

ふえらむ

Vol.3 No.9 1998

(社)日本鉄鋼協会会報

Bulletin of

The Iron and Steel

Institute of Japan

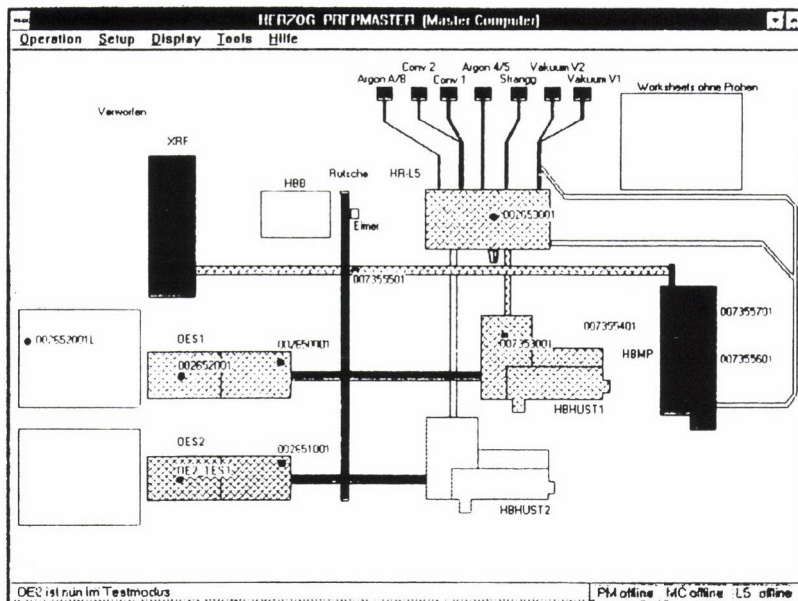


社団法人 日本鉄鋼協会
The Iron and Steel Institute of Japan

ホームページ <http://www.isij.or.jp>

ドイツ・ハルツォク社の全自動ラボ PREPMASTER

Sample Management System
for Laboratory Automation



■全自動気送システム

各種試料の搬送から
自動取り出しまで完全自動

■試料調製装置

切断・研磨・粉碎・プレス
シート成形の完全自動

■運行管理システム (PREPMASTER)

装置管理

ID番号管理

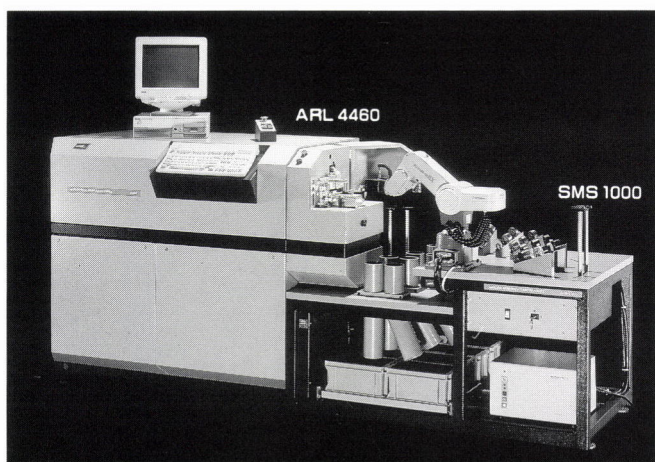
運行管理

HERZOG

発光分光分析装置 ARL 4460

ARL

ロボット・ハンドリング・システム SMS1000



ARL 4460の概要・特徴・仕様

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

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

SMS 1000の概要・特徴

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

ハルツォク HERZOG

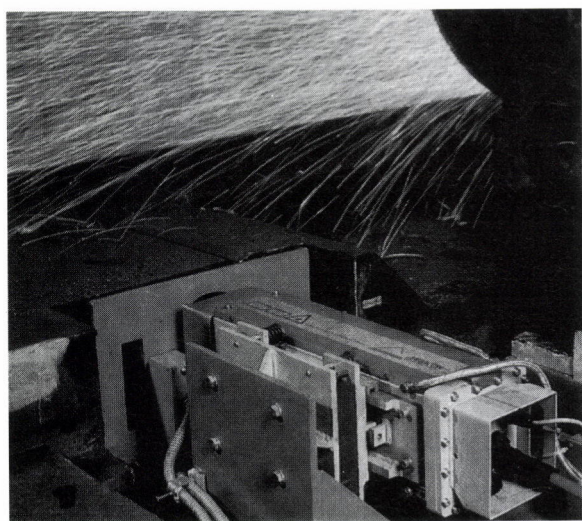
〒174-0041 東京都板橋区舟渡三丁目5番8号（区立第一工場ビル）
TEL03-5994-0273 FAX03-3967-2224

ドイツ/メザコン社 高精度レーザー測定器



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

☆レーザー長さ計、速度計 LV503型



主仕様例

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

☆オンラインレーザー形状測定装置 Mesameter P型

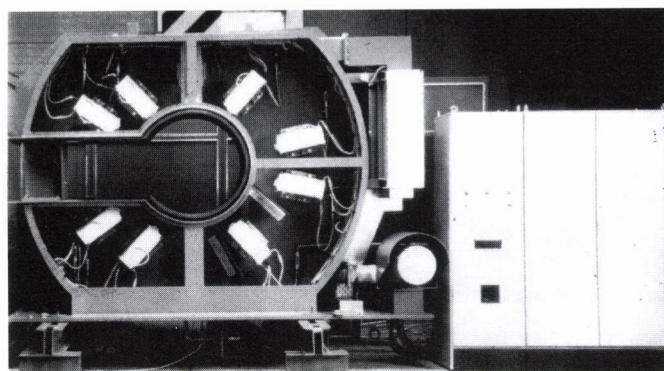
主仕様例 右図装置の場合

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

応用例：型鋼寸法測定

棒鋼寸法測定

スラブ寸法測定(オフライン)



MESAMETER P

(ドイツPreussag社納入のH鋼形状測定装置)

これからも世界の先進技術をご紹介します。

日本総代理店

株式会社 **マツボー** プラント2部

〒105-0001 東京都港区虎ノ門3丁目8番21号
TEL.03-5472-1746 FAX.03-5472-1740

国内メンテナンス

株式会社 **タウ技研**

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

異常発熱・火災どうやって監視、検知してますか？

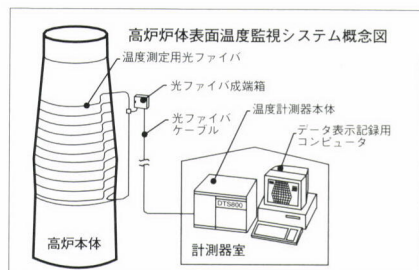
低価格

高精度

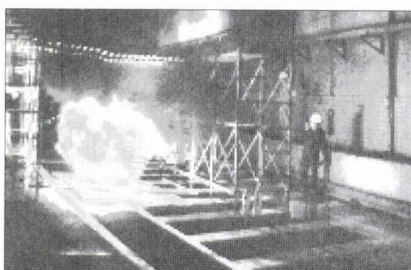
長距離

広範囲

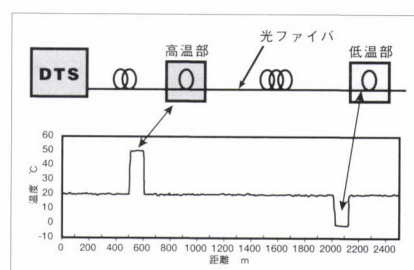
高性能光ファイバ式温度分布計測システム



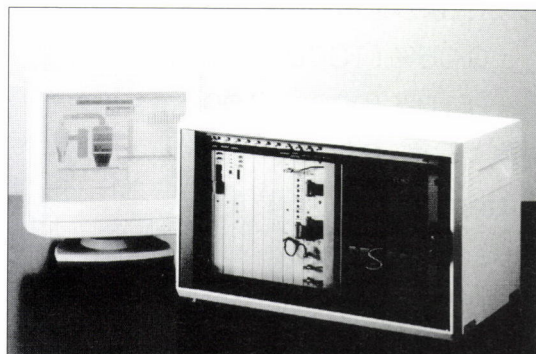
製鉄所／高炉の鉄皮温度分布監視。
各種製鉄設備の温度監視。



トンネル火災検知／経済的に広範囲の温度を
監視。センサは全くのメンテナンスフリー。



光ファイバ自身が温度センサとなり、
温度分布を測定。



DTS800 高性能温度分布計測システム

独自のループ方式により、抜群の実用性と精度を発揮します。光ファイバのロス、
接続部の影響をほとんど受けずに正確な温度が測定できます。

主な用途

- 各種プラントのホットスポット監視
- 地質調査坑井の精密温度分布測定
- 電力ケーブルの温度分布監視

測定方式	ループ方式*
チャンネル数	2～6
測定可能距離	10km
測定温度範囲	-200～+600℃
サンプリング間隔	1m (標準)
温度精度	±1℃ (測定時間10秒)
使用ファイバ	G150/125

*シングルエンド測定も可能。



DTS200 簡易型温度分布モニター

最新のオプトエレクトロニクス技術をコンパクトに凝縮した、低消費電力、小型、
低コストシステムです。

主な用途

- 電力ケーブルの温度異常監視
- 火災・異常発熱監視

測定方式	シングルエンド方式
チャンネル数	1
測定可能距離	1km
測定温度範囲	-50～+400℃
サンプリング間隔	2.5m (標準)
温度精度	±1℃*
使用ファイバ	G150/125

*シングルエンド方式のため光ファイバの状態
により精度が低下することがあります。

製造・販売元



株式会社ワイオーシステム

〒108-0074 東京都港区高輪3-2-3

TEL (03)5447-6300 FAX (03)5447-6282 URL <http://www.yosystems.com>

お問い合わせにはこのページにご記入の上コピーしてFAXでお送りください。お待ちしております。

FAX: 03-5447-6282 (株)ワイ・オー・システム DTSチーム宛

☐ 資料が欲しい

☐ 担当者と話したい

貴社名

ご所属

お名前

ご住所

TEL

メッセージ

役職

FAX

即戦力ぞろいの、 強い味方です。



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

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

「技術革新が速すぎて、機器の陳腐化や遊休化のリスクが不安!」

「機器の保守・管理、精度管理の手間とコストをなんとかしたい!」——。

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

レンタル・サービス

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

エンジニアリング・サービス

EMC測定サービス
測定器校正サービス
計測サービス
技術サポート

コンピュータ機器販売

HPワークステーション、サーバ、
PC、周辺機器 など

レンタル在庫品販売



オリックス・レンテック株式会社

本社：〒141-8681 東京都品川区北品川 5-7-21

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

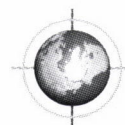


Quality system
certified to
ISO 9002

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

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

HORIBA



ISO 14001 認証取得
JQA-E-0298 (本社・工場)
ISO 9001 認証取得

測定結果の正確さ、 簡単操作で豊富な ラインナップ。 金属分析に差をつけます。

金属などの導電性試料を多元素同時に高精度で分析。

発光分光分析装置

JY132F

New

主な仕様

光学配置：パッシェンルンゲ

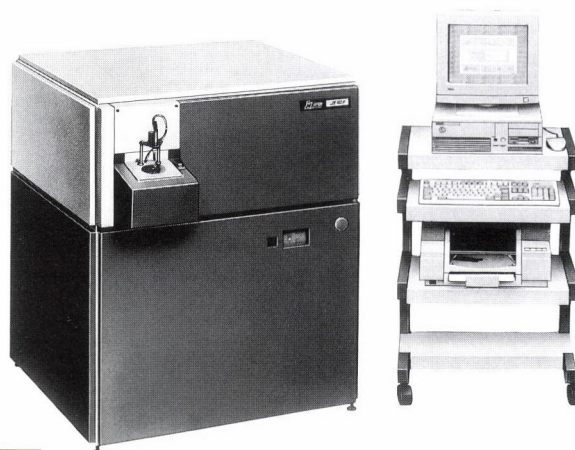
焦点距離：50cm

窒素バージ方式

回折格子：イオンエッチドブレードホログラフィック

分解能：一次 0,028mm/0,014mm

47 波長まで増設可能



JY132F は光学装置のトップメーカ、フランスのジョバン・イボン社製です。

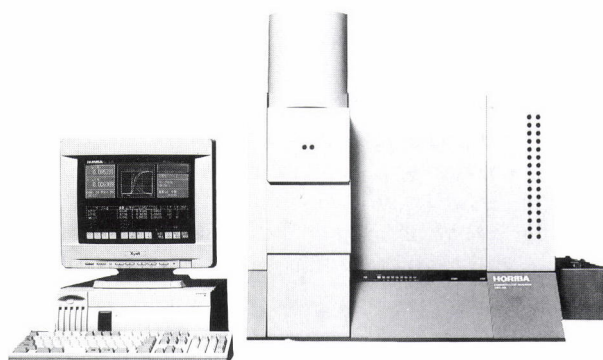
鉄鋼・非鉄金属・新素材・セラミックスなどの品質チェック、
研究開発に。

炭素・硫黄分析装置

EMIA-820 シリーズ

酸素・窒素分析装置

EMGA シリーズ



製品についてのお問い合わせは(ホリバCSセンター)まで
(祝祭日を除く月～金/9:00～12:00、13:00～17:00)



0120-37-6045

詳しい資料をご希望の方は、郵送またはFAXで(株)堀場製作所
広報室までご請求ください。FAX (075) 321-6621

EMIA-820
資料請求券
ふえらむ'98・9

株式会社堀場製作所

日製産業株式会社 ●東京(03)3504-7211 ●札幌(011)221-7241 ●仙台(022)264-2219 ●筑波(0298)23-7391 ●横浜(045)451-5151 ●新潟(025)241-3011 ●金沢(0762)63-3480
●名古屋(052)583-5854 ●京都(075)241-1591 ●大阪(06)366-2551 ●広島(082)221-4514 ●高松(0878)62-3391 ●福岡(092)721-3501

ふえらむ

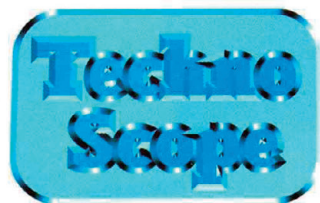
Vol.3 (1998) No.9

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	感性工学	636
話題のプロジェクト	火星探索	644
鉄の点景	戦いの衣装としての鉄—甲冑	648
特別講演 (渡辺義介賞受賞記念)	鐵とともに—高炉を支える原料技術— 北村卓夫	651
入門講座	分析試験法編-5 グロー放電発光分光分析 山本公	657
鉄の歴史	戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—学術編 溶接用鋼材の進歩とそれを支えた溶接物理冶金 百合岡信孝 二十世紀の鉄鋼技術史を日本で 中澤護人	662 670
解 説	超伝導強磁場応用技術と構造材料 —素粒子加速器用材料を中心として— 野原清彦	675
第136回秋季講演大会に寄せて	岡田康孝	682
秋季講演大会会場周辺のご案内	大森靖也	684
会員へのお知らせ		686

ホームページ <http://www.isij.or.jp>



感性工学

—人間と工学の新たな関係—



感性という、あいまいな要素を
工学という科学技術の体系に
取り入れていこうという試みが活発化している。
それは「人をしあわせにする」ことを強く意識した
新たな人間中心の工学への道程でもあるという。
今回は、あらゆる工学ジャンルへの応用が想定される
感性工学の潮流に目を向けてみよう。

感性を技術にとり込んでいく試みが進行中 各プロジェクトにみる「人間」工学への新たな潮流

通商産業省工業技術院の産業科学技術研究開発制度では人の感覚を計測してその結果を工業技術に応用しようという「人間感覚計測応用技術」や人の五感に調和したコンピュータ・メディアの開発をめざす「ヒューマンメディア」などのプロジェクトが推進されている。またその一方で「感性工学」といわれる新たな工学のジャンルが誕生し、文部省の科学研究費プロジェクトに選定されるなど、工学・工業技術に人の感性というあいまいな要素を取り込んでいこうという試みが進んでいる。感性と工学という異質な要素を同一の平面でとらえていこうという試みは何を意味しているのだろうか。各プロジェクトの現状を概観するとともに、その根幹ともいべき感性工学に着目してみる。

感性による「違い」を工学に

ここに2枚の音楽用CDがあると仮定しよう。曲目は同じクラシックの交響曲。ただし指揮者、演奏が違っている。両者を聞き比べてみると、明らかに印象が異なることが分かるだろう。どちらか一方を聞き馴れていたとすれば、もう一方には違和感を感じるかもしれない。あるいは異なる解釈を新鮮に感じるという場合もあるだろう。いずれにせよ両者が同じ曲でありながら、「感じる」というレベルではまるで違うということを意識せずにはいられないはずだ。

楽譜という共通の厳密なルールにのっとって「再現」されているはずなのに、これほど際だって違っているという事実。そして実はその違いの中にこそ何らかの価値が秘められていることは、音楽愛好者には、いまさら述べ立てるのもばかばかしいほどの「自明の理」でもあるだろう。

工業技術による生産物にも、実はこれと同様の「定量化されていない違いが重要」なことがあるはず、と感性工学では考える。むしろ人間が五感で感じる「主観的」で「あいまい」ともいえる要素を、工学の領域に取り込んでいこうという発想である。こうした感性工学の発想が近年クローズ・アップされつつある。

日本学術会議の「材料工学研究連絡委員会」では、1990年前半から感性工学についての小委員会が設置され、やがて専門部会へと進展していった。平成8年度には、文部省の科学研究費プロジェクトにも選定されている。

感性工学が認知されるようになっていった時期は、バブル経済崩壊後の時期とオーバーラップしているが、それは阪神大震災、オウム関連事件など、いわば「日本のシステム」の挫折の時代であったことも示唆的といえるかもしれない。工業技術は、戦後、物質的に豊かな社会をめざして邁進してきた日本にとっての「背骨」であったが、その工業技術によって支えら

れる日本的システムの挫折とともに、工業技術そのものにも、ひとつの問いかけがなされていったようにも思える。それは、はたして今まで築いてきた技術は、本当に人間を幸福にしてくれるものだったのか、という問いである。

こうした問いが1980年代からおこってきた世界的な工学の見直し機運とあいまって、「人間を中心にすえた工学」がさまざまなレベルで問い直されるようになってきたとも考えられそうだ。

「工学は本来、人のコンフォタビリティ（comfortability）に資するものであったはず」と日本学術会議の感性工学専門部会委員長・鈴木邁氏（千葉工業大学教授）は指摘する。そしてそのコンフォタビリティ、さらにいえば「人のため」の生産物をつくるための指標が、感性なのではないかという。

だが感性という「あいまい」な要素を取り込んでいくことが、工学のベースである自然科学の体系に大きなリスクをもたらすことになるという考え方は根強く存在している。厳密な客観性をよりどころとする体系に、十人十色ともいわれる、むしろ主観的な要素を取り込んでいくことは、やはり大きな不安材料だというのである。

むずかしい「定量化」の問題

感性が主観的な要素だとしても、工学に取り込んでいくためには「定量化」が不可欠となる。これが実はむずかしい。感性を工業製品に取り込んでいくノウハウについては、繊維やインダストリアル・デザインの分野で比較的はやくから取り入れられており、鈴木教授らは、その手法をもとに感性の定量化の方法を模索している。

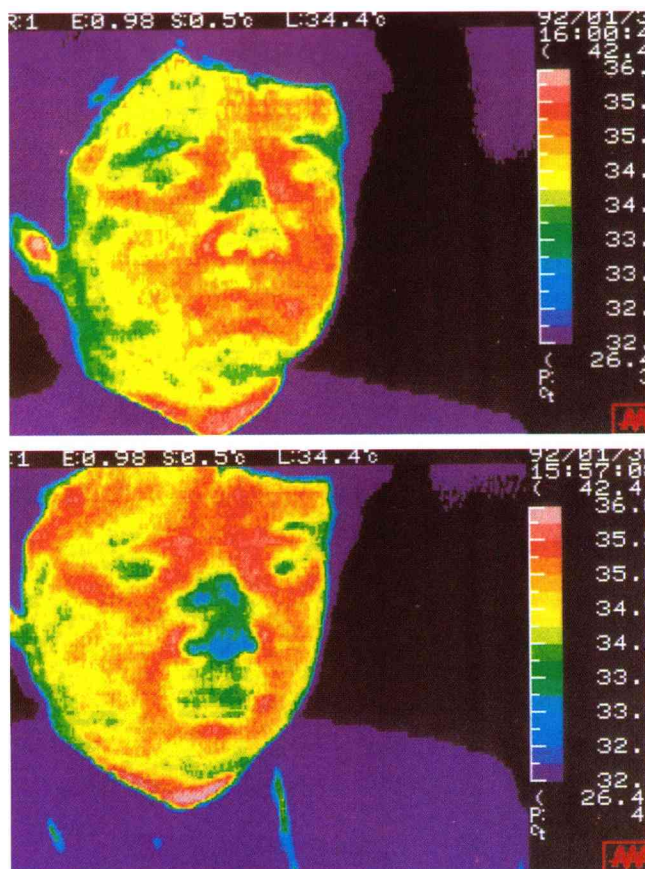
感性を定量化する方法は、大きく2つに分けられるという。ひとつは、統計的な手法を用いるもので、たとえば「やわらかい」「ごつごつしている」などの感覚的な指標を数段階に分けたグラフをもとに、複数の対象物をマッピングしたり、あるい



ストレスホルモン計測装置。



覚醒度モニター（長期変動用）。



非接触ストレスモニターによる顔面皮膚温の分布画像。
安静時（上）とストレス負荷時（下）。



音環境の評価実験。

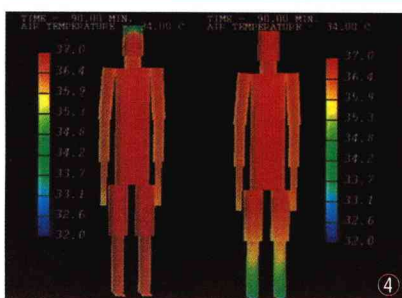
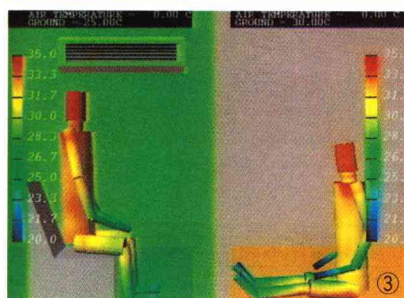
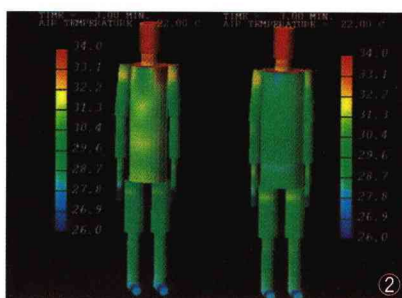
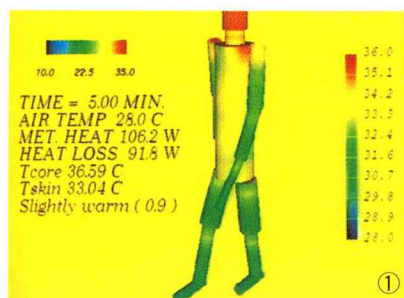
は複数の人から回答を募って、統計的なピークとなる指標を、その対象から受ける感覚を代表するものとみなすなどといった方法である。いわば、大多数の人がよしとする「共通の快適さ」を探しだし、モノづくりに生かしていくわけだ。そのほかに個人差にもとづいて多品種・個性化した製品づくりに生かしていく方向もありえるが、それはむしろ第二段階といえるかもしれない。こうして得られる感性的な要素を多変量解析することによって、感性を定量化していく。これはSD法（Semantic differential method）といわれるもので、製作者の発想上のヒントを得るには有効な方法だが、数値の客観性、妥当性など、

あいまいな部分が残る。

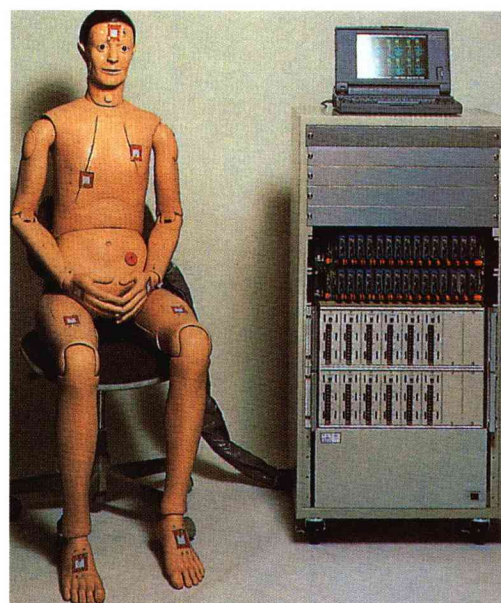
もうひとつの方法は、人の生理的データをもとにするもので、ある感覚刺激を得た時に人の生理反応がどう変化するかを計測し、それを指標とするものだ。呼吸数、体温、発汗、瞳孔の変化など、生理的な変化を器機を使って計測する方法である。「私個人としては、こうした医学的データを活用する方法が将来は有効なのではないかと考えています」（前出・鈴木教授）。

感性工学の試みは、さまざまな個別の研究例として着手されはじめている。その対象も快適な公園のモデル研究から味覚センサー、触覚とインタフェース、よりよい三輪車をつくるための研究、見落としにくい標識の提示法、快適さを決めるさまざまな感覚の階層構造について、デザインと消費者反応……と実に多方面に渡っている。こうした事例からも推察されるところ感性工学は、すべての工学分野に適用が可能な横断的な性格をもつ新たな潮流であると理解できる。

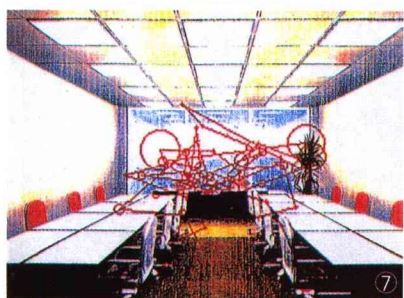
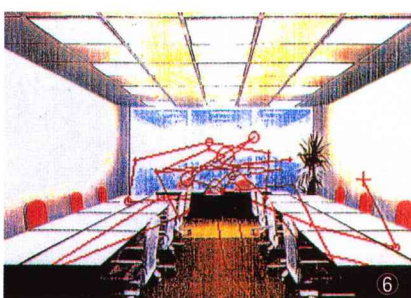
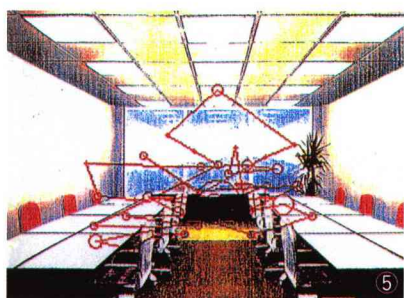
感性工学にきわめて近接したジャンルのひとつに人間工学といわれるものがある。人体構造などのデータにもとづいて、工業製品に「快適さ」や「安全性」を付与していこうとするものだが、近年は心理学や五感に関わる指標も対象になってきており、人の感覚を対象としている点では、感性工学と重な



①温冷感予測のための人体熱モデル画像。②痩身者（左）と肥満者（右）の人体熱モデル比較。
③エアコン使用時（左）と床暖房時の人体熱モデル。④不均一気流がある場合の体温分布。



発汗マネキンと環境や衣服などの製品評価を行うためのヒューマン・コンフォートメーター。



⑤開放感を感じるときの視線軌跡の例。⑥広がり感を感じるときの視線軌跡の例。⑦快適感を感じるときの視線軌跡の例。⑧眼機能計測装置。

り合う部分も大きいようだ。ただし鈴木教授らがめざしている感性工学は、こうした人間工学も含めて、さらに広い範囲の対象を感性という視点でとらえなおし、工学に取り入れていこうというもののようである。そこでは美学や環境、法律や経営までもが横断的に活用されることになるという。感性による既存の工学の融合という表現が近いだろうか。

人間感覚の定量化と応用に挑むプロジェクト

感性の定量化に相当する技術の開発は、実は国のプロジェクトでも進行している。「人間感覚計測応用技術」と呼ばれるもので、通産省の産業科学技術研究開発制度によって（社）

人間生活工学研究センターといくつかの国立研究所、大学、企業によりNEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）からの委託事業という形で研究開発が進められている。

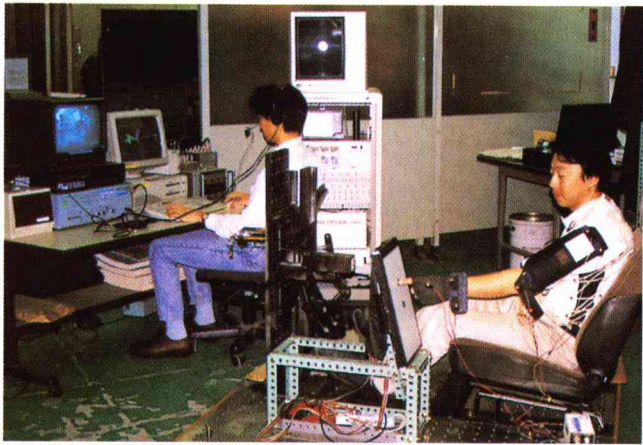
同研究所では、人間生活工学という視点から「人間の特性を科学的に把握する」ことを目指しているが、その発想の方向性は感性工学に共通している。

プロジェクトでは人間感覚をどんな方法で指標化するかという技術とともに、その指標をどのように応用して製品や環境を評価する器械、シミュレータ、モデルなどを構築していくかという研究が行われている。

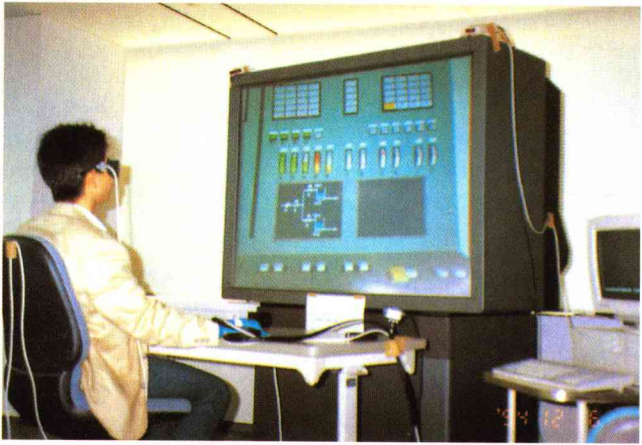
前者の人間感覚指標化技術では、おもに3つの切り口から人の「感覚」を定量化する試みがなされている。①ストレス・疲労・覚醒の指標化、②環境適合性の指標化、③製品適

合性の指標化である。

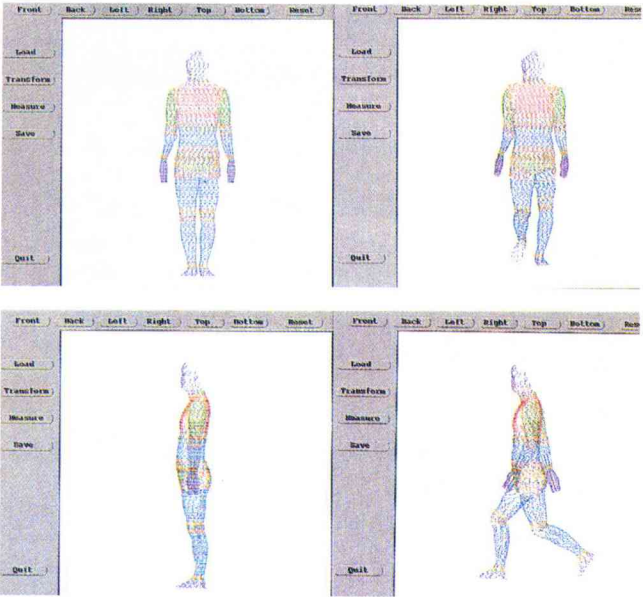
①のストレス・疲労・覚醒の指標化では、人がストレス、疲労を感じるパターンを生理反応から計測し、そのデータをもとに人のストレス・疲労・覚醒のパターンを分析している。24時間社会、高度情報化社会に生活する人々のストレスや疲労を少しでも軽減できる生活環境・労働環境の構築が目的だという。生理反応の計測例としては、唾液中のストレスホルモンを短時間で分析定量する方法、顔面の皮膚温度を画像化してストレスがかかっている状態を計測できる方法、鼓膜温度・心拍数・脳波を計測して作業者の覚醒度の変動をモニターする方法などがあり、関連の装置も含めて開発が行われた。



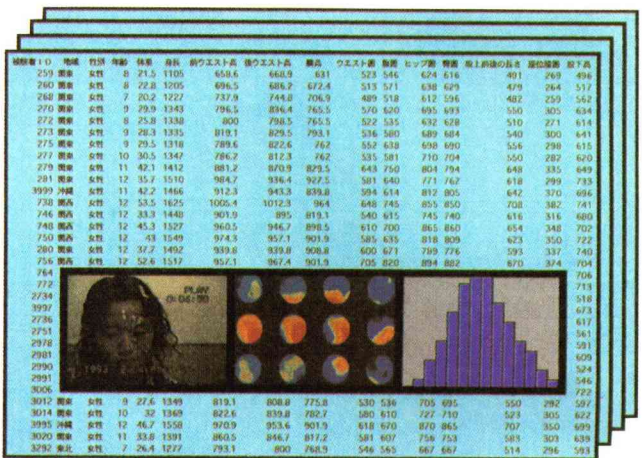
座位姿勢の負荷を計測する装置（姿勢・反力同時計測システム）。



原子力発電所等の操作基盤設計に際し情報提示形態を評価するための装置。



人体の静的・動的形態特性から製品の適合性を評価するためのシステム。



人間感覚データベースモデルの画面例。

②の環境適合性の指標化では、音環境、温熱環境、視環境という3側面から指標化が試みられた。空間設計をするにあたって「快適さ」という感覚的・感性的な指標を設定しようという試みである。

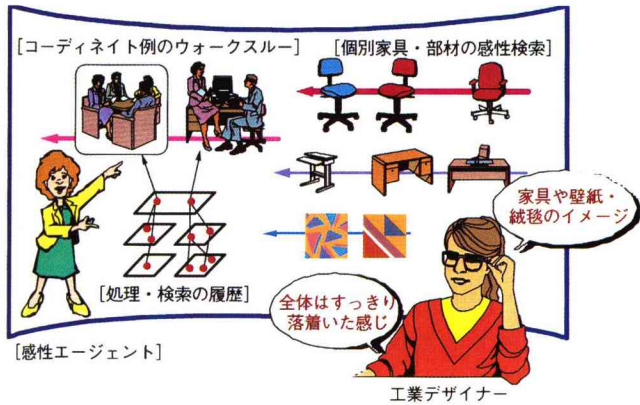
音環境の評価では、静かさや聴きやすさ、振動やうるささと、それらに対する慣れに関する指標を得るために、空気伝播音、固体伝播音、低周波音を複合して提示する装置を備えた「複合音響提示室」での実験と計測が行われた。音の面からの快適さを追究する試みである。

温熱環境の評価では、コンピュータを用いて末梢部の皮膚血管反応に着目した人体熱モデル（画面上）を開発し、身体表面温度を視覚的に表示して、ことなる環境での温冷感の予測ができるシステムが開発された。寒暖に関する室内の快適さを分析・予測するのが目的である。またこのデータをもとに発汗マネキンを用いた衣服評価のためのシミュレータも開発されている。

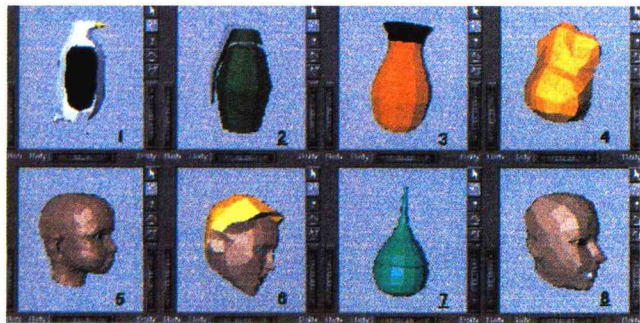
視環境では、眼球の動きを計測する眼機能計測装置によって、「開放感」「広がり」「快適」などを感じる時の人の眼球の動きを分析し、空間をデザインする際の設計支援システムの基礎データ構築がなされた。気持ちがいと感じる空間と「視線の軌跡」の関係をつかめれば、より有効な空間設計ができるというわけだ。

③の製品適合性の指標化では、「座る」という姿勢で体にかかる負荷・反力などを計測するシステム、人体の静的・動的形態の特性を定量化して使いやすい製品の設計に役立てようというシステム、機器の使い勝手や操作の確実性を指標化するノウハウなどが研究された。それぞれにより快適で使いやすい製品づくりのデータとしたり、監視作業や遠隔操作などを、適切に見落としなく行うための情報表示のしかたを分析するなど、人間特性を工業製品設計に応用することで、人にやさしい製品をつくらうというもののだといえるだろう。

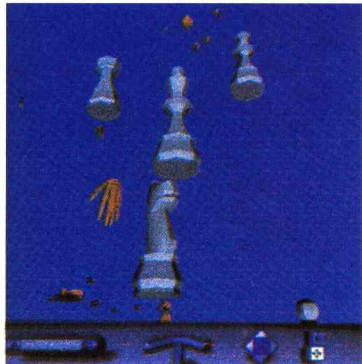
さらにプロジェクトでは、各指標づくりの段階で得た被験者



感性工房の概念図。



感性工房の画面検索例。



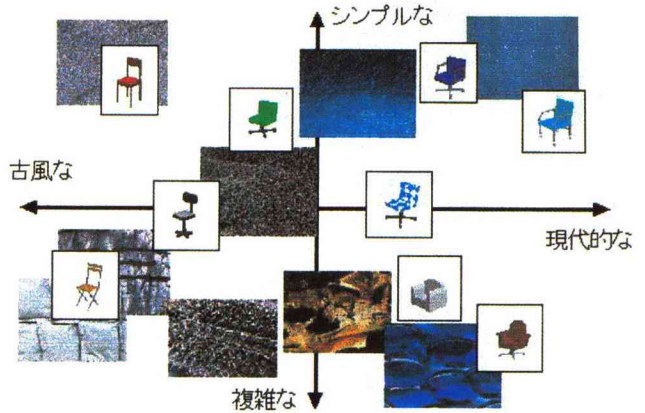
に関する数値をデータベース化し、「人間感覚データベースモデル」の構築をめざしている。順次サンプル数を増やしていくことで、実用レベルのデータセットにしていくという。

またこれらの過程でえられた人間感覚についての指標は、新たな製品づくりや環境設計、さらにはISOやJISの新評価基準の提案にも応用されていくという。

「人間感覚計測応用技術」は平成2年度に始まり、平成6年度までの第Ⅰ期に続く、第Ⅱ期の研究開発が今年平成10年度に終了し、最終結果が報告されることになっている。

コンピュータ・メディアに感性と身体性を

人の感性を重視した技術体系を創造しようという潮流は、情報メディアの分野でも必然的に起こってきている。やはり通産省の産業科学技術研究開発制度によって(財)イメージ情報科学研究所がNEDO(新エネルギー・産業技術総合開発



感性工房で使用するイメージマップの例。

機構)からの委託事業として実施している「ヒューマンメディア」がその先端での研究例といえるだろう。同プロジェクトでは、これまで論理を中心としてきたコンピュータ・インターフェースの世界に感性(情緒性)と身体性(体感性)を取り込んでいくことを大きな目標としている。具体的には従来からのVR(バーチャル・リアリティ)の発想をさらに一歩進め、それによって人を中心においたメディア環境をつくっていくという。

プロジェクト期間は平成8年度から12年度までの5年間(第Ⅰ期)で、現状では感性工房、都市環境、次世代プラント(インターフェース)といった3つの切り口から人間中心のメディア・システム開発がめざされている。

まず感性工房だが、これはインダストリアル・デザインの現場で、設計者を支援するためのマルチメディア・システムだと考えればいいだろう。プロジェクトでは、感性工房の第一歩としてオフィスの空間デザインをする場合をモデルケースとして選び、それを支援するためのシステムと周辺技術が開発されている。主要な部分は、たとえば先に紹介したSD法的な感性指標や画像データベースを組み合わせたシステムによって、いくつかのキーワード(たとえば「モダンな」とか「明るい」など)から、それに相当するようなインテリアのデザインパターンを一覧で画像表示できるといったシステムだ。同様に外形上の類似性から3次元のオブジェクトを検索したり、構図、色などの要素から画像情報を検索したりすることができる。これらのデータ・ベースからデザインの要素を選択することで、仮想空間内で空間デザインを組み立ててみることも可能になる。また、周辺技術としては、室内などの実物写真から模様などのデザイン・パターンやインテリアなどのエレメントを切抜き使用することを可能にするための画像補正技術などが並行して開発されている。これにより、現実の写真風景から、これはと思うデザイン・パターンやインテリアなどをデータ・ベースに蓄積していくことができるようになるという。

次に都市環境ヒューマンメディアだが、この研究では大型の

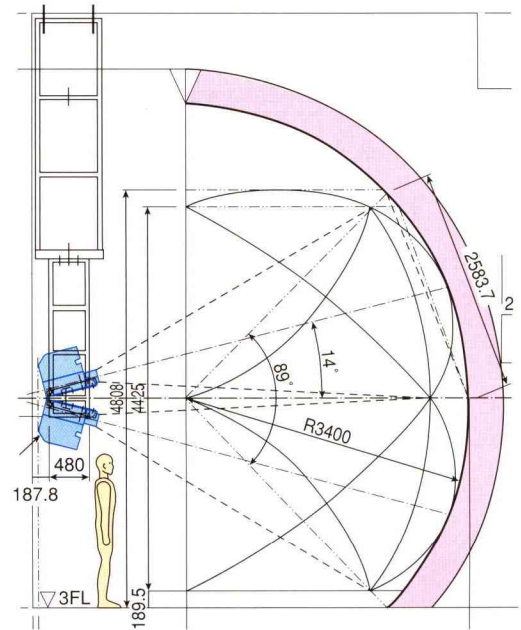
ドーム型スクリーンにプロジェクター（画像投影装置）を用いて、都市景観などを体験するシステムがある。その特徴は、既存の都市景観画像（実物映像）とCG（コンピュータ画像）とを自由に合成して、3次元レベルでの都市景観をシミュレートすることができる点にある。都市再開発などを行う場合に、開発後の都市景観がどう変わるのかを、複数の視聴者が同時にVR体験できるようにしようというものだ。ドーム型スクリーンと液晶ガラスを用いることで仮想空間内に入り込んで、環境を体験でき、水平方向のみならず、頭上方向までを含めて立体視できる。工事後の街の印象はもとより、時間にもともなう日照の変化や風の流れ方なども視覚化できるという。

都市再開発では、住民をはじめとする地元関係者と事業者との調整にきわめて多くの時間と費用がついやされている。こうした試行錯誤や検討の時間を圧縮するには、再開発案が実現された後の都市景観を仮想体験してみることが効果的である。従来のような小さな映像や模型で再現する方法では、なかなか実物とのギャップを埋めることは難しい。その点、実物大のスケールで仮想の都市に入り込んでみることでできれば、感覚的に状況が把握でき、比較検討もスムーズになるというわけだ。

ドーム状スクリーンのあらゆる視線方向に、立体的な都市の景観を見せるには、複数のプロジェクターを用いるとともに、ドームの曲面に応じた画像補正技術を駆使することになる。膨大な情報を処理することから、処理情報を小さな単位に分け、計算機を回線速度等に応じて階層化し、分業処理する方法が考案され、そうした分散処理のためのシステムもプロジェクトの課題のひとつとなっている。

最後に次世代プラント用インターフェースだが、これは運転中のプラント状態を、運転員に提供される種々の情報を整理統合して表示し、プラントのおかれている状況を感覚的に把握することを可能にしようというシステムである。

プラント用インターフェースといえば、メーターやグラフ表示から運転員が経験と頭脳を駆使してプラントの状況を読み取るというものだったが、こうした従来方式は熟練を要するとともに「直観的」な判断が難しいという側面があった。次世代インターフェースでは、CG（コンピュータ・グラフィック）による仮想空間表示などを駆使し、運転員の自然な直感を生かしやすい表示機能をもたせ、さらにはデータを「意味表示」するなど、運転員という「人」を中心に組み立てていくものとする。また運転支援のための自律的な人工知能なども開発し、そのためのインターフェースとしては音声によるメッセージ出力なども考えられている。こうした新たなインターフェースの実現によりプラント運転作業にともなう余分なストレスを減らし、より効率的で快適で安全な作業環境を実現していくという。



大型ドーム表示装置構成図（側面図）



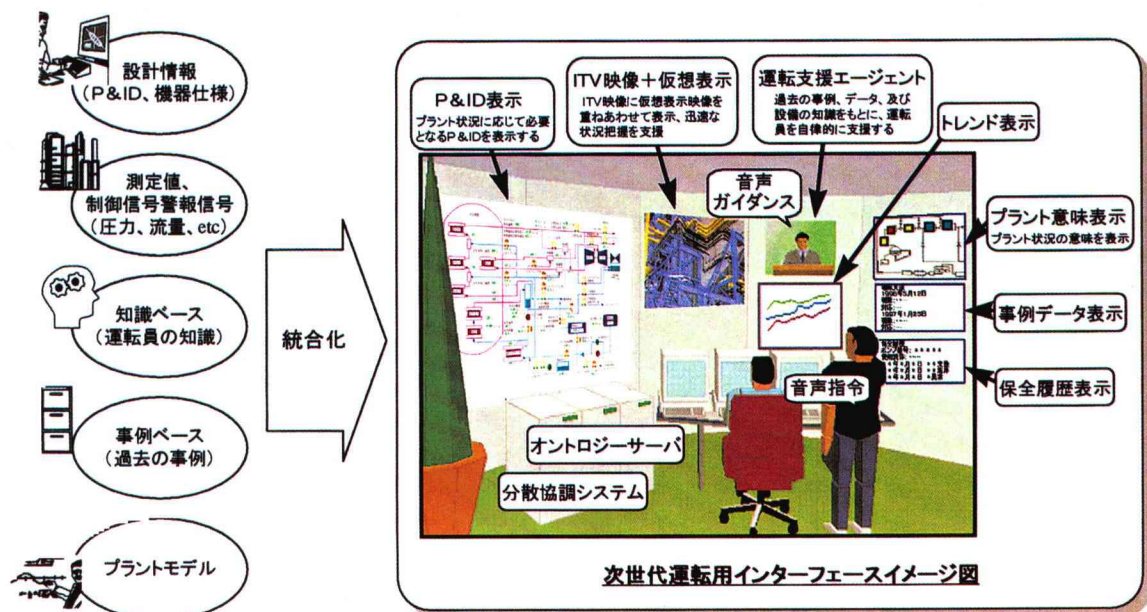
仮想空間表示用大型ドームとプロジェクター。

「理」と「感」の調和による新たな工学

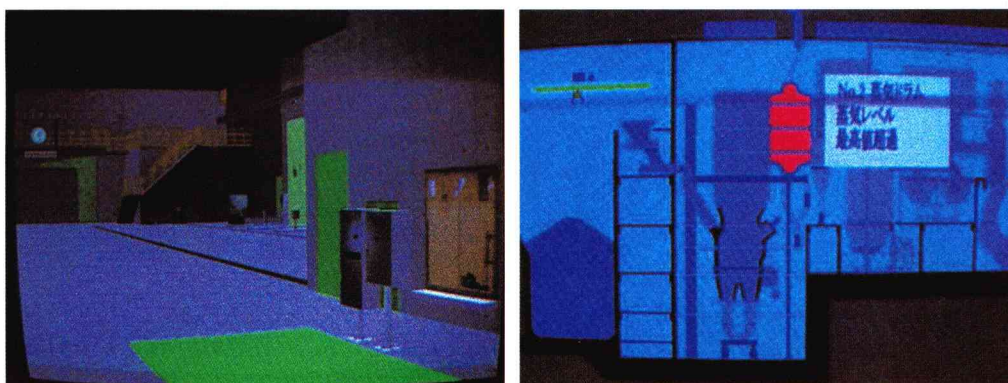
工学・工業製品を、人を中心としたものにしていくうえで感性という要素をいかに取り入れていくかがさまざまな局面で求められているわけだが、鉄鋼というジャンルでも、実は、こうした発想は有望なものとなる可能性はあるだろう。たとえばさまざまな景観材や建築材料、さらにはスチールハウスなど、工学・工業技術を前提としつつも、「定量化されにくい」感性的な要素が、いっそうの快適さを実現できるというジャンルは少なくないからである。

また広義では、環境適合性なども含めた大きな意味での「人のしあわせ」に価値を置いた工学・工業の実現という理想への道も、そこには見えるように思える。こうした方向性は1980年代的な多品種少量化とはことなる新たな人間中心主義の工学・工業技術への道を示してくれるもののようにも思える。

工学や工業技術と人間の感性を調和させようという試みは、



次世代プラント用インターフェースの概念図。



次世代プラント用インターフェースの画面例。仮想プラント表示（左）と「異常発生」の表示画面例（右）。

今世紀初頭にドイツを中心として起こってきたバウハウス運動を想起させる。バウハウス運動*のスローガンは、「工業と芸術の一致」ということだった。時はまさに理性と科学にもとづく国家づくりをとねえる共産主義の勃興期にあたり、芸術といわれるような人間活動にも理性による再構築をめざすべきだという潮流が起きていた。バウハウス運動に参加した主要な芸術家の幾人かが建国直後のソ連に参加していることから、そのムードというものがある。その後、ソ連に参加した芸術家たちの挫折の歴史の一方で、本家のバウハウス運動は、ドイツのクラフトマンシップに影響を残したともいわれる。ドイツ製の見事な工業製品には、バウハウスの影があるのだ。

バウハウス運動は、芸術という感覚的・感性的な作業を、当時の時代の潮流であった工業技術という理の体系とすりあわせていく活動だった。今日の感性工学は、理性と感性の間のすりあわせを図る点では同様の試みだが、理の体系として確立されてしまった工学・工業というものに、ふたたび人間的な感性を取り入れていこうという試みでもある。そこにはやはり

近代合理主義への見直しという潮流が存在しているだろう。「人をしあわせにする」という視点に立つかぎり、工学とても合理的の体系だけでは十分ではなかったという認識である。理性と感性の両方を調和させた工学あるいは工業技術というものをめざすべき時代がやってきつつあるのかもしれない。近年耳にするようになった文理の融合というテーマも、じつはその言い替えなのではないだろうか。

感性工学の登場は、そうした時代の潮流を象徴しているともいえる。

* バウハウス運動

バウハウスは1919年、ドイツのワイマールに建築家のグロピウスらが創立したデザイン学校の名称。このバウハウスを中心起こった芸術と工業の一致をめざす運動をバウハウス運動と総称する。建築をはじめ絵画、彫刻、デザインに大きな影響をおよぼした。近代建築運動もここから始まったとされる。バウハウスはその後1933年に解散。

取材協力：千葉工業大学・鈴木研究室
取材協力・写真提供：(社)人間生活工学研究センター、
(財)イメージ情報科学研究所

話題の
PROJECT
プロジェクト

**火星探査衛星
プラネットB**

鹿児島宇宙空間観測所から科学衛星用ロケットM-V-3
に搭載されて打ち上げられたプラネットB

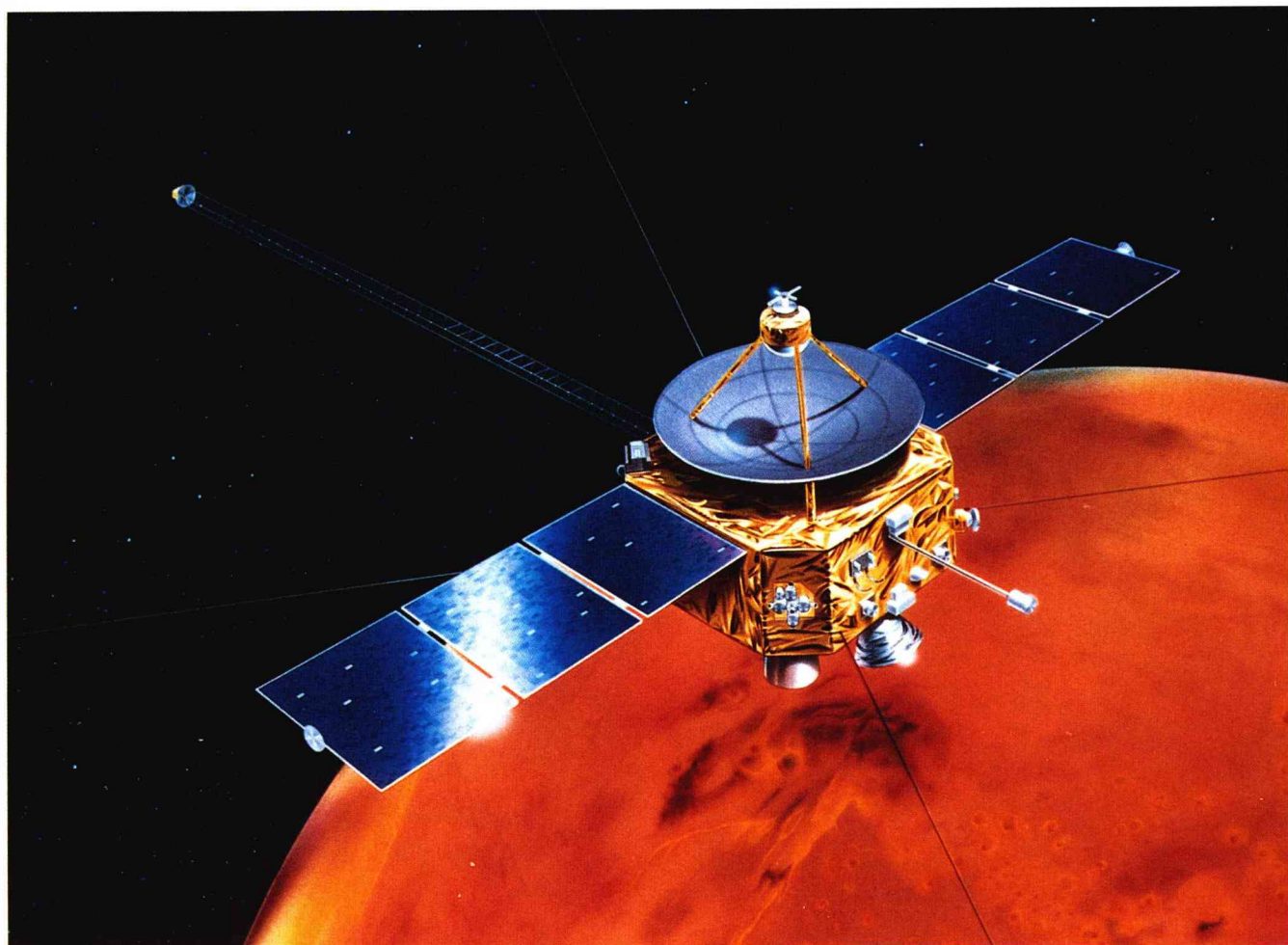
火星の大気と太陽風の相互作用を解明する

宇宙時代を見据えた 新たなチャレンジの 第一歩となる火星探査

わが国初の火星探査衛星プラネットBが1998年7月4日、
鹿児島宇宙観測所から打ち上げられた。

地球の周回軌道上に乗った同衛星は「のぞみ」と名づけられ、
約1年をかけて1999年10月、火星軌道上に到達する予定だ。

火星での地球外生命発見に沸くアメリカと違って、
火星の大気の運動と構造を調べることを主目的においたプラネットBの
目的と意義について解説する。



火星軌道上を周回するプラネットBの想像図。

地球外生命発見に期待が膨らむなか 独自のテーマを掲げる宇宙科学研究所

1996年8月、アメリカ航空宇宙局（NASA）は、南極で発見された火星由来の隕石ALH84001から生命の痕跡を発見したと発表した。それ以降、火星探査はブームといえる状況を生んでいる。

初めて火星に到達した火星探査機は、1963年6月に最接近した旧ソビエト連邦のマルス1だった。しかしマルス1は通信機能の故障のため、火星に関するデータを何も送ってこなかった。火星表面の撮影に初めて成功したのは1965年7月、アメリカのマリナー4である。現在までに約30機近い探査機が打ち上げられているが、その3分の2が失敗している。最近ではフォボス1・2（旧ソ連）、マーズオブザーバー（アメリカ）の交信途絶、マルス96（旧ソ連）の打ち上げ失敗などがある。成功といえる火星探査機は1971年のマリナー9、1975年のバイキング1・2くらい。「緑色の小人」が探査機を打ち落としているというジョークが交わされるほど、火星探査は失敗の連続だった。

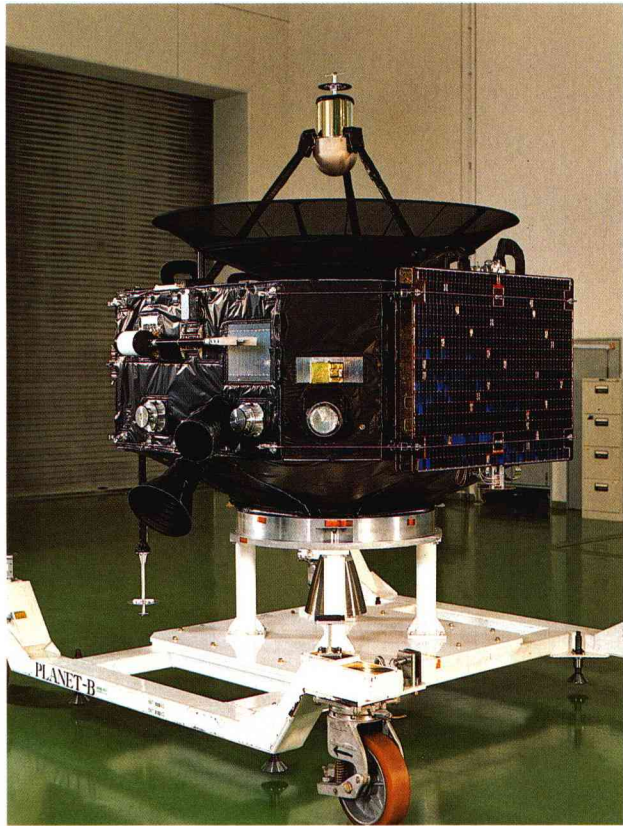
しかし昨年7月4日、NASA ジェット推進研究所が送り込んだマーズパスファインダーが着陸に成功し、数多くの貴重な科学データを送信してきた。今後アメリカは、約10機の探査機

を火星に送り込み、アポロ月面着陸から50周年にあたる2019年までに、人類を火星に立たせる計画を推進していくという。

火星大気消失の謎に迫る

隕石から発見された生命の痕跡が本当に微生物の化石なのかどうかは、実際に火星で生命反応を検出するか、火星から試料を持ち帰る必要がある。いま火星探査は、地球外生命の存在確認というテーマを中心に回っているといっている。しかし、今年7月4日に打ち上げられた文部省宇宙科学研究所のプラネットBは、「火星上層大気と太陽風の相互作用の解明」という少し違ったテーマを掲げている。

火星の大地は衝突クレーターの多い古い南部高地と、比較的若い北部平原、オリンポス、アルシア、パボニス、アスクレアスなどの巨大楕状火山やヴァリスマリネリスと呼ばれる全長4000kmに及ぶ巨大峡谷が位置するタルシスドーム、それに二酸化炭素や水の氷で覆われた両極冠からなっている。また昨年のマーズパスファインダーがもたらしたデータから、地表にはかつて海や川・氷河などの大量の水が存在した痕跡が確認されている。しかし、現在では両極冠にわずかに存在するのみで、海岸線やアウトフローチャンネルと呼ばれる大規模な流れを起こしたと思われる大量の水はどこにも見当たらない。こうした



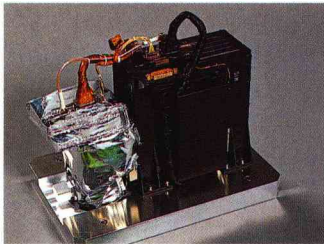
14個の科学測定器を搭載したプラネットBの外観。

大量の水の消失がどのような原因によって起こったのかを調べることは、地球や宇宙の創生メカニズムを考える上で重要な手がかりを与えることになる。

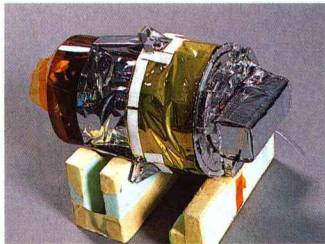
現在の火星は60Pa（1000分の6気圧）という非常に薄い二酸化炭素の大気で覆われている。しかし、これでは過去に存在したと考えられる大量の水を維持することは困難だ。つまり、火星では過去に大量の大気と水が存在し、それが何らかの理由で失われたことを意味している。二酸化炭素が消失した原因として、太陽風（太陽コロナから惑星間空間に放出されている希薄な超高速プラズマ流）が何らかの形でかかわっているのではないかという仮説が立てられているが、詳しいメカニズムは分かっていない。火星には地球のような惑星固有の磁場がないか、あっても非常に微弱だと考えられている。このため昼側では太陽風の影響を直接受け、大気が剥ぎ取られていると考えられる。しかし、その機構は実証されていない。また探査途中で通信を断ってしまったフォボス2が、火星の夜側で大量の酸素が流出しているというデータを送っている。

火星の大気には酸化鉄などの大量の塵が含まれている。この塵の量が大きく変化することで1火星年の気候変動が生じる。また地表圧力が低いため放射冷却により1火星日の地表気温も大きく変動する。また大規模な砂嵐が頻繁に発生しており、非常に激しい気象変動が観測されている。

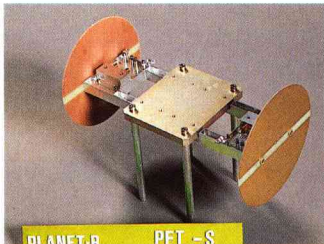
目標としている「火星上層大気と太陽風の相互作用」を解



火星地表を撮影する火星撮像カメラ。



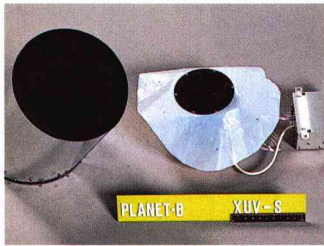
磁場計測器。



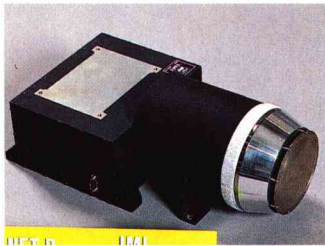
電子温度プローブ。



電子エネルギー分析器。



極端紫外撮像器。



イオン質量分析器。

明するためには、こうした気象変動の影響を避ける必要がある。そのためプラネットBは、極軌道に近い位置で最も低い高度で150km、最も遠いところで51000kmという長楕円軌道を描く。

来るべき宇宙時代に備えた 工学技術発展の側面も

プラネットBの打ち上げには、火星探査という直接的な目的のほかに、工学技術の確立という側面もある。プラネットBでは火星の大気と太陽風の影響を調べるほか、大気中のヘリウム4（⁴He）の量を測定することで、火山活動の状況を測定するといった目的もある。このため14の科学観測機が搭載されている（うち4個は海外の研究機関のもの）。にもかかわらず、



一般公募で選ばれたネームプレート（約27000人分）がプラネットBに取り付けられている。



科学衛星打ち上げ用に開発された3段式固形燃料ロケットM-V-3。



M-V-3のノーズフェアリングに取り付けられるプラネットB。



M-V-3打ち上げを行った管制室。

自重は540kgに抑えられており（うち観測機器の重量は35kg）、マーズパズファインダーの1トンと比べて軽量化が進んでいる。これは水素吸蔵合金を用いた電池や高効率太陽電池、新しい基板材料を用いた実装技術など、各分野の専門家による努力が積み上げられた結果だ。

また打ち上げ技術の側面からも、いくつか注目すべきものがある。今後、人類は国際宇宙ステーションや衛星通信網の整備など、宇宙時代に本格的に突入する。そのとき科学衛星だけでなく、商業衛星の需要が急増する。またそう遠くない将来、ひょっとすると宇宙旅行といったことが実現するかもしれない。機材や人間を宇宙に運ぶロケット技術は、国家の科学技術・産業を左右する可能性がある。プラネットBの打ち上げに使われたM-V-3ロケットは、1970年代のラムダロケットに始まる科学衛星用ロケットの直系にあたる。第5世代のM-V型は全長30.7m、直径2.5m、全重量139トン、打ち上げ能力1800kgを実現している。

さらに燃料を含めた軽量化のため、地球引力圏を脱出するまでに5.5ヵ月をかけて月軌道に移行し、2回のスイングバイを

実施して、再度地球軌道に移ってから火星軌道に向かうというユニークな軌道設計を行っている。

そのほか、地球と火星間では電波伝播の遅れが往復40分を超える時期もあることから、リアルタイムでリモートコントロールすることは不可能となっている。このためプラネットBはほとんどの動作を自律的に行えるようプログラムされている。

1998年12月に地球軌道を離れたプラネットBが火星軌道上に到着するのは、1999年10月11日の予定。今後、宇宙科学研究所では、火星からサンプルを持ち帰るサンプル・リターン計画も検討中という。プラネットBはこうした将来の火星探査計画に必要な基礎データを集める上でも、重要な役割を担っている。

参考文献

- 岩波講座：地球惑星科学12 比較惑星学、岩波書店（1997）
ISASニュース：No.203、No.204、No.205、No.206、No.207、No.208
（宇宙科学研究所ホームページ）
ニュートン別冊：火星生命の謎、教育社（1997）
高柳雄一、松本俊博著：火星着陸、NHK出版（1998）

〔写真・資料提供：文部省宇宙科学研究所〕



Steel 鉄の点景 Landscape

日本の甲冑は時代とともに独自の発達をとげ、移りかわっていったが、その最大の焦点となったのは、やはり戦国時代だと考えられるだろう。この時代にはいわゆる集団戦での機能性を重視した当世具足^{どうせいぐそく}といわれるものが発達し、南蛮とよばれた西欧文化の流入もあって、甲冑もその影響を受けた。戦国の世が終わると甲冑は実用ではなく、むしろ格式のための装飾品となってゆく。その意味でも戦国時代がひとつの節目になってくるだろう。今回は戦国の当世具足をひとつのきっかけとして、鉄の衣装・甲冑に目を向けてみる。

戦いの衣装としての鉄

か　っ　ち　ゅ　う

甲冑

時代の躍動を感じさせる当世具足

写真の甲冑は戦国時代を駆け抜け、奥羽の覇者として名を馳せた伊達政宗の愛用と伝えられるものである。4カ所の蝶つがいにつながれた5枚胴のもので、大量の鉄板が使用されている。鉄板の表面は黒漆で仕上げられ、全体として堅牢なつくりである。政宗の霊廟である瑞鳳殿を発掘調査した際、腐食は進んでいるものの、ほぼ同型の具足が見つかっており、政宗がこの形式をとくに好んで愛用したことが改めて確認されている。実戦主義を旨とした政宗の姿勢がうかがえる甲冑である。

この形式の5枚胴は関東や東北で多く用いられ、関東具足とか仙台胴具足と呼ばれた。戦国時代に普及したいわゆる「当世具足」には肩を防御する袖の部分が小型簡略化されたものが多いが、政宗の具足ではとくにその傾向が強く、代わりに小鱗ひれといわれる鉄板の張り出しで肩を守るようにつくられている。

甲冑は時代にともなまってさまざまな変遷をみせるが、戦国時代の当世具足、とりわけこの伊達政宗愛用の甲冑などが「鉄を着る」というイメージにもっとも近いものといえるのではないだろうか。甲冑が「ハレ」の装いであることを思えば、戦国時代の装いの中心となった素材は、「鉄」だったことになる。

全体としてストイックとも思えるほど機能的につくられている政宗の甲冑だが、額に取り付けられた三日月を思わせる前立てが派手派手しく目をひく。実はこうしたデフォルメも当世具足の特徴のひとつといえる。戦国時代には、それ以前の馬上での一騎打ちという戦いの形式から歩兵が大きな比率を占める集団戦への移行が一段と進んだ。当世具足の特徴は、こうした集団戦で効を奏するために、動きやすさと防御効率を高めた点にあるが、同時に集団の戦いでは、将となる存在のシンボル性をひき立たせる必要性も出てきた。一軍の将たる者であれば明らかに際立った存在感を誇示している必要があり、そこに当時の伝統打破的な風潮が重なって、大胆ともいえるべき数々の意匠が生まれた。徳川四天王といわれた本多忠勝は、仰々しいまでの鹿角を兜にかざしたし、井伊直政は金属板のアンテナのような角を取り付けた。そのほかにも一の谷の險し



黒漆五枚胴具足（重要文化財）。

崖をモチーフにしたものや、さまざまな獣など、前衛的といえる意匠も多い。武將は戦場では自己の存在をいかにアピールするかを重視したため、軍の長以外の者でも、突飛な甲冑を着用することがあった。奇をてらったものでは人体を型どった肌色の胴に毛髪様に毛皮をあしらった同じく肌色の兜と面を組み合わせ、半裸に見せようとするものなども流行している。

機能、装飾性、格式……

武士が台頭してきた平安後期頃から、源平の合戦の頃にかけて確立されていった鎧兜、いわゆる大鎧おおよろいといわれるものは、接近した間合いの騎上から矢を放つ「射撃戦」を前提としたものだった。「やあやあ我こそは……」という名乗りから始まり、矢を射ちつくした後は、刀を交え、最後には馬から引きずりおろして格闘の末にとどめを刺す。そうした戦いでは、全身を防御する大鎧が効果的だったようだ。

しかし徒歩での集団戦が一般化し、鉄砲も登場してくるようになると、動きにくい大鎧に代わって、より機能性を追求した当世具足が登場してくる。当世とは「今風の」という意味だが、これがいわば当時の「ニューウェーブ」だったのだ。それまで鎧の多くは武士の晴れ着だったこともあり、赤、浅葱色、紺など、鮮やかな糸や革で鉄板をつなぎ合わせていた。鎧の場合こうしたつなぎを「威」とよぶが、大鎧などそれまでの伝統的なものでは鉄板に多数の穴をあけてつなぎ、いわゆる毛引威けびきおどしといわれる方法が採用されていた。われわれが源平合戦の武者を思い浮かべる時の、鮮やかに刺繍どりされたような鎧の外見は、装飾性の高い毛引威による効果なのである。それに比して当世具足では、穴の少ない素懸威すけおどしが多く採用されており、強度の点でも、また水ぬれの後の乾燥の速さなどの点でも利があった。5枚の鉄板で胴をつくった「最上胴」のほかに、前後2枚に分けた「仏胴」ぼとけ（つくりが仏像の胴体のようなところから）や、胴丸と呼ばれる剣道の防具に見られるような形式の



伊達政宗画像。

ものが当世具足では多く用いられたようである。

その後、江戸の太平の頃には、甲冑はむしろ工芸品として装飾性をエスカレートさせていく。実用から離れたこともあり、当世具足で見られたような進取の傾向はなくなり、むしろ格式を重んじるために古式趣味になっていく傾向があったようだ。それが幕末の頃になり再び騒乱の気配が世を覆うようになると、武士たちはもういちど戦闘の装いとしての鎧を求め始める。しかしすでに火力の力が圧倒的になってきており、甲冑では防御しきれない時代となっていた。それでも武士としての装いを、ということから、鉄ではなく、革を漆などで固めた軽量で動きやすいものがこの頃かなり出回った。今日風にいうならスポーティタイプとでもいうべきだろうか。時代の流れというのは時に複雑な文化を残すものであることを実感させられる。

[写真提供：仙台市博物館]

仙台市博物館

関ヶ原の合戦の年に築城が始まった仙台北城三の丸跡に建てられた仙台市博物館では、仙台北藩にかかわる歴史・文化・美術工芸資料を多数収蔵している。写真の黒漆五枚胴具足のほか、伊達家歴代藩主所用の武具なども多数展示されている。

休館は月曜日、祝日・振替え休日の翌日、12月28～1月4日

問合せ先：仙台市博物館 情報資料センター
TEL 022-225-3074

仙台駅より市営バス「宮教台」「青葉台」行き、博物館・国際センター前下車
車の場合は仙台北宮城インターより約10分



特別講演

□渡辺義介賞受賞記念

鐵とともに —高炉を支える原料技術— 北村卓夫

Takuo Kitamura

A Life with Ironmaking

—Raw Materials Technology of Importance for Blast Furnace Operation—

1 はじめに

このたび栄えある渡辺義介賞をいただき、誠に身に余る光栄と存じ、厚くお礼を申し上げます。これもひとえに関係各位のご指導ご支援の賜物と、深く感謝申し上げます。

顧みますと、製鉄所におきまして工場の操業、建設と管理に30年、本社での技術協力と研究開発に10年と、様々な仕事を通じて多くを体験させて頂きました。それらは数多くの皆様に支えられての成果でありました。旧い仕事は時間が経っているものでありますし、最近の仕事は皆さんと共に努力して結果を出してきたものでありますゆえに、特定の具体的なことをこの場でご紹介することに躊躇致しますが、この機会をお借りして、現在の鉄鋼の技術者の皆様に、私の経験からの思いと、高炉操業を支える原料技術について、お話ししたいと思います。

2 物造りの本質について

振り返りましてこの40数年間、日本の鉄鋼生産は1千万トンから1億トンへ、そして数多くの高度な製品創りへと、量と質の両面で目覚ましい進歩を遂げてまいりました。

入社当時と較べて、何が変わり何が変わっていないか、と考えて見ますと、変わっていないことは、当然のことながら、物造りの本質にあるといえます。『自然の法則は、自然の中にしかない』と先人が申されておりました。

2.1 自然の法則は自然の中で

物造りの原点とは現場を視ることです。物造りとは自然の摂理を科学的に応用したものです。現場を視ることによって状況が判り、おかしい事に気付き、疑問が湧いてきます。生産の流れの中で自分なりのポイントを定め、現場を視ることから始めねばなりません。技術を本務とされる

皆さんは、これを十分に承知されている筈なのですが、システムに囲まれ、業務の情報量も増え、多忙なこともあって疎かになります。その時は些細なボディブローであっても、個々人も会社もこれを永い間受け続けていると、何年か経って振り返った時には取り返しのつかないことになってしまいます。

例えば修理の日は、現場を観察するにはまたとない機会です。会議などによって現場に行けないことはもったいないことだと思います。

システムの時代になり、理屈が判らなくても物を造ることが出来る時代になりました。しかし理屈が判って物を造れば、それは飛躍と進歩に繋がります。バーチャルなシステムや無人の装置が出来ても、現場は残ります。システムを介して物を造る日常にあって、時には現場との直接的な対話が必要だと思います。

2.2 システムの良さと怖さ—見えないシステム、見ない人

一方、目覚ましい変化を遂げたのは、プロセスを制御するシステムだといえます。当時は、これ程までに進歩・普及するなどは予想も出来ませんでした。

今日の日本の鉄鋼生産と技術が世界最高のレベルにある所以は、技術をモデル化・体系化し、制御システムの駆使によって現実化し、安定した高品質・高生産・高能率・省エネルギーを達成したことにあります。しかしながらこのシステムが高度に発展した時、技術者はシステムを利用することだけに流され、しかも現場や現象を見なくても物が出来ることから、物造りの本質に触れる機会から離れることになる危険性が生じることを忘れてはなりません。

システムが構築された時の目的や技術レベルや環境、背景などの前提条件は時代とともに変化します。この変化に応じてもっと良い、もっと新しいものに変更すべきものがあります。構築当時の前提条件が判らないと、システムは

ブラックボックスに包まれてしまいます。現状のままシステムを使っているだけでも実害は些少で、その改善の必要性は見過されがちです。更にそのメンテナンスの改善は、責任の所在が不明確で、地味で専門家を含めた人手が必要とされ、時間や経費もかかり、疎かになってしまいます。メンテナンスし易いシステムを作ることが肝要です。しかし現場や現象を視て素朴な疑問を抱き、基本に照らして頭を整理することで、システムの前提条件の中の矛盾に気が付くことが出来ます。

システムによって莫大な効果が得られましたが、それを過信するという弊害を技術者にもたらすことに繋がるという危険性があります。物造りのシステムは主役のように振る舞いますが、物造りの技術者にとっては現場が主役です。時には物造りの原点に還ってシステムを利用したいものです。システムに囲まれた中で技術を伝承するにはどうすれば良いのか、皆さんと考えていく必要があります。

3 現場からのメッセージ

私は入社して室蘭のコークス部門に配属されて以降、高炉操業に果たす原料技術の役割りがいかに大きいか、を感じてまいりました。敗戦後の原料入手難で高炉操業がいかに難渋したか、その後の原料の安定供給と原料技術の進展がいかに高炉操業を支えてきたか、を考えてみれば明らかです。入社した当時は、戦後の再建から朝鮮戦争を経て工場の生産も活発で軌道に乗ったところでしたが、コークス炉には炉蓋の周りを粘土で目塗りするという旧型の作業も残っているという時でありました。

現場は、日本で始めてコーライトを開発した工場でもあり、その新進の気風を受け継ぎ、手持ちの設備を工夫して改造したり、新しい工場実験が次々に行われるなど、積極的な活動がなされておりました。1950年代半ばから強粘結炭の節約を目的とした石炭の事前処理技術が注目され、原料炭組成成分の粘結性や事前処理とコークス強度の関係の研究などがフランス、ドイツ、そして我が国で始まり、多くの研究が発表されました。室蘭でも、石炭への油添加による密度評価試験や、石炭組織成分に注目してアメリカ炭をノボローターミルという微粉碎機に熱風を吹き込みながらコークス製造実窯試験を行うという試みが行われました。これらから、強粘結炭の微粉碎と弱粘結炭の粗破碎によって、強粘結炭を節約しても粘結成分の分散と装入密度の上昇によってコークス強度を維持できることが判り、石炭処理技術の方向が明確になりました。北海道炭をベース炭として、どのような石炭をどのような形で配合すれば強度が出るのか、などの試験も行われました。これらの成果

が後年の東海製鐵での、炭種別選択破碎設備の実現に繋がりました。

工夫してやる気があればどんどん結果が出るのが現場です。現場が発信しているメッセージは一杯あることを学びました。

3.1 高炉とともに歩むコークス技術

1960年代始めに東海製鐵の建設が始まり、上司と二人で石炭処理とコークス炉の建設企画を担当しました。原料から成品までの流れがL字型にレイアウトされ、輻輳した物流が避けられ、効率と生産性を狙った理念が明確な近代的な製鉄所でありました。その自由闊達な雰囲気の中で、議論が進められました。

高炉の内容積は最終的には当時最大規模の2021立方メートルに定まり、これに対応した大型コークス炉の建設を主題として掲げました。コークスに関する当時の権威の方々のご意見を伺うべく、全国を廻りました。その結果は半分強の方は慎重論、半分弱の方が賛成論、でした。慎重論の由来は、燃焼温度管理や炉蓋管理の難しさ、過大な労働負荷の懸念から、時期尚早ということでありました。また日本での装入炭の揮発分は約30%であり、大型炉を採用しているドイツでは約25%で、揮発分が多くなる程炉蓋管理が難しくなる訳ですから、この差が心配でもありました。

しかし当時の室蘭では大型化の方向にあり、社内は総じて積極論にありました。今後石炭の品質も安定化するであろうし、端燃焼室の燃焼改善で炉蓋管理も向上するであろうし、労働慣行も理解されると考えました。その結果、燃焼管理が容易なDKH式大型炉の採用が決まりました。炉出し作業も、従来には無い135本/日・1チームとし、当時最大の高炉にコークス1炉団1チームが対応するという態勢が可能となりました。

臨海製鉄所の建設が進み、高炉の大型化に応じて、図1に示しますように生産性の高い大型コークス炉の建設が急激に拡がりました¹⁾。我が国では60年代半ばからの10年間に大型炉の建設が集中しておりますが、欧州4ヶ国では大型炉だけでなく、従来炉のリプレースがなされていることが注目されます。

大型炉の建設と並行して展開されたコークス技術として、コークス品質の向上、省エネルギー技術、そして設備技術が挙げられます。石炭の事前処理技術として選択破碎、成型炭装入、乾燥石炭装入、石炭調湿法などが次々と実用化され、密度上昇・急速加熱によるコークス強度の改善、使用炭種の拡大によるコスト低減などの大きな成果に繋がりました。環境対策やCDQなどの省エネルギー設備の採用充実も進みました。その後に燃焼自動制御や熱間炉体補修、

高炉とともに歩むコークス技術

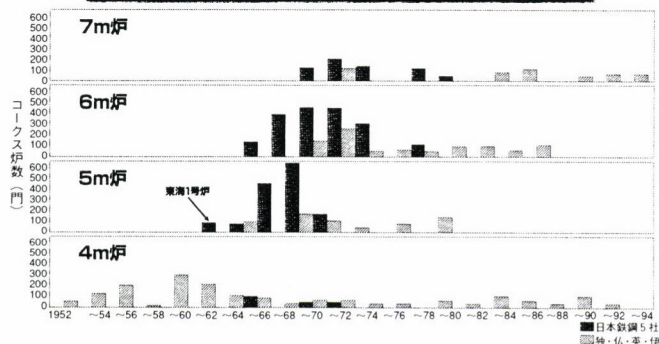


図1 コークス炉高さ別設置門数と建設時期の日欧比較¹⁾
(日本鉄鋼5社と欧州4ヶ国との比較、1996年末時点での稼動炉)

無人化操業へと展開し、更に新しい発想での極限技術として、国家プロジェクトであるSCOPE21の開発へと引き継がれております。

後年従事しましたプレカーボン法は、230度の高温での石炭予熱プロセスであり、生産性向上、コークス強度の向上、省エネルギー、一般炭の使用拡大を狙ったものでありました。当時のコークス操業としては初めて高度な制御システムを導入し、爆発防止、高温での石炭のハンドリング、タールへの石炭汚染など、多くの課題がありましたが、対策を施して順調な稼動を実現することができました。

始めは難しいと思われる課題に対しても、努力と工夫によって大抵の事が克服できるのが、日本の技術であると思います。大きな目標に挑戦することが大切だと思います。どの分野でも5年経って振り返った時、技術の進歩に驚かれた経験を持たれた方が多いと思います。

コークス品質についても、従来の冷間での壊裂強度という指標ではなく、高炉内の挙動に基づいた熱間強度CSRという日本独自の指数で管理することになりました。図2に示しますように、CSRが高くなると高炉操業の変動が低減し、燃料比も下がることとなります²⁾。現在では海外でも使われている指標です。高炉の解体調査によってコークスの反応性状が明らかになったこと、輸入炭種類が増えた結果、同じ壊裂強度でも高炉内挙動が異なるという、疑問と現場のメッセージがこの指標を産むヒントになりました。

先に示した図1から明らかなように、現在のコークス炉の大半は25年以上を経過しております故に、この寿命問題も大きな課題です。SCOPE21の推進と並行して、現有炉の長寿命化にも取り組まねばなりません。装入炭の低湿分化や配合管理によって膨張による炉壁への負荷を低減し、必要に応じて熱間補修を施し、炉蓋のメンテナンスによるガスシールの維持などによって寿命の延長を図らねばなり

コークス品質と高炉操業

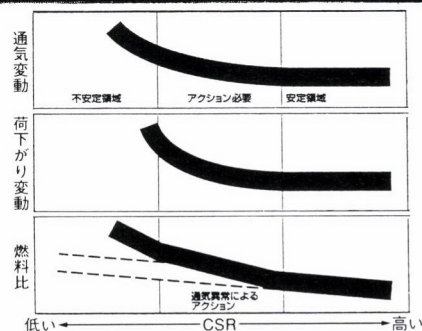


図2 コークス熱間強度と高炉操業の関係の模式図²⁾
(CSR：反応後のコークス強度)

ません。現有炉の建設の時期に、日本の煉瓦の品質が格段に向上していることを考え合わせ時、コークス炉に注目して充分な管理をすれば、寿命の延長が期待されます。

3.2 高炉を支える焼結技術

高炉の内容積は1964年に2000立方メートルに達し、その後の10年間で5000立方メートルまで大型化されました。ご存知のように容積の拡大は炉床径を拡げることで対応し、高さは炉容によらずあまり差はありません。これは高炉内の還元反応と通気性から最適な高さを選択しているためです。君津製鉄所の初代第3高炉は4063立方メートルで、同程度の容量の高炉に比して約2メートル高くしております。これは反応性を高め、燃料比を下げ、生産性を高めるという大胆な試みでした。その理念から、使用原料として焼結とペレットの配合を他高炉よりも高い値に設定しました。折からの石油危機による電力や重油の制限から、焼結の高配合が困難なこともありましたが、高炉操業に及ぼす原料の役割りは大きく、同高炉の設計理念を完遂するという全社的な合意が得られ、安定した操業によって成果を得ることが出来ました。つまり、設備がいかなる理念で作られたか、ということを引き継いで、その中で、現状からどうするか、を考えることも重要です。

図3には焼結鉱比率(SR)と高炉操業の関係を示します。これ以外にも焼結鉱品質や高炉操業条件などの要因も関係しますが、焼結鉱配合が増加すると操業が安定化することが理解いただけだと思います。

1970年代の室蘭では最新鋭の焼結設備が稼動し、操業と品質改善に取り組みました。特に鉱石・粉コークス・副原料などに対して粒子レベルに注目したミクロな視点での取り組み、例えば造粒・結合・融解・強度・反応性・通気性などの解明に注力しました。設備の工夫として塊破碎設備

焼結鉱品質と高炉操業の改善～室蘭製鉄所での事例

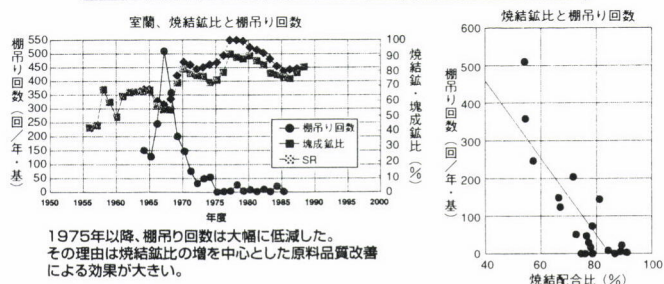


図3 焼結鉱比と棚吊り回数の関係を示す事例
(SR：焼結鉱比、新日本製鉄(株)室蘭製鉄所資料)

を設け、低品質の塊鉱石を破碎して粉とすることで最適な焼結鉱を造る態勢が整いました。

鉱石の事前処理技術によって焼結鉱の粒度・強度・還元粉化率・アルミナシリカ成分などの品質向上に繋がります。原料処理の自由度を持つことが、高炉操業に役立つことを実感しました。

特に最近の微粉炭多量吹き込み操業では、高炉内条件が厳しくなるものでありますために、高品質・低スラグ焼結鉱が高品質コークスとともに大きな成果に結び付きます。図4は昨秋の高炉操業データから、微粉炭吹き込み量・スラグ比・焼結鉱還元率(RI)の関係を整理してみたものです。多量の微粉炭吹き込みは高品質原料に支えられていることがお判りいただけると思います。

また安価原料としての劣質原料(褐鉄鉱系鉱石)の使用を拡大するための技術も大きな課題といえます。劣質原料の使用量の増加の実態を図5に表しました³⁾。これらをどのように焼結処理して良い焼結鉱を得るか、については既に大きな成果が挙がっていますが、高炉操業からの制約を尊重しながら、更に劣質な原料を多く使用して原価を下げ、資源事情を緩和するという大きな目標に向かって今後も取り組まねばなりません。

3.3 世界をリードする高炉技術

高炉操業技術の改善や安定操業の努力、そして原料品質の向上や原価低減を目指した取り組みが、新立地の電気炉との競争強化を背景とし、従来にも増して注目されています。

高炉の競争力の基本は安定操業にあります。このためには原料条件と操業条件の適正化が鍵となります。

今日では高炉反応の科学的な解明や体系化が随分進んでおりますが、1960年代後半の時期、東海製鉄で管理業務に

原料品質と高炉微粉炭吹き込み

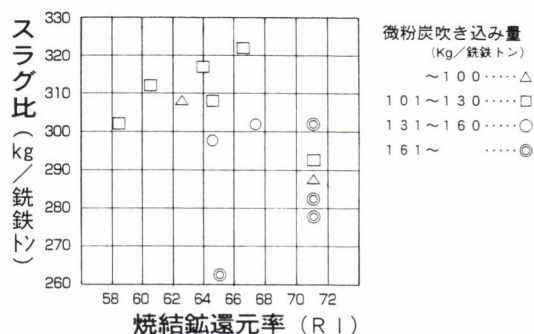


図4 微粉炭吹き込み量と原料品質の関係
(1997年11月時点での日本の製鉄各社の高炉操業実績から作成)

原料の劣質化 安価原料の使用拡大

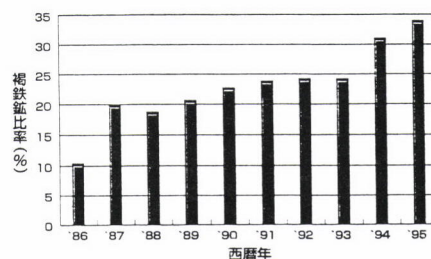


図5 日本での焼結用輸入粉鉱石に占める褐鉄鉱比率の推移³⁾
(褐鉄鉱：ピソライト鉱石およびマランバ鉱石)

ありました時、「高炉を反応容器として化学工学的に解明せよ」という幹部からの指示を受けました。例えば吹き抜け現象を化学工学的に解析するとか、制御工学的にセンサーを駆使することによって前兆を捉えて防止する、などの命題を掲げ、高炉部門・熱技術部門・計測制御部門などが会して熱心な議論を行いましたことは、高炉操業解析の手掛かりとして貴重でした。漫然と「高炉は高炉」として受け止めていた私にとって、新しい科学技術の視点に立って何故何故という疑問を持ち、何とかならないかという執念が改善開発に繋がることを強く印象付けられたのであります。

高炉は燃焼通気反応であります故に、原料品質とともに操業条件として装入物分布が大きな要因となります。室蘭には日本初のベルレス高炉とムーバブルアーマーを装備したベル高炉という二つの装入方式の高炉があり、ガス流制御のための最適な装入物分布の解明に挑戦しました。

旋回シュート形状・摩擦係数・磨耗・ホッパー形状・チャージ量・旋回シーケンスなど、分布試験を併行しながら解明努力を続けた結果、予想外に細かな因子が分布に影響

響するという知見を得て、高炉操業に応じた装入分布制御技術を確立致しました。この成果は、設備としては新第2高炉での垂直ダブルホッパーベルス式に継承され、操業としては周辺流／中心流の制御と中小塊原料の有効利用として生きています。

高炉は、生産量レベル・原料品質・微粉炭吹き込み等の前提に合わせて、送風条件や装入分布を工夫して操業しますが、コスト削減が最大の目標です。このために微粉炭吹き込み操業が注目され、現在ではほとんどの高炉で高レベルの吹き込みが実施されています。この時、即ち微粉炭吹き込みで低コストを指向した操業には、装入分布と共に原料品質に十分な配慮がなされねばなりません。多量の微粉炭吹き込みは炉芯・炉底・羽口前が汚染され易く、通気性が阻害され、熱的に不安定な操業になります。高品質原料はコスト面では矛盾するものですが、必要条件であります。

高炉操業における出鉄比・微粉炭(PC)吹き込み量・燃料比と原料品質の関係を図6に模式的に示します。原料品質が悪い時、出鉄比が上がらず、燃料比も上がる事、また設備には或る程度の余力が必要で出鉄比を抑えて操業すれば劣質原料の使用が可能で、操業のフレキシビリティが高い事、などの大切な指摘を読み取ることが出来ると思います。

多量の微粉炭吹き込みや羽口からの鉱石や還元原料の吹き込みは高炉操業にとって厳しい課題ながら、安定生産・コスト低減という大きな目標を達成するためには挑戦せねばならないものです。その時必要とする原料や操業の諸条件を明らかにして、逆に劣質原料を使用する時の最適操業条件を引き出し、安定操業を達成するための原料技術と操業技術とを確立せねばなりません。例えば微粉炭吹き込みの限界や条件について、必ずしも十分に解明されているとはいえません。技術が整理されると、こういう条件ならこういう操業をするという高炉の主張が判り易く理解され、安定操業によってその存在感を明確に示すことが可能とな

ります。

近年高炉各社が協力し、これまでの知見を基に、大学と連携して、高炉操業を学術的に解析することに成果が挙がっていることは誠に心強いことで、わが国鉄鋼業の競争力維持の大きな力となっております。

4 技術を創り技術を支えるのは人

鉄鋼は成熟した領域といわれております。日々の現場は確かに安定して変化の少ない面もあります。人が育ち、人を育てるのは、素朴な疑問と基本の整理、そして変化です。素朴な疑問を理論と照らし合わせて自分で体系化し、取り組む姿勢で日常の生産の中での変化が見えて来ます。改善を図ったり、視点を変えてみたり、領域を拡げたり、また従来観念をゼロに戻して発想を再構築するのも一つの方法です。プロジェクトに参加したり、技術協力を担当したり、外部との人事交流を図るのもポテンシャルの向上に繋がります。例えば技術協力には、基本や理念を整理・理解していないと教えることは出来ませんし、これまでとは違う世界の体験で視野が拡がり、その達成感や自信へと繋がります。

4.1 技術協力に学ぶ

私自身も幾つかの技術協力を経験しました。上海宝山製鉄所への協力では、途中参加と高炉火入れ前の転出という経歴でお話しする資格はないのですが、多くのことを学ぶことが出来ました。その第一は「中国のため」という哲学です。この基盤があればこそ、建設中断があっても、信頼関係は揺るぎませんでした。第二は段階的に整理された進め方の存在です。即ち、初歩的計画・基本設備計画・購入仕様書・見積もり検討・設計承認・製作・出荷・工事・試運転・操業準備・操業という11段階のステップを、ハードとソフトの概念について、中国側の理解を得ながら、清々と作業を進め、膨大なドキュメントを整備しつつ実行致しました。第三は最新の技術としてモデル工場を定めるという方策です。例えば高炉は君津第3高炉が設定され、体験済みの完備した技術をもって実行しましたゆえに、極めて順調に技術移転が推移しました。

明確な方針による哲学と安定した技術が協力の支えであり、中国にも役立ったと思います。多くの方々に支えられ、苦労をお掛けしたプロジェクトではありましたが、製鉄所が順調に稼動したことが喜ばしく、また報いられたことです。

戦後、買うエンジニアリングから、売るエンジニアリングとして総合力を発揮した一つの事例です。

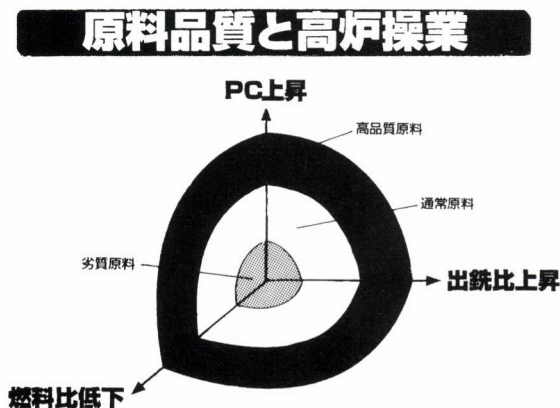


図6 高炉操業に及ぼす原料品質の関係を示す模式図

買う技術から売る技術へ

買う技術 買うエンジニアリング

買い手に主導権
基本技術の確認不足
相手への依存・責任の転嫁
勉強追及のてらい
より良いものへの改善の自信

売る技術 売るエンジニアリング

基本の整理
体系的整理
技術の優位性、差別性の整理
技術の熟成度
権利・瑕疵の確認
ドキュメントの準備
責任の明確化
曖昧さは許されない
インダストリアルセンスの
余地はない

図7 売るエンジニアリングの基軸

4.2 常識への挑戦、絶えず疑問を抱くことの大切さ

一般的に図7に示しますように、買うエンジニアリングはこちらに主導権があり、より良いものへ自分で展開できる自由度が残りますが、売るエンジニアリングは全く性質の異なるものです。つまり他との差別性の明確化、保証できる技術として体系的な整備の必要性、責任の明確化が必要です。曖昧さは許されません。私共の周りには、素朴な質問に十分な回答ができないことが多々あり、常識の怖さも感じます。インダストリアルセンスで当たり前と思っていると、整理されておりません。インダストリアルセンスは互いにカバーし合って、仕事の瑕疵や個々人の責任を曖昧にしてしまいます。常識・インダストリアルセンス・過信などが、隠された「技術の怖さ」に繋がっています。絶えず疑問を抱くことが大切です。

4.3 研究開発は人

研究開発を担当した中で、人の重要性に関して思うことを一言だけ申し上げますと、研究は他部門と少し異なって、その独自性・オリジナリティーに期待している訳でありますので、その成果を得るためには、配置・担当の継続性、ローテーション、処遇をいかにすべきかという考慮が大切です。研究では人に投資している、という面があります。研究者が替われば、個人のポテンシャルのみならず、外部との繋がりなども共に移ってしまいます。計画的に後継者を育てることが必要です。またその専門性に対する評価も容易なことではありません。基本的には成果主義でしょうが、中期的な取り組みや基礎的課題の場合には、外部評価

をより尊重すべきだと思います。また全体として、リカバリーショットを打てる態勢にしておくことが、モラルや活力の維持向上にとって重要です。

5 おわりに

高炉操業にとって原料が果たす役割りが大きいことを申し述べてまいりました。高炉技術と原料技術を総合した技術を確認し、与えられた前提条件から、安定操業・最適操業を果たすことが重要で、それに対応できるように設備もフレキシビリティを有して充実する配慮が必要です。

20世紀は、量と質、そしてコストを下げるという目標に向かった極限技術を追求してまいりました。21世紀は「環境」がキーワードです。それには単に環境に対応するというのではなく、環境を取り込んで一体となる、という広い視点からの鐵造りが必要となります。環境に、エネルギーに、資源に、社会との関連を念頭に、更にポジティブに展開する時代を迎えております。

これまでに培ってきた原料や操業の柔軟性は、高炉にとって、技術とコスト競争のための大きなポテンシャルに繋がります。技術者として技術の極限を追求し、今後の課題に自信を持って取り組んでいただきたいと思います。

鐵は材料としては地味な存在ですが、次世紀においても社会資本を築き、人の生活に密着した材料として大きな役割を果たし続けると信じております。

『使われて評価される鐵造り』に全力を挙げなければなりません。また『魅力ある、活力ある産業』、『社会への貢献が認められる産業』にならなければなりません。その最大の要件は、技術を育て、技術を展開する「人」というソフトです。育てて欲しい、と願っております。

最後になりましたが、鉄鋼協会が、産官学の力を合わせて活動する場として、益々に充実発展されることを心から期待しております。

参考文献

- 1) IISI原料委員会資料, Coke and its Alternatives, (1997)
- 2) Yasushi Ishikawa: Proceedings Ironmaking Conference, 42 (1983), 357.
- 3) 稲角忠弘: 鉄と鋼, 82 (1996), 1.

(1998年5月13日受付)



入門講座

分析試験法編-5

グロー放電発光分光分析

山本 公

Akira Yamamoto

川崎製鉄(株) 技術研究所
分析・物性研究部門 主任研究員

Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy

1 はじめに

発光分光分析法は古い歴史を持つ分析法であり、その優れた特性、汎用性より、スパーク放電発光分光分析法をはじめとして広く鉄鋼業に用いられている。

グロー放電発光分光分析法(Glow Discharge Optical Emission Spectroscopy: GDS)もこれらの発光分光分析法の一つであり、光源として減圧式グロー放電プラズマを用いるものである。グロー放電には正規グロー放電と異常グロー放電という二つの放電形態があるが、このうち異常グロー放電では陰極面(試料面)全体にスパッタリングが生じる。このときスパッタされた粒子はグロープラズマ中で励起され、その結果放出されるスペクトル線の波長位置より元素の定性分析を、強度より元素の定量分析を行うことができる。したがって、発光光源としてのグロー放電の特徴は、スパッタリングを利用する光源であるということにある。

試料はスパッタリングによって表面より順次エッチングされている。このスパッタリングを積極的に利用することにより、グロー放電発光分光分析法は試料に含まれる元素の深さ方向濃度分布を定量分析することができる。グロー放電管は当初スパーク光源にかわる安定光源として開発され、バルク分析への適用が研究されていたが、この深さ方向定量分析が迅速に行えるという特徴があるため、鉄鋼業においてはめっき鋼板のめっき層深さ方向分析などの表面分析に広く利用されている。

本稿では、グロー放電発光分光分析法の原理・装置と分析法を述べたうえでいくつかの応用例を紹介する。

2 原理と装置

2.1 スパッタリング

グロー放電発光分光分析法は、放電ガスイオンが試料に衝突しておこるスパッタリングにより、試料表面の原子を試料からたたき出し分析する方法なので、ここで簡単にスパッタリングについて説明する。

数十eV～数十keVの運動エネルギーを持つイオンを固体表面に照射すると、試料原子はこの運動エネルギーの一部を受け取る。このとき受け取った運動エネルギーが一定の値を越すと、原子は格子点からはじき出され、さらにまわりの原子と衝突する。この衝突が繰り返された結果、試料表面の原子が周囲の原子との結合エネルギー以上のエネルギーを得ると、その原子は試料から放出される。このような現象をスパッタリングという。

2.2 グロー放電

グロー放電は数百Pa程度の真空内におかれた一対の電極間に高電圧を印加したときに生じる気体放電の一種である。生成するプラズマには、イオン化した放電ガスが陰極表面に衝突するときに生じる電子が常に供給されるので、グロー放電は持続型の放電である。

平行平板電極を用いたときの放電の電流-電圧特性を図1に示す。図のE-F間は正規グロー放電領域とよばれる領域で、電流が増加すると陰極点面積も増大し電流密度が一定に保たれるため電圧増加はない。この領域では陰極面のスパッタリングはほとんどなく、放電ガスのスペクトルだけが観察される。F点を過ぎると異常グロー放電とよばれる領域にはいる。異常グロー放電領域では陰極面全体が陰極点となるため、電流の増加は電流密度の増加をともなうようになり、放電電圧は増大する。この領域ではイオン化された放電ガスによる陰極のスパッタリングが起こり、

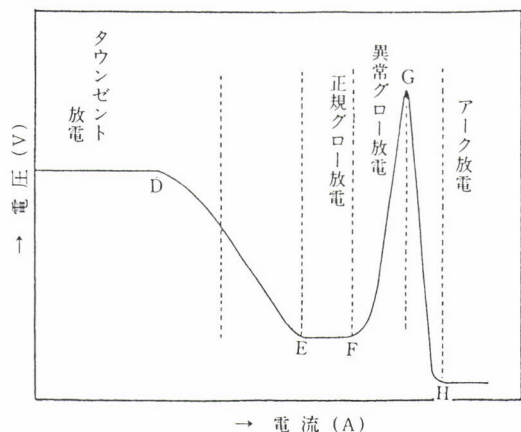


図1 気体放電の電流—電圧特性

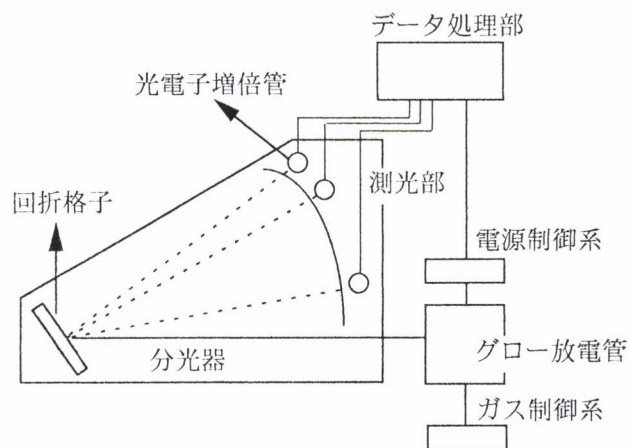


図2 グロー放電発光分光分析装置の構成

陰極物質のスペクトルが観察される。

この現象を利用して異常グロー領域において陰極に分析試料を用いると、分析試料の原子はスパッタリングによって表面から順次グロープラズマ中にたたき出される。たたき出された原子はプラズマ中の負グローと呼ばれる位置で電子との非弾性衝突により励起発光する。この励起発光した光は試料に含まれている元素固有の波長を有しているので、これを分光測定することによって元素分析を行うのがグロー放電発光分光分析法の原理である。

したがって、グロー放電発光分光法では、スパッタリングと励起発光を別の場所で行うことにより、より安定した励起を可能にしている。これはスパッタリングを用いる二次イオン質量分析法など他の手法と異なるグロー放電発光分光法の大きな特徴となっている。

2.3 装置

グロー放電発光分光分析装置は図2に示すように、光源であるグロー放電管、放電管で放出された光を各元素のスペクトルに分光する分光器、分光されたスペクトルの強度を測定する測光部およびデータ処理部からなる。分光器以降は通常の発光分光分析法とほぼ同じであるので、ここではグロー放電管について簡単に説明する。

現在広く用いられているグロー放電管は、グリムによって開発された中空陽極型グロー放電管(グリムランプ)である。グリムランプの基本的な構造を図3に示す。グリムランプの特徴は、陰極に接する試料と中空陽極管端面の間隔を十分に小さくし(0.1~0.3mm)、この領域と陽極管外周面—陰極間を高真空に保つことである。これにより陽極管端面—試料間および陽極—陰極間の放電が阻止され、放電は陽極管内面と陽極中空部に面する試料表面の間だけで起こる。その結果放電条件を最適化することにより、分析試

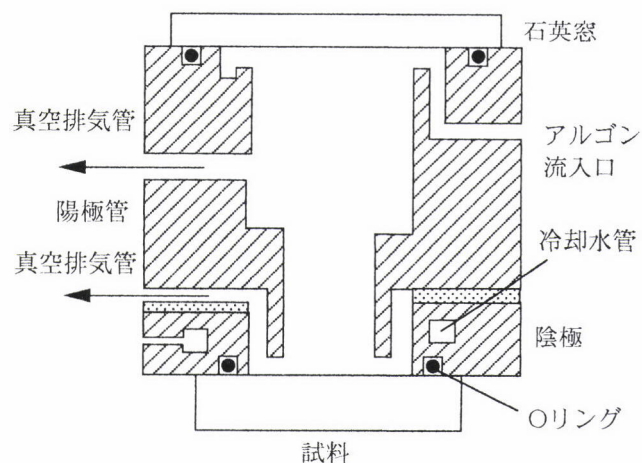


図3 中空陽極型グロー放電管の基本構造

料は陽極管内面に相当する部分だけが均等にスパッタリングされる。

分析操作は簡単で、試料を陽極管と対面させ、Oリングを介して陰極面に押し付けて設置する。これにより放電管内は大気と遮断され真空排気される。その後放電管内に放電ガスを導入し、所定の圧力にした後、陽極—陰極間に数100~1000V程度の電圧を印加するとグロー放電が生じ、試料に含まれる元素のスペクトルが測定される。一般に陽極管の内径は2~8mmであり、この大きさが分析面積となる。また放電電圧、ガス流量を変えることによりスパッタリング速度を制御することができる。なお、放電ガスには通常Arが用いられるが、Fなど励起電圧の高い元素にはNe—Ar混合ガスを用いる必要がある。

分析試料は陰極面のOリングを覆うことができる大きさであればよい。ただし試料は放電管の真空シールになること、試料—陽極管端面の距離は一定に保たれねばならないこと、試料自体が陰極になることなどのため、真空にひか

れることによって変形しない程度の厚さを持った平行平板で、導電性を有することが必要である。

グロー放電発光分光分析法ではスパーク放電発光分光分析法における対電極のような交換を必要とする電極がないので、検量線の校正作業を省くことができるという利点がある。しかし長期にわたる使用により分光器入射窓の汚れが心配されるときや、陽極管を交換したときなどは校正が必要になる。

3 定量分析法と定量精度

グロー放電は極めて安定な持続型の放電である。また減圧下での放電であるためスペクトルの自己吸収がないこと、スパッタリングを用いる方法であるため選択放電現象が少ないことなどの優れた特徴がある。このため鋼中元素の定量分析への応用が数多く報告されている。

バルク組成の定量分析には一般に標準試料群を使用した検量線法が用いられる。標準試料としては基準化学分析法によって分析された鉄鋼認証標準物質(例えば日本鉄鋼連盟製機器分析用標準試料など)が用いられる。

グロー放電発光分光分析法における定量精度に関しては、スパーク発光分光分析法のような共同実験を行って定量精度を求めたものはないが、我妻ら¹⁾が日本鉄鋼連盟蛍光X線分析用二元系合金標準試料FXSシリーズ²⁾を用いて検量線を作成し、市販のステンレス鋼の多元素定量を行った結果を表1に紹介する。表1に示す結果は、広い濃度範囲にわたる供試料が単純二元系標準試料により作成された

表1 市販ステンレス鋼の合金元素分析結果¹⁾

Sample	Atomic Ratio			
	Mn/Fe	Ni/Fe	Cr/Fe	Mo/Fe
SUS-410L	(0.010) 0.014±0.001	(0.001) N.D.	(0.163) 0.179±0.008	(0.001) N.D.
SUS-430	(0.010) 0.015±0.002	(0.005) N.D.	(0.230) 0.254±0.012	(0.001) N.D.
SUS-304	(0.029) 0.031±0.001	(0.249) 0.242±0.012	(0.342) 0.353±0.013	(0.003) N.D.
SUS-304	(0.025) 0.026±0.002	(0.127) 0.119±0.008	(0.304) 0.315±0.020	(0.002) N.D.
SUS-304L	(0.025) 0.026±0.002	(0.156) 0.149±0.007	(0.306) 0.319±0.019	(0.002) N.D.
SUS-321	(0.024) 0.024±0.002	(0.140) 0.133±0.008	(0.279) 0.307±0.017	(0.002) N.D.
SUS-316	(0.022) 0.018±0.001	(0.161) 0.154±0.007	(0.290) 0.279±0.016	(0.020) 0.024±0.002
SUS-316	(0.029) 0.028±0.002	(0.151) 0.138±0.008	(0.269) 0.283±0.016	(0.023) 0.028±0.002
SUS-316L	(0.027) 0.024±0.003	(0.222) 0.209±0.007	(0.300) 0.319±0.019	(0.024) 0.031±0.004
SUS-309S	(0.030) 0.036±0.003	(0.236) 0.220±0.011	(0.426) 0.467±0.029	(0.002) N.D.

() : 日本鉄鋼協会II蛍光X線分析分科会の共同実験による分析値

検量線で分析されたものであり、グロー放電発光分光分析法ではプラズマ中での干渉効果が小さい、すなわちマトリクス効果が小さいことを示している。

4 深さ方向分析

グロー放電発光分光分析法ではスパッタリングが表面から深さ方向に順次なされるので、連続的に分光測定を行うことにより表面から深さ方向に元素の濃度分布を分析することができる。同様の深さ方向分析は表面分析法である二次イオン質量分析法やオージェ電子分光法で行われているが、これらの表面分析法に比べてグロー放電発光分光分析法は超高真空を必要とせず、またスパッタリング速度を大きくすることができることから、迅速な深さ方向分析が可能である。さらに極表面から100μm程度までの広い深さ範囲で深さ方向分析ができること、数mmの領域で平均的な深さ方向濃度分布が得られるという特徴を持っている。

この特徴を生かして、鉄鋼では電気合金めっき鋼板のめっき層合金組成およびめっき付着量の分析や、めっき／鋼板界面の分析などに広く工程分析として用いられている。

深さ方向分析を行ううえでは深さ方向の分解能が重要になる。深さ方向の分解能を高くするためにはスパッタリングを分析面内で均一に行い、分析面のスパッタ形状を平滑に維持しなくてはならない。スパッタ形状は放電電流、放電電圧および放電ガス圧などの放電条件によって影響を受ける。そこで均一に蒸着あるいはめっきされた試料を用いて放電条件を変えたときのスパッタ形状を測定することにより最適な放電条件を選定することが重要である。一般にはスパッタ深さに対する相対的な分解能は約25%程度である³⁾。

深さ方向の定量分析を行うときに考慮しなくてはならないのは、深さ方向に組成が変化すると、それにとまってスパッタリング速度が変化することである。例えば亜鉛(Zn)－鉄(Fe)合金電気めっき鋼板では、Znのスパッタリング速度はFeに比べて5～6倍速いので、深さ方向にZn濃度が増加するとスパッタリング速度が大きく変化する。このためスパッタリング時間は直接スパッタリング深さに対応しなくなり、そのままでは真の深さ方向定量プロファイルが得られなくなる。

これに対して濃度とめっき付着量が既知の基準試料を測定し、あらかじめ濃度比とスパッタリング速度および強度比の二つの検量線を作成しておき、実試料で測定される発光強度のスパッタリング時間による変化を、各元素の深さ方向濃度分布に変換する方法が確立されている⁴⁾。

具体的にはあるスパッタリング時間におけるZnとFeの

発光強度比より、濃度比—発光強度比の検量線によってZnとFeの濃度比を求める。この濃度比から濃度比—スパッタリング速度の検量線を用いて、その深さでの組成に対するスパッタリング速度を求める。得られたスパッタリング速度に測定のスプリング間隔を乗じるとスパッタ量が得られる。測定開始から任意の時間までのスパッタ量を積算すれば、その時間までのスパッタ量すなわちスパッタリング深さが得られ、スパッタリング時間を深さに変換することができる。

この方法で得られたZn-Fe合金電気めっき鋼板のめっき層深さ方向プロファイルはSIMSで得られた結果と比較して図4に示す。両法の深さ方向プロファイルはほぼ同等の濃度、深さ方向分解能であるが、分析時間はそれぞれ約4分、60分であり、グロー放電発光分光分析はSIMSに比べて約15倍迅速に分析することができる。

この方法は類似した組成の基準試料を用いることにより分析の正確さを保証した方法であるが、一方、成分系ごとに多数の基準試料を準備する必要がある。

これに対して各元素の見かけ上の発光収率(単位重量あたりの発光強度)を実験的に求めておき、この発光収率を用いて各元素の単位時間あたりの発光強度から直接各元素のスパッタ量を求め、めっき層中の各元素の深さ方向濃度分

布に変換する方法も確立されている^{3,5,6)}。

具体的には元素 n の発光収率 R_n は(1)式で与えられる。

$$R_n = \int_t^{t+\Delta t} I_n dt / \int_t^{t+\Delta t} q_m C_n dt \quad \cdots \cdots \cdots (1)$$

I_n : 元素 n の発光強度 q_m : マトリクスのスパッタリング速度 C_n : 元素 n の濃度

(1)式で与えられる R_n を基準試料を用いて実験的に求めておけば、深さ方向分析の任意の時間 t から Δt 間にスパッタリングされる元素 n の重量 ΔW_n および濃度 C_n は(2)、(3)式で与えられる。

$$\Delta W_n = \int_t^{t+\Delta t} I_n dt / R_n \quad \cdots \cdots \cdots (2)$$

$$C_n = \Delta W_n / \sum \Delta W_n \quad \cdots \cdots \cdots (3)$$

得られた ΔW_n を元素 n の密度で除し、全元素について積算することによりスパッタリング深さを求めることができる。

この方法は発光収率がマトリクスに依存せず一定であるということが前提になるが、複雑な基準試料群を必要としない簡便な方法である。

この方法で得られたZn-Fe合金二層電気めっき鋼板のめっき層深さ方向プロファイルを図5に示すが、実用的には十分な精度で深さ方向プロファイルが迅速に得られている。

これら合金電気めっき鋼板めっき層の深さ方向分析以外にも、極表面の分析を含めて多くの深さ方向分析結果が報告されている。

表面分析への応用例として図6に極低炭素鋼板を研磨した後、露点 -40°C の水素雰囲気中で 700°C 、5時間の焼鈍を行った試料の、表面から100nmまでの深さ方向分析を行った結果を示す⁷⁾。最表面の珪素(Si)の偏析、それにつづくマンガン(Mn)の偏析などが明瞭に分析されている。ここでも分析時間は1分以内であり、他の表面分析法に比べてはるかに迅速な深さ方向分析が可能になっている。

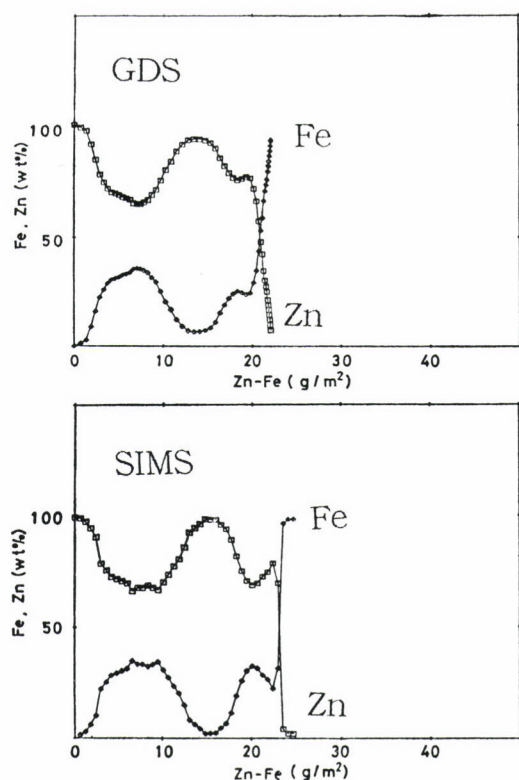


図4 GDSおよびSIMSによるZn-Fe合金電気めっき層深さ方向分析結果⁴⁾
(横軸は表面からのめっき付着量を示す。)

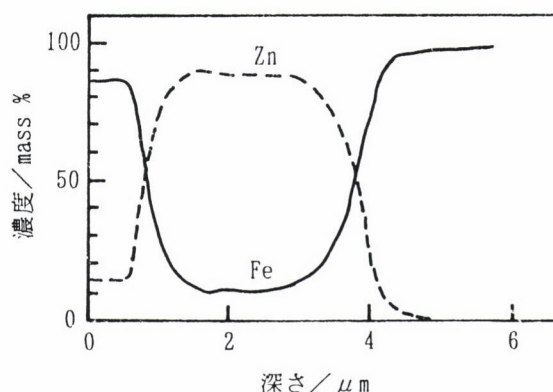
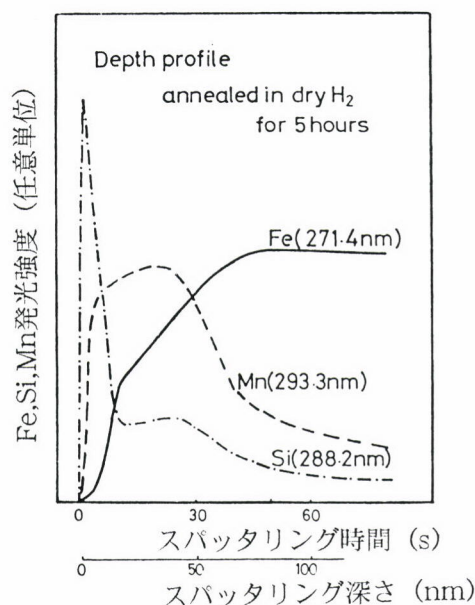


図5 Zn-Fe合金二層型電気めっき鋼板の深さ方向分析例³⁾

図6 極低炭素鋼板表面偏析の深さ方向分析例⁷⁾

5 最近の技術開発動向と課題

グロー放電発光分光分析法は放電が極めて安定しており、得られるスペクトルのS/N比も大きく、スペクトルの自己吸収も少ないといった利点を持つ光源である。そのため高精度、高安定性を持つ工程分析法になる可能性があり、現在も開発が進められている。また、より高感度な分析法としてグロー放電管を質量分析装置に組み込んだグロー放電質量分析法(Glow Discharge Mass Spectrometry: GDMS)による鋼中微量成分の分析に関する研究も進められている⁸⁾。

バルク組成の工程分析法として考えると、グロー放電発光分光分析法は真空測定であるためスパーク放電発光分光分析法に比べて分析所要時間が長いことが問題であり、今後の開発が待たれるところである。

一方、グロー放電発光分光分析法は鉄鋼業では迅速な深さ方向分析装置としてめっきラインの機側に設置され、日

常分析装置として実用化されている。分析操作も簡単であるので自動化も進められている⁹⁾。

近年、グロー放電管の印加電圧として、従来の直流電源以外に高周波電源を用いる方法¹⁰⁾が利用されはじめている。高周波電源を用いると、プラズマ中でのイオン化した放電ガスと電子の移動度の違いによって、試料表面に負のバイアス電圧が発生する。このバイアス電圧が生じるために従来の直流電源では分析できなかった有機被膜や厚い酸化膜においても放電が持続し、深さ方向分析ができるようになった。高周波グロー放電については現在も放電および分光特性の解明が進められており¹¹⁾、標準試料の検討も含めて有機被膜や厚い酸化被膜の定量分析法の開発は今後の課題である。

(次回「放射化分析」)

参考文献

- 1) K. Wagatsuma and K. Hirokawa: Anal. Chem., 56 (1984), 908.
- 2) 鉄鋼の工業蛍光X線分析方法: 日本鉄鋼協会編, (1973), 175.
- 3) 鈴木堅市: 材料と環境, 42 (1993), 384.
- 4) 古主泰子, 大橋善治: 鉄と鋼, 72 (1986), 1767.
- 5) 辺見直樹, 中島一二, 鈴木堅市, 大坪孝至: 鉄と鋼, 70 (1984), S296.
- 6) 山崎修一, 鈴木堅市, 森 隆, 大坪孝至: 分析化学, 35 (1986), 673.
- 7) 大橋善治, 古主泰子, 角山浩三: 鉄と鋼, 69 (1983), 1344.
- 8) 伊藤真二, 広瀬文雄, 長谷川良佑: 日本金属学会誌, 58 (1994), 526.
- 9) 妻鹿哲也, 片山道雄: 材料とプロセス, 6 (1993), 349.
- 10) R. Payling, D. G. Jones and S. A. Gower: Surf. Interface Anal., 20 (1993), 959.
- 11) 我妻和明: 材料とプロセス, 10 (1997), 1484.

(1998年6月22日受付)



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—学術編 溶接用鋼材の進歩とそれを支えた溶接物理冶金

浅田賞受賞記念特別講演

百合岡信孝

新日本製鐵(株)
技術開発本部 フェロー

Nobutaka Yurioka

Development of Structural Steels and Physical Metallurgy of Steel Weldability

1 はじめに

溶接用構造用鋼の進歩の歴史は上田氏¹⁾が最近の著書で鋼材製造技術の面から詳しく述べている。したがって、本小文では、溶接構造用鋼の進歩に関しては鋼材の溶接の面からその流れを概説し、鋼材溶接性の物理冶金の進歩に重点をおいて記述する。鋼材の溶接性を広義に解すれば、構造物が目的とする使用性能を溶接継手に付与できる鋼材の能力を意味し、溶接部の疲労特性、応力腐食割れなど耐食性、クリープなど高温特性、等々が含まれる。しかし、本小文では、紙面の制限もあり、すべての溶接構造用鋼に共通する基本的な溶接性である溶接熱影響部の硬化性と低温割れ感受性、および靱性に限定して、その学術の歴史について述べる。

溶接は急熱・急冷プロセスであり、鋼材で溶接熱の影響を受けた部分、いわゆる熱影響部には冶金的組織変化に加えて熱的および応力的効果が作用する。そのため、本小文では、鋼材の溶接性の科学を溶接物理冶金と称した。しかし、溶接の世界では、例えば溶接部硬化性を合金成分の和で評価するように、工学的に簡潔に割り切って考える場合があり、本小文が溶接物理冶金のタイトルに相応しい内容になっていないことが懸念される。その場合は読者諸賢のお許しを願う次第である。

2 溶接用鋼材の進歩

2.1 戦前(1945年以前)

戦後復興・発展期の溶接冶金技術史というテーマを与えられたが、溶接用鋼材の発展の原点は艦船や戦車の溶接にあるので、(社)日本溶接協会の資料²⁾を参考にして戦前と戦中時代の鋼材の溶接に少し触れる。溶接はリベット接合に比べて水密性と構造物軽量化に優れることから造船分野

において早くから適用された。1921年(大正10)に英国で世界最初的全溶接船フラガー号(500トン)が就航し、その1年後には、我が国の長崎造船所で諏訪丸(421トン)が全溶接船として完工している。その後、軟鋼であるが水圧鉄管や橋梁などの鋼構造物製作に溶接が適用された。

1921年のワシントン条約により我が国の海軍主力艦は対米6割に制限されることになり、各艦船は徹底した重量軽減が要請されることとなり、上甲板や縦補強部材には英国のデュコール高張力鋼(焼きならしTS580MPa鋼、0.18C-1.4Mn-Ni-Cr-Mo系)が使用され始めた。1930年(昭和5)に重ね継手であるが溶接を大規模に適用して水雷敷設船八重丸(1350トン)が完成し、その後、高張力鋼の縦部材を横強度部材に直接に溶接されるようになった。しかし、1935年(昭和10)に第四艦隊が大演習中に嵐に遭遇し、多くの艦船に破断を含む多くの損傷が生じたため溶接船は危険と判断され、重要構造部の接合はリベットに戻ることとなった。

米国では第二次世界大戦中に、戦略物資輸送のための5000隻に及ぶ戦時標準船が全溶接構造として建造されたが、港に停泊中に突然真二つに破断する事故を始めとして多数の艦船が脆性破壊損傷を被っていることが確認された。そのため、原因究明の調査がなされ、シャルピー値が最低使用温度で15ft・lb(20J)以上あれば脆性破壊を起こす確率は低いことが判明した。このシャルピー値を基準にして、各国の船級協会において造船用鋼材の必要シャルピー値が規定され、それがそのまま溶接部の靱性要求値となっている。

第二次世界大戦中、我が国では多数の潜水艦が建造されたが、これは軟鋼の薄板全溶接構造であった。1943年(昭和18)にドイツ人技師が来日し、ドイツのSt52(圧延まま、Si-Mn系TS500鋼)溶接構造用高張力鋼が潜水艦用に製造され、戦争末期にはこの高張力鋼による全溶接潜水艦が就航した。

戦車の溶接では1933年(昭和8)に小型94式軽装甲車が溶接構造の1号車として完成し、その後、量産化が進むとともに防弾鋼鈑の溶接割れが多発し、割れ防止が重大課題となった。この割れは溶接後放置したままでしばらくして発生し、置き割れと称せられた。当時の代表的な防弾鋼鈑の組成は0.3C-3Ni-1Cr系であった。一方、米国では防弾鋼鈑の置き割れを阻止するために、オーステナイト系溶接棒が使用されていた。オーステナイト系溶接金属は水素の溶解度が高く拡散速度も遅いので溶接金属に水素を閉じこめることができ、その結果、防弾鋼鈑の熱影響部に水素が拡散せず置き割れを防止できることが理解され、高強度鋼の溶接割れはアーク下で発生する拡散性水素に起因することが判明していた。我が国では母材と同成分のフェライト系の棒を使用していたが、1935年(昭和10)にベルギーのアコス社からクロメンド系(19Cr-9Ni-2Mo)のオーステナイト系溶接棒が輸入され、この棒の採用によって、防弾鋼鈑の溶接割れ問題がやっと解決をみるようになった。

2.2 戦後から高度成長期(1945—1973)

1947年(昭和22)に第一次計画造船が決定され、戦時中の遅れを取り戻すべく造船への溶接大幅適用を目指し、その頃に設立された日本溶接協会が中心となって溶接技術開発に積極的に取り組むことになった。1950年(昭和25)に米国ユニオンカーバイド社リンデからユニオンメルト(溶融フラックス)を用いるサブマージアーク溶接技術が導入され、船台においてでなく主に工場内でサブマージアーク溶接を多用するブロック建造法が普及し、溶接施工能率が格段に向上することとなった。当時、造船用厚板はリムド鋼であった、サブマージアーク溶接のような大入熱溶接になると鋼材のS濃化偏析部(サルファーバンド)から溶接金属にSが溶け込み、S起因の溶接金属凝固割れ(サルファークラック)が発生し問題となった。そのために、造船用鋼材はセミキルドまたはキルド鋼で製造されるようになり、溶接凝固割れ問題は解決をみることとなった³⁾。

1960年代の後半から、大型のタンカーやバルクキャリア建造ブームが到来し、外板の大板継ぎは大入熱の片面サブマージアーク溶接を適用し建造効率を向上させた。一方、各船級協会では溶接部のシャルピー値を厳しく規定しており、大入熱溶接でも溶接熱影響部が要求シャルピー値を満足できる造船用厚板の開発に鉄鋼各社はしのぎを削ることになった。高張力鋼の使用に関しては、甲板部、船側部、縦補強材にTS490級高張力鋼が使用されたが、作業性の悪い低水素棒を使用しなければならないことや小入熱の向上すみ肉溶接部などで低温割れ防止のために予熱が必要なことなど施工能率の低減を招くので、高張力鋼の使用率は

25%を越えることはなかった³⁾。

海洋油田探索および掘削用の大型海洋構造物の製造もタンカーブームとともに始まった。海洋構造物は厚肉パイプテアが発生することがあった。ラメラテアの材料的要因は圧延中に伸延した非金属介在物である。そのため、S量を低減し、Ca添加による硫化物球状化などの対策を施した耐ラメラテア鋼板が開発され⁴⁾、海洋構造物用鋼の清浄化が加速されることになった。

調質鋼では、溶接性に優れたTS780級高張力鋼を米国のUSスチール社がT-1鋼として1952年(昭和27)に発表した。このT-1鋼の基本成分系は防弾鋼板と同じで、焼入れ焼戻しの調質処理によりCを0.3%台から0.15%への低減が可能になり、溶接性(低温割れ感受性)が大幅に改善された。我が国では1955年(昭和30)に直接焼入れ焼戻しによる2H(High strength-high toughness)が日本製鋼所で開発された⁵⁾。これはSi-Mn系のTS580鋼で、東京タワーを始め球形タンクなどに使用された。1960年代後半にこれまでの加圧焼入れ装置に代わってローラクエンチ方式の連続通板焼入れ装置が普及し、極厚の調質鋼の製造も可能になり各種高張力鋼が製造され、都市ガス貯蔵球形タンク、水力発電所ペンストックなどに適用された。LNGタンク用の9%Ni低温用鋼はNNT(2回焼きならし焼戻し)またはQT(焼入れ焼戻し)で製造された。焼戻しは A_{c1} 温度直上で行い液体温度でも安定な残留オーステナイトを分散させ、低温靱性を確保する。焼入れ焼戻し処理の中間に2相域加熱後急冷する処理(QLT処理)を加えることにより、5.5%Ni鋼でも9%Ni鋼と同程度に高い低温靱性が付与できた⁶⁾。この技術は近年の超大型地上式LNGタンク用厚肉9%Ni鋼の製造に適用されている。

鋼材の強靱化は、焼ならし熱処理によるフェライトの細粒化、または焼入れ焼戻し熱処理による焼戻しマルテンサイトまたは焼戻し下部ベイナイトの組織改善によって達成されていた。一方、圧延ままで高靱性を確保したい要望があり、1960年代にヨーロッパで低温圧延が試みられた。これは制御圧延(CR)と呼ばれ、英国のBISRAグループを始め欧州と我が国で、制御圧延の基礎的研究が精力的になされた⁷⁾。ラインパイプ鋼では現地小入熱溶接での熱影響部硬化性の点から低C化が必須で、その強度低下を補うため、NbとVの析出硬化を利用した。Nbを固溶させるにはスラブ高温加熱が必要で、そのために粗大化したオーステナイト粒を再結晶温度域で圧下してある程度細粒化し、次いで低温圧延を施し細かい未再結晶粒を得て、これからフェライト変態させ同時にNb(V)析出により、優れた強度と靱性を得た。1969年(昭和44)にこの制御圧延を活用して低C-Nb-V系API-X65鋼がアラスカの石油ラインパイプ用に

我が国で大量生産された。

その後の制御圧延法は、低温スラブ加熱を特徴とする。低温でのオーステナイト再結晶域圧延後の未再結晶域圧延で変形帯を形成しフェライト変態核を増加させる。この未再結晶温度域を拡大させるために、微量のNbなどが利用された。

2.3 高度成長期以降(1973年以降)

制御圧延後の加速冷却はさらに鋼材の強度・靱性を高め、焼入れ性元素低減、すなわち溶接性向上に寄与することは冶金学的に自明であったが、問題は厚板の形状確保であった。1977年にNKK福山での制御圧延・加速冷却の検討が発表され⁸⁾、我が国において1980年に世界に先駆けて加速冷却設備が稼働を始めた。制御圧延・制御冷却技術は加工熱処理プロセス(TMCP)と呼ばれるようになるが、この方法では制御圧延後の冷却速度と水冷開始・停止温度を制御することにより、フェライト、パーライト、ベイナイト、マルテンサイトなどの変態生成相の割合を調整し、加速冷却によるフェライト細粒効果を加えて、所定の強度(降伏強さと引張強さ)と靱性を有する種々の鋼材を製造できる。

造船用HT480鋼では、図1⁹⁾に示すように、TMCPにより炭素当量を従来の圧延まま材や焼ならし材に比べて大幅に低減することが可能になり、低温割れや硬さに付随する溶接作業の制限が緩和され、タンカーなど造船の高張力使用比率は50%を越えるようになった。TMCP鋼は造船用、ラインパイプ用、海洋構造物用ばかりでなく、TMCPの一法であるDQ-T(直接焼入れ焼戻し)あるいはDLQ-T(2相域焼入れ焼戻し)を適用し、建築用低降伏比鋼、予熱低減型Cu析出HT780鋼、2.25Cr-1Moや9Crの耐熱鋼、9%Ni低温用鋼など種々の高性能鋼が製造されるようになった。



鋼材の溶接性の物理冶金

3.1 熱影響部硬化性

溶接は集中熱源によって局部的に急速加熱・急速冷却されるので母材の組織が変質する。1930年代にこの変質部は硬化し延性が低下することが知られ、溶接熱影響部(HAZ)と称するようになった。1940年に英国鉄道研究所のDear-denとO'Neil¹⁰⁾が溶接部最高硬さ $H_v(max)$ と鋼材組成の間に次の関係を見いだした。

$$H_v(max) = 1200CE_{Dear-den} - 200 \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$CE_{Dear-den} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{13} + \frac{Ni}{15} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{5} \quad \dots\dots\dots (2)$$

この(2)式の $CE_{Dear-den}$ が鋼材の溶接性を記述する炭素当量(C量を単位とする)の起源となった。(2)式は、後に国際溶

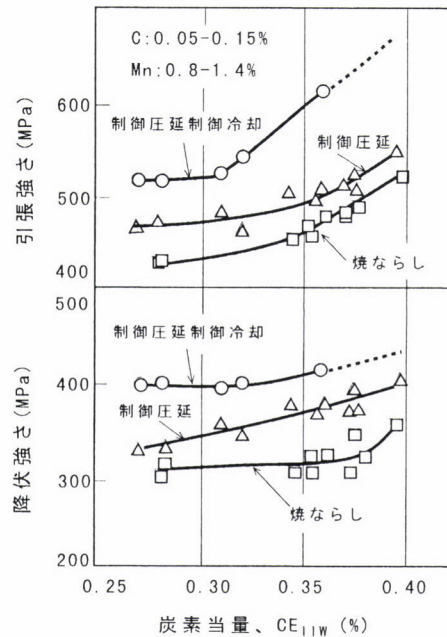


図1 厚板製造法による強度の相違と炭素当量の関係

接学会(IIW)の技術委員会で次式(CE_{IIW})のように修正され、C鋼およびC-Mn鋼の溶接性指標として広く用いられるようになった。

$$CE_{IIW} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr+Mo+V}{5} + \frac{Ni+Cu}{15} \quad \dots\dots\dots (3)$$

一方、1950年代に我が国では木原らが溶接熱影響部の硬化性について精力的に研究し、Si/24を加えた炭素当量式を発表した¹¹⁾。これは後に次式の日本溶接協会(WES)の炭素当量 CE_{WES} になった。

$$CE_{WES} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Ni}{40} + \frac{Cr}{5} + \frac{Mo}{4} + \frac{V}{14} \quad \dots\dots\dots (4)$$

溶接部の硬さは、溶接施工時の低温割れ防止のために例えば350Hv以下に、構造物として使用時の硫化物応力割れ防止のためにサワーガス用ラインパイプでは248Hv以下に制限を受けることがある。溶接部硬さ制限値を満足するために溶接条件を選定したりあるいは鋼材成分を設計するには、正確な硬さ予測式が必要となった。1973年にBeckertら¹²⁾は鋼材組成と溶接冷却速度を変数とする溶接熱影響部最高硬さ予測式を発表し、その後、多くの予測式が報告された¹³⁻¹⁷⁾。いずれの式も、図2に示すように、冷却速度の速い($t_{8/5}$ の短い)場合、熱影響部は完全マルテンサイト組織となり、その硬さはC量のみで決定され、冷却速度が遅く($t_{8/5}$ が長く)なるとともに硬さは漸次低下する変化をなんらかの数学関数で表現している。

完全マルテンサイトになる限界の冷却時間 $t_{8/5}$ が t_M で、溶接部の焼入れ性と考えられる。1970年にBustien¹⁸⁾は、 t_M が炭素当量で表せることを見いだした。次式は、筆者ら¹⁶⁾が

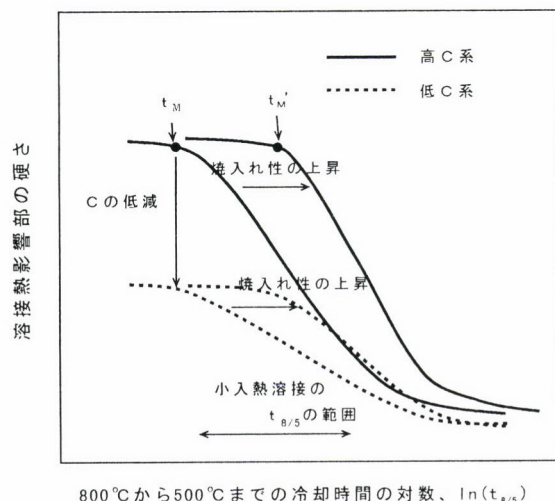


図2 溶接熱影響部最高硬さの冷却時間に対する変化に及ぼす鋼材組成の影響

後に多くの実用鋼の実験に基づいて求めた t_M と鋼材組成の関係である。

$$\ln(t_M) = 10.6CE_{HARDEN} - 4.8 \quad (5)$$

$$CE_{HARDEN} = C + \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{Mo}{4} + \frac{Cr}{8} + \Delta H \quad (6)$$

(6) 式の CE_{HARDEN} のが溶接部焼入れ性の炭素当量で、本式の ΔH は Bustien の式などには含まれていない項で、鋼材の B 量と清浄度による焼入れ性上昇を示す。溶接熱影響部はオーステナイト粒が粗大化しているので、母材の焼入れ性に影響しない程度の微量 B 量でも溶接部の焼入れ性を著しく上昇させることが見いだされた。

1970 年から 80 年代にかけて、ラインパイプ鋼や海洋構造物用鋼が欧米に輸出されたが、我が国の鋼材は清浄であるので、熱影響部が硬化し易く低温割れ感受性が高いのではないかと指摘された¹⁹⁾。これは S 量の高い鋳鋼で低温割れ感受性が低下した経験によるもので²⁰⁾、介在物が水素をトラップする効果があると考えられていた。そのため、 ΔH に及ぼす介在物の影響が検討された。その結果、溶接金属のように酸化物個数が多ければ酸化物がフェライト変態核となって焼入れ性を下げ、 ΔH はマイナスとなるが、鋼材においては、通常の構造用鋼の清浄度範囲である 0.05% 以下では酸化物や硫化物は ΔH に殆ど影響を及ぼさないことが確認された²¹⁾。

1942 年に Grossmann²²⁾ は鋼の熱処理における焼入れ性を、次式のように、理想焼き入れ直径 D_I で与え、各元素の影響を焼入れ倍数で表現した。

$$D_I = D_c \cdot (1 + 0.85Si) \cdot (1 + 3.3Mn) \cdot (1 + 2.3Cr) \cdot (1 + 0.36Ni) \cdot (1 + 3.2Mo) \quad (7)$$

ここで、 D_c は合金元素を含まない炭素鋼の焼入れ倍数である。槽谷と筆者²³⁾ は、焼入れられた丸棒中心の冷却速度の計算により、 t_M と D_I との関係を次のように与えた。

$$\frac{\partial \ln(t_M)}{\partial x} = 2 \frac{\partial \ln(D_I)}{\partial x} \quad (8)$$

ここで、 x は C, Si, Mn など合金元素の濃度である。この関係から、 $\ln(t_M)$ が各元素の 1 次式で与えられると $\ln(t_M)$ も 1 次式で与えられ、したがって、 D_I は (7) 式のように各元素単独の関数の積で表せることが証明された。さらに、彼らはそれまで提唱された複数の炭素当量と焼入れ倍数の係数を比較し、お互いに係数の間に良い一致が認められることを見いだした。積と和との相違はあるが、(3)、(4)、(6) 式の炭素当量は、焼入れ倍数と同様に、焼入れ性(マルテンサイトになり易さ)の尺度であることが判明した。

3.2 低温割れ感受性

米国において、溶接割れは水素が原因であることが防弾鋼板の溶接の経験から第二次世界大戦以前に判明していた。引き続き、米国のバットル研究所は Mn-Mo 系の防弾鋼板のビードオンプレート試験により 1946 年(昭和 21)に溶接金属水素量の低温割れへの影響を定量的に調査するとともに、予熱の効果や割れ潜伏期間を調べ、鋼材熱影響部低温割れの種々の現象を明らかにした²⁴⁾。

ビードオンプレート試験は切欠きがなく、防弾鋼板より割れ感受性の低い溶接構造用鋼に対しては割れが発生しないので、1962 年に木原²⁵⁾ は y 開先スリット割れ試験を開発した。この試験は Tekken 試験として世界で広く用いられるようになった。当時、TS580 や TS780 高張力鋼が球形タンク、ペンストック、橋梁に使用され始め、高張力鋼の低温割れ研究が活発になされた。

小型の y 開先割れ試験ばかりでなく、大型引張り試験機を用いて TRC(引張り拘束割れ)試験とか RRC(完全拘束割れ)試験が実施され、継手に発生する過渡的拘束応力が調査された^{26,27)}。1970 年代になるとコンピュータが進歩し、溶接残留応力の分布が数値解析で計算できるようになった。溶接低温割れ現象の理解するのに必要な溶接部の水素拡散・集積挙動の数値解析も行われるようになった²⁸⁻³³⁾。図 3 は、筆者³⁰⁾ が求めた溶接ルート部に集積する水素量に予熱温度が及ぼす計算結果の一例を示す。この計算では、水素ポテンシャル $a(x, y, z, t)$ が導入され、ミクロ組織と 3 軸残留応力場の影響は活量係数 $\gamma(x, y, z, t)$ に含まれ、その拡散方程式は次式で与えられた。

$$\frac{\partial a}{\partial t} = \frac{a}{\gamma} \frac{\partial \gamma}{\partial t} + \gamma \nabla \left(\frac{D}{\gamma} \nabla a \right) \quad (9)$$

水素ポテンシャルを導入した非定常拡散解析において、(9)

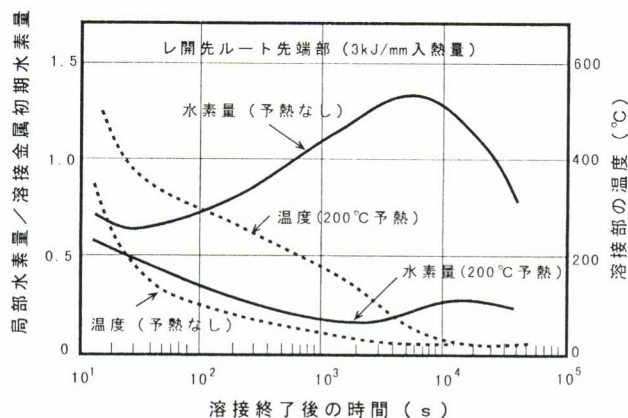


図3 溶接部切欠きへの水素集積の数値解析結果

式の右辺の第1項を無視したFickの第2方程式型の計算例があるが、この場合、質量保存則が成立しない。

水素起因の溶接低温割れは冶金組織的には硬さが支配的で、従って鋼材の低温割れ感受性は(3)式または(4)式の炭素当量で評価されると考えられてきた。しかし、伊藤ら³⁴⁾は1970年に調質鋼など低C低合金鋼を含めた場合には、次式の炭素当量がより適切であることを見いだした。

$$Pcm = C + \frac{Si}{30} + \frac{Mn}{20} + \frac{Cu}{20} + \frac{Ni}{60} + \frac{Cr}{20} + \frac{Mo}{15} + \frac{V}{10} + 5B \quad (10)$$

この炭素当量は Pcm として知られ、JISで割れ感受性組成とされている。 Pcm に類似した炭素当量として CE_{PLS} ³⁵⁾や CE_{HSLA} ³⁶⁾が報告されているが、これらはラインパイプ鋼や低C低合金鋼の溶接性を評価するものとしている。 Pcm では、C以外の合金元素の影響度が CE_{Hw} に比べ小さい、すなわちCの影響度が大きい。図2の熱影響部硬さに及ぼす焼入れ性の炭素当量とC量の相互効果を見ると、Cが高い場合は焼入れ性の炭素当量の影響は大きい、Cが低下すると炭素当量が高くとも硬さは低く、合金元素の硬さへの影響度がCとともに低下することが知られる。このことを考慮した炭素当量を1983年に筆者ら³⁷⁾は提案した³⁷⁾。

$$CE_N = C + f(C) \cdot$$

$$\left\{ \frac{Si}{24} + \frac{Mn}{6} + \frac{Cu}{15} + \frac{Ni}{20} + \frac{Cr+Mo+Nb+V}{5} + 5B \right\}$$

$$f(C) = 0.75 + 0.25 \cdot \tanh\{20(C - 0.12)\} \quad (11)$$

$f(C)$ はCの低減とともに低下する関数である。これまで、 CE_{Hw} あるいは Pcm など種々の炭素当量が報告されてきたが、軟鋼を含めCが0.15%程度以上の鋼の割れ感受性は CE_{Hw} で、低C低合金鋼は Pcm でより良く評価され、 CE_N はC量に関わらず広い範囲の鋼材の溶接性を評価するとしている³⁸⁾。

溶接施工において、低温割れを防止するための予熱温度

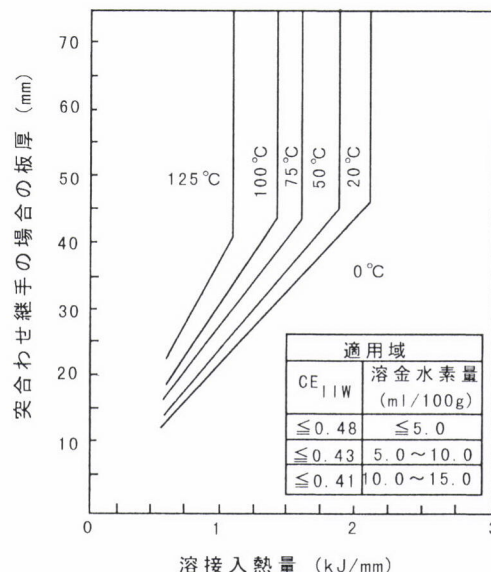


図4 BS5135による必要最低予熱温度の例

の選定が重要である。1973年にCoe³⁹⁾は CE_{Hw} と溶接金属拡散性水素量、板厚、溶接入熱量から必要予熱温度を算出できるノモグラムを発表した。英国規格(BS5135)⁴⁰⁾では図4に示すようなチャートが CE_{Hw} と水素量毎に準備されて予熱温度を求めるが、これはCoeのノモグラムに由来している。我が国でも簡便な予熱温度選定式が提案されているが、低温割れ発生は、以上の4要因の他に溶接残留応力、外気温度、割れ発生位置の応力集中係数、単パスか多パス溶接かなどにも支配され、必要予熱温度を簡単な式で与えることは困難である。最近であるが、Coeと同じノモグラム法で、 CE_N 炭素当量を基準にこれら多くの割れ要因を考慮した予熱温度選定の方法を筆者ら⁴¹⁾は提案した。

4 溶接部靱性の物理冶金

4.1 戦後から高度成長期(1945—1972)

第二次世界大戦中の米国での戦時標準船の脆性破壊事故を機に、船舶など全溶接構造物の溶接部靱性の重要性が認識された。我が国では、1936年に岡田⁴²⁾はリムド鋼の2相域(700°C付近)加熱後の脆化を指摘し、Si含有のキルド鋼が溶接用構造物鋼として適切であると報告した。その後、1941年(昭和16)に大阪大学冶金学科内に溶接講座が開設され、鋼材の溶接性の研究が続けられた。

金属材料技術研究所においても高張力鋼の溶接性の研究に精力的に取り組まれ、1960年(昭和35)に稲垣ら⁴³⁾によって溶接性研究の基礎となる溶接連続冷却変態図が多種類の高張力鋼について求められた。溶接部靱性の研究では、溶接熱履歴再現試験が重要な研究手段であり、1957年に米国

のNippes⁴⁴⁾が開発した直接通電加熱のグリーンブル試験が多くの国で用いられている。一方、我が国では高周波誘導加熱方式を主に用いていた。田村ら⁴⁵⁾は1969年に熱履歴再現試験中に応力を付加することの重要性を述べた。

フェライト・パーライト系の母材の靱性は、焼ならし鋼や調質のアルミキルド細粒鋼に見られるように、フェライトの細粒化によって向上する。フェライト以外の組織でも結晶方位のほぼ揃ったラス領域が脆性破壊の時のマイクロ単位となり、これを1970年に井上ら⁴⁶⁾は有効結晶粒径と定義した。マルテンサイトラスや上部ベイナイトラス(またはフェライトサイドプレート)ではラスの方向が揃い易いので有効結晶粒径が大きくなり、靱性が低下する。この有効結晶粒径の概念はその後の溶接部靱性の研究における重要な尺度となった。

溶接施工の生産性を高めるため、大入熱溶接が特に我が国において積極的に採用されてきた。大入熱溶接では融合線近傍の熱影響部では高温での滞留時間が長くなり、オーステナイト粒が粗大化し、その結果、フェライト、ベイナイト、マルテンサイトなどの冷却変態生成物の結晶粒も大きくなり、さらに後述する島状マルテンサイト量も増し、低温靱性は劣化する。したがって、大入熱溶接における熱影響部靱性向上のために、先ず、オーステナイト粒の成長を阻止することが重要な課題であった。

1962年に、中村ら⁴⁷⁾により開発されたIN処理は、AINを析出させ粗粒域のオーステナイト粒界をピンニングし、その成長を抑制し溶接部靱性を高めようとするもので、HT780までのIN鋼が開発された。1970年代になって、AINより高温で安定なTiNを利用した大入熱溶接用鋼が開発された。金沢ら⁴⁸⁾は、オーステナイト粒界ピンニング効果は析出物の量ばかりでなくそのサイズが問題であり、1400℃で未溶解の0.05 μ m以下のTiNが存在することが必要であることを見いだした。

熱影響部組織で上部ベイナイトまたはフェライトサイドプレートが成長する時にプレートラス間に排出されたCが第二相としての島状マルテンサイトを形成する。三村ら⁴⁹⁾は1970年にこの島状マルテンサイトは非常に硬く脆性破壊の起点となり、靱性を著しく劣化させることを見いだした。後に、破壊靱性評価試験法としてCTOD試験が普及するが、この試験はシャルピー試験より島状マルテンサイトによる局部脆化域の存在を感度良く検出する。このため、溶接部局部脆化が問題視され、1980年以降であるが、島状マルテンサイト発生あるいはその分解を遅らせる元素について研究が進み、例えば、低C・低Si・低Al系などの局部脆化域フリー鋼が開発された^{50,51)}。

4.2 高度成長期以降(1973以降)

鋼の冷却変態において、オーステナイトからフェライトへの変態は、通常、オーステナイト粒界から開始する。しかし、オーステナイト粒内に適切な核が存在するそれを核として粒内フェライト変態が生じ、変態後の結晶粒が非常に微細化され靱性が向上する。この変態核として、TiNが有効であることが1975年に報告された^{52,53)}。この粒界変態と粒内変態は競合関係にあり、粒内変態を促進するには、ある程度焼入れ性元素を加え粒界からのフェライト変態を抑制する必要がある。

船越ら⁵⁵⁾は1977年にREM-Ti-B処理によって析出させたREMオキシサルファイド酸化物が粒内変態核となることを見いだした。これは酸化物利用の始まりであった。一方、溶接材料にはアーク安定剤あるいはスラグ粘性維持のために少量のTiが添加されており、Tiを含有する溶接金属のマイクロ組織は微細になることは従来から知られていたが、その機構については未知であった。1980年に渡辺と小嶋⁵⁶⁾は溶接金属中のTi系酸化物が粒内アシキュラーフェライトの生成核として作用することを示唆し、その後の大北ら⁵⁷⁾の研究によりTi-B系溶接金属の組織微細化機構が判明するに至った。図5は、Ti-B系溶接金属の微細なアシキュラーフェライト組織と、溶接冷却途中で焼入れることによってTi系酸化物からフェライトが生成する瞬間を捉えたものとする⁵⁷⁾。なお、Ti-B溶接金属中のBは粒界

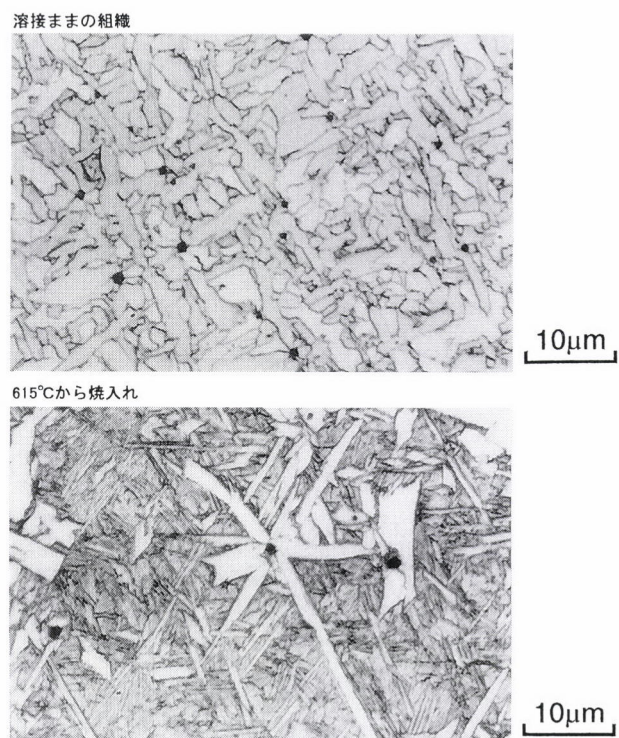


図5 Ti-B系溶接金属のアシキュラーフェライト組織(上)と酸化物からの粒内アシキュラーフェライトの生成(下)

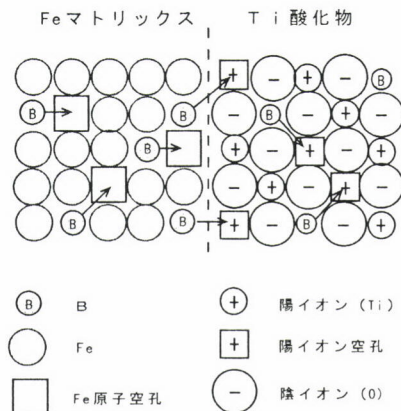


図6 Ti酸化物へのBの拡散侵入の模式図

フェライト変態を抑制し、細粒のアシキュラーフェライト均一組織にして靱性を高めるものであった。

本間ら⁵⁸⁾は溶接金属中のTi酸化物による粒内変態核作用の知見をもとにTi脱酸によるTi-O鋼を開発し、1980年代後半には実用鋼として北海の大型海洋構造物に適用された。Ti酸化物はAlNやTiNより熱的に安定であり大入熱溶接でも熱影響部の靱性を確保でき、Ti-O鋼は大入熱用鋼に適切であることが知られている。このように、それまで夾雑物として見なされてきた酸化物が非常に有益な働きをすることが分かり、これを機にオキサイドメタジ研究が発展することになった。

フェライト競合変態で、焼入れ性を上げると粒界からの変態を抑制すると述べたが、介在物からの粒内変態も抑制されるはずである。これに対して、山本ら⁵⁹⁾は、粒内変態作用効果のあるTi酸化物は図6に示すようにTi量がTi₂O₃の化学量論的組成より不足しており、その結果、Ti陽イオン空孔にマトリックス中のMnやBが拡散侵入して、酸化物周辺で焼入れ性が低下しフェライト変態が促進する機構を提唱した。粒内フェライト生成に関しては、酸化物上にMnSが析出して周囲にMn欠乏層が生じフェライト生成が促進される説⁶⁰⁾、あるいは酸化物上に炭窒化物が析出し、その析出物とフェライト間の格子整合性が優れるとフェライト生成が促進される説⁶¹⁾が提唱された。しかし、山本ら⁵⁹⁾は、片方の機構だけで粒内変態を促進させるのは困難で、両方の機構が作用することが必要であると主張した。粒内フェライト生成には複数の要因があり、母材の成分系や溶接金属などそれぞれの場合に応じて作用する要因が異なるようであり、1990年代になって粒内変態機構論が活発に論じられた。Ti-B系溶接材料やTi-O溶接構造用鋼を越える材料開発を目指して、現在も活発に研究が続けられている。

5 おわりに

戦後復興・発展期を中心に戦前から現在までの60年の溶接構造用鋼開発と溶接性冶金研究の歴史の概説を試みた。しかしながら、幅広くかつ正確な知識に裏打ちされた歴史観に立脚して60年の歴史をまとめることは、浅学非才な筆者の能力をはるかに超えるものであった。本小文の内容や観点が偏っているところがあるかもしれないが、これは筆者の責任であり、読者諸賢のお許しを乞う次第である。

なお、著者は平成10年度の日本鉄鋼協会浅田賞を受賞する栄誉に浴した。その表彰の対象となった筆者の業績は本小文の“鋼材溶接性の物理冶金の進歩”に述べられており、本小文を浅田賞受賞記念講演報告に代えることも、重ねてお許しを乞う次第である。

参考文献

- 1) 上田修三：構造用鋼の溶接，地人書館，(1997)
- 2) 日本溶接協会編：溶接五十年史，産報出版，(1962)
- 3) 造船の溶接—35年の歩み，日本溶接協会船舶・鉄構海洋構造物部会編，(1985)
- 4) 金沢正午，井上尚志：IIW Doc. IX-873-74，(1974)
- 5) 宮野樺太男：日本製鋼技報，(1961)，612.
- 6) 矢野清之助，桜井 浩，三村 宏，脇田信雄，青木宏一：鉄と鋼，53 (1973)，752.
- 7) 例えば，J. J. Irani, D. Burton, J. D. Jones, A. B. Rothwell：ISI Spec. Rept., 104 (1967)，10.
- 8) 大北智良，大内千秋，小指軍夫：鉄と鋼，63 (1977)，S798.
- 9) 天野虔一，志賀千晃，田中智夫：TMCP鋼の溶接冶金シンポジウム，溶接学会溶接冶金委員会，(1985)，101.
- 10) J. Dearden, H. O'Neil：Trans. Int'l. Welding, 3 (1940)，203.
- 11) 木原 博，鈴木春義，金谷文善：金属材料技術研究所報告，1 (1959)，39.
- 12) M. Beckert, R. Holz：Schweiss Technik., 23 (1973)，334.
- 13) Y. Arata, M. Ohji：Trans. of JWRI., 8 (1979)，43.
- 14) 寺崎俊夫：鉄と鋼，67 (1981)，2715.
- 15) C. Duren, K. Niederhoff：Proc. on Third Int'l Conf. on Welding and Performance of Pipelines, London, TWI, (1986)
- 16) N. Yurioka, M. Okumura, T. Kasuya and H. J. U. Cotton：Metal Constr., 19 (1987)，217R.
- 17) 寺崎俊夫，野村卓司，北田豊文：溶接学会論文集，6 (1988)，139.

- 18) P. G. Bastien : Metal Constr. and British Welding J., 49(1970), 9.
- 19) P. H. M. Hart : IIW Doc. IX-1308-84, Influence of steel cleanliness on HAZ hydrogencracking, (1984)
- 20) N. Smith, B. I. Bagnall : British Welding J., 15 (1968), 63.
- 21) 奥村 誠, 糟谷 正, 百合岡信孝 : 溶接学会論文集, 6 (1988), 144.
- 22) M. A. Grossman : Trans. AIME, 50 (1942), 227.
- 23) T. Kasuya, N. Yurioka : Welding J., 72 (1993), 263s.
- 24) M. W. Mallet, J. Rieppel : Welding J., 25 (1946), 748s.
- 25) 木原 博, 鈴木春義, 中村治方 : Welding J., 41 (1962), 36s.
- 26) 鈴木春義, 稲垣道夫, 中村治方 : 溶接学会誌, 32 (1963), 44.
- 27) 渡辺正紀, 佐藤邦彦, 松井繁朋 : 溶接学会誌, 33 (1964), 446.
- 28) 小平一丸, 矢竹 丘, 百合岡信孝 : 溶接学会誌, 43 (1974), 921.
- 29) 佐藤邦彦, 寺崎俊夫, 山下泰生 : 溶接学会誌, 48 (1979), 504.
- 30) N. Yurioka, S. Ohshita, H. Nakamura : IIW Doc. IX-1161-80, An analysis of effects of microstructure, strain and stress on the hydrogen accumulation in HAZ, (1980)
- 31) 菊田米男, 荒木孝雄, 広瀬明夫, 山本善貴 : 溶接学会論文集, 3 (1985), 497.
- 32) V. A. Karkhin and V. G. Mikhailov : Avat. Svarka, 38 (1985), 6, 39.
- 33) B. A. B. Andersson : Trans. of AIME, J. Eng. Materials and Tech., 102 (1980), 64.
- 34) 伊藤慶典, 別所 清 : 溶接学会誌, 37 (1968), 983.
- 35) C. Duren and K. Niederoft : Proc. Conf. on Welding and Performance of Pipelines, London, TWI (1986)
- 36) B. A. Graville : Proc. Conf. on Welding of HSLA structural steels, Rome, ASM, (1976)
- 37) N. Yurioka, H. Suzuki and S. Ohshita : Welding J., 62 (1983), 147s.
- 38) 百合岡信孝 : 溶接学会誌, 61 (1992), 288.
- 39) F. R. Coe : Welding steels without hydrogen cracking, The Welding Institute, (1973)
- 40) BS 5135, Process of Arc Welding of Carbon and Carbon-Manganese Steel, British Standards Institution, (1984)
- 41) N. Yurioka and K. Kasuya : Welding in the World, 35 (1995), 327.
- 42) 岡田 実 : 溶接協会誌, 6 (1936), 357.
- 43) 稲垣道夫, 関口春夫 : 金属材料技術研究所研究報告, 3-1 (1950), 24.
- 44) E. F. Nippes : WRC Bulletin, No.33 (1957)
- 45) 田村 博, 加藤 昇, 真鍋正己, 山崎睦彦 : 溶接学会誌, 38 (1969), 1124.
- 46) T. Inoue, S. Matsuda, Y. Okamura and K. Aoki : Trans. JIM, 11 (1970), 36.
- 47) 中村 素, 前田豊生, 栗山良員, 雑賀喜規, 深川宗光 : 石川播磨技報, 3 (1963), 117.
- 48) 金沢正午, 中島 明, 岡本健太郎, 金谷 研 : 鉄と鋼, 61 (1975), 2589.
- 49) H. Mimura, M. Iino, H. Haga and N. Nomura : Trans. of Japan Weld. Soc., (1970), April, 28.
- 50) K. Arimochi : Trans. Japan Weld. Soc., 20 (1989), 27.
- 51) 深田康人, 小溝裕一 : 溶接学論文集, 10 (1992), 409.
- 52) 金沢正午, 中島 明, 岡本健太郎, 金谷 研 : 鉄と鋼, 61 (1975), 2589.
- 53) 上田修三, 石川生明, 小林邦彦, 船越督巳 : 鉄と鋼, 61 (1975), S508.
- 54) 松田昭一, 影山英明 : 鉄と鋼, 61 (1975), S257.
- 55) 船越督巳, 田中智夫, 上田修三, 石川正明 : 鉄と鋼, 68 (1977), 303.
- 56) 渡邊 之, 小嶋敏文 : 溶接学会誌, 49 (1980), 772.
- 57) S. Ohkita, H. Homma and N. Mori : Australian Welding J., 29 (1982), 29.
- 58) H. Homma, S. Ohkita, S. Matsuda and K. Yamamoto : Welding J., 66 (1987), 301s.
- 59) 山本広一, 長谷川俊永, 高村仁一 : 鉄と鋼, 79 (1993), 1169.
- 60) 大野恭一, 岡村義弘, 松田昭一, 山本広一, 向井俊夫 : 鉄と鋼, 73 (1987), 1010.
- 61) F. Ishikawa, T. Takahashi and T. Ochi : Metall. Mater. Trans. A, 25A (1994), 929.

(1998年3月26日受付)



鉄の歴史

二十世紀の鉄鋼技術史を日本で

中澤護人

Morito Nakazawa

Proposal for Compilation of Iron and Steel History in Twentieth Century by Japanese

1 はじめに

ドイツで20世紀前半期、反ヒトラー抵抗運動のブレーンとなり、1944年7月20日ヒトラー暗殺に失敗して自決した元陸軍参謀総長上級大将 Ludwig Beck (1880~1944)は、彼と同名の父 Ludwig Beck (1841~1918)の生誕百年記念の冊子を、死の3年前、1941年に出している。彼の父は『鉄の歴史』全5巻の著者である。

ベック將軍はこの冊子で父の一生を簡潔にまとめているが、その中に次の文がある。「1890年代に東京大学の冶金学教授を引き受けてほしいという提案があったとき、これに踏み切ろうとしなかった理由の一つは、おそらく故郷を離れたくないと考えたからである。同時にもう一つ、妻すなわち私たちの母の健康がすぐれず、遠く旅立つことは無理だったからである」

1890年代、すなわち明治20年代ということであるから、この招聘は明治20年代末から30年代初め、農商務大臣榎本武揚、東大冶金学教授野呂景義、製鉄所建設調査のために渡欧した今泉嘉一郎たちの相談の結果であったのであろうか。ベック博士その人は来なかったが、彼の著わした『鉄の歴史』は日本の鉄鋼人に大きな影響を及ぼした。今泉嘉一郎はこれを座右の書にして赤線を引いている。小島精一は依国一教授に激励されて工学部冶金学教室にある本を読み漁り、ベックのドイツ語の原本をも参考にして、経済と技術の両方にまたがる大著『鉄鋼業発展史論』¹⁾を著わしている。

昭和に入ると、日本鋼管(株)の製鋼現場で活動し、戦後、関東製鋼(株)渋谷工場長、東芝製鋼(株)技師長を歴任した深堀佐市氏が深くベックに魅せられた。深堀氏は今泉嘉一郎の所蔵したベック原本を、この本を相続した今泉益正氏より譲り受け、「第三の人生」(青春の時代、宮仕えの時代の後の)をその翻訳に傾注することを楽しみにしておられ

た。しかし、着手する前にあの世に旅立ってしまった。深堀氏と同じ時期にこの本の翻訳に取り組みはじめてのが、昭和17年新設の東大第二工学部の第二回卒業生青山芳正君であった。兄の佐治芳雄氏のすすめで技術史に興味を持った青山君は、学生時代、ダニレフスキー『近代技術史』²⁾でベックの本を知り、さらにその原本が本郷の大学にあることを知り、これを借り出して翻訳に取りかかり、大学ノートに50頁ほど訳したところで卒業した。尼崎製鋼(株)に就職、現場の製鋼人として活動することになり、その後日新製鋼(株)常務取締役、技術本部長への道を進んで、翻訳は無期延期となってしまった。

ところで戦後、東大第二工学部が生産技術研究所に変わった後、当時失業していた私を金森九郎教授が研究室の事務担当に拾いあげてくれた。研究室の青山君の同級生館充君(現在東大名誉教授)から、この本を青山君が訳そうとしていたことを教えられた。早速本郷の冶金学図書室から借り出し、その格調高い内容に魅せられた。以来、金森教授をはじめ、研究室の人々に支えられ、鳥取県米子市の生田清、亀井健三、松本 勤、斎藤裕司、北垣幸子その他の諸氏の協力を得て、同市の「たたら書房」から全19冊の訳書を出版することができた(本書の意義について 館充、鉄の歴史に学ぶ、金属1998・5)。

この本を訳しながら、私はベックが擲筆した19世紀末までの歴史を承けて、二十世紀の鉄の歴史が書かれなければならぬという思いを深くした。鉄の科学と技術は金属組織学、物理化学、化学平衡、熱力学、速度論と発展をとげた。文科出身の私にはもう理解不可能であった。私はこの仕事に挑戦する人々の出てくることを願った。そうした人々がつぎつぎに登場した。下村泰人氏の『20世紀鉄鋼技術史のトピックス』³⁾を読んだとき、この仕事が始まったのだと思った。著者は序文で「20世紀の変貌してきた鉄鋼業の姿を鉄鋼技術史として残しておきたい」と書いている。さら

に最近、今井宏氏の『パイプづくりの歴史』⁴⁾を読んで、その思いはいつそう深くなった。そこでは古代からの19世紀末をこえて20世紀の現在までの鋼管の製造技術がじつに明快に見事に叙述されているのである。

ところで私にはベックの『鉄の歴史』を訳しながら、もう一つの思いがあった。この本は私にとって間然するところのない本であったが、不満といえば不満とよべるものがあった。19世紀半ばのベッセマーによる近代溶鋼法の誕生以来の鉄鋼「製造」技術の発展は見事に叙述されているが、それにくらべると鉄鋼の「使用」の歴史の叙述はもう一つ不十分だという思いがそれであった。その発展があまりに膨大でベックをもってしても搾り切れなかったせいであろう。だが20世紀には鉄鋼の使用がさらに一層大事になる。そのことは、鋼管を対象をしばった今井氏の本が雄弁に物語っている。

無謀にも私は昔「建築」「土木」「橋梁」「道具(工具)」など、いくつかの重要テーマについて、資料の蒐集に手をつけようとした。しかし私の力の及ぶところでないことを悟って、そのままにした。

最近、松尾宗次氏の『いろいろの鉄(上)(下)』⁵⁾が出版された。鉄鋼の「性質」の多面性と、鉄鋼の「用途」の多面性とは追求され、そして両者の相互関連性が文学的筆致で、しかも的確に叙述されている。そこには『鉄の歴史』の内容を今まで以上に豊かにしてゆく道が提示されていた。

いくつかの力作を読んでいるうちに、『20世紀の鉄の歴史』の輪郭が浮かびあがってきた。それはどんなものであろうか？それらについてどんな文献が集積されつつあるのだろうか？そのことを書いてみたい。しかしその前に19世紀末までの『鉄の歴史』の重要な文献を整理しておきたい。



19世紀までの鉄の歴史の文献

19世紀末までの鉄の歴史については古典的な文献が三つある。第一はベックの『Geschichte des Eisens 鉄の歴史全5巻』⁶⁾。第二はスミスの『A History of Metallography 金属組織学の歴史』⁷⁾。第三はタイルコートの『A History of Metallurgy 冶金の歴史』⁸⁾。

これらの本には欧米の19世紀、20世紀の鉄の科学のすべてが凝集されているということができると思う。この三つの本を読めば、古代からの鉄の歴史について最高の知識を得ることができると思う。この三つの本の簡単な紹介。

まずLudwig Beck (1841~1918)。ハイデルベルク大学において碩学ブンゼン教授のもとで化学を専攻して卒業した。さらにオーストリアのレオーベン鉱山大学のツンナー教授のもとで鉄冶金学を学ぶ。ツンナーはヨーロッパ最高

の冶金学者といわれた人。ベッセマー法誕生のとき四面楚歌のベッセマーを擁護して、ベッセマー法は製鋼法の革命だと主張した。ベックはさらにイギリスのロンドンに渡り、英国冶金学の父といわれるロンドン鉱山大学のパーシー教授のもとで二年助手を勤める。ドイツに戻り、郷里ライン河に面するヴィースバーデンそばのビーブリヒ(現在はヴィースバーデンと合併)という町に鉄の鑄造所を設立し、生涯この経営に全力を傾けた。中部ライン製造業者連盟の会長となってライン河中流の製造業の発展に献身した。この鑄造所は子に、さらに孫のワルター・ベック氏に継承されて現在も引き続き経営されている。ロンドンでパーシー教授の助手をしていたとき、教授から「鉄の歴史が書かれなければならない」といわれ、ベックはこれを自分の義務と考えた。そしてそれが『鉄の歴史』に結実するのである。

ベックの鉄の歴史には19世紀の化学と物理と機械学と工学のヨーロッパにおける最新の学問のすべてが流れこんでいる。しかし、1860年代にソルビーによってはじめられた金属の顕微鏡的研究、それに端を発して19世紀末に爆発的に大発展をとげた金属の構造・組織の学問(メタログラフィ、金属組織学、金相学)は言及されるという程度にとどまらざるをえなかった。この金属組織学を視座にして古代からの製鉄の歴史を再構築したのが第二の書、1960年のスミス博士の『金属組織学の歴史』である。

Cyril Stanley Smith. 1903年英国生まれ、最近世を去った。1924年イギリスのバーミンガム大学の化学を卒業、21歳のときに渡米。MIT(マサチューセッツ工科大学)で物理と化学のドクターコースを卒えた。真鍮会社で実務を経験した。第二次世界大戦が始まるとワシントンの戦時金属委員会のデスク仕事をし、後ロスアラモスで原爆開発の金属材料開発の責任者となる。彼はオープンハイマー、ベータ、フェルミたちと親交を結んで知を磨く。戦後、1946年シカゴ大学の教授に迎えられ、さらに1961年母校のMITの教授に迎えられた(中沢、スミス博士断章、バウンダリー、1995・8)。

日本刀の刃紋、ウーツ鋼の模様(ウオーター)の研究で始まり、ファラデー、ブレアンたちの研究を経て、1864年のソルビーによる顕微鏡組織の発見までを前編とし、後編ではソルビーに始まり、正確な顕微鏡組織を検証したマルテンス(独)、樹枝状品を発見し、また変態点を見出したチェルノフ(露)、 α 鉄、 β 鉄の変態を究明したオスモン(仏)、状態図を確立したオーステン(英)とローゼボーム(オランダ)その他によって金属組織学が豊かに開花してゆく有様が興味深く叙述されている。

スミス博士は「美的好奇心」こそが科学技術を促進してきたのであり、それは「創造性」の源泉であったと確信し

ており、そのことがこの本をいっそう魅力的なものにしている。

1964年はソルビー発見百年であった。スミス博士はこの年、アメリカに全世界の優れた金属科学者を集め、金属組織学の歴史に関するシンポジウムを開催し、この学問の百年の展開を俯瞰した。このシンポジウムの一切が一冊の本になっている⁹⁾。

さて20世紀に入ると、金属の科学は化学平衡論、熱力学、反応速度論と大きな発展をとげてゆく。こうした新しい知識のすべてを土台にして鉄の歴史を新しく再構築したのが第三の書、1976年のタイルコート教授の『冶金の歴史』である(R. F. Tylecote教授はニューカッスル大学の冶金学教授)。タイン河に面するニューカッスルはかつてヨーロッパ有数の石炭輸出港であった。すでに16世紀からヨーロッパ全体への石炭供給基地として栄えた。そこに製鉄、造船など重工業が発展した。南50キロを距ててタイン河と並行するティーズ河の岸に沿って、スチブソンが最初の本格的鉄道ストックトン＝ダーリントン鉄道を石炭輸送のために敷設した。この鉄道の成功でやがて有名なマンチェスター＝リヴァプール鉄道が誕生するのである。ストックトンのテーズ河対岸が有名なミドルスブラである。後背地のクリーブランド丘陵の含燐鉄鉱石を利用するため、発明家トーマスと工場長リチャーズが協力して、この町でトーマス法の工業化に成功するのである。

タイルコート教授はこうした伝統と、最新の学問を結合して冶金の歴史の研究を新しい段階に高めた。

上述の3冊の本を読めば、古代から19世紀末までの世界の鉄の歴史のあらましのほぼ全貌を把握できる。ベック以外の未翻訳の2冊の本もぜひ日本語に訳される必要がある。幸いに、タイルコート教授の本は新日本製鐵(株)光製鉄所の技術研究部長沖森麻佑巳氏の手で、すでに粗訳ができあがったと聞いている。やがて精訳されて日本の鉄鋼人の財産となるであろう。スミス博士の本もぜひ誰かの手で。

ところで19世紀までの鉄の歴史に関する本は、もちろん上の3冊がすべてではない。重要な本が無数にある。ここで重要と思われる本を二・三あげる。「各家に2台の自動車を」と繁栄を国民に誇示した直後、1929年の大恐慌に見舞われた悲劇の米国大統領フーバーは、鉱山技師の出身であった。彼とラテン語のできる夫人との協力で、世界最初の偉大なる冶金の書、16世紀のアグリコラ(1494～1555、ドイツ人、ケムニッツにて死去)の『デ・レ・メタリカ』(原典ラテン語、1556年出版)が英訳された。日本語訳もある¹⁰⁾。

この本と同じ頃、イタリアでヴィリングチオ(1480年頃～没年不詳)によって『ピロ・テクニア(火工の術)』(イタリア語、1540年)が出版された。この書はスミス博士によっ

てイタリア語のできるグヌーディ女史との共訳で英訳された¹¹⁾。

18世紀のフランスの大学者レオミュール(Rene Anntoine Ferchault de Réaumur, 1683～1757)のフランス語の本もスミス博士の協力のもとにシスコ女史によって英訳されている。これは滲炭鋼と可鍛鑄鉄の製造技術を科学的に探究し、製法を確立したもので、冶金学をはじめて実験科学たらしめた名著である¹²⁾。

さらにスミス博士は、18世紀までの鉄鋼の科学の重要文献の部分訳を集めて一冊の本に編集している¹³⁾。

この本には鋼の炭素を化学分析し、鋼が鉄と炭素の合金であり、炭素含有量の差で鍛鉄、鋼、鑄鉄の相違が生ずることを確定したベリマン(瑞)、金属「材料学」の父とよばれるリンマン(瑞)、吹き止めした高炉の炉底から鉄の結晶を発見したグリニョン(仏)、ラヴォアジエの化学を基礎として鉄鉄と鋼の「還元」と「酸化」のメカニズムを始めて明らかにしたヴァンダーモン、ベルトレ、およびモンジュの三人(仏)の論文などが取り上げられており、金属にたずさわる科学者にとっての必読論文である。

この他にも19世紀末までの鉄の歴史についての貴重な文献は山ほどあるが、ここでは割愛する。しかし、どうしても取り上げたいのは中国の古代製鉄についてのJoseph Needham博士(1900～1995)の業績である。イギリスの生化学者ニーダムは、第二次大戦中、ビルマ援将ルートを辿り中国に入り、「中英科学技術合作館」を組織し、中国の科学者、技術者と力を合わせて中国全土をかけめぐって抗日戦争を戦い抜いた。その中で中国の文献に接し、古代においては科学と技術がヨーロッパにくらべて「東高西低」であったことに瞠目する。そして戦後、完成すれば「20世紀最大の著作」となるといわれる『Sience and Civilisation in China 中国の科学と文明』¹⁴⁾を中国人はじめ全世界の研究者の協力のもとに刊行し続けている。訳書が東畑精一および薮内清博士監修で、1974年以来思索社によって出版され、現在まで全11冊出ている。

ニーダムを驚嘆させたことの 하나가、中国で溶けた鉄が鑄鉄としてすでに前5世紀頃から工業的に生産されていたことであった。ヨーロッパでは、鑄鉄の生産はせいぜい15世紀までしか遡れないとされている。中国の古代製鉄については、ニーダム博士の協力者デンマークのコペンハーゲン大学教授ワグナー博士によって漢代までの部分がまとめられて出版された。この本の翻訳にまさに着手しようとしていた原善四郎氏が1993年死去され、残念なことであった。ニーダム博士も1995年世を去った。

最後にベッセマー自伝¹⁵⁾。近代溶鋼法、そのもとになったベッセマー転炉法がどのようにして誕生したのか、そのプ

ロセスを回想したこの本は鉄鋼人にとって最重要の文献の一つである。名古屋大学の金属学の黒田光太郎教授と田川哲哉講師の手で精訳が目指されている。世に問われる日が待たれる。

さらに日本の古代からの「たたら製鉄」についての研究がこれに加わることは言うまでもない。

以上で「19世紀末まで」を終る。ついで我々鉄鋼人が現に生きている「20世紀の鉄の歴史」の文献に移ろう。

3 20世紀の鉄の歴史の文献

近代溶鋼法の根本技術は、1856年に世に問われたベッセマーの「転炉法」の発明に始まり、1864年のシーメンス兄弟(英・ドイツ人)およびマルタン(仏)の廃熱活用の「平炉法」の発明を経て、1879年のトーマス(英)の塩基性耐火物と塩基性スラグによる「脱燐法」の発明で完結する。これを軸として高炉(製鉄)―転炉・平炉(製鋼)―圧延機(加工)という鉄鋼製造の近代体系が完成する。この製鉄体系は20世紀前半期に、二度にわたる世界大戦を経験しながら、物理化学、金属組織学、化学平衡、熱力学、反応速度論など鉄の科学に支えられて大きく開花し、産業中でも最もマンモスな産業に発展する。転炉と平炉が共存したことも特徴的であるが、この時代に電気炉が大きく発展したことも注目される。これらの発展の先頭に立ったのがアメリカの鉄鋼業であった。

第二次世界大戦が終わり、20世紀の後半期に入ると、LD法が登場してきて鉄鋼技術のさらなる発展が始まる。ドイツ、スイス、オーストリアの鉄鋼人の協力で開発され、その工業化試験が実施されたオーストリアのリンツとドナウウィッツの両製鉄所の頭文字をとってLD法の名で世界に通用した純酸素転炉法が1951年に工業化に成功した。

今までの世界の平炉法・転炉法共存時代が終り、転炉法一色になった。大量生産の転炉法と呼応して、高炉法も圧延法もさらに技術革新した。この変化のなかで、製鋼法も連続鑄造法、高圧鑄造法、鍋精錬法を採用し、オートメーションシステムを完成し、大発展をとげた。

ところでこのLD法を軸とする革命的な製鉄技術を世界の先頭に立って確立していったのは？それが日本であった。経営者、技術者・研究者、営業人が一体となって世界の鉄鋼人が驚歎する鉄鋼技術を築きあげたのである。20世紀が終ろうとしている現在、日本の鉄鋼技術者は自らの手で構築した、世界に誇る技術の生成の過程を明らかにし、これを世界に向けて発信する責務があるのではなかろうか。そのために、すでに貴重な業績が蓄積されている。

まず1973年に日本鉄鋼協会に館充東大教授を委員長とし

て発足した「鉄鋼科学・技術史委員会」の業績がある。同委員会で『原燃料から見たわが国の製鉄技術の発展』¹⁶⁾、『わが国における酸素製鋼法の歴史』¹⁷⁾、『高張力鋼を軸としたわが国の鉄鋼の加工と使用』の三つのテーマが設定され、長期の作業が行われた。特に青山芳正氏を主査として、各鉄鋼会社および大学の技術者および研究者が侃侃諤諤の討論によってまとめあげたLD法の発展の歴史は白眉というべきものであろう。

さらに1970年代に、山本全作氏のもとで新日本製鐵(株)の各作業所の若手技術者の教育のために組織された「技術研修応用工学コース」が注目される。このコースのテーマの一つとして「連続鑄造法」の歴史が取り上げられている。私は大分の湯布院で、このコースに参加する機会を得、若い技術者諸君がグループを組んで熱気溢れる討論をしているのを目撃して感動したのであった。

また梶岡博幸『取鍋精錬法―多品種・高品質鋼 量産化への挑戦』¹⁸⁾は新LD法体系を完成するために重要な役割を果たしたこの技術の歴史をあざやかに描き出している。

ところでLD法の導入時、日本の会社や技術者はヨーロッパの会社や技術者との交渉にどのように苦労したのであろうか？当事者の回顧は興味ある示唆に富むテーマであろう。最近私は1996年の新日本製鐵(株)八幡製鉄所第23回八幡製鋼研究会において加藤健氏が語ったという『OGの開発』という冊子を、佐々木清和氏のご好意により読む幸運に恵まれた。そこには八幡製鉄所と横山工業が共同開発したOG法(転炉の排ガス非燃焼回収法)が、技術輸出の尖兵となってヨーロッパに輸出され、日本の鉄鋼界の大きな利益となった様子が生き生きと描かれていて、私は深い感銘を受けた。これと同様なことが、LD法導入について、当事者によって語られるならば、どのように世界の鉄鋼人に役立つだろうという思いを禁じえない。今からでも、これに関係した人々によって記録され、あるいは散在するものが集められて編集される必要があるように思われる。

さらに、特殊鋼の分野では、青山芳正『ステンレス鋼精錬法の歩み』¹⁹⁾と岸田壽夫『和魂洋才―戦後の特殊鋼製鋼技術の進歩(1945～1965)』²⁰⁾という優れた論文が我々に与えられている。

すでに鉄鋼界に縁がなくなった私が知らない素晴らしい多くの業績が蓄積されていることであろう。

日本の鉄鋼技術者の手になる『20世紀の鉄の歴史』の素材はすでにあるのであり、これらを集大成しさえすれば良いということではなかろうか。残るは個人がベックの『鉄の歴史』やスミスの『金属組織学の歴史』やタイルコートの『冶金の歴史』のようなものをまとめるか、あるいは日本鉄鋼協会が組織者となるか？

4 おわりに

15世紀にドイツ西部、ベルギー、オランダで誕生した高炉法が全ヨーロッパに伝播し、それまでの直接法(鉄鉱石→鋼)という製鉄技術を一変し、間接法(鉄鉱石→鉄鉄→鋼)の時代に入った。それから三百年、18世紀に入るとイギリスで従来の木炭に代る石炭(コークス)を燃料とするコークス高炉法が登場して新しい製鉄技術の変革がはじまり、それは19世紀中頃のベッセマー法の発明で頂点に達し、近代溶鋼法の時代に入る。この近代溶鋼法は20世紀前半期に機械と電気の国アメリカのリードのもとに完成される。そして20世紀後半期に入ってドイツ、スイス、オーストリアでLD法(純酸素転炉)が登場し、この製鋼法が日本のリードのもとに完成され、再び全世界の鉄鋼業の相貌を変えた。それは間接法の究極の姿かもしれない。つぎの21世紀にはどうなるのか? 間接法の時代から直接法の時代への「回帰」(あるいは両者の「止揚」)ではないかともいわれる。

さて21世紀を目前にして、日本の鉄鋼人は、ドイツがベックの『鉄の歴史』を生み、イギリスがタイルコートの『冶金の歴史』を生み、アメリカがシカゴ大学およびMIT教授スミスの『金属組織学の歴史』を生み出したように、日本もまた自らが主役を演じた20世紀後半のLD法を軸とした鉄鋼技術の発展をまとめる責任があるのではなかろうか?

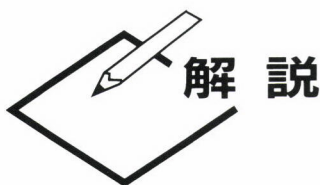
ベッセマーは近代溶鋼法を生み出す過程で、次々に新しいことを発想した。上吹き転炉法、純酸素による精錬、高圧下での化学反応、真空脱ガス、溶鋼を直接に二つのロールのあいだを通して薄板にする技術。これらの技術はすべて20世紀になって実現された。20世紀の鉄の歴史を研究すれば、21世紀の鉄鋼技術がどうなるかのヒントが与えられるかも?

参考文献

- 1) 小島精一: 鉄鋼業発展史論, 有斐閣 (1925)
- 2) ダニレフスキー, 榊本セツ, 岡 邦雄共訳: 近代技術史, 岩崎書店 (1954, 戦前版は1937)
- 3) 下村泰人: 20世紀鉄鋼技術史のトピックス, 日本鉄鋼連盟 (1995)

- 4) 今井 宏: パイプづくりの歴史, アグネ技術センター (1998)
- 5) 松尾宗次: いろいろの鉄 上下, 日鉄技術情報センター (1996, 1997)
- 6) Ludwig Beck: Geschichte des Eises, F. Vieweg, 1884第1巻~1903第5巻, 中澤護人訳, ベック鉄の歴史, 全19冊, たたら書房, 第1分冊1968~第19分冊1986.
- 7) Cyril Stanley Smith: A History of Metallography, The University of Chicago Press (1960)
- 8) R. F. Tylecote: A History of Metallurgy, 冶金の歴史, Metals Society (1976初版, 1992 2版)
- 9) Metallurgical Society Conferences: The Sorby Centennial Symposium on the History of Metallurgy, Gurdon and Beach Science Publishers (1965)
- 10) 三枝博音訳: デ・レ・メタリカ全訳とその研究, 近世技術の集大成, 岩崎学術出版社 (1968)
- 11) Vannoccio Birnbaum, Piro Technia, MIT Press (1942初版, 1959重版)
- 12) Grunhaldt Sisco訳: Réaumur's Memoirs on Steel and Iron, The University of Chicago Press (1968)
- 13) Sources for the History of the Science of Steel: MIT Press and the Society for the History of Technology (1968)
- 14) Joseph Needham and Wung Ling: Science and Civilisation in China, The Syndics of Cambridge University Press, England (1954)
- 15) Bessemer, Autobiography (1905)
- 16) わが国における酸素製鋼法の歴史, 日本鉄鋼協会鉄鋼科学・技術史委員会編, 特別報告書, No37 (1984)
- 17) 原燃料からみたわが国製鉄技術の歴史, 日本鉄鋼協会鉄鋼科学・技術史委員会編, 特別報告書, No33 (1981)
- 18) 叢書 鉄鋼技術の流れ第2巻, 日本鉄鋼協会, 地人書館 (1997)
- 19) 青山芳正: 鉄と鋼, 63 (1977), 5, 561.
- 20) 岸田壽夫: ふえらむ, 2 (1997), 9, 668.

(1998年5月13日受付)



超伝導強磁場応用技術と構造材料

—素粒子加速器用材料を中心として—

野原清彦

川鉄テクノリサーチ(株) 専門技監

Kiyohiko Nohara

Structural Materials for Superconductivity Application at High Magnetic Field
—Focussing on those for Particle Accelerator—

1 はじめに

今世紀始めにオランダのカメリン・オンネスによって超伝導現象が発見されて以来、長らく理学的興味の対象の時代が続いた。しかるに高エネルギー(素粒子)物理学実験用加速器の巨大化がいわば先導役となり、高温超伝導体発見のブームも手伝って、超伝導応用が工学的対象として現実のものとなってきた¹⁾。MRI(磁気共鳴医療診断装置)がすでにコマーシャルベースで製造・販売・実用化されているのは周知の事実である。

さて、超伝導現象の理工学的実用対象は、強磁場応用諸分野とエレクトロニクス分野に大別することができるが、前者には上記大型粒子加速器に代表される高エネルギー物理学分野やMRIが成果を発揮している医療分野のほかに、運輸・交通分野(磁気浮上列車他)、電力・エネルギー分野(核融合、電力貯蔵等)、産業機器・機械プロセス分野(磁気分離、磁気ベアリング等)、物理研究分野(電子顕微鏡等)と多岐にわたる。これら諸分野に関わる超伝導応用技術の開発研究を遂進するためには種々の基盤技術の支援・連携と新技術開発がぜひとも必要となる。すなわち、応用物理学、生産・機械工学、電気・電子工学、低温工学、計測・制御工学、土木・建築学、原子力工学、それに材料工学等々である。

本稿では加速器を中心として磁気浮上列車、核融合、電力貯蔵等に使用すべき構造材料についてしるすこととする²⁾。ここでとりあげる各技術の構造材料が関連する共通のキーの一つは新しい超伝導磁石(コイル)の開発である。

2 高エネルギー物理学用超伝導加速器について

2.1 概要

近年、高エネルギー(素粒子)物理学における成果にはめざましいものがある。いわゆる標準理論(電磁気力と放射壊変に関連する弱い力を統一的に説明しようとする理論)において存在を予測されていたトップフォークが遂に100%近い確率で発見されたことが報じられている。これは、超伝導衝突型加速器を用いて、米国のフェルミ国立加速器研究所でなされたものである³⁾。

この種のシンクロトロン形式の加速器はますます大型化しつつあり、財政事情もあってR/D途中でキャンセルとなった米国のSSC(Superconductivity Supercollider)計画にかわって、現在欧州を中心に国際協力のもとに進められているのがLHC(Large Hadron Collider)計画である。これは図1に示すように、欧州合同加速器・原子核研究所の

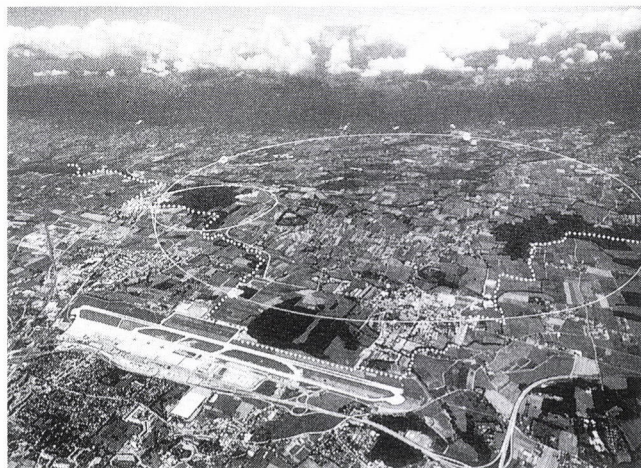


図1 CERN(欧州合同加速器・原子核研究所)の鳥瞰図(大きな円：主リング、点線：スイス/仏国境、手前：ジュネーブ国際空港)

全周約27km(上記フェルミのものは全周約6 km)のトンネル(地下約100m)内に2005年完成をめざして建設しようとするもので、おもに質量の起源に関わるヒッグス粒子の探索を目的とする⁴⁾。

直近では、周長500kmに及ぶ同種の巨大加速器VLHC (Very Large Hadron Collider)計画の検討が米国で始まっているほかに、シンクロトン形式では必然的に発生する放射光の影響を回避できる線型超伝導衝突型加速器のR/Dが欧・日・米で開始された。これも延長20kmを越える大型のものになる予定である⁵⁾。

2.2 加速器の構成と構造材料

シンクロトン型超伝導衝突型加速器の主要構成装置は次のようである：(a)超伝導磁石(SCM)、(b)粒子検出装置、(c)超伝導高周波空洞(SCC)、(d)冷凍・冷却関連設備等である。これらは、いずれも構造材料を相当量使用する。なかんずく、SCMの開発・製作は加速器の成否を決定する肝要な装置であり、材料側からいっても技術的課題や大量使用の点から重要である。図2にLHC用R/DによるSCMの一例を示す⁶⁾。これは10m長長のビーム偏向用双極磁石の試作品であるが、本格量産品は両端アタッチメントを入れて約15m長になるものと予想され、1,200台余り製造される(LHC用SCMにはこの他にもビーム収束用主4極磁石や衝突点特殊磁石、補正補石など種々あって、合計2,000台に及ぶSCMが必要となる)⁷⁾。

超伝導双極磁石の断面はハイブリッド構造を有しており、特に超伝導状態を維持するため極低温(4.2K以下)に冷却されるコールドマスと呼ばれる部分(図3に模式図を示す)が磁石性能を左右する。超伝導コイルをはさんで、極低温構造材料として加速衝突ビーム(陽子、反陽子、電子、陽電子等)用チューブ(非磁性)、電磁力支持用カラー及びカラー

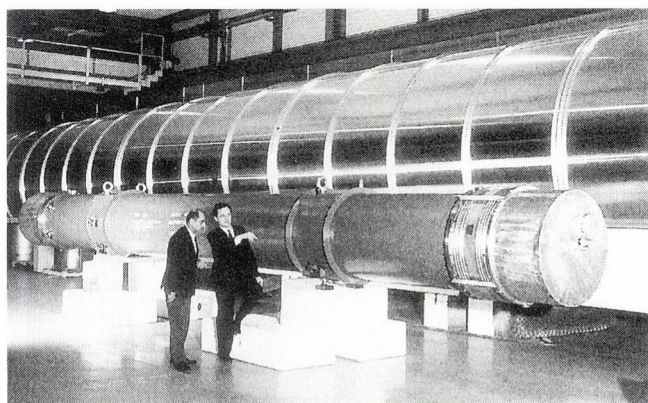


図2 LHC(大ハドロン衝突型加速器)計画用10m長プロトタイプ超伝導磁石の外観

シュー(非磁性)、磁気シールド用(センター)ヨーク(強磁性)、磁界擾乱抑制用エンドヨーク(非磁性)、格納用アウターシェル(弱磁性)等が使用される。構造体にはプリストレスが付与され、室温と極低温間で熱履歴がくり返される。

2.3 ニュートリノ及び放射光用加速器

現在、究極の粒子、すなわち素粒子として6種類のクォーク(この組み合わせによって陽子、中性子等のハドロン(重粒子)が形成される)と6種類のレプトン(軽粒子)の計12種類の粒子の存在が知られている。レプトンには電子(電荷を持つ)、ミュー粒子、タウ粒子の3種類の粒子と、クォークを含めて唯一電荷をもたない素粒子として3種類のニュートリノがある。このニュートリノの質量が極端に小さいと思われる(電子の10億分の1くらいか?)等の謎を解くための加速器⁸⁾にも大量の構造材料が使われる。

電子が走行方向を変えるときに発生する放射光利用設備は、比較的低エネルギーの加速器の一種ということができ、高エネルギー物理の波及効果といえる。半導体、医学・生物学、材料科学等に広く応用できると同時に、この設備をつくるのに超伝導技術と多量の構造材料が使用される⁹⁾。

以上、加速器関連諸設備と構造材料について述べたので、表1にそれら設備・コンポーネントと構造材料につき、全体像をまとめておく。これをみると、やはり鉄鋼材料が中心になるものと考えられ、その最先端技術への寄与が期待されるところである。

3 加速器用超伝導磁石と構造材料

3.1 超伝導磁石用非磁性構造材料

図3に示した超伝導磁石コールドマスのカラー、ビームチューブ、カラーシュー、エンドヨーク(ボイド)やディテ

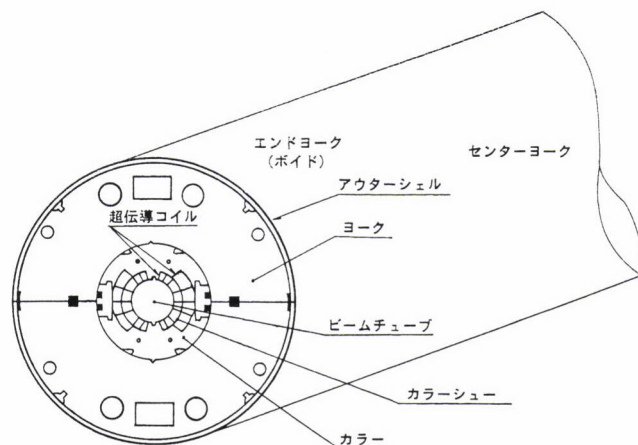


図3 超伝導磁石のコールドマス(極低温冷却部)の断面図

表1 種々の加速器と構造材料

加 速 器									
高エネルギー加速器			ニュートリノ設備			放射光設備			
シンクロトロン衝突型 リニアック衝突型									
超伝導磁石	ビームパイプ (非磁性、製造)	ステンレス鋼 (高Mn鋼)	打出し側 (KEK)	超伝導磁石	Al ステン レス鋼	鉄	ケイ素鋼	その他	
	カラー (カラーシュール)	Al合金 高Mn鋼 改良ステンレス鋼		陽子シンク ロトロン	Al合金	常伝導磁石 (ストレージリング)	ワットロス ヒステリシス		
	強度、非磁性、ヤング率、 熱膨張、打抜き性、 溶接性、平坦度			収束用電磁石 ホーン	鉄	リニアック 前段加速器	Al ステン レス鋼		
	エンドヨーク (ボイド)	高Mn鋼 改良ステンレス鋼		ビームダンプ (未反応陽子 未反応電子 中間子の吸 収用)	鉄				
ヨーク	センターヨーク	純鉄	受入れ側 (神岡地下検出器)	貯水槽	ステン レス鋼	超伝導磁石 (ストレージリング)	ウィーグラー アンジュレータ	ステン レス鋼 (Al合金)	
	強度、シールド性、 保磁力、透磁率、熱膨 張、打抜き性、平坦度、 プレスフィット、スタ ッキング性			耐食 強度 耐放射	その他 土木建 築用構 造材		低温特性 超伝導使用		
高周波空洞	本体	純Nb	受入れ側 (神岡地下検出器)	鉛ガラス 同支持材	鉛ガラス 非磁性材	放射光 取出し装置	アルミ ステン レス鋼 他		
ディテクター	リターンヨーク、エンドキャップ	純鉄		光電子増倍管		実験機器			
	強度、シールド性、保磁力、 透磁率、厚板製造、種属								
冷凍冷却	鉛ガラスサポーター (非磁性、強度)	高Mn鋼 ステンレス鋼							
	デュワー トランファーチューブ パイプ (低温特性)	ステンレス鋼 (樹脂系)							

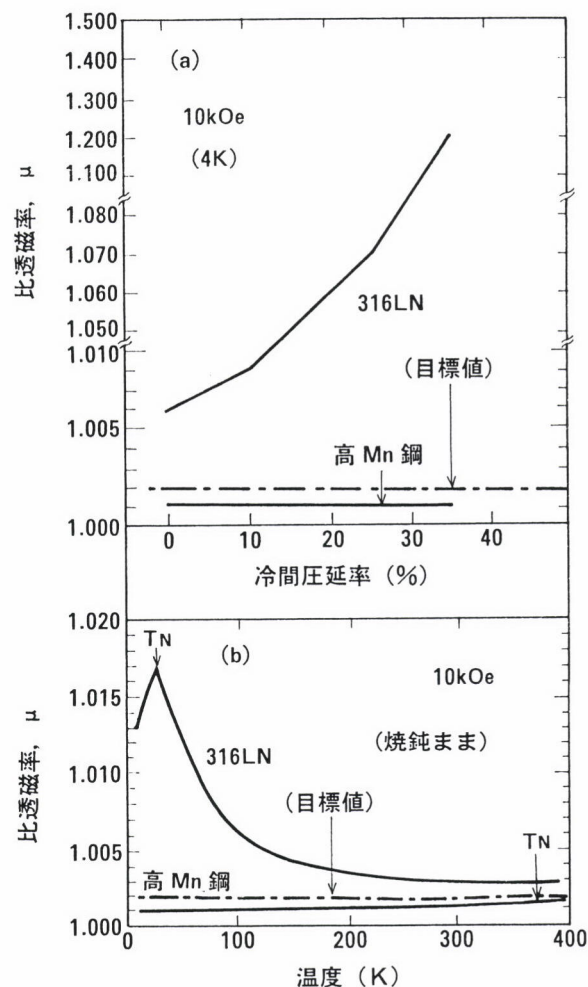


図4 高Mn鋼とステンレス鋼の極低温比透磁率の加工及び温度による変化

クターの鉛ガラスサポーター用として非磁性構造材料が必要となる。特にカラー材料は発生強磁界との相互作用を抑制するため非磁性であること、電磁力を支持するため高強度であること、ヨーク(純鉄)との接触を維持するため低熱膨張性を有すること等が求められる。候補材料として表1のようにステンレス鋼やAl合金があるが、一長一短がある。ここでは新たに開発された極低温用高Mn非磁性鋼について触れる¹⁰⁾。

この鋼はCを0.1%、Mnを28%と大量に含み、その他の成分添加に工夫を施した完全オーステナイト鋼であり、図4に示すように変形や極低温までの温度変化による比透磁率(10kOe)の変化がほとんどなく、1.002以下をキープし、極低温領域でこれまで使われてきた316LNステンレス鋼と対照的である。これは本鋼のネール点(T_N)が室温以上の高温域に存在することによる。そして T_N が次式で成分組成と結ばれることが見いだされたので、組成制御により T_N 、ひいては比透磁率が所要の値を満たすように成分の組成をコントロールしたものである¹¹⁾。

$$T_N(K) = 270 / (3.8C\% - 0.22Mn\% + 6.9) \quad \cdots \cdots (1)$$

また、高強度(0.2%耐力: 690MPa(室温)、1500MPa(4K)、引張強さ: 830MPa(室温)、1720MPa(4K))であ

り、熱膨張係数もヨーク用純鉄よりも低い($7.5 \times 10^{-6}/\text{deg.}$ (4~300K))ので、超伝導磁石の励起実験によって得られた図5に示す6極誤差成分の電流依存性から推察されるように、本鋼製カラーを用いるとステンレス鋼製カラーの場合と異なってカラー/ヨーク間のギャップ生成/衝突接触が回避される¹²⁾。

3.2 超伝導磁石用強磁性構造材料

図3及び表1によれば、超伝導磁石の(センター)ヨークやディテクターのヨーク材として強磁性の純鉄材料が必要となる。超伝導磁石の(センター)ヨークは、ビームチューブ内に励起される強磁界(LHCの場合、中心磁界で8万ガウス以上)が磁石外部に漏洩せぬよう磁気シールド作用を受けつつ重要なコンポーネントである。シールド性を高めるために電磁保持力 H_c の低減が求められた。 H_c の計算値 $H_{c(cal)}$ が次式、

$$H_{c(cal)}(Oe) = \alpha + \sum \beta_i C_i(\%) + \gamma d(\mu m) \quad \cdots \cdots (2)$$

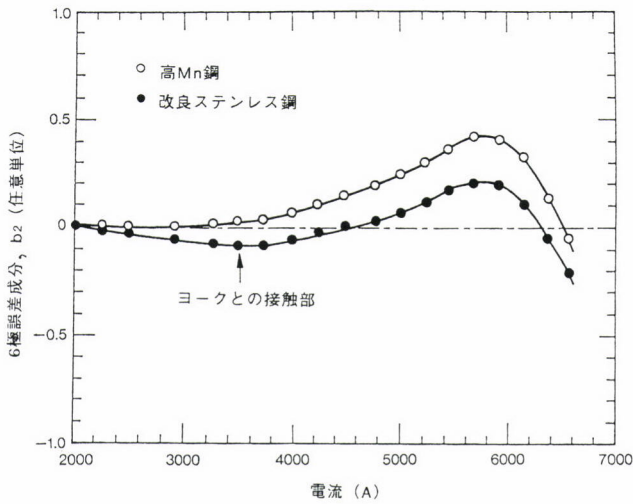


図5 超伝導磁石ビームチューブ内6極誤差成分の励起電流による変化

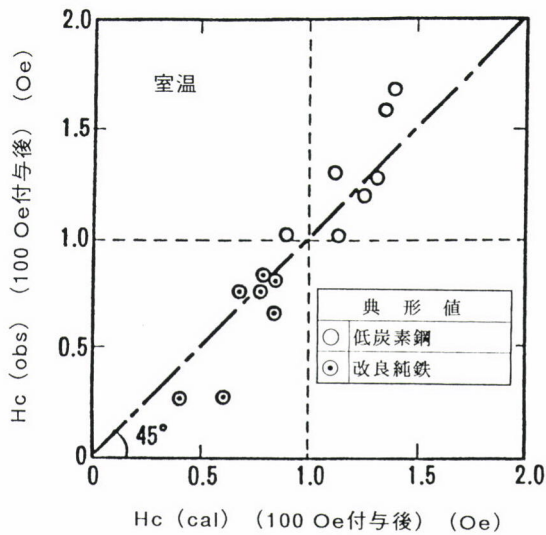


図6 保磁力(Hd)の計算値と実測値の関係

によって成分組成および光学顕微鏡で観察することのできる結晶の大きさから計算することが見いだされ¹³⁾、図6のように実測値 H_c (obs)とよく対応することを知見した結果、商用純鉄(低炭素鋼)では達成困難であった $H_c < 1.1$ を安定達成できる改良純鉄が開発された¹⁴⁾。(上式において定数 α (冷延) = +0.05, α (熱延) = -0.55, C_i は組成、 β_i はその係数(C: 200, N: 200, S_1 : 0.5, Mn: 1, P: 20, S: 20, Al: 46, O_2 : 20 (冷延) または 80 (熱延)), d は粒径、 γ はその係数で -2×10^3 。この他に(100)方位や残留応力も H_c に影響する)。改良純鉄の特徴はCを10ppm程度、Nを15ppm程度と従来量より半減せしめるとともに、他の不純物元素をも低減して、一層の高純度化を工業的に達成したことである。

さて(センター)ヨークは、精密打抜き後積層されるので、

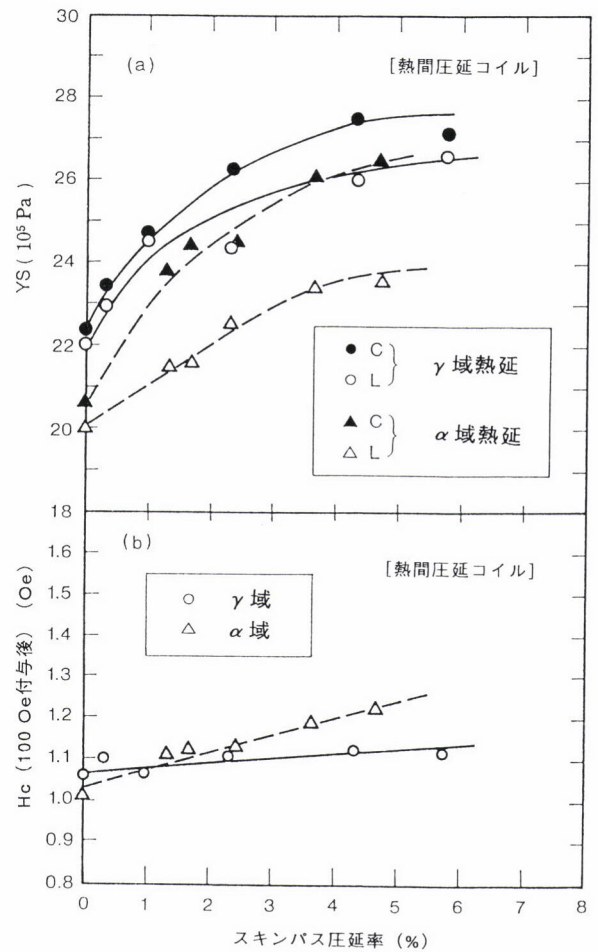


図7 純鉄材の降伏応力(YS)と保磁力(Hc)の γ 及び α 域熱処理におけるスキンプス圧下率による変化

上記のように成分の高純度化、なかんずく極低炭素化した改良純鉄の打抜き性は、強度低下/粘さのため劣化する。これを回避するべく、熱延/自己焼鈍後スキンプス(軽圧下圧延)処理を施すことにより、図7に示すようにHcの低下を極小に抑えて、数10MPaに及ぶ強度の上昇を実現した。特に γ 領域の熱延の場合に望ましい効果が現われることがわかった。このような新発見は特にC, Nの極低値化によるものと推察される。

3.3 超伝導磁石非磁性材料の加工性

新たに開発された極低温用高Mn非磁性鋼を超伝導磁石のカラーやボイドに適用する場合、種々の加工性が要求されるが、とりわけ精密打抜き性と冷間嵌合性が重要である。その理由は、交流損失を抑制するため、15m長に及ぶ実機のすべてを薄板の積層タイプにするからである。

図8はこの極低温用高Mn非磁性鋼のカラーを2.5mm厚冷延コイル素材から精密打抜きしたときの打抜きまま及びバレル研磨と最終レベラー矯正後の平坦度のレベラー/アンコイラー条件による変化を示したものである¹⁵⁾。高強度

表2 超伝導磁気浮上列車と構造材料

区 分	対 象	候補構造材料	技 術 課 題	
			一 般	材 料
1	軌道(ガイドウェイ)	難磁性鉄筋	- 磁石収納方式 - 環境問題 - 防風 - 磁気シールド	- 加工性、溶接性 - 透磁率 - 耐久性 - ガス切断、穴あけ他
	側 壁	アンカーボルト(コイル取付) — ボルト — インサート(押込ネジ) — スペース		
2	車 両	磁気シールド 強度メンバー 型枠台車	- 超伝導磁石の開発 - 磁気シールド法	- 軽量磁気シールド材 - 純鉄の磁性 - 三次元磁場解析
3	駅	磁気シールド乗降装置 シールド非磁性駅舎	- 風防装置 - 磁気シールド方法 - 乗降客輸送システム	材料選択と装置製作
4	分 岐	分岐装置	- 油圧方式と電気方式の検討 - 可動区間と固定区間の接点 - 精度の問題	- 加工性 - 溶接性
5	橋	橋梁設計施工	- トラスゲタ方式(鉄)の検討 - PCゲタ方式の検討	材料の選定
6	トンネル	掘削・施工	U型鋼	半円径における列車出入口の空気抵抗対策
7	電力供給	変電所 送電	- パイプ(材) - FRP - 非磁性材 - 強磁性材	強電用(ケーブル)と弱電用(ファイバケーブル)のパイプ材の開発
8	磁 石	車載用(超伝導)	Al合金、ステンレス鋼	- 材料の選定 - 強度、極低温特性 - 加工性、溶接性
		側壁用(常伝導)→推進用、浮上用	ステンレス鋼、高Mn鋼	- 機能の確立 - 磁気の影響

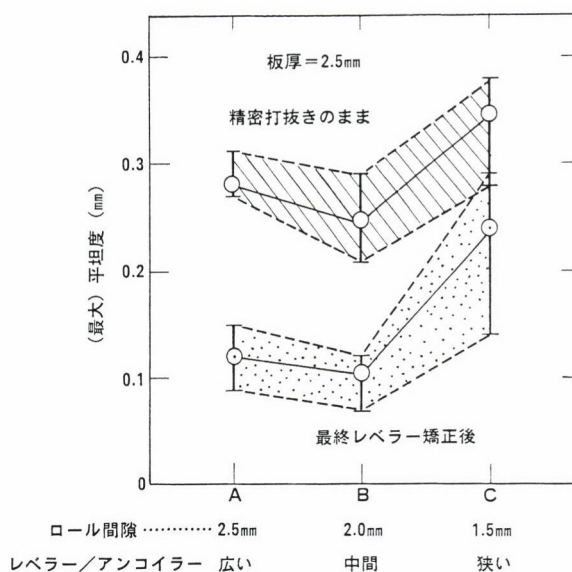


図8 高Mn鋼の精密打抜きにおける表面平坦度のレベラー条件と矯正処理(最終レベラー)による変化

材ではあるが平坦度は0.1mm程度を実現し得ており、実用にたえることが示された。同じく嵌合性に関する実験データを図9に示す¹⁶⁾。穴径とダボ径の差(嵌合径の差)(穴径のほうが小さい) - Intf. (= Interference) をパラメータとして、嵌合深さを変化させたときの引抜き力は図示のとおり、発生電磁力に耐えるための目標値(嵌合部2ヶ所のほうが1ヶ所の場合より小さい)をクリアする条件が存在することが示されている。

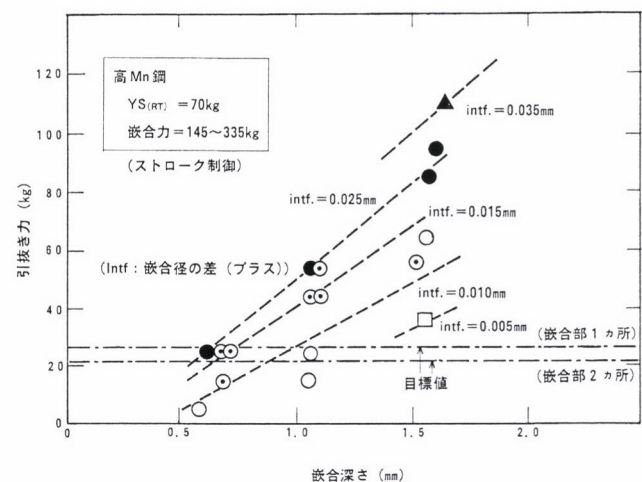


図9 高Mn鋼の冷間嵌合実験結果

加工性としては、この他にもスポット溶接性、スタッキング性、磁石への組立性等が要求され、それらすべてが材料性能とあいまって磁石性能としてのプリストレスロス、変形/ひずみ量、クエンチ特性、ランプレート特性、磁界の大きさと均質性等に影響することとなる。

4 磁気浮上列車・核融合・電力貯蔵と構造材料

4.1 磁気浮上列車

周知のように、わが国では年来超伝導型の磁気浮上列車

表3 核融合超伝導コイル用極低温構造材料と特性(4K)

JCS*	成分組成 (wt %)							機械的性質						
	C	Mn	Ni	Cr	Mo	N	Others	YS (MPa)	TS (MPa)	El (%)	RA (%)	CVN (J)	Jic (kJ/m ²)	Kic (MPa√m)
CSUS-JKA1	0.023	0.49	14.0	25.0	0.68	0.268	V: 0.30 Cu: 0.70	1295	1534	34	49	250	460	302
CSUS-JN1	0.026	4.2	14.74	24.2	—	0.34	—	1403	1782	40	52	183	196	201
CSUS-JN2	0.050	22.4	3.22	13.4	0.70	0.24	—	1215	1603	36	46	125	182	189
CSUS-JK2	0.05	21.79	4.94	12.82	—	0.212	—	1203	1623	39	52	124	188	202
CSUS-JJ1	0.046	9.74	11.92	12.21	4.89	0.203	—	1110	1574	43	51	185	372	267

* Japanese Cryogenic (Structural) Steels (for Superconducting Nuclear Fusion Coil)

の開発が進められている。1997年度からは山梨実験線における擦違いを含む走行実験が始まった。

表2にこのシステムの建設に要する候補構造材料を中心とした使用対象、技術課題をまとめた¹⁷⁾。車載用超伝導磁石が用いられるのが特徴であるが、そのために磁場の擾乱を避けること、磁気シールドを行って人体への影響をなくすること等が必要となり、随所に非(難)磁性材料が使用されることとなる。すでに、山梨実験線に多量の高Mn非磁性鋼が使用された。軌道／側壁用に非磁性PCワイヤーの開発も進められている。

4.2 核融合

核融合発電は次世紀のクリーンエネルギーとして長期にわたる研究開発が国際協力のもとで進捗中である。最有力とみられるトカマク方式の当面の目標は、自己点火条件をめざした国際熱核融合炉であり、大規模な超伝導コイルが設けられる。

このための極低温構造材料の研究が、日本原子力研究所の主導のもとで行われ、表3に示すステンレス鋼系の候補新鋼種が開発されている¹⁸⁾。いずれも高圧保安協会の認定を得ており、表3の脚注のように“JCS”の記号を冠している。新材料の材質の特徴は、従来材では不可能であった4 KでのYS $\geq$ 1200MPa、K_{IC} $\geq$ 200MPa√mの設計目標値をクリアすることであり、なんとかこれを達成し得ている。

4.3 電力貯蔵

電力／エネルギーの効率的利用の観点から、大容量の電力貯蔵システムの構築は重要な社会的要請である。種々の貯蔵方法が考えられているなかで、超伝導の利用技術は、永久電流による高効率貯蔵が期待される点で可能性の高い選択肢の一つである。

表4に(岩磐支持型の)超伝導電力貯蔵システムの各種構

表4 SMES(超伝導電力貯蔵)と構造材料

SMES構造物		使用環境 (K)	候補材	製造方法	候補材の		形状:板			
			金 属 非金属	(製 品)	おもな 特 性		ステン レス鋼	高Mn鋼	Al合金	FRP
導 体 支 持 部	ブリック	4.2	Al合金 (A7075)	押出し	機 械 的 性 質	YS (MPa)	240~ 350	350~ 490	370~ 560	710 (TS)
			高Mn鋼他	型 鍛		伸び (%)	50~60	65~75	8 ~29	5
断 熱 支 持 部	絶縁 プレート他	4.2	FRP (G-10)	板 状 ボルト	CVN (J)	300	200~ 300	18	37	
			FRP (G-A Ⅱ -) 他	成形 ホットプレス	疲労強度 [104回: MPa]	800~ 900	800~ 900	510	560	
断 熱 支 持 部	支持本体	4.2 ~ 300	FRP (G-A Ⅱ -) 他	成形 ホットプレス	ヤング率 [MPa]	21 ~22 ×10 ⁴	21~22 ×10 ⁴	7.5~8.5 ×10 ⁴	3 ×10 ⁴	
					熱伝導率 [4K: W/m.k]	3.6~ 6.0	15.0	21	0.09	
断 熱 支 持 部	縦支柱	4.2	ステンレス鋼 高Mn鋼他	板 組 鋼 鋼	電気抵抗 [4K: μ Ω・cm]	60~90	60~90	5.2	—	
			ステンレス鋼 高Mn鋼他	板	熱膨張率 [4K: 10 ⁻⁶ /℃]	17	6.2~ 12.1	0.2	0.1	
真 空 容 器	真空本体	80 ~ 300	ステンレス鋼 高Mn鋼	板	透 磁 率 [4 K]	1.008 ~1.005	1.001 ~1.002	1.000	1.000	
				板 組	比 重 [RT : g/cm ³]	7.7~ 8.0	7.7~ 8.0	2.7	2.0	
真 空 容 器	支持部	80 ~ 300	ステンレス鋼 高Mn鋼	板	加 工 性	△	△	×	△	
				板 組	溶 接 性	△	△	×	△ (接着)	
液 体 ヘリウム 容器	ヘリウム 本体	4.2	Al合金	板	耐 食 性	○	△	△	○	
			ステンレス鋼 高Mn鋼	条 鋼	耐アウトガス性	○	○	×	—	
製造/製作技術						可/可	可/可	可/可	可/可	

〔備考〕①FRPの強度: 引張強さで示す。②熱伝導率、熱膨張率は4 Kへの外挿値。

③RTおよび4 Kの条件がいないところは使用環境に準じた値とした。

④○優良 △可能 ×困難 (不可能に近い)。

造物及び候補構造材料・おもな特性のまとめを示す¹⁹⁾。超伝導コイルの導体支持部や断熱支持部を始めとして、極低温／強電磁気環境で使用される構造材料としてステンレス鋼や高Mn鋼等の低磁性鉄鋼材料のほかに、Al合金やFRP等が候補に挙げられている。

5 おわりに

今後、大きな市場の形成が予想される超伝導強電応用技術のうち、素粒子加速器を中心に、磁気浮上列車・核融合・

電力貯蔵を取上げ、構造材料との関連について述べた。いずれも大量の構造材料が使用される技術対象であり、超伝導に特有な事象として極低温／非磁性／強磁性(鉄鋼)材料が同時多面的に使用される。加速器向超伝導磁石用構造材料に関しては、新たに開発された新鉄鋼材料の材質や加工性、磁石性能の一端をも紹介した。(鉄鋼)構造材料がこのような先端分野の一翼を本格的に荷う日の早期到来を希ってやまない。

参考文献

- 1) ISTECH: 超伝導技術の現状と実用化に関する報告, (1993)
- 2) 野原清彦, 奥村嘉賀男, 佐藤信二, 野村武人: まてりあ, 33(1994), 457.
- 3) 米国フェルミ国立加速器研究所報告 (1995)
- 4) スイス大使館: CERN(欧州合同原子核研究機関)紹介パンフレット.
- 5) ICFA(将来加速器国際会議), つくば (1996)
- 6) CERN COURIER, 34(1994), 22.
- 7) 新富孝和: 低温工学, 31(1996), 418.
- 8) 高エネルギー加速器研究機構: 長基線ニュートリノ振動実験, (1996), 21.
- 9) SR産業利用関連技術国際会議, 姫路 (1995)
- 10) K. Nohara and Y. Habu: Proceeding of ASM INTERNATIONAL, (1988), 33.
- 11) K. Nohara, K. Okumura, S. Sato, and H. Sasaki: Supercollider 4, Plenum Press, (1992), 1055.
- 12) K. Nohara, S. Sato, T. Nomura, R. Tachibana, T. Higashino, K. Okumura, and H. Sasaki: Supercollider 5, Plenum Press, (1994), 233.
- 13) K. Nohara, U. Nishiike, K. Suzuki, T. Mori, K. Okumura, H. Terami and H. Sasaki: Supercollider 4, Plenum Press, (1992), 1065.
- 14) K. Nohara, K. Okumura, and H. Sasaki: CEC/ICMC, Columbus, (1995)
- 15) K. Nohara, U. Nishiike, T. Kobayashi and T. Akita: 5th EPAC, Barcelona, (1996)
- 16) K. Nohara, U. Nishiike, K. Kobayashi, and T. Akita: CEC/ICMC, Portland, (1997)
- 17) JR関係資料, ヒヤリングより.
- 18) H. Nakajima, K. Yoshida, and S. Shimamoto: ISIJ International, 30(1990), 567.
- 19) 奥村嘉賀男, 野原清彦: 超伝導電力貯蔵に関するシンポジウム, 東京, (1993)

(1998年4月8日受付)

「第136回秋季講演大会に寄せて」

講演大会協議会 議長 岡田 康孝

1. はじめに

講演大会に多数の会員の参加を勧誘するために、今回から事前に講演大会の見所などをご紹介することになった。振り返ってみるとこれまで講演大会について、運営方法や内情などをお伝えする機会がなかったのでこれから順次お伝えすることにしたい。

2. 講演大会への発表動向

図1は1925年以降の全ての講演発表数の変遷を示す。講演総数は1970年台に急上昇し、1980年代には1700件を超えるピーク期を経たあと低下を続けている。

図2は最近5年間の一般講演件数の企業と大学の比率を示したものである。図からも明らかなように、企業からの発表の割合が低下し、大学からの発表割合が増加している。

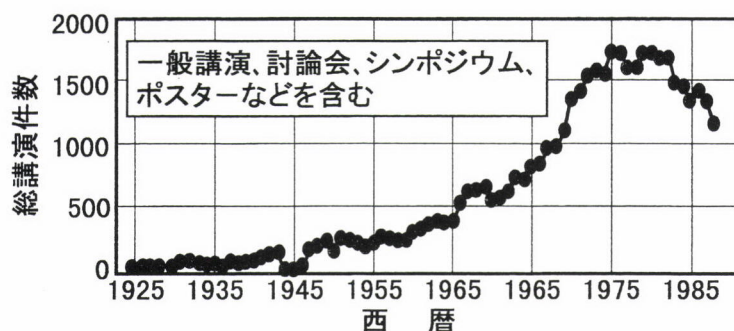


図1 講演大会総講演数の推移

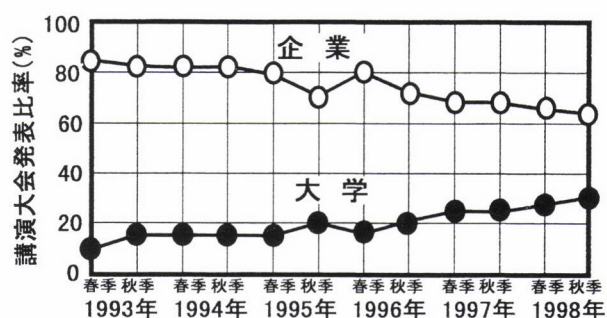


図2 最近5年間の企業と大学の講演比率

3. 講演発表の構成

講演発表は、図3に示すように、一般講演・討論会・シンポジウムおよび成果報告会、セミナー等から構成されている。

「一般講演」は広く会員に発表の機会を提供するものであり、春でも秋でも研究・開発の進捗に応じて発表が出来る。

なお、3年前から一般講演の中で「予告セッション」を企画している。これは、予め発表テーマを会告し効果的に掘り下げた討論が出来るように狙ったもので、一般会員が参加および発表出来るミニ討論会である。取り扱い是一般講演と同様で気軽であるとともに、これに参加すると同じテーマで効果的な討論が出来る。

さらに部会としては、①近い将来の討論会への下準備 ②部会が主催しているフォーラムや自主フォーラムおよび研究会等の研究成果の簡便な公開や参加者勧誘の場 ③討論会実施により生まれた新たな課題の継続的な討論の場としても有用であり、講演大会活性化の1つの目玉と位置付けている。

「討論会」はよく企画・準備された質の高い討論を狙ったものである。そのため、実施の約1年前より会報「ふえらむ」の会員へのお知らせコーナーで募集テーマを案内して会員に準備を呼びかけ、半年前に正式会告となる。講演時間等は企画次第であるが、一般講演より長い時間をかけることができる。

「シンポジウム」および「成果報告会」、「セミナー」は一般講演や討論会とは異なり、一般公募ではなく各専門分野別部会で企画され、講演大会期間中に実施したいとの申し出があれば講演大会協議会で会場を提供するものである。講演テーマ、講師・発表者の決定、テキスト（有料、無料）の作成・配布は全て企画担当者が実施する。部会活動の会員への公開の場である。

このように種々の講演形式があるので、その主旨をご理解頂き、積極的なご参加をお願いする次第である。

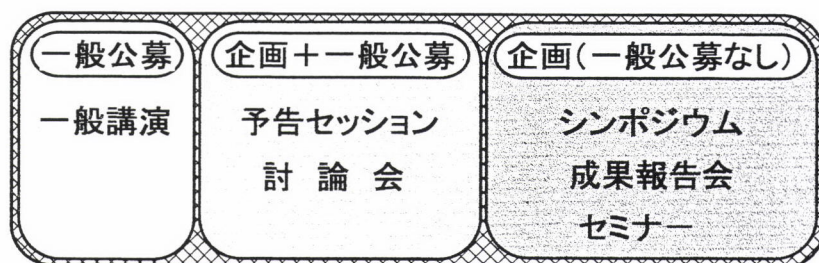


図3 講演発表の構成

4. 今回の秋季講演大会の動向

1) 一般講演

今回は大学・国公研からの基礎的な研究発表の比率が高くなっている。耐熱鋼・耐熱合金、ステンレスに関して多数の発表があるほか、海外からも19件の発表が寄せられている。また、予告セッションは以下に述べる4件である。

社会鉄鋼工学会からは「鉄鋼業の環境変化対応能力」と「リサイクル・廃棄物処理」の2件があり、特に後者は製鉄所内での高

温冶金反応制御を活用した廃棄物処理と資源回収技術に関するもので最近関心の高いテーマである。

また、材料の組織と特性部会からは「鉄鋼及び金属材料の各種環境下における変形と破壊」と「鋼の組織と特性に及ぼすボロンの影響」の2件である。前者は腐食環境や高速変形といった環境における変形と破壊について最新の成果が発表される。後者は鋼中のボロンについて見直しの動きがあり、その動きについて最新の研究成果を議論される。

2) 討論会

討論会は「コークス性状の発現と制御技術」、「製鋼プロセスにおける反応効率の向上とスラグ発生量の低減」、「極限環境下の接合技術」、「超微細組織創製のメタラジー」、「重防食被覆の密着性」、「銅板におけるスケール制御・脱スケール」の6件である。

極限環境での接合は宇宙環境や低温、水中などこれまであまり報告のなかった環境での接合技術が発表される。また超微細組織は春季講演大会でも大変好評であったテーマの継続であり、新たな材料創りに対して熱気ある講演と討論が期待される。

3) シンポジウム

「西日本から見た製鉄の歴史」、「薄板成形の現状と変形数値モデル最前線」、「油井、ラインパイプ用高耐食性鋼管の開発と製造上の課題」、「構造材料の環境脆化における水素の機能に関する研究」、「計算機支援による組織制御の最前線」、「ステンレス鋼の高強度化と利用技術」、「マイクロストラクチャーと諸現象」(微細組織の最新技術による解析)の7件があり、各分野における最近の成果が発表される。

4) 学生ポスターセッション

多くの学生に発表の機会を提供するために開催している。アイディアに富んだものが多く、年齢、職業を越えて活発な対話ができる。今回は最高の54件が報告される。

5) 展示会

前回より会員へのサービスの一環として、製造に関わる機器等をテーマに展示を開始した。今回も実施するので、是非コーナーに立ち寄り見学をお願いしたい。

6) 会場の環境等

今回の講演大会は初めて四国に渡る。会場の愛媛大学は松山城の近くにある閑静な地区にある。会場間は短時間に行き来でき、金属学会会場も近い。

5. お願い

講演大会協議会では講演発表のレベルアップを図るべく検討を進めている。次回の春季講演大会までにはOHP作成方法を提示出来る予定であるが、その概要は以下の通り。

- 1) 研究の背景と目的を明確にする。特に発表の狙いとそのポイントを明確にする。
- 2) OHPはなるべく大きく太い文字、太い線で表現し、イラストやキーワードを入れることによって一見して内容がわかるように工夫する。

6. おわりに

これからの講演大会を盛り上げるには、鉄鋼ユーザーの技術者・研究者の参画(聴講、出来れば講演への参加)が、何よりも望まれる。また、学生や現場技術者の参加を増やすことも必要である。それには有益な企画、テーマを提供することが重要であると考えている。講演大会をより一層ご理解頂き、多数のご参加とご支援を賜れば幸いである。

(1998年7月23日受付)

「秋季講演大会会場周辺のご案内」

1998年日本鉄鋼協会・日本金属学会
秋季講演大会実行委員会 委員長 大森 靖也

会報編集委員会より、日本鉄鋼協会秋季講演大会に際し、開催地である松山ないし愛媛県のPR記事を書くようにとの依頼がありました。筆者自身もそうですが今回の学協会開催の関係者の多くが本来の愛媛県人でないこと、また、原稿依頼から締切までが僅か一週間しかありませんでしたので十分な調査の時間がなく、かなり偏見に満ちたものになりました。したがって、地元からお叱りを受けることになるかも知れませんが思いつくままに書いて見ることにしました。

筆者が当地に赴任して最初に気がつきましたのは、有名な道後温泉や松山城、のんびり走りますが意外と便利な市内電車は別として、何処に行っても漱石と子規の影響が強烈に目につくこと、物価が安いこと（因みに全国の県庁所在地で松山市は宮崎市について二番目に物価の安い都市とのことです）、柑橘類を中心とした果物と瀬戸内の小魚など魚介類が新鮮で豊富なこと、道路整備が遅れているためか交通マナーがかなり悪いことでした。まず、三千年の歴史を有するといわれ、万葉の時代から伊豫の湯として親しまれている日本最古の名湯、道後温泉は今回の大会会場である愛媛大学城北キャンパスから東へ徒歩約15分のところにあります。神代の時代に足を痛めた白鷺が伊豫の湯で傷を癒したという伝説に因み、白鷺を屋根に飾った道後温泉本館は坊ちゃん湯として地元のお年寄りや観光客には抜群の人気があります。折角、松山にお越しになるのであれば足を運ばれては如何かと存じます。筆者は大衆浴場である神の湯以外の経験はありませんが、ちょっと奮発してお茶と浴衣のサービスのあるワンランクアップの入湯と館内の見学をお勧めしたいと思います。

道後温泉本館から商店街を通り、坊ちゃんカラクリ時計、市内電車の道後駅、日本に三社しかない八幡造りの神殿で有名な伊佐爾波神社を経て道後公園に出るとその入口に子規記念博物館がありますので時間があれば覗いてみるのもいいでしょう。また、商店街の途中から西に向かって「にぎたつの道」という一寸整備された小道もあります。額田王が斉明天皇の新羅遠征に伴われて九州に向かう途中一時滞在した道後を懐かしんで詠んだとされます「熟田津に船のりせむと……」という例の歌の熟田津です。熟田津の正確な位置は三津浜港の近くであるとか、あるいは昔、海岸が内陸まで入り込んでいて道後温泉の辺りが熟田津と呼ばれていたとかいわれていますが専門外の筆者には定かではありません。しかし、この辺りで地元の酒造会社が製造する地ビールを楽しむのも風呂上がりには爽快であろうかと思えます。

古代の歴史と言う意味では愛媛大学構内の文京遺跡も忘れることはできません。特に工学部新館や地域共同研究センターの建設に伴う調査により全国でもまれな縄文後期、弥生時代後半期及び古墳時代後期の住居密集型集落が発掘されています。ただ、現在は埋め戻された上に新しい研究棟が建設されましたので遺構を見ることはできません。

賤ヶ岳七本槍の一人として知られ秀吉に仕えた加藤嘉明が慶長7年に築城に着手した松山城への登り口は、講演会場から南に5分ばかりのところにありロープウェイあるいはリフトで簡単に登ることができます。学会の休憩時間を利用して登ってみるのも面白いと思います。お元気な方は東雲神社を経て徒歩でも15分程度です。ただし、天守閣に登り内部をゆっくり見るにはもっと時間が必要になります。松山城を見学した後はロープウェイ街を更に5分ばかり南下しますと繁華街である大街道とそれに続く銀天街に至ることができます。その周辺は飲食店もたくさんありますので、食事をしたり瀬戸内の小魚など新鮮な魚介類で杯を傾けるのには大変都合のいい場所です。

また、漱石や子規はもとよりノーベル文学賞受賞の大江健三郎氏が松山東高等学校の出身など、松山は文学にも縁が深いところ。子規の旧宅を模して正宗寺境内に建てられた子規堂には子規の遺品などが数多く展示されていますし、二番町三丁目には石碑だけですが、子規が漱石と共同生活をしたといわれる愚陀庵跡などがあります。このような土地柄ですので市民の間では俳句が広く浸透しておりますし、お好み焼き屋や居酒屋までも「坊ちゃん」とか「漱石」とか名乗っていたり、うどん屋によってはその商品に「子規…」といった名前をつけたりしています。また、時間があれば第五十一番札所であり国宝の仁王門や三重塔で有名な石手寺や伊予かすり会館などを訪問するのも面白いかも知れません。石手寺は道後温泉からバスもありますが徒歩でも15分位のところです。

松山から少し足を延ばすと焼きもので有名な砥部、和紙と木蠟で栄えた古い町並みが残る内子町や伊予の小京都と呼ばれる大洲、壮大で完成間近な本四架橋が見える今治、日本最古の近代的銅精錬で有名な新居浜などは日帰りコースですし、更に一泊できるのであれば最後の清流と言われる四万十川や高知などもこの機会に是非訪れて頂ければと思います。



松山城

砥部は白磁の生産では全国で有数の地位を占めており、松山市駅からバスを利用するのが便利です。砥部焼きは、もともと、実用品から出発していますので少々重量感がありますが美しい焼き物で比較的安価です。砥部では伝統産業会館や砥部焼きの窯元を訪問するのがよいでしょう。なお、バスを途中下車して砥部動物園を見学するのも楽しいと思います。この動物園は種々の動物が自然な状態で観察できるよう工夫されており、あたかもサンディエゴ動物園の小型版のようです。

内子町のかつての繁栄の面影を残す町並みは、重要伝統建造物群保存地域として国の指定を受けているほか、ここには大正時代の木造の歌舞伎劇場内子座があり、回り舞台、花道や桝席は一見の価値があります。

大洲は城下町として栄えた町で、肱川の清流を背景に臥龍山荘、大洲城跡などがありますが、NHKの朝の連続テレビドラマであった「おはなはん」のロケ地としてもPRに努めており、おはなはん通りと称するものもあります。

なお、方角は異なりますが、西条市に四国で初めてアサヒビールの新鋭工場が建設され稼動を開始しています。この工場は講演大会の翌日の工場見学会のコースにも組み入れておりますので、是非とも工場見学会へのご参加をお願いいたします。

前述いたしましたが、当地の車の運転は伊予の早曲がりという表現もありますようにかなり乱暴です。勿論、横断歩道で車が停まってくれることは極めて希です。一寸、メインロードから外れると歩道の整備ができていません。観光に際してはくれぐれも交通事故にご注意下さい。

(1998年7月23日受付)

本会情報一覧

記事内容	掲載号
正会員への転格のお知らせ	本号686頁
第136回秋季講演大会懇親会のお知らせ（日本金属学会と合同）	本号686頁
日本鉄鋼協会刊行物の購入申込み先変更のお知らせ	本号687頁
平成11年度科学研究費補助金の申請について	本号687頁
高温プロセス部会 製鉄プロセスにおける炭酸ガス排出抑制に関する基礎研究の現状と将来展望	本号688頁
第136回秋季講演大会シンポジウム「人間・社会・環境との新しい調和を求めて－Ⅷ－西日本から見た製鉄の歴史」	本号689頁
計測・制御・システム工学部会シンポジウム「計測とシミュレーション技術」	本号690頁
第136回秋季講演大会シンポジウム「計算機支援による組織制御の最前線」	本号690頁
第136回秋季講演大会シンポジウム「構造材料の環境脆化における水素の機能に関する研究」	本号691頁
材料の組織と特性部会セミナー「技術者のための高温変形・高温材料入門」	本号692頁
材料の組織と特性部会シンポジウム「超塑性材料の組織制御と界面現象および変形の力学」	本号693頁
第8回日本・中国鉄鋼学術会議	本号693頁
関東地区「鉄鋼技能功績賞」受賞候補者の推薦募集	本号695頁
日向方斉メモリアル国際会議助成の募集案内	8号615頁
第4回（1999年度支給開始）次世代鉄鋼奨学助成受給者	8号615頁
ISS主催行事予定	8号617頁
「製鉄プロセスフォーラム」及び「資源エネルギーフォーラム」ホームページ開設のご案内	8号618頁
第136回秋季講演大会シンポジウム「油井、ラインパイプ用高耐食性鋼管の開発と製造上の課題」	8号619頁
第136回秋季講演大会シンポジウム「薄板成形の現状と変形数値モデル最前線」	8号620頁
第136回秋季講演大会シンポジウム「ステンレス鋼の高強度化と利用技術」	8号621頁
第136回秋季講演大会シンポジウム「マイクロストラクチャーと諸現象」	8号621頁
ISIJ International特集号原稿募集のご案内	8号622頁
紫綬褒章受章	7号540頁
第136回秋季講演大会工場見学会のお知らせ	7号540頁
インターネットによる行事申込受付開始のお知らせ	7号544頁
「会員名簿」刊行のお知らせ	7号546頁
「記事広告」欄の新設	7号547頁
平成10年度理事、監事、並びに評議員の選挙結果報告	6号440頁
会報「ふえらむ」に「協会の活動から」「ふえらむの窓」欄新設のお知らせ	6号443頁
「鉄と鋼」「ISIJ International」投稿規程・執筆要領	6号446頁
平成9年度事業報告・収支決算及び平成10年度事業計画・収支予算のお知らせ	6号456頁
新名誉会員・一般表彰受賞者のお知らせ	6号462頁
第6回日本鉄鋼協会・日本金属学会奨学賞受賞者のお知らせ	6号484頁
講演大会参加方法のご案内	5号371頁

学会部門

高温プロセス部会

炭酸ガス抑制製鉄プロセス・新鉄源・還元反応 3研究グループ合同シンポジウム

「製鉄プロセスにおける炭酸ガス排出抑制に関する基礎研究の現状と将来展望」

地球温暖化の観点から、我が国の炭酸ガス排出抑制の目標値が設定された今日、相当量の排出を不可避免的に伴う鉄鋼業にとって、昨今までの省資源・省エネルギーの極限に近い努力の上に、さらに課される炭酸ガス抑制政策をどのように乗り越えるかが、今後数年間の大きな課題となってきた。炭素を製鉄過程で用いることの熱力学的有利さも相まって、大部分の還元剤、エネルギー源を石炭をはじめとする化石燃料に頼っている現在の製鉄プロセスにおいて、炭酸ガス排出量を大幅に低減することは容易ではない。

本シンポジウムでは、この課題を多角的にとらえた基礎研究を中心に、各々の現状と将来展望について、関係各方面からの発表が行われる。奮ってご参加の上、活発な討論を期待します。

行事等予定

太字は本会主催の行事

開催期日	行事（開催地）	掲載号及び頁
1998年		
9月 7日	第30回溶融塩化学講習会—溶融塩化学の理解に役立つ概念とその活用法—（千葉）	本号696頁
8日	第3回フォーラム「鉄鋼業における物流・流通の課題」（東京）	8号619頁
9日	日本学術振興会・未来開拓学術研究推進事業「次世代プロセス技術」公開シンポジウム（東京）	本号696頁
9～11日	VACUUM1998-真空展（旧国際真空産業展）（東京）	7号550頁
11日	第79回塑性加工講習会「チューブフォーミングの基礎と実際」（東京）	7号550頁
18日	第181回塑性加工シンポジウム「極細伸線の先端加工技術」（大阪）	8号627頁
21～23日	GALVATECH'98国際会議（千葉）	8号622頁
25日	第18回技術セミナー ステンレス鋼の選び方、使い方（東京）	本号696頁
25日	第23回軽金属セミナー「材料評価機器とその応用～みる～」（名古屋）	本号696頁
28日	第136回秋季講演大会シンポジウム「薄板成形の現状と変形数値モデル最前線」（愛媛）	8号620頁
28日	第136回秋季講演大会シンポジウム「マイクロストラクチャーと諸現象」（愛媛）	8号621頁
28日	第136回秋季講演大会シンポジウム「構造材料の環境脆化における水素の機能に関する研究」（愛媛）	本号691頁
28～30日	第136回秋季講演大会（愛媛）	5号369頁
29日	第136回秋季講演大会シンポジウム「油井、ラインパイプ用高耐食性鋼管の開発と製造上の課題」（愛媛）	8号619頁
29日	第136回秋季講演大会シンポジウム「ステンレス鋼の高強度化と利用技術」（愛媛）	8号621頁
29日	第136回秋季講演大会シンポジウム「計算機支援による組織制御の最前線」（愛媛）	本号690頁
29日	第136回秋季講演大会シンポジウム「人間・社会・環境との新しい調和を求めて—Ⅷ—西日本から見た製鉄の歴史—」（愛媛）	本号689頁
10月 1日	第136回秋季講演大会 工場見学会（愛媛）	7号540頁
1日	高温プロセス部会「製鉄プロセスにおける炭酸ガス排出抑制に関する基礎研究の現状と将来展望」（愛媛）	本号688頁
6, 7日	SICEセミナー「古典制御：新しい視点からの再入門」（東京）	本号696頁
9, 10日	SICEセミナー「計装エンジニア初級講座」（神奈川）	本号696頁
12日	材料の組織と特性部会シンポジウム「超組成材料の組織制御と界面現象および変形の力学」（東京）	本号693頁
13～15日	ASM'S Materials Solutions Conference/Exposition (USA)	5号384頁
16日	東海支部 本多光太郎記念特別講演会（名古屋）	本号694頁
19日	計測・制御システム工学部会シンポジウム「計測とシミュレーション技術」（東京）	本号690頁
21, 22日	Sensing Forum—センシング技術の新たな展開と融合—（東京）	7号550頁
21～23日	第19回日本熱物性シンポジウム（福岡）	5号384頁
22, 23日	関西支部 材料セミナー鉄鋼材料の組織制御の原理と方法—基礎から応用まで—（大阪）	本号694頁
26, 27日	The International Symposium on New Frontier of Thermal Studies of Materials（東京）	8号627頁
27日	関西支部 材料セミナー組織観察—走査型電子顕微鏡による破面観察とその解析—（神戸）	本号694頁
28～30日	第24回疲労シンポジウム（福岡）	5号384頁
28～30日	第34回熱測定討論会（横浜）	6号451頁
30日	中国四国支部 第82回金属物性研究会（岡山）	本号694頁
11月 6日	関西支部 材料セミナーX線解析—集合組織の測定・解析と材料への応用—（京都）	本号694頁
8～12日	国際炭素会議1998（東京）“ニューカーボンのための科学と技術”	1号58頁
9～11日	第7回鉄鋼延国際会議（千葉）	4号299頁
10～12日	画像化システムと画像通信システムの雑音低減に関する国際シンポジウム（ISNIC-98）（東京）	1号58頁
11～13日	第39回真空に関する連合講演会（大阪）	7号550頁
11～13日	第39回高圧討論会（岐阜）	6号451頁
12, 13日	第8回日本・中国鉄鋼学術会議（千葉）	本号693頁
13日	関西支部 材料セミナー界面・微小部分析—透過型電子顕微鏡の測定原理と評価解析技術—（大阪）	本号694頁
16～19日	第11回国際超電導シンポジウム（ISS'98）（福岡）	7号550頁
17～19日	第24回固体イオニクス学会討論会（仙台）	6号451頁
18～20日	第6回鉄鋼工学アドバンスセミナー（千葉）	7号541頁
19～21日	第41回自動制御連合講演会（大分）	7号550頁
21～23日	第49回塑性加工連合講演会（東京）	7号550頁
24日	材料の組織と特性部会セミナー「技術者のための高温変形・高温材料入門」（東京）	本号692頁
25, 26日	関西支部 材料セミナー化学評価—金属材料の耐環境性評価—（大阪）	本号694頁
25～27日	テクノ・オーシャン'98（神戸）	5号384頁
26, 27日	凝固理論と応用Ⅲ（東京）	8号627頁

編集後記

20世紀ももう数年で幕を閉じる。今世紀は、「科学技術の時代」、もしくは「工業化社会」というキーワードで位置づけられている。かように今世紀の科学技術の発展と普及はめざましいものがあり、それらの実現は主として「効率化」の追求によってもたらされた。概して、人々の生活も便利になり、物質的な「豊かさ」を享受しているように思われる。

しかしながら、それに伴って、逆に失ってきたもの、失いつつあるものも多い。効率化、能率化にむしばまれた人の心・気持ちのあり方など。また、今までに見えなかった新たな課題も数多く生じてきている。地球環境、人口・食

料問題、資源・エネルギー問題など。

「ふえらむ」のグラフ記事は読者から概ね好評であるが、中には鉄の話題が少ないとの声も聞く。当然、鉄鋼協会の会報として、鉄から離れて一般の科学技術雑誌と競う気はないが、鉄に関連する周辺の話題も広く取り上げていきたいと考えている。特に、21世紀を担う若手の鉄鋼技術者や材料系の学生にとって、広い視野からものを見、鉄を見ることが欠かせないと確信している。

21世紀が後世どんな時代と評価を受けるのか、いずれにしても21世紀は人類の叡知が試される世紀になることは間違いないさそうだ。
(S.S.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

副委員長 近藤 隆明 (NKK)

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

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

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

1996年5月10日第三種郵便物認可 1998年9月1日印刷納本・発行 (毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館内 内仲康夫

印刷人/印刷所 東京都文京区白山1-33-15 (㈱トライ)

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

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021(代)

学会部門事務局: 03-3279-6022(代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023(代)

FAX: 03-3245-1355(共通)

郵便振替 口座東京 00170-4-193 番

(会員の購読料は会費に含む)

© COPYRIGHT 1998 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

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

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

Copyright Clearance Center, Inc.

222 Rosewood Drive, Danvers, MA 01923 USA TEL 001-1-978-750-8400 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

ふらむ Vol.3 No.9 広告目次

表2 ハルツォク・ジャパン(株)	レンタル機器	後2 神奈川機器工業(株) 強力磁気フィルタ
発光分光分析装置	前4 (株)堀場製作所 発光分光分析装置	3 ロザイ工業(株) 蓄熱式脱臭装置
前1 (株)マツボー		4 ミンテックジャパン(株)
高精度レーザー測定器	後1 本誌広告目次	不定形耐火物
2 (株)ワイ・オー・システム	(株)日本エアシステム	(株)協会通信社 広告案内
温度分布計測システム	幹線増便キャンペーン	表3 日本ミンコ(株) サンプル・サンプル
3 オリックス・レンテック(株)	2 横浜ゴム(株) 耐熱コンベヤベルト	表4 日本アナリスト(株) 元素分析装置

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.03-3257-9565 / FAX.03-3257-9568

東京—大阪線毎日4往復

東京 → 大阪(伊丹)

JAS 201便	06:40発	07:40着
JAS 203便	08:55発	09:55着 ✓
JAS 205便	13:30発	14:30着 ✓
JAS 209便	19:25発	20:25着 ✓

大阪(伊丹) → 東京

JAS 200便	07:40発	08:40着 ✓
JAS 202便	10:45発	11:45着 ✓
JAS 206便	16:20発	17:20着 ✓
JAS 208便	19:55発	20:55着 ✓

✓ マークはスーパーシートが装備されています。

JASマイレージカード・スカイメリット 入会募集中

よく乗る幹線は区間マイルの
2.2倍換算
＜スカイメリット＞会員の方が
普通運賃・回数券等でご利用の場合

提携マイレージネットワークで
**ワールド
ワイド**

貯めたマイルの有効期間は
最大4年間

無料航空券がもらえるのは
10,000 マイル
から

貯めたマイルは
どなたでも
使えます

詳しくは、JASカードセンター ☎ 0120-4-33283までお問い合わせください。

幹線も
さらなる充実!

- 東京—札幌 1日12 往復 ●
- 東京—福岡 1日10 往復 ●

● ご予約・お問い合わせは、JAS予約センター
イイッバサ
☎ 0120-5-11283

JAS
日本エアシステム

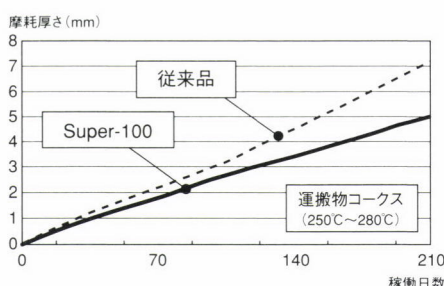
耐熱性、耐摩耗性—高次元で充実。

ヨコハマ耐熱コンベヤベルト

ハマヒートSuper-100

耐熱性能、熱時耐摩耗性能が、従来品をはるかにしのぐ新次元の耐熱コンベヤベルト。コークスなど、アグレッシブな高温塊状物の運搬のために誕生した、横浜ゴムの自信作です。

圧倒的な
熱時耐摩耗性能
(フィールド評価)

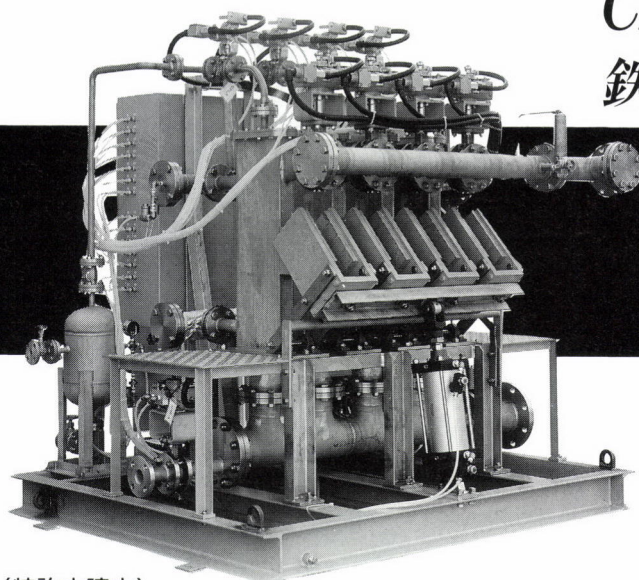


特性

適用運搬物温度範囲	100℃～400℃
適用ベルト表面温度	60℃～200℃
特 徴	熱時の耐摩耗性を最重視。
用 途	コークス、焼結成品運搬ラインなど高温塊状物の運搬に最適。

横浜ゴム株式会社 工業資材販売部
〒105-8685 港区新橋5-36-11 TEL 03-5400-4708

CAL・CGLでの
鉄分除去はおまかせ下さい!!



(特許申請中)

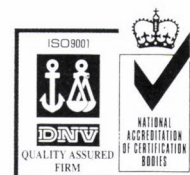
最新技術による 強力磁気フィルタ

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



神奈川機器工業株式会社

本社・工場 〒235-0021 横浜市磯子区岡村8-19-1 TEL.(045)761-0351(代)
TEL.(045)753-3800~2(営業部直通) FAX.(045)755-0089
神戸営業所 〒650-0037 神戸市中央区明石町32(明海ビル809号室)
TEL.(078)321-6400(代) FAX.(078)321-6403
E-mail:kanakee@a1.mbn.or.jp



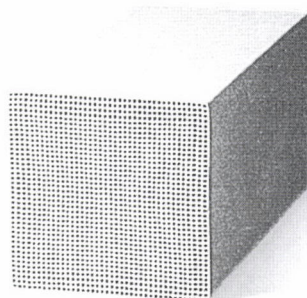
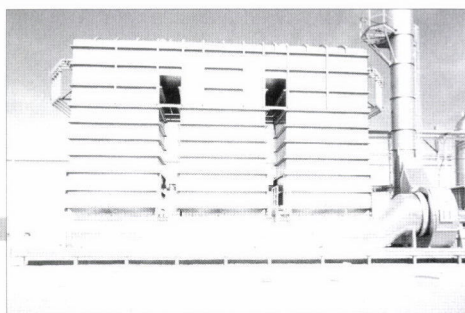
エコピュアー® RTO 蓄熱式脱臭装置

容量：25m³/min.～17,000m³/min.

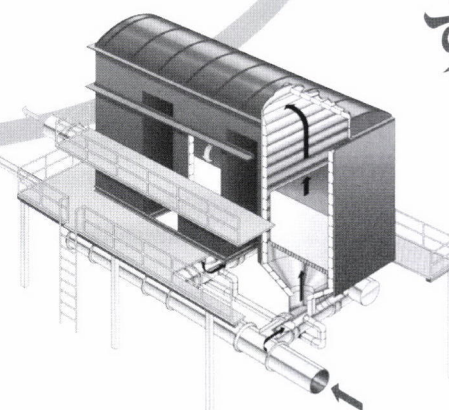
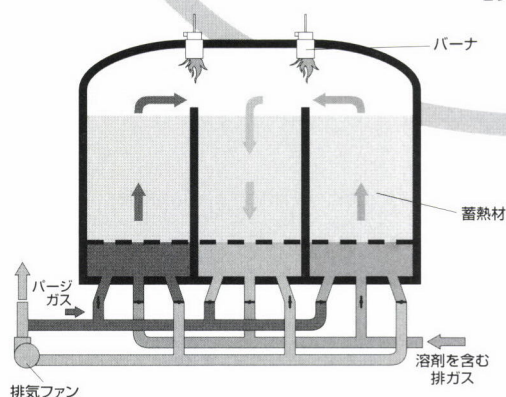
世界でも有数の環境設備のトップメーカーであるデュール社との技術提携によるエコピュアーRTOは蓄熱材にセラミックハニカムを採用し、VOC含有排ガスを高性能処理します。

特 長

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



セラミックハニカム



独自のセラミックハニカムにより
優れた脱臭性能を発揮します。

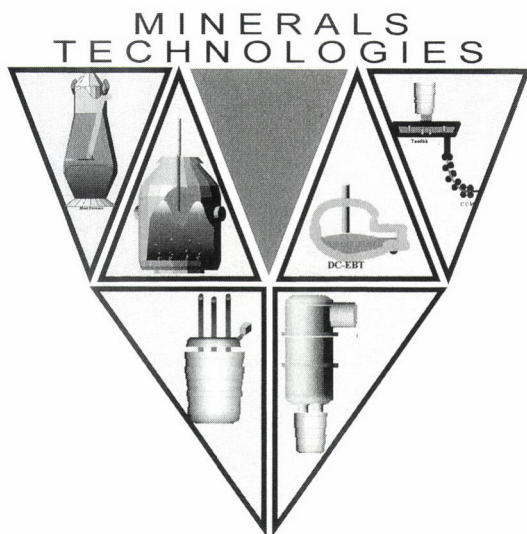


次世代の「熱と環境」を創造する

ロザイ工業株式会社

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

ミンテックの 不定形耐火物



GUNTAPITE (塩基性吹付材)
 Q-CAST (アルミナ・シリカ系キャストブル)
 MAG-CAST (塩基性キャストブル)
 Q-GUN (アルミナ・シリカ系吹付材)
 各種プレキャスト品
 その他、高品質不定形耐火物

MINTEQ
 INTERNATIONAL INC.



ミンテック ジャパン 株式会社
 MINTECH JAPAN K.K.

蒲郡工場・中央研究所 ☎0533-67-5115代

本社 東京都中央区東日本橋1-1-7
 〒103-0004 東日本橋スカイビル

☎03-5821-5070代

大阪営業所 ☎06-374-0228代

名古屋営業所 ☎052-601-5815代

*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)



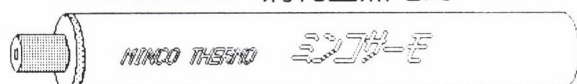
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

PT301型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968

白金・白金ロジウム

■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。

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

日本ミンコ株式会社

お問い合わせは

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

本社 〒160-0023
東京都新宿区西新宿6-6-3 新宿国際ビル
TEL.03(3342)8728 新館4階

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



米国LECO社の元素分析装置

—— 広く世界に通用する分析技術 ——



本体：790(H) × 690(W) × 640(D)mm

炭素・水素・窒素同時分析装置

CHN-2000型

有機物のマクロ分子組成分析！

— 最大試料量 0.5g —

測定対象分野

石炭・コークス・石油製品・食品・農林業等の分野で
品質管理に幅広く活用できます。

- ◆ 高精度有機マクロ分子組成分析。
(試料量 0.2g から 0.5g)
- ◆ 迅速分析 4 分以内。

姉妹機種

CNS-2000 炭素・窒素・硫黄同時分析装置

SC-400シリーズ 硫黄・炭素分析装置

TGA-601 熱重量測定装置 (水分、揮発分、他)

AC-350 ISOPERIBOL CALORIMETER

元素同時微量分析装置

CHN-900シリーズ

ファインケミカルス・薬品の開発等、
微量分析装置 — 試料量 2mg —

CHNS-932型

- ◆ 高精度マイクロ分析。
(試料量 2 mg)
- ◆ C・H・N・Sを同時に分析します。
- ◆ 迅速分析 3 分以内。
- ◆ VTF-900型との連結で酸素の単独分析
も可能です。

CHN-900型

- ◆ C・H・Nを同時に分析します。



本体：760(H) × 680(W) × 690(D)mm

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



ISO-9001
No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

日本総代理店

LECO CORPORATION
U.S.A.

日本アナリスト株式会社

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