こされたときも、まだ飲んでいました。相当のドリンカーなのでしょう。付きあわなくてよかったようです。

■北極回りの夜間飛行で、トイレにたちました。窓側の席の人が窓に顔をくっつけて外をみています。真夜中で外は何も見えないはずなのに。前も後ろも、同じ姿勢なのです。用を済ませ、外をみてびっくりしました。ちょうど、北極海の上を飛んでおり、下には流水が見えているのです。その青と白のコントラストはいまも覚えています。知る人ぞ見るという感じでみんな黙ってみていました。このとき、トイレにたななかったら、この感激を味わうことはなかったでしょう。特別なフライトサービスをうけたような気がしました。団体客が乗り合わせておれば、大騒ぎになっていたかもしれません。

■まいったな、こんなデカイ人の隣なんて。こちらは窓側の席で完全に圧迫されてフライトに耐えなければならないのかと憂鬱になる。さりとて、空席はないし。よくお尻が席に収まったというくらいで、肩・肘、膝は隣まではみ出ています。このときは、短時間のフライトでもあり、耐えることができました。でも、考えさせられました。おとなしい人、我慢強い人が、XX症候群になるのはこんな状況ではないのかと。意を決してときおり席をたって、機内をブラブラすることが必要でしょうね。

したい経験、したくない経験を楽しみましょう。
「Attention, Please.」の言葉とおりに！

会員へのお知らせ目次

行事等予定	324頁
総合案内	
「鉄と鋼」「ISIJ International」投稿規程・執筆要領一部改訂のお知らせ	329頁
日本鉄鋼協会 第13回鉄鋼研究振興助成(含む石原・浅田研究助成)募集案内	329頁
日本鉄鋼協会 第12回鉄鋼研究振興助成の受給者および支給額変更のお知らせ	330頁
評価・分析・解析部会 平成15年度新規発足フォーラムと参加へのご案内	330頁
日本鉄鋼協会事務局人事異動	331頁
インターネットによる講演大会申込受付および原稿提出受付開始のお知らせ	332頁
第146回秋季講演大会 講演募集案内	332頁
第146回秋季講演大会 一般講演募集案内	333頁
第146回秋季講演大会 討論会/予告セッション/国際セッション講演募集案内	334頁
オンラインPDF原稿提出要領	334頁
講演大会参加方法のご案内	336頁
第146回秋季講演大会 学生ポスターセッション発表募集案内	336頁
効果的な講演発表のためのOHP作成方法	337頁
育成委員会 第8回ヤングサイエンティストフォーラム(YSF)	
「材料のサーフェステクノロジーⅡ」開催予告および発表募集のお知らせ	338頁
イベント情報	
第179回西山記念技術講座「製鉄技術の最近の進歩と今後の展開」開催のお知らせ	339頁
平成15年度工学教育連合講演会開催のお知らせ	
「本格化した技術者教育認定制度-JABEE認定プログラムの事例紹介を中心として」	339頁
材料の組織と特性部会 シンポジウム	
「陽電子寿命測定法を用いた構造材料の損傷評価と材料寿命予測法」開催案内	340頁
計測・制御・システム工学部会 シンポジウム「技術伝承に関する研究動向」開催案内	341頁
日本分析化学会・鉄鋼協会 評価・分析・解析部会等 分析信頼性実務者レベル講習会	
第2回セラミックス原料・鉱石類分析技術セミナー開催案内	342頁
評価・分析・解析部会 セミナー「鉄鋼化学分析とグリーンケミストリー」開催案内	342頁
支部	
中国四国支部 宿題テーマシンポジウム支部研究会	343頁
報告事項	
技術部会トピックス 第77回熱延鋼板部会「優秀発表賞」受賞者報告	343頁
2002年度下期技術部会部会大会開催状況	344頁
ブックレビュー	321頁
次号目次案内	345頁
会員欄(入会者・死亡退会者一覧)	346頁

行事等予定

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
2003年5月			
5～7日	Tehran International Conference on Refractories(Iran)	IUST	Iran University of Science & Technology RRG@iust.ac.ir
5～8日	Offshore Technology Conference 03 (U.S.A)	SPE	service@otcnet.org http://www.spe.org/otc2003/index.html
9日	シンポジウム「ステンレス鋼の溶接施工管理の基礎と実際」(大阪)	溶接学会	Tel. 03-3253-0488 Fax. 03-3253-3059
12～14日	材料の組織と特性部会 International Forum for the Properties and Application of IF Steels(IF Steels 2003) (東京 1号52頁)	日本鉄鋼協会	IF Steels事務局 伊藤 Tel. 03-5436-8239 http://www.ifsteels2003.com
12～14日	トライボロジー会議(東京)	日本トライボロジー学会	Tel. 03-3434-3556 jast@tribology.jp
12～15日	○4th European Oxygen Steelmaking Conference (EOSC'03) (Austria)	ASMET	Fax. +43-0-3842/46-8-52 http://www.asmet.at
14日	第52回白石記念講座「資源リサイクルとその課題ー大量消費・大量廃棄型社会からの脱却をめざしてー」(東京 4号257頁)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7012 http://www.isij.or.jp/Event/Event/030379.htm

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
15日	第4回アクティブ・ナノ計測基板技術の確立成果報告会(東京)	物材機構	Tel. 0298-59-2741 activenanosympo@nims.go.jp
15, 16日	Ahoy' Exhibition, Congress & Event Centre(Netherlands)	Informa Australia	http://www.ibcoz.com.au/ukcim1043
16日	第8回分子動力学シンポジウム(東京)	日本材料学会	Tel. 075-761-5321 Fax. 075-761-5325
18~23日	材料の知的製造及び加工に関する国際会議(仙台)	東北大学金属材料研究所	Tel. 022-215-2050 Fax. 022-215-2052
19~21日	第8回日本計算工学会講演会(東京)	日本計算工学会	Tel. 03-3263-6014 jsces@ics-inc.co.jp
19~22日	2003 Conference & Exhibition(Thailand)	SEAISI	Fax.60-3-5519-1159 seaisi@seaisi.org
19~23日	第11回高温材料化学国際会議 High Temperature Materials and Solid State Chemistry(HTMC-XI)(東京)	IUPAC	http://www.q.t.u-tokyo.ac.jp/public/HTMC-XI
19~24日	○ACHEMA 2003(Germany)	DECHEMA	http://www.achema.de/achemaworldwide/wwwmain.htm
20~24日	第1回バイオ・ナノインターフェイス国際会議(東京)	日本学術会議	界面科学技術機構 Tel. 0463-60-3551 icbn@estate.ocn.ne.jp
21日	自動車技術展 人とくるまのテクノロジー展2003(横浜)	自動車技術会	Tel. 03-3262-8214 sumwab@jsae.or.jp
22~24日	表面技術総合展(METEC'03)(東京)	表面技術協会	表面技術総合展連合事務局センター Tel. 03-3252-3286 Fax. 03-3252-3288
23日	中国四国支部 宿題テーマシンポジウム支部研究会(愛媛本号343頁)	中国四国支部	Tel. 082-221-2682 chutetsu@enjoy.ne.jp
23日	第221回塑性加工シンポジウム 素材およびその製造プロセスにおけるリサイクル利用の現状と将来(千葉)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 Fax. 03-5733-3730
23~25日	第34回塑性加工春季講演会(千葉)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 Fax. 03-5733-3730
25~30日	International Conference on Phase Diagram Calculations Computational Thermochemistry(Canada)	CALPHAD	Fax. +1-514-287-1248 http://www.calphad.org/
26, 27日	日本複合材料学会 2003年度研究発表会(東京)	日本複合材料学会	Tel. 03-5814-5801 ntakeda@bcasi.or.jp
26~29日	Metallurgy Russia 2003 / Tube Russia 2003(Russia)	Messe Dusseldorf	http://www.mdna.com
28~30日	第15回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム(金沢)	電気学会	金沢大学 Tel. 076-234-4842 yamada@magstar.ec.t.kanazawa-u.ac.jp
29~31日	ナノ学会創立大会(神戸)	ナノ学会	Tel. 06-6873-2301 o-socie@bcasj.or.jp
2003年6月			
2~5日	第8回日中石炭C1化学シンポジウム(北九州)	日本学術振興会	北九州市立大学 朝見 Tel. 093-695-3284 asami@env.kitakyu-u.ac.jp
4日	計測・制御・システム工学部会 シンポジウム「技術伝承に関する研究動向」(鹿島 申込締切5月26日 本号341頁)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7013
4, 5日	第16回プラズマ材料科学シンポジウム(東京)	日本学術振興会	物材機構 Tel. 0298-51-3354 spsml6@nims.go.jp
5, 6日	第17回超高温材料国際シンポジウム 超高温,超高压とマイクロマシン,マイクロセンサーの世界(宇部)	超高温材料研究所	Tel. 0836-51-7007 Fax. 0836-51-7011
5~8日	3rd International Steel Construction Expo and China International Roll Forming Conference 2003(China)	MC-CCPIT	http://www.constex.com/
6日	第2回西日本トライボロジー基礎講座 トライボロジーのトラブル例とその防止対策(北九州)	日本トライボロジー学会	Tel. 03-3434-1926 Fax. 03-3434-3556
12, 13日	溶接技術基礎講座(東京)	溶接学会	Tel. 03-3253-0488 jws-ms@t3.rim.or.jp
12, 13日	第13回HPI技術セミナー 圧力設備の材料, 設計, 施工, 維持管理(東京)	日本高圧力技術協会	Tel. 03-3255-3486 Fax. 03-3255-3488
12, 13日	第34回トライボロジー入門講座 トライボロジーにおける基礎と新技術(東京)	日本トライボロジー学会	Tel. 03-3434-1926 Fax. 03-3434-3556
14日	平成15年度工学教育連合講演会「本格化した技術者教育認定制度ーJABEE認定プログラムの事例紹介を中心としてー」(東京 本号339頁)	日本鉄鋼協会	日本工学教育協会 川上 http://www.soc.nii.ac.jp/jsee/
16~18日	○METEC Congress 03, 3rd ICSTI 2003, 3rd ERC 2003(Germany)	VDEh	http://www.vdeh.de/metec 03 .htm
17日	材料の組織と特性部会 シンポジウム「陽電子寿命測定法を用いた構造材料の損傷評価と材料寿命予測法」(東京 発表申込締切5月30日 本号340頁)	日本鉄鋼協会	名古屋大学 宮原 Tel. 052-789-5309 miyahara@numse.nagoya-u.ac.jp
18~20日	第44回塗料入門講座(東京)	色材協会	Tel. 03-3443-2811 sky@minos.ocn.ne.jp
20日	第145回塑性加工技術セミナー せん断加工, 切削加工のシミュレーションの現状と展望(東京)	日本塑性加工学会	Tel. 03-3435-8301 Fax. 03-5733-3730

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
24, 25日	第7回超鉄鋼ワークショップ(つくば)	物材機構	Tel. 0298-59-2170 SUWS7@nims.go.jp
25~27日	○2003 Electronic Materials Conference(U.S.A)	TMS	http://www.tms.org/Meetings/Meetings.html
25~27日	第13回環境工学総合シンポジウム2003(川崎)	日本機械学会	Tel. 03-5360-3502 isono@jsme.or.jp
30日	日本鉄鋼協会第13回鉄鋼研究振興助成申請締切	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7011
30, 1日	システム制御情報チュートリアル講座2003(大阪)	システム制御 情報学会	Tel. 075-751-6413 jigyou@iscie.or.jp
2003年7月			
1, 2日	○2nd Specialty Conference on The Conceptual Approach to Structural Design(Italy)	CI-PREMIER PTE LTD	cipremie@singnet.com.sg http://www.cipremier.com
1~3日	溶接工学夏季大学 製造現場で役立つ溶接技術とその新しい展開、 高信頼化、低コスト化を目指して(大阪)	溶接学会	Tel. 03-3253-0488 jws-ms@t3.rim.or.jp
2~4日	第22回電子材料シンポジウム(滋賀)	シンポジウム 運営委員会	豊橋技科大 古川 Tel. 0532-47-3100 furukwa@eee.tut.ac.jp
2~4日	第90回塑性加工工学講座 板材成形の基礎と応用(大阪)	日本塑性 加工学会	Tel. 03-3435-8301 Fax. 03-5733-3730
7~10日	10th International Conference on Pressure Vessel Technology (Austria)	Vienna Univ. of Technology	Fax. 43-1-504-15-88 http://info.tuwien.ac.at/IAA/news/icpvt1.htm
7~11日	THERMEC 2003 International Conference on Processing & Manufacturing of Advanced Materials(Spain)	国際会議組 織委員会	電気通信大 Tel. 0424-43-5404 http://www.fundacion.uc3m.es/thermec/
9日	評価・分析・解析部会 セミナー「鉄鋼化学分析とグリーンケミ ストリー」(東京 本号342頁)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7014
10, 11日	第3回安全工学シンポジウム(東京)	日本学術 会議	安全工学協会 Tel. 045-641-3213 fvgn 7330 @md.infoweb.ne.jp
10, 11日	第23回防錆防食技術発表大会(東京)	日本防錆技 術協会	Tel. 03-3434-0451
12~18日	6 th International Conference on ACID Rock Drainage (Australia)	AusIMM	Fax. +61-3-9662-3662 miriamw@ausimm.com.au
13~18日	○10 th World Conference on Titanium (Ti-2003) (Germany)	DGM	Fax. 49-69-7917-733 (Dr. P. P. Schepp) http://www.ti-2003.dgm.de
14~16日	第30回コロージョン・セミナー(蓼科)	腐食防食協会	Tel. 03-3815-1161 Fax. 03-3815-1291
17, 18日	日本分析化学会・日本鉄鋼協会 評価・分析・解析部会 分析信頼性 実務者レベル講習会 第5回金属分析技術セミナー(東京 4号258頁)	日本鉄鋼協会	日本分析化学会 Tel. 03-3490-3351
17, 18日	第17回海洋工学シンポジウム 海で生きる(東京)	日本造船 学会	東京大学 Tel. 03-5841-6530 suzukih@naoe.t.u-tokyo.ac.jp
23~25日	第22回混相流シンポジウム(大阪)	日本学術振 興会他	日本混相流学会 Tel. 06-6466-1588 Fax. 06-6463-2522
23~25日	日本混相流学会 年会講演会2003(大阪)	日本混相流 学会	大阪大 片岡 Tel. 06-6879-7256 kataoka@mech.osaka-u.ac.jp
26日	社会鉄鋼工学部会 鉄の歴史—その技術と文化フォーラム第5回 公開研究会発表会(東京 4号258頁)	日本鉄鋼協会	千葉工大 寺島 Tel. 047-478-0329 k.terashima@pf.it-chiba.ac.jp
26~1日	第29回鉄鋼工学セミナー(蔵王 3号196頁)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7012 http://www.isij.or.jp/Event/Event/030378.htm
2003年8月			
6日	第10回プラズマエレクトロニクス・サマースクール(名古屋)	応用物理学会	東工大 赤塚 Tel. 03-5734-3057 hakatsuk@nr.titech.ac.jp
24~27日	Conference of Metallurgists, COM 2003(Canada)	CIM	Fax. 514-939-9160 http://www.metsoc.org
27~29日	IABSE Symposium Structures for High-Speed Railway Transportation(Belgium)	IABSE	Fax. +41-1-633-1241 http://www.iabse.ethz.ch/conferences/Antwerp/
27~30日	第43回真空夏季大学(熱海)	日本真空協会	Tel. 03-3431-4395 Fax. 03-3433-5371
2003年9月			
1~5日	Euromat 2003(Switzerland)	SF2M,DGM SVMT	euromat@fems.org http://www.euromat 2003.fems.org/
3~5日	工学・工業教育研究講演会(北海道)	日本工学教育 協会	Tel. 03-5442-1021 kawakami@jsee.or.jp
5日	第14回計測連合シンポジウム 先端計測2003—計る・測る・量る—(静岡)	日本学術会議	横国大 石井 Tel. 045-339-4127 ishii@ynu.ac.jp
8~11日	8 th International Symposium on Advanced Materials (ISAM 2003)(Pakistan)	A. Q. Khan Research Lab.	Fax. 92-578-411460 http://www.krl.com.pk
9~12日	AusIMM 2003 - Risk Management Conference held in conjunction with the Asia Pacific International Mining Exhibition(Australia)	AusIMM	Fax. +61-3-9662-3662 http://www.ausimm.com/

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
10, 11日	第19回分析電子顕微鏡討論会(千葉)	日本顕微鏡学会	東北大学 村上恭和 murakami@tagen.tohoku.ac.jp
15~18日	International Surface Engineering Congress and Exposition (U.S.A.)	ASM	http://assminternational.org/surface
16~19日	Dynamics and Design Conference 2003 長崎から偏西風にのせて(長崎)	日本機械学会	九州大学 近藤孝広 t-kondou@mech.kyushu-u.ac.jp
16~19日	European Metallurgical Conference 2003 (Germany)	GDMB	Fax. 49-5323-937937 http://www.emc.gdmb.de
21~24日	○International Symposium on Liquid Metal Processing and Casting (France)	SF2M	http://perso.wanadoo.fr/sfmm.asso/Liquid_Metal_Processing/Liquid_metal.htm
21~24日	Combustion Canada Conference 2003 (Canada)	Natural Resources Canada	Fax. 613-992-9335 http://www.combustioncanada.ca
24~26日	Archaeometallurgy in Europe (Italy)	AIM	http://www.fast.mi.it/aim/archaeo.htm
28~1日	2003 Iron & Steel Exposition and AISE Annual Convention (U.S.A.)	AISE	Fax. 412-281-4657 http://www.aise.org/conexpo/convexpo.htm

2003年10月

1日	鉄と鋼特集号「革新的高効率混合・分離リアクターの開発」原稿締切(本号255頁)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7013 editol@isij.or.jp
5~10日	4th International symposium on atomic level characterizations for new materials and devices'03 (ALC'03) (U. S. A.)	日本学術振興会	大阪電気通信大 Tel. 072-824-1131
8, 9日	アジア粉末冶金会議2003 Asian Powder Metallurgy Conference 2003 (東京)	粉体粉末冶金協会	Fax. 075-721-3653 funkyo@mbox.kyoto-inet.or.jp
8~13日	○第8回IUMRS先進材料国際会議 International Conference on Advanced Materials(横浜)	日本MRS	Tel.& Fax. 045-339-4305 icam 2003 @ynu.ac.jp
11~13日	第146回秋季講演大会(北海道 本号332頁)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7013
11日	育成委員会 ヤングサイエンティストフォーラム「材料のサーフェステクノロジーⅡ」(北海道 発表申込締切6月13日 本号338頁)	日本鉄鋼協会	長岡技科大 南口 nanko@mech.nagaokaut.ac.jp
12~15日	Application of Computing Technologies and Automation to Improve Productivity in the Metals Industry Symposium (U.S.A)	ISS	Fax. +1-724-776-0430 http://www.iss.org
14~17日	4th International Conference on Electromagnetic Processing of Materials (EPM 2003) (France)	CNRS	Fax. 33(0)155-564145 http://www.epm2003.com
17, 18日	第11回機械材料・材料加工技術講演会(東京)	日本機械学会	武蔵工業大学 湯浅栄二 eyuasa@eng.musashi-tech.ac.jp
19~22日	第8回耐火物統一国際会議○The 8th Unified International Technical Conference on Refractories(UNITECR'03) (大阪)	耐火物技術協会	Tel. 03-3572-0705 Fax. 03-3572-0175 http://www.plando.co.jp/unitecr 2003 /
21~24日	粉体工業展・大阪2003 (大阪)	日本粉体工業技術協会	シー・エヌ・ティ Tel. 03-5297-8855 powtex@cnt-inc.co.jp
23~25日	○IX Conference on Metallurgical Science and Technology (CTM 2003) (Spain)	CENIM	Fax. 91-552-79-98 congresosmad@masrans.es
26~29日	○15th International Forgemasters Meeting (IFM 2003) (神戸)	JSCFA	ifm 2003 @ics-inc.co.jp http://www.ics-inc.co.jp
27~29日	第16回国際超電導シンポジウム (ISS 2003) (つくば)	国際超電導産業技術研究センター	Tel. 03-3431-4002 Fax. 03-3431-4044
28~30日	2003 CSM Annual Meeting (China)	CSM	csm@public.bta.net.cn http://www.csm.org.cn
27~29日	○International Body Engineering Conference 2003 (IBEC 2003) (千葉)	自動車技術会	Tel. 03-3262-8216 Fax. 03-3261-2204 http://www.jsae.or.jp/ibec 2003 /index.html
29, 30日	第47回日本学術会議材料研究連合講演会(京都)	日本学術会議	日本材料学会 Tel. 075-761-5321 Fax. 075-761-5325
30~1日	第11回鉄鋼工学アドバンスセミナー(千葉)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7012

2003年11月

2~6日	The Third International Conference on Light Materials for Transportation Systems (LiMAT 2003) (U.S.A)	POSTECH	http://www.navmar.com/limat/
5~8日	3rd International Symposium on Designing, Processing and Properties of Advanced Engineering Materials (ISAEM-2003) (Korea)	MRSK	mrsk@mrs-k.or.kr http://www.mrs-k.or.kr/ISAEM-2003.htm/
9~11日	61st Electric Furnace Conference (U.S.A)	ISS	Fax. +1-724-776-0430 http://www.iss.org
9~12日	Materials Science & Technology 2003, incorporating the 2003 TMS Fall Meeting and the 45th Iron & Steel Society Mechanical working and Steel Processing Conference (MS&T'03) (U.S.A.)	TMS, ISS	Fax. 724-776-3370 http://www.matscitech.org/
9~13日	第15回固体の反応性に関する国際シンポジウム ISRS (XVth International Symposium on the Reactivity of Solids) (京都)	シンポジウム組織委員会	慶応大 Tel. 045-566-1569 http://www.isrskyoto.org
10~13日	14th Steelmaking Conference, 4th Ironmaking Conference, 5th ISS Argentina Section Meeting (Argentina)	IAS	Fax. 543461462989 genzano@siderurgia.org.ar

開催期日	行事(開催地/詳細掲載号および頁)	主催者	問合せ・連絡先
11日	第179回西山記念技術講座「製鉄技術の最近の進歩と今後の展開」(東京 本号339頁)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7012 http://www.isij.or.jp
11~13日	Second International Symposium on Ultrafine Grained Structures (ISUGS 2003) (Australia 2号195頁)	IMEA	toshi@zaiko.kyushu-u.ac.jp adachi-yst@sumitomometals.co.jp
12~14日	○1st International Symposium on Active Nano-Characterization and Technology (Active-Nano 2003) (つくば)	物質・材料研究機構	Tel. 0298-59-2741 http://www.nims.go.jp/activenano/ANCT 2003.htm
12~14日	第44回真空に関する連合講演会(東京)	日本真空協会	Tel. 03-3431-4395 Fax 03-3433-5371
13, 14日	日本分析化学会・日本鉄鋼協会 評価・分析・解析部会等 分析信頼性実務者レベル講習会 第2回セラミックス原料・鉱石類分析技術セミナー(東京 受講申込締切7月9日 本号342頁)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-3490-3351 koms@jsac.or.jp
13, 14日	第13回HPI技術セミナー 圧力設備の材料, 設計, 施工, 維持管理(大阪)	日本高圧力技術協会	Tel. 03-3255-3486 Fax. 03-3255-3488
13~15日	第39回熱測定討論会(広島)	日本熱測定学会	Tel. 03-5821-7120 netsu@mbd.nifty.com
16~21日	第13回アジア太平洋防食会議 金属材料の各種環境での腐食防食全般(大阪)	腐食防食学会	大阪大 Tel. 06-6879-7470 fujimoto@mat.eng.osaka-u.ac.jp
19~22日	2003国際ロボット展(東京)	日本ロボット工業会他	2003国際ロボット展事務局 Tel. 03-3222-7239 Fax. 03-3222-7028
26~28日	日本学術会議 第5回構造物の安全性・信頼性に関する国内シンポジウム(東京)	日本学術会議	日本材料学会 Tel. 075-761-5321 jcossar@jsms.jp
27, 28日	第11回鋼構造シンポジウム(東京)	日本鋼構造協会	Tel. 03-5919-1535 Fax. 03-5919-1536
2003年12月			
7~12日	第11回核融合炉材料国際会議(ICFRM-11) (京都)	組織委員会	京都大学 エネルギー理工研究所 Tel. 0774-38-3597 icfrm@iae.kyoto-u.ac.jp
10, 11日	24th International ATS Steelmaking Conference (France)	ATS	michel.jeanneau@ats.ffa.fr http://www.ats-ffa.org/
8~11日	エコデザイン2003環境調和型設計とインバースマニユファクチャリングに関する国際シンポジウム(東京)	エコデザイン学会連合	Tel. 03-3815-1681 haraki@bcasj.or.jp
2004年3月			
14~18日	2004 TMS Annual Meeting & Exhibition (U.S.A.)	TMS	http://www.tms.org/Meetings/Annual-04/AnnMtg 04 Home.html
30~1日	第147回春季講演大会(東京)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7013
2004年4月			
4~7日	2004 Galvatech Conference (U.S.A.)	ISS	http://www.iss.org/professional/schedule.htm
18~21日	2004 ISS Tech Conference & Exposition (U.S.A.)	ISS	http://www.iss.org/professional/schedule.htm
2004年6月			
6~8日	2nd International Conference on Process Development in Iron and Steelmaking (SCANMET II) (Sweden)	MEFOS	lotti.jarlebro@mefos.se http://www.scanmet.info
15~17日	○2nd International Conference on the Termomechanical Processing of Steels (TMP 2004) (Belgium)	CRM	http://www.crm-eur.com
2004年9月			
22~24日	IABSE Symposium Metropolitan Habitats and Infrastructure (China)	IABSE	secretariat@iabse 2004.org.ch http://www.iabse.ethz.ch/conferences
26~29日	TMS 2004 Fall Extraction and Process Metallurgy Meeting (Spain)	TMS	Fax. 724-776-3770 http://www.inasmet.es/rewas 04
26~30日	Materials Science & Technology 2004 incorporating the 2004 Fall Meeting and the 46th Iron & Steel Society Mechanical Working and Steel Processing Conference (MS&T'04) (U.S.A.)	TMS, ISS	http://www.tms.org/Meetings/Meeting.html
28~30日	第148回秋季講演大会(秋田)	日本鉄鋼協会	Tel. 03-5209-7013
2004年10月			
23~27日	○Pressure Hydrometallurgy 2004 (Canada)	CIM	http://www.hydrometallurgysection.org/conferences/confer.html
2004年11月			
7~12日	Rare Earth's 04 in Nara (奈良)	日本希土類学会	http://kidorui.chem.eng.osaka-u.ac.jp/RE 2004.html
24~26日	International Conference on New Frontiers of Process Science and Engineering in Advanced Materials (PSEA'04) (Japan)	高温学会	大阪大 奈賀 Fax. 06-6879-8649 http://www.jwri.osaka-u.ac.jp/%7eteconf/psea04/index.html

編集後記

新緑の季節になり、当会報委員会も4月より委員長、副委員長、数名の委員が交替し、新たに12名の委員を迎えて、下記の新体制になりました。退任された佐藤前委員長はじめ委員の方々のご尽力ありがとうございました。

今月号、大橋副会長の「鉄鋼生産技術の歩み」が掲載されていますが、「鉄鋼生産技術の歩み」は、1957年1月号の「鉄と鋼」に鉄鋼技術共同研究会幹事長 山岡 武氏執筆、掲載されましたのが第1回で、以後46年間継続しているものです。毎前年の鉄鋼技術の総括として是非一読願います。

牧会長就任時の提言の一つに「次世代を支える人材の育成」がありますが、その一翼として毎年1、5月に白石記念講座、11月に西山記念技術講座等が開催されています。今月開催の白石記念講座のテーマは「資源リサイクルとその課題」です。産官学における具体的な諸活動、最新情報を織り込みながら整理するとともに関連業界への要望を含めた今後のあるべき姿を展望する内容です。多数の会員の聴講をお願いします。

(Y. K.)

会報委員会(五十音順)

委員長	田中 龍彦(東京理科大学)			
副委員長	山崎 修一(新日本製鐵(株))			
委員	阿部 直人(明治大学)	井坂 進(ティーエム・ティーアンドディ(株))	尾谷 敬造(日産自動車)	
	梶原 正憲(東京工業大学)	亀井 康夫(住友金属工業(株))	久保木 孝(電気通信大学)	
	桑原 良太((社)日本鉄鋼協会)	清水 健一(住友電工スチールワイヤー(株))	寺島 慶一(千葉工業大学)	
	虎尾 彰(JFE技研)	鳥塚 史郎(物質・材料研究機構)	永田 弘光(愛知製鋼(株))	
	中山 武典((株)神戸製鋼所)	野村 宏之(名古屋大学)	橋本 律男(三菱重工業(株))	
	福本 博光(日新製鋼(株))	三輪 守(大同特殊鋼(株))	森田 一樹(東京大学)	

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

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

1996年5月10日第三種郵便物認可 2003年5月1日印刷納本・発行(毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区神田司町2-2 新倉ビル内 内仲康夫

印刷人/印刷所 東京都文京区本駒込3-9-3 (株)トライ

発行所 社団法人日本鉄鋼協会 〒101-0048 東京都千代田区神田司町2-2 新倉ビル2階
TEL: 総合企画事務局: 03-5209-7011(代)

FAX: 03-3257-1110(共通)

郵便振替口座 00230-1-18757 HJS/ISIJ刊行物 (会員の購読料は会費に含む)

©COPYRIGHT 2003 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。

学術著作権協会

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階 TEL. 03-3475-5618 FAX. 03-3475-5619

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 001-1-978-750-8400 FAX 001-1-978-750-4744

Institute for Scientific Information

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

表紙デザイン 出澤 由野

第11回日本鉄鋼協会・日本金属学会奨学賞受賞者(平成15年3月)

本賞は、全国大学材料関係教室協議会加盟の国公立および私立大学の金属・材料系学科が推薦する人格、学業ともに優秀な当該年度の学部学生に贈るものです。賞の授与は各大学において卒業式当日に行われ、賞状と副賞(「奨学賞会員として鉄鋼協会、金属学会の会費1年間免除による会員資格」および「特製ネクタイピンあるいはスカーフピン」)を贈呈します。



北海道大学工学部
材料工学科
佐藤 章 君



室蘭工業大学工学部
材料物性工学科
小林 和也 君



室蘭工業大学工学部
機械システム工学科
後藤 貴志 君



岩手大学工学部
材料物性工学科
橋本 克則 君



秋田大学工学資源学部
材料工学科
谷 谷 秀平 君



秋田大学工学資源学部
環境物質工学科
松橋 哲也 君



東北大学工学部
マテリアル・開発系
松浦 寿幸 君



東北大学工学部
材料物性学科
喜中 誠 君



東北大学工学部
材料加工学科
大石 雄介 君



茨城大学工学部
物質工学科
十川 周平 君



筑波大学第3学群
工学基礎学類
伊藤 寿之 君



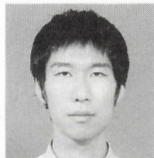
東京大学工学部
マテリアル工学科
吉居 高明 君



東京工業大学工学部
金属工学科
村西 良昌 君



横浜国立大学工学部
生産工学科
難波 匡玄 君



長岡技術科学大学工学部
機械創造工学課程
近藤 正則 君



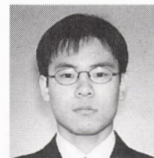
長岡技術科学大学工学部
材料開発工学課程
曾谷 優香 君



富山大学工学部
物質生命システム工学科
越 保信 君



豊橋技術科学大学
生産システム工学課程
小柳 禎彦 君



名古屋大学工学部
材料機能工学科
服部 政隆 君



名古屋大学工学部
材料プロセス工学科
久世 和奈 君



名古屋工業大学工学部
材料工学科
奥山 勇治 君



京都大学工学部
物理工学科
堀出 朋哉 君



大阪大学工学部応用理工学科
マテリアル応用工学科目
横川 友彦 君



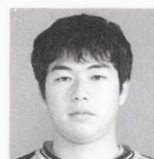
大阪大学工学部応用理工学科
マテリアル科学科目
石本 卓也 君



大阪大学工学部応用理工学科
生産科学科目
十河 陽介 君



大阪大学基礎工学科
電子物理科学科
薄 宏昌 君



島根大学総合理工学部
物質科学科
永岡 久典 君



香川大学工学部
材料創造工学科
日笠 裕也 君



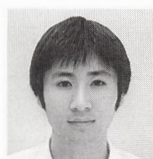
愛媛大学工学部
機能材料工学科
木畑 和也 君



九州大学工学部
物質科学工学科
恵 直貴 君



九州工業大学工学部
物質工学科
田村 友子 君



長崎大学工学部
材料工学科
久々 宮壮 君



熊本大学工学部
知能生産システム工学科
片山 裕加里 君



大阪府立大学工学部
材料工学科
中川 聡子 君



大阪府立大学工学部
機能物質科学科
大塩 武士 君



姫路工業大学工学部
材料工学科
井上 真輔 君



石巻専修大学理工学部
電子材料工学科
佐藤 伸也 君



帝京大学理工学部
材料科学工学科
宮坂 岳典 君



千葉工業大学工学部
金属工学科
福崎 昌宏 君



東京理科大学基礎工学部
材料工学科
永井 篤史 君



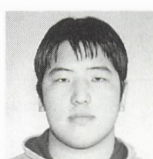
芝浦工業大学工学部
材料工学科
吉野 路英 君



早稲田大学理工学部
物質開発工学科
岩瀬 友幸 君



東海大学工学部
金属材料工学科
山田 大景 君



帝京科学大学理工学部
環境マテリアル学科
近藤 直樹 君



金沢工業大学工学部
物質応用工学科
鈴木 新之助 君



金沢工業大学工学部
機械工学科
伴 和憲 君



関西大学工学部
材料工学科
大久保 泰史 君



近畿大学理工学部
金属工学科
中川 幸範 君



山口東京理科大学基礎工学部
物質・環境工学科
小野 雄二 君

くらむ Vol.8 No.5 広告目次

表2 電子科学(株) ガス分析装置

後1 本誌広告目次

(株)大同分析リサーチ 試験分析サービス

2 ヘガネスジャパン(株) 鉄系粉末

後2 (株)協会通信社 広告案内

表3 日本ミンコ(株) サンプル・サンブラ

表4 富士電波工機(株) 試験装置他

本誌広告取扱 (株)協会通信社 TEL.03-3571-8291 / FAX.03-3571-8293 (株)共栄通信社 TEL.03-3572-3381 / FAX.03-3572-3590 (株)スノウ TEL.03-5282-3944 / FAX.03-3219-3946

分析・試験・調査

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

材料解析

各種材料の
破断原因調査

環境分析

産業廃棄物の分析
工場排水の測定

化学成分分析

鉄鋼、非鉄金属の
成分分析

機械試験

各種材料の強度・
靱延性の試験

腐食試験

金属、ステンレス等の
沸騰試験腐食試験

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

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

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

詳しくはホームページまで

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

ご意見・ご感想等はメールで

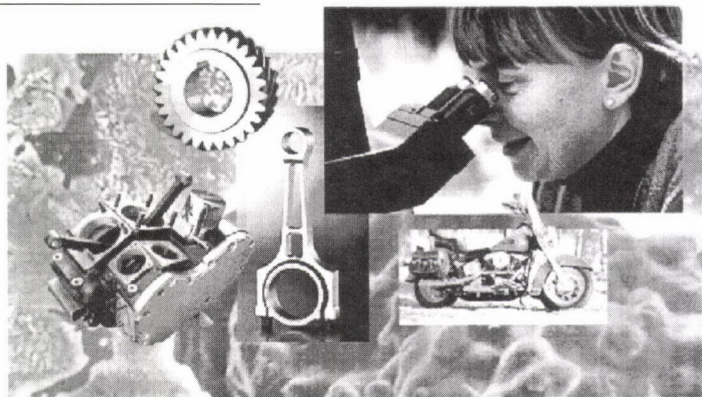
E-MAIL:webmaster_dbr@daido.co.jp

Helping you to create the future

ヘガネスは鉄系粉末の世界最大のメーカーで、世界
四大陸八ヶ国の製造拠点により粉末冶金工業にサービス
することを事業としています。日本におきましては1950年代
より粉末冶金需要家の皆様と密接な事業を行って来ま
した。今日ではヘガネスジャパン株式会社が埼玉に最新式
粉末混合プラントを持ち、日本中のお客様への**Starmix™**
混合粉末のジャストインタイム供給も行っています。

また、弊社テクニカルサポート部では、皆様のより大きな
成長に寄与する為に、粉末冶金のノウハウ、最新技術
や応用に関する情報などのサービスを提供しています。

ヘガネスは、年間10万トンを生産し世界第二位の
規模を誇る日本の粉末冶金産業の成長に役立ちたい
と考えています。



Höganäs 出

ヘガネスジャパン株式会社 www.hoganas.com
〒107-0052 東京都港区赤坂4丁目2番19号 赤坂シャスタースビル
TEL.03-3582-8280 FAX.03-3584-9087

●セールスエンジニアを募集しています。

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

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANÉ

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

日本鉄鋼協会講演論文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

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

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

For more Information,
Write or Facsimile.

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

3-13, GINZA 7 CHOME CHUO-KU,
TOKYO 104-0061 JAPAN
Tel.03-3571-8291 • Fax.03-3571-8293

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)



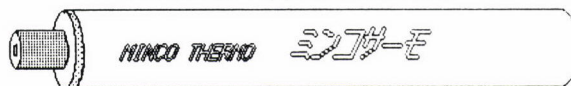
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

MMJ 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

ISO9001:2000 認証取得

※お問い合わせは

本 社・三郷工場 〒341-0032
埼玉県三郷市谷中388-1
TEL.0489(52)8701 FAX.0489(52)8705

東京事務所 〒166-0012
東京都杉並区和田3-36-7
TEL.03(5306)6265 FAX.03(5306)6268

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

先端産業の生産・研究分野に貢献し顧客ニーズに応えます

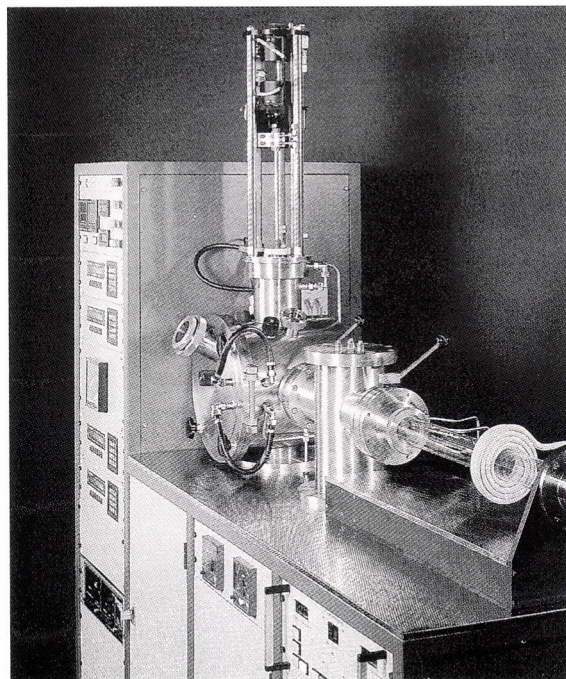
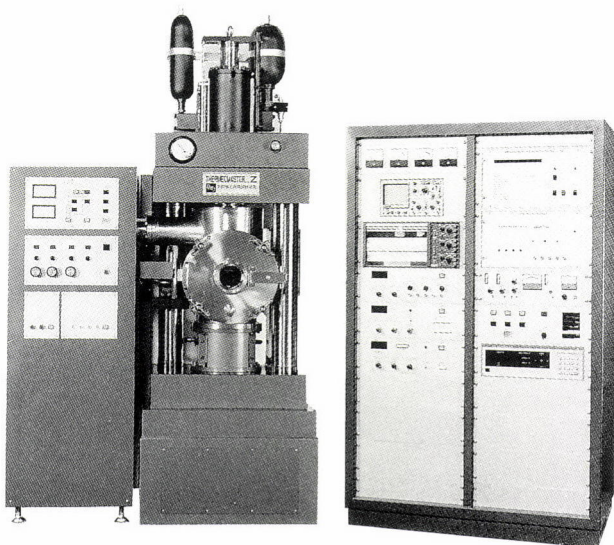
富士電波工機の試験装置 《複合技術力が大きな成果を生み出します》

温度制御・真空・油圧・計測の技術を駆使した、機能材料・新素材の研究開発用装置をご提供します。

熱間加工再現試験装置

THERMECMASTOR-Z/MD/TS

- ☆変形抵抗・組織変化及び熱間変形時の延性測定、加工後の変態測定
- ☆多方向の加工が可能（MDモデル）
- ☆ねじり加工が可能（TSモデル）



非接触浮揚溶解装置

（コールドクルーシブル利用装置）

- ☆材料の高純度化が可能
- ☆真空容器内にCZ・FZ炉の取付が可能

富士電波工機の高周波加熱装置 《実績と経験が大きな効果を生み出します》

鉄鋼業・自動車産業・半導体産業・機械産業・航空宇宙産業など、さまざまな分野で最適な加熱環境を実現しています。お客様のニーズに最適な加熱システムをご提案いたします。

営 業 品 目

試験研究装置

熱間加工再現試験装置
非接触浮揚溶解装置
レビテーション溶解装置

熱サイクル再現装置
アモルファス製造装置

産業用加熱装置

各種溶解装置
熱処理装置
ロウ付け装置



富士電波工機株式会社

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

本社・営業 〒350-2201 埼玉県鶴ヶ島市富士見 6 - 2 - 22

☎ (0492) 71-6564 FAX (0492) 86-5581

大阪営業所 ☎ (06) 6539-7501 名古屋営業所 ☎ (052) 763-7511