

平成8年3月1日発行(毎月1回1日発行)

ISSN 1341-688X

Volume 1
No.3 1996

(社)日本鉄鋼協会会報

ふえらむ

Bulletin of

The Iron and Steel

Institute of Japan



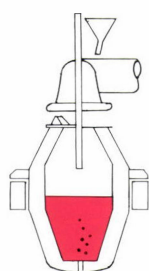
社団法人 日本鉄鋼協会
The Iron and Steel Institute of Japan

炉外精錬装置

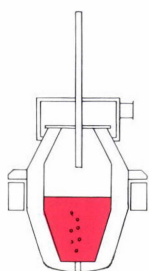
小容量装置(DETEM)から大容量熔鋼処理まで 品質改善と精錬費合理化に役立ちます

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

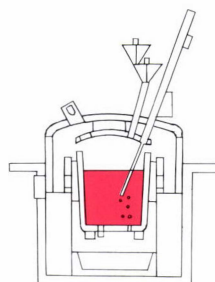
貴社の状況、ご希望等に応じて各種の炉外精錬装置を、お見積もり致します。お気軽にご相談ください。



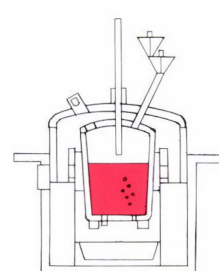
Inertgas Oxygen Converter



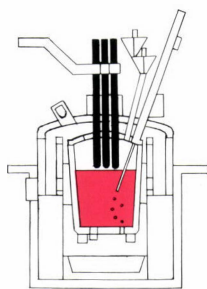
Vacuum Oxygen Decarburization Converter



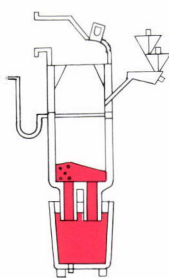
Vacuum Degassing



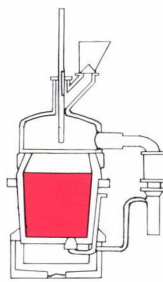
Vacuum Oxygen Decarburization



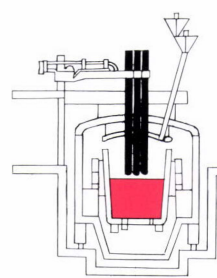
Vacuum Arc Degassing



Vacuum Circulation Process



Detem



Ladle Furnace

総代理店



株式会社 テクノヨコハマ

代表取締役社長 中村 道生

本 社 〒225 横浜市青葉区市ヶ尾町1161番地14
アーバンプラザA-2号室
TEL:045-972-1066 FAX:045-972-1065
東京事務所 〒101 東京都千代田区岩本町2-1-16 千代田技研工業株内
TEL:03-3861-3623 FAX:03-3863-3075



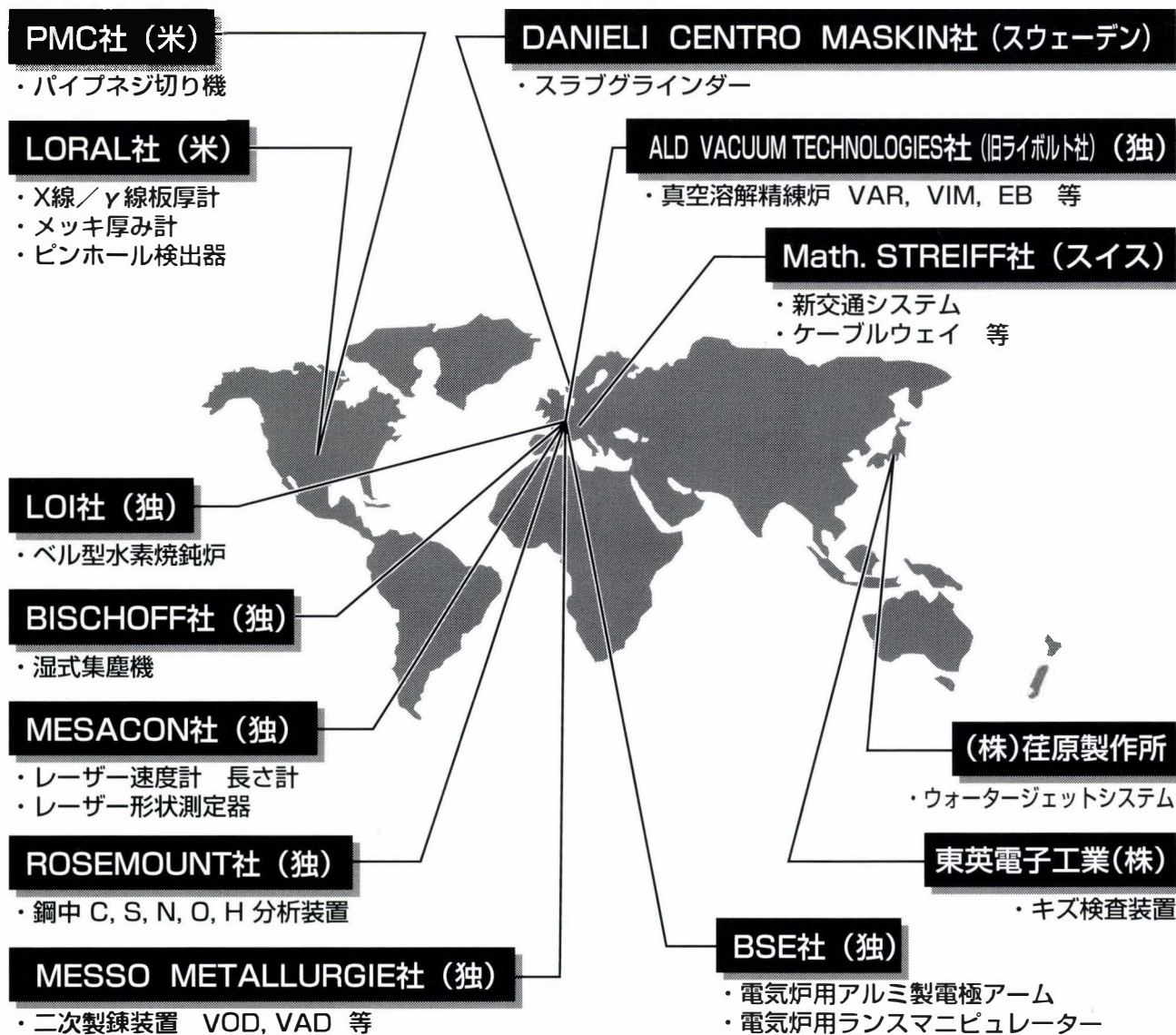
TECHNOMETAL

Gesellschaft für Metalltechnologie mbH

Königstrasse 53 Postfach 101319
D-47051 Duisburg 1
Telephone (0203) 30503-0
Telefax (0203) 3050380
Telex 8551369

21世紀に向かって 株式会社 マツボー に生まれ変わりました。(旧 松坂貿易)

重工業グループ取扱商品



これからも世界の先進技術をご紹介します。

株式会社 **マツボー**

プラント2部

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

高解像度Pt-Si 320×244画素採用

広いダイナミックレンジ濃淡の分解能12ビットTV/CRTにフィットする4:3画面化
1画素のスポット分解能は10m離れたところで6×6mmのエリアをカバー
イメージと温度を同時計測、高速60Hz(NTSC)、温度の時間変化測定機能付

波長感度は 3.6~5.0μm, ~1,500°C

屋外で使用する時太陽光をカットするフィルターを内蔵し検出温度の精度を向上
検出温度レンジ、-10°C~450°C, ~1500°C(フィルター付)

長時間スターリング・クーラー採用

カメラ使用時の冷却時間は8000時間以上。クローズドサイクルクーラー。
検出素子の冷却温度は6分間で-196°Cまで、最新の冷却ノウハウを満載。

小型軽量・携帯に便利

他のカメラに比べ大きさと重量は1/3
ハンドヘルド、22.7×12.7×14cm, 3.2kg

PCカード搭載

5MBで30イメージを瞬時に記録

486マイクロプロセッサ搭載

豊富な機能と容易な操作

Windows'適合

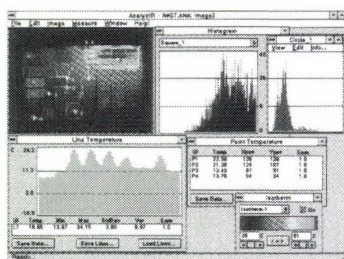
PCとの接続で豊富なソフトウェア、
イメージプロセッシング
任意のポイントまたはエリア100ポイント
(標準5ポイント)まで温度測定可
放射輝度(ラジオメトリック)分布イメージ



PRISM DS



イメージは、後に詳細解析の
ために、堅牢で高密度PCカ
ードに容易に記録します。



Analyz IRイメージ処理ソフト
によって広範囲なイメージ解析
機能を提供します。



ポータブルでも完全機能を備え
たPRISM DSにより、データ
集収、解析に理想的です。

輸入元 野崎産業株式会社

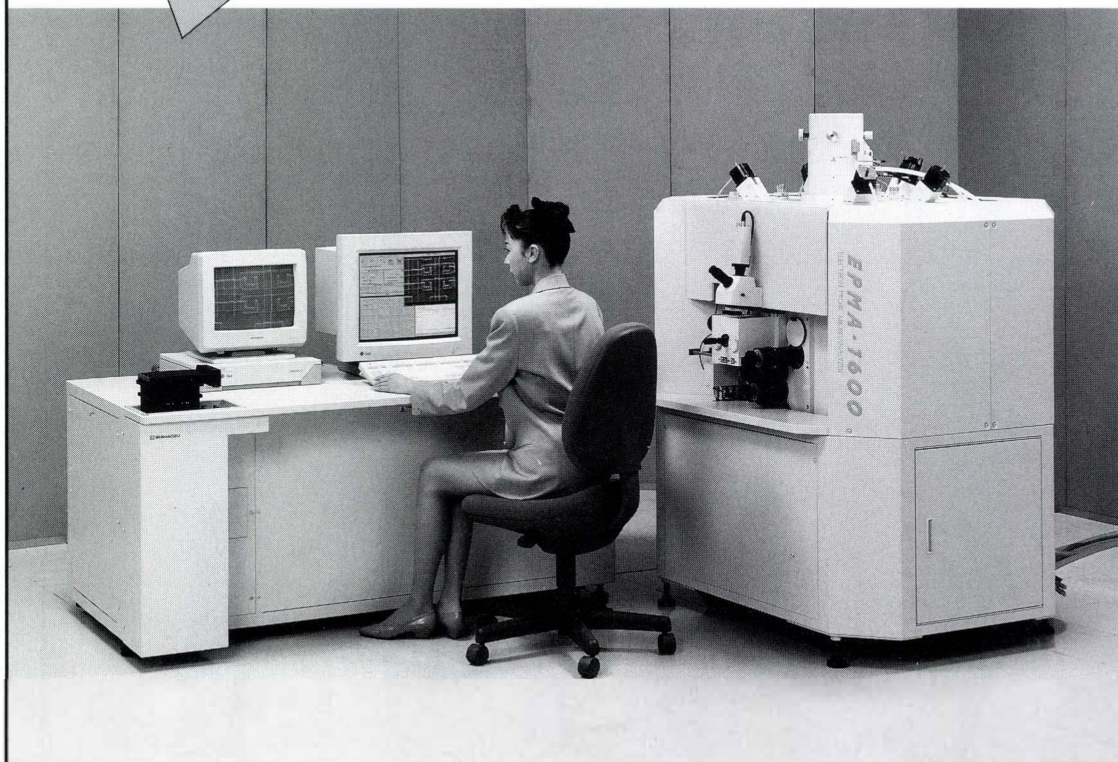
株式会社 東京インストルメンツ

〒134 東京都江戸川区西葛西6-18-14 T.I.ビル TEL 03(3686)4711(代) FAX 03(3686)0831
大阪営業所：〒532 大阪市淀川区宮原町4-1-46 新大阪北ビル TEL 06(393)7411(代) FAX 06(393)7055
(前 2)

赤外線イメージカメラ

使いやすい 高性能 デジタルEPMA

SHIMADZU
Solutions for Science
since 1875



島津電子線マイクロアナライザ

EPMA-1600

New

- 新世代のデジタルEPMAです。すべての機能をマウスで操作します。
新開発の「DDSC」が、EPMAとしてのすべての機能をデジタル化しました。これによってオペレーションはデスクトップからマウスひとつで行うことができるようになりました。
- 大型試料の高感度多元素同時分析が可能です。
100mm角の大型試料について、新開発のローランド円径4インチの高感度分光器を用いて、最大5元素同時測定を実現しました。
- 基本性能を大切にしたEPMAです。
- 52.5°の高いX線取り出し角度によって、高いX線感度を有するとともに試料形状の影響を最小限に抑え、信頼性の高いデータを保証します。
- すべてのビーム条件で、絞り交換を行う必要がありませんので、優れた操作性と安定性を発揮します。

科学とともに120年

⊕ 島津製作所

本社 京都市中京区西ノ京桑原町1

第二分析事業部 (0463) 88-8701

お問合せはもよりの営業所へ

●東京 3219-5730 ●大阪 373-6561 ●札幌 205-5500
●仙台 221-6231 ●つくば 51-8515 ●大宮 646-0095
●横浜 311-4106 ●静岡 272-5600 ●名古屋 565-7611
●京都 811-8153 ●神戸 331-9662 ●岡山 221-2511
●商松 34-3031 ●広島 248-4316 ●福岡 271-0332

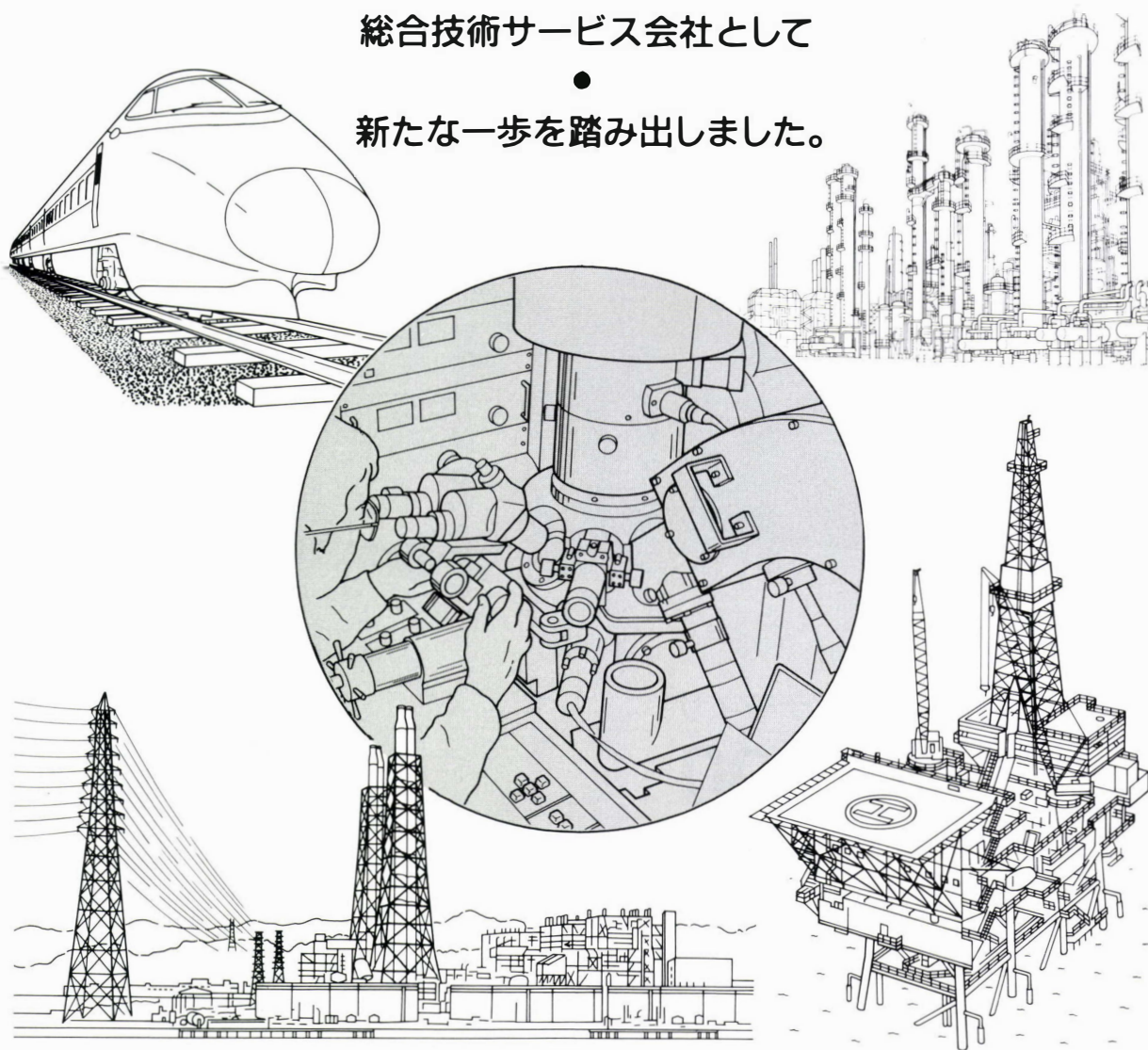
まだまだ広がる

テクノロジーの未来

住友金属工業株の永年の技術と経験の蓄積をバックにした

●
総合技術サービス会社として

●
新たな一步を踏み出しました。



住友金属テクノロジー株式会社

(受託研究事業部)
(評価試験事業部)
(分析技術部)
(鹿島事業部)
(鉄道産機事業部)
(OCTG事業部)

本 社 〒660 尼崎市扶桑町1番8号 TEL.06-489-5779
(尼崎) 〒660 尼崎市東向島西之町1番地 TEL.06-411-7683
(大阪) 〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号 TEL.06-466-6153
〒314 茨城県鹿島郡鹿島町大字光3番地 TEL.0299-84-2557
〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号 TEL.06-466-6176
〒660 尼崎市東海岸町21番地1号 TEL.06-409-1121

ふえらむ

Vol.1 (1996) No.3

C O N T E N T S

目 次

自動車の未来を拓く	IRON & STEEL	
	東京モーターショーに見る自動車開発の新潮流	2
	新世代の自動車を支える鉄鋼の材料と技術	6
	スチール製乗用車の軽量化をめざす国際プロジェクト ULSAB	8
話題のプロダクツ	チタンドライバー	10
鉄の絶景	歓声を見守る鉄——福岡編	14
展 望	海上高速輸送の現状と将来	
	三菱重工業（株）船舶海洋事業本部技術部長 木原和之	17
入門講座	鉄鋼材料編—3 鉄器時代はまだ終わらない—力学的性質から見た鉄と鋼	
	静岡理科大学教授 矢田浩	23
	鉄鋼プロセス編—2 きれいな鋼をつくる—精錬反応の熱力学入門（基礎）—	
	九州大学工学部教授 森克巳	29
解説	鉄のハイテク化に貢献する分析	
	日本鋼管テクノサービス（株）技術顧問 岩田英夫	35
懸賞作文入賞作品紹介 ㊤	第1部（中学・高校生の部）2等賞 「鉄—二十一世紀への夢」	
	南川聡子	41
	第2部（大学生・一般の部）2等賞 「鉄は新文化材」	
	岡本久人	41
本会情報		47
別冊付録 第131回春季講演大会プログラム		付1



自動車の未来を拓く

世界の自動車保有台数は、現在 6 億台を突破している。日本国内だけでも約 6,200 万台、国民 2 人に 1 台の割合である。ユーザーの好みに合わせて、高級車、スポーツカー、RV など、自動車のタイプもますます多様化している。しかし一方では、排気ガスやフロン、廃棄物処理などの地球環境問題、安全性や交通渋滞などの社会問題が大きくクローズアップされている。また、多様化するユーザーニーズを満足させると同時に、コスト低減が重要課題として浮かび上がってきている。このような数多くのテーマに、自動車はどのような進化を遂げていくのだろうか。



東京モーターショーに見る自動車開発の新潮流

2年に一度の自動車の祭典、第31回東京モーターショーが昨年10月28日から、千葉市の幕張メッセで開催された。世界14カ国から354社、6政府、1団体が参加。展示台数は前回よりも47台増えて817台（国産車567台、外国車250台）。国内販売が鈍化しているなか、日本車メーカーは好調なRVや発売間近の新型セダンを出展。一方、海外のメーカーは、円高による輸入車ブームの追い風に乗って、低価格のコンパクトセダンを投入、日本市場への本格的な参入をアピールした。環境や安全に配慮した次世代自動車にも注目が集まった東京モーターショーに、最新の自動車開発の姿を見てみよう。

日本車メーカーはRV、欧米メーカーはセダンで勝負

日本車メーカーのブースは、まさにRV（レクリエーション・ビークル）の競演と呼ぶにふさわしく、国内販売の動向をそのまま反映したかたちで、市販車、試作車が所狭しと並べられていた。RVといえばオフロードを走るタフな車を連想するが、最近は乗用車並みの快適な乗り心地や都会における操作性、デザイン性など様々な性能が追求されている。ステーションワゴン、ミニバン、ジープ型四輪駆動車などタイプもじつに多彩で、RVの多様化はさらに進みそうな気配である。

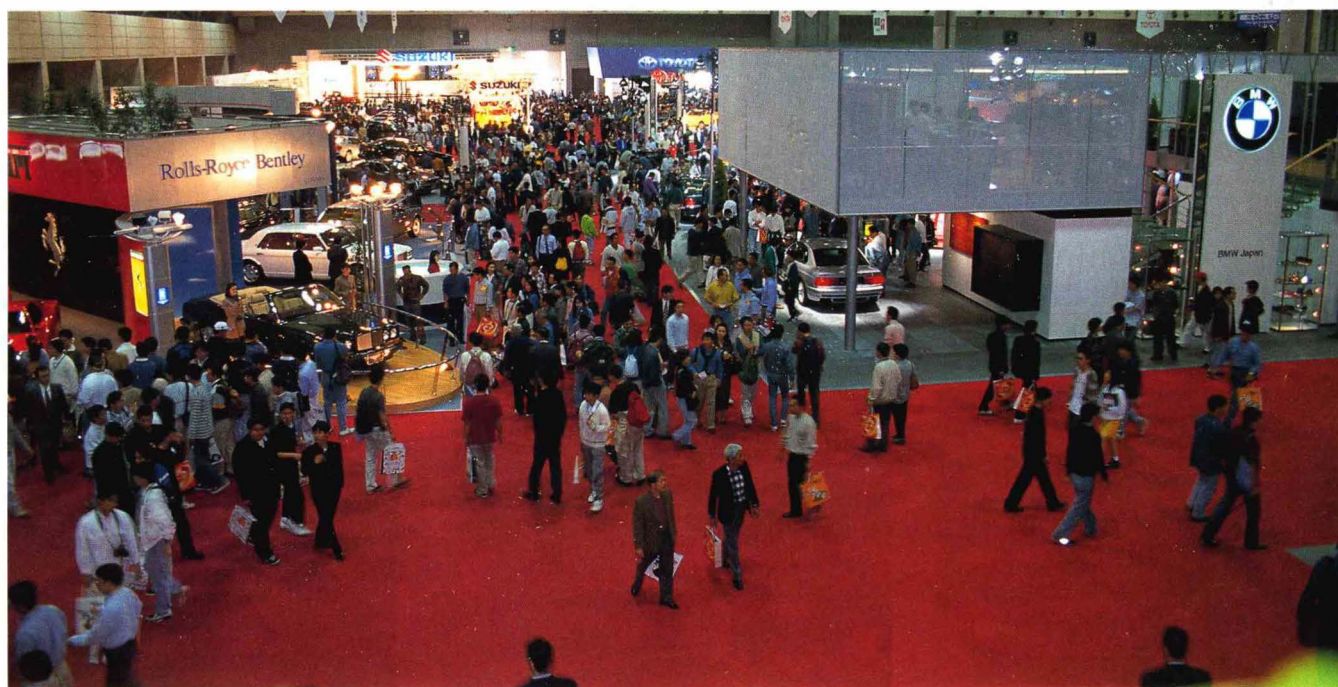
日本車メーカーがRVを軸とした出展をしているのとは対照的に、欧米のメーカーは“日本車キラー”の異名を持つクライスラーの「ネオン」を筆頭に、低価格の新型主力セダンを投入してきた。独フォルクスワーゲンのブースでは、往年の名車「ビートル」を彷彿とさせる「コンセプト1」を発表。販売は今世紀末というが、ブース内では「日本における正式な予約優先権が与えられる」と書かれたアンケートが配られ、「この車なら今すぐにも欲しい」という声があちこちから聞こえていた。米国フォードモーターは右ハンドル仕様車

「トーラス」、軽自動車並みの小型コンセプトカー「Ka」を発表。日本の道路事情にもマッチするだけに、市販されればかなりの販売台数が期待できるのではないだろうか。

今回のモーターショーでは、円高を背景に輸入車ブームが高まるなか、日本車メーカーの牙城であるリッターカークラスの市場に参入しようという欧米メーカーの強い意気込みが感じられた。



独フォルクスワーゲン「コンセプト1」



「感じる夢。感じるくるま」をテーマに開催された第31回東京モーターショー

着実に進む安全対策への取り組み

会場内に「バーン」という大きな音が鳴り響いた。エアバッグの実演が始まったのだ。エアバッグは事故の衝撃を感知して風船のように膨らみ、ドライバー（助手席への採用も増えている）を保護するシステムだ。エアバッグの実際の作動は100分の1秒単位の時間で完了する。通常は見る事ができないだけに、実演には多数の来場者がつめかけていた。

また衝突安全性を高める取り組みとしては、スポーツカーやRV車を中心に、ボディ構造に最新の衝撃吸収構造を採用し、クラッシュブルゾーンを設けた例が目立った。材質としては高強度鋼板を多用したものが多かったが、コンセプトカーを中心にアルミニウムや複合材を使用しているものもあった。

たとえばホンダ「SSM」は、フルオープン2シータータイプ。これには高剛性オープンボディ、軽量アルミサブフレームを採用し、スポーツカーに求められるデザイン性と安全性を両立する車体構造としていた。またマツダ「RX-01」では「操る楽しさ」の実現を目指していた。ボディの構造としては、アンダーボディの左右にサイドフレームを配置し、その間にクロスメンバーを設置していた。

事故を未然に防ぐためのシステムも、来場者の高い関心を集めた。トヨタ自動車のコンセプトカー「プリウス」には、近未来の安全装置・ブレーキアシストシステムが搭載されている。運転手がブレーキペダルを踏む深さや速度から緊急事態と判断すれば、自動的にフルブレーキがかかり、効率的にABS（Anti-lock Brake System）を作動させる仕組みだ。

21世紀の実用化をめざして運輸省が提唱しているASV（Advanced Safety Vehicle：先進安全実験車）は、国内メー

カー各社がこぞって展示していた。自動ブレーキ装置や車間距離維持装置、居眠り警報装置など、最新のセンサーを用いた装置をビデオなどで詳しく紹介。究極の安全の実現へ向けた取り組みをアピールしていた。

前回に比べると安全対策を強調した展示は少なくなったが、標準装備が進むエアバッグなど、安全への地道な取り組みの紹介が増えたのも今回のモーターショーの特徴であった。

環境対策の切り札、電気自動車

安全対策の強化はもちろんだが、現在、世界の自動車メーカーには地球環境保護の観点から、公害対策の一環として、よりいっそうの低燃費化が求められている。

日本では1992年に通産・運輸の両省により2000年までにガソリン乗用車の燃費を1990年平均8.5%向上させる燃費基準が公示されている。

米国では、段階的に排出ガスを出さない自動車を増やしていくとする法律がすでに施行されており、カリフォルニア州では、同州で自動車を販売するメーカーは1998年に販売台数の2%、2001年で5%、2003年で10%の割合で自動車をZEV（無公害車／Zero Emission Vehicle）にしなければならない。このZEVのカテゴリーに入るのは、事実上、電気自動車以外には考えられない。そこで現在、世界の自動車メーカーはしのぎを削って電気自動車の開発に取り組んでいる。

今回とくに目を引いたのは、日産自動車'91年のショーに出展した「FEV」をさらに発展させた電気自動車「FEV-II」である。前モデルとの大きな違いは、ニッケド電池に替わり



フルモデルチェンジしたニッサン「テラノ」の展示。鋼製の「モノフレームボディ」は、従来型に比べ約85kgの軽量化を達成し、高い剛性が快適な乗り心地を実現した。



CFRP内蔵アルミフレームを使用した三菱「HSR-V」



米国フォードモーターのコンセプトカー「Ka」



マツダ「RX-01」



ホンダ「SSM」

ソニーと共同開発したリチウムイオン電池を採用したこと。エネルギー密度が従来の鉛電池の3倍、ニッカド電池の1.5～2倍という優れた性能を持ち、1回の充電で200km以上の走行が可能だという。

すぐにも実用化できそうなハイブリッドカー

電気自動車よりも実用化に近いのは、電気モーターやガソリンエンジンなど複数の駆動システムを組み合わせたハイブリッドカーだろう。

富士重工業の「エルキャバ」は、走行状況により電動モーターと排気量800ccのガソリンエンジンを切り替えることができ、バッテリーのみの動力源で走行距離が限られている電気自動車の欠点を補う。三菱自動車の「HEV」は駆動力を電気モーターから得るタイプで、天然ガスを燃料とする発電用エンジンを搭載してバッテリーに充電を行い、走行距離をのばす工夫を取り入れている。

トヨタ自動車のコンセプトカー「プリウス」も燃費向上を徹底追求した低公害車だ。停車時にエンジンを停止させる機能を備えている他、一時的に蓄電できるキャパシターと呼ばれる電源をもったモーター・ジェネレーターが、加速時に力を貸してエンジンを助け、その際のエンジンの負担を減らすことによって燃費をさらに低減する。またエンジンの最も効率の良い回転数を選んで運転させることもできるなど、最新技術の採用により1ℓあたり30kmという超低燃費を達成している。



リッター30kmの超低燃費を達成したトヨタ「プリウス」



未来的なフォルムで人気を集めたい「デセオ」

軽量化へのアプローチ

低燃費化のためにもっとも有効な手段のひとつが車体の軽量化である。重量を1%軽減することにより0.6～1%の燃費低減が可能であるといわれている。今回のモーターショーでは、安全装置の装着や衝突安全性向上のために増える重量を、製造プロセスの改良と高強度鋼板の適用によって抑制している車が目立った。たとえばトヨタ自動車「サイノス」は、衝突安全性を高めるためにボディシェルを飛躍的に強化する一方で、高張力鋼板を多用するなどして重量増加を最小限に抑える工夫をしている。

また、日産自動車「CQ-X」などオールアルミ・ボディを採用したコンセプトカーの出展も多かった。アルミニウムは、鋼板に比べて重量あたりのコストが高くつくため、現状では大幅な適用が難しいとされるが、製造技術の改良などでコストの問題が解決すれば、アルミニウムの採用が進む可能性がある。

今回のモーターショーは、全般的に見せるよりも「売る」ことに力点を置いた出展となっており、環境や安全をテーマにした前回のショーに比べると、未来技術のコンセプトを打ち出す動きは少なかったようだ。それでも安全対策や環境対策が基本テーマであることに変わりはなく、各メーカーの取り組みが十分伝わってくる内容だった。

[取材協力：(社)自動車工業振興会]



ハイブリッドカーのスバル「エルキャバ」



オールアルミ・ボディを採用した日産「CQ-X」

新世代の自動車を支える鉄鋼の材料と技術

「自動車は鉄のかたまり」と言われることがある。確かに一台の自動車に使用される鋼材は多いが、その比率はわずかながら減る傾向にある。

しかし同じ鋼材でも、10年前と現在とを比較すればその内容は大きく進歩しており、従来よりすぐれた性能を発揮する材料が自動車業界からの多様なニーズにこたえている。

人や地球と共生する自動車へ

高度経済成長以降、急激なモータリゼーションの波に支えられながら、自動車産業は飛躍的な成長を遂げ、各自動車メーカーは自動車の高性能化、品質向上を目指してし烈な開発競争を繰り広げてきた。

しかし1970年代後半の石油危機、80年代の産業の国際化、地球環境保護の気運の高まりなどのおもに経済の変化の中で、自動車の技術開発テーマは方向転換をしいられた。具体的には、排出ガス対策、廃車リサイクル、安全対策など、人、社会、地球との共生のための技術が第一に求められるようになったのである。

このような経緯から、自動車業界がいま指向しているターゲットとしては、次の点が挙げられる。

1. 材料の高強度化
2. 製造段階におけるコストダウン、生産効率向上
3. 環境対策（排出ガス規制への対応など）
4. 廃車後のリサイクル性の向上
5. 安全性の向上

もともと鋼材は、強度、加工性など、他の材料にないすぐれた特性と低価格を兼ね備えたバランスのよい材料であり、そのメリットを生かし自動車に多く使われてきた。それでは次に、自動車用鋼材がどのように進歩しているのか、その具体例を見てみよう。

高性能化の進むボディ用鋼板

従来の自動車ボディは、おもに冷延鋼板をプレス成形し、溶接組み立てによって製造されてきたが、最近ではさらに強度が高く、薄くできる鋼板の採用が増えている。このほかボディ用鋼板に求められる特性としては、耐食性、耐デント性（へこみにくさ）、プレス成形性、表面処理性、リサイクル性などがある。

【軽量化、安全性向上に効果的な高張力鋼板】

高張力鋼板には、強度のレベルやその他の特性によっていろいろな種類があり、実際には使用される箇所によって使い分けられている。たとえば強度だけで見れば、ボンネットやトランクリッドなどは390MPa級、骨格部材は490MPa級といった具合である。最近では、衝突安全性を高めるため、サイドドアビームやバンパーリンフォースなどの高強度化が進んでいる。

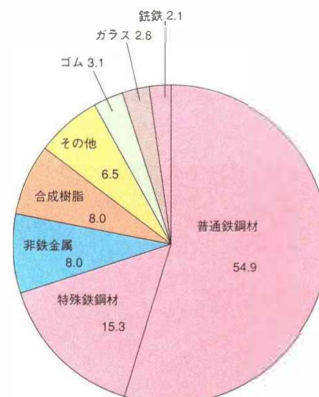
【樹脂層で振動を吸収する制振鋼板】

鋼材本来の特性にとどまらず、強度、剛性（変形しにくさ）などの特性を高めたり、その他の機能を兼ね備えるために、異種の材料と組み合わせた複合材料の開発が進んでいる。その一つが制振鋼板である。これは、2枚の鋼板の間にごく薄い樹脂の層をはさんだサンドイッチ構造とした積層鋼板で、樹脂層の働きにより振動を吸収することができる。現在、ボディの一部、エンジンに近接するオイルパンなどに使用されている。

Column

自動車の原材料の70パーセントを占める鋼材

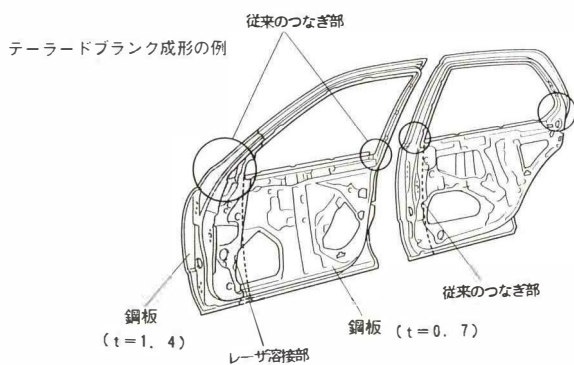
自動車には、鋼、アルミニウム、プラスチック、ガラス、ゴムなど、多様な材料が使用されている。自動車工業会材料部品委員会の調査による最新の自動車原材料構成比（1992年）によれば、鋼材の占める割合は、全体の70.2パーセントであり、他材料に比べはるかに多い。ちなみに1970年代に行われた同調査では、鋼材は概ね75パーセント以上を占めており、わずかながらその比率は減る傾向にある。鋼材といっても、その種類は多く、ボディなどに使われる「普通鋼鋼材」、エンジン部品、歯車などに使われる「特殊鋼鋼材」、またエンジンブロック、足回り部品に使われる「鋳鉄」がある。量的には普通鋼鋼材が最も多く、とくに鋼板は車両重量の約40パーセントを占めている。



普通・小型乗用車における原材料構成比（1992年）
（日本自動車工業会資料より）


信頼性の高いボディ構造に強度にすぐれた多くの鋼材が使用されている
(東京モーターショー会場にて)


薄肉で高性能なステンレス排気系部品 (東京モーターショー会場にて)



生産効率を向上するボディの製造技術

[難易度の高い成形に適した液圧成形技術]

ボディパネルのプレス成形で、工具の代わりに液体（油、水など）の圧力を利用するのが液圧成形技術である。この方法では、従来のように材料と工具の間に摩擦が起こらず、大きな変形が可能で、深絞り成形など難易度の高い成形がしやすい。第31回東京モーターショーでは、日産「C-Q-X」でアルミニウム押出材製フレームの成形に液圧成形技術が採用され、注目を集めた。

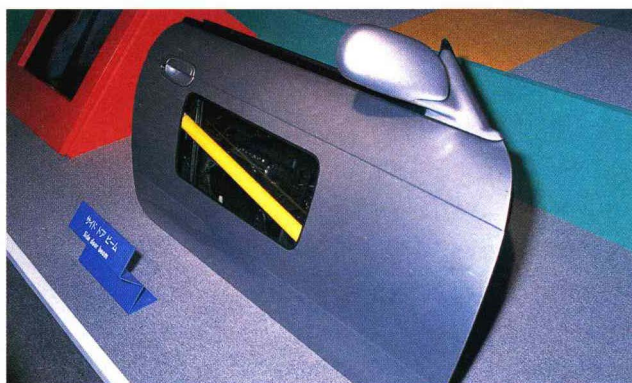
[自動車を一体成形するテーラードブランク成形技術]

自動車の各部品を素板状態で接合した後、接合部を含めて一体成形するテーラードブランク技術が開発されている。これを生かし、車体各部で異なる材質、板厚、表面処理などの要求に細かく対応することができるようになるため、自動車性能の向上、製造コスト低減が図れるものと期待されている。

用途に応じてすぐれた特性を発揮する鋼材

[エンジンの信頼性を高める高強度材料]

多くの部品で構成されるエンジンの中でも、動弁系、主運動系といわれる動く部品は、高強度化、軽量化、小型化によって運動能力が高まるため、エンジン性能の向上に大きな効果をもたらす。また1部品を軽量化すると周辺部品の小型化の波及効果が見込める。もちろん、高温強度、耐



横からの衝突安全性を高めるインパクトビーム (東京モーターショー会場にて)

摩耗性、長寿命などの性能も重要である。

このような要求性能にこたえるため、エンジンに使われる鋼材では、たとえば不純物の除去、非金属介在物の低減などにより、高強度化、疲労強度向上などを図っている。

[耐食性と耐熱性にすぐれたステンレス]

エンジンからの排気系統に多く使用されているのがステンレス鋼である。なかでも多いのが、耐熱強度にすぐれたフェライト系ステンレスである。

また、排気浄化用触媒の担体にもフェライト系ステンレスが使用され始めている。従来、担体にはセラミックが多かったが、ステンレスは、薄くできるため排気抵抗が少ない、放熱性がよい、などの特徴があり、今後さらに普及する可能性が高いといわれている。

[安全性を高める各種装備]

たとえば、横からの衝突から車内の人命を守るインパクトビームでは、ドアに鋼製パイプが内蔵されるようになっている。第31回東京モーターショーでも、国内、海外の多くのメーカーでの出展が目立った。

また現在、大型トラックの分野で装着が進んでいるリターダは、フットブレーキの補助として自動車の速度を減速させる装置だが、従来のコイル式電磁石式のほか、小型、軽量の永久磁石式の採用が増えている。

[取材協力：いすゞ自動車(株)、(社)自動車技術会]

スチール製乗用車の軽量化をめざす国際プロジェクト ULSAB (Ultra-Light Steel Auto Body project)

アルミニウムや樹脂などの競合材料に対抗するため、世界の鉄鋼メーカーが大規模な共同プロジェクトを推進している。このほどコンピュータ・シミュレーションによる第1段階が終了。スチール製自動車的大幅な軽量化、低コスト化、安全性の確保などを同時に達成できることが証明された。

2000年以降の先進的技術を取った夢の車

ULSAB（超軽量鋼製自動車車体）研究計画は、日本の高炉5社を含むアジア、欧州、北米、南米など世界15ヵ国の主要鉄鋼メーカー32社が参加し、一昨年から始まった。計画では、全体的な車体設計技術と、現在あるいは近い将来実用化が見込まれている大量生産技術の採用により、スチール製乗用車の重量をいっそう軽減するとともに、生産コストの大幅な削減が可能であることを段階的に実証していく。その際、リサイクル特性や安全性が損なわれることのないよう留意するのはいうまでもない。

第1段階では、国際鉄鋼協会がドイツ・ボルシェ社の米国子会社であるボルシェ・エンジニアリング・サービス社に委託し、設計・エンジニアリング上のコンピュータ・シミュレーションが実施された。

同社はまず、開発するULSABについて世界の代表的な中型セダン乗用車を対象に比較評価を行った。

＜比較に使用した車種＞

- アキュラ・レジェンド
- BMW 5シリーズ
- シボレー・ルミナ
- フォード・トーラス
- ホンダ・アコード
- レクサスLS400
- マツダ929
- メルセデス190E
- トヨタ・クレシーダ

その後、ULSABのデザインおよび性能について「2000

年以降の先進的技術を取った夢の車」と位置づけ、その実現にむけて、安全性・剛性・コスト・軽量化といった通常相反する特性をバランスさせることに成功した。第1段階における具体的な研究成果は次の通りである。

安全性、低コスト化などのバランスを達成

ULSABのボディ構造の重量は205kgで、比較に用いた代表車種の総平均271kgに比べて66kgも軽量化が可能である。

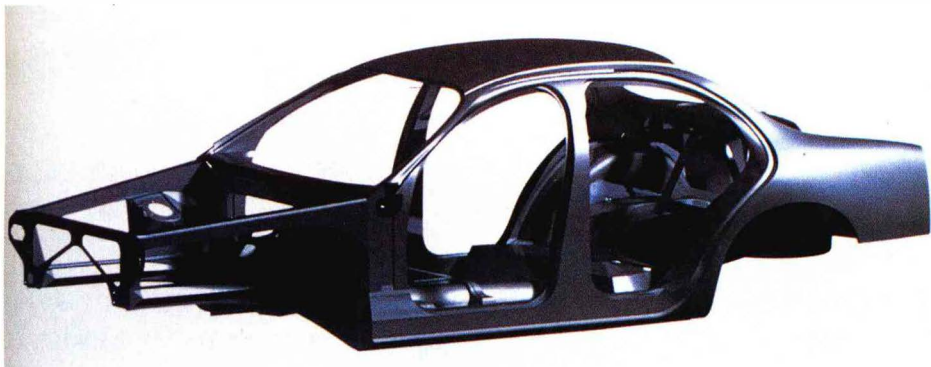
自動車コストの研究を行っている米国アイビス・アソシエイツ社では、この超軽量スチールボディの製造コストは、従来型設計に比べ約154ドル（14%）低減すると試算している。これは設計の革新はもとより、部品点数の削減や製造の効率化の組み合わせによってはじめてもたらされるものである。

安全性の面では、精巧なシミュレーション手法を使用し、車体前部、後部、側面および転倒・衝突時における乗員保護に対する潜在能力が確認された。

前部と後部の衝突シミュレーションテストは、世界の大部分の政府の基準を上回る時速35マイルで実施され、衝突時の衝撃吸収性能がきわめて高いことが証明されている。構造効率化についても、最小の質量で高いボディ剛性を確保するという、構造効率化の意欲的な目標が達成されている。高い構造的効率を達成しながら安全性と剛性を確保するということは、自動車エンジニアリングにとって困難な課題といえる

■ULSABの性能概要

	現 状	ULSAB	目標値	差 異
重量 (kg)	271	205	200	△66
捻り剛性 (Nm／度)	11,531	19,056	13,000	7,525
曲げ剛性 (Nm／mm)	11,902	12,529	12,200	627
一次固有振動数 (Hz)	38	51	40	13
コスト (USドル)	1,116	962	—	△154



ULSABプロジェクトによる
ボディ・イン・ホワイトのコンセプトモデル

が、ULSABの剛性は、今日走っているほとんどすべての自動車よりもすぐれている。すなわちULSABでは、比較に用いた車種グループに比べ、最低34%から最大132%までの範囲で高い剛性が得られた。剛性の高いボディ構造は、きしみ、がたつきがなく滑らかな乗り心地の確保につながる。

このほかULSABは、原料の採鉱～製鋼から自動車製造～使用～リサイクルにいたる自動車のライフサイクル全体を通じて、環境改善に寄与することが期待されている。将来、ULSABが実用化されれば、自動車メーカーにおける鋼材使用量が減少する。しかしその一方では、省資源・省エネルギーを鉄鋼業・自動車業双方で実現することが可能となり、また、こうした自動車の使用により二酸化炭素排出量が低減されることになる。ULSABの採用は、派生的にエンジン、サスペンション、ブレーキ、タイヤ、ホイールなど、乗用車の各部品の小型・軽量化の機会を生じ、全体として環境改善をもたらすことになるはずだ。

第2段階は、実際のボディ組み立てへ

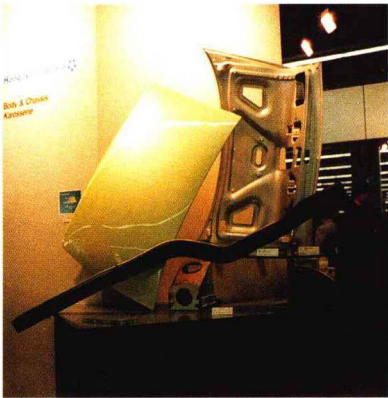
ULSABは、現在の技術的・社会的状況のなかで実現可能なものである。

技術的には、打ち抜き加工やスポット溶接など、低コストの従来型成形と接合技術の広範な使用に加え、溶接テラール・ブランク、接着溶接、構造用油圧式成形鋼管、スチール・プラスチック合せ鋼板といった先進的鋼材や新しい鉄の技術、およびすでに開発されているその他の技術が組み合わせられている。また、ULSABの3分の2の部分に、さまざまなグレードの高張力鋼板が使用されている。

現在、ULSAB開発計画は、第2段階への準備が進められている。今後は、2年間に約 2,000 万ドルを投じて、今回設計さ



95年秋のフランクフルト・モーターショーでもULSABに関連した出展があり、来場者の話題となった
(写真上：ボディ構造側面
写真右：リアフード)



れたULSABの重量、性能、製造方法などを実証するために「ボディ・イン・ホワイト」と呼ばれる実際のボディが組み立てられる予定だ。

世界の鉄鋼メーカーが国境を越えて共同研究を行うのは、今回が初めての試みである。このULSABプロジェクトで得られた開発成果は、将来、世界の自動車産業に広く提供されることになるはずである。

[取材協力：ULSABプロジェクト・コンソーシアム、(社)日本鉄鋼連盟]

■ULSAB プロジェクト・コンソーシアム第1段階参加企業 (1995年9月5日現在)

地域	国名	企業名
アジア、太平洋	日本	新日本製鐵、NKK、川崎製鉄、住友金属工業、神戸製鋼所
	韓国	浦項綜合製鉄
	オーストラリア	BHP
北米	カナダ	ドファスコ、ステルコ
	米国	アクメ・スチール、AKスチール、ベスレハム・スチール、インランド・スチール、LTVスチール、ナショナル・スチール、ルーージュ・スチール、USスチール、WCIスチール、ウェアトン・スチール
ヨーロッパ	オーストリア	フェースト・アルピネ
	フランス	ソラック
	ドイツ	クルップ・ヘッシュ・シュタール、ティッセン・シュタール、プロイサグ・シュタール
	イタリア	ILVA
	オランダ	ホッホ・オーフェンス
	スペイン	CSI
	スウェーデン	SSAB
	英国	BSp1c
	ベルギー	コックリル・サンプル、シドマール
	南米	アルゼンチン
		シデラル SAIC (第1段階末期に参加)



Larry Fisher-Masterfile/Imperial Press

話題の PRODUCT

プロダクツ

チタン
ドライバー



ゴルフをより身近にした 先端素材、チタン

ここ数年の総理府の調査で、「これからやってみたいスポーツ」の上位に必ず挙げられるようになったゴルフ。そして、いまゴルファーならだれもがチタンドライバーを使ってみたいと思っているのではないだろうか。

「初心者でも飛ぶ」「方向性がよい」と、口コミから広まったチタンドライバーの人気は、とどまることを知らない。

今回はチタンドライバーと、その人気の秘密を探ってみた。



年間100万本の超人気商品

以前は社用族のスポーツというイメージが強かったゴルフだが、最近では若者や女性も気楽にゴルフを楽しむようになった。ゴルフ場の入場者数はバブル期に一気に増加し、その後一時的に落ち込んだが、昨年あたりから徐々に人気を取り戻しているようだ。平成10年の国体では、公開競技になることも決定している。

そのような中で、いまゴルフ用品業界の牽引車的な存在となっているのがチタンドライバーである。ちなみに、94年に約35万本といわれていたチタンドライバーの出荷量は、95年には約100万本となり、96年は200万本を越えるとさえいわれる。

大型ヘッドとカーボンシャフトを組み合わせた「デカヘッドドライバー」は80年代に本格的に登場して以来、遠くに飛ばせるクラブとしてまたたくまにアマチュアゴルファーに広がった。チタンドライバーは、このブームの主流的存在として人気が高まり、次第に手頃な価格のモデルも登場。いまやデカヘッドといえばチタン製があたりまえというほどになった。

メタルヘッドで最初に使われたのはステンレスだったが、チタンはより軽くて強く、さらに柔らかな打球感が得られるという理由で、今から数年前に市場にデビューした。当時は1本18万円もする高価な商品だったが、宇宙開発や航空機に使われる先端素材ということで、ニュース性のある新商品として世に登場した。

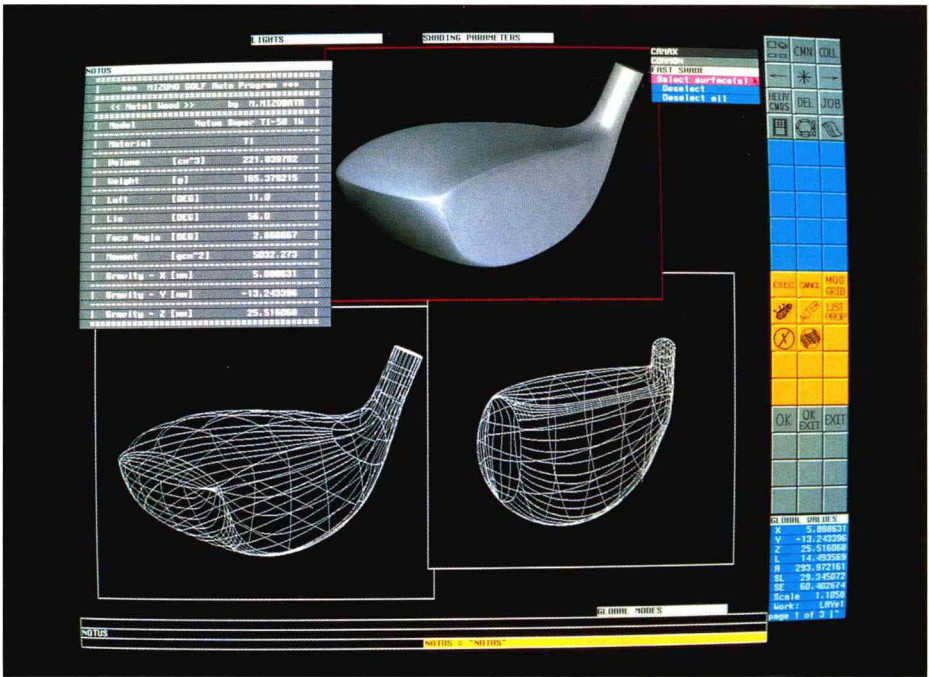
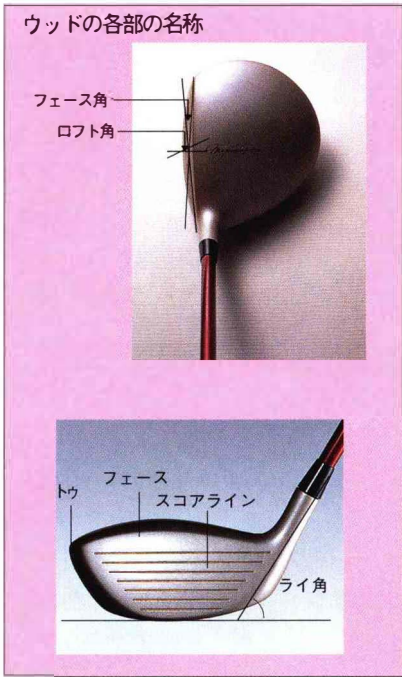
そして現在では、国産品、輸入品とも多くのモデルが登場し、店頭にはゴルファーに合わせて初心者用からトッププロ用のものまでズラリと並ぶようになった。

チタンだからできる、軽く大きいヘッド

そもそも、初心者にも「やさしいクラブ」とはどんなクラブなのだろうか。

「やさしさ」とは、わかりやすくいえばスイートスポットを多少はずしたところでボールを打っても遠くへ飛ぶ、しかも正確な方向に飛ぶということだ。そのためにはヘッドを大きくすることが必要になる。しかし大きくすればそれだけ重量が増し、クラブを振り切れなくなる。これを解決するために登場したのがメタルヘッドだった。メタルヘッドの特徴について、チタンドライバーメーカーのミズノでは次のように話してくれた。

「ドライバーヘッドは、シャフト長さや慣性モーメントから、200グラム前後が適正だといわれています。今までの素材でこれを作ろうとしても、大きなヘッドはできなかった。チタンは比重が小さいので、ヘッドを大きくできます。しかも強度が高いので薄肉にできる。結果的にヘッドの形の設計の自由度が上がるのです」



ドライバーヘッドのカットサンプル
(ミズノ・ノータススーパーチタン)。
肉薄でできるだけ軽量化を図りながら、
ソール面を肉厚にして安定性を高めている



ヘッドの形状を決めるには、ゴルファーのボールを打つ初速、ボールの飛び出し角、バックスピンの回転数などを考慮しなければならない。たとえば初心者ならば初速が遅いので、飛び出し角を高くなるようにロフト角を大きく取るとか、打つたびにバックスピンの増減がないようなフェース面の形状やスコアラインを工夫する必要がある。このあたりは設計者の腕の見せ所であるが、もともと比重の小さいチタンなら、たとえフェース面が大きくなったり重量配分を偏らせるにしても、全体重量の増加が抑えられるため、設計どおりの形が作りやすいというわけである。

ヘッドの形状について、国産モデルの中でも人気の高いミズノ・ノータススーパーチタンを見てみると、次のような特徴があることがわかる。

1. 先端部（トゥ）が厚いので、フックラインになりやすく、飛距離が出せる（シンクロターン設計）。
2. ヘッド容積を228ccとし、大きなスイートエリアが得

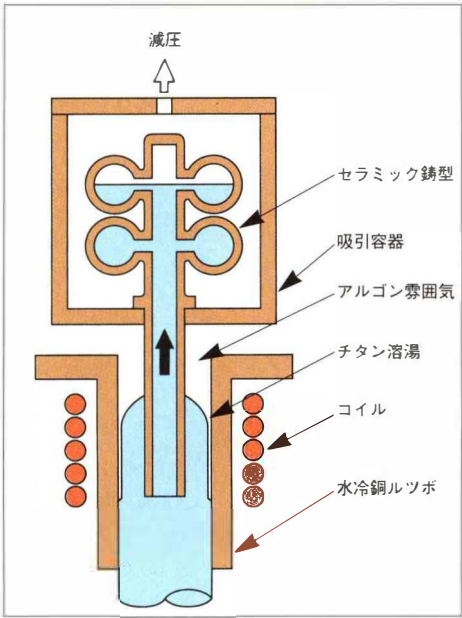
られる。

3. ゴルファーから見てヘッドが大きい（ヘッドの投影面積が大きい）ので、安心感が得られる。

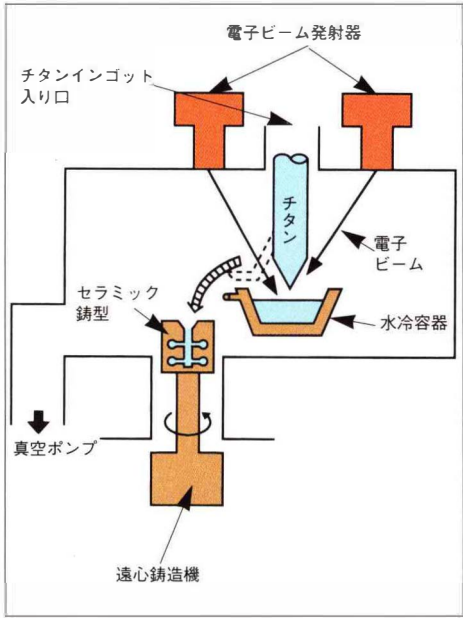
このように見てくると、できあがったドライバーヘッドの形状はいろいろな要素を検討し、凝縮された姿であることがわかる。

高品質を効率よく実現する「レビキャスト法」

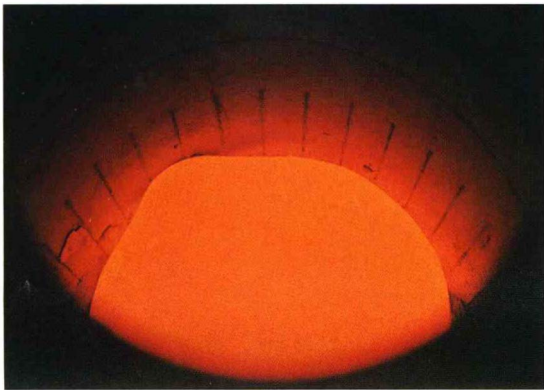
ところでこのようにすぐれたチタンヘッドも、製造するのが難しいという欠点がある。チタンヘッドには鍛造ヘッドと鋳造ヘッドがあるが、現在主流となっているのは輸入品を含め鋳造の方である。これを製造する工程では、溶解したチタンの中に酸素が巻き込まれやすく、鋳造は真空中で行わなければならない。またチタンの融点は約1,700度と高く、温度降下により湯流れ性が悪くなりやすく、従来は鋳型に流し込む際に遠心力を利用する方法（真空遠心鋳造法）が用いられていた。この場合、鋳



「レビキャスト法」の概要



「真空遠心鑄造法」の概要



レビキャスト法によって溶解したチタン。
炉の内壁に接触しないため高い清浄度を
確保している

チタンと他金属材料との比較

項 目	比 重	溶融点 (℃)
チタン	4.5	1,668
チタン合金 (Ti-6Al-4V)	4.43	1,594
鉄	7.9	1,530
18-8ステンレス (SUS304)	7.9	1,400~1,420
アルミニウム	2.7	660
アルミニウム 合金 (75S-T6)	2.8	476~638
マグネシウム	1.7	650
ニッケル	8.9	1,453
ハステロイ C	8.9	1,305
銅	8.9	1,083

型は高速回転させる必要があり、遠心力は重力の数十倍に達するため、当然、製造設備も大掛かりなものとなり、製造コストも高くなる。

チタンヘッドメーカー各社は、この課題を解決するための取り組みを行い、独自の技術の開発に余念がない。その中でいま注目されている技術の一つに「レビキャスト法」がある。レビキャストの「レビ」とは浮遊（レビテーション）の意味で、「キャスト」は鑄造（キャスト）のこと。つまりチタンを強力な高周波磁場を利用して炉の内壁に接することなく溶解し、これを内部を減圧した鑄型の中に吸い上げてしまうのである。この方法による特徴は次のとおりである。

1. 溶解炉壁と非接触で溶解するため、耐火物中の酸素や不純物が混じらない。
2. 炉壁との接触がないため、温度低下が少ない。
3. 放熱ロスが少なく、高温にしやすい。
4. 鑄肌の仕上がりが滑らかである。

5. 薄肉にしやすい、ヘッドを大きくしやすい。

このような特徴を持つレビキャスト法は、ドライバーヘッドだけでなく、チタン鑄造製品の可能性を広げるものとしても大きく期待されている。

ギリシャ神話に登場する神、タイタンがその語源である素材、チタン。タイタンのように圧倒的なパワーでゴルフ業界を席巻しているチタンは、さらにその特性を生かし、私たちの身近な製品にさらに使われるようになるに違いない。

[取材協力／写真提供：ミズノ(株)、大同特殊鋼(株)]

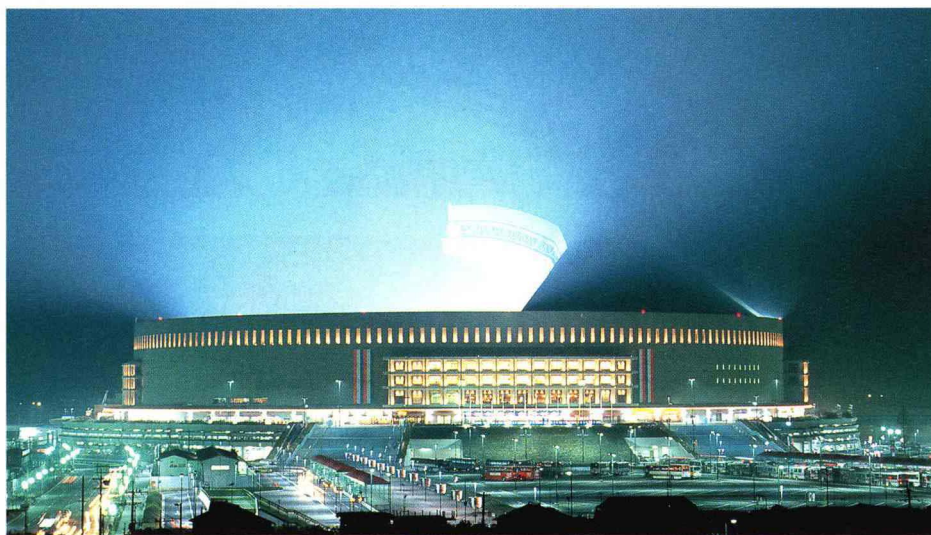
Steel Landscape.

歓声を見守る鉄～福岡

鉄の絶景



春の訪れとともに外出の機会も多くなる。
 今年もまたプロ野球ペナントレースの舞台となる福岡ドーム、
 そして、オープン5周年記念期間も大詰めスペースワールド。
 九州を代表するふたつのスポットを訪ねる。



ドームの最高部は84メートル、屋根の直径は212メートルにもおよぶ。この巨大な屋根が、円周の壁だけで支えられている

国際都市・FUKUOKAの顔として

雨天中止。スポーツ観戦を趣味に持つ人にとって、これほどがっかりさせられるものはない。スポーツ好きのアメリカ人であれば、なおのこと。雨の日でも風の日でも楽しめるように、スタジアムに屋根をつけようという発想が生まれるのもごく自然な成り行きだ。テキサス州ヒューストンに世界初の全天候ドーム球場「アストロドーム」が完成したのは、1965年のことだった。これを皮切りに、次々と各地に大型ドームが誕生していく。スーパードーム、キングドーム、シルバードーム……。そして、88年、東京にもドーム球場が完成し、それを追うように93年、「福岡ドーム」がオープンした。収容人員は最大で52,000人。3層のパネルに分割された屋根は日本初の開閉式で、約20分で開閉が行なえる。屋根の表面材として採用されたチタンは0.3ミリの厚さで、5万平方メートルにわたってドームを覆っている。

世界的に見て、ドーム球場の建設は、ここ30年の間に大いに盛んになった。さまざまな都市で建設を急ぎ競い合っていた状況だ。その背景としては、コンベンションビジネスの隆盛があげられている。つまり、ドームのような大規模なスポーツ施設はコンベンションホールとして最適であり、そうした施設を持つことで、情報や文化を集約する場としての都市像を構築していきやすい。イメージも大きくアップする。福

岡ドームもまた、国際都市として福岡が歩みはじめるための、起爆剤的な役割が大きい。

福岡ドームは「ホークスタウン計画」の一角を成している。この計画の骨子となるのは、ドーム以外に、「シーホークホテル&リゾート（95年オープン）」と「ファンタジードーム（仮称／オープン未定）」がある。この3つの施設要素によって、ホークスタウンの都市機能は成り立つことになる。インターナショナルなコミュニケーションをはかる中で、アジアの拠点都市としての役割を果たそうというとき、どうしても欠かせない機能が、この計画には盛り込まれているわけだ。

昨年は福岡市でユニバーシアードが開催され、国際都市としてのイメージを強烈に、世界にアピールした。ローリングストーンズやマドンナが公演を行ない、サッカーやアメフトもここでゲームをする。ガレッジセール、草野球から国際大会まで、ここには数多くの歓声が、年間を通して地域から、そして世界から集まってくる。そこには、もちろん雨天中止の文字は躍らない。

つねに変化をつづけるスペースワールド

福岡第二の都市、北九州市にはふたつの人気名所がある。そのひとつは、門司港地区に整備された「レトロ地区」だ。まだ全国的にはそれほど知られていないようだが、ここには

© SPACE WORLD, INC.



門司港がもっとも栄えた明治末期から大正期にかけての建築物が復元されている。地区が整備されて1年が経過し、九州他県や山陰からの観光客は増えつつあるという。もうひとつの名所が、新日本製鐵（株）が複合経営の一環として取り組んできた「スペースワールド」。世界ではじめての宇宙をテーマにしたテーマパークだ。

オープンして昨年で5周年を迎えたが、テーマパークがオープンしてから短期間のうちに、これほど大きく様替りした例はないだろう。まず、当初あまりに平坦で寂しい印象を与えた中央の広場が、植樹により立体感と暖かみを増し、親しみやすく快適な居心地をつくりだした。また、アトラクションが13から35に増えた。こうした中で、平均滞在時間は一人あたり約1時間延びたという。より長く楽しんでいられる場所へと進化を遂げているわけだ。初年度以来、訪れるゲスト（入場者）の声を最大限に取り入れつづけてきた結果といえるだろう。

呼び物となっているのが、ローラーコースター「タイタン」だ。世界最大級のこのコースター、まず地上56メートルの高さまで上り、そこから一気に急勾配を落下していく。60度の勾配は日本一。スキーのジャンプ台助走路の37度と比較しても分かるように、実際に乗った感覚ではほぼ真逆さまに落ちていくといっている。56メートルの高さは20階建てのビルほどだから、ビルの20階からまっすぐ落下していくといった趣。ここで最高速度115キロ（日本一）をマークする。髪は風で逆立ち、高速落下の浮遊感に襲われ、極度の緊張で足はすくむ。コースター好きにはたまらない瞬間だ。

ローラーコースターにもさまざまな形態があり、ラクダのコブのような形のキャメルバックコースターや、ループのあるルーパー、さらに吊り下り型のサスペンデッドといったように分けられる。また、材質によって木製、スチール製があるが、この「タイタン」はスチール製のキャメルバック。いわゆるコースターの王道をいくタイプといえる。

次々と新しいアトラクションやイベントを導入し、変化をつづけるスペースワールド。ゲストから集められる数々の「声」が、いずれ歓声となって場内に響きわたることになる。



写真の「タイタン」につづいて、この3月には新コースター「ヴィーナス」が誕生する。コースターの神様、アントン・シュワルツコフ氏が基本設計を担当。日本最大級のループが売り物だ

展望

海上高速輸送の現状と将来

木原 和之

Kazuyuki Kihara

三菱重工業(株)船舶海洋事業本部 新製品部 技術部長

States and Trends of High-Speed Sea Transportation

1 はじめに

船による海上輸送は、最も古い輸送手段であるが、新幹線や高速道路等の陸上輸送、また航空機のジェット化等に比べ、一部の小型旅客船以外は高速化が進んでいない。船を高速化するために、従来より様々な試みがなされているが、最も基本となるのは、船体重量の軽減であり、現在では、船体材料として、ほとんどの場合アルミニウム合金が使用されるようになってきている。従って、船の高速化の歴史はアルミニウム合金船の歴史とも言える。すなわち、ここでは、我国における例を取り、アルミニウム合金船に始まる各種の高速船の歴史を述べるとともに、現状をベースに高速船の将来を展望する。さて、我国における高速艇の発展は、1954年に建造された我国最初のアルミニウム合金船である海上保安庁15m型巡視艇“あらかぜ”に始まると言える。本艇は、高速化の先駆けとなった記念すべき船として、現在四国の琴平神社にある海洋科学館に保管展示されており、航走中の写真を図1に示す。本艇は、27年もの長期間に亘り使用された後、1981年に引退したが、その際、船体構造の一部を切断して、種々の調査が行われた¹⁾。その結果、船体材料の劣化は認められず、アルミニウム合金の優秀性が立証され、現在のアルミニウム合金船の大型化につながる事となった。このように、“あらかぜ”によって幕を開けたアルミニウム合金製高速艇は、1956年の防衛庁による実験的試みによって、その優秀性が確認されるという経過を辿っている²⁾。すなわち、27m型魚雷艇6隻の建造に際し、木製、鋼製、アルミニウム合金製の3種類の船体材料を用いて同一設計条件のもとで建造し、実用試験を行った結果、アルミニウム合金製の艇が最も優れていることが立証され、その後、この種の高速艇は、アルミニウム合金製に統一されることになり、海上保安庁高速巡視艇のアルミニウム合金化を経て、次第に一般化するようになった。

民間における船体のアルミニウム合金化は、最も軽量化が要求されるところから、1960年代の日立造船および三菱

重工業による水面貫通型水中翼船の建造に端を発しており、その後、1975年以降になって通常の単胴高速艇のアルミニウム合金化が実現し、高速化が進んだ。現在では、一部を除いて、船体材料にアルミニウム合金を用いるのは半ば常識になっており、特に最近の大型高速艇においては、構造強度の面より他の材料が用いられることはない。このような状況の中で、我国においては、海上輸送の大型高速化に対する要求が急速に高まり、軽量化だけではなく、新しい技術開発の実用化が進展しており、テクノスーパーライナー(TSL)に代表される大型高速船が現実のものになりつつある。



図1 あらかぜ

2 高速艇の分類と発展

高速船として最も一般的で最も古くから存在しているのは、高速航走により水面が船底に作用する揚力で船体重量の大部分または一部分を支える滑走艇または半滑走艇であり、35ノット程度までのほとんどの高速艇に採用されている。このような古典的な船型を一般船舶を含めて浮力で船体重量を支えているとして、浮力支持船型と称する。これらについては、長い間にわたって、性能の向上のための船型改良が行われ、現在ではディープV船型が主流を占めて

いるが、船体中央から船尾にかけてV度が減少していく際の船型形状に直線型、ラウンド型、オメガ型等の種類があり、また、Vの度合いも多岐にわたり、設計条件に合わせて適宜選定されている。なお、波浪中においては、船体運動のために乗り心地が悪化するが、耐航性能上は最もフレキシビリティが大であるため、巡視船や取締船等哨戒・救難を目的とする業務艇には、細長型の半滑走艇が用いられている。このように、滑走・半滑走船型は、業務艇としては外洋においても最も適した船型といえるものの、旅客船としては、一般的な交通機関の快適性に対する要求が高まる中で、乗り心地の面より就航航路が制限される場合が生じる。従って、我国において、離島航路に就航する旅客船においては、一層の高速化と乗り心地の向上が要求される。この実現のためには、船体が水面の影響を受けにくいようにする必要があり、水の浮力で船体を支えるという船の概念から抜け出し、何らかの方法で船体の大部分を水面から切り放すかまたは水面を貫通する部分を細くしなければならなくなる。これらを実現するためのアイデアとしては、水中翼の揚力または船底に閉じこめた空気の圧力（エアクッション）により、船底を水面上に持ち上げる方法が、既に100年程前にヨーロッパにおいて考案され、小型の実験艇等が製作された例もあったが、実用化のためには相当の開発費用と期間を要するため、いずれの方法も最初は軍事目的として開発された。従って、我国においても、これらの高度技術の高速船は、欧米からの製品輸入またはライセンス建造となっていたが、最近に至って、国内における陸上貨物輸送の逼迫よりのモーダルシフトの必要性や国内外の航空貨物輸送の伸びに見られる高速貨物輸送品の増大予想等により、大量高速貨物輸送手段の必要性が認識され、国家プロジェクト“テクノスーパーライナー”として、大型高速貨物船の開発が行われるようになった。既に、翼揚力及び空気圧力支持の両形式の実験船が建造され、各種試験が終了しており、我国の高速船の技術は、急速に発展しつつある。

また、時を同じくして、余暇の増大や所得の増大に伴い、海上旅客輸送においても高速化・快適化への要請は一段と高まり、将来的に多くの旅客船の需要が見込めそうであるため、就航海面、速力、大きさ等の条件に合わせて、船体を非常に細長くした双胴型や船体の一部を變形した単胴型等の浮力支持船型の改良型、浮力と翼揚力をハイブリッドした双胴複合支持船型、新方式の水中翼船、新方式のエアクッション船等が開発され、それらの一部は既に実用化されている。また、推進方式についても、図2に示す電磁推進船の実験艇が建造される等、広範囲にわたる技術開発が続いている。

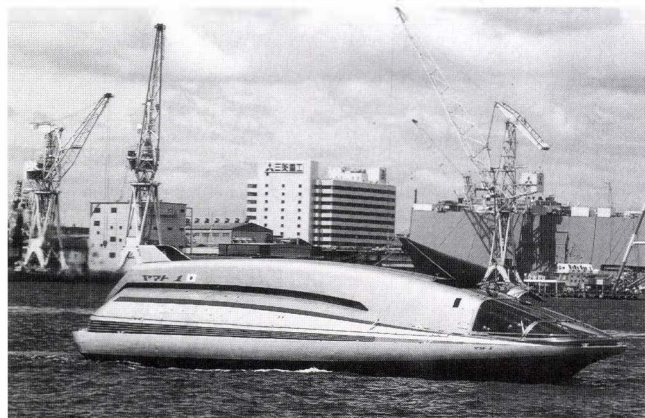


図2 超電導電磁推進船 ヤマト1

3 浮力支持船型

滑走艇や半滑走艇で代表される浮力支持の高速船型の中で、伝統的な単胴船型は、速力の連続的な選択、波浪中における操船性等、取扱いの容易さもあり、船型改善を行いながら業務艇を中心に継続的に用いられている。旅客船としては、専ら内海において用いられているが、外海に就航している大型船もあり、図3に示す三菱重工業製の全長48.5mのシリーズは、乗り心地の向上のため、アンチピッチングフィンおよびスタビライザーを装備している。

一方、双胴船型については、我国においては従来採用されることが稀であったが、近年、大型の高速旅客船では、主流を占めるようになってきている。旅客船においては、就航航路速力が定まっていることや、運航限界波高が定められていることから、巡視船や取締船等の業務艇のように性能上のフレキシビリティが要求されず、幅広の甲板を有していることで、広い客室面積が取り易いことが理由と考えられる。特に、速力性能や波浪中性能の向上のために船体を細長くする場合は、復元性能の確保の面より必然的に双胴になり、就航航路は瀬戸内海や大阪湾であるが、速力35ノットを越える大型旅客船も登場している。図4は、全長43m、航海速力36.5ノット、旅客数300名の三井造船“ス



図3 三菱単胴旅客船



図4 双胴旅客船 三井スーパーマラン



図5 双胴旅客船 石川島播磨SSTH



図6 三井半没水型双胴船

ーパーマラン”である。半滑走型高速旅客船としては、最高の試運転速力40.5ノットを記録している。

図5は、全長30m、旅客数65名の石川島播磨重工業建造のSSTH（細長型双胴船）である。東京大学との共同開発で、船体を極度に細長くすることにより、605PS 2基の推進機関で試運転速力28.2ノットを記録している。小型高速艇であるが、船体を細長くしているため、半滑走型ではなく、一般の大型船と同じ排水量型である。このような船体を細長くすることによる性能向上の方法は、まず豪州で“ウェーブピアサー”として実用化され、現在では、全長

74mを越える大型船まで登場しており、細長船体による縦方向の復元性減少を補うため船首に第3胴を付加していることや、横方向の復元性確保のため双胴間が大きく離れていることもあり、独特の形状で知られている。我国にも302人乗りの39m型が豪州より輸入され、伊豆半島航路に就航している。また、最近では、豪州AMD社との技術提携により、川崎重工業が全長100m、載貨重量570t、速力30ノットの世界最大のアルミニウム合金製細長双胴船型フェリー“はやぶさ”を建造、大型高速輸送の先駆けとして、大分県臼杵～愛媛県八幡浜間に就航を開始している。

図6は、三井造船建造の半没水型双胴旅客船“シーガル”である。全長39.3m、旅客数310名、速力27.5ノットで、波浪中の船体動揺が少ない船型の特徴を発揮して、外洋伊豆大島航路に就航している。高速であるが、水面下に没水体を抱えており、完全な浮力支持船型である。

4 翼揚力支持船型

水中翼で船体重量を支える翼揚力支持船型として、最初に実用化されたのは、水面貫通型水中翼船であり、我国においては、早くも1960年代に、日立造船と三菱重工業により旅客船が建造された。しかしながら、当時はまだ旅客の運賃負担力もなく、また高速化による時間短縮に対しても十分な対価を払う時代でもなかったため、1964年には、三菱重工業が撤退した。日立造船は、その後も建造が続けたが、就航数は次第に減少し、現在では瀬戸内海広島・尾道～松山航路に残っているだけである。代わりに、今では水中翼船といえば、川崎重工業の全没型水中翼船“ジェットフォイル”を指すようになっている。全長30.3m、航海速力43ノット、旅客数265～280名であり、図7に示す。全没型水中翼船は、水面貫通型に比べて翼面積が小さく、離水性能を確保するため極度の軽量化が要求され、ガスタービンを搭載している。また、全没水中翼であるため自己安定性がなく、高度の姿勢制御装置を装備していること等、い



図7 全没型水中翼船 川崎ジェットフォイル

わゆるハイク船であり、米海軍のためにボーイング社が開発したミサイル艇の民間版である。“ジェットフォイル”の我国への導入は、佐渡汽船がボーイング社より購入したことで始まったが、高速と乗り心地の良さが旅客を増加させるところとなり、川崎重工業がライセンス建造を行うことによって、現在ではほとんどの主だった離島航路に就航している。

図8は、三菱重工業建造のディーゼル駆動全没型水中翼双胴船“スーパーシャトル400”である。全長33m、航海速力40ノット、旅客数341名の世界最大級の全没型水中翼船であり、ディーゼル駆動の大型全没型水中翼船は実用化が困難とされていたが、大型水中翼、水中翼船用のウォータージェット推進機、軽量大出力高速ディーゼル機関、姿勢制御装置等、全て国産開発品を装備して完成された。



図8 全没型水中翼双胴船 三菱スーパーシャトル400

5 浮力・翼揚力複合支持船型

高速旅客船において、高速化と乗り心地を向上するには、高速性能と波浪中性能を兼ね備えた全没型水中翼船とするのが最も望ましいが、外洋の航路でなければそこまでの性能を必要としないため、運航経済の面では過剰性能となる。従って、就航航路に相応した速力と波浪中性能を満足するためには、船体重量を浮力と水中翼の両方で支持する浮力・翼揚力複合支持船型が、経済性の面よりも最も適当な選択といえる。ただし、設計を誤れば、船体抵抗と翼抵抗の悪いところ取りとなる可能性もあり、また、水中翼の設計製作も容易ではないため、従来試みられることはなかった。しかしながら、半滑走船型に水中翼船の長所をうまく取り入れることができれば、波浪中性能だけでなく、速力性能の向上も期待できるため、最近では、水中翼を装備した双胴船が実現しており、翼無しの場合に比べ、性能の向上に成功している。ただし、このような複合支持船型の場合、水中翼の支持分担を増加するほど、浮力による復原力

が減少し、船の特性が全没型水中翼船に近づいてくることになり、船体姿勢制御装置の装備が必要になってくるが、同時に姿勢制御による波浪中の船体運動低減効果も増加し、乗り心地が向上する。このような複合支持船型は、三保造船所が1987年に建造した150名乗り、27ノットの“エスポール”が最初であり、その後次第に大型・高速化され、最新型で全長34m、旅客数235名の“アクアジェットスーパー”シリーズは、試運転速力39.6ノットを達成している。

図9は、日立造船が、東京大学、瀬戸内クラフトと協力して開発建造した翼揚力による支持率が高く全没型水中翼船に近い複合支持船型“スーパージェット30”である。船主により旅客数や姿勢制御装置が若干異なるが、合計7隻のシリーズとなっており、全長31.5m、旅客数160名、試運転速力38ノットとなっている。

なお、テクノスーパーライナーTSL-F船型も単胴の浮力・翼揚力複合支持船型に分類されるが、これについては後述する。



図9 翼付双胴船 日立スーパージェット30

6 空気圧力支持船型

高速化のために船体重量を空気圧力で支持する船型は、まず英国で全周スカート型エアクッション船ホバークラフ



図10 全周スカート型エアクッション船 三井ホバークラフト ドリーム

トとして実用化され、現在も大型船がフェリーとしてドーバー海峡に就航していることはよく知られている。我国では、三井造船が英国の技術を導入して始めたが、その後独自の技術を展開し、困難とされていたディーゼル駆動を実現、“ドリーム”シリーズを建造している。全長23.1m、最高速力50ノット、旅客数105名であり、図10に示す。

7 浮力・空気圧力複合支持船型

細長型双胴船の船首尾にスカート（シール）を装備し、船底の空間に空気を吹き込むことで船体を持ち上げ、船体重量を空気圧力と双胴船の浮力の両方で分担する複合支持船型である。全周型エアクッション船（ホバークラフト）に対して、側壁型エアクッション船（SES）と呼ばれるが、アイデアとしては古く、小型の実験船は全周型エアクッション船と同じ頃に登場したが、本格的に検討が開始されたのは、米海軍の3KSESプロジェクトであることはよく知られている。SESは、全周型エアクッション船に比べ、水陸両用性を無くした代わりに、スカート（シール）が前後だけになる、空中プロペラの代わりに効率のよいウォータージェット推進機が利用できる、大型化が容易、船体を細長くできるため耐航性能が向上する等の利点がある。また、大きさ、速力、海象条件等の設計条件に応じて浮力と空気圧力の最適な分担を選定することができる。しかるに、米国では3KSESプロジェクトの中止により、SESの本格的実用化は行われず、その後欧州において、米国の技術をベースにFRP製の中・小型旅客SESが実用化され今日に至っており、我国にも輸入されている。

さて、我国におけるSESの自主開発の歴史は比較的新しく、三井・三菱の共同開発による1989年建造の全長18.5m、速力40ノットの防衛庁実験艇に始まっている。この防衛庁の研究は、その後も継続されており、1994年には、全長25mに改造延長して、最大速力68ノットを記録している。

なお、テクノスーパーライナーTSL-A船型は、大型のSESであるが、これについては次項で述べる。

8 テクノスーパーライナー

世界的な経済発展に伴い、製品の高付加価値化、生産拠点の国際的な広域化が進み、これら製品の大量高速輸送手段が求められている。また、国内では、輸送の大部分を担っているトラック輸送が、運転手不足、道路事情等で限界に近づきつつあり、陸から海へのモーダルシフトの必要性が高まっている。このような状況の中で、平成元年より、国家プロジェクトとして“従来の2倍以上の高速で、多量の貨物が積載可能であり、500海里以上の航続距離を有す

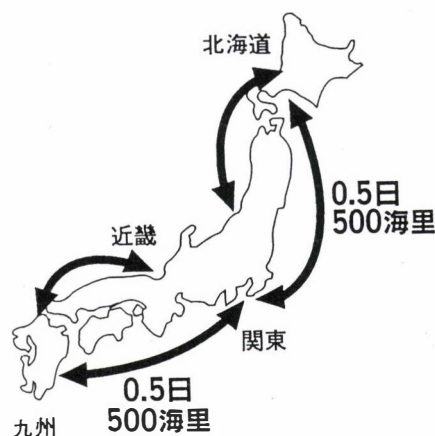


図11 TSLによる高速輸送

る超高速貨物船”の研究開発が開始された。具体的な開発目標としては、速力50ノット、貨物積載量1000トン、波浪階級6程度の荒天でも航行可能ということであり、従来の常識を越えた船である。テクノスーパーライナーと名付けられたこの超高速貨物船が国内に就航すれば、図11に示すように、500海里の距離にある首都圏～九州および北海道が半日で結ばれることになる。

コンセプトとしては、石川島播磨重工業、川崎重工業、住友重機械工業、日本鋼管、日立造船グループによる没水体の浮力と水中翼揚力で船体を支持する“翼揚力式複合支持船型（TSL-F）”と三井造船、三菱重工業によるSES型の

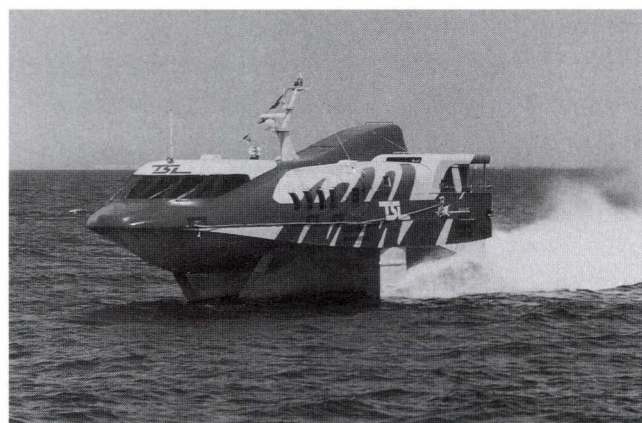


図12 TSL-F実験船

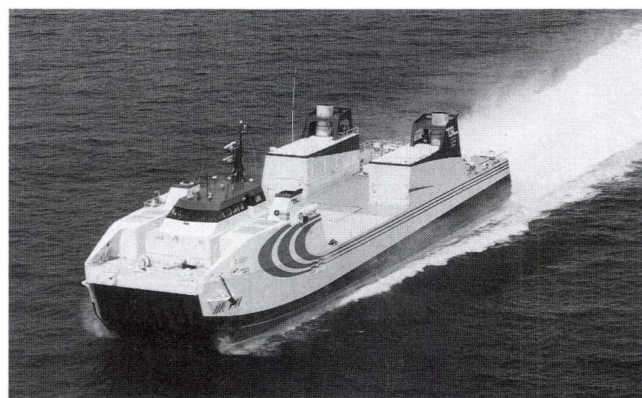


図13 TSL-A実験船

“空気圧力式複合支持船型 (TSL-A)” の2種類であり、実験船を建造し、各種試験を行って、早期の実用化を目指している。

TSL-Fの実験船を図12に示すが、全長17mであり、海上試験において速力41ノットを記録している。また、TSL-Aの実験船を図13に示すが、全長70mの世界最大の超高速船であり、海上試験において、大型船としては初めて50ノットの壁を突破し、54ノットを記録している。なお、本船には、冷凍コンテナ等実際に流通しているコンテナ貨物を積載できるようにしており、実用化推進のため、夜間航海を含めて何回もの試験輸送を行い、台風に遭遇した荒天においても、定時航行可能なこと、貨物の損傷がないことが検証されている。

9 おわりに

我国における高速海上輸送を担う高速船の歴史と現状および将来の方向について述べた。地球の7割は海であり、古来より輸送手段として利用されてきたが、高速船の技術開発の進展により、今後ますます海上輸送の特徴、利点が活かされていくことが期待される。

終わりに、本稿をまとめるに当たり、テクノスーパーライナー技術研究組合、石川島播磨重工業（株）、川崎重工業（株）、日立造船（株）、三井造船（株）各位のご協力を頂いたことに対し、厚くお礼申し上げます。

参考文献

1. あらかぜ資料作成委員会：“全アルミニウム合金製15m型巡視艇あらかぜ
2. 金子幸雄、他：“全軽合金船製高速艇の変遷と大型化について” 西部造船会会報、第65号、(1983)
(1995年10月31日受付)



入門講座

鉄鋼材料編-3

鉄器時代はまだ終わらない

—力学的性質から見た鉄と鋼—

矢田 浩

静岡理科大学 教授

Hiroshi Yada

Iron Age Still Continues -Iron and Steel Viewed from the Mechanical Properties-

1 鉄は「エコマテリアル」である

多くの新素材が広く使われるようになった。なかでもシリコンは現代産業の米と言われ、新しい石器時代の到来という声もある。歴史時代の始まり以来続いてきた鉄器時代は、終わりを告げるのだろうか。現代は情報社会と言われるが、それは人間の生活の一部を占めるにすぎない。地球上にはまだ多くの人が人間的とは言えない暮らしをしている。すべての人が快適な生活を送れるようになるためには、建造物や交通手段などのハードウェアはこれまで以上に必要であり、それらを構成する構造材料の重要性は決して小さくなることはない。その構造材料の中でも、以下のような鉄の元素としての特徴から、鉄は他の構造材料に比べ地球環境に対する悪影響が小さいと言える。すべての産業活動に地球環境を意識しなければならない時代を迎え、材料としての鉄の優位性はさらに増すのではないか。

イ) 地殻での構成比が高い

構造に利用できる元素の中で地殻中の構成比が珪素とアルミニウムに次ぐばかりではなく、原子核がきわめて安定な鉄は、地球の内部や宇宙空間にも多量に存在する。

ロ) 地殻での構成比の大きい金属元素の中で、還元に必要なエネルギーがもっとも小さい

ハ) リサイクル性が優れる

現在でもリサイクル率が約60%とアルミニウムを上回っている。これは、鉄の磁性のため廃棄物からの分別回収がしやすいこと、リサイクルにより材料としての価値がほとんど低下しないこと（再利用時に容易に調整がきく元素—とくに炭素—のみを使って、かなり広い範囲で材質設計ができる）ことなどによるものであろう。

ニ) 機械的特性が優れ、バランスがとれている

ホ) 錆びて土に帰り、しかも環境を汚染しない

重いことと並ぶ鉄の欠点である錆びやすいことも、これからはむしろ長所となると言ってもよいであろう。

本稿では主に上記の(ニ)の視点から、他の構造材料と比較しながら鉄の力学的性質の特徴について述べ、地球環境

によりやさしい「エコマテリアル」を目指すための技術開発の方向についても考えてみたい。

2 鉄は主な構造材料の中で最も弾性変形が小さい

自動車のボディーが簡単に凹んだりきずがつくようでは、生産や運搬の時に安心して扱えないし、駐車していても心配である。このことが、アルミやプラスチックに比べて重い鉄が、自動車の材料としていまでも最も多く使われている理由の一つである。

一般に構造物は永久変形をしては困るので、力を加えて変形させても力を取り除くとともに戻る、弾性変形の範囲内で設計されている。表1に示すように、主な構造材料の中で鉄は弾性係数、すなわち同じ量の変形を与えるために必要な力が最も大きい（ファイン・セラミックスや炭素繊維強化FRPなどの新素材には鉄と同等以上の弾性係数を示すものもあるが）。同じ力を与えても変形量が小さいことは、構造材料としては非常に重要な性質である。アルミの重さは鉄の約1/3であるが、弾性係数も鉄の1/3なので、剛性（変形に対するこわさ）を重視した設計ではその軽量化効果はほとんど打ち消されてしまう。ほかの力学的性質と異なり、弾性係数は金属組織などの構造によってほとんど変化しない性質であるので、合金元素を加えたり製法を工夫しても大幅に変えることはできない。

我々が快適に自動車に乗れるのはばねで衝撃を吸収しているおかげであるが、ここでは鉄の高い弾性がとくに有効に利用されている。たとえばコイルスプリングに用いられている

表1 主な工業材料の縦弾性係数（ヤング率）と比重

	縦弾性係数(GPa)	比重
鉄と鋼	200-220	7.85
アルミニウムとその合金	69 - 74	2.7
銅	110	8.9
コンクリート	20 - 30	2.2-2.4
エンジニアリング・プラスチック*	2 - 5	1.1-1.4
FRP（ガラス繊維強化）*	5 - 30	1.4-2.3

* 弾性係数は引張り弾性係数

ばね鋼は、炭素鋼に熱処理を施して弾性変形の領域を広げ、吸収できるエネルギーの大きさをさらに高めている。

3 鉄の中の転位は自由自在に動く

鋼を材料試験機で引っ張って行くと一般に図1のような変形と力の関係が得られる。この図はひずみ（単位長さあたりの変形の割合）を横軸に、単位面積あたりの力を縦軸にとった応力-ひずみ線図として画かれている。弾性変形の領域が終わるともうもとの形に戻らない塑性変形の領域に入る。塑性変形は、金属格子の欠陥の一種である転位が動くことによって起こる。転位とは、大きな絨毯がしわを動かすことで容易に動かせるように、結晶の原子間の強い力を少しずつ断ち切って小さい力で結晶の面をずらすことができる、巧みな自然の省力の仕組みである。転位の動く結晶の面と方向は結晶構造によって異なる。体心立方構造の鉄では、この組み合わせ（すべり系）は少なくとも48通り以上あり、他の構造の金属よりも4倍以上多い（たとえばアルミニウムでは12通り）。しかも結晶の性質から鉄の転位はほかのすべり系に移ったりして障害物を巧みにすり抜けることができ、また変形が進んで次々に生れた転位がすべり面上にたまってラッシュ状態になっても、うまく配列（セル構造）して応力を減らしさらに変形が続けられるようになる。このようなわけで、鉄では転位が動くために必要な力が大きい（従って強度が高い）のにも拘わらず、自由自在と言ってよいほど様々な形に変形ができるのである。

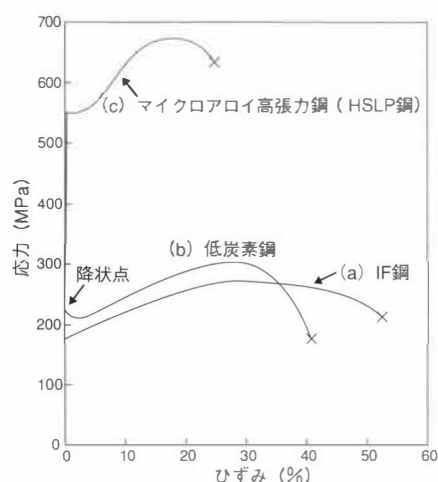


図1 鋼の応力-ひずみ線図の例

4 わずかの固溶原子が塑性変形特性を大きく変える

普通の鋼は図1の(b)のように変形応力が降伏点でいったんピークに達してから急に減少することが多い。この変形応力が降伏点でピークを示す現象は、鋼中を自由に動き

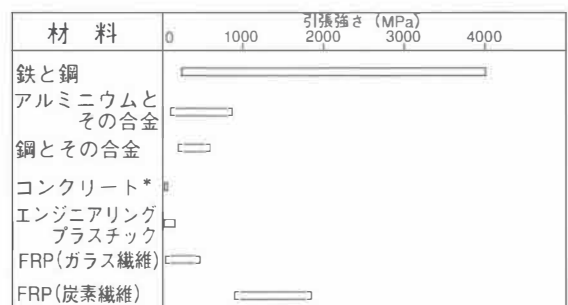
回れる極少量の炭素や窒素の原子が転位の周りに集まって転位を動きにくくするため、これも体心立方構造の金属の特有の現象であり、前に述べたように弾性変形の吸収エネルギーを増すために利用されている。

しかし降伏点降下の大きい鋼板をプレス加工をすると、ひずみが部分的に異なるためのしわ（ストレッチャーストレイン）を生ずるという問題がある。これを防ぐための方法として、動きやすい転位を導入する目的で普通成形加工に先立ってスキンプラスという軽い圧延を行っている。抜本的な解決法は固溶の炭素・窒素原子をほぼ完全に（1ppm以下）なくすことであるが、鋼を溶かして作るとき炭素や窒素をここまで少なくすることはきわめて難しい。そこでチタンなど炭素・窒素との結合力の強い元素を少量加えて、これらを完全に無害化した鋼が開発された。このIF鋼は加工性もきわめて優れているので、食缶や自動車の外板用に多量に使われるようになっている。

5 引っ張られ、たたかれて強くなる

図2に示すように、最も柔らかい鉄では引張強さ（最大の変形応力）はアルミ合金よりも小さいが、瀬戸大橋などの吊り橋を支える平行ワイヤと呼ばれる平行な線を束ねたロープ（図3）などでは引張強さはその10倍以上にもなる。他の金属では普通強化するにはさまざまな合金元素を加えるが、平行ワイヤに用いられる硬鋼線材には、炭素やマンガンなど一般に鋼に含まれる元素のほか特別なものは添加されていない。多くの鋼では主な強化元素は全くコストのかからない炭素である。

炭素による強化作用は、鉄に $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態があるため利用しやすい形で現れる。高温で安定な γ 相（オーステナイト）中で鉄の結晶の中に完全に溶けていた炭素が、常温の安定相である体心立方構造の α 相（フェライト）中にはほとんど溶けないため、鉄と炭素の化合物（セメンタイト）として鋼中に析出してくる。冷やし方によってこの析出の仕方が異なるため、鋼の様々な組織が生まれ、これに従って機械的性質も様々なに変化する。硬鋼線材では全体がフェライ



*圧縮強さ

図2 工業材料の引張強さの範囲（コンクリートは圧縮強さ）

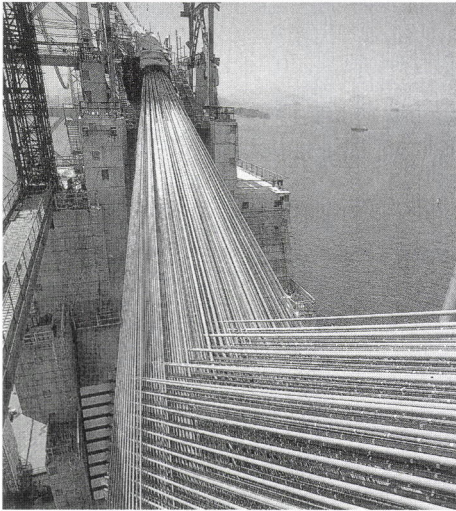


図3 吊り橋のパラレルワイヤストランド
南備讃瀬戸大橋で施工をしているところ。ストランドとは、
直径5mm程度の鋼線を数十ないし2百数十本束ねたもの
(新日本製鐵(株)パンフレット
「プレハブパラレルワイヤストランド」, (1994) より)

トとセメントととの薄い板が互いに重なり合ったパーライト組織となるが、これは一種の強化複合材料であり、その強さはそれぞれの板の厚さや間隔を冷やし方で変えることにより調節することができる。そしてこの鋼を細い線に伸線加工して行くと、セメントの板が細かく切断され、いっそう強度も増し、ねばさもむしろ加工前より改善される(図4)。パラレルワイヤはこのような状態で使用されている。

このように、金属では形を作るときの加工工程で強度が上昇する(加工硬化)が、鋼では $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態による強化が加わり、さらにその相乗効果で特性が改善されている。タイヤに入っているスチールコードが直径5.5mmの硬鋼線材から0.1-0.2mm径の細線にまでできるのも、この加工硬化特性のおかげである。ワイヤを引張って穴(ダイス)から引出して細くするとき、加工で強度が上昇するので細くなくても切れないのである。

最近では、変態に及ぼす加工の効果を意識的に利用した加工熱処理が、実用鋼材に盛んに適用されるようになってきた。結晶の粒径を細かくし、低温でのねばさを改善する厚鋼板の制御圧延法は、日本で開発され世界に普及している。多様な加工熱処理法が適用されている線材圧延では、特殊な加工熱処理を行ってから上に述べた伸線加工を行うことで4000MPaの引張強さを持つ鋼線も得られている。

一般に熱間加工はそれ自体が加工熱処理と言ってよく、これを上手に利用することで材質調整のための熱処理が省略できるようになり、省エネルギーに大いに貢献している。自動車メーカーの加工工程でも、部品を熱間鍛造した後の冷却で高強度の組織を作り込んで、その後の熱処理を省略する技術が実用化されている。

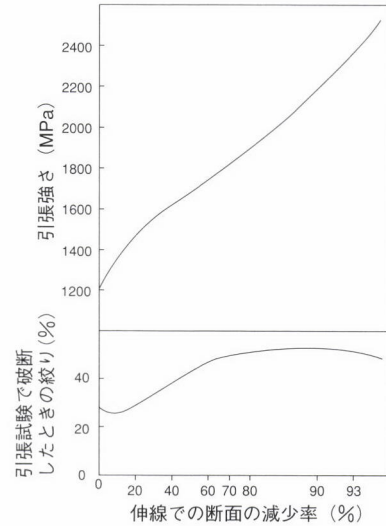


図4 硬鋼線材(それぞれ約0.8%の炭素とマンガンを含む鋼)の断面の減少率で表した加工率と、加工した線材の引張り強さおよびねばさ(引張り試験のときの断面絞り率で表す)との関係

このような加工や熱処理の工程でどのような組織変化が起こるかの基礎研究も進歩して、成分と作り方から組織と機械的性質を定量的に予測したり、作り方の設計をしたりすることのできる計算機プログラムが開発されている。

6 「焼きを入れ」られて強くなる

あまりよい意味で使われない「焼きを入れる」という言葉は、もともと鍛冶屋さんが鋼を強くするために用いた方法からきたことは言うまでもない。機械部品などでは加工による強化では不十分なことが多いので一般に焼入れで強化することが多い。図5にオーステナイト状態から冷却するときの冷却速度と硬さの関係を示す。完全に焼きが入るとセメントが析出する暇がなくマルテンサイト組織となるが、この組織では炭素が無理矢理狭いところに閉じこめられているため、がちがちに硬くなる。ただしマルテンサイトは一般にじん性(ねばさ)が不足で、炭素量が高い場合はあまり伸びずに切れてしまうほどろい(普通引張強さはここに示したビッカース硬さに比例している。しかし脆くなると硬さが大でも引張る途中で切れてしまい強度は高くない)。これでは安全に使えないので、さらに「焼戻し」と言う熱処理を行い、図6のような焼戻し特性を参考にじん性を改善するのが普通である。この焼入れ—焼戻し処理は材質の調節がしやすいため、調質処理と呼ばれて機械部品などの一般的な強化法となっている。

表面での硬さがとくに必要な歯車などの機械部品は、製造がしやすくじん性の高い比較的低炭素の鋼で形を作っておき、熱処理のとき表面から炭素をしみこませ(浸炭)これを焼入れして表面だけ硬くして使っている。これは一種の「傾斜機能材料」と言うことができる。

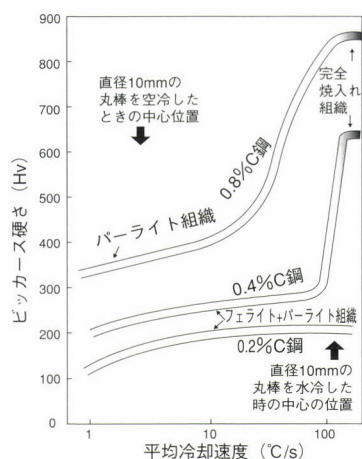


図5 構造用炭素鋼を高温から冷却したときの冷却速度と硬さの関係

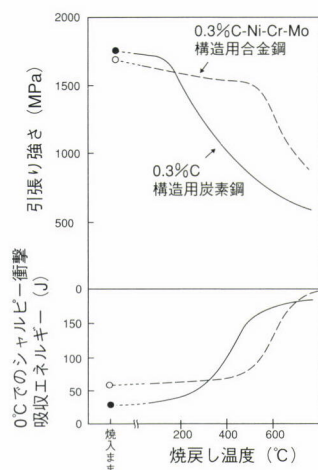


図6 炭素0.3%の普通鋼およびニッケル・クロム・モリブデンを含む合金鋼をマルテンサイト組織とした後焼戻したときの、焼戻温度と力学的性質の関係（じん性をシャルピー衝撃試験の吸収エネルギーで示す）

7 「金属疲労」にも安心な設計ができる

「金属疲労」ということばが人間や社会のことがらに使われることがある。これはジェット旅客機が出現して以来、コメット機の連続墜落や御巣高山に激突した日本航空のジャンボジェットなど、機体に原因がある大きい航空機事故の多くが金属の疲労現象によることが広く知られるようになったためだろう。金属の疲労は、降伏点以下の弾性変形として扱われる範囲内の応力でも、材料に繰り返しかかるやがて割れ目が発生し、その割れ目がだんだんと大きくなってついには破局的な破壊に至る現象である。このようなことが起こるのは、小さな応力でもすべり面上の転位の一部が動き、これがすべり面を往復運動をしているうちに材料の表面に鋭い突起が生じ、そこに応力集中が生じて割れ目ができるためである。材料の表面に凸凹があると割れ目がさらに発生しやすいので、機械部品では表面仕上げが安全のためにも大事である。

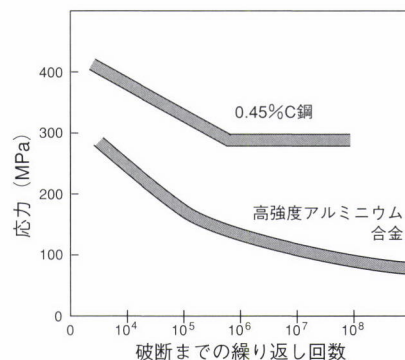


図7 疲労試験での応力と破断までの繰返し回数との関係（S-N曲線）

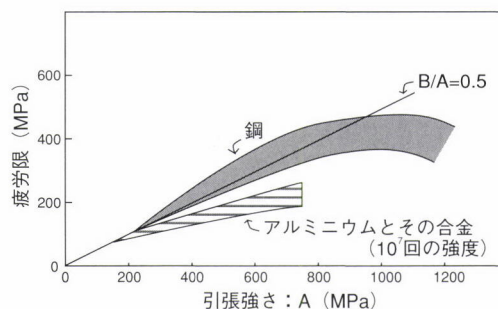


図8 引張強さと疲労限との関係

壊れるまでの繰返し回数は、加える応力が大きいほど小さく、横軸に繰返し回数の対数を取り縦軸に加える応力をとると、図7のように材料によって大体決まった形の曲線（S-N曲線）が得られる。疲労破壊の可能性のある構造物では、一般にこの曲線をもとに設計を行っている。この図に示されているように、鋼ではある応力以下では繰返し回数をいくら増加しても全く破断しない。この応力を疲労限（疲労限度、または疲労強度とも呼ぶ）という。構造物の設計応力を疲労限以下にすれば、いくら長期間使用しても疲労破壊の心配はない。疲労限は図8のように大体その鋼の引張強さに比例し、その比は1:2程度である。上に述べた表面硬化法は、これと同じ理由で疲労の発生を防ぐのに有効である。なおこの図で分かるように、高強度になるとこの比が低下することを注意しなければならない。Alなどの非鉄合金では低い応力でも繰返し回数を増やせばいつかは破断するので、1000万回の繰返しの際の応力を疲労限の代わりにとるが、図8中に示すように引張強さに対するこの応力の比は鋼より低い。

腐食環境下では疲労破壊が促進され、鋼でも疲労限がなくなる腐食疲労と呼ばれる現象があるので注意が必要である。また腐食環境では、繰返し応力でなくてもある時間後に低応力で破断する、応力腐食や遅れ破壊と言われる現象がある。これらは鉄鋼材料に限ったものではないが、金属にはそれぞれ不得手な腐食環境があるので注意しなければならない。このことは来月号で詳しく述べられる予定なので詳細は省く。

8 鉄のアキレス腱—ぜい性破壊

重いこと、錆びやすいことに次ぐ鉄の欠点は、厚手の銅材が低温でぜい性破壊を起こすことである。第二次大戦中アメリカはリバティー船という銅船を大量に建造し物資輸送を行ったが、この船が図9のように寒い海域で真っ二つに割れて沈没する事故をしばしば起こした。この型の船では溶接が全面的に採用されていたが、当時の溶接技術では溶接部に欠陥が残るのは避けられず、これから走り出した割れ目が溶接で一体となっている船体を横断してしまったのである。これ以降ぜい性破壊の研究が懸命に行われ、どのような材料がどのような条件下で壊れるかが詳しく分かってきた。

図10は一般に行われているねばさ（じん性）の評価法であるシャルピー衝撃試験の結果の一例である。炭素量を増すとぜい性破壊領域に移行する温度（ぜい性遷移温度）が高くなり、また延性破壊域でも吸収する衝撃のエネルギーも低くなる。従って現在用いられている造船用銅材では炭素量を少なくし、その代わりマンガンなどの合金元素を加えて強度を補っている。低炭素化は溶接部の割れの防止にも役立っている。溶接技術も著しく高度化し、また溶接部の欠陥を非破壊で検査する技術も著しく進歩しているので、現在では実際の構造物でぜい性破壊が起こる心配はなくなったと言ってよい。アラスカのような極寒地で高压に耐えるラインパイプに安心して用いられる銅材も、上に述べた制御圧延技術で大量に製造されるようになった。さらに低い温度には、塑性変形特性を変えるニッケルを含む銅が開発されており、 -162°C の液化天然ガスタンクなどに使

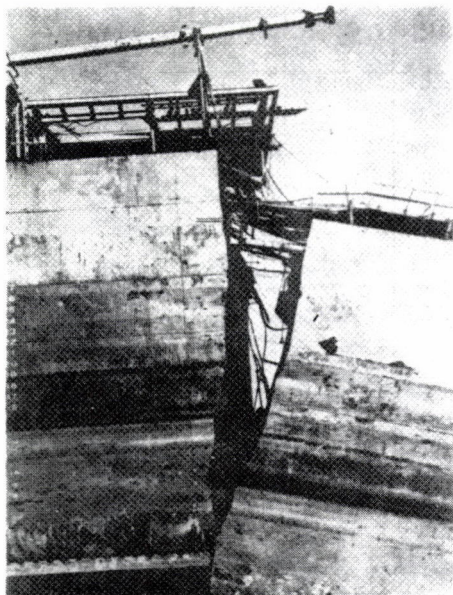


図9 真っ二つに割れたリバティー船
(門間改三、須藤一著：構成金属材料とその熱処理、
日本金属学会、(1977)、P.73)

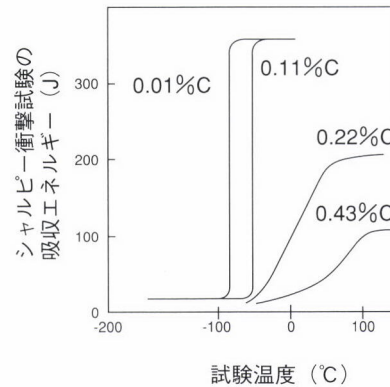


図10 焼きなました炭素鋼のシャルピー衝撃吸収エネルギーの温度変化

用されている。面心立方構造のオーステナイト系ステンレス鋼は、アルミ合金と同様低温でぜい化しないので、極低温で安心して使用できる。

ところで1995年1月の阪神大震災では鉄筋コンクリートの構造物が多く倒壊したのに対し銅製の構造物は一般にほとんど被害は見られなかったが、その中で銅製の橋脚にぜい性破壊による割れが発生した例が報告された。温暖な日本では普通建造物ではぜい性破壊をそれほど意識した設計はしていないため、とくに気温の低いときの、しかも想定以上の強さの今回の地震では、溶接欠陥などからの割れの発生が防げなかったのであろう。これを教訓として銅材・施工について基準の見直しがされている。

9 引っ張っても厚みの変わらない板

ビールやコーラなど内圧がかかっている缶飲料はほとんどアルミ缶であるが、缶自体に強度が必要なその他の缶は鉄製が多い。図11のように、鉄板がダイスを押し込まれていっぺんに缶の形になり、ふたをつけて出来上がりとなるのにはちょっとびっくりさせられる。ぎょうぎの皮などで試して見れば分かるが、底の角のところは薄くなって破れ、押し込み型に引きずり込まれるところではしわが寄ってしまう。強度の高い鉄が、どうしてこのようにたやすく絞り込めるのだろうか。実はこのような深絞り加工用の銅板は、引っ張ったとき幅方向には縮むが、厚さ方向には薄くなら

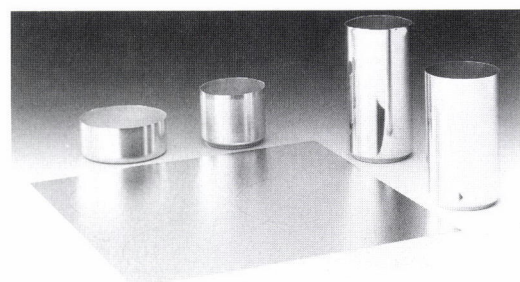


図11 IF銅板の深絞りの例
銅板に画いている円は成形する前に打ち抜く円盤（ブランク）の大きさ
(新日本製鐵（株）PR資料より)

ない特別の性質（塑性異方性）を持っている。上に紹介したIF鋼では、幅の方向のひずみと厚さ方向のひずみの比（ランクフォード値）が2以上にもなる。この鋼では、圧延の条件と、圧延で硬くなった板を焼きなまして柔らかくする時の条件とをコントロールすることにより、結晶の向きを揃えて（集合組織）望ましい塑性異方性を持たせている。このときにも鉄の $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態がうまく利用されている。ほかの金属では、一般にこのような都合のよい集合組織を作することは難しい。

10 鼻薬でタフになる

これまで述べたように、多くの鋼ではもともと含まれている炭素を巧みに利用し、圧延して形を作る途中で加工や冷却の条件をコントロールし、あるいはさらに熱処理を加えて望ましい組織とすることで様々な性質を作りだしているが、さらに特別の性質を得るために合金元素を加えた鋼が古くから作られてきた（マイケル・ファラデーが系統的に合金鋼を研究した最初の人と言われている）。大きな機械部品にはクロム、モリブデンなどを加え、焼入性を上げ強度を高めた低合金鋼が広く使われている。また、他の講義で紹介されるように、クロムやニッケルを大量に加えたステンレス鋼、トランスの鉄心などで電気の損失を減らす珪素鋼など、特別な性質をもつさまざまな鋼が作られている。

最近とくに多くなってきたのは、鼻薬程度の微量の合金元素を添加して性質を改善するマイクロアロイ鋼である。上述の制御圧延鋼では、図12の例のように、0.01-0.03%程度の微量のニオブが様々なはたらきをして結晶粒を細かくし、強度を高めたり、じん性を改善したりする。ボイラーなど高温で使用する鋼には以前からモリブデンを含む鋼が使用されてきたが、最近鉄骨建造物に耐火性が要求される

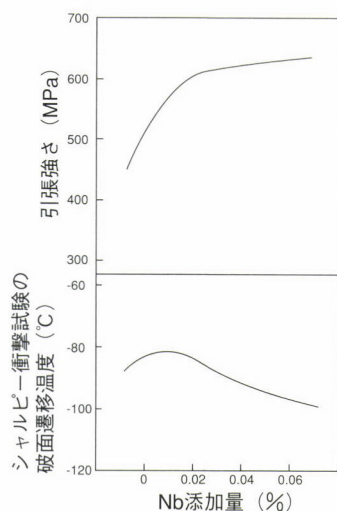


図12 マンガン、チタンなどを含む低炭素鋼の制御圧延したときの、力学的性質に対するニオブの効果

ようになりモリブデンを含む鋼材が建築物にも使われるようになった。図6からも分かるように、普通の鋼が温度上昇とともにセメントタイトの強化作用が失われ急速に軟化するのに対し、モリブデンは炭素と結びついて 600℃前後まで強化作用を示すためである。このようにチタン、ニオブ、モリブデンなどの元素は鋼中の炭素や窒素と結びついて様々な働きをして鋼の特性をより豊かにしている。

11 鋼の性質を今後どのように作り込むか

鋼の性質がその構造（組織）と密接に結びついていて、他の工業材料では見られない多彩な性質を示すことを大急ぎで見てきた。はじめに述べたように、今後も主要な構成材料として鉄の位置は変わることはないであろうが、地下資源やエネルギーを大量に消費する素材産業は今後大幅な技術革新を迫られることは必至である。日本の鉄鋼業は世界に先駆けて資源・エネルギーの節約を推し進めてきたが、今後さらに抜本的な対策が必要になると思われる。

資源・エネルギーの節減には、リサイクルの比率を高めることが最も有効である。高いレベルの品質が要求される鋼では、これまで市中のスクラップを主原料とする電炉鋼は適していないとされてきた。これからは高級鋼といえども、リサイクルを前提とした製造方法を考える必要がある。リサイクルによる性質の劣化を防ぐためには、特殊な合金元素の使用をできるだけ避け、メッキや複合化もできるだけ行わないことが望ましい。それには鋼の材質設計の原点に立ち返って、炭素の強化効果と加工に伴う加工硬化とを徹底して利用することが唯一の方向である。このように単純化した成分で様々な高度な材質の要求に応えるには、加工熱処理技術をさらに発展させる必要がある。そしてその条件を正確に設計・制御する組織・材質の予測技術はそのための有力な道具となるであろう。

また現在の鋼の製造工程はまだかなり複雑で、見直しが必要な部分が残っていると思われる。鋼に要求される特性を作り込むために最小必要限の工程は何かを考えることから出発して、もっと簡潔な製造プロセスを組み立てて行く余地があるのではないかな。

以上のような鋼の作り方の見直しは、その鋼が廃棄され再利用されるまでの全過程の中で最も無駄を小さくするような方向で、利用・加工技術をも含めた見直しを進める必要がある。製品のトータルとして地球環境への影響を定量的に評価するLCA（ライフサイクル・アセスメント）と言う手法が、様々な産業で取り入れられようとしている。鉄鋼のエコマテリアルへ向けての一層の前進には、この手法が重要な指針を与えてくれることになるであろう。

(1995年11月30日受付)



入門講座

鉄鋼プロセス編 -2

きれいな鋼をつくる

—精錬反応の熱力学入門(基礎)—

森 克巳
Katsumi Mori

九州大学工学部材料工学科 教授

How to Refine Steel -Introduction to Thermochemistry of Refining Processes-

1 はじめに

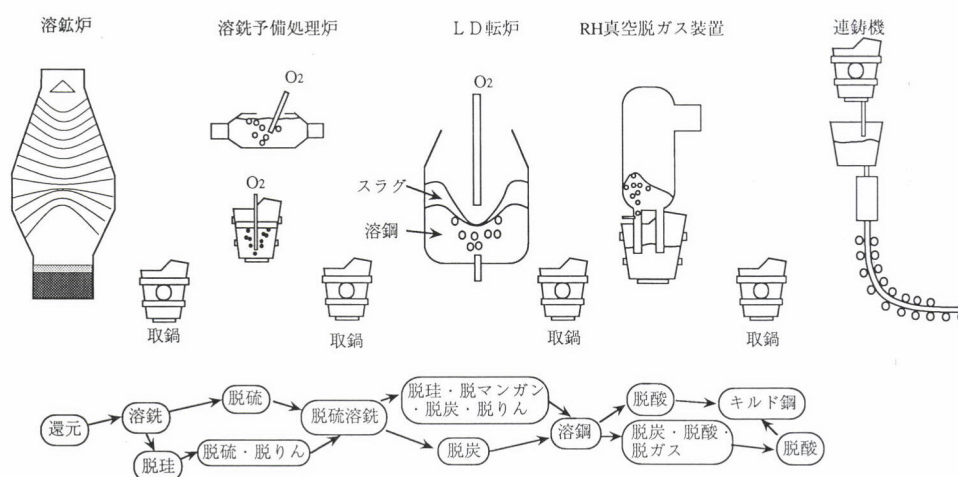
鉄鋼材料の強さや加工性は含まれる炭素濃度と密接に関係しており、鋼にとって炭素は欠かせない成分である。しかし、溶鉱炉で造られる銑鉄（以後、溶銑と呼ぶ）には下の表¹⁾に示すように4%前後の炭素（C）が含まれており、そのままでは炭素濃度が高すぎて、硬いが脆くて加工性に乏しく、鋳物用に利用される程度である。

C(%)	Si	Mn	P	S
4.4-4.6	0.46-0.57	0.37-0.66	0.09-0.19	0.028-0.036

鉄中の炭素濃度が低下するにつれて、その強度や延展性が増し、工業用材料として板や棒や管など色々な形状に加工できるようになる。Cをおよそ2%以下含むものを鋼と言ひ、製鋼プロセスとは一口で言えば溶鉱炉から出てくる溶銑から炭素を除き、目的の炭素濃度の鋼を造るプロセス

である。

溶鉱炉では鉄鉱石の還元だけでなく、鉱石やコークスなど原料中の不純物の一部が同時に還元され、溶銑中に混入するので、銑鉄には還元剤であるCをはじめ、多くの不純物が含まれている。なかでも、炭素（C）、珪素（Si）、マンガン（Mn）、りん（P）、硫黄（S）の5元素が主要な不純物元素である。C以外の不純物元素も鋼の機械的性質に影響するので、製鋼プロセスではCと同時にこれらの元素の除去も必要である。製鋼プロセスでの不純物の除去の基本は、硫黄という例外はあるが、鉄と不純物元素が持つ酸素との親和力の違いを利用して、不純物のみを優先的に酸化し、生成された酸化物を気体あるいはスラグとして溶鋼から分離する方法である。本稿では、製鋼プロセスにおける主要な不純物の除去挙動について主に熱力学的観点から解説する。



高純度鋼の製造時の溶鋼成分(wt %)の変化例²⁾

成分	溶銑	予備処理溶銑	溶鋼	溶鋼（連铸前）
炭素	4.45	3.88	0.009	0.39
珪素	0.38	tr	tr	0.19
マンガン	0.18	0.09	0.017	1.50
りん	0.082	0.008	0.005	0.002
硫黄	0.080	0.006	0.004	0.001

図1 製鋼プロセスのフローの概略図

2 現行の製鋼プロセスの例

鉄鉱石から溶鋼を得るまでにどのようなプロセスが利用されるのでしょうか。まず、その概略を現行のプロセスの例（図1）で見てみよう。一般的には溶銑の予備処理でまずSを除き（脱硫）、酸素上吹き転炉（LD転炉）でC、Si、Mn、Pを酸化除去する。酸化除去後に残る過度の酸素も鋼材にとっては欠陥の発生源となるので凝固させる前に除去（脱酸）しなければならない。必要に応じて成分調整のための後処理（取鍋精錬）や真空脱ガス処理が行われる。

溶銑炉で鉄鉱石を還元するのに炭素が（コークスとして）使われている。このことは見方を変えると、Cは鉄鉱石中の酸素により酸化されたことと同じである。すなわち、酸素は鉄よりCの方と結合し易い性質（親和力）が強いことを示している。さらに、酸素はC以外の他の不純物に対しても大きな親和力を持っている。そこで、溶銑と酸素を接触させると、溶銑中の不純物元素の酸化が始まる。ガスー溶鉄ー

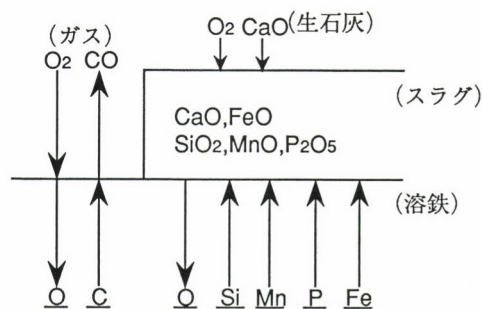


図2 酸素吹錬時の各元素の酸化挙動の概念図

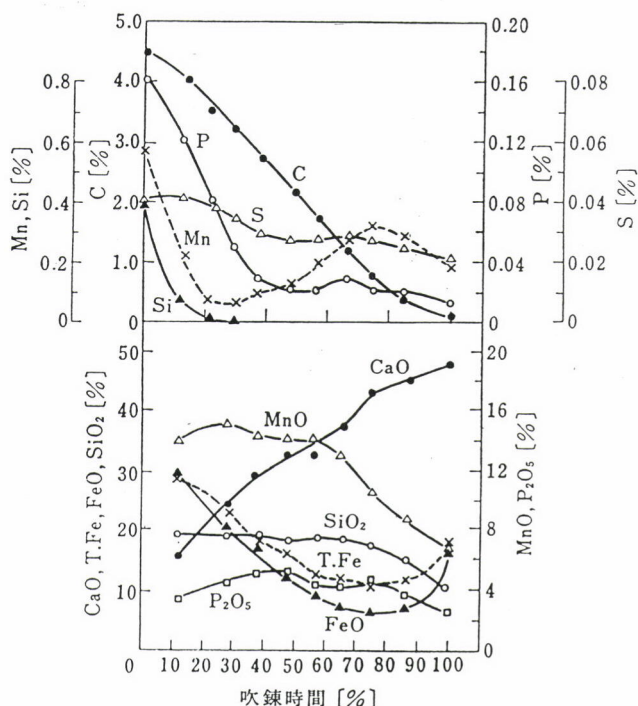


図3 LD転炉吹錬中の鋼浴、スラグ成分の変化

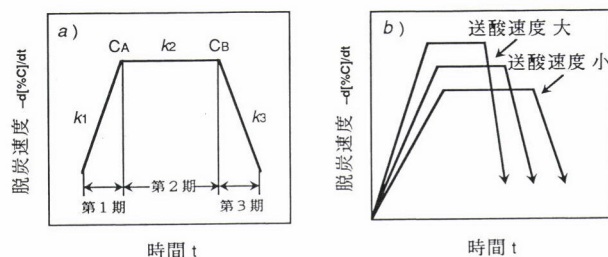


図4 転炉での脱炭速度の経時変化と送酸速度の影響

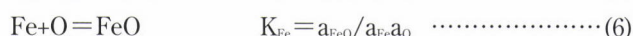
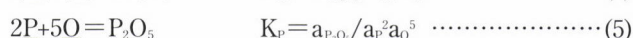
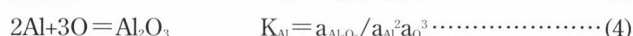
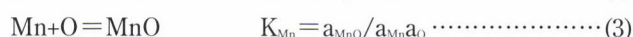
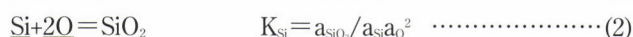
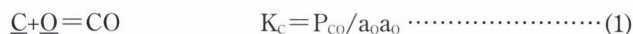
スラグ間の元素の動きの概略を図2に示す。Cは酸化されると一酸化炭素（CO）ガスとして溶鋼から分離され、Si、Mn、PはSiO₂、MnO、P₂O₅として別途供給された生石灰（CaO）とスラグを形成し、溶鋼上に別の相として分離される。

LD転炉での溶鋼及びスラグ組成の経時変化の一例を図3³⁾に示す。溶銑について見ると、酸素を吹き付けるとまずSi、Mnの酸化が起こり、少し遅れてC、Pの酸化が始まり、Sはほとんど変化していない。各不純物の酸化に対応してスラグ組成は変化する。

このときの、脱炭速度の経時変化を模式的に示したのが図4⁴⁾である。吹錬開始時は供給された酸素の大部分はSi、Mnの酸化に費やされるので、脱炭速度は小さく、Si、Mn濃度が低下するにつれてCの酸化に利用できる酸素量が増え、脱炭速度も増大する。中間域では送酸速度に応じた一定の速度となり、吹錬後期には溶鋼中の炭素濃度の低下につれて減少する。脱炭速度は酸素の供給速度（送酸速度）が大きいほど大きくなる。このように各元素の酸化挙動の違いがどのような仕組みで起こるのか考えてみよう。

3 酸素と不純物元素の親和力

酸化精錬で利用される酸素の形態には図2に示すように気体酸素、鉄中に溶解している酸素あるいはスラグ中の酸化鉄がある。これら3者の間には一定の平衡関係が存在するので、熱力学的平衡問題を取り扱う場合には、いずれか一つを考えれば十分である。ここでは次式のように溶鉄中の酸素との反応を考える。



ここで、 K_i は成分*i*の酸化反応の平衡定数であり、鉄中の各元素と酸素の濃度間の平衡関係を表すもので、酸素との親和力の尺度と見ることが出来る。この値が大きいほど親和力が大きいことを意味する。この値は物質毎に異なり、

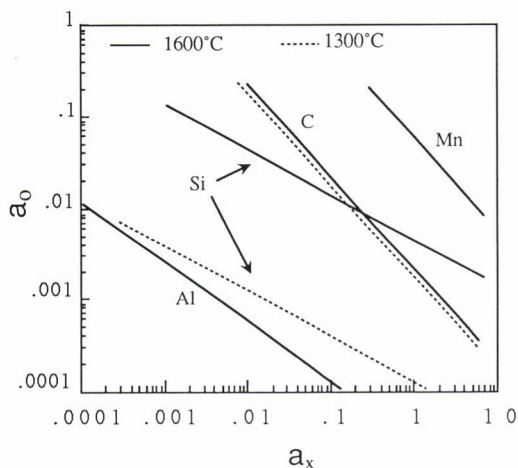


図5 溶鋼中の酸素と不純物元素間の平衡関係

また、温度が変われば変化する。 a は活量と呼ばれ、正確には組成、温度によって変化するが、溶鉄中の不純物のように濃度が小さい時はほぼ質量パーセント（以後、単に％で表示する）に等しいと見なすことが出来る。酸化物の活量は純粋物質のときを1とし、スラグ中ではその活量は濃度の低下とともに小さくなる。

例として、学振推奨値⁹⁾を用いて純酸化物と平衡する溶鉄中の酸素、不純物元素間の平衡関係を活量を用いて示したものが図5である。図中の実線は1600℃、破線は1300℃の場合である。不純物の濃度が減少すると平衡する酸素活量（すなわち酸素濃度）が増大することが分かる。また、温度が低下すると直線の位置は下方に移動するので、同じ a_0 でも、平衡する不純物濃度は下がることになる。図5では純酸化物との平衡なので、計算では酸化物の活量は1または $P_{CO}=1\text{atm}$ の場合であるが、生成される酸化物がスラグ中に溶解している場合、その濃度に応じて酸化物の活量も1より小さくなり（例えば、 $a_{SiO_2} < 1$ ）、それぞれの該当する直線は純粋な酸化物の場合よりさらに下方に位置を変え、したがって、温度を下げた場合と同様に平衡する a_0 は小さくなる。不純物の酸化物活量はスラグの成分、組成によって大きく変化することが知られており、除去したい成分の酸化物活量が低いスラグを選択することが重要である。

図5を用いて不純物元素と酸素との親和力の比較を行って見よう。例えば、1600℃で各元素の濃度が活量1（たとえば、 $a_0 = a_{Si} = 1$ ）に相当する場合で比較してみると、図よりMn、Si、C、Alの順に平衡する酸素活量、 a_0 、が低下する、すなわち、この順序で酸素との親和力が大きくなることを意味している。平衡定数は温度によって変化する。図より K_C の温度変化は小さいが、これに比べて K_{Si} の温度による変化は大きく、その結果、溶鉄温度に近い1300℃（破線）では1600℃の場合とは逆に、Si線の方がC線より下方になり、CとSiの酸素との親和力が逆転する。いくつかの元素が共存する場合には、酸素は与えられた濃度条件

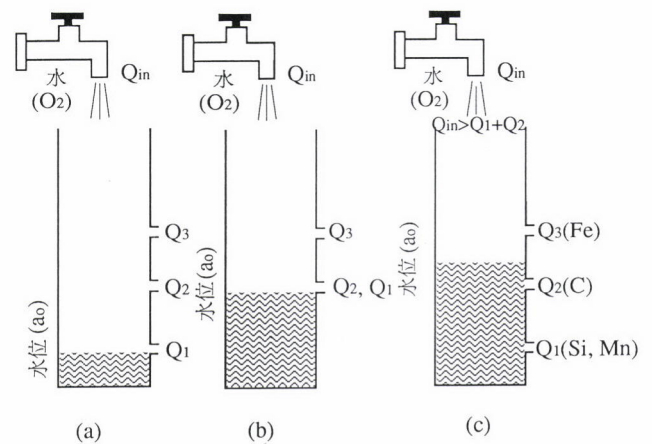


図6 送酸速度と酸化挙動の関係の概念図

で一番小さい a_0 をもつ元素（酸素との親和力が一番大きい元素）と結び付く（反応する）性質がある。

4 厄介者の除去（不純物元素の酸化挙動）

4.1 脱炭反応

前述の溶鉄組成では図5からSiと平衡する酸素活量、 a_0 （Si）、が一番小さいので、実操業では図3に見られるようにSiの優先酸化が生じる。この時期にMnが同時に酸化されるのは、温度の影響の他に、前述のように、 SiO_2 飽和スラグ中で $a_{MnO} \ll 1$ となり、反応初期に $a_0(Si) = a_0(Mn)$ となるためである。Siの酸化が進み、その濃度が減少するにつれて、平衡する a_0 が $a_0(C)$ まで増大すると、炭素の酸化が始まる。

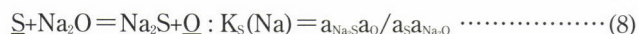
これを形を変えて見てみよう。いま、図6 (a) のように異なる位置にいくつかの出口がある水槽を考える。給水量を Q_{in} 、各出口の排出能力を Q_1 、 Q_2 、 Q_3 とする。給水量が少ない時には（ $Q_{in} < Q_1$ ）、空の水槽に水を入れ始めると水位が上昇し、一番下の出口の位置に達すると、水は一番下の口からのみ出て行くであろう。ここで、水を酸素に、水位を a_0 に、排水量を不純物の酸化速度に置き換えると、出口の位置は各元素と平衡する a_0 に相当する。酸化により濃度が減少するとそれに応じて a_0 が上昇するが、これは出口の位置が上昇することを意味する。図6 (b) のように出口1と出口2の位置が同じ高さになると水は両方の出口から流れ出る。すなわち、同時酸化が始まる。出口1をSi、Mnに、出口2をCに置き換えると、これは図3の転炉炉内反応の挙動と一致する。

$Q_{in} \gg Q_1$ では水位は急速に上昇し、図6 (c) のように比較的早い時期から2番目の出口からも水が流れ始めるであろう。すなわち、LD転炉のような高速吹錬の初期条件はこのような状況に近い。吹錬中期の脱炭速度が一定の時期は $Q_{in} < Q_1 + Q_2$ （ $Q_{O_2} < Q_C$ ）の条件に相当する。これは、

送酸速度が反応界面へのCの供給速度より小さいことに相当するので、このような状況下では送酸速度を上げること、脱炭速度の上昇も期待できる（図4b）参照）。なお、各出口の排水能力 Q_{out} は不純物元素の反応界面への供給速度に対応しており、元素の濃度が高いほど、溶鋼の攪拌が強いほど大きな値となる。通常のLD転炉では攪拌が不十分で、最近では炉の底部から少量のガスを吹き込む上底吹き転炉が主流となっている。

4.2 硫黄は異端児（脱硫反応）

図1に示したように実操業ではSの除去（脱硫）は脱炭前に行われる。なぜ、CやSiと同様に転炉で除去出来ないのでしょうか。溶鉄中のSはスラグ中の Na_2O や CaO などアルカリ金属（Na、K）またはアルカリ土類金属（Mg、Ca、Ba）の酸化物と反応して、それら金属の硫化物を生成する傾向が強く、その反応は次式のように表される。



ここで、 K は平衡定数である。したがって、脱硫が進行する際、同時に酸素が放出されるのが特徴であり、 a_O が低いほど反応は右向きに進行し易くなる。

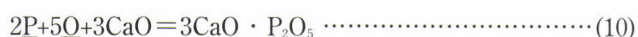
通常、 CaO や CaS などはスラグを形成するので、脱硫反応はスラグー溶鉄間のSの分配反応と見ることができる。 a_{CaS} や a_{Na_2S} の値はスラグ中の硫黄濃度にほぼ比例するので、スラグと溶鉄間のSの分配値 L_s は以下のように定義される。

$$L_s = (\%S) / [\%S] = c \cdot a_{CaO} / a_O \quad (9)$$

ここで、 $()$ はスラグ中の、 $[]$ は溶鉄中の濃度を示し、 c はスラグ組成、温度で決まる定数である。 L_s はスラグがどれだけSを吸収出来るかを示す尺度であり、 CaO や Na_2O 濃度の高いスラグほど、また、 a_O をできるだけ小さくするほど、 L_s が増大し、スラグに移行するS量が増えるので、脱硫反応は進行し易くなる。したがって、脱硫にはスラグの選択と共に、雰囲気を還元性条件に保つことが重要であり、この結果、酸化雰囲気の転炉より、炭素濃度が高く、 a_O が低い溶鉄から脱硫することが有効である。

4.3 脱りん反応

りん（P）の除去反応自体は（5）式に示すようにCやSiと同様に酸化反応であるが、実操業上はSの場合と同様にアルカリ土類金属またはアルカリ金属酸化物を考慮した次式のような反応を考える方が分かり易い。



さらに、スラグの脱りん能の尺度となるスラグー溶鋼間の

Pの分配値 L_P は次式で表される。

$$L_P = (\%P) / [\%P] = b \cdot a_{CaO}^{3/2} a_O^{5/2} / \gamma_{P_2O_5} \quad (11)$$

ここで b は温度、スラグ組成で決まる定数である。

$\gamma_{P_2O_5}$ はスラグ中の P_2O_5 の活量係数で、 $a_{P_2O_5} = \gamma_{P_2O_5} \cdot x_{P_2O_5}$ の関係があり（ $x_{P_2O_5}$ はスラグ中の P_2O_5 のモル分率）、その値はスラグ組成に強く依存している。

製鋼温度ではりんと酸素の親和力はそれほど大きくないが、 CaO など塩基性酸化物が多いスラグ中では $\gamma_{P_2O_5}$ が著しく低下する。この結果、りんの酸化除去に必要な a_O （P）が低下し、CやSiと同様にLD転炉でも除去することが可能である（図3参照）。しかし、一般的な製鋼スラグ（FeO- CaO - SiO_2 系）では $\gamma_{P_2O_5}$ がそれほど小さくないので、精錬に必要な a_O （P）はかなり大きくなる。その結果、生成されるスラグ中の酸化鉄濃度が増大し、鉄の歩留りが低下する。このことはさらに後述の脱酸剤の消費量の増大をまねくので、LD転炉のみで極低りん鋼を溶製することは技術上難しく、経済的にも好ましくない。

4.4 同時脱りん・脱硫

一方、現行の製鋼プロセスでは図1に示したように、溶鉄予備処理で同時脱りん・脱硫が実施されている。Siと同様に（10）式の平衡定数も温度の低下で著しく大きくなり、低温ほど脱りんに有利になる。さらに、 CaO や Na_2O が共存し、 $\gamma_{P_2O_5}$ が小さい条件下では、 a_O （P）が低下し、溶鉄段階でのPの酸化除去が可能となる。しかし、Siが共存するとまずSiが優先的に酸化され、生成した SiO_2 が CaO と結び付くので、 P_2O_5 と結合する CaO が少なくなり、脱りんが妨害される。したがって、溶鉄中のSi濃度を予め低下させておくことが溶鉄脱りんの前提条件である。

溶鉄の同時脱りん・脱硫の原理を L_P 、 L_s と a_O の関係で示した図7⁶⁾で説明しよう。（9）（10）式から明らかなように、 a_O が増大すると L_P は増大するが、 L_s は低下する。すなわち、 a_O は L_P と L_s に対して正反対の効果を持っている。脱りんの

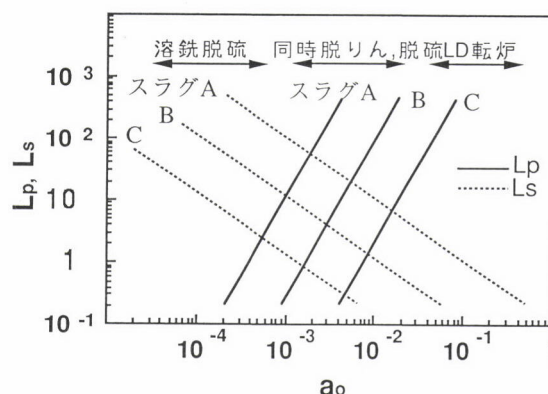


図7 L_P 、 L_s に及ぼす酸素活量の影響

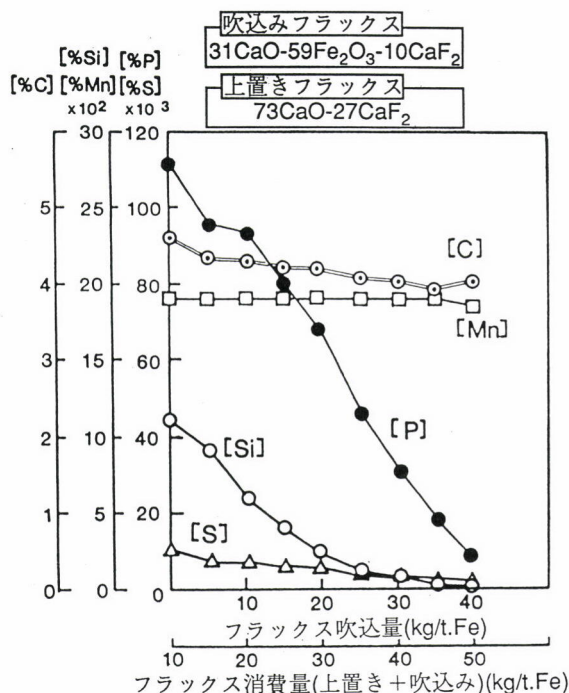


図8 石灰系フラックスによる溶銑の同時脱りん・脱硫処理の結果

ためには a_0 が大きい条件（酸化条件）が、脱硫のためには、逆に a_0 が小さい条件（還元条件）が望ましいことになる。したがって、同時脱りん・脱硫のために L_P と L_S の両者が同時に大きな値となるような a_0 と、スラグ組成の選択が重要である。都合の良いことに、CaOやNa₂O系スラグは脱りん作用が大きい場合、脱硫作用も大きい傾向がある^{7,8)}。例えば、図7の同時脱りん・脱硫と記した領域の a_0 の条件では、スラグAは比較的大きな L_P と L_S 値を持ち、同時脱りん・脱硫の可能性がある。

73%CaO-27%CaF₂スラグを浴面上に、31%CaO-59%Fe₂O₃-10%CaF₂フラックスを少量の酸素ガスでインジェクションした場合の溶銑予備処理の実操業結果を図8⁹⁾に示す。図より脱炭に優先して脱りん、脱硫が進行することがわかる。この結果、転炉プロセスは脱炭反応が主となり、少量のスラグを用いるレススラグ吹錬が実施され、LD転炉での負担の軽減やスラグの発生量の低下にも役だっている。

5 酸素は両刃の剣（脱酸と介在物）

これまでは溶銑中の不純物の除去について話してきたが、ここで、新しい問題が生じる。すなわち、酸素は不純物を酸化するのに不可欠であるが、吹錬終了時に炭素濃度の低下につれて溶鋼中の酸素濃度は必然的に高くなる。ところが、固体鉄中の酸素の溶解度は非常に小さいので、過剰の酸素は共存するCと結合してCOガスとなり、凝固の際にこれが気泡となって鋼中に取り残された場合を想像してみよう。冷蔵庫で作った氷をみると一部白濁しているこ

とと同様のものである。氷の場合、氷の外周部がさきに固まり、水中に溶解していた過剰の空気が氷の中に気泡をつくるが、鋼の場合のCO気泡の発生がこれと同様の現象にあたる。酸化精錬後何も処置しなければ、極端なことを言えば、スポンジ状の鋼ができあがる。これでは材料として使い物にならない。

そこで、CO気泡の生成を抑制するには当然発生源を絶つことが一番よいが、酸化精錬では酸素濃度を下げることが出来ない。では、炭素濃度を十分に下げることがどうであろうか、仮にCOの生成は抑えられたとしてもさらに別の問題が残る。すなわち、Cがないときは酸素は鉄と結合して酸化鉄となり鋼中に非金属介在物として残存し、鋼の特性を劣化させる。転炉における精錬ではCとOをとともに低濃度にすることはできないので、吹錬後に過剰の酸素を取り除く方法、すなわち、吹錬後の脱酸処理を行う必要がある。

第3章で鋼中の不純物を除くのに酸素を用いたが、これは酸素とそれらの不純物元素との親和力が大きかったためである。そこで、酸素との親和力がより一層強い元素（酸素と反応して酸化物を形成し易い元素）を溶鋼に添加すれば、酸素はその元素の酸化物として固定される。生成された酸化物は溶鋼に比べて比重が小さいので、生成後溶湯面上に浮上・分離する。

図5をもう一度見てみよう。Alと酸素の親和力は大きく、低濃度でも平衡する a_0 が、CやSiと平衡する a_0 に比べて十分に小さい。そこで、溶鋼にAlを添加すると、まずAlが酸化され、鋼中の酸素はアルミナ（Al₂O₃）の生成に費やされ、酸素濃度の低下をもたらす。このようにAlは酸素の有害な性質を弱体化するので、さしずめ、酸素キラーといえる（このようにAlで強制的に脱酸した鋼はアルミキルド鋼と呼ばれる）。脱酸生成物の一部は凝固の際、非金属介在物として鋼中に残存する。これをすべて除くことが理想ではあるが、現実ではそれは不可能に近く、介在物の除去は製鋼技術者の永遠の課題であろう。

6 ガス成分は不満足分子（真空脱ガス処理）

上記の不純物のほかに、さらに鉄中には水素(H)や窒素(N)など気体成分があり、丁度、COの場合と同じように液体中と固体中では溶解度に違いがあるため、凝固時に過剰の水素、窒素は気泡として分離する。溶鋼中の水素、窒素の溶解度は下の式から推定されるように接触する雰囲気中の水素や窒素分圧の平方根に比例する。（ジーベルツの法則）

$$1/2H_2 = H : [\%H] = K_H \cdot P_{H_2}^{1/2} \dots\dots\dots (13)$$

$$1/2N_2 = N : [\%N] = K_N \cdot P_{N_2}^{1/2} \dots\dots\dots (14)$$

したがって、実操業では図1に示したように溶鋼を凝固さ

せる前に真空脱ガス処理が行われる。図1には真空装置の一例としてRH真空脱ガス装置の概略¹⁰⁾を示したが、上部の槽内を真空にすると、溶鋼の一部が吸上げられる。このとき2本の足の一方に下部からガスをいれると2本の足の部分で密度差が生じ、ガス吹込みのある方で上向きの、もう一つの足では下向きの流れが生じ、真空槽と取鍋間で溶鋼の循環が始まる。真空下に曝された部分で脱水素、脱窒がなされる。

COガスについても、溶鋼中のCとOの濃度積、 $[\%C] \cdot [O]$ 、は P_{CO} に比例するので、雰囲気中の P_{CO} を低下させることで、CとOの濃度積が $P_{CO}=1\text{atm}$ の平衡値以下になり、CとOの同時除去が可能である。脱炭プロセスの終了後、脱酸剤を添加せずに、未脱酸の状態の溶鋼をRH及びDH装置で真空処理した場合の酸素と炭素濃度の変化の一例を図9¹¹⁾に示す。COガスとしての脱酸は反応生成物が気体として溶鋼から除去されるので、反応生成物で鋼が汚染されることがない。また、酸素量も低下しているのので、後のAl脱酸によって生成される非金属介在物の量も減少させることができるので、高純度が要求される鋼の製造では真空脱ガス装置は脱炭、脱酸用にも積極的に使用されている。

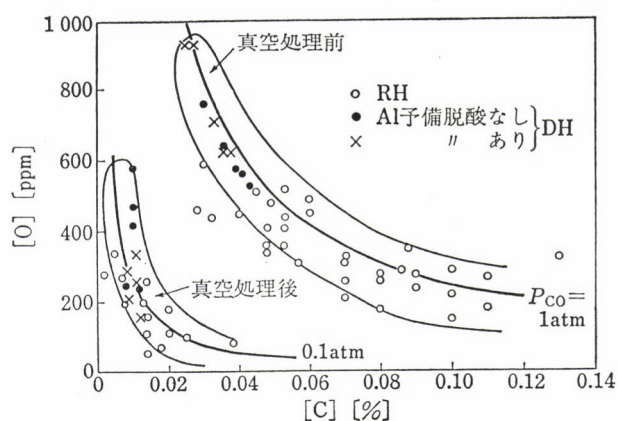


図9 真空脱ガス処理前後の[C]と[O]の関係

7 おわりに

溶鉱炉から出てくる溶銑から鋼を製造するまでには各社各様のプロセスが採用されている。本稿では主に熱力学的立場からその基本プロセスについてできるだけ数式を使わず説明することを心がけた。その結果、説明不足の箇所や

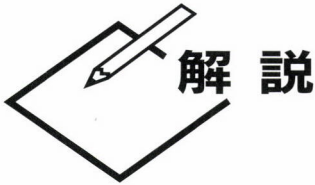
正確さを欠く表現がある点はご了承願いたい。実操業では、いかに良質の物を、いかに効率的に製造するかが問題である。その点からは、さらに、反応速度や流体力学的観点からの検討やスラグや溶鋼の物性値なども必要であろう。さらに詳しく知りたい方は文献欄に示した参考書¹²⁻¹⁵⁾を参照されたい。

本稿が製鋼プロセスの理解に少しでもお役に立てば幸いである。

引用文献

- 1) 鉄鋼便覧 (第3版), 第2巻製銑・製鋼, 日本鉄鋼協会編, (1979), p.464, 丸善
- 2) 第100・101回西山記念技術講座, 攪拌を利用した最近の製鋼技術の動向, 日本鉄鋼協会編, (1984), p.244
- 3) 鉄鋼便覧 (第3版), 第2巻製銑・製鋼, 日本鉄鋼協会編, (1979), p.471, 丸善
- 4) 鉄鋼製造法 (製銑・製鋼), 日本鉄鋼協会編, (1972), p.551, 丸善
- 5) Steelmaking Data Sourcebook, ed. Japan Soc. for Promotion of Sci. & Techn., (1988) Gordon & Breach
- 6) 徳田昌則: 鉄と鋼, 69 (1983), p.1699
- 7) I.P.Rachev, F.Tsukihashi and N.Sano: Metall.Trans.B, 22 (1991), p.333
- 8) N.Sano: Proc. of the Elliott Symp. on Chemical Process Metallurgy, (1991), p.173
- 9) 融体精錬反応の物理化学とプロセス工学, 鉄鋼基礎共同研究会融体精錬反応部会編, (1985), p.228
- 10) 鉄鋼製造法 (製銑・製鋼), 日本鉄鋼協会編, (1972) p.760, 丸善
- 11) 鉄鋼便覧 (第3版), 第2巻製銑・製鋼, 日本鉄鋼協会編, (1979), p.674, 丸善
- 12) 鉄鋼便覧 (第3版), (I 基礎編, II 製銑・製鋼), 日本鉄鋼協会編, (1979), 丸善
- 13) 松下幸雄, 他: 冶金物理化学 (1970), 丸善
- 14) 第122・123回西山記念技術講座, 融体精錬反応の基礎と応用, 日本鉄鋼協会編, (1988)
- 15) 第143・144回西山記念技術講座, 最近の高純度鋼溶製技術の進歩, 日本鉄鋼協会編, (1992)

(1995年12月4日受付)



鉄のハイテク化に貢献する分析

岩田英夫

日本鋼管テクノサービス（株）技術顧問

Hideo Iwata

Chemical Analysis for Steel Production

1 はじめに

鉄鋼は、橋やビルなどの大型構造物、自動車や家庭電化製品、ビールやジュースの缶、水道やガスの配管等々色々な所で使用されている。これは、鉄が色々な性質（強い、硬い、延びる、曲がるなど）を持っているからである。では、これらの性質はどうして発現するのであろうか。それは、鉄の中に含まれる他の元素の種類と量が作用する。その一例を図1に示す。

図1より分かるように元素の種類と量をコントロールすることによって、でき上がる鉄鋼材料の性質を変化させることができる。すなわち、鉄鋼製品の商取引には、用途に応じた成分規格（日本工業規格、国際規格など）がある。その一例を表1に示す。

鉄鋼製造において、分析の対象となる元素数は約30、分

析範囲は、数十%からPPMレベルまでである。

鉄鋼の製造は、転炉や電気炉の中で鉄を溶かし、規格に応じた成分調節を行なう。この所要時間は、転炉の場合で約20分である。その後、温度を下げて鋼の塊としてから所定の形状に圧延して出荷される。この過程で、成分調節が確実にできているかどうかを化学分析によって確認される。従って、正確でかつ信頼性の高い分析値が必要になる。さらに、迅速性も要求される。

鉄鋼製品や製造技術が高度化するにつれて、分析に対する要求（精度、正確度、迅速性、定量下限、新元素など）も厳しくなり、そのときどきのニーズに応じて分析技術の開発が行なわれている。

鉄鋼業における分析対象は、原料、副産物、表面処理、環境関連など幅広いが、本稿では、製鋼プロセスに絞って分析技術の現状と研究開発の状況について解説する。

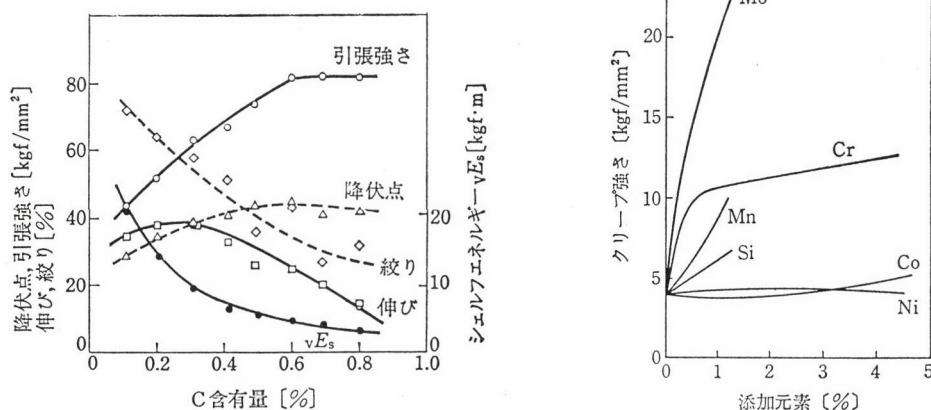


図1 鉄の性質に及ぼす含有元素の影響¹⁾

表1 成分規格（日本工業規格）の一例

単位；％

成分 種類	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	用途
SCM415TK JIS G3441	0.13 ～0.18	0.15 ～0.35	0.60 ～0.85	0.030 以下	0.030 以下	0.90 ～1.20	0.15 ～0.30		自動車部品
SKS5 JIS G4404	0.75 ～0.85	0.35 以下	0.50 以下	0.030 以下	0.030 以下	0.20 ～0.50		0.20 ～0.50	工具
30kg レール JIS E1101	0.50 ～0.70	0.10 ～0.35	0.60 ～0.95	0.045 以下	0.050 以下				レール

2 分析技術の現状

2.1 製造工程における分析

図2に、鉄の精錬から製品出荷に至る工程と分析が必要となるポイントを示す。図2において、転炉や電気炉および取鍋精錬のプロセスで成分コントロールが行なわれ、鑄造の段階で合否判定が行なわれる。さらに、最終製品でも必要に応じて確認のためにチェックが行なわれる。特に、炭素(C)が最も重要な元素であり厳しい管理が行なわれる。

分析所要時間は、試料サンプリングから報告まで5分以内である。分析回数は、一精錬当たり数個から10個程度の試料を分析する。精錬は、一炉当たり数百トン単位で1日約40精錬が行なわれる。生産作業は、24時間連続して行なわれるので、分析作業も日夜連続作業体制をとっている。

2.1.1 分析方法

製鋼プロセスで分析される総成分数の90%以上は、スパーク発光分光分析法(AES)および蛍光X線分析法(XRF)で処理される。これらの方法は、昭和30年代の初めに、製鋼法が平炉法(精錬に8時間位)から精錬時間を大幅に短縮させた転炉法(約20分)に転換したのにもなって、実用化された技術であり、その後の鉄鋼業の発展に大きく貢献してきた。そして部分的改良を加えながら、現在も主力機器として活躍している。

残り約10%の成分は、上記方法では困難なもの(分析装置に適さない形をした試料、N、O、H)であり、これらについては、別の方法がとられる。

(1) スパーク発光分光分析法 (AES)

光の波長が元素に特有であることおよびその強度は量に比例するという物理現象を利用した分析方法である。波長の分離には、光の屈折や回折現象を利用する。さらに、光の強度は、光電子増倍管により電流に変換され測定される。この方法は、同時に多くの元素を1分以内に分析できる。図3に分析原理を示す。

本法による鉄鋼の分析方法は、日本工業規格(JIS G1253)に詳しく規定されている。表2に、本JISの最新版(1995年

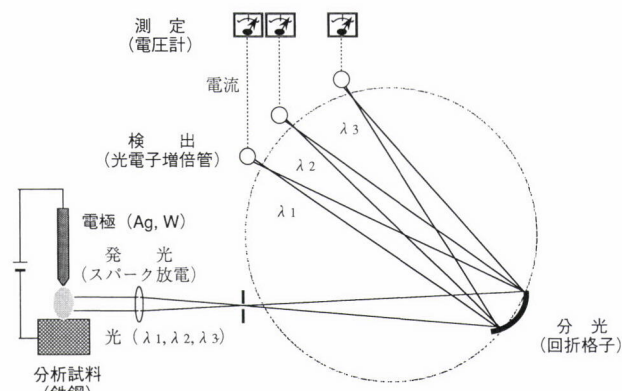


図3 スパーク発光分光分析法の原理

表2 スパーク発光分光分析法による分析元素と定量範囲 (JIS G1253-1995)

元素	定量範囲 %	元素	定量範囲 %
炭素	0.001~5.5	ひ素	0.001~0.3
けい素	0.002~6	すず	0.0006~0.3
マンガン	0.003~30	ほう素	0.00005~0.5
りん	0.0005~1.0	鉛	0.001~0.5
硫黄	0.0002~0.5	ジルコニウム	0.001~1
ニッケル	0.002~40	ニオブ	0.001~2
クロム	0.002~40	マグネシウム	0.001~0.2
モリブデン	0.001~10	カルシウム	0.0001~0.01
銅	0.001~6	タンタル	0.02~0.2
タングステン	0.01~25	アンチモン	0.008~0.5
バナジウム	0.001~6	セレン	0.003~0.1
コバルト	0.001~20	テルル	0.003~0.1
チタン	0.0005~3	ランタン	0.002~0.05
アルミニウム	0.001~5	セリウム	0.005~0.05

版)に規定されている分析元素および定量範囲を示す。

AESは、導入以来約35年を経過しているが、この間に色々な改良が行なわれてきた^{2)~4)}。現在では、分析精度、分析速度、分析感度、自動分析などの面で、本法の持つ性能を限界まで発揮させているといえる。

最近では、従来困難であった非金属元素(N、Oなど)のうちNについて分析が可能になりつつある⁴⁾⁵⁾。定量下限も表2のように一部の元素は1PPMレベルまで拡大された。特にCについて、精度・感度が向上した³⁾⁴⁾。

(2) 蛍光X線分析法 (XRF)

AESが紫外域(150~450nm)の光を用いるのに対し、XRFはX線(0.1~1nm)を利用する。従って、分析の原理は、X線の特質、すなわち、ブラッグの法則(ある化合物の結晶にX線を入射すると入射角度によって、特定の波長のX線のみが反射され、その他のX線は透過する)による。図3において、電極、回折格子、光電子増倍管の代わりに、X線管、分光結晶、放射線カウンターが用いられる。本法による鉄鋼の分析方法もJIS(G1256)に規定されている。

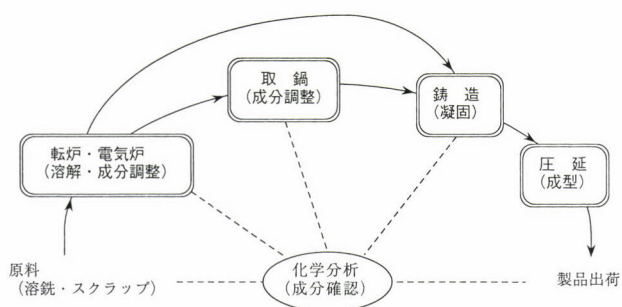


図2 鉄鋼の製造工程と分析ポイント

表3に近々に改正される予定の本JIS原案の分析元素と定量範囲を示す。表3からも分かるようにXRFは、高含有域の分析に適している。逆にC等の軽元素（原子番号11番以下）の分析が困難であるのが弱点である。

本法もAESと同じように、長い歴史の中で改良が行なわれ²⁴⁾技術的完成度が高い。最近の進歩として、本法の弱点であるCについて、銑鉄のような高含有域（4、5%程度）では定量が可能になりつつある⁹⁾。

(3) ガス化分離分析法

AESやXRFで困難な元素（N、O、H）は、試料を不活性ガス中で融解することによって、目的元素をガスとして発生分離してから測定される。分析方法は、NはJIS（G1228）に規定されており、O、Hについては成書⁷⁾がある。

また、Cについては、その重要性よりAESのバックアップ用として、単独分析法が用意されている。分析原理は、試料を燃焼させることによって、CをCO₂ガスとして発生分離してから、そのガスの赤外線吸収率を測定する。分析方法は、JIS（G1221）に規定されている。本法の最近の進歩は、3PPMの濃度まで定量可能となり、本JISの1995年版に盛り込まれたことである。Cの場合、含有量が低くなると試料表面に付着する空気中のCO₂や少しの汚れが分析精度に影響する。その一例を図4に示す。JIS G1221-1995では、この影響を除去すべく方法の改良が行なわれた。

硫黄（S）にも類似した方法があり、JIS（G1215）に規定されている。これの定量下限も最近（1995年版）、5PPMとなった。

以上に述べた方法は、いずれも迅速性がありAESやXRFと同等である。

表3 蛍光X線分析法による分析元素と定量範囲
（近々改正予定のJIS G1256の原案）

元素	定量範囲 %	元素	定量範囲 %
けい素	0.002～10	マグネシウム	0.003～0.2
マンガン	0.001～30	ニオブ	0.001～10
りん	0.001～1	タンタル	0.002～15
硫黄	0.001～0.6	ジルコニウム	0.001～2
銅	0.001～10	鉛	0.002～0.4
鉄	0.003～50	すず	0.002～0.6
ニッケル	0.002～99.5	亜鉛	0.001～0.1
クロム	0.001～50	ビスマス	0.001～0.2
モリブデン	0.001～30	アンチモン	0.002～0.7
タングステン	0.002～25	ひ素	0.002～0.6
バナジウム	0.001～6	セレン	0.001～0.5
コバルト	0.002～60	テルル	0.002～0.2
チタン	0.001～10	セリウム	0.003～0.6
アルミニウム	0.002～12	ランタン	0.002～0.2
カルシウム	0.001～0.1	プラセオジム	0.002～0.1
		ネオジム	0.003～0.3

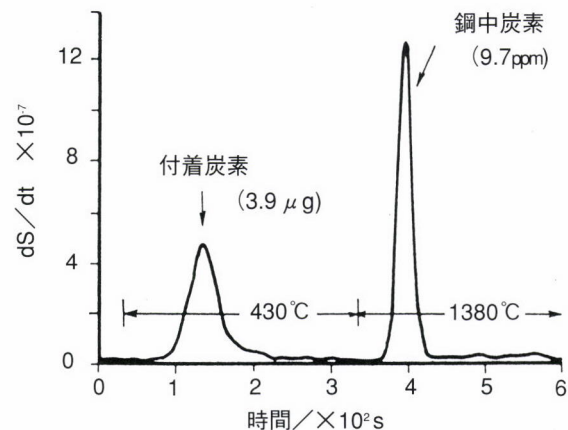


図4 試料に付着する汚染炭素⁹⁾

(4) 酸溶解分析法

製品の段階でチェック分析をしようとする、その試料形状がまちまちのため、AESやXRFで分析できない場合が多い。そこで、時間（数十分～数時間）はかかるが、試料を酸（塩酸、硝酸、硫酸など）で溶解して溶液状態で分析する方法がとられる。

一般的に用いられる方法は、誘導結合プラズマ発光分光分析法（ICP）と原子吸光分析法（AA）である。前者は、溶液の状態で行なう発光分光分析法であり、AES（図3）が電極と試料間の放電で発光させるのに対して、ICPは、高温のプラズマの中に溶液を噴霧して発光させる。図5にプラズマ部を示す。

この方法は、昭和50年代前半に実用化された技術であり、JIS（G1258）に分析方法が規定されている。現在の本JIS（1989年版）は、一部の範囲のみしか規定されていないが、一般的には、広い範囲で使用されている⁹⁾。

AAは、昭和40年代前半に実用化された。太陽の黒線（太陽光線の一部の波長の光が地球に届かない）のように、温度が数千度の状態では、元素は光の自己吸収を起こすことを利用した分析方法である。分析方法は、JIS（G1257）に規定されており、成書¹⁰⁾もある。

その他の方法としては、いわゆる古典的といわれる重量法、容量法、吸光光度法などがある。分析方法は、元素別にJIS（G1212～1229、1232～1237）に規定されている。これらの方法は、秤における基準分銅と同様、基準分析値を決定するうえで重要な役割りを果たす。

以上述べた方法の最近の進歩は、上述の各JISに記載されているが、分析感度の向上すなわち微量域の分析が可能となったことである。JISに規定している元素のうち、定量下限が1PPMレベルのものは、りん、カルシウム、ひ素、ほう素、鉛、テルル、タンタルである。その他は概ね数十PPMレベルである。

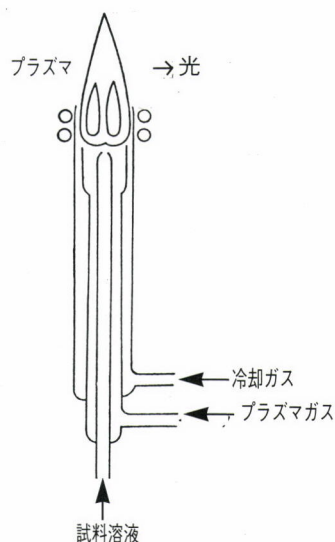


図5 溶液分析用プラズマ発生部

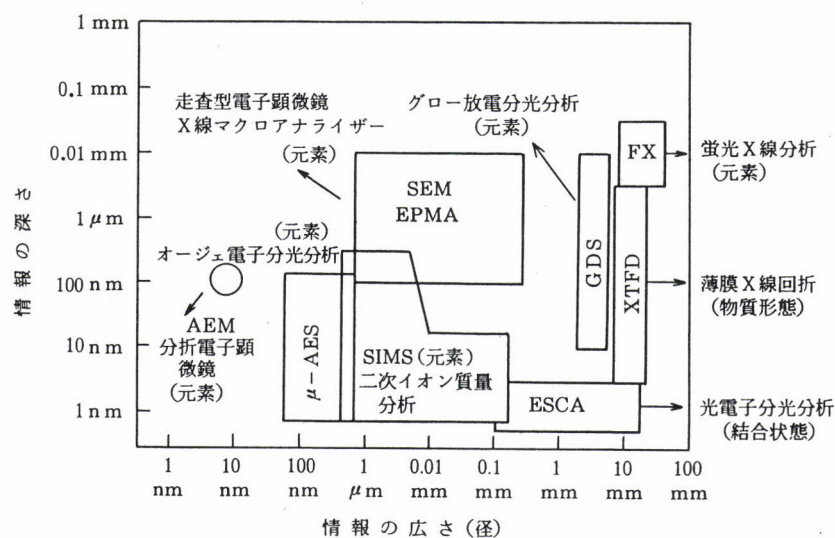
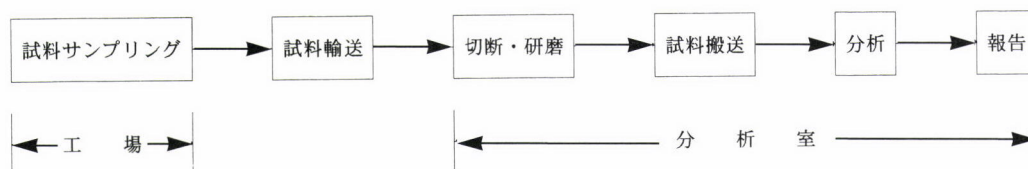
図7 分析領域の比較²²⁾

図6 分析作業の流れ

2.1.2 分析作業システム

日常の製造工程では、図6のような手順を経て分析作業が行なわれる。一般的に製鋼工場と分析室は数百メートル離れており、この間の試料輸送には、気送管が用いられる。この分析作業には、ロボットやコンピューターなどがフルに使われ、殆ど無人で分析が行なわれる¹¹⁾⁻¹³⁾。

最近では、一層の品質の向上と製造コスト低減のために、分析待ちによるロスを少なくすべく分析設備をコンパクト化して工場の炉の傍に配置する、いわゆる、オンサイト化が進んでいる¹¹⁾¹²⁾¹⁴⁾。

2.2 研究開発を支援する分析

新製品や新製造プロセスを研究開発する段階では、当然、日常分析とは異なった要求がでてくる。その主なものは、鋼中に含まれる介在物・析出物の分析、製品の表面や局所の分析、超微量元素の分析などである。

2.2.1 介在物・析出物の分析

図1に鋼の性質と元素の関係を示したが、もう少し詳しくいうならば、これらの元素同士の化合物が物性に影響する。従って、元素の分析はもちろんであるが、これらの元素がどの元素と結合しているかを知る必要がある。

この分析には、各化合物が化学薬品に対して、あるものは溶けるが他のものは溶けないという溶解性の差が利用される。分析方法や技術の発展については、成書¹⁵⁾や報告

²¹⁶⁾⁻²⁰⁾がある。これらによれば、最近の進歩としては、微細かつ微量の介在物・析出物分析が可能となったことおよび生産管理に活用されるようになったことである。

2.2.2 表面・局所分析

鉄鋼製品の物性をさらに解明しよりよい製品を創りだすために、製品全体ではなくて、ある特定の部分とか極表面だけの化学成分と物性の関係が調べられる。局所を分析するためには、電子、イオン、X線などを細く絞って、分析したい所だけに照射する方法がとられる。よく用いられる方法は、二次イオン質量分析法 (SIMS)、X線光電子分光法 (ESCA)、オージェ電子分光法などである。図7に各種分析法の分析領域の比較を示す。最近では、nmレベルの局所分析ができる。分析方法や発展状況について、いくつかの報告がある²¹⁾⁻²⁷⁾。

2.2.3 超微量元素の分析

元素の量を極限まで下げたときの物性の研究などのために、日常の分析範囲よりもはるかに少量の分析が必要である。そのために、2.1で述べた方法の応用以外に、別の方法が用いられる。主なものとして、試料中の元素をイオン化してその質量を測る質量分析法 (MS) が利用される。MSには、イオン化の方法によって色々な種類があるが、ICP-MS、GD (グロー放電)-MSがニーズに応じて使われる。

その他、AAにおいて、試料の励起をバーナーではなくて黒鉛炉や金属炉で行なうフレームレスAAも用いられる。

このような方法によれば、PPBレベルの分析が可能である。技術の発展について、いくつかの報告がある^{2)8)27)~33)}。

3 分析技術研究の状況

鉄鋼製品や製造プロセスの高度化は、分析に対して、分析時間を限りなくゼロ（オンライン連続分析）にすることおよび一層の分析感度の向上を要求している。このために、鋭意分析技術の研究が実施されている。

3.1 溶鋼直接分析

2.1.2に述べたような分析システムではなくて、試料のサンプリングをしないで、炉内で溶けた鉄を直接分析しようとする研究が行なわれている²⁾¹¹⁾¹²⁾³⁴⁾³⁵⁾。日本では、10年位前から試みられているが、まだ実用化に至っていない。一部の元素について実炉試験を行なったという報告がある。それは、Mnの分析であり、その分析原理を図8に示す。これは、溶けた鉄に精錬用の酸素を吹き付けるときに生じる発光を利用する³⁶⁾。同じくMnについて、炉内で発生する蒸発微粒子を再加熱して原子吸収を測定する報告もある³⁷⁾。

3.2 レーザー利用分析

2.1.1 (1) で述べたAESは、その試料励起にスパーク放電を用いるが、分析感度および精度の点で限界にきているといえる。そのために、新しい励起源の検討が行なわれている³⁾。最近、レーザーを励起源に用い発生する蒸発微粒子をICPで分析する新技術が報告されている³⁸⁾。それによると分析感度も改善されるが、それよりもオンサイト分析や圧延工場でのオンライン分析に使用できるとしている¹⁴⁾³⁹⁾。分析原理とオンライン分析イメージを図9に示す。

4 おわりに

鉄鋼製造プロセスにおける分析技術の現状と研究の状況を述べた。日本鉄鋼業の量産時代を支えたスパーク発光分光分析法と蛍光X線分析法は、現在も改良を加えながら、分析技術の中心として生産管理に貢献している。

一方、今後の鉄鋼材料や製造プロセスの高度化は、これまでの分析システムの限界を感じさせ、新たな発想で分析技術の研究が遂行されている。21世紀は、約40年にわたって成果をあげてきた現状システムに代わる新世代システムが生まれることになるのであろうか。

最後に、分析技術全体の最近の動向をまとめた資料を紹介する。参考に供せられたい。

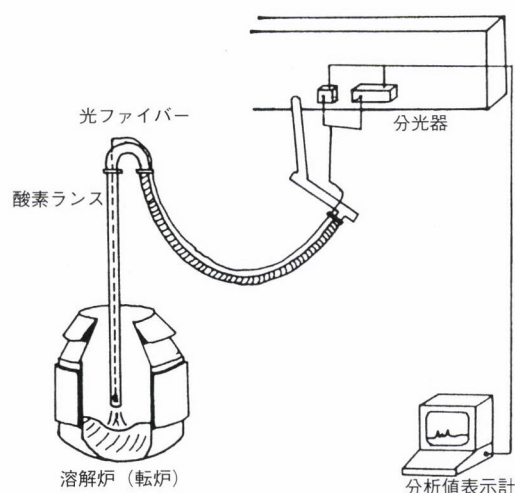


図8 溶鋼の直接分析³⁶⁾

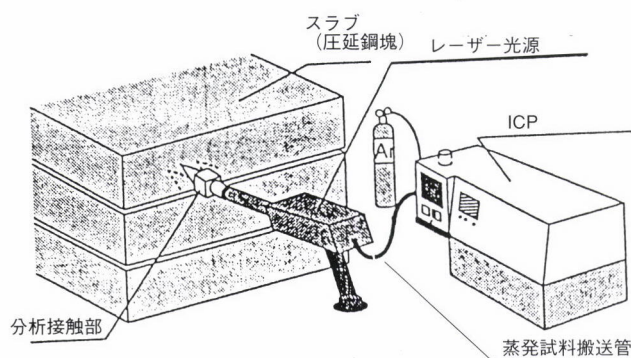
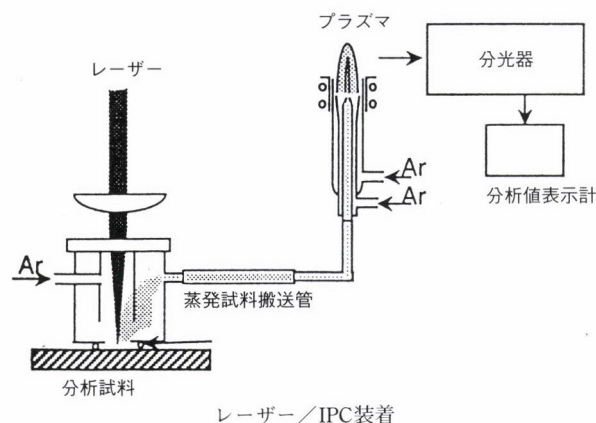


図9 レーザー利用分析^{14) 39)}

日本鉄鋼業における分析技術（日本鉄鋼協会発行、1982）
最近の分析・解析技術の進歩（第19回白石記念講座、日本鉄鋼協会編、1990）

分析評価・解析特集号（鉄と鋼、Vol.77, No.11, 1991）
創立80周年記念特集号（鉄と鋼、Vol.81, No.4, 1995）

引用文献

- 1) 鉄鋼便覧Ⅳ第3版, 日本鉄鋼協会編, (1981), p.23, p.87, 丸善
- 2) 日本鉄鋼業における分析技術, 日本鉄鋼協会編, (1982)
- 3) 小野昭絃: 鉄と鋼, 77 (1991), p.1765, p.1809
- 4) 稲本勇: ぶんせき, 1994 (1994), p.26
- 5) 千葉光一, 山路守: 材料とプロセス, 6 (1993), p.1282
- 6) 杉本和巨: 材料とプロセス, 6 (1993), p.1306
- 7) 鉄鋼化学分析全書第8巻, 学振製鋼第19委員会編, (1963), 日刊工業新聞社
- 8) 猪熊康夫: 第19回白石記念講座, 日本鉄鋼協会編, (1990), p.17
- 9) 日本鉄鋼協会共同研究会鉄鋼分析部会化学分析分科会資料, 化学-461, (1993)
- 10) 鉄鋼及び原材料の原子吸光分析法, 日本鉄鋼協会編, (1975)
- 11) 石橋耀一: 第19回白石記念講座, 日本鉄鋼協会編, (1990), p.35
- 12) 岩田英夫, 石橋耀一: 鉄と鋼, 77 (1991), p.1859
- 13) 大野義信, 浅沼吉郎, 森敦, 村松匠, 香川陽, 内田貴之: 材料とプロセス, 8 (1995), p.816
- 14) 石橋耀一, 秋吉孝則, 千野淳: 材料とプロセス, 8 (1995), p.820
- 15) 最新の鉄鋼状態分析, 鎌田仁編, (1979), アグネ
- 16) 黒沢文夫: 鉄と鋼, 76 (1990), p.483
- 17) 黒沢文夫: 第19回白石記念講座, 日本鉄鋼協会編, (1990), p.89
- 18) 松村泰治, 船橋佳子: 鉄と鋼, 77 (1991), p.1774
- 19) 松村泰治: 鉄と鋼, 79 (1993), p.628, P.897
- 20) 千野淳: ぶんせき, 1995 (1995), p.20
- 21) 源内規夫: 第19回白石記念講座, 日本鉄鋼協会編 (1990), p.53
- 22) 清水真人: 第19回白石記念講座, 日本鉄鋼協会編 (1990), p.69
- 23) 大坪孝至: 鉄と鋼, 77 (1991), p.1770
- 24) 広川吉之助: 鉄と鋼, 77 (1991), p.1965
- 25) 日野谷重晴: 鉄と鋼, 77 (1991), p.2033
- 26) 広川吉之助: ぶんせき, 1993 (1993), p.443
- 27) 源内規夫, 笹川薫, 角谷安彦, 豊田忠: 材料とプロセス, 8 (1995), p.838
- 28) 大河内春乃, 小林剛, 伊藤真二: 鉄と鋼, 77 (1991), p.1889
- 29) 千葉光一: ぶんせき, 1992 (1992), p.711
- 30) 広川吉之助: まてりあ, 33 (1994), p.81
- 31) 高田九二雄: まてりあ, 33 (1994), p.84
- 32) 佐伯正夫: まてりあ, 33 (1994), p.88
- 33) 高田九二雄: ぶんせき, 1995 (1995), p.640
- 34) 石橋耀一, 岩田英夫: 鉄と鋼, 77 (1991), p.46
- 35) 千葉光一, 小野昭絃: 材料とプロセス, 8 (1995), p.826
- 36) 千葉光一, 小野昭絃, 佐伯正夫, 大野剛正, 山内雅夫, 金本通隆: 新日鉄技報, 347 (1992), p.63
- 37) 辻猛志, 望月正, 石橋耀一, 郡司直樹, 秋吉孝則, 新井学, 岩田英夫: 鉄と鋼, 77 (1991), p.1868
- 38) 秋吉孝則, 坂下明子, 石橋耀一, 望月正, 城代哲史: 材料とプロセス, 8 (1995), p.579, p.984
- 39) 望月正, 佐藤重臣, 吉岡豊, 坂下明子, 秋吉孝則, 石橋耀一: 材料とプロセス, 8 (1995), p.983

(1995年11月27日受付)

鉄-21世紀への夢

創立80周年記念懸賞作文入賞作品紹介 ③

日本鉄鋼協会では、創立80周年を記念して平成7年度に懸賞論文を募集しました。全国から寄せられた第1部（中学・高校生の部）195編、第2部（大学生・一般の部）187編のうち、選ばれた入賞作品について順次掲載します。

第1部 2等賞

鉄—二十一世紀への夢

三重県三重郡菰野町立八風中学校2年

南川 聡子

私にとっての鉄—。私達に一番身近にあって、あまり意識することのない鉄。そんな鉄の歴史は古く、今から4500年位前から始まり、現在に至って、もはや不可欠で貴重な金属だと言えるでしょう。

鉄と一口に申しますが、その種類も多種多様で私達が実際に目にしないものも多いと思います。私達の中には、鉄と聞くと硬くて丈夫だというイメージがあると思うのですが実際には硬くて丈夫だけではなく、考えてみると、針金のように自由に曲げたりできるものもあって驚きました。そして、それは普段何気なく使っていたのです。このような近代的な鉄をもっと有効に産業に活用してもらいたいと思っています。

次に、私は生活が便利になっていくと、どのような物質でも、資源が必要で、その資源が無限に存在することはないので、「今は便利で快適に使いたい分だけ使えるけど、将来果たして資源が持つのだろうか、底をついてしまわないだろうか。」と、どうしても考えてしまうのですが、鉄の良い所は、その特長でもある、

「資源として偏在せず、大量に存在する。」ということです。そして、何より、「酸化鉄として、自然に戻り環境を害することがない。」という、物質の中でも、私達に優しい金属です。それでこそ、長い歴史をかなでてきた、いつの時代になっても、私達の生活を支える、身近で、親しみやすい「鉄」なのでしょう。

最近では、新しい鉄鋼の用途が急増しています。例えば、鉄筋を使った大きな橋、私達の家の骨組み、これらの建築を、全て可能にしたのが、鉄。「新しい鉄の時代」と呼ばれる今は、毛髪十分の一という細さの、ステンレス繊維、学生服の

肩の部分にも形状記憶合金という、一定の温度を与えれば教えた形に必ず復元する、天才的な鉄が登場して、いちじるしく活躍している。これらの鉄に、私達は想像以上にお世話になっています。鉄に託す、私達の夢とは何でしょうか。

世界中を発展させるには、やはり地球に優しい新しい種類の鉄を見つけて、それを大いに産業の面で用いることが必要だと思われます。地球に優しい鉄は、本当にできるのか、と言われたら、私は必ずできると思います。そのためには、時間をかけて、21世紀を担う私達が最新の技術を使って見つけだすのです。私が夢見ている未来では道に鉄の磁力を使ってある装置が、下に埋められており、その上を走る車は、鉄でできていて、車は道の少し上空を走る、いや、飛ぶのです。そうしたら、交通網はスムーズに整理され、何らかの形で、交通事故などが減少するような気がします。そんなふうに、鉄が利用されたらとても楽しいと思います。安全で、実用性の高い鉄。それが私達が今、一番追求するものではないでしょうか。

鉄の発展とともに、世界中が富んでゆくことに関しては、本当にほほえましい事だと思いますが、反対に、戦争などで用いられる、爆弾、戦車といった、軍備のために鉄を利用している所があることを、私は残念に思っています。私達の先祖の人々が築きあげてきた輝かしい鉄の文明を、一瞬にして無駄にするようなもののために鉄を使う、といった行為だけは、どうかやらないでほしいと思っています。私達が、これから、この美しい地球に平和で、経済面においても、豊かに暮らしていくために—。

私は、今後も産業の発展、すなわち鉄の成長を大いに楽しみに待っています。未来を想像する、私達の平和のために—。

第2部 2等賞

鉄は新文化材

福岡県宗像郡

岡本 久人

素材が文化を創る

彫刻の噴水が絶妙な位置関係で並んだ街の広場、石材のわずかな色の違いが織りなすパターンは繊細だが堅固な石舗

道、レリーフ壁がある家々（パラッツォ）、鉄扉と微妙な調和をみせる門壁のアーチ、その大扉の蝶番も把手も年代物の鈍い輝きを見せている。古い。だが完璧なまでに美しい。ロ

ーマでも、どんな田舎でも、必ず彼等が誇る街の美があるものだ。イタリアで街の空が美しいのは、もしかして空を美しく見せるために意図的に建物と建物の間の空間が設計されているからではなかろうか。

どの都市どの街にも必ず新しい部分はあるものだが、その新しい部分と古い部分の調和は、ほぼ完璧なまでにとれている。アルプス以北の国々の華やかさとは対照的に、落ちついた（一見薄汚れたような）外観の家々も、一步その中に足を踏み込むと、どの家にも必ず彼等が誇るその家の美がある。古い家具と新しい調度、そこにも完全なまでの調和がある。イタリアの友人達はしばしば食事に招待してくれた。そこでの会話の内容もまた時に優雅で、時に物事の本質にせまった緊張感もあった。貧富の差は確かにあるが、誰もが夏には最低1ヵ月のバカンスをとり、多くの人々が別荘を持っている。豊かさとはこんなものか。3年前まで、そんなローマに8年間住んでいた。

彼等の豊かさを知った当初、何か釈然としないものにさいなまれた。同じ業種の同じような立場のイタリア人の友人と互いの年収を比較合っても、私の方が断然多い。国の経済力でみてもGNPは日本の方が3倍高く、日本が世界一の金持ち国と呼ばれるようになって久しい。過去20～30年の生活を振り返ってみると、日本人の生活は確かに物質的には豊かになっている。誰もが車を持てるようになったし、電化製品に囲まれ、休日にはゴルフに行く。飽食の時代といわれる程に食生活も豊かだし、世界のブランド商品も身に着けられるようになった。だが、これは違う！本物の豊かさとは、何かが違う。GNPも低く年収も少ない彼等の方が、なぜ豊かなのだろうか？やはり、俄成り金ではダメなのだろうか。

どうやら、金持ちが必ずしも豊かな生活をしている訳ではないようだ。生活や生きることを楽しむイタリア人の豊かさの根源は一体、何だろう？ 帰国後3年を経た今も、まだ私の気持ちは釈然としないままだ。GNP・GDPで見ると日本は世界一の金持ちになり、日本人の所得は世界一のレベルにあるのに、どこかが貧しく、生活に何か不安を感じるのはなぜだろう？ 実力世界一のはずの日本の企業もなぜ世界一に相応しい元気がなく、日本から海外に逃げだしているのはなぜだろう？

私はこれらの疑問をたどっていった結果、それに答えるキー・ワードは「素材」に在るという考えに至った。イタリアは石の文化だといわれる。社会インフラも個人インフラも、石というロング・ライフの素材で形成されている。道路も橋も建物も、街ごとそっくり何百年も使用し続けられている。そんなロング・ライフのインフラの中では木製の家具や調度もロング・ライフになっている。そこには歴史に裏打ちされた荘重さのようなものがある。

これに対して、日本は木と紙の文化だ。日本人の生活は、

時代を通じ木と紙に囲まれてきた。その素材感には伊勢神宮に象徴されるように、清潔で清楚なイメージはあるが絶えざる更新を必要とする短命性がある。資源の大量利用を前提にした現代社会では、この素材の短命性が、際限ない資源消費の増大を招く状況を生み出しているようだ。

素材の寿命、この単純なことが人間社会の何か本質的な部分に通じているように考え始めた。生活や社会に使われる素材こそ、日本とイタリアの生活の違いを生み、文化の違いの根源であると考えられるようになってきた。

資源ムダ喰い型の日本の社会

同じ収入を得ながら豊かな生活ができる国とそうでない国がある。そこには気候や地理的環境の影響もあろうが、その中で育まれた民族の文化や習慣、国民の価値観や教育、あるいはそれに基づいた国の制度や政策といったものが影響しているに違いない。丘の上の城壁に囲まれたイタリアの地方都市は、数百年間、大きくも小さくもならなかった。周辺の田園や自然も含めて、安定した系として存続してきたようだ。当然、日本という環境にも歴史的には固有の安定条件があったに違いない。だが、かつて江戸の文化が栄えた時代とは、現代の日本という環境は人口も資源消費量も違う。

自然界では、動物が生きていくのに必要な資源の量は「種」によって違いがある。大型動物は当然、小型の動物より一頭体が消費する資源量は多い。だが同じような大きさの動物であっても生存のための資源を多量に消費するものとそうでないものがある。また、同じ「種」であっても地域や生息環境により消費する資源量に違いがあったり、中には体躯の大きさに関係なく多量の資源を消費するもの、つまりムダ喰いするものなどもある。

しかし、自然界では動物は生産しない。大地と空気と太陽で光合成された植物という生態系での生産物をベースにした資源・この神が与えた資源を消費するだけだ。だが、その中で「種」として存続・繁栄できたものは、常に自然が生産した資源をバランスよく消費してきた者達だ。自然界での動物の経済原則は、資源とバランスした消費をすることだ。一方、私達人類は自ら生産する。その「生産する動物」という特性ゆえに、消費というもう一つの経済の重要因子に私達は注意を払うことを怠ってきてはいないだろうか。

〔消費からみた課題〕

生産と消費という人間の基本活動のうち、確かに日本は生産という意味においては、これまで飛躍的な発展を成し遂げてきた。GNPも世界一になったし、個人所得も世界一のような。だが、日本人の生活レベルは決して世界一の高所得にふさわしいものではないようだし、日本の産業・経済もこのところ様子が変だ。GNPや個人所得が高くて、日本はコストも世界一高い国だといわれる。だがその背景は、単に物価が

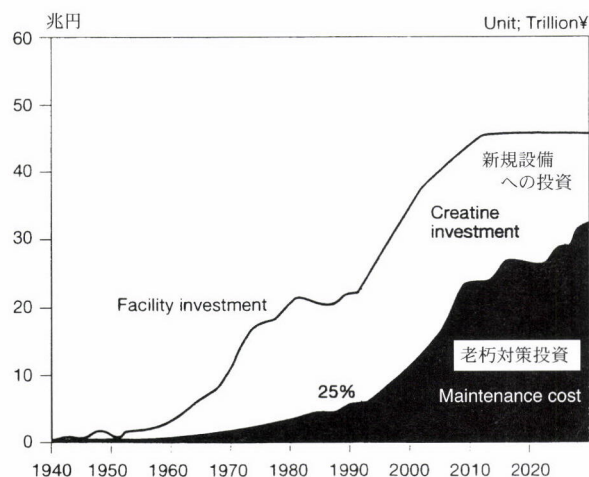
高いという単純なものではなく、消費という面に問題があるのではなかろうか。生活にエネルギーや資源の消費をかけ過ぎる構造になってはいないか、必要以上の手間・手数を要する体制になってはいないだろうか。現在の日本の社会を考える時、成功してきた生産という側面ではなく、消費の構造に本質的な問題が潜んでいるように思える。

例えば、私達日本人の生涯収入の消費構造をみる。先ず、日本では住居の入手のための多大な支出が特徴的だ。日本人は貯蓄が多いと言われるが、その理由も高額な住居を入手するためであるようだ。だが代々、木と紙を素材とした住居に住み続けてきた私達日本人は、生涯収入の大部分をさいて入手する住居も、せいぜい30年～50年程度の寿命に過ぎない。

これでは日本人は世代毎に家を建て替えなければならない、世代毎に多大のコスト負担をかけ、あげくの果て世代毎に大量の森林資源を消費することになる。これは、資源や生活コストのムダ喰い構造ではないか。

豊かな生活とは、必ずしも大量の資源を消費することではない。幾世代にも通用する生活インフラが、世代毎に引き継がれ蓄積されていくなら、大量の資源消費がなくてもより豊かな物質生活を享受できるはずだ。街ごと数百年間使用し続けているイタリアや南欧は特別にしても、先進国の家屋はたいいてい数世代の使用には耐えそうだ。日本の場合、家屋の構造も素材も、また住宅取得に関する制度も政策も多世代の使用が出来るようにはなっていない。

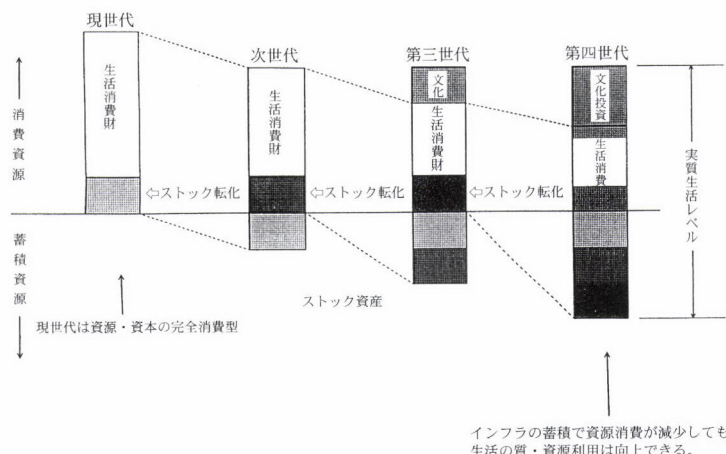
同様に道路や公共施設などの社会インフラも日本では、世代を超えてロング・ライフの使用に耐えるようにはなっていない。それより、前の世代の人々が次の世代の人々に個人や社会インフラのメンテ・取り壊しコストのツケをまわしていることが多いようだ。都市インフラがこのような構造になっ



図一 都市公共投資とメンテナンス・コストの推移

(3rd SANPME Japan (1993) 新日鐵 酒井 他)

*2010年には総投資の60%が前世代のインフラのメンテ・コストに当てられる。



図一2 200年型インフラ蓄積の模式図

*世代毎に消費した資源の一部(生活インフラ)を蓄積していく。

ている限り、人々は自分の世代で産み出した富を使い尽くすばかりか、次の世代の可能性まで摘み取ってしまう。ここでも社会的なムダ喰い構造がみられる。

GNPが日本の1/3であっても、また年収が少なくても、イタリアの人達の生活が豊かなのは、少なくとも数世代の使用に耐える家屋なり社会インフラを持ってきたからであり、それらへの投資を世代毎に繰り返す必要がないからだ。よって、その金をもっと本質的な文化への投資にまわせるし、また経済などの環境悪化に遭遇しても生活の質をさほど下げずに済む。人の生活コストが高ければ、教育コストもサービス業のコストも高くなる。そんな悪循環が一層、生活コストを上げてゆく。将来の生活に対する日本人の漠然とした不安感の根源も、不安定な生活社会環境にいきつく。21世紀を可能性に満ちた開けた未来にするためには、日本でも生活や社会基盤をロング・ライフ型に転換し、ムダ喰いのない消費構造にする必要があるのではなかろうか。そうすることで、この時代環境にあった新たな安定系を、都市や国に創りだすことができるであろう。

〔生産からみた課題〕

このところの日本経済は、GNPで世界一の経済大国になった。だがその一方では、円高などで日本の産業の国際競争力の低下が問題視されるようになってきた。とりわけ、これまで日本の経済を支えてきた第2次産業は設備の自動化が飛躍的に進み、省力化も生産性も品質も、外国の同種産業の追従を許さない程に技術的レベルは高い。にもかかわらず、なぜか日本の第2次産業の国際競争力が弱くなっている。その理由の一つには異常な円高による相対的なコスト高があるが、そこにはGNP世界一など経済力のある国の通貨が高くなる当然の背景もある。

さて、そのGNPは、生産された最終財の価値の総量を金額換算したものである。だが全く同じ最終財を、例えば全く同じ自動車を国内と国外で生産した場合、現在の計算では日

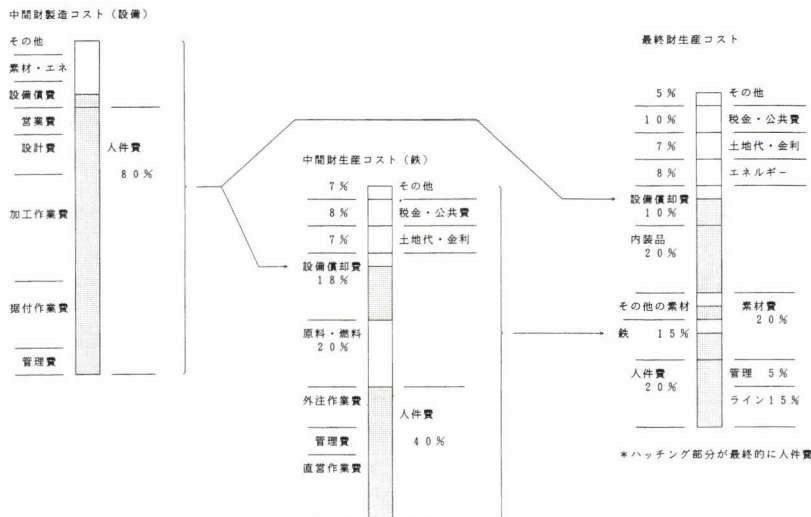


図-3 GNP, GDPにおける人件費の構成
(最終財での人件費アキュムレーション効果が理解できる)

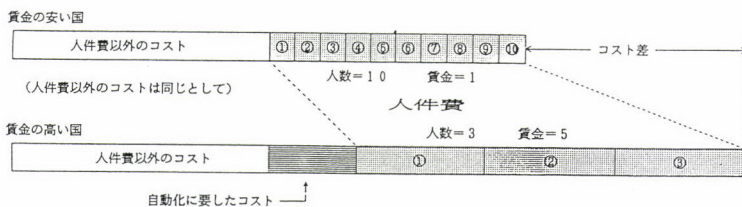


図-4 国際コスト競争における産業空洞化の論理／賃金と生産コスト

*高い賃金（＝生活コスト）の下でのコスト競争では、人数を減らす選択しかない。外国の人達に比べ、日本人は数倍の労働生産性を維持せざるを得ない。つまり日本人は外国の人達に比べ数倍、働く。カローシ（過労死）という名誉ではない国際語が生まれる程、日本人が頑張らなければならない構造にいつしかついていた。

本国内の方が金額が高くなる。それは生産コストに占める人件費が圧倒的に高いからである。また最終財の製造に使用される中間財や設備やサービスの中の人件費を含めると、直接的にも間接的にも最終財に占める人件費の比率は想像以上に高いものとなる。

人件費は人数×賃金であるから、生産ラインの自動化・省力化が世界一進んだ日本の第2次産業で人件費が高いということは、賃金が世界に抜きん出て高いということだ。こうして見掛け上の最終財の金額が高まり、GNPが見掛け上大きくなる。それに連動して円の為替レートも高くなる、という悪循環が生まれる。もっとも円高の原因はこれだけではないが、現在の通貨制度下では何事にも連動する。

結局、日本の第2次産業の国際競争力を弱くしている原因は、高い人件費（高い生活コスト）である。

日本人の最大の不幸は、日本人の生活レベルが世界一高額な賃金を得ているにもかかわらず、賃金＝生活費という模式の中で、さほど高くないレベルの生活をしているということだ。その理由は高い生活コストであり、その生活コストを高くし産業や経済の構造までおかしくしている問題の根源は、短寿命のモノを大量に消費する資源ムダ喰い型の社会構造に在るといえる。そしてこのムダ喰い型の消費構造から脱却するには、モノの寿命をロング・ライフにすることだ。

悲鳴をあげる地球を救うもの

現在、人類は地球環境問題・人口爆発・資源枯渇・地球規模の自然消失等未曾有の課題に直面している。いずれも人類の存続だけでなく地球系そのものの存続に関わる大問題であり、しかも一世代後に直面するほど、差し迫った問題なのである。しかし人類はなぜかこの巨大環境変化に対する感受性が弱い。

これらの課題を理解するには、例えばある島に代々棲み続けてきた400頭の鹿がある時から急激に数を増やし始め、800頭・1600頭と倍々に増加してゆく状況を想定すればよい。しかも、鹿は一生に消費する餌の量は世代が変わっても同じだが、現代の人間は世代が変わる毎に資源消費量が増えてゆく。つまり、他の生物の資源消費量は世代に関係なく一定なのに、より豊かな生活を追求するヒト科の動物だけが唯一、世代が進むにつれ資源消費量を増やしてゆく。仮に島の鹿が頭数を倍々に増やし、世代が進む度に餌の量を増やし続けてゆけばどうなるか？ 答えは明白である。島の面積は一定なので、再生産能力を超えて植物を食べ尽くせば自滅の他ない。この例で鹿を人間、島を地球に置き換えて考えれば、現在の人類が置かれた立場が理解できる。すでに

多くのデータがこの危機的状況を物語っているが、現在の人類は有効で具体的な手だてを何ら打てていない。

地球資源の枯渇を回避するため日本でも最近、資源リサイクルの機運が高まってきた。しかしながら、日本の場合、高い人件費を使って資源を回収するより人件費が安い海外の天

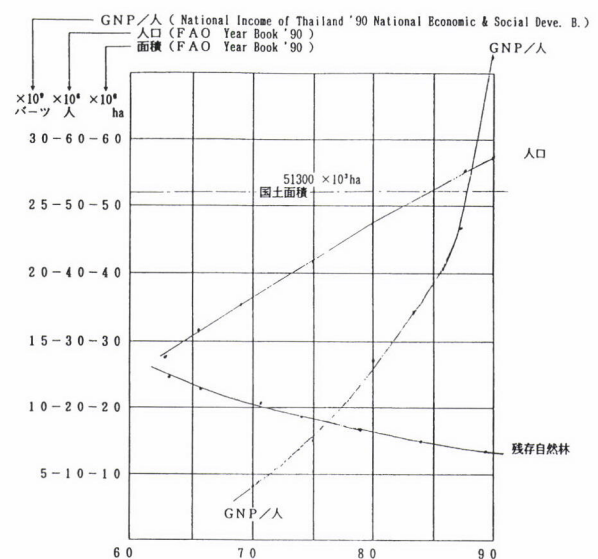


図-5 人間の活動と環境（Thailand）

*人口増加と資源消費量（GNP）の増加で残存自然林の減少推移が分かる。残存自然林は地球環境・自然資源再生産等の指標としてみることができる。

然資源を直接使用した方がコスト的に有利だ。日本でリサイクルが定着しにくい理由も究極的には日本人の生活コスト高に回帰する。

回収コストを除いてもリサイクルには、再生のためのエネルギーやコストを要することを忘れがちだ。有限な資源もリサイクルする度に再生のためのエネルギーと資源を必要とし、また大量のエネルギーと資源を消費する人間の手間を必要とする。人類が本気で資源を有効に、大切に利用するつもりなら、実はリサイクルだけでは不十分で「リサイクル&ロング・ライフ」という概念が必要になる。ここでもまた人間社会をロング・ライフ型の消費構造へ転換することに回帰する。

資源利用のロング・ライフ化はヒト科動物が資源のムダ喰いを少なくするための考え方である。それを地球への負担を小さくできる素材で進めることができれば、自らが創り出した地球規模の巨大環境変化に対して、人類も適応・存続する事ができるであろう。ここでもリサイクル性とロング・ライフ性を備えた素材の必要性がでてくる。

地球を救い日本を豊かにする素材は鉄

素材のロング・ライフ化が、地球を救い日本を豊かにするための一つの解答だ。そこで「ロング・ライフ」という場合の利用期間・寿命の期間は、勿論、長いほど良い。できることなら、ローマ時代の永遠の都市構想のようにエンドレスが望ましい。ロング・ライフの考え方にはいろいろあるだろうが、とりわけ木と紙の文化を引き継ぐ日本では、それを200年間と考えたい。この200年とは、伐採後の熱帯や寒帯の森林の樹木が再生成長して元の姿に戻るのに要する期間である。

ここで、日本の住居を200年のロング・ライフ型にする場合を想定してみる。現実には、住宅は人の好みによって構造や素材が決まるため、ロング・ライフ200年型の家屋の設計は単純ではない。だが日本人が好む木造家屋も、梁や柱などの構造部分を強力に耐久性のある200年間の使用に耐える素材で補強すればそれなりに寿命を延ばすことができよう。例えば、家の構造部分「空間を確保し家の荷重を支える機能」、つまりフレームの機能と外観や断熱等の機能を分けて考えるのである。そうしてフレーム部分を200年の耐久性を持つ素材と構造にする。そのフレームの外側は木であろうと土や石であろうと、また内側は洋式であろうと和式であろうと、住む人の好みに合わせればよい。断熱や外観の機能をもつ素材には、一切の応力負荷はかからない。こうする事でそれらの素材の延命が可能となり、日本人好みの木造住宅も200年間の使用に耐え得る。また人の好みは住む人や時代によって変化するので、フレームだけをまず耐久型にし、外観や内装など人が直接接する部分に自由度を残しておくこともロング・ライフの考え方だ。南欧や北欧のロング・ライフ型の家屋もそうになっているようだ。

素材としての鉄はコスト的にみれば強度対コストで他のいかなる素材も超え、ライフ・サイクル・コストでみても他の素材に抜きこんでいる。また環境的にみれば、省エネ・省資源型かつ環境親和型の素材で、しかもリサイクル性に優れている。さらに使いやすさの点では加工性・安定性ともに優れていることは衆知の通りだ。日本は地震国である。鉄は構造材として最も耐震性に優れている。未来型の都市設計を考えるときには、土地効率をあげ地表の有効利用を図るべきだが、建物などの高層化には石やコンクリートやセラミック系に較べ鉄が最も適している。つまりロング・ライフの構造材としては、あらゆる面で鉄が最もバランスのとれた素材であるといえる。

そこで建物も都市インフラも、空間確保と荷重を支える機能を鉄にする。コスト的に、耐久性と耐震性のために十分ゆとりのある量を使用できる。また耐劣化性のための防錆処置もできるし、必要ならば将来、劣化した部分は取り替え可能な構造に設計しておけばよい。鉄は使いやすさの自由度が高い素材だ。例えば120m²の家屋を設計していて、将来は結合して240m²とするような設計もできるだろう。ロング・ライフにするためには、変化への自由度を残しておく事も重要だ。

次にコスト的意義を具体的にみる。例えば、現在の120m²の標準型の建設コストが2,800万円だとすると、この構造強化のためのコスト増は、鉄ならば十分な余裕を見込んでも500万円を超えることはなかろう。家屋の寿命が30年から200年、つまり約7倍になってもコストは1.5倍以内の増加で済むならば、長期的な視点ではこの方がはるかに得だ。

住居に限らず、道路も橋も公共施設も同様だ。街や都市そのものをロング・ライフ化することは、街なり都市なりの資源消費を健全にし、将来の経済構造に安定系を産みだすことができる。

イタリアでは普通の家庭にも、何世代も使ってきた立派な家具や調度があった。同じような視点でみれば、日本の第2次産品、電化製品も自動車もロング・ライフ化を考えてみるとどうだろう。自動車も軽量化だけが省エネではないはずだ。素材の製造や自動車の組み立て、さらにはリサイクルまでライフ・サイクル全体でみればエネルギーや資源の消費にも必ず固定的な部分が生じているはずだ。ロング・ライフ化をすればその固定部分を期間分散できる訳で、省エネの視点は軽量化以外にもある。

製品固有の技術が成熟した分野では、例えば自動車や電気冷蔵庫にも50年使用できるものが、もう出てきてもよいのではないか。どこかの部分に将来、技術的な進歩があればそのパーツだけを取り替えればよいし、デザインを完成し、素材もステンレスなどを十分に使用すれば技術的には可能なはずだ。鉄の機能で不足な部分は他の素材と組み合わせればよい。鉄という素材はそうにフレキシブルなはずだ。

日本の製造業もロング・ライフ化を推進することで商品が

回転しなくなるのを恐れる必要はもうあるまい。大量消費型の製品の世界では、途上国とのコスト競争ですでに結果は明白だし、日本の産業も自らの存続を確保するためには、社会的に意義があり、日本の成熟した技術でしか造れない製品を創出することの方が重要だろう。ロング・ライフの製品の創出には、多種の技術分野の組合せやデザインや人間科学など異種分野の高度な組合せも必要だが、幸い現在の日本には技術的にも風土的にもその条件は揃っている。少なくとも今ならそれが可能だ。

新しい日本社会の実現に向けて

かつて第一次世界対戦後の米国で株式投機の大ブームの後、株価の大暴落を機に経済の大恐慌が始まり、やがて世界の経済大恐慌へと進行していった。この大恐慌の経過は最近の日本のバブル崩壊に類似しているし、その後の阪神大震災や急激な為替相場の変動などをみると一層不気味な予感がする。当時、大恐慌後の米国経済の沈滞を打破したのは時の大統領F. ルーズベルトであった。彼はTVAなどの新機軸の公共事業を通して政治・経済上の強力な政策を推進し国民と国家の危機を乗り越えた。このニュー・ディールと呼ばれる政策は、考えてみると次の時代の基盤になる産業インフラ・生活インフラの整備であった。現在の日本に必要なのは次の時代の基盤になる社会インフラのロング・ライフ化政策だ。これこそ日本の産業や経済に活力を与え、日本人に再び夢を与える政策である。また、日本型の経済を追う途上国に範を示すことができれば、その経済と社会を健全に発展させるのに寄与できる。さらに前述のごとく近未来の地球規模での危機に対処できる政策でもある。今こそ日本も世界に対して新しい流れを提起する時期だ。

ところが社会インフラのロング・ライフ化を具体的に考える時、現在の日本の諸制度はその実現を妨げるような構造になっている。200年型の民間住宅の例でも融資制度や税制等も、そのために必要な1.5倍の投資増を許さない構造になっている。また家屋を建設する個人の側も、「自分の子供はどこに住むかわからない」とか「孫子の代のことまでは考えない」としか思わないし、現実の生活の中では大部分の人々は、次世代・次々世代の生活負荷や近未来の地球環境や資源負担を考えた行動はしない。現代人はロング・タームで物事を考える制度も習慣もないのだ。社会インフラのロング・ライフ化は投資効率を一世代のショート・タームで考えている間には成立しない。その効果を受受するのは、実は投資する本人ではなく次の世代以後の人々である。そのためには日本人と日本社会に、世代を超えた超長期的な視点で、物事を判断実行できるような社会制度や習慣を備えさせる事が必要であろう。一方、個人や社会のインフラのロング・ライフ化には、一戸の家屋や建物だけではなく、街全体の機能や景観等の都

市設計が伴わなければならない。また後の世代にも通用する芸術性や利便性のあるインフラにするための芸術家やデザイナー等との協業など、幅広い分野を集合させた活動が必要になる。従って現在の日本でロング・ライフ化の活動を進めるならば、ニュー・ディールのような国家的な、あるいは社会的な展開が前提となろう。

具体的な展開としては、例えば200年型の実験都市の建設でもよいし、また阪神大震災の復興にこの思想と理念を組み込むことでもよい。社会インフラを耐震構造にするならば、あとわずかな投資でロング・ライフ化は実現できる。このようなパラダイムの大転換も、鉄を中心に推進する限り技術的にも経済的にも、実現可能な範囲にあることは疑いない。

新文化材「鉄」が創る 21 世紀

日本の21世紀を夢と希望に満ちたものにするためには、資源消費型の木と紙の文化から脱却し、資源蓄積型の鉄の文化を実現させることだ。それはまた、地球の未来を救う政策でもある、日本の経済や社会、地球の資源や環境で、黄信号が感じられる将来に対する政策は、節約型のケチケチ政策ではなく逆に思いっきり贅沢なインフラを創出する事だ。何世代にも通用するインフラには、何世代にも通用する豪華さが必要かもしれない。イタリアの古い街並みのように、ロング・ライフであってもいささかの陳腐さとも古臭さとも感じさせない芸術性や利便性が備わったものである必要がある。

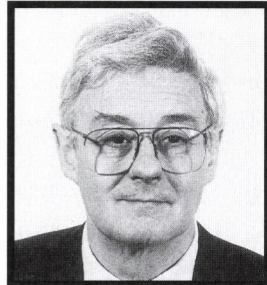
そのような生活インフラ・社会インフラが、人々に夢や希望を与えぬはずはない。少なくとも、そんなロング・ライフの社会を構築する政策を表明するだけで、人々の将来に安心と希望を与えるはずだ。

人々の精神的豊かさには、物質的な豊かさが安定的に存在することが前提だが、それは資源を大量に消費することではない。単にモノを次から次に消費するような社会構造には何か問題があるはずだ。もともと日本にはモノを大切にするという思想があったし、元来東洋の風土はロング・ライフであった。勿論、ヨーロッパでもローマの時代から永遠の都市思想はあったし、現にこれまで彼等はその中で生きてきた。だがその自然な思想を今、ヨーロッパ人も忘れかけている。そんな自然の姿に戻るのが現代社会の課題であるように思われる。

このように考えてみると素材は文化であり、これからの日本の文化を創る素材は鉄である。21世紀は、鉄という素材で日本社会の基盤を造り変えていく時代だ。地球と人類を安定的に永続させるために、23世紀まで使える社会を建設する時代としなければならない。そしてその具現化は、同時に近未来の地球規模の巨大課題に対して、急がねばならぬ対応策でもある。21世紀末も、22世紀末も、永久に地球の空は美しく豊かな人々の営みがあるように・・・。

(新日本製鐵(株)勤務)

名 誉 会 員 追 悼



故 名誉会員 Julian Szekely 君

社団法人日本鉄鋼協会名誉会員 Julian Szekely博士は1995年12月7日ご逝去されました。

氏は1934年ハンガリーの首都ブダペストで生まれ、1956年に勃発したハンガリー動乱に際しては祖国のためにその戦に身を投じ、動乱の抑圧後はやむなく英国に渡り、1959年、Imperial Collegeの化学工学科を卒業し、61年には同大学からPh.Dが授与されました。引き続き同大学のDept. of Metallurgyの講師を務めた後、1966年アメリカに渡りState University of New York at BuffaloのAssociate Professorとなり、68年にはProfessorに昇任されると共に、Center for Process MetallurgyのDirectorを兼務されました。1975年にはMITの教授に任ぜられProcess Metallurgyの世界における第一人者として活発な活動を続けてこられました。

氏は鉄鋼製錬プロセスの移動現象論的研究において、先駆的役割を果たし、さらに、鉄鋼製錬以外の素材製造工学の分野においても、同様の手法を駆使した理論を展開し、素材工学における“移動速度論に立脚したプロセス解析”の学問体系を確立されました。移動現象論による鉄鋼プロセスの研究は、日本の鉄鋼業が急速な発展を遂げた1960年代から70年代に亘って展開され、我が国の鉄鋼技術の革新に大きく寄与いたしました。これらの成果は、氏の研究における指導的役割に負うところ大であります。特に、今日、プロセス設計や解析にあたって必須のツールとなっている流体運動の数値解析については1970年代のはじめに着手し、その端緒を拓かれました。さらに、材料電磁プロセス分野についてもほぼ同時期に着手されておられます。このように、20年以上以前に今日の技術動向を予見し、その分野の先駆者となられた氏の開拓的研究姿勢は他の研究者の追隨を許さないものがあり、素材プロセス分野の第一人者であることを誰もが認める所以であります。

氏は数百にのぼる研究論文の他に多数のテキストを執筆されましたが、それらのうち“Rate Phenomena in Process Metallurgy”と“Gas - Solid Reactions”の2冊は日本の大学においても教科書として採用される等、鉄鋼関連の研究者、技術者に計り知れない影響を及ぼした名著であります。

氏のもとで直接研究指導を受けた日本人は18名にのぼり、我が国の鉄鋼関連の学界あるいは産業界に多大の貢献をされておられます。一年前の本会創立80周年記念式典の際に名誉会員に推挙されました折には、お元気なお姿で“Industrial Ecology and Steel Technology - A Challenge for the 21st Century”と題するYukawa Memorial Lectureをされましたことは記憶に新しいところであります。日本語を交えたウィットに富んだお話と前傾姿勢で演台上を左右に動き回る独特のスタイルは、氏の飾らないお人柄を端的に現しておりました。

今日、我が国の鉄鋼業においては鉄鋼プロセスの革新が強く求められておりますが、今こそ、深い洞察力に裏打ちされた氏の見識が必要とされる時に、突然、お別れを余儀なくされることになりました。しかし、氏が我が国に残された大きな足跡は多くの研究者、技術者によって鉄鋼プロセスの変遷の中にあっても、かならずや受け継がれてゆくことでしょう。

名誉会員Prof. Julian Szekely博士の偉業を偲び、会員一同心から追悼の意を捧げ、ご冥福をお祈り申し上げます。

1996年3月

社団法人 日本鉄鋼協会 会長 佐野信雄

次号目次案内

ふえらむ Vol.1 (1996) No. 4 掲載記事

長大橋に挑む IRON&STEEL

話題のプロダクツ

スチールハウス時代到来

鉄の絶景—京都編

展望

21世紀に向けて、電気事業の未来技術—トリレンマ解決に向けて—
これからの橋

井上正明 ((財) 電力中央研究所)
藤野陽三 (東京大学)

入門講座

鉄鋼材料編4 腐食化学的性質

松島巖 (NKK)

鉄鋼プロセス編3 鋼の育ちがきまる—凝固 結晶の生まれと成長過程

高橋忠義 (北海道大学名誉教授)

鉄の歴史④

遺物が語る古代日本の鉄

佐々木稔 (元新日本製鐵 (株))

解説

鋼はどのように造られるか—製鋼プロセスの紹介

池田隆果 (住友金属工業 (株))

現場技術報告

CCにおける溶鋼温度一定化、モールド内流動制御技術

上原彰夫、他 (新日本製鐵 (株))

100%水素高対流ベル型焼鈍炉 (HCA) の操業と品質

赤見大樹、他 (日新製鋼 (株))

熱延仕上ミルロールバンディングモニタ (RBM) の開発

岩井隆房、他 ((株) 神戸製鋼所)

懸賞作文入賞作品紹介③

1部 (中学・高校生の部) 2等賞 「鉄—21世紀への夢」

石田沙織

2部 (大学生・一般の部) 3等賞 「ニューメタルの勝利—愛染鋼太郎の研究記録より」

河村瞭司

*掲載記事及び題目は変更になる場合があります。

本会情報一覧

N頁の行事は「鉄と鋼」Vol.81 (1995) の該当号をご参照下さい。

記事内容	掲載号
第81回通常総会開催案内	本号212頁
理事、監事、評議員候補者一覧	本号212頁
新名誉会員および受賞者のお知らせ	本号213頁
第2回「外国人博士研究員」の募集案内	本号214頁
材料の組織と特性部会 平成8年度新規発足フォーラムと参加へのご案内	本号215頁
第22回鉄鋼工学セミナー受講者募集案内	本号217頁
定款改正のお知らせ	2号147頁
第1回 (1995年度) 遊休研究設備紹介事業のご案内	2号147頁
第131回春季講演大会 懇親会のお知らせ	2号148頁
シンポジウム「大量生産規模における不純物元素の精錬限界」開催案内	2号149頁
シンポジウム「表面品質の向上と初期凝固制御」開催案内	2号149頁
シンポジウム「材料電磁プロセッシングの最近の動向」開催案内	2号150頁
シンポジウム「人間・社会との新しい調和を求めてⅢ—鉄鋼技術の移転はどのように行われたか」開催案内	2号150頁
創形創質工学部会切削・切断フォーラム 討論会・見学会開催案内	2号151頁
シンポジウム「自動車用鋼管とその二次加工に関する技術的課題—鋼管素材への要求シリーズ その1」開催案内	2号151頁
シンポジウム「鋼構造物の地震の備えはどうあるべきか？」開催案内	2号152頁
シンポジウム「材料システムのインテリジェント化」開催案内	2号152頁
材料の組織と特性部会平成8年度設置「自主フォーラム」の募集	2号153頁
セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」開催案内	2号153頁
3学協会共同企画シンポジウム開催案内	2号154頁
第130回秋季講演大会 学生ポスターセッション報告	2号155頁
会費等の自動払込制度ご利用のお願い	1号 66頁
7th International Symposium on Physical Simulation講演募集	1号 68頁
入会案内	1号 73頁
第1回世界製鋼会議 (ICS'96) 開催案内	12号 N605頁

編集後記

「ふえらむ」第3号をお届けします。「ふえらむ」は日本鉄鋼協会の会員に配付されます。最近の会員の職種別構成は企業技術者(42.7%)、企業研究者(23.7%)、企業管理部門(10.4%)、学校関係者(9.5%)、学生会員(3.0%)などありますが、これを職種別に分類すれば、鉄鋼製造業、鉄鋼需要家企業、鉄鋼関連企業(流通など)、教育機関・研究所(学生を含む)に、更に用途別、材料別(最近是非鉄、エレクトロニクス材料もある)、プロセス別、技術分野別に分類していくと概に鉄鋼関連技術といっても非常に多種多様であります。このよう

に鉄鋼協会は非常に多くの分野に関連する会員から構成されており、そのどれを取っても日本の鉄鋼技術の重要な基盤であることからその動向について無関心であることは出来ません。このような観点に立って、「ふえらむ」をグラフ記事、展望、入門講座、鉄の歴史、解説、現場技術報告で構成しました。内容的には論文調を改め、記事の最後まで読み通せる記述を執筆者各位にお願いしています。休日などに畳の上で寝転がりながら頁を繰っていただけるならば編集者の努力も酬われるものと思われます。(M.I.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 阿部 光延 (新日本製鐵 (株))

副委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

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

連絡先

本部事務局 〒100 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館3階
 TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021 (代)
 学会部門事務局: 03-3279-6022 (代)
 生産技術部門事務局: 03-3279-6023 (代)
 FAX: 03-3245-1355 (共通)

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000円 (消費税本会負担)

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

1996年3月1日印刷納本・発行 (毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館内 島田 仁
 印刷人/印刷所 東京都新宿区三栄町20-3(新光オフィソーム) (株) ニューマーケット
 発行所 社団法人日本鉄鋼協会 〒100 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館3階
 TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021 (代)
 学会部門事務局: 03-3279-6022 (代)
 生産技術部門事務局: 03-3279-6023 (代)
 FAX: 03-3245-1355 (共通)
 郵便振替 口座東京00170-4-193 番 (会員の購読料は会費に含む)

© COPYRIGHT 1996 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

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

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

Copyright Clearance Center, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

行事等予定

太字は本会主催の行事。N頁の行事は「鉄と鋼」Vol.81(1995)の該当号をご参照下さい。

開催期日	行事(開催地)	締切	掲載号及び頁
1996年			
3月 8日	関西支部 3月見学会・講演会(姫路)	1996-2-15	2号 160頁
12~14日	第11回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会(全国15会場)	1996-1-20	11号N586頁
12~28日	学生会員および若手正会員のための'96北アメリカの大学・研究所・製鉄所めぐり(アメリカ)	1996-1-12	12号N606頁
14日	九州支部 総会・湯川記念講演会・講演討論会(北九州)		2号 160頁
18日	東海支部 総会及び湯川記念講演会(名古屋)		本号 224頁
19日	「半導体電極」の腐食防食技術への応用(東京)		本号 224頁
19日	日本学術会議平成7年度「溶接シンポジウム」(東京)		本号 224頁
25日	創形創質工学部会切削・切断フォーラム 討論会・見学会(東京)	1996-3-11	2号 151頁
26~28日	第131回春季講演大会(千葉)	1996-1-11	11号N581頁
26日	シンポジウム「材料電磁プロセッシングの最近の動向」(千葉)		2号 150頁
27日	シンポジウム「大量生産規模における不純物元素の精錬限界」(千葉)		2号 149頁
27日	シンポジウム「表面品質の向上と初期凝固制御」(千葉)		2号 149頁
27日	シンポジウム「人間・社会との新しい調和を求めてⅢ-鉄鋼技術の移転はどのように行われたか-」(千葉)		2号 150頁
27日	シンポジウム「自動車用鋼管とその二次加工に関する技術的課題-鋼管素材への要求シリーズその1」(千葉)		2号 151頁
27日	シンポジウム「鋼構造物の地震の備えはどうあるべきか?」(千葉)		2号 152頁
27日	シンポジウム「材料システムのインテリジェント化」(千葉)		2号 152頁
28日	3学協会共同企画シンポジウム(千葉)		2号 154頁
29日	セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」(東京)	1996-3-15	2号 153頁
29日	第41回材料強度と破壊総合シンポジウム「破壊の共通基盤と高温強度発現機構」(東京)		2号 160頁
4月 5日	関西支部 総会・湯川記念講演会・懇親会(大阪)	1996-3-20	本号 224頁
11、12日	レーザ加工国際フォーラム'96(大阪)		本号 224頁
18、19日	第6回電子顕微鏡大学(東京)	1996-4-5	2号 160頁
22~24日	第1回世界製鋼会議(ICS'96)(千葉)	1995-4-28	12号N605頁
5月 10日	第169回塑性加工シンポジウム(名古屋)		本号 224頁
15~17日	第5回複合材料界面シンポジウム(福岡)	1996-1-12	1号 71頁
16、17日	第5回材料の衝撃問題シンポジウム(京都)	1996-2-2	12号N609頁
21、22日	第161回西山記念技術講座「鉄鋼とチタンの組織制御技術-極限性能を目指して」(東京)		
22、23日	計測連合シンポジウム 先端計測'96(東京)		本号 224頁
28日	鋳造材料の信頼性向上を目指して-材料工学と機械工学の接点を探る(名古屋)		本号 224頁
6月 10日	第32回白石記念講座「これからの品質保証」(東京)		
18、19日	第162回西山記念技術講座「鉄鋼とチタンの組織制御技術-極限性能を目指して」(大阪)		
27、28日	第9回フラクトグラフィシンポジウム(大阪)	1996-1-10	1号 71頁
7月 27~8月2日	第22回鉄鋼工学セミナー(蔵王)	1996-5-10	本号 217頁
29~31日	第15回混相流シンポジウム'96(福井)	1996-4-12	本号 224頁
30日	第44回年次大会「工学・工業教育に関する研究」(広島)	1996-3-11	2号 160頁
8月 21~24日	第3回アジア太平洋塑性工学の進歩とその応用に関する国際会議(広島)		1号 71頁
25~30日	第14回IUPAC化学熱力学国際会議(大阪)		12号N609頁
28、29日	平成8年度技術士試験「技術士法に基づく技術士第2次試験」(全国9都市)	1996-4-5	2号 155頁
9月 28~30日	第132回秋季講演大会(北海道)		
10月 21~24日	第4回傾斜機能材料国際シンポジウム(FGM'96)(つくば)		2号 160頁
22~24日	7th International Symposium on Physical Simulation(つくば)	1996-4-1	1号 68頁
27~30日	2nd International Symposium on Extraction and Processing for the Treatment and Minimization of Wastes(Arizona,USA)		1号 76頁
11月 18~20日	第2回エコバランス国際会議(つくば)	1996-3-31	本号 224頁
12月 9~11日	第3回環太平洋国際会議「鋳造凝固プロセスのモデリング」(北京)	1996-4-1	本号 224頁
1997年			
1月 4~8日	5th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts '97(Sydney, Australia)	1996-3-15	2号 154頁
3月 27~29日	第133回春季講演大会(東京)		
7月 7~11日	International Conference on Thermomechanical Processing of Steels and Other Materials(Wollongong, Australia)		1号 71頁
14~17日	Australasia-Pacific Forum on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials(Sydney, Australia)		2号 160頁

ふえらむ Vol.1 No.3 広告目次

表2 (株)テクノヨコハマ	炉外精錬装置	前3 (株)島津製作所	分析装置	後1 (株)協会通信社	広告案内
前1 (株)マツボー		4 住友金属テクノロジー(株)		2 (株)アサヒ技研	硬さ試験片
	重工業グループ取扱商品一覧		試験分析サービス		
2 (株)東京インスツルメンツ				表3 日本ミンコ(株)	サンプル・サンプル
	赤外線イメージカメラ	後1 本誌広告目次		表4 日本アナリスト(株)	分析装置

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

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

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANE

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

日本鉄鋼協会講演論文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

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

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

*For more Information,
Write or Facsimile.*

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

**3-13, GINZA 7 CHOME CHUO-KU,
TOKYO 104 JAPAN**

Tel. 03-3571-8291 • Fax. 03-3574-1467

あなたの基準は、国家標準とトレーサブルですか？

[硬さ標準片/シャルピー基準片]

トレーサビリティの確保



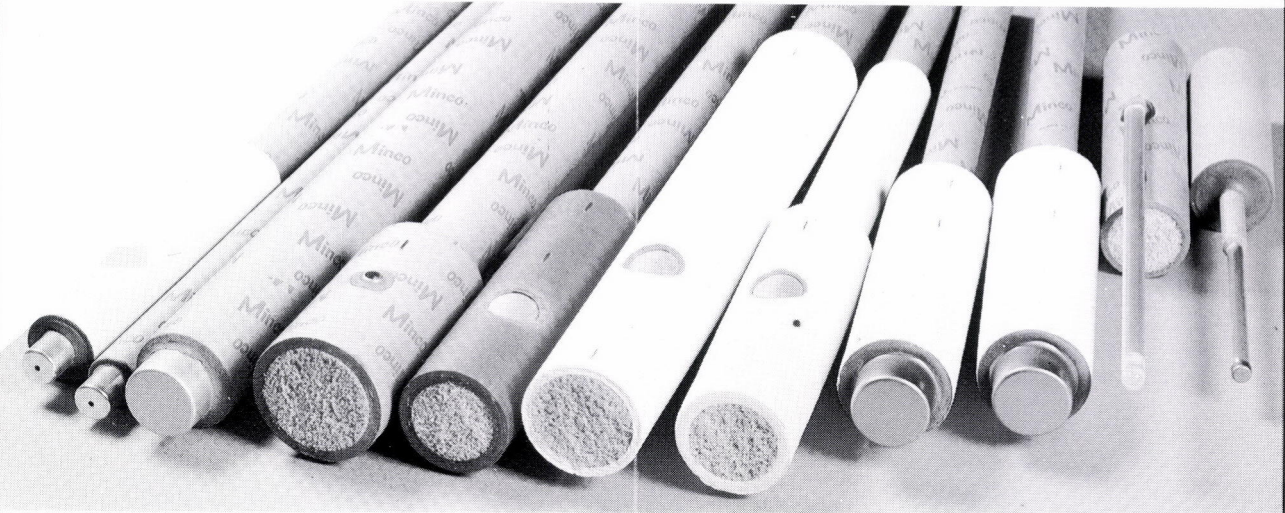
●テストピース加工 45年の実績を誇る
総発売元 (株)アサヒ技研

〒678 兵庫県相生市矢野町菅谷214番地の1
TEL 07912-9-1213 FAX 07912-9-1132

Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

品質向上のパイオニア

■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)



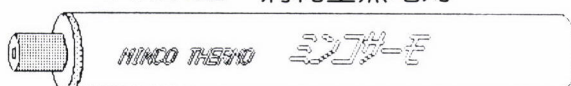
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

PT301型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968

白金・白金ロジウム

■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。

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

日本ミンコ株式会社

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

お問い合わせは

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

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

製鋼・精錬の**現場分析**に照準を合わせた最新鋭 **炭素・イオウ** 同時分析装置

LECO

CS-400 型

高周波燃焼、赤外吸収方式



高性能＋使い易さ＝信頼性

高速・高精度にプラスし、ユーザーにやさしいソフトウェアー
見やすく、さわりやすく、慣れやすく、間違えにくい

- 大型液晶ディスプレイ
- 広い分析範囲
- データベース統計プロセス管理
- ホストコンピューターへの伝送

高周波炉：18MHz 2.2kW

分析精度：0.0002%

分析時間：通常 40秒

試料重量：通常1g

分析範囲：(試料1gの場合)

C 0.0002%~3.5%

S 0.0002%~0.35%

常設展示中

ユーザーご自身の手でテストしてください。

LECO

日本総代理店

LECO CORPORATION
U.S.A.**日本アナリスト株式会社**

ISO-9002

No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

本社 〒141 東京都品川区西五反田 3-9-23
大阪支店 〒560 大阪府豊中市岡上の町 2-6-7
九州営業所 〒804 北九州市戸畑区汐井町1-1(戸畑ステーションビル)

☎(03)3493-7281代 FAX(03)5496-7935
☎(06)849-7466 FAX(06)842-2260
☎(093)884-0309 FAX(093)873-1190