

平成8年2月1日発行(毎月1回1日発行)

ISSN 1341-688X

Volume 1
No.2 1996

(社)日本鉄鋼協会会報

ふえらむ

Bulletin of

The Iron and Steel

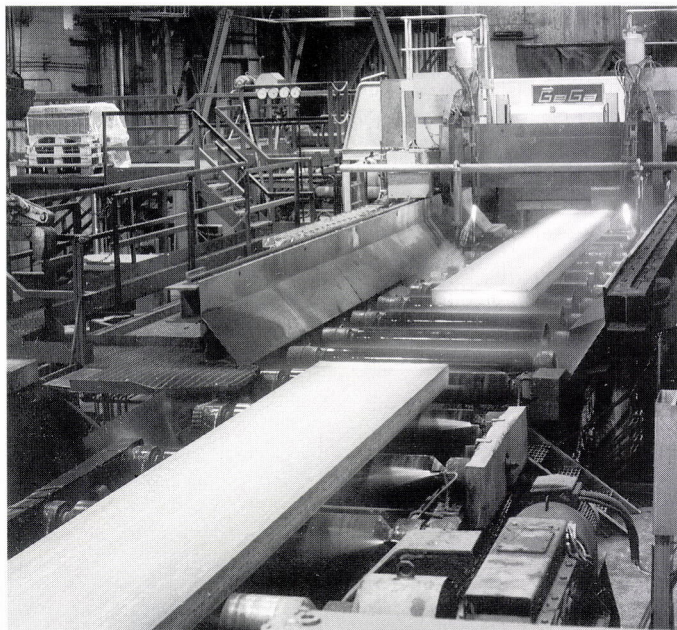
Institute of Japan



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

こんなアイディアで、先進技術の日本にも貢献を!

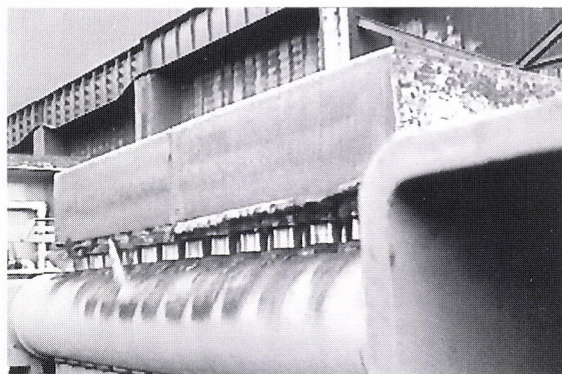
GeGa



最新型 GBMスラブ切断装置

連続鋳造用ガス切断装置として、ブルーム／ピレット用で910台、スラブ用で380台、幅分割用で140台などなどの納入実績を有するドイツのゲガロッツ社は、常に最新の技術で世界の製鉄製鋼業界のご要望に対応しております。

さらに機械方式によるバリ除去装置も開発し、好評を得ております。このバリ除去装置は、多数の刃型ナイフにより、鋳片端面に付着しているバリをきれいに除去します。しかもバリ除去の際、粉塵や騒音などは発生しません。これらの点でも、良好な作業環境の維持に寄与しております。



新たに開発した機械式ノロ除去装置

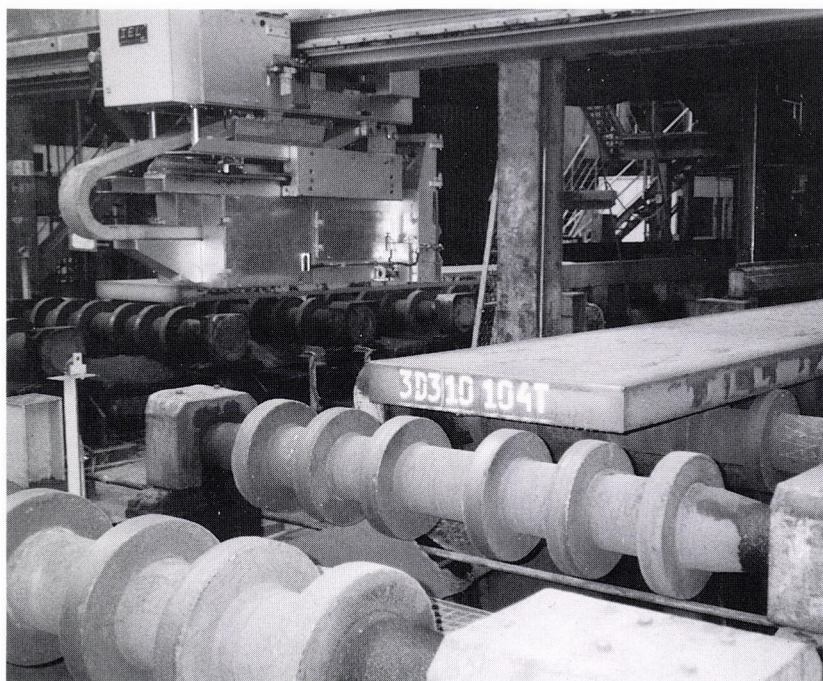
IEL

IDENTEQUIP LTD

スプレーマーキング装置

アルミワイヤもしくはアルミブロンズワイヤによるマーキング方式で、その主な用途は

1. スラブ材・ビームブランク材
2. ブルーム材・ピレット材
3. 各種型鋼
4. コイル材
5. 鋼板・チューブなど



GeGaおよびIEL Identequip製品についてのお問い合わせは：

株式会社 トライメート

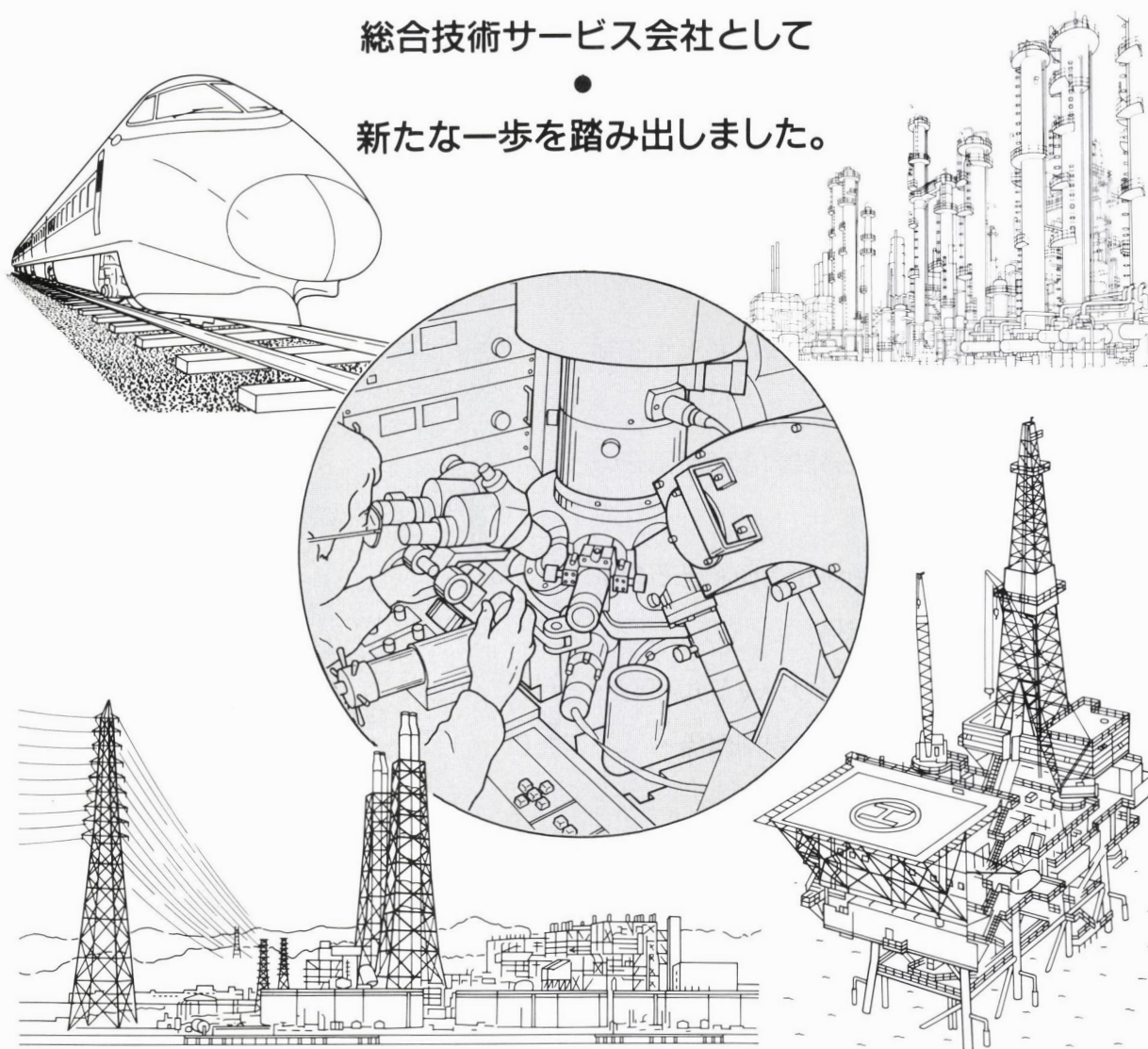
〒194 東京都町田市旭町1-6-11 コスモ・ミツイ
PHONE:0427-27-2813 TELEFAX:0427-23-0803

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



最新プロセス制御式 自動切断機 "ユニットム"

ユニットムは鉄鋼・非鉄金属からセラミックスまであらゆる材料の微細構造検査や組織検査に用いる試料の切断に使用される卓上型自動切断機です。

- 切断パラメータがマイクロプロセッサで制御されます（LC表示）
- 加圧力限界の調整による試料と切断砥石の保護
- 試料切断終了時の自動停止と切断砥石のホームポジションへの復帰
- 平行切断に用いる自動送りテーブル（厚さ・数のプログラム入力）—特別附属品—
- 切断能力：最大径 120mm
- 使用切断砥石：径 350mmまたは300mm
- 安全規格：IEC 204-1.89/392EEC

89/339ECに準拠



ユニットム資料請求票

- ☐ 詳細カタログがほしい
☐ 価格が知りたい

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

MARUMOTO 日本総代理店 **丸本工業株式會社**

本 社 〒104 東京都中央区築地二丁目12番10号 TEL 03(3546)8051
FAX 03(3546)7980
大阪営業所 〒550 大阪市西区北堀江一丁目6番5号 TEL 06(532)2661
FAX 06(532)1977

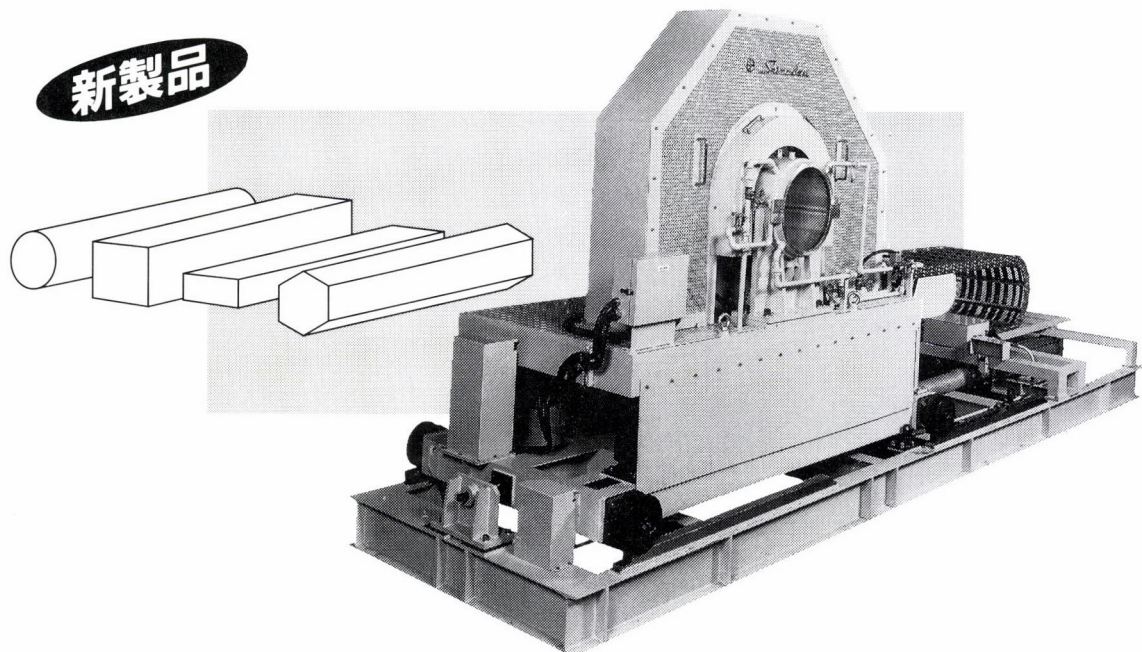
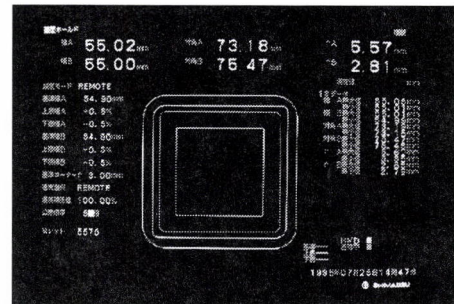
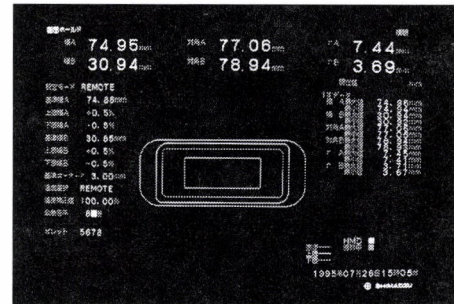
SHIMADZU

角鋼(四角, 六角, 平鋼)の圧延 工程中の省力化

島津回転式寸法測定装置

SMSシリーズ

1. 角鋼(四角, 六角, 平鋼)の対辺, 対角, コーナ
R等の寸法を圧延工程中に計測できます。
2. 熱間圧延中および冷間精整ラインに使用できます。
3. 回転方式であるため, 全長にわたり計測ができます。
4. 非接触測定のため, 被測定物に傷をつけません。



新製品

販売元

⊕ 島津メクテム株式会社

本 社 〒520-21 滋賀県大津市月輪一丁目8番1号
東京支店 〒101 東京都千代田区神田錦町二丁目9番地 大新ビル5階
大阪支店 〒532 大阪市淀川区西中島5丁目2番5号 中島第二ビル4階
名古屋営業所 〒468 名古屋市天白区塩釜口二丁目1501番地 フェイム塩釜3階

TEL. (0775) 45-8565 FAX. (0775) 45-8277
TEL. (03) 3219-5858 FAX. (03) 3293-5408
TEL. (06) 300-0017 FAX. (06) 300-0073
TEL. (052) 836-8121 FAX. (052) 836-8122

放射温度計は、いま 新世代へ！

ワイドレンジ形
新発売！

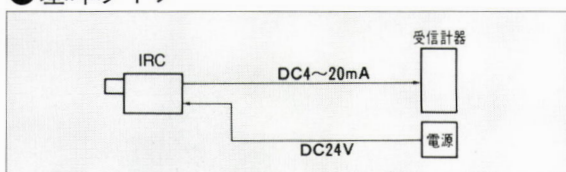


高精度、高速応答、高信頼性！

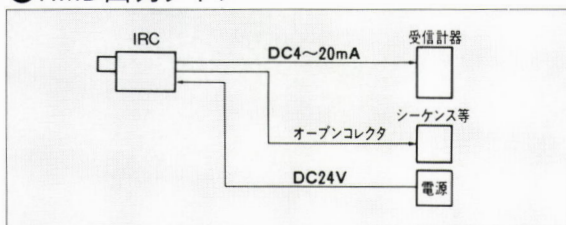
IRC 新形放射温度計 SERIES

■用途にあわせて3タイプ

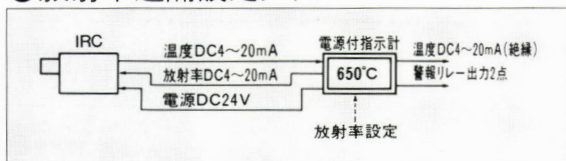
●基本タイプ



●HMD出力タイプ



●放射率遠隔設定タイプ



IRCシリーズは、高精度、高速応答の実現と、直視ファインダ、小形化など使いやすさを追求した新世代の放射温度計です。

■IRCの特長

- 標準で20ms、高速タイプで0.5msの高速応答。
- 放射率の影響が少ない高精度形。
- 可動部がないため長期信頼性に優れている。
- 測定温度範囲の広いワイドレンジ形も用意。
- 放射率遠隔設定機能や、HMD（熱塊検出器）機能、アイソレート出力など豊富なオプション。

HMD: Hot Metal Detector 鋼板などの赤熱物体が所定の場所にあるかどうかを判別する機能です

- 厳しい環境で検出器が使える豊富なアクセサリ。
- コストパフォーマンスに優れた価格。

計測技術で明日を拓く

株式会社 チー

〒173 東京都板橋区熊野町32-8 TEL.03-3956-2111(大代表)

東京支店 03(3956)2205	北部支店(大宮) 048(643)4641	大阪支店 06(385)7031	名古屋支店 052(581)7595
東京北 03(3956)2401	札幌 011(757)9141	大津 0775(26)2781	静岡 054(255)6136
東京南 03(5434)0791	仙台 022(227)0581	神戸 078(362)2130	富山 0764(41)2096
立川 0425(21)3081	新潟 025(243)2191	岡山 086(223)2651	
土浦 0298(24)6931	前橋 0272(21)6611	高松 0878(22)5531	
千葉 043(224)8371	水戸 0292(24)9151	広島 082(261)4231	
川崎 044(200)9300		福岡 092(481)1951	研修・広報部 03(3956)2449
厚木 0462(27)0551		北九州 093(531)2081	

おかげさまで50年

Chugai Ro

50th Anniversary

夢をあなたと描きたい。

廃熱回収率90%を 達成する省エネルギー バーナシステム

RCB型低Noxリジェネレーティブバーナは 英国ホットワーク社とブリティッシュガス社が共同で開発・確立した蓄熱式バーナシステムです。RCBバーナはホットワーク社がすでに欧米各国で数多くの納入実績を持ち、長期間の運転実績に基づいた低Nox・省エネルギー効果に優れたバーナです。中外炉工業はこの技術をベースに改良を加え、最も優れたシステムとして製造・販売いたします。

■特 長

1. 廃熱の90%を回収

炉から排出される廃熱の90%を超高温予熱空気として回収しますので、75%以上の熱効率の達成と65%の燃料節約が行えます。

$$\text{熱効率} = \frac{\text{燃料熱量} - \text{排出熱}}{\text{燃料熱量}}$$

2. 製品品質を向上

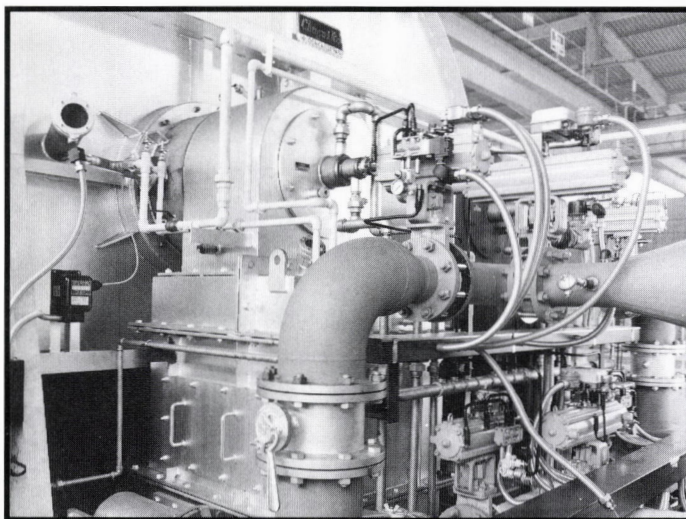
炉内温度分布を均一に保つことができるので、製品品質の安定化と向上に役立ちます。

3. あらゆる炉に使用可能

レキュベレータを取り付けることができず、廃熱回収が行えなかった設備（例えば、排ガス温度が高すぎる、排ガス成分に腐食性がある煙道ととりつけられない設備など）にも使用できます。

4. 炉をシンプル化

炉本体からの大口径高温煙道が不要となり、炉まわりをシンプルにすることができます。



RCB型低Nox リジェネレーティブバーナ

*写真はRCBバーナを装着した取鍋予熱乾燥装置

サーモテックで未来をひらく



中外炉工業株式会社

プラント事業本部

本社 〒550 大阪市西区京町堀2丁目4番7号

東京支社 〒101 東京都千代田区鍛冶町2丁目6番1号(堀内ビル)

九州支店 〒805 北九州市八幡東区山王1丁目13番8号

名古屋営業所 〒450 名古屋市中村区名駅4丁目27番20号(名古屋三井ビル南館)

TEL (06) 449-3728(直通)

TEL (03) 3254-4362(直通)

TEL (093) 671-2961(代表)

TEL (052) 561-3561(代表)



HORIBA

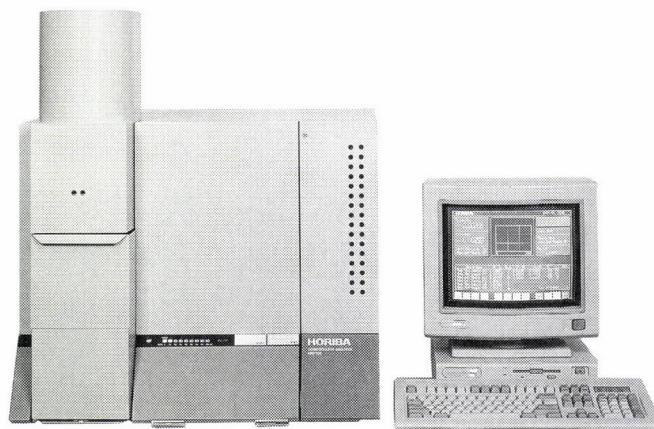
温度を制するものは、
炭素・硫黄分析を制す。

&

炭素・硫黄の正しい分析には、
「燃焼コントロール」は欠かせません。

「EMIA-820シリーズ」は、高周波誘導加熱方式ではじめて「燃焼コントロール」を実現。加熱炉での、サンプルの燃焼温度を適切な状態でキープし、ダストや未燃試料の発生をおさえ高精度な分析を行います。また、はじめ低温でサンプル表面の炭素を燃やし、その後高温で内部の炭素を分析する「2段階方式」などは、分別定量（形態別分析）への応用も可能にしています。高い燃焼温度が迅速に得られるので、鉄をはじめ様々なサンプルの分析にご使用いただける「EMIA-820シリーズ」。

私たちが待ち望んでいた微量炭素・硫黄の高精度分析、この1台が解決します。



鉄鋼・非鉄金属・新素材・セラミックスなどの品質チェックに。研究開発に。

炭素・硫黄分析装置

NEW

EMIA-820 シリーズ

- ppmレベルの微量分析から%レベルの通常分析までの超ワイドレンジ。●オートクリーナー機構(オプション)によるメンテナンスの自動・省力化。●加熱炉での指詰め防止機構など安全面の充実。●32ビットCPUと14インチCRT表示の高い操作性。

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 96.02

株式会社堀場製作所 本社 〒601 京都市南区吉祥院宮の東町2 TEL (075) 313-8121 ●東京 TEL (03) 3861-8231 ●名古屋 TEL (052) 936-5781 ●大阪 TEL (06) 390-8011 ●福岡 TEL (092) 472-5041
日製産業株式会社 ●東京 (03) 3504-7211 ●札幌 (011) 221-7241 ●仙台 (022) 264-2215 ●埼玉 (048) 653-2341 ●横浜 (0298) 23-739 ●千葉 (043) 247-4151 ●八王子 (0426) 43-0080 ●横浜 (045) 451-5151 ●厚木 (0462) 96-6831 ●新潟 (025) 241-3011
●富山 (0764) 24-3381 ●金沢 (0565) 28-5191 ●名古屋 (052) 583-5854 ●京都 (075) 241-1551 ●大阪 (06) 366-2551 ●岡山 (086) 425-1316 ●広島 (082) 221-4514 ●高松 (0878) 62-3391 ●福岡 (092) 721-3501 ●沖縄 (098) 878-1311

ふえらむ

Vol.1 (1996) No.2

C O N T E N T S

目 次

景観をつくる IRON & STEEL

- ウォーターフロントに浮かび上がるランドマーク —— 聖路加ガーデン 2
- 海に浮かぶ新しいスペース —— メガフロート 6
- 鉄は、共生する人と街を結ぶ —— ファーレ立川 8

話題のプロジェクト 実用化にむけて加速するスーパーエクスプレス 10

鉄の絶景 縦横に伸びる鉄 —— 東京 14

展 望

製造物責任法とこれに対する企業の対策

- 新日本製鐵(株)総務部法規室部長代理 唐津 恵一 17

これからの自動車車体用材料

- トヨタ自動車(株)第一材料技術部担当員 田中 淳夫 25

入門講座

鉄鋼材料編ー2 鋼の組織制御学・入門

- 住友金属工業(株)総合技術研究所顧問 西沢 泰二 32

鉄の歴史②

古代製鉄史における東と西ーある講演会でのスピーチより

- 川崎製鉄(株)顧問 村上 英之助 38

解説

戦後半世紀の製鉄技術のあゆみと将来展望

- 新日本製鐵(株)技術開発本部 今野乃光・出野 正・古牧育男 44

鉄鋼生産における計測制御システムのあゆみ

- 新日本製鐵(株)設備技術センターシステム制御技術部長 服部正志 ... 49

現場技術報告

熱風制御弁を用いた新高炉操業

- NKK京浜製鉄所 脇元一政・中村博巳・石井邦彦・大河内巖
築地秀明・下御領伸一 56

名古屋製鐵所熱延ミル粗圧延機再配置

- 新日本製鐵(株)名古屋製鐵所 麻生賀法・神田俊之・松田俊作・松井健一
新日鐵情報通信システム(株) 大場善次郎・永島秀雄 60

懸賞作文入賞作品紹介 ②

第1部(中学・高校生の部)2等賞 「鉄は人と地球の芸術品」

- 竹山梓 63

第2部(大学生・一般の部)2等賞 「アイアン・ドリーム」

- 比留間幸子 65

本会情報 69

IRON & STEEL

景観をつくる

街は、時とともにその景観を変化させ続けてきた。街の景観は、その場所を特徴づけるひとまとまりの映像として私たちの心に刻み付けられる。ある意味で、それは街の存在自体をシンボライズしたものといえよう。日本では、それまでの経済効率優先のまちづくりの反省の下に、昭和60年代ごろから都市再開発、地域開発の気運が高まった。昭和62年に建設省が「都市景観形成モデル事業」を創設したこともこのような傾向に拍車を掛け、その後、自治体が景観条例を制定して都市の個性や魅力を高めた例も多い。景観を構成する要素には、山や海などの自然と、建築物などの人工物があるが、日本の都市景観を代表するものといえれば林立する高層ビルが思い浮かぶ。これを具現化したのが建築技術や鉄鋼技術の進歩であることは周知の事実だが、これを経済効率主義の象徴と感じ取る人も多い。進歩した技術は、人間社会にどのような恩恵を与えてくれるのか。私たちを取り巻いている景観は、その一つの回答でもある。

[写真は聖路加ガーデンの夜景]

ウォーターフロントに浮かび上がるランドマーク——聖路加ガーデン

首都東京のウォーターフロント開発が進み、江戸下町の風情を漂わす隅田川周辺の景観も年々変化してきた。ここに平成6年、「聖路加ガーデン」が竣工した。以前からこの地にあった聖路加国際病院、看護大学に、新たにオフィス、住宅、ホテルなどを加えた地域開発で、この聖路加ガーデンは今後この地域での大きな核としての役割が期待されている。遠目にもそれとわかる個性的な外観。この建築は私たちに、都心の景観を改めて見直すきっかけを与えてくれる。

ライフサイエンス構想に基づいた開発計画

東京・明石町に、関東大震災後、聖路加国際病院が建て替えられたのは昭和8年のことである。以来およそ60年を経て、新しく「医・職・住・学・悠」を融合した地域再開発が進められている。再開発の検討が始まったのは昭和50年代にさかのぼる。総敷地面積約4万平方メートルの中の3つの街区に、病院、大学、礼拝堂、オフィス、住居、ホテル、スポーツ施設、商業施設などの施設が設けられ、多くの機能を盛り込んだ建築群が構成された。開発の考え方の根底には、新生児の誕生から老人のターミナルケアにいたるまで、あらゆる世代にわたって質の高い生活と医療を提供する「ライフサイエンスセンター構想」があり、聖路加国際病院の医療理念である全人医療を深め、実践していく場をつくることを目指している事業という性格を持つ。

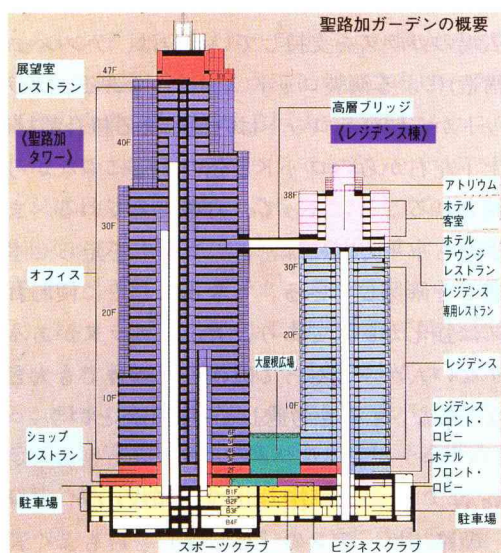
そしてこの地域の核の役割を果たすのが聖路加ガーデンである。ここには、オフィス棟であるセントルークスタワー（聖路加タワー）、先駆的なシニアケア住宅を目指す聖路加レジデンス（レジデンス棟）を中心に、各種の施設が集中している。建築としての大きな特徴は、形の似かよった大小2つの縦長のビルが高層部でつながっている、独特の外観である。ツインタワーの名が付いているビルでも、聖路加ガーデンのような方法で2つをつないだものは今までにない。ビルの風景に見慣れた東京でも、このような形をしているビルは他にない。

大屋根広場を形作るトラス構造

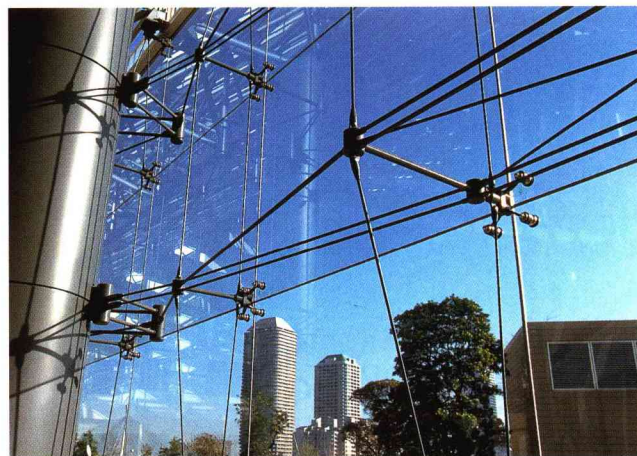
聖路加ガーデンのエントランスを入ると、光にあふれた大空間に迎えられる。これが低層部で2つのビルをつなぐ大屋根広場である。この広場は2つのビルのほか、西の病院、東の隅田川に面した位置にあり、この地域全体の軸となる存在である。この存在をアピールするために、設計時にはいろいろな角度から軸が見えるようなスペースづくりが意図された。それを実現したのが、鋼製トラス構造による大屋根である。

この大屋根は基本的に三角形を二つ並べた形でありながら、2本のタワーの大きさの違いに合わせ、複雑な多角形をしている。そしてトラス厚1,500ミリの屋根は一体化され、タワー壁面に作られたおよそ25箇所のブラケットおよび独立柱に、上から乗るように固定されている。トラスは、パイプとノード（継手部分）で三角形の連続によって構成され、濃いグレーのフッ素樹脂塗装で、十分な耐久性を確保している。

このトラスは、屋根の構造体であるだけでなく、広場全体の遮光の役割を担っている。快適な日射量を維持するため、トラスの内側には遮光板として三角形の鋼製パンチングメタルが使用された。これはトラスのパイプのピッチに合わせて取り付けられており、光を遮るとともに、適量を取り込む透過性を合わせ持っている。トラスとパンチングメタルによる遮光ならびに広場内温度分布については、コ



約100ミリ径の細いパイプと小型のノードで構成されたトラス構造にはパンチングメタルが取り付けられ、日射コントロールの機能を合わせて持っている



30ミリ、20ミリ、10ミリと太さの違う鋼製ロッドがつなぎ合わされたテンション構造で、壁面の美しさを出しながら同時に力の流れを表現している

ンピュータシミュレーションによって検討された。

また夜ともなれば、この遮光板は間接照明の反射板の役割を果たす。小さい光源で大光量が得られるハロゲンランプを柱上部に設置し、これで反射板を照らす間接照明とすることによって、全体に暖かみのある雰囲気をかもし出すことに成功した。この効果を高めるため、パンチングメタルは淡いグレーに塗装されている。

今ではとくに珍しくはなくなったトラス構造だが、大空間を作る構造物としては性能、コスト、独特の機能美の点から、そのメリットを確実に発揮する。この大屋根広場は、そこに新しく光のコントロールの機能を持たせたことが大きな特徴である。



2つのビルと独特のフォルムが特徴の聖路加ガーデン
[設計：日建設計／施工：鹿島建設・大成建設・大林組・清水建設・前田建設工業共同企業体]

ドットポイント工法で空間の見通しを確保

水平方向の見通しが良く、快適なスペースとするために、大屋根広場ではガラスの壁面にドットポイント工法を採用している。日本語では「点支持工法」とも呼ばれるこの工法は、海外では20年ほど前からヨーロッパを中心に多くの施工例があり、目的、用途に応じた各種の工法が開発されてきた。日本は温度の変化や雨の影響、また地震が多いなどの理由から導入に慎重であったが、最近では技術の進歩により、徐々に普及し始めている。

ドットポイント工法の特徴は、サッシがないことである。シールドジョイントによってすきまなく連続するガラスの壁面の上には、一枚一枚のガラスの隅のドット（支持点）がわずかに見られるだけである。大屋根広場のガラスを支持しているのは、テンション構造（張弦構造）による鋼製ロッド（棒材）である。ガラス面上のドットから伸びるロッドは内側にある接合部材につながり、上下左右からのロッドと弦のようにつながって、柱に接続されることによって、力を支えている。また鉛直方向よりも水平方向には密に、ロッドを走らせ水平方向の見通しを確保している。ちなみにここに使われているガラスは強化ガラスであり、万一、ガラスがあることに気づかない人がぶつかって破損した場合でも大きな負傷につながらないことを考慮しての採用だという。

高層ブリッジが作り出す建物のアイデンティティ

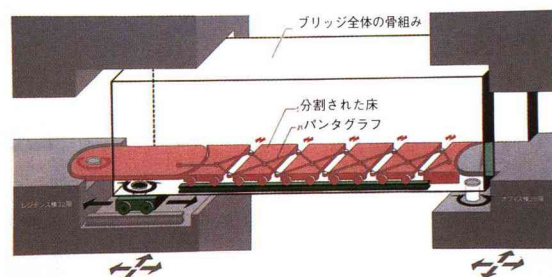
聖路加ガーデンの「らしさ」を最もよく表現している



地上110メートルの高層ブリッジは鉄骨トラスのチューブ構造



高層ブリッジの床面はパネルと櫛状の継ぎ目で伸縮できるようになっている



高層ブリッジの構造

のは、2つのビルをつなぐおよそ25メートルの高層ブリッジだろう。従来なかったこのようなブリッジを実現するには、いくつかの課題を解決しなければならなかった。大きな問題となったのはビルの横揺れの問題である。大地震によるビルの横揺れは、一般に高さの100分の1程度とされており、高さ100メートルのビルならば1メートルの横揺れがあることになる。2つのビルなら横揺れは2倍の2メートル、しかも揺れは全方向に起こる。ブリッジの高さは110メートル。そこで2つのビル間隔が最大プラスマイナス2メートル伸縮することに対して、どの方向への揺れにも対応できるようなブリッジが設計されることになった。実際には、ブリッジ本体を鉄骨トラスのチューブとし、ブリッジの下部は、聖路加タワー側はピンで止めて回転するように、一方のレジデンス側はローラーにより最大プラスマイナス2メートル伸縮できるようにした。このローラー部には鉄道車両の台車にも相当する巨大で精密なメカニズムが導入された。まさに動くブリッジである。

このブリッジは日常的に人がここを渡るだけでなく、万一の場合は2本のタワー間の避難路ともなる。したがって室内にも、安全に「可動」するメカニズムが求められた。床は、10枚のパネルとそれをつなぐ櫛状の継ぎ目が交互に並んでおり、それぞれのパネルの下はパンタグラフでつながっている。つまり外側のブリッジの変位をパンタグラフで受け、それを均等に分割して床パネルに伝える構造なのである。櫛状の継ぎ目はステンレス製で、ちょうどエスカレーターの一段一段がつながっているように両側から重な

り合っている。また手すりもステンレス製で、重なり部分が滑らかに動くよう、接触面にテフロン加工が施されている。

聖路加ガーデンの竣工後、台風の時に実際にこのブリッジの変位が計測されたが、わずかに2〜3ミリしか動かなかったという。しかし、東京湾に近く、周囲からの強風を直接受けるこの地では、設計上、十分な余裕が必要である。大地震を思えばさらに余裕を持たねばならない。長さ25メートルのブリッジは、細いながらも抜群の信頼感とビルアイデンティティの象徴なのである。

隅田川の流れにその偉容を映す聖路加ガーデン。夜には、内側からの間接照明によってその構造を鮮やかに浮かび上がらせる。最近盛んな建物を外から照らすライトアップとはまた違った趣だ。

一方、47階、地上190メートルのところにあるスカイレストランからは都心が一望でき、天気の良い日は遠く房総半島や富士山までが見えるという。このように建物の外からの景観だけでなく、中からのビューも見人々に新鮮な驚きを与えてくれる。

人々は、聖路加ガーデンの独特のフォルムが作り出す景観から何かを期待し、また刻々と変化する都心の景観を再認識する。そして鮮やかな残像は、いつまでも人々の心に刻みこまれる。景観の中のランドマークの役割とは、そういうものなのかも知れない。

【取材協力：エスエルタワーズ、日建設計】
【写真協力：篠澤建築写真事務所】

海に浮かぶ新しいスペース —— メガフロート

海洋のスペース・クリエーション

日本は、国土が狭く、平野部が少ない。一方、200海里の経済水域で考えると、世界で7番目の領海を持つ国となるという。このような理由から海洋開発の必要性は、以前から叫ばれてきた。

海洋開発の中でも、古くから行われてきたのは沿岸開発である。この沿岸を開発する事業は埋め立て事業であって、神戸ポートアイランドのような人工島など、今でも日本全国にその事例を見ることができる。およそ34,000キロにおよぶ日本の海岸線のうち、すでにこのうちの半分は工業地帯、港湾、漁業関係などの目的で利用されている。

将来的な開発の規模を考え、現在検討が進んでいるのが、沿岸に止まらずさらに広い海上空間の有効利用である。日本の沿岸で水深20メートル未満の海域は約3万平方キロある。さらに水深100メートルまでの海域を加えると、その面積は16万平方キロまで広がる。日本の面積は38万平方キロなので、その40パーセント以上の面積の海域が、海洋開発のフィールドとしてとらえられているのである。

海洋開発の手段として最も一般的なのは埋め立てである。ところが埋め立ては、地盤や水深などの条件によって技術的に不可能な場合がある。そこで、埋め立てに変わり、新しいスペースを作る方法として考えられたのが超大型浮体式海洋構造物（メガフロート）なのだ。

造船・鉄鋼の最新技術を集めたメガフロート

メガフロートとは「巨大な浮体物」の意味の造語で、最近この分野での検討が進むにつれて誕生してきたことばである。その姿は、海の上にある平らな浮き島をイメージすればよいが、そこには多くのすぐれた特長がある。

1.水深に関係なく海域を利用できる。

- 2.海面上昇や大きい干満差にも容易に対応できる。
- 3.地震の影響が少ない。
- 4.浮体建造工事と現地工事が同時並行で行えるため、短工期での施工が可能である。
- 5.自然環境への影響が少ない。
- 6.浮体自体が消波機能を有するため、背後に静穏な海域を作り出すことができる。

平成5年、運輸省は「新時代を担う船舶技術開発のあり方について」を取りまとめ、重要技術課題の選定とその推進方策について答申した。この答申をふまえ、超大型浮体式海洋構造物の研究開発の円滑な推進が図られることとなった。そして、これを実現するための技術課題の各種研究や実証実験を通じて解決するために、平成7年、造船・鉄鋼両業界が協力しメガフロート技術研究組合が設立された。

組合での研究の特徴は、大型浮体モデルを実際に海上で建造してみる洋上施工技術の実験・研究と、このモデルを用いた浮体設計技術、環境影響評価技術などの実験を実際に検証、研究することである。つまり、構造物を陸上で製作した後、実際に構造物がおかれるのと同じ海上で接合するのである。これまでも改造船の工事などで海上での接合工事は行われてきたが、メガフロートの場合、規模が大きく、しかも次々に大量に接合作業を行わなければならない。そのため、多少波があるような状況でも、安全、迅速、高品質、しかも経済的な接合技術の確立が不可欠なのである。

期待される海上空港への応用

浮体モデルの接合実験は平成7年から8年にわたって行われる。まず平成7年度には、長さ100メートル、幅20メートル、深さ2メートルの箱方の浮体ユニットを製作し、それを海上で接合する実験を行うことになった。

11月13日、神奈川県横須賀市。初めての公開実験の日

メガフロート技術研究組合の全体計画概要

平成7年度	平成8年度	平成9年度
各種基礎研究・各種プログラムの開発 実証試験計測装置の開発・第一次接合実験	各種基礎研究(続き)・実証実験によるプログラム改良・各種実験装置の開発(続き)・ 第2次接合実験・実証試験計測装置の開発・ 第一次接合実験	各種基礎研究・各種プログラムの開発 実証試験計測装置の開発・第一次接合実験
建造 100m x 20m x 2m 4基 → 接合実験 200m x 40m x 2m	実証実験 100m x 20m x 2m 5基 → 建造 300m x 60m x 2m	接合実験 実証実験



メガフロート技術の活用が期待される海上空港（完成イメージ）

複合物流基地
（完成イメージ）

である。まず海上では、すでに接合されている3基のユニットと接合する1基にワイヤーロープを掛け、ウインチによる引き寄せが行われた。さらにジャッキで引き寄せ、最終的に接合の位置まで移動する。ユニット下部は、相互に動かないようにあらかじめ設けられたパイプの中にP C鋼線を貫通させ、これを締めていくことにより固定を完了する。この方法によって波高50センチの中でも接合できる技術がすでに開発されている。造船技術の基本は溶接と流体力学だといわれるが、もちろん鉄鋼業界でも長年にわたる溶接技術のノウハウが蓄積されている。今回の実験では、それがどのようにメガフロートに生かされるかが披露されたことになる。この日はデモンストレーションの意味もあり、仮止め溶接までが行われた。実際に溶接が完了するまでには、数日が必要とのことである。

さらに来年度はユニットを9基に増やし、全長300メートルにも及ぶ大型のモデルを完成させ、より実用化に近い規模での各種研究を行う予定となっている。

3年間にわたるメガフロート技術研究組合の研究の後、

この成果はどう生かされるのだろうか。

有望視されるのは海上空港への利用である。航空輸送の重要性が増し、日本では空港の整備が急務となっている。しかし、都市周辺に大規模空港を建設するのは用地確保、騒音公害、アクセスの利便性などの点からきわめて難しい。そこで、都市の沖合に浮体式の海上空港を建設しようというのである。

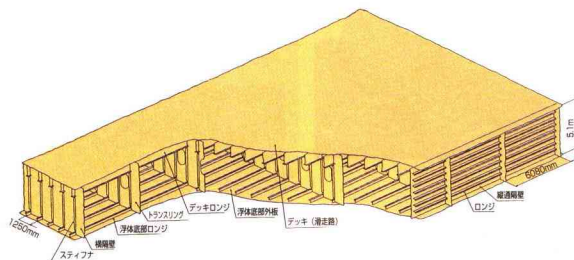
このほか、海上物流基地、旅客ターミナルなどのほか、公共施設、水産施設、発電プラント、レジャー施設などでも、将来的にメガフロートが利用される可能性は高い。メガフロートの実現は、沿岸の景観を新しくするだけでなく、将来的に日本の都市そのものの代表的な景観となる可能性を秘めている。

関連記事：本誌Vol.1No.1「浮体式海上空港の実現を目指して」

〔写真提供／取材協力：メガフロート技術研究組合〕



横須賀沖で接合実験中のユニット



ユニットの概要

鉄は、共生する人と街を結ぶ パブリックアートの新しい潮流を「ファーレ立川」に見る

アートが美術館やギャラリーから飛び出し、都市や社会と接点を持つ“パブリックアート”。

1980年代にアメリカから導入されたこの概念は、これまで都市計画において産業や経済の効率を優先してきた日本でも、これから積極的に導入が図られようとしている。

そうしたムーブメントのあり方と、その中で鉄やステンレスが果たしている役割について、1994年10月にオープンしたパブリックアート・エリア「ファーレ立川」を採りあげてみた。



JR立川駅方面より「ファーレ立川」を望む

日本や広範な諸外国から92名、 109の作品が存在するエリア

J R 立川駅北口から歩いて約5分ほど。そこから「ファーレ立川」は始まる。東京都と立川市から委嘱を受けた住宅・都市整備公団が、旧立川基地後の国有地を主に民有地を合わせた5.9haの土地を再開発したものだ。高さが統一され、壁面のパターンや色彩にも共通性を持たせた、デパート、ホテル、映画館、オフィスなどの建物が、歩行者用

デッキで巧みにつなが合わされている。

イタリア語の“創造する”＝“F A R E T”から命名されたこのエリアには、日本人43人をはじめ、ヨーロッパ、アメリカ、アジア、アフリカの広範な諸外国から49人、計92名のアーティストの手による109の作品が、さりげなくたたずむように存在している。それは展示ではなく、まさに存在という形容がふさわしいほど都市空間と一体となっている。



①青木野枝（日本）
「換気塔」（スチール）



②エステル・アルバルダネ（スペイン）
「タチカワの女たち」（スチール）

④ゲオルギー・チャブカノフ（ブルガリア）
「道祖神（立川の動物たちー羊）」
（スチール）



③ジョナサン・ボロフスキー（アメリカ）
「ブリーフケースをもった男」（スチール）

デパートの前には、フランスのジャン・ピエール・レイノーによる高さ5 mもの赤い巨大な植木鉢を置いた「鉱物の庭」があり、その傍らの駐輪場の上方には、アメリカの巨匠ロバート・ラウシェンバーグの手によるステンレスの枠組みにネオン管を配した自転車がガラス箱に収まりながら、夜は駐輪場サインの役目を果たしている。また、そのすぐ近くには、フランスの女性作家ニキ・ド・サンファルの蛇をモチーフにした極彩色のベンチや、ナイジェリアのサンデー・ジャック・アクパンの鮮やかに彩色された彫刻が並ぶ。

この「ファーレ立川」のパブリックアート計画は、アートディレクターである北川フラム氏が代表を務める、アート・フロント・ギャラリーのプランがコンペにより採用された。北川氏は計画に当たるに際し、都市に『森』を創造することを基本的な考えに3つのコンセプトを立てたという。

1つ目は「世界を映す街」。そのために、可能な限り多くの国のアーティストに参加を呼びかけるとともに、すでに実績のあるアーティストはもちろん、従来の枠にこだわらないコンセプト、素材、技法を求めるという方針のもと、ここから巣立っていくような中堅や若手層も多く起用したとのことである。2つ目は「ファンクション（機能）をフィクション（アート）に」結びつけるということ。109の作品のうちその8割は、ビルの外壁・排気塔などの機能的な部分や、各種掲示板などのサインや道しるべ、歩道の車止めや街灯などといった、都市と人間の双方に必要不可欠な役割を与えられている。

最後の3つ目は、「驚きと発見の街」。個々の作品のほとんどは、見るだけでなく、触って感じてもらうためにヒューマンスケールで製作されており、また、作品との直接の出会いを大切にしてもらうために、基本的にアーティスト名やタイトルなどを記したプレートはつけられてはいない。

人間の友達としてのアート。

鉄の持つ柔らかさはその理念に通じる

北川氏にプランニングの過程や完成までのストーリー、さらに、これからのパブリックアートでの、鉄の可能性についてお話をうかがった。

北川氏は語る。

「私がまず意図したのは、人間の友達としてのアートです。これまでのパブリックアートは、モニュメンタルで威圧的なものがほとんどでした。しかも、その材質も、メンテナンスを考え、石とステンレスに限られていたのです。今回は、結果的に、鉄を使ったものが多くなりました。加工したものもあれば、サビを生かした生身の鉄むき出しのものもあります。私はこれにより、表現の幅が非常に広がったと思っています。特に鉄の持つ柔らかさは、人間の精神や生活への接近を感じさせます。これは、都市に『森』を創造するという基本理念や3つのコンセプトにも通じるのです。そして、これから求められるであろう、“生きている実感のするアート”というものにも、鉄はとても魅力ある素材だと思うのです」

古来より人間は鉄を使って文明を切り拓き、文明は文化を生み育んできた。しかし、その一方でこれまでの文明や文化に対する見直しの気運が高まっている事実も否定することはできない。北川氏は、そのプランになぞらえて自らを“森の番人”だと称した。「ファーレ立川」の試みは、『森』から離れ都市化することで発展してきた従来の流れとは異なり、等身大のアートという媒介を通して『森』と共生する、これからの人と街のあり方への方向性を指し示している。

⑤ アニッシュ・カプーア (インド)
「山」(アイアン)



⑦ 伊藤 誠 (日本)
「換気口」(スチール)



⑥ 柳 健司 (日本)
「笠木」(ステンレス、ネオンチューブ)

⑧ タデウス・ミスロウスキー (ポーランド)
「車止め」(スチール)



[写真協力: ①～⑧ 安斎重男]

話題の
PROJECT
プロジェクト

超電導浮上式
リニアモーターカー



実用化にむけて加速する スーパーエクスプレス

最先端の開発プロジェクトにスポットをあてるこのコーナー。
第一弾は、次世代超特急・リニアモーターカーだ。
時速 500km、東京ー大阪間をわずか1時間でむすぶ壮大な計画。
宮崎から山梨へ実験の舞台が移され、去年は新型車両も登場した。
日本の技術と英知が結集された夢のスーパーエクスプレスは、
いま、実用化をめざして新たなスタートをきろうとしている。



山梨リニア実験線の車両基地で公開された
新型実験車両「MLX01」

マグレブ、テイクオフ！

浮上して走る超特急の開発——この夢のようなビッグプロジェクトがスタートしたのは1962年、東海道新幹線が開業する2年前のことである。当時の国鉄技術陣は、レールと鉄車輪による従来方式ではスピードアップに限界があるとし、リニアモーター推進浮上式という、まったく新しい走行システムの開発に着手したのだった。

その浮上方式からマグレブ（Magnetic Levitation／磁気浮上）と名づけられたリニアモーターカーは、開発から10年目にして公開浮上走行に成功。79年には実験車両「ML-500」が宮崎県日向市の実験線で、世界記録となる時速517kmを達成した。

87年、国鉄の民営化により研究開発が（財）鉄道総合技術研究所〔以下、JR総研〕に継承された。しかし、リニアモーターカー開発への情熱は薄れることはなく、同じ年、2両編成の「MLU001」が時速400.8kmの有人走行に成功する。車両の性能向上とともに、軌道のガイドウェイも逆T字型からU字型、さらに側壁浮上方式へと改良が重ねられていった。

91年、「MLU002」が実験中に車両火災事故を起こすが、94年にはそんなアクシデントをはねのけるように、「MLU002N」が431kmの高速走行を達成。翌年には411kmの有人走行にも成功し、マグレブの基本性能を確認する宮崎での実験計画は大詰めをむかえた。

長年にわたり実績を積み上げてきた車両開発。その一方では、新しい実験線建設の準備も着々と進められていた。北海道、山梨、宮崎の3つの候補地のなかから、89年、山梨リニア実験線が運輸省の承認を得た。将来、営業路線となるであろう山梨リニア実験線の実現で、リニアモーターカーの開発はいよいよ第2ステージへ突入したのである。

待望の新型リニア実験車両が登場

「時速500kmで走行し、東京と大阪がたったの1時間でむすばれる！」山梨リニア実験線の建設が決まったころは、こんな「中央リニア構想」がマスコミにぎわせた。そしていま“構想”は“実用化”という、より現実味のある言葉に置き変わり、メディアの注目は山梨リニア実験線に集まっている。

昨年9月25日には、山梨県都留市の車両基地において、待望の新型実験車両が報道関係者に公開された。

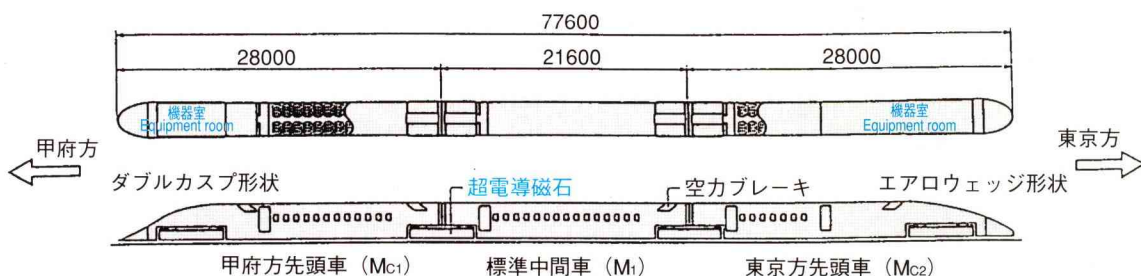
「MLX01」と名づけられたこの車両は、オイスターホワイトの車体にネイビーブルーのラインがあしらわれ、21世紀の超高速鉄道のイメージにふさわしい未来感覚あふれるデザインとなっている。流線形の美しいフォルムは、まるでテイクオフの瞬間を待つ飛行機のような。



ダブルカusp形状の甲府方先頭車



エアロウエッジ形状の東京方先頭車



■実験車両「MLX01」概観図

J R総研とJ R東海によって開発された「MLX01」は、中間車を含む全長77.6mの3両編成。両サイドの先頭車両は、東京寄りがくさび状のエアロウエッジ形状に、甲府寄りが水鳥のくちばしに似たダブルカusp形状になっている。

この先頭形状は、時速550kmの高速走行に際して、空気抵抗や音の低減と走行安定性の確保など、空力性能向上に主眼をおいて設計されている。とくにポイントになったのが、トンネル区間での走行だ。列車が高速でトンネル内に突入すると、トンネル内部の空気が圧縮されて“ドン”という大きな衝撃音が出口側で発生する。さらに、圧縮された空気が逆流し、その影響で車体が振動したり、圧力変動によって耳がツンとなるなどの現象を引き起こす。このような問題を解消するためには、列車がトンネルに突入するときの空気抵抗をできる限り低減させる必要がある。そこで、模型による風洞試験や数値解析を行い、空気抵抗の少ない理想的な先頭形状として、この2つのタイプの先頭車が誕生したわけである。また、車両だけでなく、トンネルの入り口に緩衝口という穴をあけ、圧縮された空気をそこから逃がすなどの工夫も凝らされているという。

今後、この2タイプの先頭車は、山梨リニア実験線の約80%を占めるトンネル区間において、その効果が試されることになる。

軽量化と気密性が追求された車体

車体は、航空機と同じようにアルミ合金製のセミモノコック構造が採用され、軽量化と同時にトンネル走行時の気密荷重に十分耐えられる構造になっている。

とくに浮上走行するリニアモーターカーにとって、車体の軽量化は絶対条件。車体のアルミ化のほかにも車両内の情報伝送に光ファイバーが多用され、機器を含めて徹底した軽量化が果たされている。これにより定員乗車時を想定した重量は、先頭車30トン、中間車20トン。新幹線「のぞみ」の約40%に相当する軽さを実現した。

また天井を除いた車体外周には、超電導磁石の磁界と客室内部とを遮断するために磁気シールド材が使用されている。この磁気シールド材は純鉄製で、1車両あたりの重さは約1.5トン。徹底した軽量化をめざすリニアモーターカーにとって、この重量はけっして軽いとはいえないが、磁界から客室を保護するうえで欠くことのできない材料となっている。

超電導磁石の影響を低減するための配慮は、その設置位置にも見ることができる。台車に取り付けられた超電導磁石は、各車両間と先頭車の側面の計4ヵ所、客室からできるだけ離れた場所に配置されているのだ。

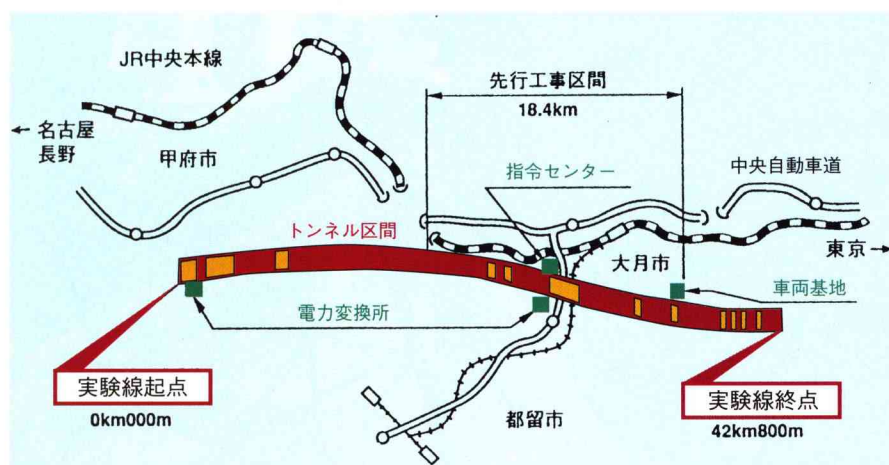
リニアモーターカーの心臓部であるこの超電導磁石は、磁界を発生させ、軌道に相当するガイドウェイに取り付けられた推進コイルから推進力を、浮上・案内コイルから浮上力と案内力を受けて、車両を超高速で浮上走行さ



山梨リニア実験線は約80%がトンネル区間



指令センター



車両基地



電力変換所

せる役割を担っている。(浮上・推進メカニズムの詳細は、本誌Vol.1No.1『浮上式鉄道の開発状況』をご覧ください)

一方、車両内部は床から天井まで高さ2.1m。まるで旅客機のYS11にも似たコンパクトな室内である。先頭車には通路をはさんで2人がけシートが左右2列に並んでいる。きたる有人試験走行に備えて設置されたものだ。一日も早くこのシートに座って、リニアモーターカーの乗り心地を体感してみたいものである。

急ピッチで建設が進む山梨リニア実験線

超電導磁石を搭載するリニアモーターカーの世界では、アルミニウムや合成樹脂などの非磁性材料が主役だが、ガイドウェイや橋梁などのインフラ部分には、やはり数多くの鉄鋼材料が使用されている。

なかでも特筆すべき用途は、ガイドウェイの両側に位置するガイドウェイの骨組みだ。骨組みには鉄筋が使用されているが、宮崎実験線で、超電導磁石を搭載したリニアモーターカーが高速で通過するとき、格子状に組まれた鉄筋にループ電流が発生し、走行に微妙な影響を及ぼすことがわかった。そこで、鉄筋には低磁性鋼が使用され、さらに鉄筋同士のジョイント部には通常のなまし鉄線ではなく、ビニール被覆線が使われ、ループ電流の発生を防いでいる。

このように基礎工事のレベルから細心の注意が求められるガイドウェイの建設は、いま急ピッチで進行中だ。

実験線は総延長42.8kmで計画されており、このうち先行工事区間として山梨県都留市付近の18.4km区間の建設が進められている。トンネルや路盤などの工事は大半が終了しており、今後は軌道コイルの設置工事などが本格化していく。

宮崎実験線では、リニアモーターカーの基本的な性能が確認されたが、今後は実用化を前提に、速度向上試験をはじめとする各種走行実験が行われる。7kmの直線コースで勾配もほとんどない宮崎実験線に比べ、山梨リニア実験線はカーブはもちろん、トンネルや最大40%もの勾配があり、宮崎実験線ではできなかったさまざまな走行実験が可能だという。近いうちに4両編成の実験車両も新たに製造され、車両同士のすれちがいテストも実施される。走行実験は1997年春からスタートし、99年度中には実用化の最終的な目途をつけるという。

「ML100」によって初の浮上走行に成功してから20余年。将来は営業路線になるであろう山梨リニア実験線に待望の新型リニア車両「MLX01」が登場したことで、JRマグレブは、実用化にむけて大きな一歩を踏み出したことになる。山間のガイドウェイを超高速で疾走するリニアモーターカーの勇姿が見られるのはもうすぐだ。

[取材協力/写真提供 (財)鉄道総合技術研究所]



Steel Landscape.

縦横に伸びる鉄
東京

伸

びつづける鉄、縦横に、高く、長く。

世界でもっとも高い自立鉄塔、

東京タワー。そして、日本全国を網羅する鉄道。

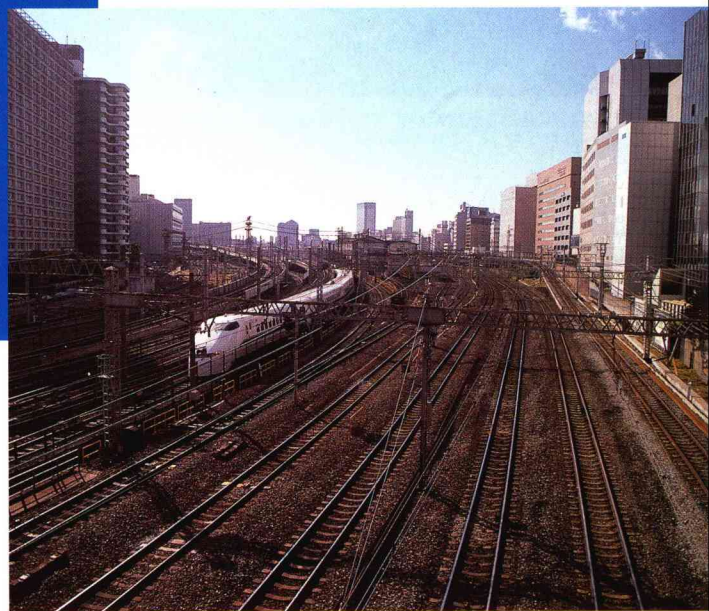
今回は、その誕生の経緯を、

東京に追ってみる。

自立鉄塔として高さ世界一を誇る、東京のランドマーク。

「塔」の歴史は古く、古代エジプト王朝時代のオベリスク、日本では飛鳥時代の法隆寺五重塔などが、現存する最古のものであるとされている。権威、信仰の象徴として、また高所をめざしたいという人間の欲求を満たすものとして、建設が重ねられてきた。旧約聖書「創世記」にはバベルの塔の記述がある。そこでは、神に成り代わろうとして人々は天に届くような塔を築こうとする。神は怒り、それまで一つであった人間の言語を分化してしまう、それにより現在のようにさまざまな国の言葉が生まれたとされる。

昭和2年、「イ」の文字が日本ではじめての映像電波としてブラウン管に伝送され、映し出された。そこから大戦を挟んで、NHKが本放送を開始したのは昭和28年のこと。テレビ放送は、1日4時間、受信契約数866台ではじまった。当時の受像機の値段は1インチ1万円といわれ、大卒の初任給8千円に対して1台約20万円という高価なものだった。やがてテレビは力道山やプロ野球を映しだし、街頭に人だかりをつくり、昭和30年代に入るとはやくも一般家庭に普及をはじめた。放送開始以来5年、受信契約数が100万台に達した昭和33年の12月に、世界最高の自立鉄塔、東京タワーが完成する。高さ333メートル。当時の朝日新聞の見出しには「日本アルプスも



東京都心を縦横に駆ける鉄道（JR田町駅付近）

一望」の文字が躍る。総工費28億円、延べ作業人員は20万人。重量は4千トンであり、エッフェル塔（320メートル）の6割にも満たない。これは鋼材と建築技術の進歩の証明でもあった。新聞の紹介記事には「展望台までの120メートルを1分間であがる快速エレベーターが自慢だそうだ。あまり早いので目を回してはいけないとブラインドをつけてある」とある。現在では、地上150メートルに位置する大展望台の上方、地上250メートルに特別展望台も設けられている。数年前には照明デザイナーの石井幹子氏の手によるライトアップも施され、東京の夜の景観を、冬は暖かく、夏は涼しげに演出する。

NHKや民放局の放送波をはじめ、FMラジオ、移動通信など、あらゆる種類の電波がここから送り出されており、市民への映像・音声情報の発信は東京タワーなしには成り立たない。東京上空には目には見えない電波という名の「情報」が飛び交っている。東京タワーの巨大さは、目に見えない情報の、その量のおびただしさの象徴でもあるといえるだろう。



写真は現在の新橋駅前広場のSL機関車。開通時に機関車1号となったのは、英国のバルカン・ファウンドリー社製で、東京・神田の「交通博物館」に保存されている。これは阿川弘之「きかんしゃやえもん」のモデルになった。

鉄道とともに、「文明」は日本を駆け抜けていった。

1853年、ペリー来航のとき、彼の手土産の中に、当時の将軍家にとってきわめて興味深いものがあった。蒸気車の模型である。模型といっても一車両につき3メートル近い大きなもので、実際に動かすこともできた。横浜の海岸に設けられたペリー応接室で試運転も行なわれ、羽織り袴の侍がまたがって乗ってみせたという話も伝わっている。米国に大陸横断が完成したばかりの頃。鉄道は近代文明の象徴であり、これを目の当たりにした当時の日本人の驚きは察するに難くない。

明治5年、新橋（汐留貨物駅跡地）と横浜（現在の桜木町駅）を結ぶ鉄道が開通した。途中停車駅は、品川、川崎、鶴見、神奈川の4駅。1日9往復で、路線延長29キロを53分で結び、東京から見た場合、横浜は日帰り対象圏内となった。とはいっても、その乗車賃は、労働者の賃金が1日約20銭の時代に上等で約1円、下等でも30銭以上と高額であった。

線路の幅は1067mmが採用されたが、これは現在でも国内の標準ゲージ（軌間）となっている。欧米での標準は1435mm。ゲージは広い方が、速度をあげられるし輸送量もアップする。現在、新幹線などでは欧米標準を取り入れているが、当時の狭いゲージの採用が、この後の日本の鉄道輸送に大きな影響を与

えたことはいうまでもない。

下等の車内は5人掛け6列のごぎ敷きベンチが配置され、1車両定員30人。照明は石油ランプで、ドアの鍵は発車のときに外から掛けられた。車内に乗り込むときに履物を脱ぐ人も多く、下車の際になって履物がないと騒いだりもしたという。また、「公共」の観念に不馴れなために、列車内で大声を出す、肌脱ぎになったりと勝手気ままな行為も多かった。なにしろ、見も知らぬだれかと同じ乗り物に同乗し移動するなどという経験はそれまでになかったのだから。これらの反公共的な行為に対してはきびしい罰金が設けられた。窓から用を足して十円の罰金を支払った例もあるという。

当時の物価と比較してきわめて高額なこの罰金。世界に通用する公共性、常識を国民に学ばせることで、はやく「文明国」の仲間入りをしたかったという、日本政府の焦りにも似た願望が、そこには現れている。こうして日本人は文明へと向けて、鉄道とともに走りはじめたのだ。

現在の新橋駅前広場になっており、人々は喧騒に紛れて行き交う。この見慣れた都会の風景の中に、まだ日本人があまりにも「日本的」であった古き良き時代の面影を見つけることはできない。

[写真／岡島善文]



展望

製造物責任法とこれに対する企業の対策

唐津恵一

新日本製鐵（株）総務部法規室 部長代理

Keiichi Karatsu

The Product Liability Law and the Manufacturer's Countermeasure Therefor

1 製造物責任とは

製造物責任（英語でProduct Liabilityというので、以下略して「PL」という。）とは、製品に不具合（「欠陥」）があったために他人の身体や財産に損害を与えた場合に、当該製品の製造者が、被害者と直接の契約関係にあるとなかろうと、被害者に対して賠償責任を負うことである。例えば、カラーテレビに欠陥があり、この欠陥が原因で火災が発生し火傷を負うとともに家屋が焼失した場合に、当該テレビを製造したメーカーが被害者に対して負う責任である。この場合、被害者は当該テレビを購入した電器屋（小売店）の責任を追及することもできるが、この電器屋の責任はPLではなく、売り主としての責任（「契約責任」）であり、責任の要件や内容がPLとは異なってくる。

我が国では従来から民法という法律（その中の不法行為法—例えば車に跳ねられた場合に被害者が運転手に賠償責任を求める根拠となる法規でこれに基づく責任を「不法行為責任」という。）でPLの存否を判断してきたが、民法上PLが成立するためには、製品に欠陥が存在しその欠陥の存在について製造者に落ち度（「過失」）があることを被害者は証明しなければならなかった¹。ところが、製造技術の高度化・複雑化の進展により製造者の過失を被害者が証明することが困難になってきており裁判が長期化するとし、被害者の証明負担を軽減する観点から、PLの要件を主観的な「故意・過失」要件（「過失責任」）から客観的な「欠陥」要件（「無過失責任」）に転換する立法化の検討が1970年代からなされてきた。1994年6月に成立し、1995年7月1日から施行されている「製造物責任法」²（「PL法」）

は、この被害者の証明負担の軽減を図った法律である。次に、PL法が成立するまでの経緯を、国内での事例や欧米の動きの紹介を含めて説明することとする。

2 PL法立法の経緯

我が国における欠陥製品による大規模被害の最初の事件は1955年に発生した森永ひ素ミルク事件³である。この事件は、その後1975年によく和解で決着がつくこととなったが、この事件発生以降、スモン事件⁴、サリドマイド事件⁵、カネミ油症事件⁶、等の大規模被害事件が発生し、その決着まで相当の時間をかけてきた。その後1980年代に入って、製品の品質管理の思想や技術の高まり、行政による安全規制の強化等の影響もあり、製品の欠陥による大規模被害の発生は幾分鎮静化してきたが、上記の欠陥製品による大規模被害の発生を契機として1980年代に法律学者の研究会がPL責任を製造者の無過失責任とすることを含む「製造物責任法要綱試案」を発表した。これを皮切りに国民生活審議会等を中心に立法化の動きが始まり、特に後に述べるように1985年にEC指令に基づくPL法がヨーロッパ諸国に広がるにいたると我が国でも早期立法を求める動きが活発となり、各種の政府審議会や各政党などでも議論され多くの答申や報告が発表されることとなった。その結果ついに1994年6月に国会に上程され6月22日に可決、7月1日に公布され、1995年7月1日に施行されることとなったのである。

1. 民法第709条【不法行為の一般的要件・効果】故意又は過失に因りて他人の権利を侵害したる者は之に因りて生じたる損害を賠償する責に任ず
2. 平成6年法律第85号

3. 乳児用ドライミルクにひ素が混入していたため、これを飲用した乳児がひ素中毒にかかったもので、被害者約1万3千名、死者約130名に達した。森永乳業が被害児の恒久救済事業を行うことで和解成立。

4. 医薬品キノホルムの副作用としてスモン症が発症した。患者数推定約1万1千名、全国32地裁にて原告約6千名が国・製薬会社を相手に提訴した。一部和解したがほとんどが原告勝訴。

5. 睡眠薬サリドマイドにより四肢短縮症児が多発した。被害児約1400名。補償金支払い及び福祉事業を行うことで和解。

6. 米ぬか油にPCBが混入し、摂取者に有機塩素中毒が発生。患者数約1万3千名。原告がほぼ勝訴。

3 アメリカのPL法

アメリカには全国統一の連邦法としてのPL法は存在せず、各州の州法で規制されており、また州法でもPL法という法律はなく、我が国の民法と同様に、私人間の権利・義務に一般的に適用される契約法及び不法行為法(torts)の法理（必ずしも成文化された法律があるわけではない。）をPLにも適用してきた。各州によって若干のばらつきはあるものの全体的な傾向はほぼ同様であるので、以下アメリカ全体の一般的な傾向について述べることにする。

アメリカでは今世紀の早い時期から欠陥製品による事故に対して契約責任を契約当事者関係(privity)にない被害者にも適用することが一般的となっていたが、この場合でも製造者の過失の存在が要件となっていた。その後、1960年に契約上保証責任（明示的であれ黙示的であれ）を負う場合には、製造者はその製造した欠陥製品により被害を被った者に対し、当該被害者が契約当事者関係(privity)になくても無過失責任を負うとの判決が出され、更にこれにつづいて1963年には、保証責任があろうとなかろうと欠陥製品を市場の流通に置いた結果被害が生じた場合には、過失の有無にかかわらず製造者は責任を負うべきであるとの判決（グリーンマン事件⁷⁾）が出た。この最後の判決で認められた責任を厳格責任(strict liability)と言い、その後1965年に不法行為法リステイトメント⁸⁾(Restatement of Torts)で採択されその後のPL訴訟の急増につながった。

上記の厳格責任の導入と、①人身損害訴訟の場合の懲罰的損害賠償(punitive damages)制度の存在②弁護士成功報酬(contingent fee)制度の慣行③欠陥の存在や損害額等の事実の陪審(jury)による認定などのアメリカ特有の司法制度があいまって1970年代以降PL訴訟件数・賠償件数の増加、賠償金額の高騰、PL保険料の大幅引き上げ等から企業を震撼させるいわゆる「PL危機」が発生し深刻な問題となった。また多額の賠償金に耐えられず倒産する企業が多発し、場合によっては業界自体がアメリカから撤退し他国に逃避するなどアメリカの産業に与える影響は甚大なものとなった。

このような危機的状況に対応し、1970年代末から政府や共和党議員から何度も連邦レベルにおけるPL法改革法案が議会に上程されたが、①PL改革に消極的な民主党が議会での多数派を占めてきたこと②消費者団体や弁護士団体の反対が激しいこと③州の連邦法立法にたいする警戒感が

強いことなどからなかなか成立しないので現在に至っている。尚直近の動きでは、1995年に懲罰的損害賠償額の制限等を含むPL改革法が上院での審議が終了し、上院での承認・大統領の署名があれば成立する段階にきているとのことである。

表1 日米のPL訴訟の実態

年度	日本	米国		
	提訴件数	提訴件数 (連邦地裁)	平均評決 額 (ドル)	100万ドル を超える 評決件数
74	9	1579	345783	22
75	12	2886	393580	26
76	6	3696	366081	44
77	4	4077	430948	69
78	6	4372	1657187	68
79	4	6132	761009	100
80	5	7755	563438	127
81	7	9071	800586	238
82	4	8944	850700	280
83	3	9221	1245646	366
84	2	10745	1467435	415
85	3	13554	1091005	590
86	4	13595	1006821	410
87	3	15151	862764	428
88	2	17140	1324126	481
89	1	14348	1057612	588
90	3	19428	1094605	703

4 ヨーロッパのPL法

ヨーロッパでは1960年代始めのサリドマイド事件等で顕在化した各国間でのPL法制の差異による歪みを解消するため、EC域内でのPL法制の統一化の検討がなされてきたが、1985年7月にECの閣僚理事会は「欠陥製造物に対する責任に関する加盟国の法律、規則及び行政規定の近似化に関するEC理事会指令」(「EC指令」)を採択し、EC加盟各国はこれと同内容の国内立法をおこなうこととなり、現在までフランスを除く全加盟国で既に立法化が完了している。

EC指令の内容はアメリカ法の影響や消費者主義の高揚を受けて、アメリカの厳格責任と同様に無過失責任を採用したが、特徴的なのはその採用は各国のオプションとしながらも人身損害についての同一製造者の責任総額を7,000万ECU⁹⁾以上の一定金額に制限することを認めたことである。

EC指令採択後の影響については、法施行が長い国でも6年しか経過していないが、特に顕著な訴訟件数の増加は見られていないようである。

7.原告が日曜大工工具を使用中にはねた木片があたって頭を負傷した事件。

8.アメリカでは各州が独立の法域をなし、法律の内容も複雑になってきているので、アメリカ法律協会(American Law Institute)が、その総会の審議を経て各分野を簡単な条文形式で表現してまとめている。これをリステイトメントと呼び、直接の法的効力はないが、裁判官の判断に大きな影響を与えている。

9.1ECUは131.85円（1995年12月8日現在）

5 我が国のPL法の解説

わが国のPL法は製造物の欠陥被害についての民法の特則として位置付けられており、わずか6ヶ条からなる法律である。各条文の解釈は今後の判例の蓄積により明らかになってくるものとおもわれるが、取り敢えず立法過程の議論や検討結果を参考にして以下PL法の概要を逐条的に説明することとしたい。

第1条（目的） この法律は、製造物の欠陥により人の生命、身体又は財産に係る被害が生じた場合における製造業者等の損害賠償の責任について定めることにより、被害者の保護を図り、もって国民生活の安定向上と国民経済の健全な発展に寄与することを目的とする。

これは目的についての綱領規定である。法律を解釈するにあたっては、「被害者の保護」が主目的であり、副次的に「国民生活の安定向上と国民経済の健全な発展」を考慮することとなる。ここで留意すべきことは、「消費者」の保護に限定されておらず、例えば何等かの事故に巻き込まれた乗客や歩行者や、工場の機械の事故により負傷した従業員など、製造物を直接購入・使用・消費していない第三者が当該製造物の欠陥により損害を被った場合も含まれることと事業者の営業被害についても対象となりうることである。

第2条（定義） この法律において「製造物」とは、製造又は加工された動産をいう。

2. この法律において「欠陥」とは、当該製造物の特性、その通常予見される使用形態、その製造業者等が当該製造物を引き渡した時期その他の当該製造物に係る事情を考慮して、当該製造物が通常有すべき安全性を欠いていることをいう。

3. この法律において「製造業者等」とは、次のいずれかに該当するものをいう。

- 一 当該製造物を業として製造、加工又は輸入した者（以下単に「製造業者」という。）
- 二 自ら当該製造物の製造業者として当該製造物にその氏名、商号、商標その他の表示（以下「氏名等の表示」という。）をした者又は当該製造物にその製造業者と誤認させるような氏名等の表示をした者
- 三 前号に掲げる者のほか、当該製造物の製造、加工、輸入又は販売に係る形態その他の事情からみて、当該製造物にその実質的な製造業者と認めることができる氏名等の表示をした者。

本条はPL法に適用される定義規定である。PL法の適用対象となるかどうかは本条の解釈にゆだねられることとなる

ので重要な規定である。以下各項毎に説明することとする。

（1）「製造物」とは

PL法はそもそも工業的な大量生産・大量消費になじむような物を対象とすることを念頭に立法化されたものであり、本条での文言上は「製造又は加工された動産」と表現されている。鋼材を含め凡そ工業製品と呼ばれる物は、総て対象となると考えられるが、本条の規定から①「動産」でないもの及び②「動産」であっても「製造又は加工され」ていないものは対象とはならないこととなる。以下ボーダーライン的事例を含め、適用対象外の事例を紹介する。

①「動産」でないもの

「動産」とは「不動産以外のすべての物」（民法第86条）と定義されているので、I.「物」以外のもの及びII.「不動産」は適用対象外となる。

I.「物」以外のもの

たとえば、電気等の無形エネルギーやソフトウェアなどの無体物や、散髪、医療、修理などのサービスは、PL法の適用対象とはならない。これらは転々と市場で流通するものではないので、当事者同士が契約関係にあることが多く、たとえ当該無体物やサービスに欠陥がありそれが原因で事故が発生したとしても、契約関係に基づく追及が可能であることから、PL法の適用対象とする実益は乏しいと考えられる。ソフトウェアそのものはこのように適用対象外であるが、ソフトウェアがIC等の形で製品に組み込まれている場合に、当該ソフトウェアの不具合が当該製品自体の欠陥とみなされることが有り得る。

II.「不動産」

「不動産」とは「土地及びその定着物」を言い（民法第86条）、「土地の定着物」とは、建物、樹木等土地とは別個独立のものとはされないものをいう。不動産も通常契約責任による救済が可能であるため、PL法の対象にする実益は乏しいと考えられる。ただし、不動産の一部を構成するもの（たとえば建物を構成する鉄骨、窓ガラス、アルミサッシ、ドア、壁紙、エレベーター等）は、動産とみなされる。したがって、たとえば建物が倒壊して人身事故が生じた場合、その原因が鉄骨そのものの欠陥に由来し、当該鉄骨を鉄骨メーカーが引き渡した時点で存在した欠陥と損害の間に因果関係がある場合には、当該鉄骨メーカーのPLが認められることとなる。

②「製造又は加工され」ていない「動産」

天然に産するものを始めとする未加工の自然産物については、その生産者が欠陥の創出に寄与していない場合が多いことからこれを適用対象からはずしている。したがって未加工の農林畜水産物や採掘されたままの鉱物は対象とはならない。しかし何等かの加工が施されているものは対象となるので、ジュース、加工牛乳、焼き魚、石油製品、金

属製品等は対象となる。また人間の臓器や血液は対象とはならないが、血液製剤や生ワクチンは加工を加えた製品ということで対象となる。また中古品や廃棄物も製造又は加工されているものは対象となるが、欠陥の認定に際しては基準がゆるくなる可能性がある。

(2)「欠陥」とは

PL法の最大のポイントが、責任発生の要件を「過失」という主観的な態様の存在から、「欠陥」という客観的な性状の存在に変えたことであるので、何が「欠陥」かはPL法の解釈上最大の焦点になってくる。本条では「欠陥」について「通常有すべき安全性を欠いていること」とし、人の生命、身体又は財産を害するような安全性とかかわる損害を生じないような単なる品質の瑕疵は対象とはならない。したがって、例えばテレビの映りが悪いとかクーラーの効き目が悪いといったものは「欠陥」とはならない。

何が「欠陥」かはできるだけ客観的にわかりやすく定めておくべきであるが、個々の事案毎に諸般の事情を考慮して「欠陥」の存否が認定されることを考えると、本条のように抽象的にしか規定できないことはやむを得ないことと考えられる。したがって「欠陥」認定の具体的な基準は、今後の判例の蓄積によって段々と明らかになっていくこととなるが、本条では「欠陥」の判断にあたっての考慮事項を列挙しているので、これらについて説明することとする。

①当該製造物の特性

製造物自体が持つ固有の事情であり、もう少し具体的に何を考慮するのかという次に掲げるようなものである。

I.製造物の効用・有用性

例えば、自動車（スピードが出ることが前提の製造物）、包丁・ナイフ（切れることが前提の製造物）のように、その製造物の効用・有用性そのものが一定の危険性を前提とする場合、効用・有用性と危険との比較考量が必要となる。

II.製造物の表示

例えば、一定量以上服用した場合に副作用を生じさせる蓋然性が高い薬について、その旨の注意事項がわかりやすく表示されていない場合、「欠陥」と認定される可能性が高い。但し表示さえあれば「欠陥」として認定される可能性が低くなるかというところではなく、上の例のように設計上又は製造上完全には除去し得ない危険性が存在する場合における「安全性」の判断基準であると考えられる。

III.製造物の価格対効果

例えば、軽自動車と普通自動車が衝突した場合、軽自動車のほうが大きな被害につながりやすいが、だからといって軽自動車に「欠陥」があるとは必ずしもならない。同種の製造物に比較して低廉な価格が設定され、その分だけ安全性が下がることが常識的に認められる場合には、「欠陥」とは認定されない可能性が大きい。

IV.製造物の通常使用期間・耐用期間

例えば、賞味期間をはるかに超えた牛乳を飲んで体調を崩した場合には「欠陥」があるとは必ずしもならない。老朽化した機械を使用して事故が発生した場合も同様で、製造物の通常の使用・耐用期間を大幅に超えて使用して事故がおきても、欠陥なしとされる可能性が大きい。

V.被害発生の蓋然性とその程度

例えば、特定の食品に係るまれなアレルギー体質があつて、それが原因で健康障害が生じた場合で被害が軽微である場合などのように、被害発生の蓋然性が極めて低い場合で被害も軽微な場合には、「欠陥」が認められる可能性は低い。

②製造物の通常予見される使用形態

製造物の使用に係る事情であり、次のようなものがある。

I.製造物の合理的に予期される使用

例えば、乳幼児用の玩具は、その形状、大きさ等によっては幼児が口にいらることが有り得るが、これを想定して製造されていない場合に「欠陥」ありと認定される可能性がある。このように、予定された使用を超えて合理的に予期される使用形態（いすの上に立ってものをとることなどもこれに該当する。）も考慮の対象となる。

II.製造物の使用者による損害発生防止の可能性

例えば、製鉄用の産業機械のように一定以上の技能を有している熟練作業者が使用することを前提としているものや、クレーンのように免許を持ったものが使用することを前提としているものについては、使用者の損害発生防止の可能性が大きいので、欠陥認定の可能性が低くなるものと思われる。

③製造業者等が当該製造物を引き渡した時期

製造業者等が当該製造物を引き渡した時期における事情を考慮するもので次のようなものがある。

I.製造物が引き渡された時期

例えば、エアバッグを標準装備とする乗用車が増えていくが、この場合に従来型の乗用車に「欠陥」ありと認められるかというところ必ずしもそうではない。このように当該製造物が引き渡された時点の社会において要請される安全性の程度を考慮することが必要である。

II.技術的実現可能性

例えば、洗濯機の脱水槽については、回転がすぐにとまらない間に手をいれて負傷する危険性があるが、脱水槽を開けると自動的に回転が停止する代替設計が合理的なコストで達成可能かどうかによっては「欠陥」認定を受ける可能性がある。すなわち当該製造物が引き渡された時点における合理的なコストによる代替設計の可能性を考慮する必要がある。

④その他の当該製造物に係る事情

現実の「欠陥」の認定については、以上の3点の考慮事情

に限定されずに関連するあらゆる事情を柔軟に考慮することが必要であるので、本条に「その他の当該製造物に係る事情」を明記している。例えば、地震や集中豪雨などの天災が発生し、これが原因で製造物に不具合が発生し事故が生じた場合に、「欠陥」があったかどうかは、天災の大きさや予期できたかどうかなどの事情を考慮して判断することとなる。

(3)「製造業者等」とは

ここではPLを負う責任主体はだれかということを規定しているが、PLが現代社会における大量生産・大量消費という現象に伴う被害者の救済を目的としているので、この目的を勘案し、「業として製造、加工若しくは輸入したもの又は製造物に一定の表示をした者」を責任主体としている。ここで「業として」とは、無償・有償、営利・非営利を問わず、同種の行為を反復継続しておこなうことをいう。製造・加工していない流通業者（販売業者・賃貸業者）、設置業者、修理業者、梱包業者、運送業者、倉庫業者等はそれのみであればPL法の責任主体にはならない。以下責任主体となる類型を規定の順にしたがって説明していく。

①製造業者・加工業者

実際に欠陥ある製造物を業として製造又は加工して製造物を引き渡した者を責任主体とするもので当然のことである。

②輸入業者

輸入業者は当該製造物の国内市場への源泉供給者であることと、消費者が海外の製造業者を直接訴えることが困難であることに鑑み、製造業者と同様に責任主体とされた。

③表示者

これは製造物に付された事業者の名称等の表示が、当該製造物を購入したり使用したりする者に対してその安全性についての信頼を与えている場合、かかる信頼を保護する観点から、製造物に一定の表示を付した者を責任主体としている。したがって次に述べるような場合に該当すれば、当該事業者が実際には当該製造物の製造・加工又は輸入に携わっていない場合にも責任主体となることに留意する必要がある。

I.自ら当該製造物の製造業者として当該製造物にその氏名、商号、商標その他の表示（以下「氏名等の表示」という。）をした者

例えば、「製造元〇〇」、「輸入者〇〇」等の肩書きを付して、自己の氏名等の表示をおこなった場合がこれにあたる。具体的にはPBブランド商品で販売業者が自己の氏名等を製造業者と表示して販売するケースなどが考えられる。

II.当該製造物にその製造業者と誤認させるような氏名等の表示をした者

例えば、製造物に単に会社名やブランド名を付することによって社会通念上、製造業者と誤認させるような表示となっている場合がこれにあたる。具体的には、PBブ

ランド商品やOEM製品で明確に製造業者と表示していなくても、全体的にみて販売業者が製造業者であるかのように氏名等の表示がなされていれば該当する。

III.当該製造物の製造、加工、輸入又は販売に係る形態その他の事情からみて、当該製造物にその実質的な製造業者と認めることができる氏名等の表示をした者

例えば、「販売者〇〇」、「販売元〇〇」等の肩書きで自己の氏名等の表示をおこなっているものの、当該表示者が当該製造物と同様の製造物の製造業者として社会に認知されており、当該製造物を一手販売している場合などが該当する。具体例としてはスモン訴訟で一手販売業者であったために責任を認められた武田薬品の場合がこれに該当する。

第3条（製造物責任） 製造業者等は、その製造、加工、輸入又は前条第3項第2号若しくは第3号の氏名等の表示をした製造物であって、その引き渡したものの欠陥により他人の生命、身体又は財産を侵害したときは、これによって生じた損害を賠償する責めに任ずる。但し、その損害が当該製造物についてのみ生じたときは、この限りではない。

本条は、製造業者等が負うPLの責任根拠規定であり、欠陥を責任要件とする損害賠償責任を規定したものである。ここで説明しておかなくてはならないのは、損害賠償の範囲である。基本的には従来の不法行為法上の考え方と同じで、「欠陥」により通常生ずると予想される損害を賠償することとなる。したがって、例えば身体に対する傷害が発生した場合、賠償すべき損害の内容には、治療代、入院費用、通院費用などのほか、治療に通常要する期間の休業補償相当額なども、合理的な範囲内で含まれることとなる。また慰謝料も認められることとなる。但し、本条の但し書きにもあるように、人的損害又は欠陥を有する製造物自体の損害以外の物的損害（「拡大損害」）が発生していない場合の製造物自体の損害は、PL法上填補すべき損害賠償の対象とはならない。この場合には被害者は販売業者に対して契約上の責任を問えるので被害者の救済にけることにはならない。

また前述の通り、事業者の営業被害も填補の対象となる。

第4条（免責事由） 前条の場合において、製造業者等は、次の各号に掲げる事項を証明したときは、同条に規定する賠償の責めに任じない。

一 当該製造物をその製造業者等が引き渡したときにおける科学又は技術に関する知見によっては、当該製造物にその欠陥があることを認識することができなかったこと

二 当該製造物が他の製造物の部品又は原材料として使用された場合において、その欠陥が専ら当該他の製造物の製造業者が行った設計に関する指示にしたがったことにより生じ、かつ、その欠陥が生じたことにつき過失がないこと

本条は、製造物の欠陥の存在及びこれによる損害の発生が認定され、第3条に基づき製造業者等がPLを負うこととなる場合に、当該製造業者が一定の事情を立証することによって、免責されることを規定するものである。第1号を「開発危険の抗弁」、第2号を「部品・原材料の製造業者の抗弁」といわれる。

(1) 開発危険の抗弁

製造物を流通においた時点における科学・技術知識の水準によっては、製造物に内在する欠陥を発見することが不可能な危険を「開発危険」といい、これを製造業者が負担するとなると、研究開発や技術開発が阻害され、ひいては消費者の利益をそこなうことにもなりかねないことから、開発危険に相当することを製造業者が立証したときは免責することを認めたものである。ただ免責されるためには、入手可能な最高水準の知識に照らし、欠陥であることを認識することができなかったことを証明することが必要となると解されている。

(2) 部品・原材料の製造業者の抗弁

部品・原材料も製造物である以上、これらの製造業者も責任主体となるが、当該部品・原材料を組み込んだ他の製造物の製造業者の行った設計に関する指示にその部品・原材料の製造業者が従い、それがゆえに欠陥が発生した場合に、その欠陥の発生につき過失がなかったことを証明したときは、免責される。例えば顧客からただ単にサイズ、強度だけの指定を受けて鋼材を顧客に販売したが、顧客の用途に要求される強度が現実にはもっと高かったため、強度不足が原因で事故が発生した場合、顧客の用途についてまったく知らされていなかった時又は当該用途について容易には推察できなかった時には、当該鋼材製造業者はPL責任を免れることとなる。

第5条（期間の制限） 第3条に規定する損害賠償の請求権は、被害者又はその法定代理人が損害及び賠償義務者を知ったときから3年間行わないときは、時効によって消滅する。その製造業者等が当該製造物を引き渡したときから10年を経過したときも同様とする。

2. 前項後段の期間は、身体に蓄積した場合に人の健康を害することとなる物質による損害又は一定の潜伏期間が経過した後に症状が現れる損害については、その損害が生じたときから起算する。

本条は、法的安定性の確保の観点から、一定の期間の経過により、損害賠償請求権を制限する趣旨の規定である。不法行為法と同様に、損害及び賠償義務者を知ったときから3年の消滅時効となっているが、損害及び賠償義務者知らない限り永久に続くこととなることを制限するいわゆる除斥期間を10年と規定している。（不法行為法では20年である。）またこの10年の除斥期間について、①身体に蓄積した場合に人の健康を害することとなる物質によって生じる損害（有機水銀等）や②使用時から一定の潜伏期間を経た後で症状が発現するような損害（HIVウイルス等）については、その起算点を「損害が生じた時」とする特則を置き被害者保護を図っている。

第6条（民法の適用） 製造物の欠陥による製造業者等の損害賠償の責任については、この法律の規定によるほか、民法（明治29年法律第89号）の規定による。

本条はPL法が民法の特則であることから、PL法に定めがない部分については民法の規定が補充的に適用される（被害者に過失がある場合の「過失相殺」、複数の加害者がいる場合の「共同不法行為責任」、「金銭賠償原則」等）とともに、PL法に基づく請求とは別に民法の規定による請求（不法行為責任）ができることを意味している。

6 PL法が鉄鋼メーカーに与える影響

以上のようなPL法が平成6年6月に成立し、平成7年7月から施行されているが、これによって企業はいかなる影響を受けるのだろうか。平成6年のPL法成立後、各企業や業界は製品安全対策の推進、警告表示の整備、中立的な訴訟外紛争処理機関の設置、PL保険の付保（保険を付すること）等の企業防衛策を強化するとともに、保険会社や弁護士は「リスクは商機」とばかりに企業の危機感を醸成し、ニュービジネスを展開してきた。法施行を直前にして「準備万端。後は訴訟を起こすだけ。」と意気込む弁護士もいた。しかし平成7年7月の法施行後現在に至るまで際立つてPL訴訟が起きてきているという事実はない。我が国では訴訟に時間・費用がかかること、元々訴訟で解決することを好まない国民性があること、前述の陪審制度・懲罰的賠償制度・弁護士の成功報酬制度等の米国のような司法制度・風土がないことなど従来から指摘されている理由から、必ずしも米国のようなPL訴訟禍がおきるとは言えないであろう。しかしPL法の施行は、欠陥品による被害が発生した場合にメーカーの責任を追及できるのだという消費者意識を着実に強化するものであろうし、前述のようにPL法施行をビジネスチャンスとする者も悪質な者を含めて増加するであろうから、訴訟にはいたらないクレームが

製品の品質クレームも含めて増加することが予想される。こうした状況下、企業としては既に着手しているところも多いであろうが、後に述べるようなPL法対策を一段と強化することが必要となろう。

それでは鉄鋼メーカーに対してはどのような影響を与えるだろうか。我が国で過去にいわゆる「製造物責任」を法廷で追及された事例としては、医薬品、食品、自動車、ガス関連器具等が多く、被告も当該完成品メーカー又は流通業者が大半であり、鉄鋼メーカーのようないわゆる素材メーカーが被告とされた例はほとんどない。これは、そもそもPLの概念についてほとんど認識していない消費者にとって現実に事故が生じ、これに基づき被害を被った場合に、明らかに当該製品を製造したと認識できるメーカーと直接の契約関係に立つ流通業者をまず訴えることしかなすすべもないことからきたものと思われ、被告になっていないからといって決して素材メーカー側に事故の原因が全くなかったとは言えないケースも中にはあったかもしれない。また現に米国では油井管の破裂事故によるPL訴訟等我が国の鉄鋼メーカーが被告となっているケースがあるし、また国内でもその大半は単なる品質・性能上の問題であるが、多くのクレームが存在するのが現状である。

鋼材は「製造又は加工された動産」であり、鉄鋼メーカーは鋼材を「業として製造・加工した者」であるので、「欠陥」のある鋼材を市場に出してこれが原因で被害が発生した時は、当該鉄鋼メーカーはPL法上の責任を負うこととなる。この場合、「欠陥」があるか否かは、「通常有すべき安全性」を有しているかどうかで判断されることとなるが、鋼材が基礎資材であり、世の中の広汎に亘る用途に使われていることと、中でも、ビルディング・橋梁等の構造物、自動車・車両・船舶等の輸送機械、ガス等の保管・流送設備など鋼材の不具合が人身事故につながる可能性の高い用途が多いことから、要求される安全性のレベルが高く、不具合がある場合に容易に「欠陥」と認められる可能性がある。ややもするとPL法の適用対象として、完成品メーカーに焦点が当たっている感があるが、こうしたことから鉄鋼メーカーも他人事ではなく、後に述べるようなPL法対応策に積極的に取り組む必要がある。

ただ鉄鋼メーカーの場合には「他の製造物の製造者等」が顧客であるケースが比較的多いと考えられるので、「部品・原材料業者の抗弁」が主張できるケースもあることに留意する必要がある。

7 鉄鋼業におけるPL対応策についてー技術者の役割を中心にー

前述の様に、我が国においてPL法制定・施行が急激なPL訴訟の増加にはつながらないとしても、消費者の権利

意識の高まりやPLに便乗した企業攻撃の増加等を通して、間接的に企業に対するクレーム（品質上の問題も含めて）を増加させることが懸念される。したがって企業としても従前にも増した品質対策を含めたPL対応策を真剣に検討する必要があると思われる。

PL対応策としては、大きく分けて①事前の対策と②事故発生後の対策に分かれるが、日常の事業活動の中でPL問題の発生を未然に防止することが何よりも重要であるので、本論では事前の対策について論じることとする。事前の対策は、大きく分けて、①安全上不具合のない製品を市場に出すこと（製品安全策）、②「欠陥」認定を回避すること（欠陥認定回避策）、③将来発生するかもしれない紛争を有利に進めるための対策（PL防御策）がある。以下順に説明することとする。

（1）製品安全策

PLを回避するには何よりも安全性の観点から欠陥のない製品を開発・製造・販売することである。そのためには、商品開発・品質設計段階で、法令や業界標準の安全基準を満たすのみならず、考えられる製品の用途から合理的に予見される危険因子を極力排除することに注力して製品の規格を設定し、新商品化に当たっては技術・営業等関連部門で十分に検討したうえで営業の責任者が決裁するといった社内のルールを定め、これに従った運用を行うことが必要である。製造段階では製品規格に合致しないものをつくらないように厳しく品質管理を行わねばならない。また、これらの対策にあたっては既存のクレームを、開発・設計段階や製造段階にフィードバックし、常に改善していくことに努めることが必要である。

鋼材は極めて汎用的な基礎素材であるので考えられる製品用途をすべて勘案することは事実上不可能に近いことであるが、過去の永年の実績からある程度各品種別に用途が想定できるので、営業部門との連携のもとにある用途を前提にして製品規格を設定することとなろう。また、鋼材については「重い」「硬い」「大きい」といった特性から、単に最終用途のみを考慮するだけではなく輸送段階での安全性、例えば梱包方法や結束方法などの安全性も考慮する必要がある。また、製造段階では、尚一層の品質管理対策を施すとともに、外注や製造委託を行う場合には、当該業者の品質管理体制に問題がないことを確認する必要がある。

（2）欠陥認定回避策

（1）で述べた製品安全策を万全にとったとしても、事故の発生が皆無になるわけではない。思ってもみなかったような使用方法や用途が原因で事故が発生することもある。耐用年数経過により事故が発生することなどもある。こうした完全に排除できない事故に対しては、仮に事故が発生したとしてもそれは製品に「欠陥」があったからでは

ないことを主張できれば責任を負わなくてもすむこととなる。この場合、そもそも製品の設計段階や製造段階での「欠陥」が明らかである場合には責任を回避することはできない（免責事由や期間制限条項に該当する場合は除く。）が、どうしても危険が内在する場合には「表示」の有無等ユーザーに対して提供した情報の内容如何によって「欠陥」の有無の判定がなされる場合がある。したがってあらかじめ想定される危険については明確に「警告表示」を行うことにより、ユーザーの注意喚起を促すとともに、安全上の確性を得ている範囲を超えた用途推奨や機能保証を行うことは厳に避けるべきである。用途推奨や機能保証は契約上の問題ではあるが、法廷での争いにおいて「欠陥」の有無を判定する際に当該事項が考慮され、「通常有すべき安全性を欠いている」との判定を受ける可能性があるからである。

鋼材に関しては、例えばハイテンコイルの結束フープを切ると弾けるように極めて危険であることが容易に推察される場合には、現品に「警告表示」を付することが必要となるが、鋼材には「重い」「硬い」といった通常人であればすぐにわかる特性以外に安全上の問題を誘発するような特性は考えにくいので、薬品や洗剤のように「警告表示」をするケースはさほど多くないと思われる。しかし、ユーザーに対しては「警告表示」までは要らないとしても耐火性や耐蝕性などの性能の限界がわかっている場合にはこれをユーザーに提示することが必要となる。また懸念されるのは、強度や弾性度について確性も得ていない範囲の用途や機能を推奨・保証することである。したがって、技術論文、パンフレット、顧客との会話などにおいて、セールストーク的に何等の実証もなくユーザーに過度の期待を与えるような用途推奨・機能保証はすべきではないし、またこれらをほのめかすような記載、発言、写真掲載等もPLの観点からすれば避けるべきである。ただ、ビジネスの中でセールストークが必要になることもあるので、そのような場合には責任を負うリスクを認識した上で営業の責任者の判断で行うようにすべきであろう。

（３）PL防御策

以上のような対策をとったとしても言いがかりも含めて何等かの事故に基づき損害賠償請求訴訟を提起されることを完全に排除することはできない。したがって訴訟の提起があった場合に当該訴訟を有利に進めるための準備しておく必要がある。その準備の中でも訴訟を有利に進めるための証拠となる文書を保管しておくこと（PLの除斥期間である10年間であることが望ましい。）が重要である。

まず事故が発生した場合にその原因となった製品が過去10年以内に自社が市場に出したものかどうかが争われることがある。この立証責任は原告にあるが、被告としても契

約書、検査記録書等の取り引きの当事者や時期を証する文書を保管しておくことが必要である。特に鋼材のようにエンドユーザーがそのメーカーをにわかには判断できない場合には、原告は証拠のないまま想定ベースで訴えてくることも考えられるので、逆にメーカーとしては取り引きを証する文書を保管しておくことにより、反証が容易にできるようになる。

次に「欠陥」が存在しなかったことを証する文書・書面を残しておくことも必要である。開発段階での仕様決定に際しての安全性の観点からの検討記録（試験・実験データ等を含む。）、製造段階での検査記録、場合によってはパンフレットや商談の記録なども保管しておくことが必要となる。特に（２）で述べた「表示」又は「情報提供」が「欠陥」の存在に大きく影響するものについては、保管しておいたほうが良いと思われる。

また「免責事由」を証する書面も保管しておく必要がある。「開発危険の抗弁」を証明するためには、開発段階での安全上の検討記録（試験・実験データ、調査した文献、等）が必要である。「部品・原材料業者の抗弁」を証するためには、顧客との間の契約書・商談記録が必要である。特に鋼材については、各製品毎に規格があり、顧客が特に用途を明示せず単に規格だけを指定し、規格通りに製造したものを顧客に納めた場合でその後転々と加工・流通され、エンドユーザーに納められたが何等かの事故で当該エンドユーザーが被害にあった場合には、仮に鋼材に「欠陥」があったとしても「部品・原材料業者の抗弁」で免責される可能性が高いので、顧客がどのように注文してきたのかを証する書面が必要である。

8 おわりに

以上PL法の内容と企業としての対応策について述べてきた。対応策については、ここでは述べなかったが、顧客や部品・原材料・外注業者との間の契約条件の見直しや、PL保険への加入など検討すべき点は未だあるが、紙面の都合上割愛させていただいた。前述の通り、PL法の施行により訴訟禍がおこることは我が国では考えにくい、これを契機に安全な製品を要求する動きがより活発化するとともに、品質クレームも含めたクレームが増加することも予想され、製品安全に関する企業活動に変容を余儀なくさせることは必至である。鉄鋼業もその例外とはならないことを念頭におきつつ研究開発・製造・営業等のあらゆる分野において、製品の安全管理・品質管理に万全を期すよう心掛けなければならない。

（1995年11月7日受付）

展望

これからの自動車車体用材料

田中 淳夫

トヨタ自動車(株)第一材料技術部 担当員

Atsuo Tanaka

The Trend of Auto Body Materials

1 はじめに

古くは馬なし馬車として木製から始まった自動車の車体材料は、初期の種々の試み（例えばアルミ板製車体：グラディアートル 1914年、マグネ板製車体：プガティアトランティク 1939年等）が一段落して、鋼板によるユニット構造が普及して以来、様々な改良を積み重ねながらその構造が定着している。自動車は大量生産・大量販売の耐久消費材であり、前提となる高い生産性や低いコストの実現性を考慮するならば、鋼板の一体ユニット構造の優位性は当面揺るがない様に思える。しかしながら、21世紀に向け自動車が社会に適応し続けていくために安全、軽量化、リサイクル等の種々の要請に対応する必要があり、車体構造や材料についても更なる改良・革新が求められているのが現実である。本稿では、将来の自動車車体の材料について現状を整理し、次にその将来の方向について私見を述べて行きたい。

2 自動車を取り巻く環境について

図1¹⁾は日本における自動車技術の要請と鋼板材料に関する技術の変遷について示す。黎明期の海外技術のキャッチアップの時代を経て、続くモータリゼーションの量的な拡大期を迎え、現在の自動車生産システムの基本的な様相が整えられた。この時期に車体用材料としての鋼板についても真空脱ガスやオープンコイル焼鈍等の成形性向上に有効な技術が導入され、その時代の要請であった生産性の向上に応え得る材料となった。その後の米国を中心とした衝突安全性向上の要求、さらにはオイルショックを契機とした車両軽量化の要請を受けて高強度鋼板（ハイテン）の適用が拡大された。続いて北欧・北米の冬期融雪塩散布地域の錆の問題から、車体の防錆性能の向上が求められる様になり、各種の防錆鋼板が使われる様になった。80年代末からは再び燃費の向上のための軽量化が主要な課題となり、続いて安全性の向上要請がそれに加わり、同時に更なる低コスト化への要請が付加されている。又、リサイクルや環境

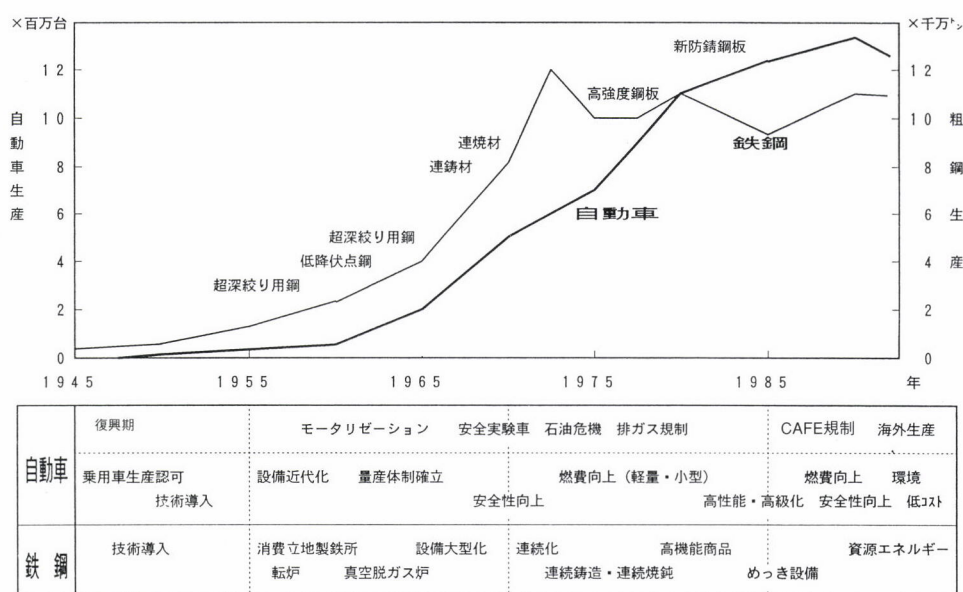


図1 自動車技術の要請と鉄鋼材料技術の推移

負荷物質規制等への対応も重要な課題となりつつある。

このように時代の要請が新しい技術を生み出し、その要請は20年程度のスパンで形を変え或いはレベルを変えて繰り返し出てきていると言える。車体材料への要求に関して言えば、基本的には軽量・高強度・高剛性・高耐久性・低コストの4点であり、これらがその時々時代の要請により程度を変えつつ繰返されてきたと言える。

次に軽量化（高剛性、高強度）、耐久性（防錆）、環境適合性、の3つの側面から現状の技術を整理し、最近の動向と将来の方向について述べて行きたい。

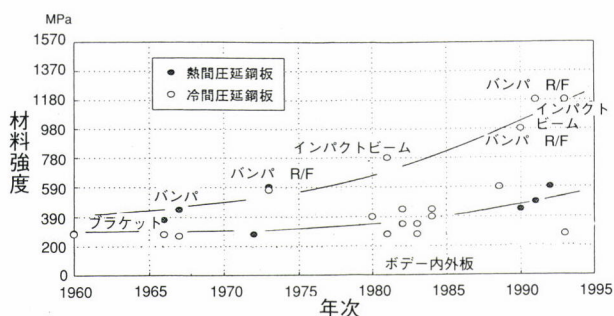


図2 トヨタ車への高強度鋼板適用の推移

3 軽量化（高剛性、高強度化）

3.1 高強度化による軽量化の経緯と現状

図2に、トヨタ車における高強度鋼板の使用の経緯を示す。車体材料の高強度化は軽量化及び安全性向上の2つを目的として適用が拡大されてきた。図2から1960年代後半から種々の高強度鋼板が開発され自動車の車体構造に適用されてきた様子が分かる。当初、これらの鋼板は析出強化型でプレス成形が困難であったこともあり、限られた部分に使用されただけであった。しかし近年、プレス成形性の良い固溶強化型鋼板の開発や成形技術の進歩が行われた結果、その使用比率は早いペースで増大している。現在では、代表的な乗用車の車体には30～40%の高強度鋼板が使用されている。

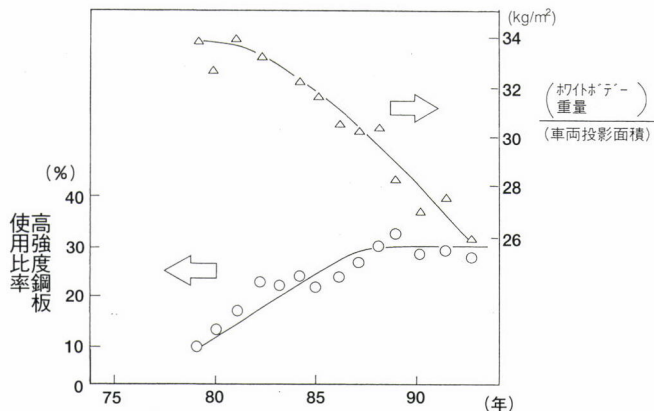


図3 軽量化に対する高強度鋼板の貢献

図3は高強度鋼板の使用比率と車体の重量の関係について示したものである。高強度鋼板の使用比率増加につれて軽量化も進んでいる事が分かる。しかし、近年高強度鋼板の使用比率は頭打ちとなり、それにも係わらず軽量化は進んでいる。これは、大型のガゼットやメンバ類の最適配置等の構造最適化、さらにはレーザ結合によるテラードブランキングの活用等の生産技術と構造設計の進歩による所が大きい。一例として図4にテラードブランキングによるドアパネル一体化の例を示す。図に示される様に車体各部位に最適な板厚及び材質の鋼板をレーザの突き合わせ接合により一体化してパネルを構成する技術であり、軽量化と共に低コスト化をも達成できる有力な手段である。これら材料・設計・生産技術の共同作業により軽量で高強度な車体が作られている。

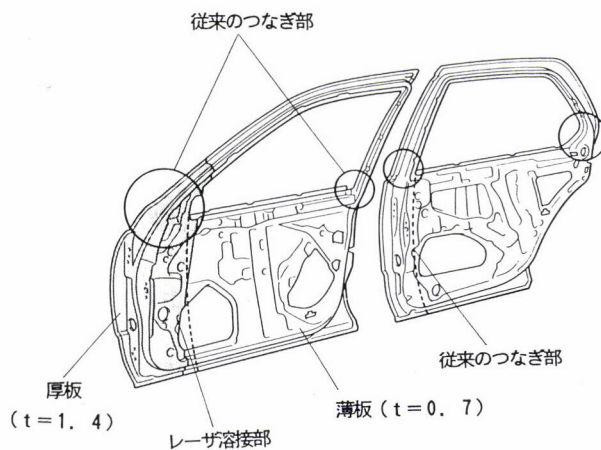


図4 テラードブランキングの例

3.2 今後の高強度化について

図3に示した様に近年高強度鋼板の使用比率は頭打ちとなっているが、これは現在、高強度化が3つの限界に直面しつつあることによる。それは、①成形限界（形状凍結性、面歪みの問題）②特性向上の限界（明確な軽量化効果を得るには大幅な特性向上が必要）③剛性限界（部材によっては剛性の限界に達しつつある）である。次にこの状況について簡単に示す。図5、6は車体外板を想定し、等しい耐デント性と張り剛性を得るための板厚と材料特性について示したものである。図より更なる板厚減少には非常に大きな材料特性の向上が必要であることが分かる。例えば耐デント性を現状と同等に保って板厚を10%下げるには降伏応力の23%向上が必要となり、現状既に340MPa～390MPa級の高強度鋼板が使われている事から見て、その向上にはプレス成形上かなりの努力を要するものと思われる。又、張り剛性については、従来材料特性的に有効な手段がなかった。近年鋼板の結晶方位の制御によって、特定方向ではあるがヤング率の向上する方法が報告されているが、この方法によってもその向上代が20%程度であることから見て、

部材としての張り剛性を向上させる事は、かなり困難であると言える。逆に言えば、今後の大幅な板厚減少は材料特性の向上だけではなく、形状や構造等の他の手段との組合せが必須であると言える。

内部の構造材（内板）については、前述の外板とは若干事情が異なる。その理由は、車両の内部構造が衝突安全性向上の要請を受けて、現在高強度化複雑化の過程にあるためである。図7に最近の衝突安全規制に対応した車体構造をしめす。ピラーやロッカー内部にリインフォース（補強部材）が数多く入っている様子が分かる。これらは、各部材の変形モードのコントロールや強度の向上のために入れられており、材料的にも高強度材の使用が望まれる所である。従って、現在高強度材使用において課題となっているプレス成形での形状凍結性等の問題が解決すれば、リインフォース省略のメリットもあり、更に高強度化や適用部位の拡大が進行するものと思われる。

3.3 今後の生産技術と軽量化について

今後の軽量化を考える時、生産技術の進歩は重要な要素である。特にこれまでのように高強度材を使いこなすための生産技術開発とか、逆に生産性を高めるための材料開発と言った視点ではなく、今後は両者が一体となった全体最適による軽量化を目指す必要があるように思われる。

適切な例かどうかは別にして、次に幾つかその萌芽と思える例をあげて置きたい。図8³⁾は最近発表となったULSAB (Ultra-Light Steel Auto Body project)の車体構造である。このProject は国際鉄鋼協会がPorsche Engineering に委託して鋼板を使用した自動車車体の軽量化について研究を行ったものであるが、いくつかの特徴的な構成が想定されている。その一つがハイドロフォームと呼ばれるパイプの液圧成形技術（図9³⁾）である。これは、パイプに4000～6000気圧の圧力と圧縮応力を付加しつつ断面形状と板厚を変化させる方法であるが、溶接部やフランジのない高強度の閉じ断面構造体が得られると言う点で興味深い。本成形法を前提とした新しいパイプ材質の可能性についても今後検討が進めば、新たな車体構造や材料の展開も期待できる。但し、現状では成形サイクルが一般のプレス成形に比べて長時間であり、大量生産の車体製造ラインに適合するためにはもう一段の技術的進歩が必要のように思われる。

この他に熱間成形も興味深い技術分野と言える。この成形技術は、鋼板を熱間成形すると同時に型内で焼入れし高い強度を得ようとするものである。鋼板の強度は熱処理によって飛躍的に上昇し、一方では熱間の成形によって高強度材の形状凍結性の問題も回避できる可能性がある。この様な成形技術に用いる材料として、例えば棒鋼では一般的な非調質鋼の利用も考えられる。但し、現実の製造ライン

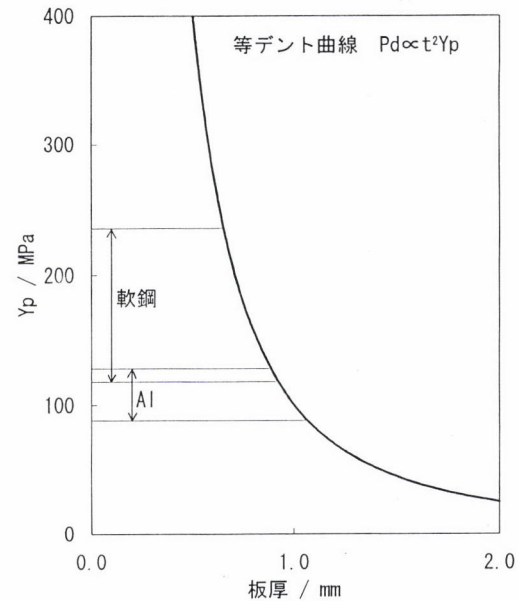


図5 耐デント性に及ぼす降伏強度と板厚の影響

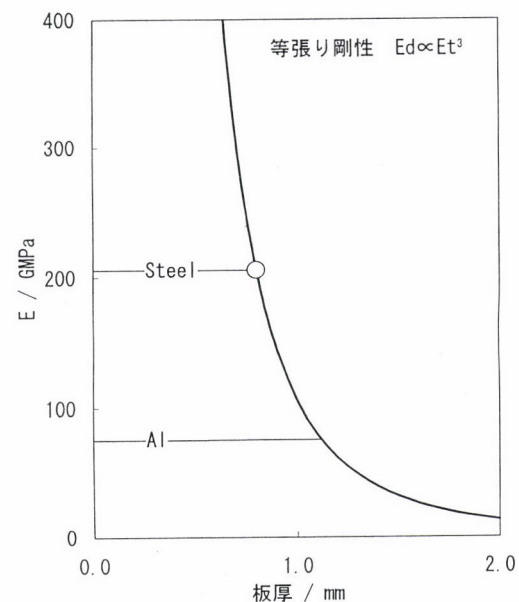


図6 張り剛性に及ぼすヤング率と板厚の影響

の中でこのような温度と冷却を取り扱うことには、それなりの困難が予想される。

同様に成形と熱処理の接点と言う考え方で見れば、レーザ等の高密度エネルギーを利用して成形前又は成形後に部分的な熱処理を施し、必要とされる部分だけに高強度を付与する方法⁴⁾（図10）も発表されており、今後の発展を期待したい。

3.4 軽合金の利用と軽量化について

軽量化について最も効果的であり且つ確実な手法が、軽合金の利用である。図5及び6に示した様に板厚は鋼板よりも増加するが、比重が1/3である事から単純に置き換えるだけで50%程度の軽量化が達成できる。図11⁵⁾に車体へのアルミ適用の主な例を示す。車体外板への軽合金の利用は

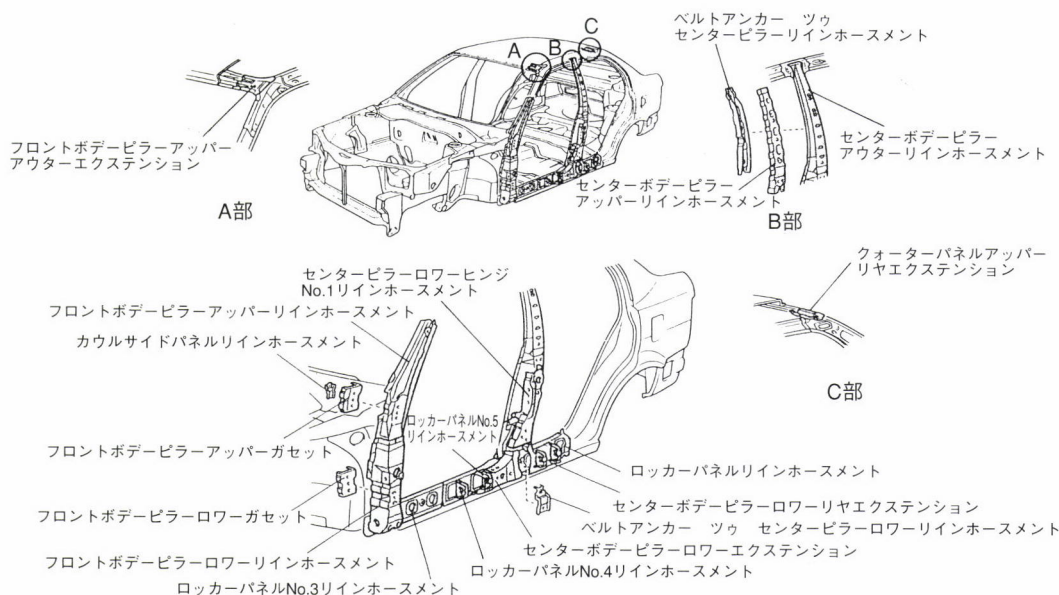


図7 最近の乗用車の車体構造

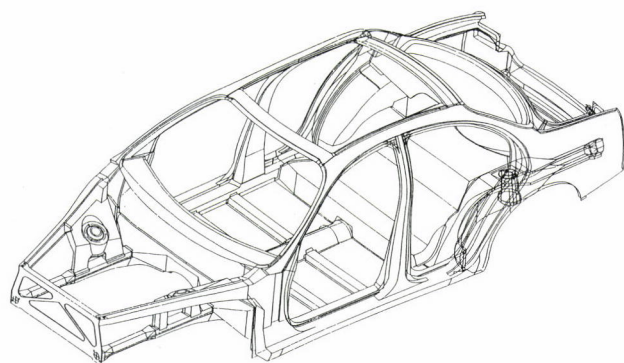


図8 ULSABの車体構造

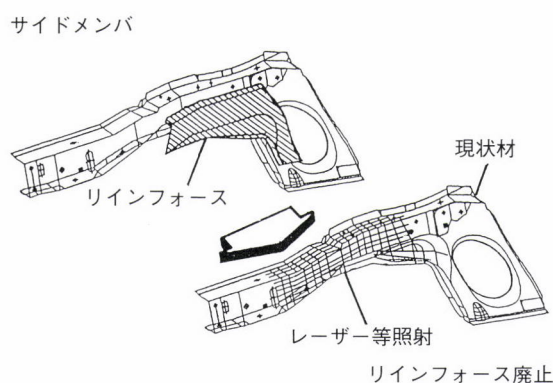


図10 レーザによる鋼板部材の熱処理

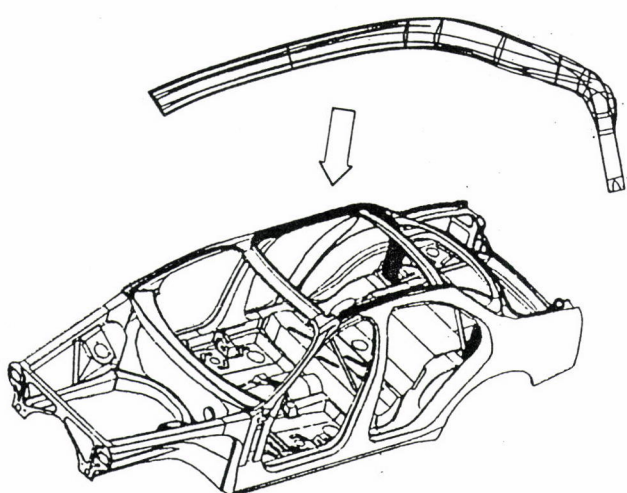


図9 ハイドロフォームの例

冒頭にも記したように古くから行われており、特に高価格のスポーツカー等には継続して使用され続けて来た。1980年代後半の米国CAFE規制強化法案から一般的な乗用車の車体へのアルミの使用が云々されたが、結果的にはコストの問題もあり、高級車への部分的な適用に止まっている。

オールアルミボディ	マツダ"RX-7"	ホンダ"NS-X"
フード	マツダ" Eunos Roadster"	
	日産" Fairlady Z, Skyline GTR"	
	マツダ" Eunos Cosmo"	
	マツダ" Sentia"	
	日産" J Ferie"	
	スズキ" Cappuccino"	
	三菱" Lancer"	
	富士重" Impreza"	
	トヨタ" Supra"	
	マツダ" Eunos 800"	
	トヨタ" Celica GT-Four"	
サンルーフ	日産" Infiniti"	
	トヨタ" Celsior"	
	ホンダ" Accord"	
脱着式サンルーフ	スズキ" Cappuccino"	
	ホンダ" CR-X"	
	トヨタ" Supra"	
フロントフェンダー	日産" Skyline GTR"	

'85 '89 '90 '91 '92 '93 '94 '95
(暦 年)

図11 車体へのアルミ材適用例

最近、ドイツ車でアルミを車体構造に本格的に使用した車が発表となった。図12に、そのアウディA8の車体構造を示す。アルミ押し出し材のスペースフレームを真空ダイカスト部材で結合し、その上にアルミ外板を張った構造であり、約40%の軽量化を達成している。大型のプレス型が不要な点はこの製造技術のメリットであるが、アルミを使

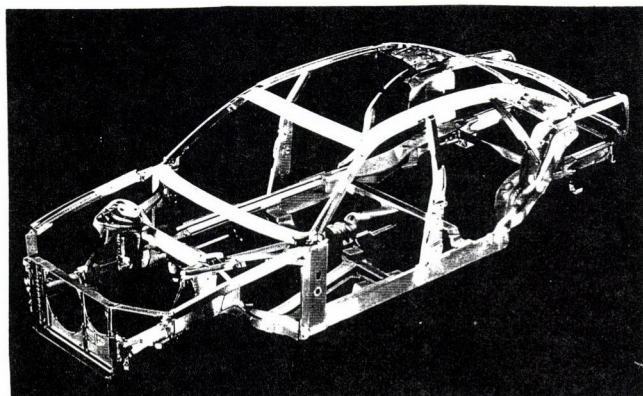


図12 アルミスペースフレームの例

用するだけにランニングコストは高く、月2000台程度迄の比較的少量生産車に適していると言われている。アルミの車体構造への適用は、技術的にもプレス・接合・塗装技術等に種々の洗練が必要であるが、最大の問題点は先に述べた様にコスト高であり、少なくとも素材としての重量当たりコストが鋼板の2～3倍程度まで下がらなければ、大幅な適用は困難であると言える。

それでは、アルミについて大幅な低コスト化の可能性は有るのであるか？現在のアルミ板の市況価格は鋼板の5倍以上であるが、地金のコストは鋼板の2倍程度である。大量の板生産が前提となろうが、鋼板程度の圧延コストによる低コストのアルミ板造りを期待したい。

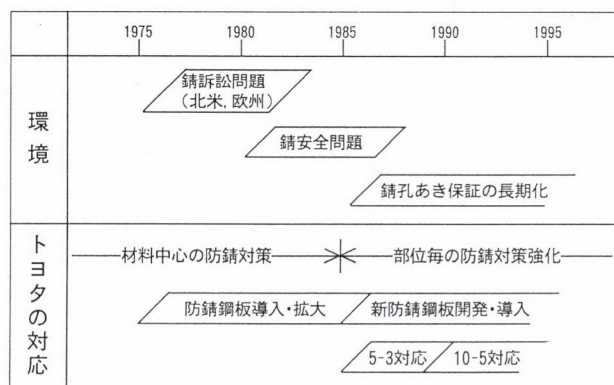
軽量化は車体にとって永遠の課題とも言える。これまで述べて来た様に今後当面は、衝突安全性向上のために増加する重量を製造プロセスの改良と高強度鋼板の適用拡大により抑制する方向で推移するものと思われる。

4 耐久性（防錆性）

4.1 防錆鋼板適用の経緯と現状

冬期に路面に凍結防止のため塩を散布する地域における錆問題から、自動車の車体の耐久寿命の改善が求められるようになり、防錆鋼板の使用が促進された。図13は、その経緯について示したものである。1976年にカナダにてCAAコード（孔明き3年―表面錆1年）が、又1981年にはその強化（孔明き5年―表面錆1.5年）が行われた。更に、1983年には北欧にてノルデックコード（表面錆3年―孔明き6年）が制定されるに及び、米国のBIG3が10-5目標（孔明き10年―表面錆5年）を掲げるようになった。これに影響されて、各国の自動車メーカーも10-5目標を掲げて車体造りを進めているのが現状である。

図14にトヨタ車の使用している防錆鋼板について示す。内／外板とも合金化溶融Znめっき鋼板を使用しており、一部には成形性や塗装性を向上させるため2層合金化溶融Znめっき鋼板が使用されている。ホワイトボデーだけに



*5-3対応：目標 3年表面錆無 5年孔あき無
*10-5対応：目標 5年表面錆無 10年孔あき無

図13 防錆鋼板の使用経緯

限れば、現在車体の80～90%が防錆鋼板で造られている。但し、車両の防錆を達成するためには、鋼板の防錆力のみならず塗装・副資材（シーラ、ワックス、接着材）との組合せが重要であり、日本車では防錆鋼板と副資材との組合せで高い防錆性を達成している。図15に車体に適用されている副資材を示すが、この副資材の使用の考え方は、北米・日本・欧州によって各々異なる。北米メーカはZn目付けの多い防錆鋼板が主体であり、副資材は多用していない。一方欧州ではワックス等の副資材の使用量が多く、防錆鋼板使用比率は小さい。日本は両者の中間に位置すると考えられるが、近年では北米でZnめっき目付けが進行しており、一方欧州では防錆鋼板の利用が進んでいる。防錆鋼板の仕様や適用比率に限って言えば、両者とも日本車に近付きつつあると言える。

防錆鋼板の材質の変化は、図16^{a)}に示される通りであり、溶融めっき系の鋼板と電気めっき系の材料が自動車メーカ毎に使い分けられている。これは、主として裸耐食性を重視する場合と塗装後の耐食性を重視する場合とに対応して

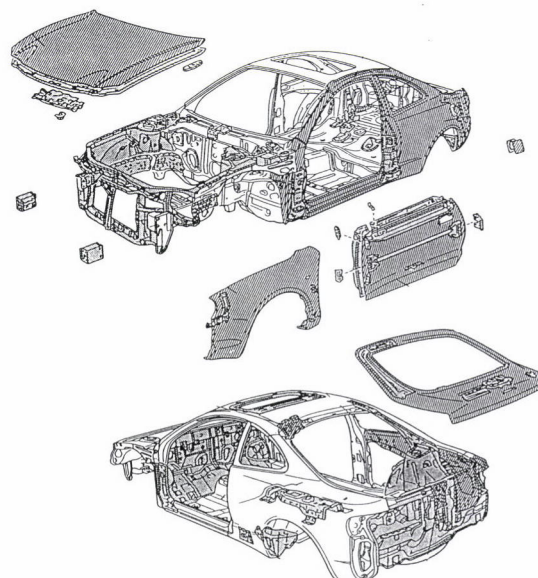


図14 トヨタ車に使用されている防錆鋼板の例

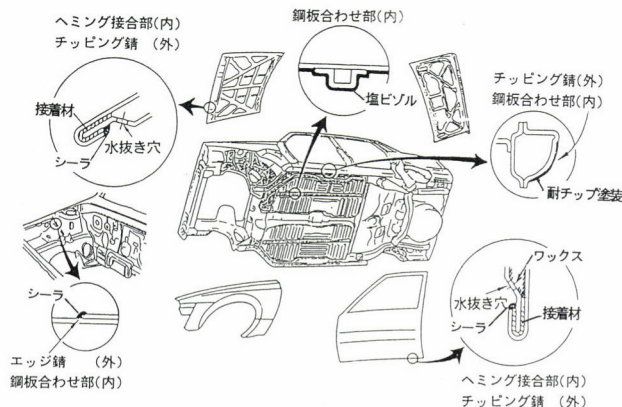


図15 防錆副資材の使用例

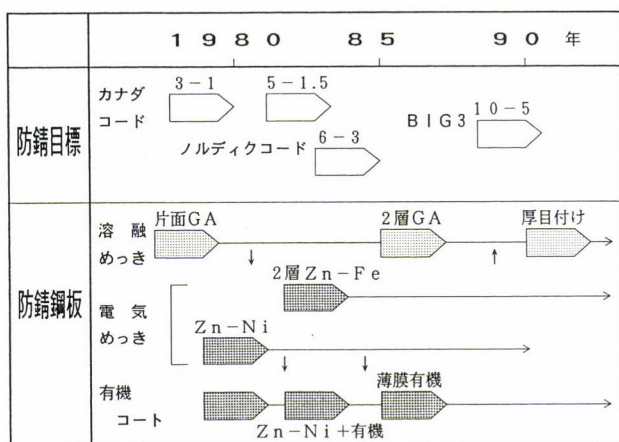


図16 防錆鋼板の材質変化

いる。裸耐食性を重視する場合には、Zn-Ni電気めっき鋼板の上に有機皮膜を有する鋼板が使用される。塗装後の耐食性を重視する場合には、合金化溶融Znめっき鋼板が好んで用いられる。10-5対応の防錆鋼板としては、有機複合Zn-Niめっき鋼板と厚目付け合金化溶融Znめっき鋼板が使用されている。これらの鋼板には各々長所・欠点があり、又自動車各社の防錆に関する考え方の相違もあって、早期にどちらかに集約される状況にはない。但し、世界的には低コストの溶融Znめっき系の鋼板にシフトしつつあるように思われる。

4.2 今後の防錆鋼板について

現在の防錆鋼板を取り巻く状況を一言で表せば、防錆鋼板は、成形性・溶接性や塗装性に各々欠点を持ちながらも、生産技術の改良によりなんとか使いこなされていると言える。又、防錆性能についても、現状の「10年孔明きなし」以上の要求は当面出てきそうもない。従って、現在の主要な改良方向は、使い勝手の向上と生産コスト低減に向けられている。この一例としては、合金化溶融Znめっき鋼板の車体外板面への適用があり、又プレス性改善のための表面潤滑手段の開発もその一環と言える。このように、当面は溶融系を中心とした低コストの防錆鋼板をどの様に使い

込むかが課題であるが、その先の発展のためには塗装や副資材を含めた防錆技術全体の中で防錆鋼板を考えて行くことが必要である。

先にも述べた様に防錆処理は、鋼板と塗装そして副資材の使用で成り立っている。これらは、現在世界的にあるバランス点に向かいつつあるようであるが(図17)、その姿は現状技術の延長上での最適点に過ぎず、その先の姿については色々と議論が別れる所である。極論を言えば、車体構造において隅々の隙間や角部まで完全にシールし得る防錆塗料があれば、防錆鋼板は不要となるか、あるいは微小な傷つきにのみ対応できる軽い仕様の防錆鋼板で良いことになるであろうし、逆にステンレス程の強固な防錆性が得られれば、防錆下地塗装や副資材の適用は不要となろう。腐食現象が地域毎の環境により、又車体の部位により程度・様相がことなることを考えれば、車体の部位や仕向け地毎に作り方や材料を変えていく事が最適化とも思われるし、一方で複雑化がコスト高を生む事を思えば、単一の手法に進むことが結局は最も低コストを実現するかも知れない。何れにしても現在各国の自動車メーカーが向かいつつあるバランス点は、防錆鋼板の端面やスポット溶接部の錆、防錆塗料のつきまわり性、防錆副資材の施工信頼性などの不十分な点を抱えたままの姿でしかなく、防錆を支えるこれら技術が現状を抜け出した時に従来にない新しい展望が開けるものと思われる。

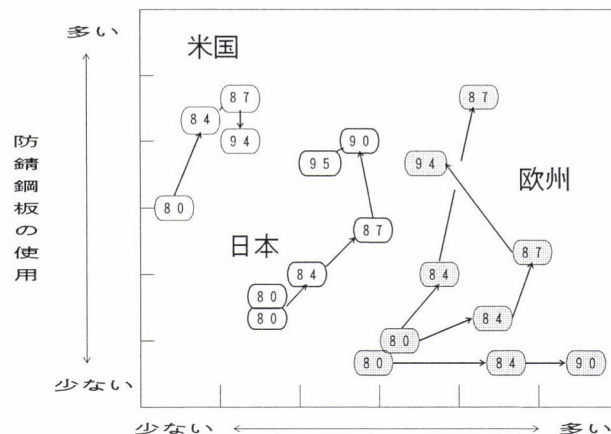


図17 防錆鋼板と副資材の適用

5 環境適合性について

最近、車体にかぎらず、自動車に使われる材料には環境との適合性が重視されるようになりつつある。その適合性とは、リサイクル容易な材料であることであり、又廃棄時に環境への負荷が少ないことであり、製造・使用・廃棄(リサイクル)の各段階においてエネルギー消費が少ないことである。最後に現在の車体材料についての環境適合性を考えてみたい。

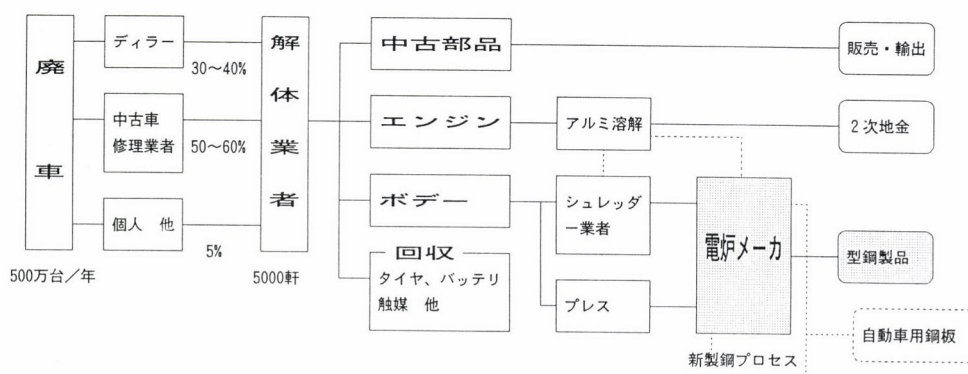


図18 自動車用鋼板のリサイクル

5.1 リサイクル性

図18⁷⁾に自動車の廃車処理の概要を示す。現在車体を構成している鋼板はほぼ100%リサイクルルートに乗っているが、リサイクルされる先は建築資材に使用される鋼材がそのほとんどを占める。これは、一つには現在の廃車処理時に不可避免的に混入する不純物元素が元の鋼板用途への再利用を困難にしているためと考えられる。もし、コスト的に成立し得る様な不純物元素の分離技術が成立すれば、リサイクルされる車体鋼板の用途は拡大し、廃車処理はより有効に機能するものと思われる。現在JRCMにて研究されている次世代製鋼技術の成果が待たれる所である。

アルミ材はリサイクルの優等生と言われるが、不純物混入の問題は鋼板とそれほど変わらない。ただし、現在車両に使用されているアルミ部材はほとんど鋳物製品であり、リサイクルされる先が鋳物の用途であっても格別問題はないと言える。しかし、車体材料としてアルミの展伸材が多く使用されるようになれば、展伸材だけのリサイクルルートの必要性も出てくるものと思われる。

更に遠い将来の事を考えれば、リサイクル時の不純物の問題を根本的に解決するため、添加元素に頼らない高強度化や逆に不純物元素の多く混入しても良好な成形性を有する鋼板などの新しい視点での材料開発も必要となってくるであろう。

5.2 環境負荷物質

リサイクルに関連し、車体材料への影響が予想される項目が環境負荷物質である。鉛やNi等、生態環境への悪影響が懸念される物質については、たとえ量が多くなくとも、その使用に関しては慎重に対応して行かなければならない。今後の材料選定や開発にはこれら物質の有害性や法的

規制の動向に注意して行くことが従来にも増して必要となっている。

6 おわりに

自動車車体用材料の現状をまとめ、その将来の方向に関して私見を述べてきた。当面の車体材料に関する動きは、今まで開発してきた多種多様な材料を有るべき姿に整理し、低コストな車造りのための体制を整える事が主体となっているのが現実である。しかし、その中でも将来の車体材料への本質的な変化は、既に始まっているように思われる。現在の姿は、あくまで種々の制約と過去の経緯を引きずって形造られた物であり、決して理想の姿ではない。次の時代の材料は現在の制約を乗り越えた所から生まれ出る様に思われる。視点を高く持ちつつ、次の時代に向けて歩みたいものである。

引用文献

- 1) 臼田松男、菊間敏夫：自動車用材料シンポジウム（1995.11）、9
- 2) 柴田眞志：自動車技術会シンポジウム（1994）、10
- 3) ULSABパンフレット（1995）
- 4) ユーレカ国際技術会議報告書（1994.9）、23、軽金属協会
- 5) 佐藤章仁、中嶋裕樹、中村真一郎、富岡良郎：自動車技術会 学術講演会前刷集951（1995.5）
- 6) 金丸辰也：第138・139回西山記念技術講座テキスト（1991）、165、日本鉄鋼協会
- 7) 武内美継：物価資料（1993.9）、記事18（1995年11月27日受付）



入門講座 鉄鋼材料編-2

鋼の組織制御学・入門

西沢泰二
Taiji Nishizawa

住友金属工業(株) 総合技術研究所 顧問

Elements of Micro-structure Designing of Steel

1 はじめに

「歴史を学ぼう」という声があちこちで聞かれるようになった。先行グループを追走する立場からトップ・グループに仲間入りして、進むべき方向もペース配分も、自分で定めねばならない立場となった本邦の技術者・研究者は、過去の科学技術の潮流を適確に把握することによって、未来を見定めることが大切である。そこで、本題に入る前に鉄鋼組織学の源流を溯ってみることにしよう。

2 ミクロ組織学の源流

2.1 ミクロ組織の発見

われわれが日常の生活を営んでいる「マクロの世界」と、物質の基本要素の「原子・分子の世界」との中間に「ミクロ組織の世界」がある(図1)。このミクロ組織の世界をはじめて探索した人は、弾性の法則で有名なロバート・フック(R. Hooke)であった。

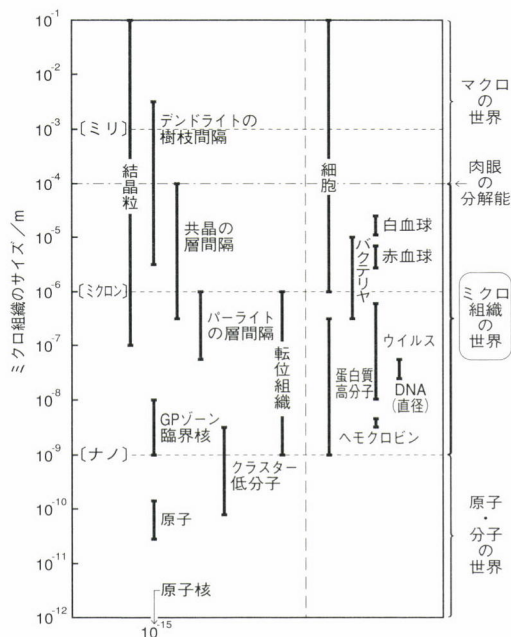


図1 ミクロ組織の世界

ニュートンと同世代の優れた実験科学者だったフックは、さまざまな微小物の顕微鏡によるスケッチを満載した“Micrographia”という題名の本を1665年に発刊して、各方面に大きなインパクトを与えた。とくに、生体が細胞(cell)によって構成されているという報告は、後年の生体組織学(histology)や細菌学(bacteriology)の端緒となった記念碑的な発見であった¹⁾。

Micrographiaの刊行から200年後の1864年に、ミクロ組織の世界が鉄鋼材料中にも存在して、鉄鋼の強さや粘さと関連をもつことがソルビー(H.C.Sorby)によって発表された。しかし、ノッペラボーに見える鉄の塊の中に、生体の細胞に類似したミクロ組織が存在するという事実を、当時の人たちは容易には信用しなかった。このために、英国の鉄鋼協会誌(JISI)にソルビーの顕微鏡写真が掲載されたのは、口頭発表から20年後の1885年であった(図2)²⁾。

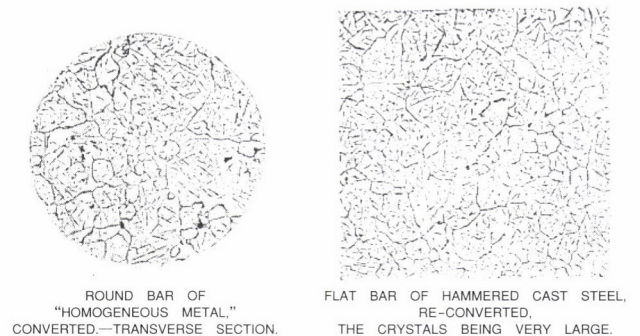


図2 ソルビーの顕微鏡組織写真の2列²⁾。
試片はいまもシェフィールド大学に保存されている。

ソルビーは鉄の街シェフィールドで生れ育った。金属学だけでなく、地質学、生物学、化学等の広汎な領域で活躍したので、金属に関する論文はあまり多くない。しかし、われわれが今日実施している組織観察法—試片の切断面を研磨・エッチングして組織を現出させ、反射型顕微鏡で観察するという一連の操作—をほとんど独力で確立した。ソルビーはまさしく、鉄鋼組織学の父であった。

2.2 観察から科学へ

科学において“観察”は最強の手段である。しかし、観

察した結果を単に集成するだけでは、本当の科学とはいえない。鉄鋼の組織学が一人前の科学となるには、新しい思考法—マイクロ組織の熱力学—を必要とした。

熱力学は18世紀後半に始まった産業革命によってはぐくまれ、熱と仕事の互換性の認識が「エネルギー保存則」を、そして、エンジン効率の改善の努力が「エントロピー」の概念を生み出した。この熱力学の思考法は19世紀後半から20世紀初頭にかけて、多方面の科学領域に取り入れられ、化学熱力学や統計熱力学へと発展した（図3）。

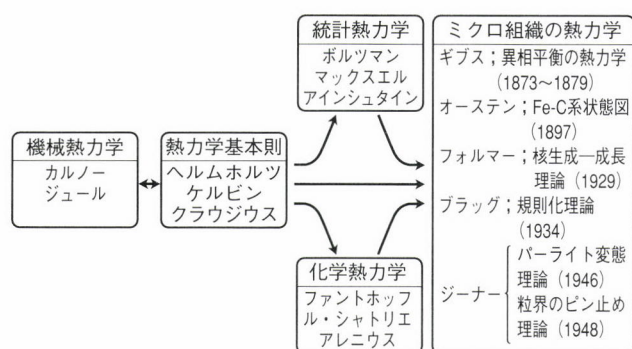


図3 ミクロ組織の熱力学の系譜（1950年まで）

マイクロ組織に熱力学を適用した先覚者は、米国エール大学の数理物理学者ギブス（J.W.Gibbs）である。彼は「不均一物質系の平衡について」と題する一連の論文を1873～1879年に発表して、「相律」、「化学ポテンシャル」、「界面張力」、「界面吸着」など、マイクロ組織の本性に関する基本概念を明確化した。

このギブスの卓越した構想がマイクロ組織学の進展にどれほど寄与したかは測り知れない。とくに、鉄鋼をはじめとする金属材料の、顕微鏡組織に立脚した材料学—金属組織学（metallography）—の確立に大きく貢献した。ソルビーが鉄鋼組織学の“父”であったとするならば、ギブスは“母”であった。そして、これら父と母の間に多彩な花がつぎつぎに咲いた。その第一がオーステン（W.Roberts Austen）の鉄—炭素系状態図（図4）である。

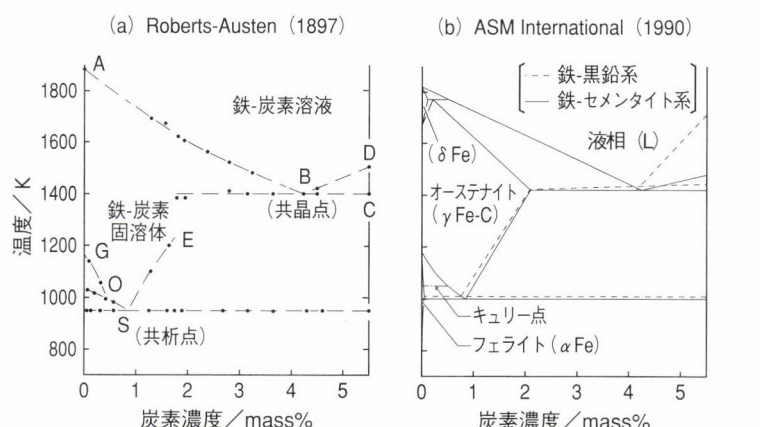


図4 鉄—炭素系状態図の100年

英国王立鉱山学校の教授だったオーステンは、合金状態図の重要性を認識し、水と食塩との状態図を手本として1897年に図4（a）の鉄—炭素系状態図を発表した³⁾。最新の状態図（b）と比べてみると、共晶点（B）や共析点（S）などの要点がかなり正確に定められていたことがわかる。一番の驚きは、水と食塩との溶体＝食塩水からのアナロジーによって、“鉄”と“炭素”との“固溶体”の形成を推理し、状態図中に明記している点である。この卓見によって彼の名は“オーステナイト（austenite）”として永く記念されることとなった。

状態図は材料についての「地図」であり「羅針盤」である。オーステンの状態図によって足掛かりを確保した鉄鋼材料の研究者たちは、それまでの暗中模索のような時代を超えて、多種多様な鉄鋼材料を開発し、“鋼の時代”を打ち立てた。

3 鋼の変態の特異性

鋼はアルミに負けない加工性をもつものもあれば、セラミックスに比肩し得るほど硬いものもある。このような多様性は、鉄の奇妙な変態から由来する。

3.1 A₃変態（α鉄⇌γ鉄）の不思議

純鉄はおよそ1180Kで変態して、体心立方の α 鉄から面心立方の γ 鉄に、そして1670Kで再び変態して体心立方の δ 鉄になる。このような2度の変態は珍しい。しかし、シリカ（SiO₂）は3回、プルトニウム（Pu）は5回も変態する。重要なことは回数ではなく、“逆方向”に変態する点である。

どなたもご存じのように、物質を加熱すると固体→液体→気体へ、換言すると“密”から“粗”へと変態する（図5（a））。この理由は熱力学によると、以下のように説明される。

物質の安定性を表わす自由エネルギー（G）は次式のようになり、二つの項よりなる。

$$G=H-TS\cdots\cdots\cdots (1)$$

エンタルピー (H) は、物質を構成している原子間の結合エネルギーの総量であって、結合が強くて“密”であるほどHは低い。一方、エントロピー (S) は原子の秩序性を表わすパラメーターであって、“粗雑”で“無秩序”な状態のSは大きい。(1) 式によるとGの値は、Tが小さい低温ではHの値によって支配されるので、“密”な状態の方が安定。しかし、Tが大きい高温では、Sの値が大きいほどGの値が低くなるので、“粗”な状態の方が安定。したがって、物質は一般に温度の上昇に伴って“密”から“粗”へと変態する。

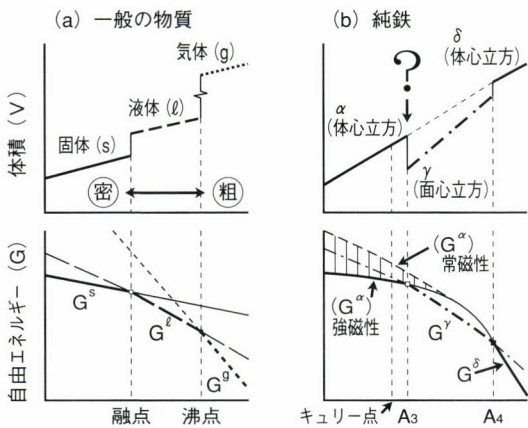


図5 一般の物質は“密”から“粗”に変態するが、鉄のA₃変態は逆方向である

ところが鉄のA₃変態 (α鉄⇌γ鉄) は全く逆であって、加熱によっておよそ1%の体積収縮が観測される。つまり“粗”から“密”へと逆方向に変態する (図5 (b))。この奇妙な逆方向の変態が起るのは何故か？を熱力学はつぎのように説明する^{4, 5)}。

α鉄はキュリー点 (1043K) 以下で強磁性となり、常磁性のときよりも自由エネルギー (G) が低下して安定になる。ただし、磁気変態は結晶構造が変わらない特殊な変態であって、図5 (右下) にハッチングで示したように、キュリー点の上下±500Kの広い温度範囲に涉って徐々に低下する。しかし、自由エネルギー低下の総量は驚くほど大きくて、1モルあたり8,700Jであり、A₃点やA₄点での変態の潜熱 (それぞれ940Jと1090J) よりもはるかに大きく、むしろ融解の潜熱 (15,200J) に匹敵する。このために本来なら低温でγ鉄よりも不安定な筈のα鉄が、磁気変態によって著しく安定化されて、γ鉄よりも自由エネルギーが低くなるために、“逆方向”のA₃変態が生起するのである。

3.2 焼入れ硬化の不思議

鋼を高温から急冷するとカチンカチンに硬くなる。この技法を焼入れと称することはどなたもご存じであろう。と

ころが、この常識が銅以外の材料には通用しないことを知る人は少ないのではなかろうか？たとえばチタンは1155Kでαチタン (最密六方) からβチタン (体心立方) に変態する。しかも、βチタンは0.5%程度の炭素を固溶するので、焼きが入っても良さそうなものだが、しかし、チタン-炭素合金を高温から急冷しても硬くはならない。

一般に物質の溶解度は温度が上昇すると増加する。したがって、鉄に対する炭素の溶解度がα鉄<γ鉄<融鉄の順に大きくなるという事実を当然のことと思うかもしれない。しかし、図6の下段 (右) に示したように、αチタンとβチタンに対する炭素固溶度は順序が逆である。実はチタンの方が正常で、鉄が異常なのであり、その理由は図6の上段に示した結晶構造を考えると理解できる。

	体心立方	面心立方	最密六方
格子モデル			
格子点の数 空間充填率	2 0.68	4 0.74	2 0.74
格子間隙数 格子点の数	3	1	1
格子間隙の形状	円板状 直径0.63d 厚さ0.15d	球状 直径0.41d	球状 直径0.41d

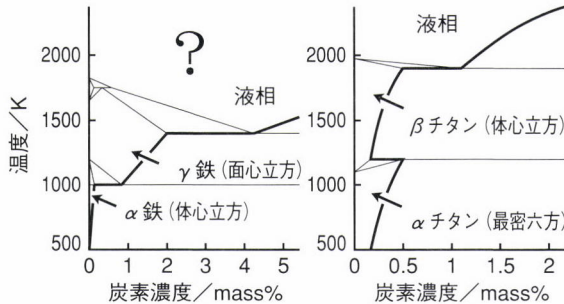
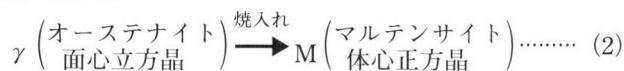


図6 体心立方、面心立方、最密六方の格子間隙と炭素の固溶度の関係

炭素が鉄やチタンに固溶する場合には、八面体格子間隙 (6個の原子が構成する八面体の中心) に侵入型固溶する。この格子間隙は、面心立方と最密六方では球状であって、その数 (図6の●印) は鉄あるいはチタン原子 (○印) の数に等しい。一方、体心立方の八面体格子間隙は数が多い (鉄、チタン原子の3倍)。しかし、個々の間隙は円板状であって、炭素原子の固溶には適さない。このために、体心立方の方が面心立方あるいは最密六方よりも炭素の固溶限が本質的に小さい。α鉄<γ鉄<融鉄の順に炭素の溶解度が大きくなるのは、単に温度が高くなるからではなく、A₃

変態 (α 鉄 $\rightleftharpoons$ γ 鉄) が逆方向の変態であることから由来すると思われるべきである。

昔から行われてきた鋼の焼入れや焼ならしなどの熱処理は、上記のような鋼の特異性を最大限に活用した技法である。図7にモデル的に示したように、 γ 鉄 (オーステナイト) の格子間隙に固溶した炭素原子が逃げ出す余裕を与えずに急速冷却するのが焼入れであって、変態生成相は固溶限度以上の炭素原子が無理に溶け込んでいるために、大量の格子欠陥を内蔵した硬い組織となる。この組織はドイツの金属組織学者マルテンス (A. Martens) を記念して、“マルテンサイト (martensite)” と名づけられた (図8 (b) (b') 参照)。



マルテンサイトは当初は α 鉄と炭化物の微細混合組織であろうと推察されていた。しかし、1920~1930年代にキャオーステナイト (面心立方晶)

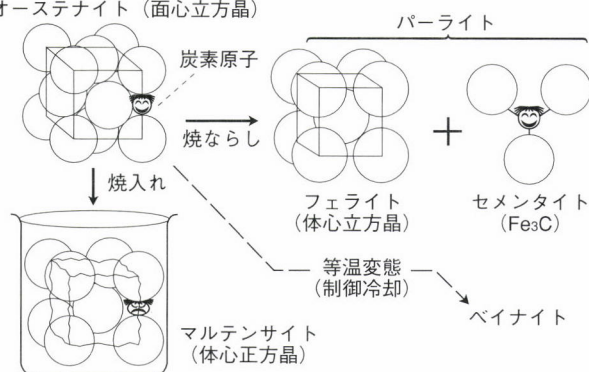


図7 焼入れ、焼ならしに伴う炭素原子の挙動

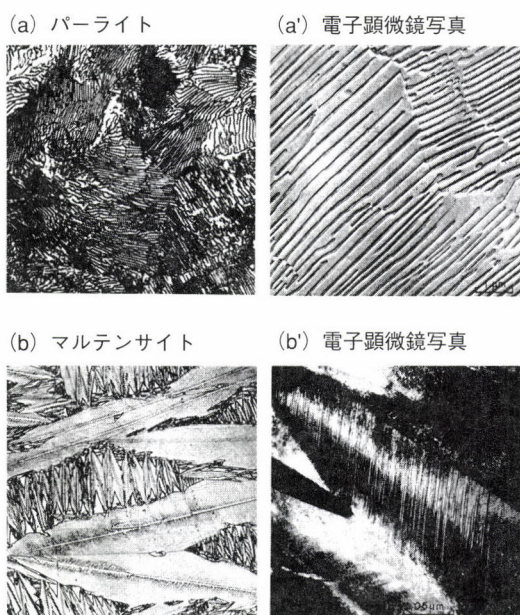
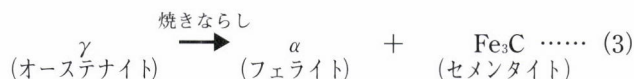


図8 パーライト組織 (a, a') とマルテンサイト組織 (b, b')。マルテンサイト組織にはいろいろの形態のものがあるが、ここではレンズ状 (笹の葉状) のマルテンサイトを示した。電子顕微鏡写真の細かな平行線は変態の際に生じた双晶である。

ンベル (E.D. Campbell) やクルジュモウ (G. Kurdjumov)、西山善次 (東北大・金研) らがX線解析によって、“体心正方”の単相組織であることを確認した。

一方、炭素原子が動きまわる余裕を与えて、体心立方の α 鉄と、炭化物 Fe_3C (セメンタイト) が形成されるように徐冷するのが焼ならしである。



とくに、炭素濃度が0.8mass% (図3 (a) のS点) の鋼では、厚さが1ミクロン以下の薄板状の α 鉄と Fe_3C が交互に重なりあった特有の層状組織が形成される。これを研磨・エッチングすると真珠のように輝いて見えるので、ソルビーは“パーライト (pearlite)”と名づけた (図8 (a), (a') 参照)。

なお、パーライトの生成機構はジナー (C. Zener) による熱力学的解析 (1946年) によって明確化された。今から丁度50年前のことである (図3参照)。

4 析出粒子の制御

原子が移動しないかぎりミクロ組織は変わらない。故に、ミクロ組織を制御するには鋼中の原子がどのくらい動くかを調べておく必要がある。

4.1 結晶中の原子の移動

もしも鉄の結晶がまったく“完全”であって、鉄原子がぎっしりと詰まっているならば、温度を上げても、それぞれの鉄原子は格子点を中心にして熱振動するだけであって、隣の格子点に移動することはない。しかし、現実の結晶は“不完全”であって、“空格子点 (原子が抜けた穴)”が存在する。この空格子点のおかげで鉄原子は隣の格子点へ、さらにまた隣の格子点へと移動する。それは丁度、にっちもさっちもいかない大渋滞の際の自動車の進み方に

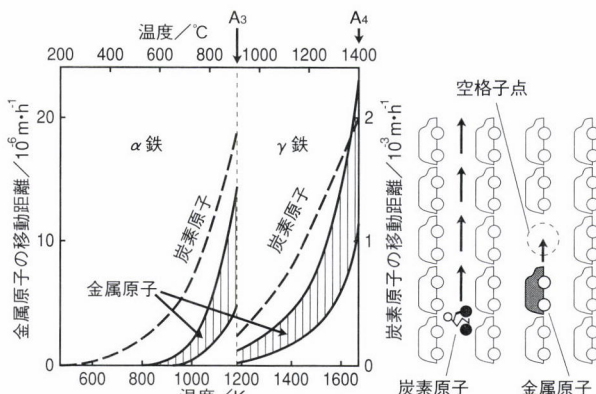


図9 鉄結晶中の原子の移動。

1時間あたりの移動距離は炭素原子の場合はミリ、金属原子の場合はミクロンで表わされている。

似ていて、すぐ前の位置に空格子点が巡ってきたときにひとこまずつ前進する(図9 右)。

鉄の結晶中の空格子点は900K以下の温度ではほとんどゼロである。しかし、温度が高くなるにつれて多くなり、融点直下の1800Kではおよそ1万個の原子あたり1個の割合にまで増える。このために1時間あたりの移動距離も図9左にハッチングで示したように、温度上昇とともに大きくなる。

図9で注意すべき点は、またもやA₃変態であって、A₃点直下の温度の方がA₃点直上の温度よりも、原子の移動距離が10倍も大きい。この理由は、 α 鉄(体心立方)が“粗”で、 γ 鉄(面心立方)が“密”な構造であって、自動車道にたとえるとA₃点を境界として道幅が急に狭くなるために、移動距離が急減するのである。

もう一つの注意点は、炭素原子の移動が金属原子(クロムやニッケルなど)よりも100倍以上も速いことであって、たとえば1000℃では、金属原子は1時間に1.5ミクロンしか動けないが、炭素原子は400ミクロンも動くことができる。この理由は炭素原子が格子間隙を通り抜けて、侵入型移動することができるためである。

4.2 析出粒子のサイズと分布

原子の移動距離がわかると、いろいろの組織変化の様相を推定することができる。たとえば低合金高張力鋼(HSLA)中のニオブ炭化物(NbC)について考えてみよう。

NbCのオーステナイトに対する固溶量は微少であって、鋼の炭素濃度が0.1%のときのニオブ固溶量は1000℃で0.02%、1200℃で0.09%に過ぎない。図10に●印で示したように、3種類の鋼; A (0.05%Nb), B (0.1%Nb), C (0.15%Nb)を固溶度曲線(a—b)よりも高い温度に加熱して、均一なオーステナイト単相組織とする。つぎに矢印で示したように、それぞれ1000℃, 1100℃, 1200℃まで急いで冷却して、各温度に1時間保持すると、固溶限よりも過剰に溶け込んでいたニオブ原子が炭素原子と結合し、NbCの結晶を形成する。こ

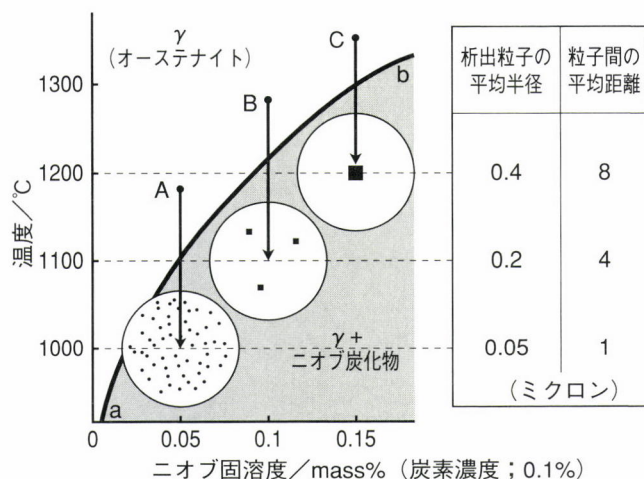


図10 高温で析出したニオブ炭化物は粗大で、分布もまばらである。

のように、過剰に固溶していた溶質原子が別種の結晶を形成する現象を“析出”という。

NbCの結晶が析出するにはニオブ原子と炭素原子が集まる必要がある。前節で説明したように炭素原子に比してニオブ原子の移動は極めて遅いので、NbCの析出の速さはニオブ原子の速さによって律速される。図10は、ニオブ原子の移動速度にもとづいて析出粒子のサイズと、粒子間の平均距離を推定した結果であり、高温で析出した粒子は一般に粗大で、分布もまばらである。したがって、微細なNbC粒子を緻密に分布させるには、適量のニオブを添加した鋼をなるべく低い温度に保持して析出させるのが良いことがわかる。

5 結晶粒の制御

材料は結晶粒を細かくすると靱性が向上する。故に、結晶粒の制御は材料の組織制御の第一歩といっても過言ではない。

5.1 結晶粒の泡モデル

図11(上)に示したように、シャボン液に空気を吹き込んで、細かなシャボン泡をたくさん作り、しばらく放置すると、泡の平均サイズが次第に大きくなると同時に、泡の数が減少する。つぎに図11(下)に示したように、大小のシャボン玉(またはゴム風船)をガラス・コックの両端につけて、コックを開くとどうなるだろうか? 正解は、ゴム風船の場合は(a)、シャボン玉の場合は(b)であり、小さなシャボン玉が消滅するのに対して大きなシャボン玉はますます大きくなる。

これらの実験はシャボン膜が表面張力をもっていて、膜の総面積を減少させようとする。表面張力は弾性応力とは

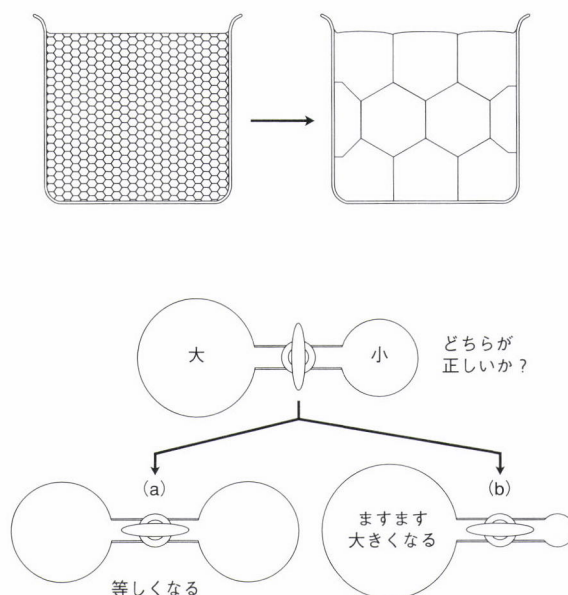


図11 シャボン泡の成長現象(上)とシャボン玉のクイズ(下)

異質であって、膜を拡げても、単位面積あたりの値は変わらないこと。また、膜の曲率が大きいほどシャボン玉の内側に大きな圧力（これを“内圧”という）が発生することを示している。なお、表面張力の大きさは N/m を単位として表わされる。これをエネルギーの単位 $J (=N \cdot m)$ を用いて変換すると、 $N/m = J/m^2$ となるから、表面張力を単位面積あたりのエネルギーと考えて、表面エネルギーということもある。

結晶粒界は結晶粒と別の結晶粒との間の界面であり、シャボン膜に類似した“界面張力”をもっている。これを通常“粒界エネルギー”という。鋼の粒界エネルギーはおおよそ $0.8N/m$ であって、水の表面張力のおおよそ10倍の値である。

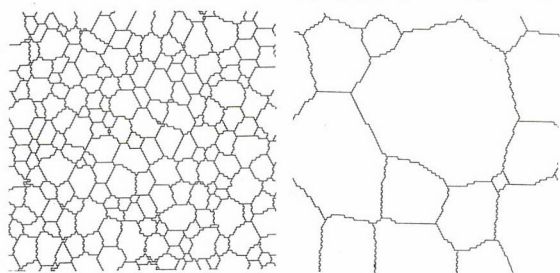
5.2 結晶粒界の粒子によるピン止め

鋼を高温に加熱すると、図11（上）のシャボン泡と同様に、結晶粒が成長するから、やみくもに加熱してはならない。しかし、焼入れや熱間加工などの処理を行なう際には、先づ、かなり高温に加熱することが必要である。このような場合に、結晶粒の成長を抑制する手段として有効なのが“微細粒子の分散”である。

図12（a），（b）は分散粒子が存在しない場合の結晶粒成長を、コンピューターによってシミュレーションしたもので、時間の経過とともに結晶粒が著しく成長する。ここでmcsはシミュレーションにおける試行回数であり、加熱時間に相当する。

これに対して、微細粒子を分散させた組織（c），（d）では、ある大きさの粒径に達すると、結晶粒成長が停滞する。これは微細粒子によって粒界が“ピン止め”されるためであり、ジナー（C.Zener）によって1948年に、結晶粒径

（a）分散粒子ナシ；20mcs （b）分散粒子ナシ；500mcs



（c）分散粒子2%；500mcs （d）分散粒子5%；500mcs

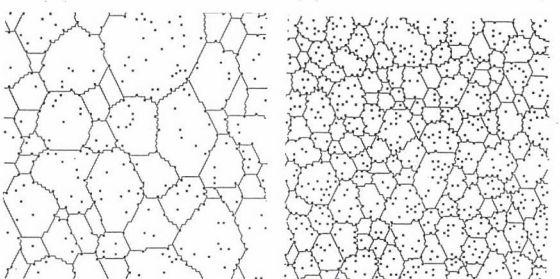


図12 結晶粒成長（a→b）と、分散粒子による粒成長の抑制（c，d）のコンピューター・シミュレーション⁸⁾

と粒子サイズの関係が解析された^{7,8)}。

結晶粒を微細化するには、なるべく多数の微細粒子を均一に分散させて、熱間加工を行なう。たとえば4.2節で説明した析出炭化物の分散が代表例であって、半径0.05ミクロン以下のニオブ炭化物やチタン炭化物を利用して、粒界をピン止めさせながら熱間加工を行なうと、オーステナイトの結晶粒径が10ミクロン程度に制御され、靱性に優れた鋼が得られる。このように、熱処理と熱間加工を有機的に組み合わせて、ミクロ組織を制御する方法を加工—熱処理という。

6 おわりに

自動車や建物の部品に使用される材料にとって「外形のデザイン」は大切である。しかし、材料の性質を決定する「中身のデザイン」は更に重要である。

ミクロ組織の制御学は、この「中身のデザイン」を考える科学である。いうまでもなくデザインは、実行の可能性と経済性を無視したのでは無意味であり、あくまでも材料の本性を見据えたものでなければならない。

鉄鋼は他の材料の追随を許さない素晴らしい素材であって、まだまだ発展の余力を残していると筆者は思う。これまでの先輩が残した経験を理解し、組織制御の科学をマスターすることによって、鉄鋼組織の新しいデザインが現出されることを期待したい。

引用文献

- 1) NHKナノ・スペースプロジェクト：超ミクロ宇宙への旅、日本放送出版協会（1992）、54～63
- 2) C.S.Smith：The Sorby Centennial Symposium on the History of Metallurgy、Gordon and Breach Science Publishers（1965）、ix～xix
- 3) 中沢護人：鉄のメルヘン（金属学をきづいた人々）、アグネ（1975）、195～207
- 4) 西沢泰二：鉄合金の熱力学（第1回）、日本金属学会会報12（1973）、35～47
- 5) 西沢泰二：もしもベータ鉄があったなら—磁気変態にもとづく相平衡の異常—、日本金属学会会報17（1978）、790～797
- 6) 西沢泰二、佐久間健人：金属組織写真集・鉄鋼材料編、日本金属学会（1979）、19、22、29
- 7) 西沢泰二：単相鋼と二相鋼における結晶粒成長、鉄と鋼70（1984）、1984～1992
- 8) 大沼郁雄、大谷博司、石田清仁、西沢泰二：粒子分散組織における結晶粒成長のコンピューター・シミュレーション、日本金属学会誌58（1994）、1133～1140

（1995年10月27日受付）



鉄の歴史②

古代製鉄史における東と西

—ある講演会でのスピーチより—

村上英之助

川崎製鉄(株)顧問

Einosuke Murakami

East and West in the Ancient History of Iron and Steel

1 最古の鉄は隕鉄

皆さんもお読みになったと思いますが、1994年12月15日の日本経済新聞に、この新聞としては異例のことですが、一面トップで中国河南省三門峡市で西周時代の巨大王墓が出土した、という記事がのっています。西周時代とは紀元前1027年から同771年までのざっと300年間で、今回見つかった王墓は、この周王朝と血縁関係にある虢国^{かく}という中堅クラスの侯王のものだそうです。主な出土品は玉のマスク、銅鬲^{どうれき}、銅方壺^{どうほうこ}、青銅甬編鐘^{せいどうようへんしょう}などですが、この中にわれわれ製鉄史研究者にとって最大のクリスマス・プレゼントである次の品がまじっています。

▽銅柄鉄劍（どうへいてっけん 長さ33.1cm）

銅柄鉄劍とは、柄の部分が青銅で劍身が鉄でできている代物です。ご存知と思いますが、劍とは両側に刃がついているもの、刀とはそれが片方だけについているものです。記事によりますと、

「発掘物の鉄劍の『天下第一劍』は、国際的な学会の鑑定で『中国最古』の折り紙がつけられた」とありますが、これは間違っています。殷、周時代の鉄器がこれまで未発見だったわけではありませんが、鉄製の実用の劍が出たのは今回が初めてです。これまでのものは、たとえばアメリカのフリア美術館に入っている周代の鉄器がいい例ですが、鉄刃銅鍔^{どうてつ}といいまして、青銅製のマサカリに鉄の刃が装着されているものです。長さも15～16cmの小振りなもので、広島大学名誉教授の潮見浩先生の解釈では、これは実用の武器というより儀器、つまり祭祀用の品物だろう、ということになっています¹⁾。しかも特徴的なことは、これらの鉄器にニッケルがふくまれている点です。1例をあげますとニッケル含有量1.76%でして、これはこの鉄刃が隕鉄製であることを物語っています。ことほど、人類が使いはじめた最初の鉄器は隕鉄起源なのです。そのことを端的に示しているのが古エジプト語で鉄のことをbia en petと呼んでいたことです。biaはmetal, enはfrom, petはheaven、つまり天からの金属です。

隕鉄というのは火星と木星との間にある小惑星帯が出发点です。そこで衝突した小惑星の破片が地球の引力にひかれて落っこちてきたものが、広くいうと隕石であり、その中で鉄分の多いものが隕鉄です。さきほども述べましたようにこの隕鉄の最大の特徴はニッケルをふくんでいる点で、平均値でいいますと約8%です。現代のステンレス鋼のうちSUS304という規格のものは、ご存知のようにクロームを18%、ニッケルを8%ふくんでいますが、不思議なことに隕鉄の平均ニッケル分はこれに一致します。

日本には手軽に隕鉄がみられる博物館はありませんが、ニューヨークの「アメリカ自然史博物館」にいくと驚くほど大量の隕鉄が陳列されています。隕鉄特有のヴィドマンシュテッテン構造から成るものや、ノイマン・ラインが鮮やかなものも見られます。

それにしても、隕鉄や隕石が落下してくる時の光景は物凄いものです。1969年2月8日の夜、メキシコのチワワ市の上空でみられた、アエンデ隕石の落下時の模様をJohn A.Woodの文章で紹介してみましょう。

「エル・エラルド紙の編集長は、屋外の恐るべき光景をみてほしいという、事務所の夜警の興奮した声に呼びだされた。脈動しながら青く輝く炎が、ぼうっと光る航跡を残しながら南の空を横切って飛び、夜空を照らしていた。その輝きは非常に強く、チワワの北数百kmも離れた北米の一部でもみられた。すぐに編集長の電話が鳴りはじめた。今みただけの光景をせきこみながら伝えようとするものから、もうすぐこの世の終わりがくるというものさえあった。

しかし、240km南方に住んでいた人たちにとっては、この眼もくらむばかりの現象の真下にいただけに、驚きはさらに激しいものであった。もちろん、この現象は例外的に明るい光球によるものであった。この輝く火炎体は、北東へ向かって進み、大きく二つに分裂した。これら二つの火の球は、まもなく、花火のように飛び散って広がった。この間、連続した爆発音（ソニック・ブーム）が見物人たちの耳をおそった。何千という石ころや砂利が、暗い冬の空から落下してきた。」²⁾

このように隕石の落下は物凄いもので、古代人にとっては天頂がこわれ、その剥片が落ちてきたもの、それが隕石であり隕鉄だと観念されていたようです。

さて、1916年にG.F.Zimmerという学者が、それまで全世界で発見されていた隕鉄を整理してみせたのですが、総量で250t、うち99.44%が可鍛性をもっていました³⁾。しかも興味深いことに、その分布は圧倒的に新大陸に偏っており、旧大陸の、かつての高文化地帯にはまったくといっていいほど発見例がありません。隕鉄が落下するチャンスはおおむね均等なはずですから、このことは、かつての高文化地帯では過去数千年の間に隕鉄をことごとく使いつくしたことを物語っています。事実、古代オリエントでは紀元前2500年ごろから鉄器の出土が見られますが、いずれもニッケルをふくみ、隕鉄製です。中国の鉄器文化はそれほど古くはありませんし、化学分析の方も進んでいません。しかしそれらの中に、ニッケルをふくんだ「鉄刃・銅鋳」が出土することは前に述べたとおりです。

さて、少々まわりくどいことを申しましたが、日本経済新聞が報道した三門峡の「銅柄鉄剣」についても、まず疑ってみるべきことは、この鉄剣も隕鉄製ではないか、ということでもあります。日本経済新聞の記者はこれを人工鉄と考えているふしがありますが、手放しにそう考えるわけにはいかない、というのが論点の第1であります。

2 人工鉄のはじまり

第2は第1と密接にかかわるのですが、鉄をめぐる人間の価値観の問題です。社会学の用語に、価値—態度体系という用語がありますが、平たくいうと鉄にどういう価値を認め、それに対して人がどういう内面的反応、態度を示すか、という観点から分析してみたいと思います。

まず、1冊の面白い本の紹介からはじめたいと思いますが、それは民俗学の本で『金枝篇』といいます。著者はJames G. Frazerで岩波文庫に入っています。この『金枝篇』をひもといてびっくりするのは、古来タブーとされて来たものの筆頭に鉄があげられていることです。フレイザーによりますと、ローマ人の司祭は鉄の剃刀で顔を剃ってはならず、ギリシャの聖所には鉄を持ちこんではいけないことになっていたそうです。ユダヤ人の場合も、エルサレムの神殿を建設するのに鉄はいっさい使用されなかったといわれます⁴⁾。もちろん、この場合の鉄は人工鉄です。じっさい、これも驚きですが、古代エジプト人は人工鉄のことを「悪神セトの骨」といって蔑んでいました。そして所によっては、こういった人工鉄をつくる人そのものが賤視の対象となっている所があります。たとえば東アフリカのMasai族とかBari族の鍛冶屋は奴隷ないし賤民で、しばし

ば被征服者の遺民です。Tumalod族はSomali族の奴隷で鍛冶を業としていますが、Somali族はけっして鍛冶場に足を踏み入れないし、鍛冶屋と握手することも、その娘と結婚することもしません。エチオピアでは、鍛冶屋はハイエナに変身する力をもっていると信じられています。このように人工鉄を忌み嫌い、果てはその生産者まで極度に嫌悪するようなタイプをA型と呼ぶことにします。

しかし、世界中どこでも人工鉄がタブー視され、鍛冶屋が蔑まれているわけではありません。アフリカでも西アフリカは違いますし、ヨーロッパも違います。ことに北欧ではまったく逆で、ここでは鉄そのものも尊ばれますし、それを作る人も尊敬されています。B・グウルド『民俗学の話』に、こんな例があげられています。

「有名なミムング、エクスカリブル、ナデリングなどの名刀、更に著名なチルフィングなどと称する古来の名刀は皆妖精や小人の鑄造に係るのであります。(中略)彼等は尊敬されると俱に怖れられもしましたが、決して虐待されたようなことはしない。虐待よりも遥かに尊敬に値したのであります。」⁵⁾

このように鉄の有用性を高く評価するのは勿論、その生産者に対し強い畏敬の念をもっているようなタイプをC型と呼ぶことにします。

さて、こういうA、Cという両極端の民俗学的事実と、最初に紹介しました隕鉄の話をかさね合わせてみますと、エジプトやメソポタミアのような高文化地帯では、鉄は隕鉄という形で天から授かるべきもので、人間がみだりに人工的に作ってはならない、というタブーに似たものがあったことがわかります。彼等にとって鉄は隕鉄でなければいけない、それだけが唯一の鉄だ、という観念があったに違いありません。その結果として人工鉄は忌むべきものであり、その生産者は見下げた奴だ、ということになったのでしょう。

以上のことから、重要な史的展望がひらけて来ます。すなわち人工鉄がつくられ始めた地域なりその担手は、古代オリエントの中心部をはずれた周縁部、そこに住む種族だろう、ということです。私は、コーカサス山脈の南麓から南下してきたフルリと呼ばれる種族が多分その担手で、年代は紀元前1500年ごろではないかと思っています。このように述べますと、あれっ、ヒッタイトではないのか、という疑問を持たれる方がいらっしゃるかも知れません。ほとんど常識化しているこの学説は、じつは専門家の間ではあまり評判がよくないのです⁶⁾。誌面の関係で詳しく説明するのは省きますが。それよりも、人工鉄の作られはじめたのが紀元前1500年ごろだ、というその根拠についてちょっと触れておきます。

これも、古代オリエントに興味を持っている方達は知っ

ておられると思いますが、日本の判こに相当するものに円筒印章というのがあります。円筒印章の特徴は、円筒形をした石材のまわりに色んな絵を彫りこんでいまして、それを粘土板の上に転がすと図1のようにその絵が転写でき、判この役を果たすわけです。問題はこの円筒印章の材質で、紀元前2000年から同1600年の間は約70%が赤鉄鉱です。それも黒みがかった赤鉄鉱、ということは隕鉄に似ているのです。黒みがかった鉄鉱石と隕石が同一視されていたことは、古エジプト語で両方ともbiaと呼ばれていたことでわかります⁷⁾。ちなみにシュメール語では隕鉄のことをAN.BAR.M1と書きますが、M1は黒いという意味です。ところが、紀元前1400年から同600年ごろの円筒印章になると、鉄鉱石を素材にしたものは僅か2%しかありません。大部分が滑石に変わります。ということは、この頃になると、鉄鉱石は只の石になってしまったということです。そこで紀元前1500年ごろにひとつの分岐点があり、その頃から人工鉄がつくられはじめた可能性が強いと私は主張しているのです。

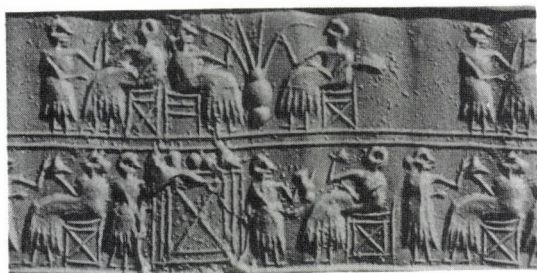


図1 円筒印章の刻印
(出所) D. J. Wiseman, *Catalogue of the Western Asiatic Seals in the British Museum*, London, 1962, Pl., 24.

3 日本と韓国の製鉄文化類型

A型とC型があるならB型があってもおかしくないはずです。事実そうで、このタイプの場合、鉄の有用性、聖性は認めるが、その生産者はなんとなく気味の悪い存在とみなされています。そしてその典型が韓国と日本です。

まず韓国の例ですが、慶州の古新羅古墳から鉄でできた短刀—これを考古学では^{とうす}刀子と呼びますが—、これがおびただしく出てきます。たとえば飾履塚の場合、なんと70本にもものぼります。さらに変わっているのは、太刀の鞘に副刀としてこの刀子が挿しこまれている例が沢山あります。こうした刀を子持ち刀、母子刀などと呼びますが、こうした刀子がもっている意味について、日・韓の考古学者はあまり深く考えていないのですが、私は解説に値する或る意味がそこに秘められていると思います。結論からいえば、これらの刀子は、おのれの分身、人の形代、^{かたしろ}という象徴的意味あいを持っていたのだと思います。なぜそういえるかと言いますと、さっき紹介した子持ち刀がひとつの手がか

りを与えてくれるのですが、この子持ち刀に、しばしばもうひとつの物事が挿しこまれているのです。それが、図2からわかるように女の簪です。

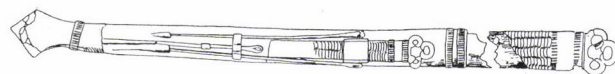


図2 金鈴塚の子持ち刀
(出所) 梅原末治『慶州金鈴塚、飾履塚』国書刊行会 1973年 図版102。

一方、明らかに女性のものとわかる絢爛豪華な銀の飾りをもつ短刀、その鞘にも2本のより小さい刀子と1本の簪がさしこまれている例があります。図3にその1例をかかげておきました。これから次のことがわかります。国王級の男性が妃となるべき女性と結婚すると、刀子と簪を互に交換し、それを太刀あるいは護身用短刀の鞘にお互に飾る習慣があった、と。その場合の刀子は、疑いもなく男性の分身としての役割りを持っています。簪は勿論女性の分身です。さきほど述べました70本の刀子も、そう解釈すると巧く説明できます。つまり死者を悼む近親者、関係者が、おのれの身代りとして献じたものが、ほかならぬあの刀子だ、と。

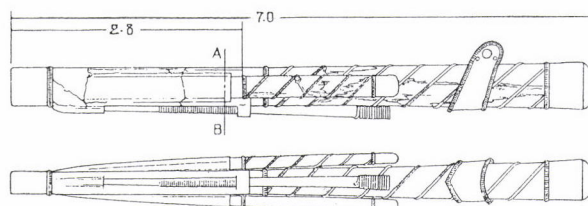


図3 金銀装刀子婦人佩用(梁山夫婦塚)
(出所) 小川敬吉『梁山夫婦塚とその遺物』(『古蹟調査特別報告』第5冊)朝鮮総督府 1927年 図版第23。

それにしてもなぜ鉄製刀子がそういう役目を果たすのでしょうか。刀子の素材が金でも銀でもなく、まさに鉄でなければならぬのはなぜでしょうか。多分鉄だけが、あの隕鉄の時代から受けつがれた聖なるものを秘めていると観念されていたからに違いありません。

こういう物性観は日本にも流れて来ています。そのひとつが、中世の女性が懷中にしのばせていた「提げ鞘」です。提げ鞘というのは、『粉河寺縁起』という絵巻の詞書に出てくる次の短刀のことです。

「われら幼きときより、身もはなはずもちて遊びしものにて候とて、提げ鞘ひとつ、くれないの袴まいらす。」⁸⁾

これは、出家する女性が幼い時から肌身につけていた短刀と紅袴を自分のかたみとして受けとって欲しい、つまり、これらの短刀と紅袴は私の分身なのだ、と言っているのです。ここには5～6世紀の慶州の身分高き女性の刀子観がそのまま受けつがれているように思われます。

しかし、製鉄職人のこととなると話は別です。韓国の場合、安宇植氏の『アラン峠の旅人たち』という本をみま

すと、こう書いてあります。

「冶匠は朝鮮王朝初葉に、高麗王朝時代の寺院に所属した奴隷を官庁所属の奴婢として編入させ、これに技術を教えこんで匠人（職人）たちの族譜（系図）に記載したことから発生した。」⁹⁾

日本のタタラ師たちは韓国のそれより自由度は大きかったように思われますが、しかしその存在が何か知らず不気味であったことは、いくつかの事例からわかります。たとえば南九州では、鍛冶屋の子をいじめてはいけない、さもないと後の祟りが恐ろしいぞ、というような民俗例があります。もうひとつ例をあげてみましょう。兵庫県と岡山県の県境を流れている千種川ちぐさの上流は古来からの砂鉄製錬地帯ですが、タタラ師たちはそこで出来た千種鋼を背負い、町を抜けて川下の船つき場まで運びます。その際、町の人達からいくつかのタブーを課せられていました。たとえば町を抜ける間は口をきいてはならない、煙草を吸ってはならない、等々です。これは明らかに、町の人達がタタラ師を気味の悪い職能集団とみていたことを物語っています。

こういうB型は何も韓国と日本だけに認められるわけではありません。ルーツはどうも西方にあるようで、インドのChota Nagpur地方の製鉄種族であるAssûr族に関する報文をみますと全くよく似ています。Assûr族の鍛冶屋は個々には周辺の種族から尊敬されているのですが、集団としての鍛冶屋は軽蔑され、嫌われ、恐れられているといわれます¹⁰⁾。

4 昔の鉄と今の鉄

ここでインテルメッツオとして、昔の鉄がいいか現代の鉄がいいかという話を入れておきましょう。

かつて雑誌『アグネ』が、今の鉄をよしとするNKKの松島巖氏の論文と、昔の鉄をよしとする東北大学の井垣謙三先生の論文を対論形式でのせ、それに対するコメントをわれわれに求めてきたことがあります。私は「ためらわずに井垣説に」という一文を書いたのですが、今でもそれでよかったと思っています。

1、2の例をあげてみますと、まずひとつは法隆寺の釘です。宮大工・西岡常一氏によると、創建当時の釘は表面こそ錆びていますが、一皮めくると精良な肌が出てきて、これだとあと千年はもつだろうといわれます¹¹⁾。ところが慶長の大修理に使われたカスガイとなると錆の塊りです。明治30年に法起寺三重塔の修理に用いられたボルトに至っては、わずか70年で錆のためネジの山が消えてまわりの木の穴ががたがたになり、ために塔が傾いたという有様です。

その後私は井垣先生にお会いし、鉄は錆びると信じこんでいる「現代の製鉄人は墮落している、鉄は錆びないの

だ！」とお叱りを受けたうえで、昔の鉄を見せてもらいました。それは奈良時代につくられた薬師寺月光菩薩像の心金でしたが、それは現代のステンレス箔を思わせる、輝くばかりの鉄でした。

かつて正倉院展で実見した、奈良時代の刀と鉾の澄みきった鉄の肌も忘れられません。それは今の鉄とは全然違います。透明度の高い北海道の湖で水底をのぞいた時の感じ、そういえばいくぶんわかって貰えるかも知れません。

刀といえば、私の尊敬する刀鍛冶・天田昭次さんからこんな話を聞いたことがあります。同氏は熱心な古代製鉄史の研究者でもあるのですが、それにもとづいて出来るだけ古代的な方法で鉄づくりから始められます。砂鉄はむろん自分で浜から採取して来られますし、炭も全部ではないものの自分で焼かれます。製鉄炉は勿論自作です。ただひとつ古代的でないのは送風で、これだけは電動式の送風機を使って操業されます。では、結果はどうか。天田さんの言葉をそのまま伝えますと、

「正宗の名刀を澄みきった秋空にたとえれば、私ののはまるで新聞紙です。」

どうしてこんなことになるのか、天田さんも説明がつかぬといっておられます。

われわれがヨーロッパから学んだ現代の製鉄技術は、鉄の量産という点では多大の貢献をしましたが、千年ももつような鉄づくりからは遠くはなれてしまいました。どうやら井垣説に分がありそうです。

5 多様な日本古代の製鉄技術

もう一度、論点をもとに戻しましょう。さきほど日本はB型だといいましたが、厳密にいうと日本の西部、さらに特定すれば砂鉄製錬地帯といったほうがいいと思います。じつは、日本に伝わった製鉄技術は皆さんが考えておられるより遥かに複雑なのです。以下そのことを述べますが、まず日本最古の鉄器から入りましょう。

日本最古の鉄器は斧で、熊本県玉名郡の斉藤山遺跡（弥生時代の始発期）から1955年に出土したのですが、これについては学史に残るような事件があります。最初私などが知った段階では、Cが0.3%ぐらいで、ごく普通の鍛造品だろうと思っていたのです。ところが1980年に、広島大学の川越先生がこれは鑄鉄脱炭鋼ではないか、という衝撃的な新説を発表され、われわれ研究者一同、目から鱗が落ちる思いをしました。

鑄鉄脱炭鋼というのは中国の研究者の用語でして、日本流に言えば可鍛鑄鉄です。つまり、いったん鑄鉄品をつくり、次に脱炭炉でカーボンを抜いて鋼質に変えたものです。そんなことが、そんな古い昔にあったのだろうか、と皆さん

訝るでしょうが、じつは古代中国ではそれができたのです。

古代オリエントではじめて人工鉄がつくられはじめた時、もちいられた製鉄法はいわゆる直接法で、製錬温度は1150℃ぐらいです。勿論これでは鉄は溶けません。溶けて流れ落ちるのは岩石部分＝脈石とFeOが反応してできたファイヤライトと呼ばれるスラグです。

ヨーロッパでは、この直接法が14世紀ごろまで続きました。ところがペストのため労働人口が減り、これを補うために水車が送風用に用いられるようになって事態は一変します。鉄が溶けはじめたのです。最初のうち人びとはこの銑鉄に手を焼き、この糞たれ豚め、pig iron!と呼んで捨てたり、もう一度炉に戻したりしたものです。そのうち誰が発見したのかわかりませんが、銑鉄は鋳物に使えるし、これを脱炭すれば鋼に変えられることがわかってきました。『鉄の歴史』の著者・ベックは巧いこと書いています。

「製造業の最重要な進歩が何か自明のものとして受取られ、一世紀もたつと、もう全く発明の時期を忘れ去り、鉄の鋳造は昔からあったものと信じこみ、人間がこの鉄の形態を数千年も知らずに過したなどとは思ってもみない有様だった。」¹²⁾

ところが中国では、これと同じようなことが紀元前6世紀頃におこったのです。それにしても中国では何故そんなに古い時代に銑鉄ができたのでしょうか。これにはいくつかの要因が重なっていますが、なんといっても優秀な送風機をもっていたのが決定的だったと思います。山東省宏道院から出土した後漢代の画像石から、その種の巨大な鞴をかいまみることができます。

いずれにしてもこうして溶けだした鉄を、古代中国人は14世紀のヨーロッパ人と全く同じように、或る部分は鋳物に廻し、或る部分は脱炭して鋼に変えました。そしてその中のひとつが銑鉄脱炭鋼なのです。

斉藤山遺跡の鉄斧にもう一度話を戻しましょう。さきほど述べましたように、これは銑鉄脱炭鋼ではないかというのが川越先生の指摘ですが、そういわれてみると鋳造鉄斧の形が少し残っていますから、これは間違いなく銑鉄脱炭鋼です。そうこうしているうちに、新日鉄の大沢正己さんが東大阪の鬼虎川遺跡で銑鉄脱炭鋼製のノミとヤジリを発見されました。これは、カーボンの抜けた孔が判断の決め手になったのです。

もちろん銑鉄品そのものも続々と発見されるようになり、弥生時代とともに始まったわが国の鉄器文化が中国鉄器文化の直輸入の形で出発したことがわかってきました。今、銑鉄品といいましたが、誤解のないようにつけ加えますが、出土品の大部分は勿論カーボンの低い鍛造鉄器です。これが弥生時代の後期、つまり紀元2～3世紀になりますと、西日本では広範囲にわたって出土します。もちろん地

域による濃淡、好みの違いがかなりあります。九州圏ではじつに70%が武器ですが、近畿圏はゼロに等しいとか、鉄斧やノミの形も違います。余談ですが、鉄製武器のないようなところに、果たして邪馬台国がありうるのでしょうか。

それはともかく、九州圏と近畿圏とでは、鉄製品なりその鉄素材の輸入される経路が違っていったようです。つまり九州圏に入ってきた鉄が近畿圏に流れていったのではなく、近畿圏は近畿圏で、多分丹後半島あたりに輸入窓口を持っていたようです。どちらも広い意味では中国の鉄器文化に結びつくのですが、九州圏が楽浪直結型だったのに対し、近畿圏は朝鮮半島南部と結びついていた可能性が考えられます。

今、鉄製品なり鉄素材が輸入されていたといいましたが、それでは日本で文字どおり一貫して鉄がつくられるようになったのはいつからでしょうか。じつはこれが大問題なのです。つい最近、福岡県の庄原遺跡で弥生時代中期前半(紀元前2世紀)のものとされる金属溶解炉4基が発見され、最古の製鉄炉ではないか、と騒がれています。私も弥生時代中、後期の自前の鉄が出土するのを待ち望む一人ですが、にもかかわらず本格的な鉄生産がはじまったのはやはり5世紀に入ってからだと思います。

5世紀史で特記すべきことは、高句麗の南下に伴う朝鮮半島における一大動乱です。これによって、伽耶地方を中心に百済や新羅から多くの人びとが日本に移住してきました。技術をたずさえて。そのひとつが陶質土器、須恵器の生産技術であり、もうひとつが鉄の製錬技術だったと思います。

それにしても、そんなに永い間鉄づくりを本格的にやらず、その多くの部分を輸入に頼っていたのは何故でしょうか。私は、韓国・伽耶地方と日本との間に、経済学というヘクシャー＝オリーンの定理にしたがって鉄と銅の国際分業が成立していたのではないかと考えているのです。事ほど、わが国は銅産に富んだ国で、元禄10年(1697)には世界1の銅生産の記録を残しています。特に非金属文化である縄文時代に銅資源をいわば温存していたため、弥生時代が幕あけした時には只同然の自然銅がいっぱい残っていました。自然銅はまるで蕨のように生えていて、それをポキ、ポキ折ればいいのです。あの有名な銅鐸の原料も自然銅です。一方の韓国は由来銅資源の少ない国で、逆に鉄生産は盛んでした。ですから、政治的に密接な関係にあった両国の間に鉄と銅の国際分業が成立するのは自然な成り行きです。そしてこの経済秩序を打ちこわしたのがあの5世紀の動乱です。

こうして日本の本格的な鉄生産は5世紀から、伽耶地方の技術を核として始まったといえますが、それを物語るように岡山県の総社、福井県のいわゆる越前などに始まる製

鉄原料は砂鉄ではなく鉄鉱石です。砂鉄製錬法はこれとは別に、中国の江南から直接日本に入ってきたように思われますが、これについて詳しく述べるには、もう紙幅がありません。興味のある方は、山陰型砂鉄製錬法の系統を論じた『鉄鋼界』の拙文をお読みください¹³⁾。それよりここでは、専門家以外にほとんど知られていない東日本の古代製鉄について少しスペースをさいておきましょう。

東日本の鉄生産は西におくれること200～300年、ほぼ7～8世紀ですが、炉型が西日本とはまったく違います。西日本のものは後のタタラ製鉄に連続する箱形炉ですが、東日本のそれは半地下式のシャフト炉なのです。いったい全体、この製鉄炉はどこから伝わってきたのでしょうか。決め手になるのは、この製鉄炉とともにしばしば発見される獸脚鑄型です。獸脚の意匠には2系統ありまして、ひとつは獅子型（中国）、もうひとつは有蹄類型（韓国）です。

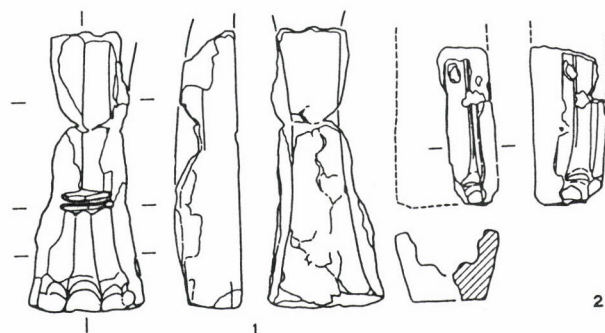


図4 獸脚鑄型
(出所) (財)千葉県文化財センター「常盤自動車道埋蔵文化財調査報告書Ⅲ」1985年265頁。

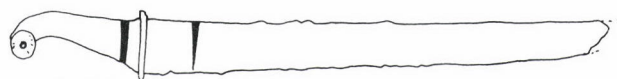
図4から明らかなように、東日本のは獅子型でして、結論からいうと旧満州の地に7世紀から10世紀にかけて栄えた渤海国の獅子のデザインに結びつくと思います。よく似た半地下式シャフト炉が、次の金代のものですが現に発掘されています。

皆さんは、宮城県の大賀城にある壺碑と呼ばれる石碑をごらんになったことはありませんか。8世紀中葉につくられたもので、次のような文章が刻まれています。

多賀城 去京一千五百里
去蝦夷国界一百廿里
去常陸国界四百十二里
去下野国界二百七十四里
去靺鞨国界三千里

なんとも雄大な文章ではありませんか。多賀城主・藤原朝鑑の目には遥かなる国、渤海国がしかと捉えられていたのです。それほど、東北地方と渤海国、もっと広くいって沿海州との間には深い文化的なつながりがありました。ひとつだけ文献史料をあげておきましょう。『続日本紀』天平18年(746)の条に

「この年渤海および鉄利すべて一千一百余人、化を慕い



1. 岩手県江釣子村猫谷地古墳群出土

図5 東北地方の蕨手刀
(出所) 石井昌国『蕨手刀』雄山閣出版 1966年 304頁。

て来朝す。出羽国に安置し、衣糧を給いて放ち還す。」

鉄利とは、中国黒龍江省南部からロシアの沿海州にかけて住んでいたツングース系の種族で、渤海に征服された人びとです。そこで、これら大量の渡来者は一種の亡命集団、今でいう難民ではなかったか、という説もあります。

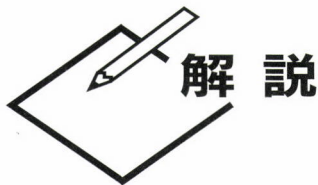
それにしても1100人とは大変な数で、その職業構成も複雑だったでしょう。しかも一度ではありません。おそらく、度重なるこうした難民の中に製鉄を業とするものがふくまれており、それが伝えたのがあの半地下式シャフト炉だったに違いありません。

この北方ユーラシアの製鉄文化は、様々な文物をわが東北地方に持ちこみましたが、その中でも忘れられないのは、日本刀の誕生に決定的な影響をあたえた蕨手刀です。図5にこれを示して終りとしますが、柄の部分にかすかながら北方ユーラシアの動物意匠が残っているようです。

引用文献

- 1) 潮見浩：『東アジアの初期鉄器文化』 吉川弘文館 1982年 21頁
- 2) ジョン A.ウッド：「隕石」(『新・太陽系』) 培風館 1983年 187頁
- 3) G.E.Zimmer：'The Use of Meteoric Iron by Primitive Man', JISI, London, 1916, pp.324～325
- 4) フレイザー著、永橋卓介訳：『金枝篇(二)』 岩波書店 1991年 154～155頁
- 5) ベヤリング・グウルド著、今泉忠義訳：『民俗学の話』 大岡山書店 1930年 229～241頁
- 6) *Anatolian Studies* 35, p.82
- 7) W.M.F.Petrie：'Ancient Egypt', 1917, p.47
- 8) 保立道久：『中世の愛と従属』 平凡社 1986年 14～18頁
- 9) 安宇植編訳：『アリラン峠の旅人たち』 平凡社 1982年 220頁
- 10) R.J.Forbes：'Studies in Ancient Technology', Vol.Ⅷ, Leiden, 1964, p.60
- 11) 西岡常一：『木に学べ』 小学館 1991年 207頁
- 12) ベック：『鉄の歴史』Ⅱ(1), 中沢護人訳, たたら書房 1979年 68頁
- 13) 村上英之助：「歴史随筆」(『鉄鋼界』 1983年12月号, 1984年3月, 7月, 11月の各号)

(1995年8月29日受付)



戦後半世紀の製鉄技術のあゆみと将来展望

今野乃光
出野 正
古牧育男

Norimitsu Konno
Tadashi Deno
Ikuo Komaki

新日本製鐵(株)技術開発本部 プロセス技術研究所 部長
新日本製鐵(株)技術開発本部 プロセス技術研究所 主幹研究員
新日本製鐵(株)技術開発本部 プロセス技術研究所 主幹研究員

Retrospect of Ironmaking Technology

1 はじめに

今年は戦後50年の節目の年に当たる。太平洋戦争で壊滅的打撃を受けた日本経済も、この半世紀の間に世界をリードする先進的工業国へと急速な変貌成長をとげた。この成長は国策としての産学振興、基幹産業優遇等の行政的な措置があったにせよ、鉄鋼業の発展がその支えとして大きな役割を果たした事は言を待たない所である。特に、この戦後の動乱期における鉄鋼業の急成長は、先ずは西欧の先進技術に追いつけ、追い越せ、の合言葉の下に進められた先駆的プロセス技術の導入による処が大きい。その後これを根柢とした、生産性の向上、コストの削減、品質の更なる高付加価値化に加え、耐環境技術創出等諸施策が着実に展開された。創意工夫を積み上げたプロセス技術改善、改良に加えて地道な研究開発が各要素技術の更なる高度化をなし遂げたと言う事が出来る。本報告は日本鉄鋼業の急速成長の原動力となった、大型臨海一貫製鉄所の建設・設備の大型化、連続化、自動化の推進・製品の高付加価値化等の推進・技術開発、研究開発の積極的推進等についての経緯をまとめたものである。

2 生産拡大期の製鉄・コークス技術のあゆみ

2.1 戦後復興から一貫製鉄所建設、米国からの技術導入

図1に戦後から現在迄の粗鋼生産量と経済情勢・技術動向を示す。図2に鉄鉱石の地域別輸入量推移を示す。図3に原料炭の地域別使用量推移を示す。

戦後の石炭不足により、八幡の高炉3基からスタートした日本鉄鋼業も、復興超重点産業としての石炭・鉄鋼業選定、冷戦開始による米国の対日政策修正で、重油、石炭、鉄鉱石等の原燃料輸入が再開し、原燃料ネックが解消され鉄鋼増産のスタートをきった。更に昭和25年の朝鮮動乱とその後の大幅な鉄鋼需要もあり、川鉄千葉の一貫製鉄所(昭和28年)建設を皮切りに、臨海製鉄所の建設が続ぎ、量拡大と操業合理化を推進していった。さて日本近代鉄鋼

業の基礎は米国鉄鋼関係者の努力に負う所が大きいのは周知の事実であるが、昭和25年頃には米人技術者による指導、米国への視察等から大々的に技術導入が実施された。中でも「ジョセフの勧告」¹⁾で知られている、総指令部特別顧問 T. L. Josephの製鉄技術全般に関する調査報告書「Iron Ore Preparation and Blast Furnace Practice in Japan」が出され(昭和26年)、高水分・高粘性鉱石篩い分け法、焼結鉱の製造条件、原料の事前処理と高炉の通気性向上等々理論的かつ具体的に我が国製鉄技術の課題を指摘した。この勧告は原燃料の重要性とその利用技術開発の必要性を説いた

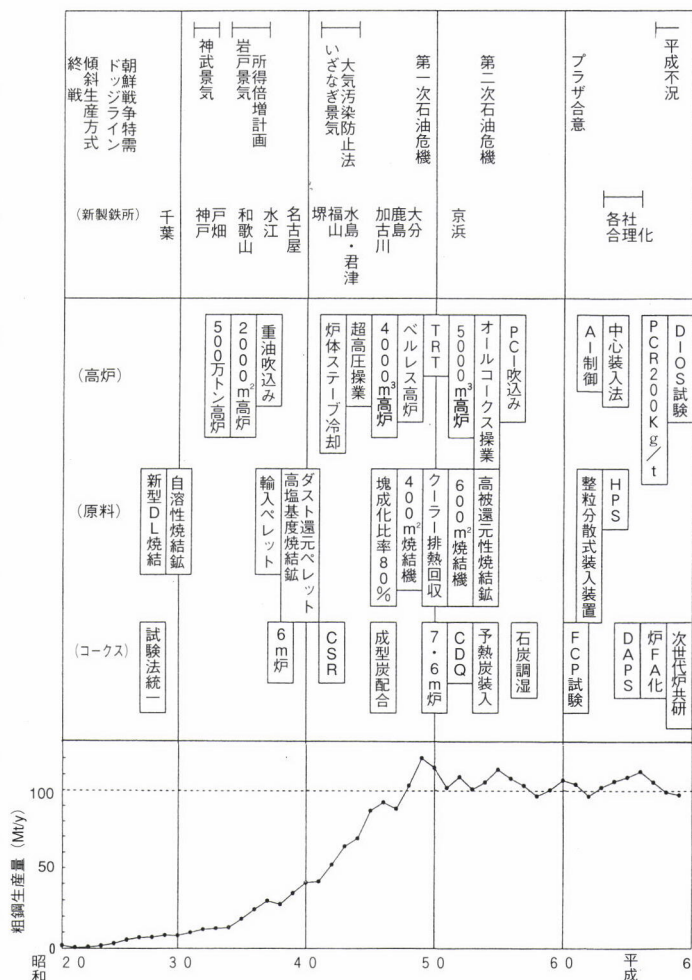


図1 鉄鋼業および製鉄技術の推移

もので、実行に各社が全精力を傾注していく事になる。

2.2 製鉄設備の拡大

八幡戸畑、鋼管水江、等の新一貫製鉄所の建設と同時に高炉の大型化も進展した。第2次合理化後（昭和35年）迄には30基の高炉が新設改修され、1500m³を越える高炉も建設された。大型高炉の稼働と高生産性のニーズには原燃料サイドの対応が重要な課題と認識された時期である。石炭については、戦後米国炭の優秀さが広く認識され輸入の殆どは米国炭となったが昭和35年頃迄は国内炭が原料の過半を占めていた。この間、国家による石炭産業保護育成の立場から国内炭による高強度コークス製造技術の研究が盛んにおこなわれている。鉄鉱石については戦後ウェートの高かった米国鉱から、東南アジアの近距離ソースに移行した。また海外原燃料の安定使用のために昭和27年には「海外製鉄原料委員会」が設立され、海外資源の長期開発の取り組みが始まった時期であった。

高炉生産量拡大の中で、高炉通気性と炉内ガス利用率向上のために焼結鉱が主原料となっていたが、その被還元性向上を課題とした「自溶性焼結鉱」製造研究につながった。この頃の高炉技術は昭和36年の鋼管川崎の重油吹込み、高温送風、酸素富化送風の「複合送風」の開始等で積極的に低コークス比技術を推進した。また高圧操業が始まり出銑比が2.0を越える高炉が出現し、昭和44年のソ連から導入した高性能の炉体冷却方式であるステープ冷却と炉頂圧2.0～2.5kg/cm²の超高圧操業によって高出銑比、低コークス比操業に拍車をかけた時期でもあった。大型化技術は数多くの設備技術の進歩をもたらした4000m³級高炉の基礎となったと言える。

大型臨海製鉄所の建設に伴い、多数のコークス炉が建設された。コークス大量生産は主として加熱均一化により炉高、炉長を拡大したものであるが、一部を除き独からの導入技術によりその建設はなされている。

この時期には、将来的な粘結炭供給不安から2つの大きな技術の流れが発生している。一つは、石炭事前処理技術であり、大きくは粒度調整技術、装入密度向上技術、粘結性補填技術に分けられる。粒度調整については、フランスより紹介されたSOVACO法（石炭組織学的選択破碎法）に基づく設備が和歌山、鹿島に設置された。装入密度向上については、装入炭へのオイル添加法が先ず実施され、続いて装入炭部分成型による成型炭配合法が昭和46年八幡において実用化された。この技術は品質改善効果の大ききから国内に広く普及し、その後約5年で高炉用コークスの40%が本法により製造されるにいたった。もう一つの流れは、成形コークス技術であり非微粘結炭による高炉用コークス製造を目的に精力的に研究開発がおこなわれた。その後、

昭和53年から昭和61年まで国家補助のもとに鉄連によるパイロットプラント操業と高炉使用試験がなされ開発が完了している。

2.3 原燃料事前処理技術

日本経済は昭和35年の「所得倍增政策」以降飛躍的な「高度経済成長」を遂げ、高炉転炉の大型化、原燃料資源の確保、圧延部門の強化等の積極投資を実施し粗鋼生産は昭和45年には9200万トンとなった。鉄鉱石の輸入依存率は98%までになり、東南アジア資源の枯渇から、豪州系が急増し昭和45年には36%に達し、昭和41年からはブラジル系の輸入が増えた。海外資源の共同開発と長期契約による輸入ソースの多角化、専用船と大型化等による輸送合理化等で鉄鉱石価格が顕著に低下した。鉄鉱石の事前処理技術については「ジョセフ勧告」のとおり、整粒設備の設置、ドワイトロイド（DL）式焼結機への切替、ペレット工場新設（川鉄）、輸入原料の多銘柄依存のためのオアベッティング設備の設置（川鉄）が実施された。また整粒比率増に伴い焼結鉱配合率が上昇し、焼結鉱の高炉配合率は50%を越えるようになった。焼結鉱が高炉の主原料を占めるにつれ、その品質の評価と管理が重要な課題となり学振製鉄54委で各種試験法を制定した。この時期に於ける最大の進歩は、自溶性焼結鉱への移行である。被還元性が良く、通気性も良好で、融点も低い焼結鉱を用い、コークス比を著しく下げる事が出来た²⁾。また焼結機の大型化も進み昭和45年には八幡戸畑で300m³焼結機が建設されたのを始めとして焼結生産量が急激に増えていった。高塩基度の自溶性焼結鉱の有利さが提唱され普及した。高炉内の装入原料の軟化溶け落ち挙動の研究も進んだ。ただ被還元性の向上が還元粉化を惹起する事となりそのバランスが重要な課題となった。

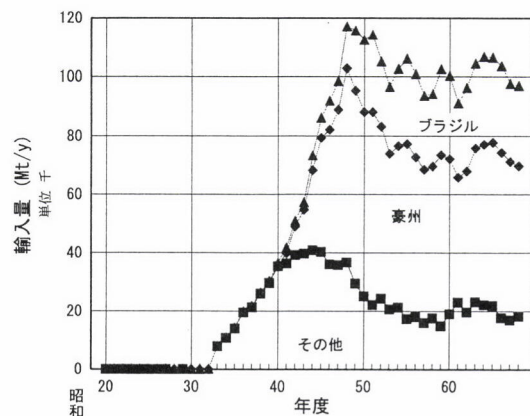


図2 鉄鉱石輸入の推移

鉄鋼生産増大によるコークス需要の急増により輸入炭拡大が昭和25年頃より必須となった³⁾。高品位米国炭は高コストの問題があり、豪州ニューサウスウェールズ州炭が昭

和30年から輸入を開始された。その後北部のクィーンズランド州に大規模な強粘結炭層が発見されたが、この炭層の存在こそが我が国製鉄業の大規模化を可能とした要因であると言える。その後豪州炭比率は昭和48年には輸入炭の40%に達した。また、昭和34年にはカナダ炭の輸入が開始され、豪州、カナダ、米国という現在の原料炭構造の基幹が構築された。この様な原料構成の変化に対応し、この時期最も進展したのは石炭の多銘柄配合による高強度コークス製造技術であった。城等は石炭を繊維質成分と粘結成分に分け、良質コークス製造には粘結成分を過不足なく配合することが必要であると提唱した⁴⁾。宮津等は石炭を石炭化度と粘結性（流動性）の2つの指標で評価し、コークス強度は両要因の支配領域が各々存在することを証明した⁵⁾。石炭の活性成分の反射率分布と不活性成分量からコークス強度を推定する石炭組織分析法が米国で開発され、昭和35年代に新しいコークス強度推定法として導入された。これら技術により、高イナータ低流動性の豪州、カナダ炭等多様な石炭によるコークス製造が可能となっている。また一連の高炉解体調査に伴うコークスの高炉内での劣化挙動調査によりコークスの熱間性状の重要性が認識され、今日では熱間反応後強度が冷間強度とともに管理指標として広く採用されている。

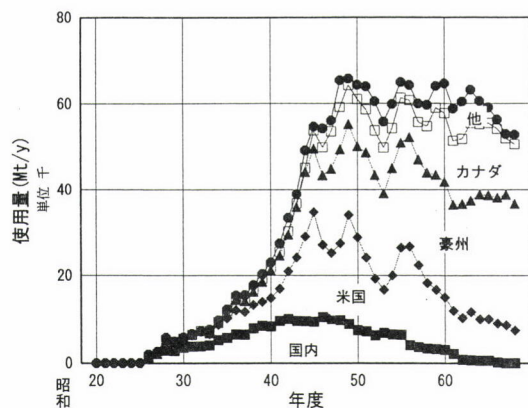


図3 原料炭使用の推移

3 合理化期の製鉄・コークス技術のあゆみ

3.1 低成長への移行

昭和46年のニクソンショック、昭和48年の粗鋼1.2億トン（史上最高の粗鋼生産）達成、OPECによる原油価格の4倍引き上げ（オイルショック）等、国内外とも激しい変動の時期であった。結果として昭和53年まで長期停滞、減産操業を余儀なくされたが、この時期以降、重要課題と認識されたのは、環境汚染問題、資源・エネルギー問題であった。

高度成長のひずみともいえるべき環境問題については昭和43年大気汚染防止法、昭和45年水質汚濁防止法、昭和47

年労働安全衛生法が施行された。焼結製造については脱硫設備の建設（昭和49年戸畑、水島、昭和51年若松、和歌山、鹿島）、脱硝設備の建設（昭和51年千葉、昭和54扇島）が積極的に行われた。コークス炉周辺の環境対策も大きな問題となった。主要な対策として、高圧安水による発生ガス吸引、装入時集塵、COG脱硫、活性汚泥排水処理等が実施された。これらの努力により、製鉄工程の作業環境および汚染物質の排出は飛躍的に改善されているが、将来的には更なる改善が望まれよう。

3.2 省エネルギーの進展

図4に2度のオイルショックをへてのエネルギー価格の推移を示す。トータルエネルギーの節約、特にエネルギー消費の大半を占める製鉄部門の期待は大きいものであった。鉄鋼業はこの課題に積極的に取り組み、粗鋼t当たりで10%の削減と石油依存率を20%から14%迄低下させる事が出来た。従来、高炉の省エネルギー対策は低燃料比が主であったが、石油ショックにより高ガス発生のお業に移行し、更にエネルギー価格の高騰に対して廃棄エネルギーの回収を目指し炉頂圧発電（昭和49年）、熱風炉熱回収、炉頂排圧ガス回収等が採用されていった。特に炉頂圧発電は20～40kWh/tの電力が得られ、最近では回収エネルギー増を狙った乾式集塵機も開発実機化されている。また石油ショックにより一時オールコークス操業を余儀なくされたが、高炉炉況の安定化と石炭系燃料使用増を狙った微粉炭吹込みが開始され、その後の多量吹込みに発展していった。

焼結機的大型化も進み新設焼結機のうち11基が400m²以上であった。省エネ設備として、昭和52年にはクーラー廃熱回収、廃熱ボイラーが設置された。点火炉の燃料削減、主ブロワーの回転数制御、漏風防止対策等々により焼結の省エネルギーも進展した。コークス分野では、コークス乾式消火設備（CDQ）がソ連から技術導入され昭和51年八幡にて第1号機が稼働した。コークス炉出熱の約40%を占める赤熱コークスの顕熱を不活性ガス冷却により回収するものであり、製鉄所省エネルギーの切札的技術として広く普及している（鉄鋼5社装備率86%）。この時期コークス炉乾留熱量低下に大きく貢献したものがコークス炉燃焼制御技術である。コークス炉情報をセンサーにより収集し計算機による加熱の自動制御化が可能となったものであり、昭和48年福山において最初に実機化された。現在、国内のほぼすべてのコークス炉に装備がなされている。この燃焼制御を更に進歩させたものが、乾留の進行に応じ最適加熱をおこなうプログラムヒーテング技術であり、三菱化成黒崎で昭和60年に実機化され、その後平成3年八幡第5コークス炉に装備されるにいたっている。本技術はコークス炉の乾留制御の究極の姿を提示するものと考えられている。

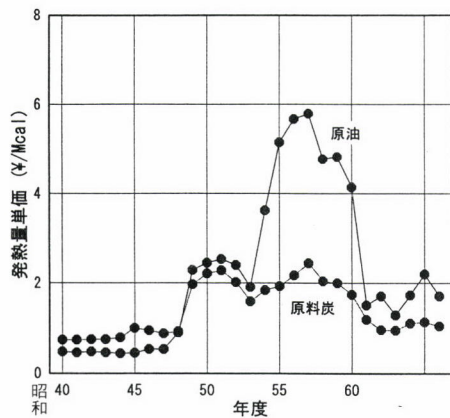


図4 エネルギー価格の推移

3.3 安価鉄鉱石類使用技術

鉄鉱石は、輸入先が豪州（45%）と南米（特にブラジル18%）、インドで大半を占める状況である。専用船の大型化が進み、大分に25万トン着岸可能なシーバースを建設し輸送コストの低減を図っていった。また鉄鉱石価格は資源ナショナリズムの影響を受け高騰したが、円建て価格は約30%増であった。

またこの時期は、出鉄量、出鉄比、燃料比について輝かしい金字塔を打ち立てた時期であり、高炉の解体調査によって融着帯の存在とガス分配機能が認識された原燃料性状の重要性も再認識された。この燃料比低減、出鉄比向上には原燃料の処理技術が大きく貢献した事は言うまでもなく、焼結鉱比増、ペレット使用、スラグ比低減、整粒強化等々によってなされたと言える。昭和57年日本で初めて大分にてアームコから導入した微粉炭吹込みを開始した⁶⁾。当初の60kg/tp吹込みから10年強をへて高炉によっては神鋼加古川の様に200kg/tpに近づいている高炉も出現している⁷⁾。全国の微粉炭設備保有状態は、27/30基、平均吹込み量は、80～90kg/tpとなっている。当初は高炉の操業安定を優先していた微粉炭吹込みも、原燃料コスト低減の観点から安価炭種の使用量の拡大に向けて技術開発が進んでいる。

鉄鉱石資源は、高品位ヘマタイトの枯渇、粒度の低下、褐鉄鉱系鉄石使用比率の増加へと劣質化の方向に進んでいる⁸⁾。これらの資源対応技術の開発が要請され、現在迄にNKKの新塊成化法（HPS法）⁹⁾による高品位ペレットフィードの使用技術、蛇紋岩と褐鉄鉱の選択造粒法（自己緻密化焼結法）、CaOの分割添加法等による事前処理技術と高歩留、高生産性を狙った焼結ベッドの通気改善対策が実施されている。特に焼結機への装入技術は、コークス偏析強化技術、整粒分散式装入装置（ISF）等に代表される様に大きな効果を上げている。

いずれにしても、鉄鉱石資源の動向把握と安価な資源の使用技術を常に開発する事が、資源小国の我が国の鉄鋼業にとって最大課題であると言える。

3.4 非微粘結炭増使用技術

石炭事前処理による安価石炭使用のニーズの高まりと共に、成型炭配合法に続く新事前処理技術が開発された¹⁰⁾。これら技術の特徴は、コークス品質の向上効果による安価非微粘結炭の増使用と省エネルギーの複合効果をもつことである。

まず、予熱炭装入法が昭和54年室蘭第6コークス炉において稼働した。コークス炉装入炭を気流乾燥機により200～230℃に加熱するものであるが、約40%といわれる生産性向上効果が特徴である。

石炭調湿法（CMC）は、装入炭を原炭水分の8～10%から5～6%へ低下させコークス炉へ装入する技術である。石炭を過度に乾燥し疑似粒子を崩壊させた場合、微粉炭による深刻な発塵問題が発生する。この問題を回避できる水分迄乾燥することにより、コークス炉への持ち込み水分の低減と装入密度の向上による省エネルギーとコークス冷間強度向上および約10%の生産性向上効果が得られる。設備の簡便さから最近広く普及しており、鉄鋼5社ベースの普及率は45%に達した。

このCMC法を更に進めた技術が微粉炭塊成化法（DAPS）であり、平成2年大分にて稼働した。装入炭水分を2%迄低下させ発生する微粉炭を塊成化することにより、微粉炭の発塵問題をなくす一方石炭乾燥効果を大幅なものとしている。この方法により装入炭tあたり110Mcalの省エネルギーと3～4%のコークス冷間強度向上および約20%の生産性向上効果が得られる。本技術は既設コークス炉へ適用できる最も効果の大きい事前処理法であると言える。

これら技術の普及とともに新しい合理化技術の開発が大きな課題であろう。図5に鉄鉱石および原料炭の価格推移を示す。

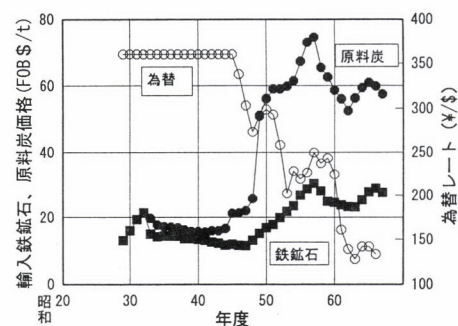


図5 鉄鉱石および原料炭の価格推移

4 将来展望

以上述べた様に、高炉機能の拡大、劣質原料・劣質石炭等の使用拡大に努力してきており、コスト面・操業技術面で高炉法の極限を追求中であるが、将来的には以下に述べる問題をクリアする必要がある。

4.1 資源環境問題

長期的な鉄鉱石動向では、優良ヘマタイト鉱石の枯渇（ブラジル）と粉率の増、ゲーサイト比率上昇（豪州）、国策による高品位鉱石比率減（インド）により塊鉱石の需給はタイトになると予測されている。ペレットについても電気炉DRI活況と欧州焼結機休止方向のため需給はタイトになると考えられる。このため粉鉱石の使用技術開発が重要になる。高炉法では、焼結機的能力アップをめざした通気改善対策、焼結機以外の塊成化プロセスの開発、粉鉱石の高炉羽口吹込み、非高炉法では粉鉱を原料とした還元鉄製造や溶融還元法等の研究を促進させる必要がある。

同時にコークス炉寿命問題、コークス炉環境問題、CO₂問題から、如何にコークス使用量を低減させるかの技術開発も重要であり、微粉炭の多量吹込みもこの観点で精力的に推進する必要がある。微粉炭多量吹込みに伴って焼結鉱の品質改良も必要であり、問題の全体解決のためには、資源対応力のある技術開発を系統的に推進する必要がある。焼結機自体の排ガス対策も環境規制の強化に伴って推進する必要がある、脱硫・脱硝、排ガス循環技術の進展も期待される。環境面では埋立て余裕の無くなった日本沿岸の事情に対し、非鉄金属（Zn等）を含んだ製鉄所発生ダストの処理技術も重要である。これは資源小国としての発生物リサイクルの必要性和環境問題の課題に同時に答える事になる。高炉機能拡大のため、羽口前高温部利用をめざした微粉炭、鉱石、フラックス吹込み、廃棄物処理も研究課題となる。これらの課題は全製鉄関係者、鉄鋼関係者の努力で必ずや解決出来ると信じている。

4.2 コークス炉リプレース対応

コークス技術における最大の課題はきたるべきコークス炉リプレースへの対応である。昭和40年代から昭和45年にかけて建設された我が国コークス炉は炉命が40年としても2005年頃よりリプレース時期を迎える。

中期的には、既存炉の延命が課題である。現在迄、炉体診断技術や炉壁観察技術が実機化されており、補修についても各種熱間溶射補修技術と熱間煉瓦積替技術が従来から蓄積されている。今後は、炉体状況の変化をオンラインで監視し、状況に応じ操業条件を変更する等の緻密な延命技術の展開が必要とされよう。

長期的には、次世代コークスプロセスの開発が課題である。21世紀に稼働する新プロセスはコスト、環境、資源、生産弾力性が飛躍的に改善されたものとすべきである。前述した成形コークスプロセスも一つの有力な選択肢であり、海外においても超大型コークス炉（JCR）が独において開発されつつある。我が国においては石炭高度転換コー

クス製造プロセス（SCOPE-21）研究が鉄鋼連盟の下で着手されており、鉄鋼協会新コークスプロセス工学研究会においても大学を含めた活発な議論が展開されている。今後数年内に最先端のコークス製造プロセスが開発段階に到達すると期待される。

5 おわりに

戦後50年の製鉄を中心とした技術の歴史を概括した。前半25年は戦後の復興から急激な高炉の生産量と操業成績のアップの時期であり、輸入資源である鉄鉱石と石炭の有効な使用技術と設備の大型化のハード技術によるものである。後半の25年は低成長時代におけるコスト低減技術と環境対策がメインとなっているがこの時期もまた安価原燃料の使用技術が鍵を握っていたと言えよう。将来の25年も高炉法に限らず、資源小国の我が国にとって、過去50年と同じく輸入資源の選択幅を技術開発によって拡大し戦略的利用を図る事が必要である。

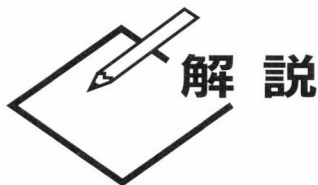
文献

- 1) 原燃料からみたわが国製鉄技術の歴史, 日本鉄鋼協会編 p.46~47
- 2) 1)同上, p.244~252
- 3) 川崎勉: 「日本鉄鋼業—その軌跡—」, 鉄鋼新聞社 (1992)
- 4) 城博: 製鉄研究, 253 (1965), p.6159
- 5) 宮津隆: 日本鋼管技報, 67 (1975), p.125
- 6) 和栗眞次郎: 鉄と鋼, 70 (1984), p.S804
- 7) 矢場田武: 材料とプロセス, 8 (1995), p.321
- 8) 野坂庸二: 鉄と鋼, 66 (1989), p.1957
- 9) Seiki Nagano: Proc. 6th Intn.Iron and Steel Cong., (1990), p.64
- 10) 第146回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編 (1993)

参考文献

1. 第116回西山記念技術講座 「最近の製鉄技術の進歩」, 日本鉄鋼協会編
2. 美浦義明: 「戦後我が国における高炉用コークスに関する研究開発の変遷」, 鉄と鋼, 75 (1989), p.1093
3. 鉄鋼年鑑, 鉄鋼新聞社
4. 鉄鋼統計要覧, 日本鉄鋼連盟
5. エネルギー経済統計要覧, (財)省エネルギーセンター (1993)

(1995年11月6日受付)



鉄鋼生産における計測制御システムのあゆみ

服部正志

新日本製鐵(株)設備技術センター
システム制御技術部長

Masashi Hattori

Step of Measuring and Control System on Steel Production

1 変わりゆく鉄鋼生産システム

1960年代の半ばより日本における鉄鋼の生産量は飛躍的に増大し1980年代に至ってアメリカを抜いて自由世界最大の生産国となった。この飛躍的増大は計測制御システムを始めとする電子制御装置の発展に支えられた面が大きい。図1¹⁾に鉄鋼の生産性とドライブシステムを含む計測制御システムの発展を示す。

ドライブシステムはM-G (モーター・ゼネレータ方式) から半導体をもちいたサイリスタ・レオナード (直流電動機)、マイコンによるDigital-ASR (速度制御)、直近では高性能の交流可変速ドライブへと発展し電動機の大容量化と高速度制御性により大量生産・板厚精度向上に大きく貢献してきた。

多数のハードワイヤードリレー (機械的動作機構を伴う有接点リレー) とアナログ制御系で構成されていた工場の運転制御をつかさどる統括制御システムも70年代のプロセスコンピュータの出現により、電気制御 (E)、計装制御 (I) とプロセスコンピュータ制御 (C) で構成されるように

なった。さらに80年代になつてのマイクロコンピュータの急速な発展に伴って電気制御はシーケンス (順序起動制御) のみを扱うシーケンサー、演算機能を含むプログラマブル・コントローラへ、計装制御は多数の制御ループを1台で扱うDCS (Distributed Control System) へとソフト化していった。EIC各制御機能はそれぞれ個別な用途として開発されて来たため当初はEIC個別に完結する形態であったが、まず同一メーカー内でのEIC統合システムが実現し、その後、監視のみと限定された形ではあるが、EICが個別のメーカーの場合にもEIC統合システムが実現されるようになってきた。

これらマイクロコンピュータによる進化は操作監視機能の面でも著しく、無数のハンドルと速度調整バーニヤ (速度調節器)、アナログ・メーター類で構成されていた何mにもおよぶ大型操作盤もソフト化しCRTとタッチスイッチに変わりコンパクト化した。さきに述べたEIC統合システムの結果、運転操作者へEIC共通CRTによる総合情報提供が運転者により身近に、かつ密度の濃いものとなりワンマンオペレーションを推進してきた。このように、コンパク

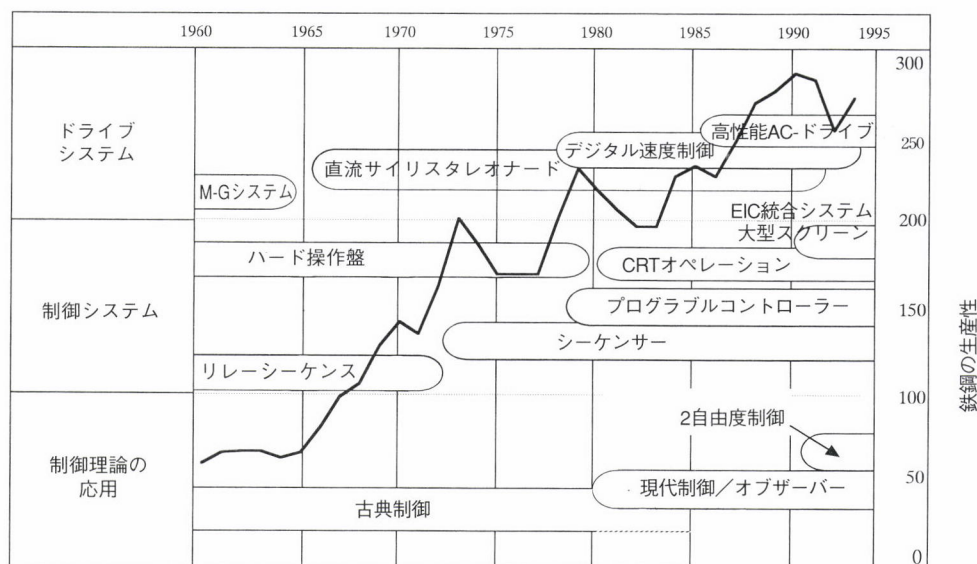


図1 鉄鋼の生産性とパワーエレクトロニクスの関係

ト化されたCRT操作盤と70インチの大画面表示で構成される操作室は従来の3K職場の延長にあった悪環境からリラックススペース、植木を配置したアメニティーを考慮した部屋へと大きく変革した。最新の運転室の様子を図2²⁾に示す。

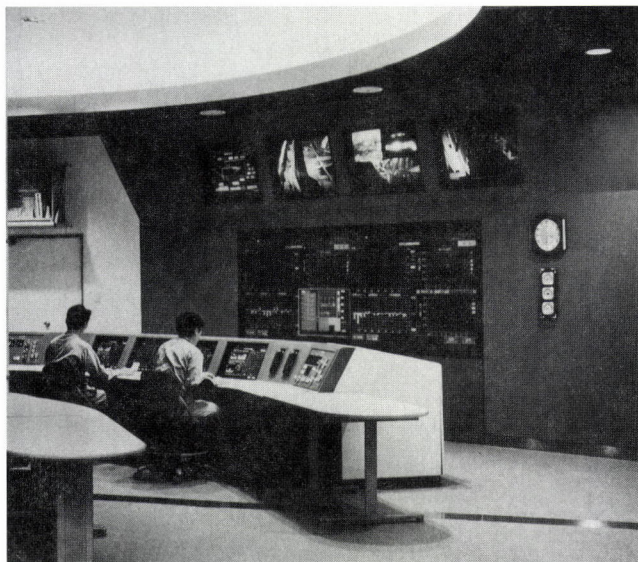


図2 最新の焼結運転室

以上、制御と監視・操作を含めた一連のEIC制御システムの発展の様子を図3³⁾に示す。この図でわかるように、現在ではハード機器のオープン化により、異なるメーカー間でもEIC統合が可能な形となり、より安価で高性能なEIC統合システムに変化しつつある。

また、プロセスオートメーションの根幹の一つである計測の面にもエレクトロニクスの急速な発展は大きな影響を与えた。温度、圧力などの従来測定的主流を占めていた物

理量測定から、最近ではマイクロコンピュータの発展により、光による銅板からの膨大な反射光を高速で瞬時に処理し、銅板の形状、疵などの複雑な要素も測定出来るようになった。また、人間の頭脳に相当する制御の分野でも検出量、操作量が各1入力であったものが多入力化すると同時により安定的なロバスト制御に移行して制御の質が向上し、加熱炉の燃焼効率の向上などに寄与してきた。さらには人間の優れた機能により近い形であるAI、ファジィなどより知的制御なシステムが実現し、高炉などの大規模な情報システムを安定的に運転できるように成ってきた。本文ではこれらのなかより (1) 高機能ドライブシステム、(2) 表面疵検査装置、(3) 知能化する制御システムに的を絞って紹介する。

2 高機能ドライブシステムによる鉄鋼製品寸法精度の変革

製鉄プロセスの下流工程は金属ロールにより銅を成形・引き延ばしするプロセスといえる。この過程では金属ロールの回転が最重要課題である。ここではロールを回転させるドライブシステムの変遷とその効果を概観したい。

回転数を変化させて使用する電動機には古くから直流電動機が用いられてきた。直流電動機は供給電圧を可変することで回転数をかえることができる。昭和40年代までの直流電動機ドライブシステムは回転式の発電機と電動機の組み合わせ (M-Gセットと呼称) により回転数を可変するものであった。このシステムは発電機の界磁電流を変化させて発電電圧を制御するため急速な速度変動、負荷変動への追従が困難であった。さらに多くのスペースを必要とするものであった。昭和40年代にはいり半導体 (サイリスタ)

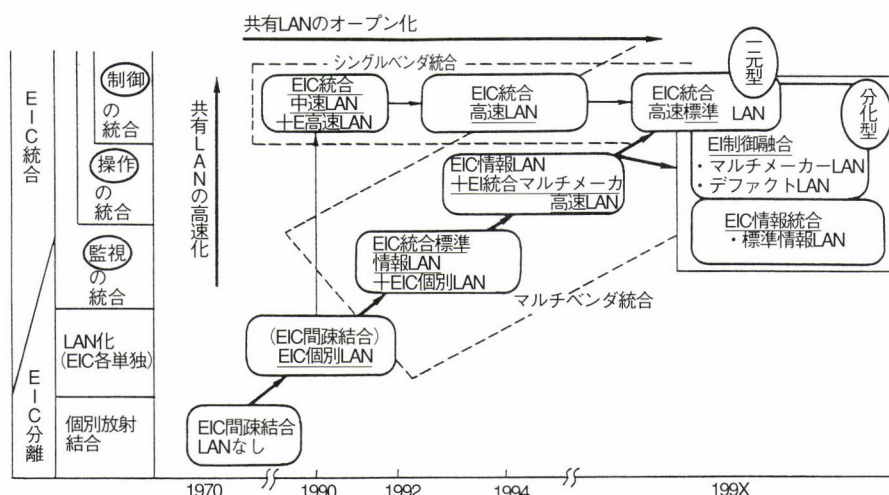


図3 EIC統合システムの進化の二つの流れ

シングルベンダ統合；同一メーカーの製品による統合システム
マルチベンダ統合；異なるメーカーの製品による統合システム
デファクトLAN；事実上の標準となっているLANで例えばEthernetなど市場シェアをとることによって標準的となったLAN

を用いた電力変換装置が発明され、昭和43年、八幡製鉄(株)棒鋼ラインに鉄鋼業界では始めて用いられて以来、その優れた制御性能により安定した運転が行える、さらに優れた速度応答性による寸法精度の向上が望まれる、その上、静止機器であるため従来の発電機の機械的摺動機構(コミュテーター)に於ける摺動子(ブラシ)の定期的交換からの開放による保守の革新的改善により以後の設備は、このサイリスタ式直流ドライブシステムにとってかわった。

サイリスタ式直流ドライブシステムは以後今日まで多用されてきたが、電圧発生制御ロジックにアナログアンプを多用しているため、アンプを構成する電子部品の経年変化により発生電圧が変動する(ドリフト)というトラブルが発生し、このドリフトを零とするための保守が必要となった。一方、時期を同じくして電子機器の発達が進んでおり、このドライブシステムの分野にもデジタル化が進み昭和56年に川崎製鉄(株)の冷延工場ですべて全デジタル速度制御装置が適用されている。このデジタル化によりドリフトの心配も無くなるとともに、故障時のデータもデジタル情報として大量に記憶出来るようになり保守性が大幅に向上した。さらに、デジタル化は制御量、操作量ともに小さなインクリメントのデジタル量で示すためにその値がアナログのような曖昧値でないため繰り返し精度の向上をもたらし、従来と比較してより精密な制御が出来るようになった。

近年まで直流駆動システムが鉄鋼圧延プロセスの主流を占めてきたが、最近の半導体の進歩、マイクロプロセッサの急激な進歩によりこの世界も一変することになる。

直流電動機は機械的整流機構(コミュテーター)により回転子の磁極の極性を切替えている。このコミュテーターは機械的ゆえに機械的摺動時に火花が発生する。切り替わり頻度が多いほど、また切替え電流が大きいほど火花が大きくなる。このため速度制御応答、電流制御応答を向上させようとしても整流の限界により希望数値まで向上できなかった。一方、圧延機のドライブシステムとしては薄鋼板の製品品質向上のため更に厳しい応答性を要求されてきた。直

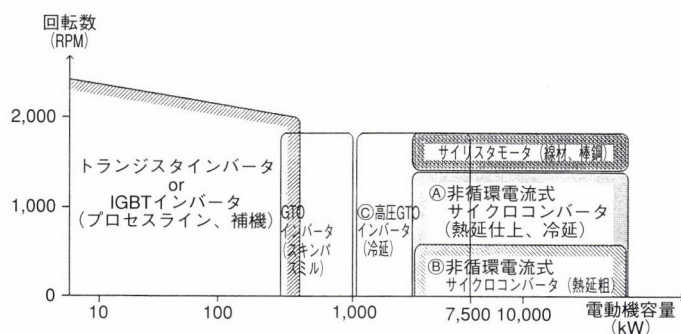


図4 鉄鋼業における交流可変速ドライブの適用範囲

流電動機にたいして交流電動機は回転数の変更が容易でないため一定回転であるポンプ・ファンなどにしか用いられていなかった。しかし、マイクロプロセッサがドライブシステムに適用されはじめて、従来は理論はあっても計算が複雑であるため現場機器として工業化できなかった交流電動機の可変速度化を可能とした。その方式は交流から直接交流可変電圧をつくるサイクロコンバータである。このドライブシステムは長年の直流可変速ドライブを凌駕する性能を持っていることが検証され、昭和61年に川崎製鉄(株)の冷間圧延機に初めて適用³⁾されている。以来多くの圧延機で多用され、いまでは、装置の性能、機械的堅牢さ、などにより圧延機駆動になくはならないものになった。最近では応答性の高性能に加えて、電源品質(力率、高調波)の優れた交流ドライブシステムとしてGTO(Gate Turn off thyristor)インバータ方式の適用が盛んに成ってきた。これらの種々のACドライブシステムの適用範囲を図4に示す。

2.1 ドライブシステムが鉄鋼製造に及ぼす変革

自動車用鋼板、電磁鋼板などの薄板の板厚精度にたいする要求は近年ますます厳格化している、なかでも電動機の鉄心として使用される電磁鋼板は多数枚の鋼板を電磁氣的損失を低減するために積層して使用される、例えば0.8mm⁴⁾の鋼板を300mm積層するばあいだと375枚必要となる。この時板厚精度を0.5%とするとなんと板2枚分(1.5mm)もの積層厚の差が発生する。

このことを背景として、薄板を製造するプロセスである連続冷間圧延機における高性能ドライブシステムの適用効果を概観する。図5は連続冷間圧延機の3スタンド分をしめす、上下ロールの間隙は油圧圧下制御装置でまたロール周速度はミルモータの速度制御装置で目標値に制御される。

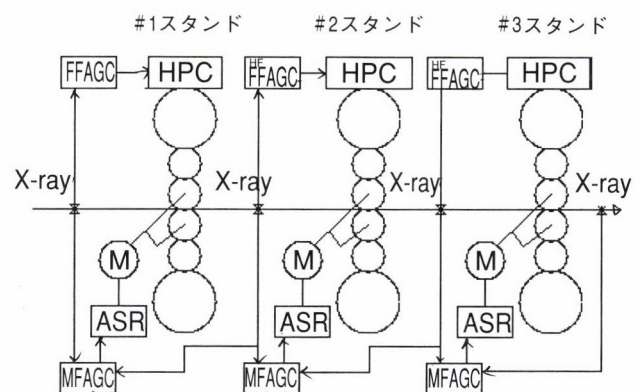


図5 連続冷間圧延機の制御システム
FF-AGC; フィードフォワードAGC
HF-FF-AGC; 高周波フィードフォワードAGC
MF-AGC; マスフローAGC
HPC; 油圧圧下装置
ASR; 速度制御系
M; モーター
X-ray; X線式板厚計

冷間圧延機はスタンド間の板に張力をかけた状態で圧延する。各スタンドのロール間隙で板厚をつくりだすことが基本であるが、熱延コイルの板厚変動、冷延ミル内各スタンドのロール偏芯などにより圧延中の鋼板に板厚変動が有るため、各スタンドの圧下、ロール速度による板厚制御により所定の板厚精度を確保する。連続冷間圧延機は各スタンドのロール間隙のみでなく張力の板厚にあたえる影響が大きいことが特徴である。すなわち図5の2スタンドのロール間隙を瞬間的に狭めると2スタンド出側の板厚は薄くなると想定できるが、じつは、2スタンドを圧下したことにより2スタンド入側の張力が増加するため、その張力の影響で2スタンド出側板厚は思ったほど薄くならない。これを補償するためには圧下による張力上昇分だけ2スタンドのロール周速を速めてやる必要がある。このために圧下装置と同時にロール駆動装置の速度応答性が重要となる。以下その効果について概観する。

当初の圧延機では圧下機構が電動機によるものであったため応答性が遅かった、またロール駆動装置もM-GSetであったため板厚精度は1.35%というレベルであった。油圧圧下装置が開発されてくると熱延コイルの板厚変動を消去するため最初のスタンドにのみ油圧圧下を適用した。これにより相当な効果がみられたが、厳格化する板厚精度要求には耐えられず、種々の板厚制御（AGC）が各スタンドに適用されるようになった。最近の圧延機は全スタンドに油圧圧下装置と全ロール駆動にACドライブシステムを適用するようになった。図6⁹⁾にミルモータの速度精度、速度制御応答の歴史的変化とそれに対応した板厚精度の関係を示す。M-G Setしかなかった昭和40年代前半までは板厚精度はせいぜい1.35%程度であったが、サイリスターレオナード装

置が出現すると1.0%に、デジタル化すると0.9%に、ACミルモータが出現してからは0.5%になんと当初の1/3にまで板厚精度が向上してきており、ドライブシステムの高性能化効果が明白である。

3 ますます知能化する制御システム

鉄鋼製造設備の頭脳部分である制御システムにおいては、当初は加熱炉の燃焼制御などのシングルループ制御としてPIDに代表される古典制御が使われてきた。その後一入力一出力の制御では全ての変動に対して十分な制御ができないとの発想から多変数をマトリクス的に処理する現代制御理論が鋼板厚み制御などに適用されて効果を発揮した。さらに、数理計画法による最適制御に加え、'80年代後半より熟練オペレータのノウハウのシステム化を狙ったエキスパートシステム(以下ES)や、プラントや制御系の非線形性を補完するファジィ制御、計測データのパターン分類等にはニューラルネットといった最新の手法を、実プロセスに適用してきた。

'90年代前半で人工知能を応用したシステムが新日鐵(株)一社だけでも100件を越えたが、最近では計算機能力の向上にあわせて、図7に示すように、単一手法だけではなく各手法の特性を生かしたハイブリッド型で、ますます知能化した制御システムが増えている。また製鉄業はある一面で輸送業と呼ばれるほど、各工程内外に於て、多量で重い原材料、仕掛かり品、製品の物流搬送作業が多く、生産管理系を含めたトータルでのコスト最適化が図れる物流制御が着目されており、リアルタイムでの離散系シミュレーション手法や、組み合わせ最適化手法の研究開発が進んでいる。

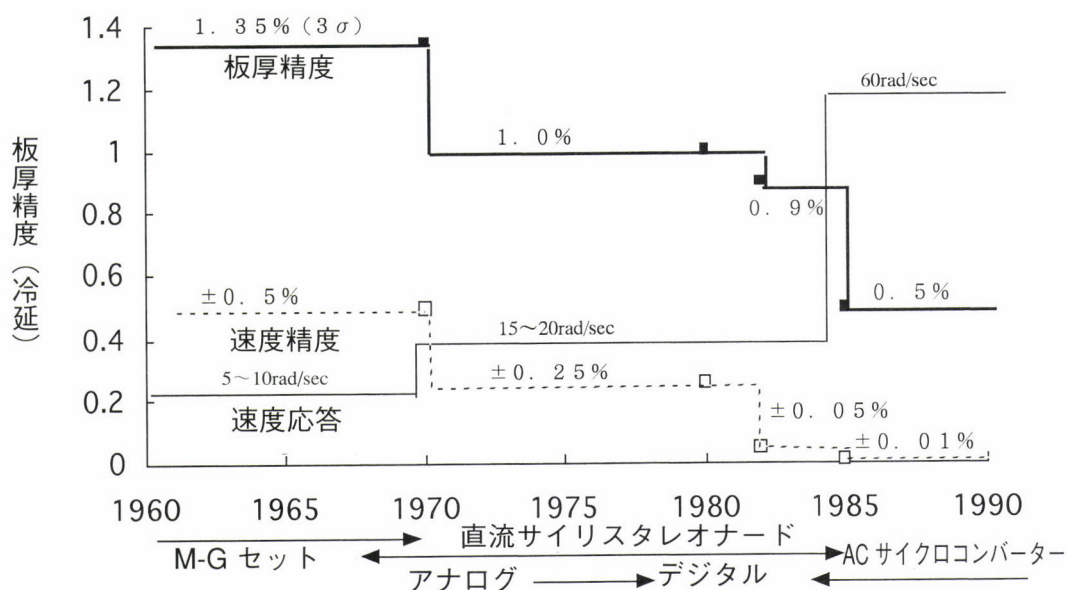


図6 冷延鋼板における板厚精度の向上とミルモーター性能向上の歴史

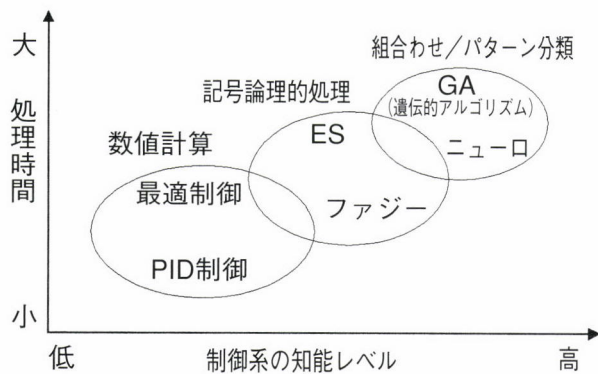


図7 知的制御技術の位置づけ

3.1 ES・ニューラルネット融合型高炉制御システム^{4),5)}

高炉プロセスは、高圧・高温下での熱化学反応で、内部状態を直接計測できないためプロセスのモデリングが非常に難しく、熟練オペレータの経験・勘への依存度が高かった。この高炉操業知識を普遍化し、操業の安定化を図るため制御型ESが開発されている。炉熱制御のための「短期管理」、時定数の大きい炉況の制御のための「中長期管理」、吹き抜け防止のための「極短期管理」から構成される。「短期管理」については98%以上の的中率を維持している。更に、微粉炭吹き込み量、送風湿分、送風温度等については直接ESによる自動制御を実現している。

高炉ESは、前記のESで全てのセンサ情報を判断できるようになった訳ではない。その一つが、ステープ温度の円周方向パターン、ゾンデによる半径方向のガス利用率パタ

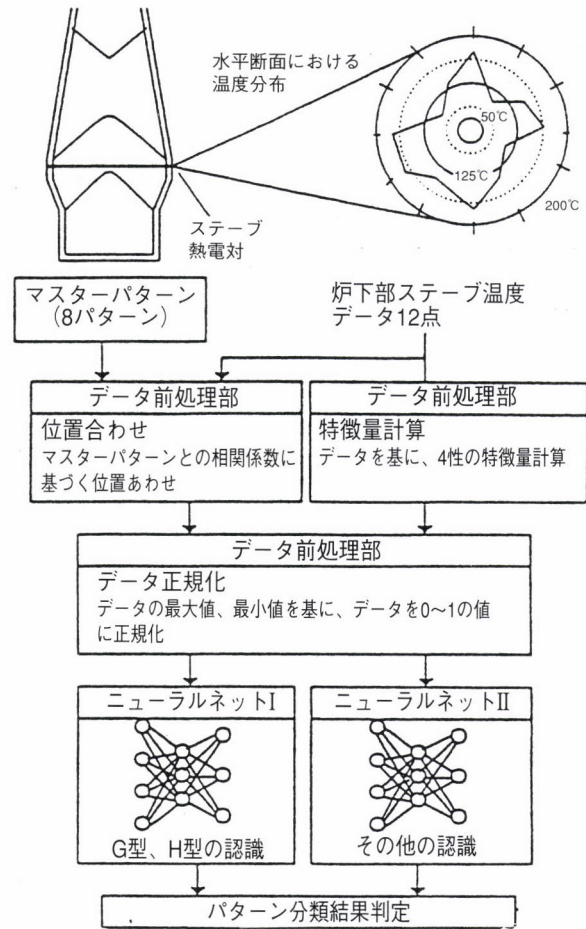


図8 高炉ステープ円周温度パターン分類

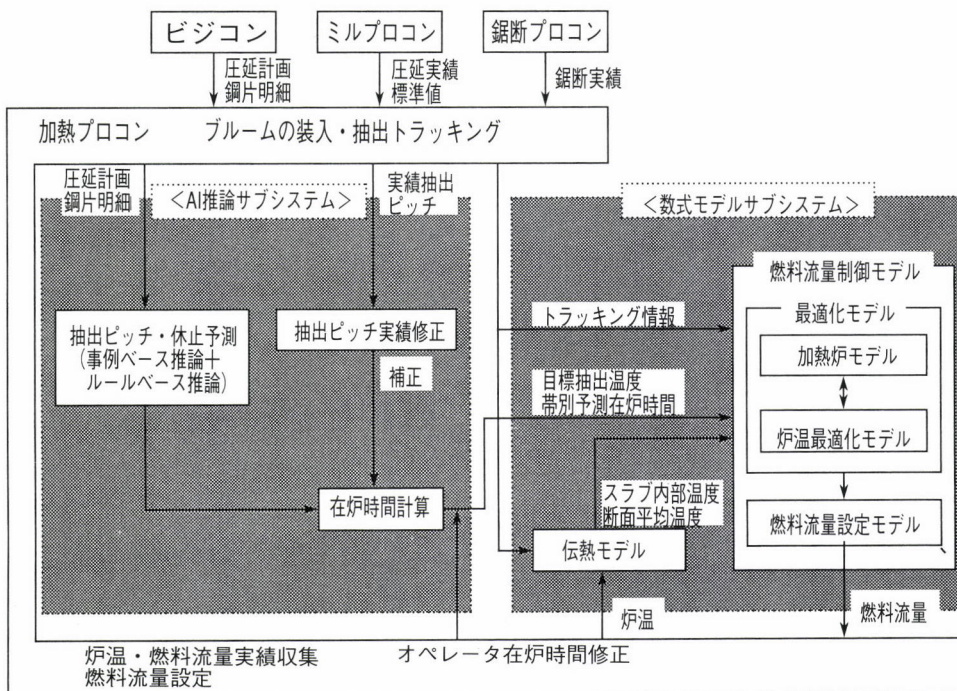


図9 型鋼 加熱炉燃焼制御システム

ビジコン；ビジネスコンピューター
…ブルームの材質、加熱温度指定、圧延計画などの生産管理を行うコンピューターシステム

ミルプロコン；圧延プロコン…ブルームの温度、寸法などにより決められた寸法となる様に圧延機に速度、圧下位置などの指令を行うコンピューターシステム

ーンといった視覚的に判断しているパターン分類である。熟練オペレータは、これらのパターンが過去のどのパターンに近いか直感的に判断し、炉内のガス分布や活性状況を推定し操業に役立てていた。この直感的に判断する機能としてニューラルネットを高炉ESの前処理として適用している。図8に示すように、ステーブ温度の測定結果を円周方向パターンに展開し、過去の事例にもとづいたマスター・パターンとの相関係数をとり円周方向における温度変化点の位置合わせ、円周方向12点の温度偏差など4種類の特徴量を計算した後、特性を変えて学習させた2種類の3層階層型ニューラルネットにより、8パターンに自動分類する。熟練オペレータと同等の認識率を達成し、高炉ESの適用率の向上に寄与している。

3.2 制御モデル・事例ベースES融合型形鋼加熱炉燃焼制御システム

加熱炉による燃焼制御は、伝熱理論にもとづく鋼材温度推定、炉温設定制御等で高精度化が進められてきたが、形鋼プロセスでは、頻繁に形替えや試圧延、予備材処理が行われるため、モデル計算の前提条件となる、加熱炉装入時点での各スラブ毎の抽出ピッチの正確な予測が困難であった。この抽出ピッチの予測にESを適用しようとしたが、従来のESのみでは、知識獲得負荷の増大、知識ベースの肥大化といった限界があるため、各操業フェーズ毎に抽出ピッチ予測に関する知識を事例データベースに登録し、オンラインで類似事例を推論により求める事例ベース推論を用いたESと、数式モデルによる燃焼制御モデルを融合した制御システムにより解決した。この方式だと、通常のESでルール数が数千と膨大になるところが約200で構築でき、知識ベース構築・保守の効率化が実現できた。この事

例知識ベースは、抽出ピッチに影響を与える要因を影響度1～5段階レベルで特徴づけ類似例の検索ができるようになっている。概略構成図を図9に示す。抽出ピッチ予測の実行手順は、図9に示すように、完全に一致していない過去の事例がなくても、類似事例の抽出が可能な手順になっており、新品种への対応が可能である。また事例学習機能により、経時的知識変化への対応と予測精度の向上を達成している。各スラブの加熱炉装入時点での在炉時間予測精度は10分以内で、加熱炉原単位向上と自動化実現が達成できた。

4 官能検査に近づく表面疵検査装置

鉄鋼プロセスの計測は、品質管理・自動化・設備監視を目的とし、その対象は溶鋼や鋼板の温度、スラブやストリップの寸法・形状から表面疵・内部欠陥と多岐にわたる。

一方、近年のエレクトロニクス技術の急速な技術革新は、主にコンピュータ処理の高速化・取り扱うデータ量の拡大を可能にした。この革新は、鉄鋼の計測制御技術にも計り知れない影響をおよぼした。特に鉄鋼製品の表面欠陥を検査する自動表面疵検査システムでは、センサ検出信号からの膨大な情報量にもかかわらず、画像処理技術の飛躍的な発達により、二次元的処理を即座に行うことができるようになった。

鋼板表面の疵欠陥はオペレータによる官能検査が主であり、物理定量的な指標が設定されていない。そのため自動疵検査装置のロジック判断した結果と基準となる人の官能判断とを合わせ込むという難しい問題が残る。これを満足させるためには、できるだけ得られた情報をもらさず有効

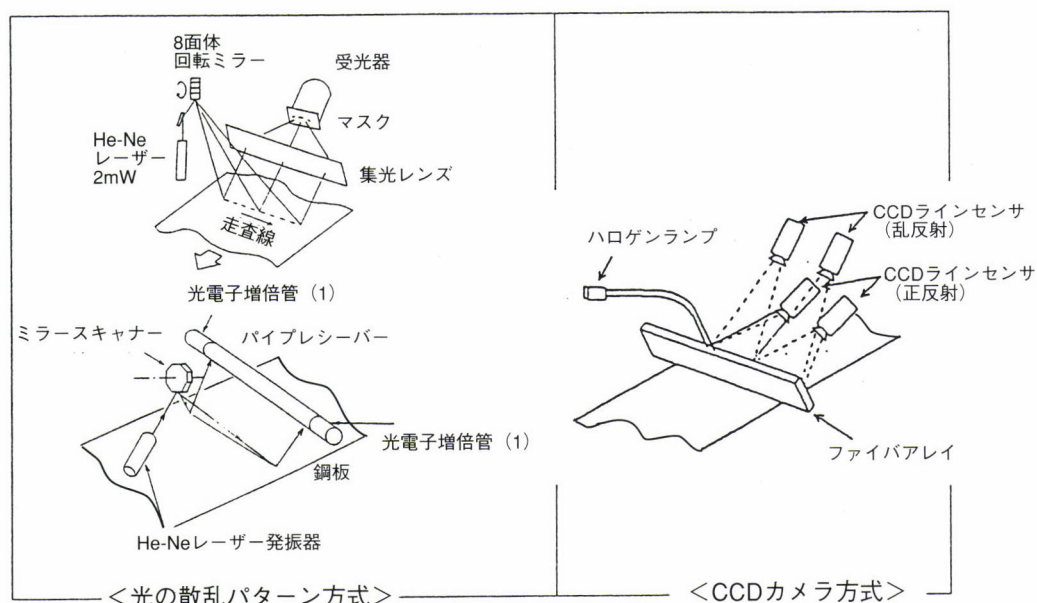


図10 疵検査装置の概略構成図

に活用できる超高速画像処理機能が必要となる。

これに対し、CCDカメラ方式（従来は光の散乱パターンを評価する方式が主）に加え、オブジェクト単位で疵種判定が可能な超高速画像処理装置を備えた疵検査装置が開発され、実機化されている。以下にこれらの新しい機能を有した疵検査装置を中心に最近の技術の紹介をする。

概略装置構成を図10に示す。撮像システムは投光部をハロゲンランプと光ファイバースリットで構成し、受光部をCCDラインセンサによる正反射光、乱反射光を受光する方式で表裏計8台で構成されている。微小疵検出のための高輝度化と画像サイズの細分化を狙っている。信号処理部は専用ボードとEWSで構成され①生波形に対する多重しきい値処理②オブジェクト単位の特徴量抽出、疵判定が可能なリアルタイム超高速画像処理機能を実現している。これらの機能はCCD型検出端の機械可動部がなく、全面にわたり均一なレベルの信号が得られるという利点との組み合わせにより、過検出レベルや疵検出性能の改善に大きく寄与している。また、下地のノイズレベル変化に対応する疵弁別レベルの自動設定や、ロール欠陥による疵や押し疵の様な周期性欠陥検出のための自己相関検出技術などが採用されるようになり検出能力の向上が図られる様になっている。

更に2モードの疵画像表示機能（疵のリアルタイム表示、すでに通過した疵の記録表示）、トレンドマップ表示（現在から過去における時間に対応した疵の量の変化傾向を表示する）機能によりオペレータの疵確認支援機能も大幅に強化されてきている。本装置を設置し、オンラインでの検出性能評価をしたところ図11⁶⁾に示すように検出率は97.1%以上で、かつ過検出率（無害疵を有害疵として検知した割合）1.6%と非常に優れた結果となった。

これにより、ほとんど目視不可能な広幅・高速通板時（検査幅2000mm,ライン速度0～580mpm）においても高い品質保証が可能となっている。こうした機能強化の結果、冷延・表面処理鋼板用の表面疵検査装置はその検出能を確実に向上させ、無人化ラインの実現に一步近づいた。今後、高温のため自らも光を発していることにより投射光との識別が難しい、熱間疵などへの適用対象の拡大と検査員の省力を確実にするためには、悪環境下においても高感度の疵検出が可能なシーズ技術の探索、及びコストパフォーマンスにすぐれた廉価な疵検査装置の実現への取組が必要である。

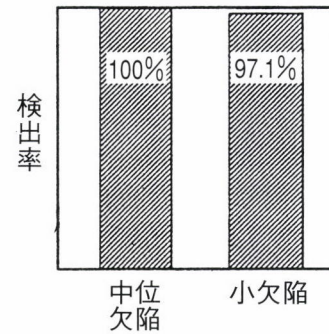


図11 鋼板表面欠陥の検出性能評価

5 まとめ

以上、鉄鋼の計測制御技術分野を代表する3つの技術テーマにまとをしぼって紹介した。これら計測制御技術をささえる共通技術としてはマイクロエレクトロニクスである。

最近のパソコンの発展にみられるようにこのマイクロエレクトロニクス分野はハード、ソフトともに爆発的な革新を継続している。このため計測制御技術分野も今後ますます革新していくものと確信している。われわれ鉄鋼の計測制御にたずさわる技術者としてはこの革新する計測制御技術を常に先取りして適用するとともに鉄鋼独自の分野に関するところは自ら開発することにより、一日も早い無人化工場の実現にむけて努力していきたい。本文が読者の参考となれば幸いである。

（図表のデータは、全国産業統計より計算したもの。）

引用文献

- 1) Azusa Tomiura;The Bread of Industry IPEC-Yokohama'95 Proceeding p.724
- 2) 白川芳幸、高橋俊博、中村誠、井上浩司、箴島恭一、磯野誠；マルチ映像を装備したマルチベンダーIEC統合システム；横河技報Vol.39(1995), No3, 4,p.170
- 3) 中北輝雄;次世代の鉄鋼システムの中における計装システムの姿;計装・9月号,p.76
- 4) 宮崎裕之、脇坂信治；AI技術の鉄鋼産業への応用;平成5年度電気学会産業応用部門全国,大会113巻12号, p.1344
- 5) 鉄恭秀、住田伸夫、脇坂信治ほか；パターン分類用ニューラルネットワーク構築支援ツールと鉄鋼での適用；平成5年電気学会全国大会
- 6) 田中宏幸、吉原敦；CCD超高速画像処理型疵検査装置のCAPLへの適用；「材料とプロセス」,Vol.8 No.2 (1995),p.370

(1995年10月20日受付)

現場技術報告

熱風制御弁を用いた新高炉操業

Advanced Blast Furnace Operation with the Hot Blast Flow Control Valves

NKK京浜製鉄所

脇元一政・中村博巳・石井邦彦

大河内巖・築地秀明*・下御領伸一

1. 緒言

NKK京浜製鉄所では、高炉羽口毎の支管風量を制御する熱風制御弁^{1) 2) 3)} (Hot Blast Flow Control Valves 以下HBFCVと略す) およびその制御システムを開発し実操業へ適用している。

本システムの活用により、合理化を志向した弾力的な操業が可能となるだけでなく、高炉の長寿命化を目的とした操業にも効果を発揮している。

本報では、このHBFCVの適用技術として、1) 炉底熱負荷制御、2) シャフト下部付着物除去について取り上げ、以下に報告する。

2. 概要

2.1 HBFCVの構造

Fig.1にHBFCVの構造を示す。本バルブの基本仕様は、
 (1) 弁体構造として、構造および軸シール施工が容易なバタフライタイプを採用
 (2) 弁体材質は高温(1300℃)・高圧(5kgf/cm²)・高流速(250m/s)の熱風に耐え得ることが可能
 (3) バルブ開度(100~0%)に対し、風量比(100%~36%)の範囲で羽口支管風量比の制御が可能であり、現在、京浜1高炉(4907m³)には、羽口全数(40本)に設置されている。

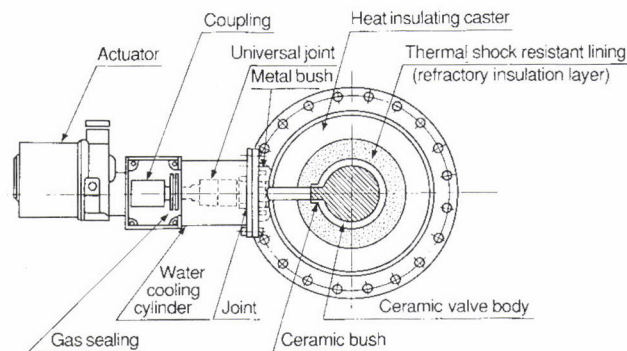


Fig.1. Structure of HBFCV.

2.2 コントロールシステム

京浜1高炉でのHBFCVの設置状況をFig.2に、コントロールシステムの操作画面の一例をFig.3に示す。本コントロールシステムの基本動作機能には、

- (1) 円周のある特定方向のバルブをある一定時間絞る方法
- (2) 一斉または特定方向のバルブを周期的に開閉を繰り返す方法
- (3) 羽口毎に、設定された風量またはバルブ開度に制御する方法があり、これらは全て制御室からの遠隔完全自動制御である。

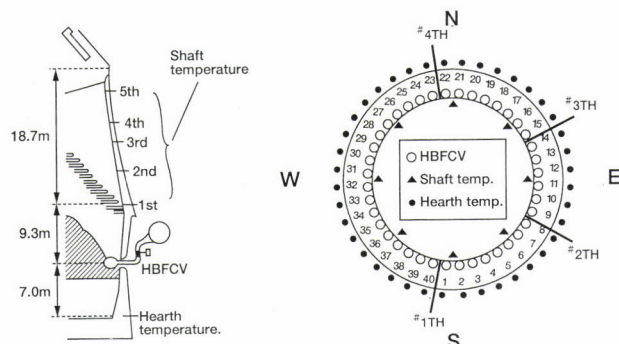


Fig.2. Schematic layout of HBFCV at Keihin No.1 BF.

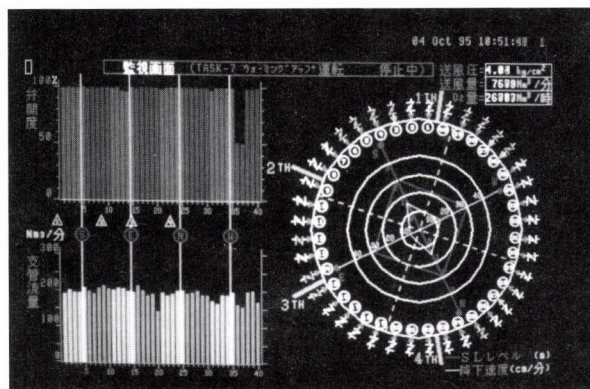


Fig.3. Display view of HBFCV control system.

1995年11月17日受付 (Received on Nov. 17, 1995)

* Hideaki Tsukiji (Keihin Works, NKK Corporation, 1-1 Minamiwatarida-cho Kawasaki-ku Kawasaki 210)

3. 炉底熱負荷制御

従来、高炉の炉底側板温度が上昇した場合、1)炉頂部よりTiO₂源鉍石の装入、2)冷却の強化、3)マッド充填量の増加、4)羽口の閉塞、5)出鉄比の低下等の手段がとられてきた。しかし、これらの方法は燃料比増加等といった高炉操業への悪影響が大きい。これらの問題を解決すべく、当所ではHBFCVを活用した炉底側壁保護操業を実施している⁴⁾。

Fig.4に炉底側板温度上昇時のHBFCVの使用例を示す。温度の上昇している炉底側壁の直上のHBFCV3本を開度50%まで絞ることにより、側板温度の上昇は抑制され、数日後には下降傾向となる。炉底侵食モデルを用い、図中A、B両期間における侵食ラインを推定した結果を、Fig.5に示す。

A期間では炉底脆化層の侵食が進行し、B期間では逆にHBFCV使用による侵食の抑制と保護層の成長を示唆している。(図中斜線部)

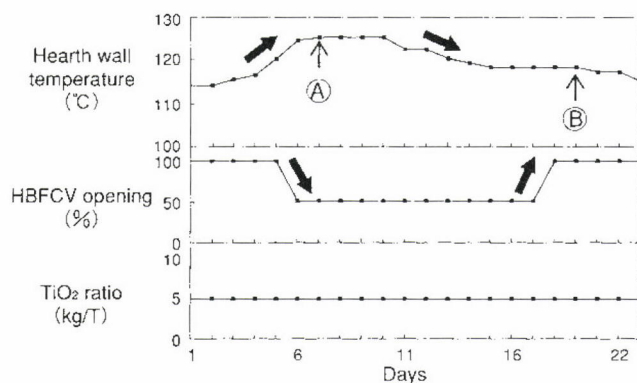


Fig.4. An example of heat load control at hearth wall with HBFCV.

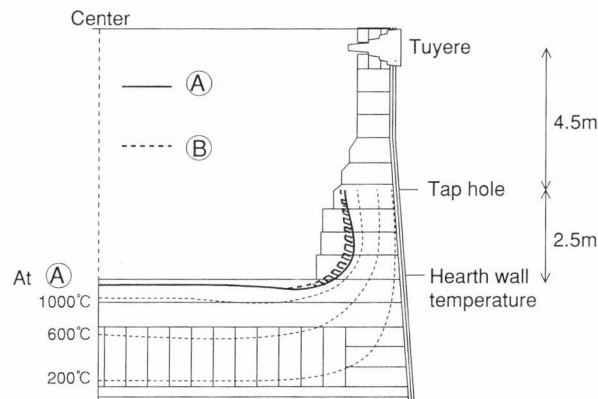


Fig.5. Comparison of erosion line calculated by mathematical model.

物質・熱収支から算出したHBFCV使用時の投入熱量の変化をFig.6に示す。HBFCVの開度を絞ることにより、当該羽口の投入熱量は減少し、結果として炉底側板温度の上昇を抑制しているものと考えられる。当所では、炉底側板温度が所定管理値に達した場合に、本アクションを実施しているが、従来の羽口径の変更あるいは閉塞等の手段と比較しても同等の効果をj得ている。

またFig.7に、炉底側板温度上昇時の投入TiO₂量の実績を従来技術とHBFCV活用技術を比較して示す。

HBFCV使用により、大幅にTiO₂源鉍石の投入が抑制されており、省資源の観点からも、合理化操業に大きく寄与している。

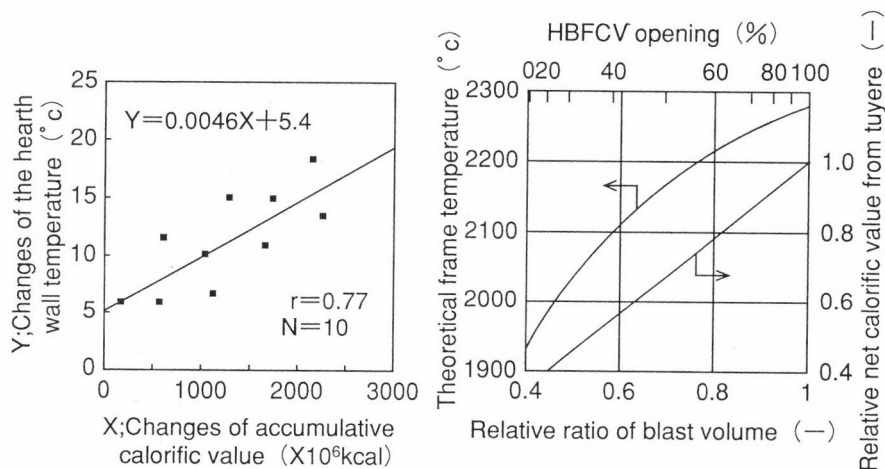


Fig.6. Mechanism of heat load control with HBFCV.

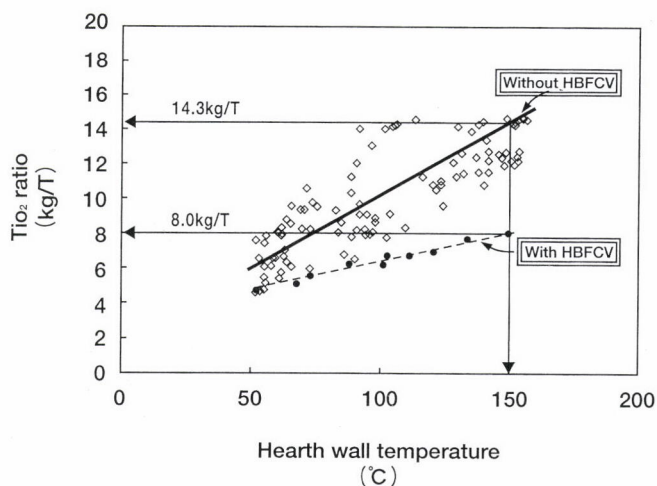


Fig.7. Effect of HBFCV on charged TiO₂ ratio.

4. シャフト下部付着物除去

高炉操業では装入物の降下状態を安定に保つことが重要である。

シャフト部への付着物の生成は円滑な装入物の降下を阻害するため、その生成を防止するとともに、生成した付着物の除去を行うことは必要不可欠である。

さらに、経年劣化による炉体プロフィール悪化時は付着物による操業への影響は大きくなる。

このため、従来は1)周辺部のO/C低下によるガス流の周辺流化、2)炉内熱レベルの上昇、3)スラグ塩基度の低下、等のクリーニング操業を実施し、場合によっては大幅な減尺による付着物除去が必要となる事もあった。

このため、当所では、定常操業継続下で付着物除去を実施すべく、HBFCVを活用している。

その結果の一例をFig.8に示す。

付着物の成長した方向の羽口のHBFCV (3~5本) を風量比70%まで低下させるが、この場合、付着物除去の所要日数は平均13.5日で、HBFCVを用いない場合の19.7日に比較し、大幅に短縮されているのがわかる。

この付着物除去機構について以下に考察した。

2次元数学モデルを用いて、HBFCVを絞った場合の装入物の降下速度と炉内温度分布の結果をFig.9に示す。HBFCVを絞った場合の計算条件として、風量減によるシャフト下部からレースウェイ至る炉壁近傍の装入物の降下速度の減少と、レースウェイ深度の縮小を考慮した。

これより溶融帯と考えられる1200℃~1400℃の範囲は、HBFCVを絞ると、炉壁近傍で上昇している。

すなわち、HBFCVを絞った方向のシャフト下部の炉壁近傍では、降下速度の減少により熱流比が低下し、融着帯根部が上昇し、炉壁付着物の除去が可能となったと推察される。

次に、HBFCVの操作方法の最適化について検討した。Fig.10より、シャフト1段温度が停滞しないうちに (付着物が小さい) HBFCVを使用すると、付着物除去に要する日数は短縮可能であることがわかった。(A<B<C)

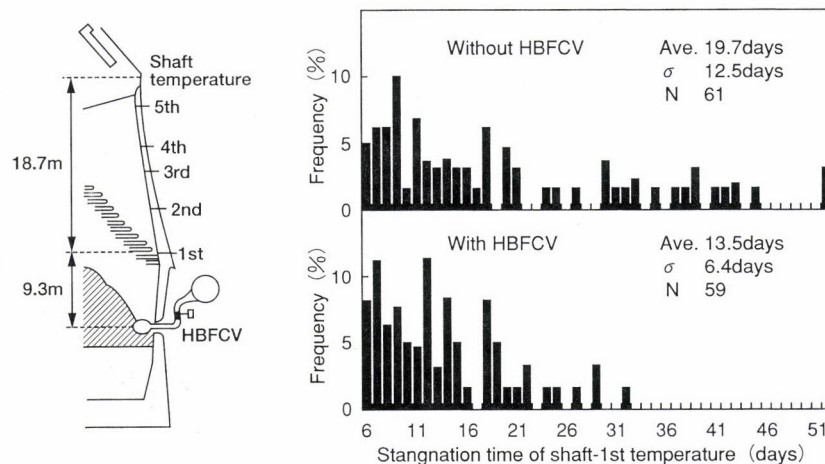


Fig.8. Effect of HBFCV on removal of shaft scab.

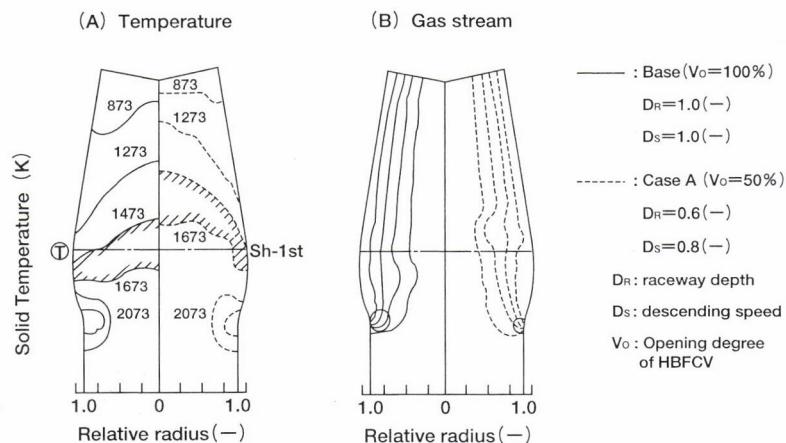


Fig.9. Effect of HBFCV opening on temperature distribution by two-dimensional model.

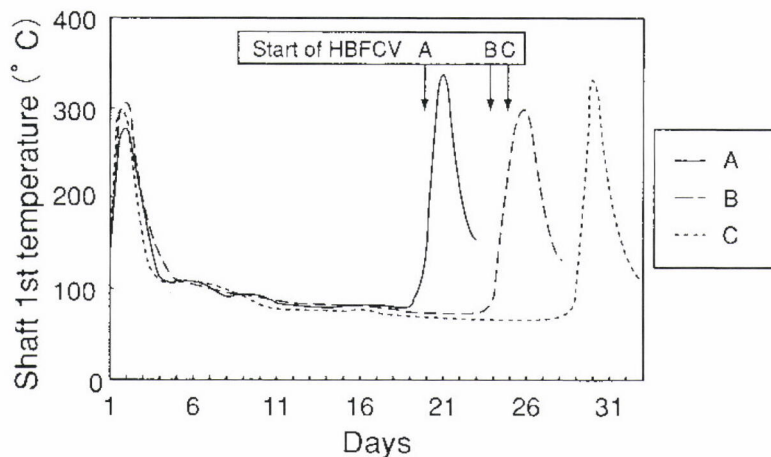


Fig.10. Typical transition of shaft temperature at 1st level with HBFCV for scab removal.

さらにFig.11に、HBFCV使用開始時のシャフト温度とHBFCV使用時間の関係を示すが、両者には良好な負の相関が認められる。

この関係を用いることにより、当所では、シャフト1段温度の推移を管理し、75℃以下で沈静化する場合、HBFCVを操作し約24時間で確実にシャフト温度を上昇させ、炉下部の活性化を図っている。

本方式は、従来技術法での燃料比、銑中Sの上昇といった操業への悪影響もなく、安定操業維持には必要不可欠と考える。

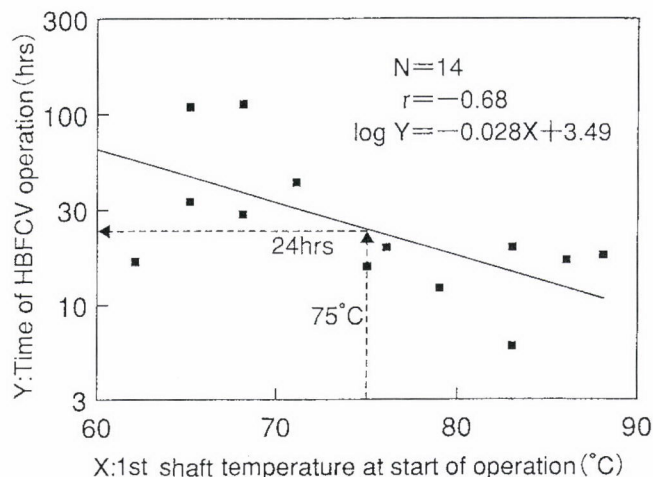


Fig.11. Relationship between shaft temperature at 1st level and operational time with HBFCV.

5. 結言

高炉羽口毎の支管風量を制御するHBFCVおよびその制御システムの実操業への適用技術として

1) 炉底側壁煉瓦保護、2) シャフト下部付着物除去について取り上げ、その効果の検証、最適操作方法の確立を行った。従来法に比較し、高炉操業への影響度、経済的効果の優位性が認められ、京浜1高炉の安定操業に貢献している。

今後、自動制御のため、さらなるシステムのレベルアップを図っていく予定である。

参考文献

- 1) 山岡洋次郎ほか、考案者、日本鋼管ほか、出願人：特公昭63-065730
- 2) 中島龍一、岸本純幸、堀田裕久、石井邦彦、木村亮介、山本修一：鉄と鋼,76(1990),p.1466
- 3) H.Hotta,R.Nakajima,S.Kishimoto and K.Ishii:Ironmaking Proceedings of the AIME,Vol.48(1989),p.565
- 4) 渡辺芳典、服部道紀、山田裕、下村昭夫、石井邦彦、築地秀明：材料とプロセス,Vol.8(1995),p.242

現場技術報告

名古屋製鐵所熱延ミル粗圧延機再配置

Reconstruction of Hot Strip Roughing Mills, Nagoya Works

新日本製鐵(株)名古屋製鐵所 麻生賀法* 神田俊之 松田俊作 松井健一
新日鐵情報通信システム(株) 大場善次郎 永島秀雄

1. 緒言

名古屋製鐵所熱延工場では、稼働後30年経過に伴う老朽化への対応と新鋭ミルに対するコスト・品質競争力確保を目的とした粗ミルリフレッシュ工事を平成4年12月に完了した。この工事ではフルコンタイプの粗圧延機5基のうち3基を撤去し、世界最大級のリバース圧延機1基を新設すると同時に、老朽化した粗制御系も一新し幅制御モデルのレベルアップも完了した。ここではその工事内容、立上げ準備方案、幅制御モデルの概要について報告する。

2. 粗ミル再配置の工事概要

2.1 リバース圧延機 (RRM) 配置

Fig.1に新旧のミルレイアウト図を示す。スラブの大型化対応、リバース時の前後材の干渉回避、工事期間中の操業制約減少等の観点から、RRMを粗3号～4号間に設置した。

2.2 RRMミル仕様

Table 1にRRMの主な仕様を示す。加熱抽出温度低減を目的に、高速・高圧下が可能なミルとするため、ワークロール径/モータパワーとも国内最大級のものとした。

2.3 圧延制御概要 (詳細は3章)

サイジングミルから粗5号の運転は、ワンマンかつ他業務との兼務も可能となるように、介入操作の自動化、CRTオペレーション採用による監視業務の改善を図った。また幅精度向上に向けて、RRM前後面油圧圧下エッジャー設置と旧粗4号油圧圧下エッジャーの粗5号への移設を行い、粗ミルエッジャー全段油圧圧下の装備を実現した。

3. 粗制御システム構成

3.1 EICシステム構成の更新

Fig.2に粗制御系更新前後のシステム構成概要図を示す。図中にあるように、従来EIC個別に操作デスクをもち信号結合はPI/Oのみであったシステムが、①オープン化機能を有したプロコンの導入、②高速データウェイ、③汎用データウェイ、④EIC統合化MMIの導入によって情報が密に結合されたことにより、高信頼性/高精度な制御を行うことが可能なシステムとなった。

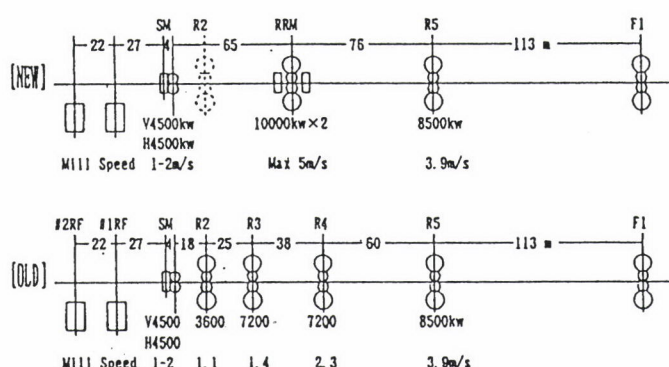


Fig.1. Layout of NAGOYA roughing mills.

Table 1. Specification of RRM.

		Main Specification
Mill type		Reverse Mill
Mill Motor Power		AC (SM) 10,000 kW × 2
Roll Velocity		max 300mpm
Roll Diameter	W R	1120 ~ 1270 mm
	BUR	1370 ~ 1540 mm
Edger Motor		DC 1000 kW × 2 with Hydraulic AWC

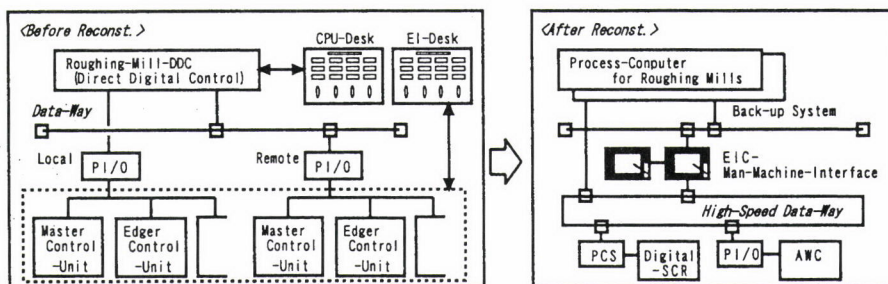


Fig.2. Outline of control-system reconstruction.

1995年11月8日受付 (Received on Nov. 8, 1995)

* Yoshinori Asoh (Nagoya Works, Nippon Steel Corp., 5-3 Tokai machi Tokai 476)

3.2 制御システム構成

Fig.3に粗制御システムのシステム構成図を示す。本システムでは以下の設計思想に基づき、これまで全機能を一括して実施してきたプロコンに対し、機能の分散化を図った(Table 2)。

- ①品質制御は操作性、ソフトウェア開発性に優れた上位プロコンにて実施し、継続して精度向上に取り組む、
- ②ハードウェアと直結したライン制御は、下位電気シーケンサ制御系にて高速に実現

また、今回の制御システムの特徴としては、①完全自動化の実現、②高度なEIC結合化、③システムのシンプルなる構成の実現、④制御機能の充実化、等を有しており、高品質鋼板の造り込み・将来の無人運転・メンテナンス負荷軽減等を意識したシステムとなっている。

Table 2. Control function.

Controller	Main Function
Process Computer	・Roughing Mill Set-up (RSU) ・Dynamic Set-up ・Automatic Width Control (SM, RM×2, RE5 : 4Loops)
Process Control Station	・Table Sequence Control ・Automatic Position Control ・Mill Master Control
Drive Equipment	・Digital Thyristor Control (ASR, ACR, AVR)

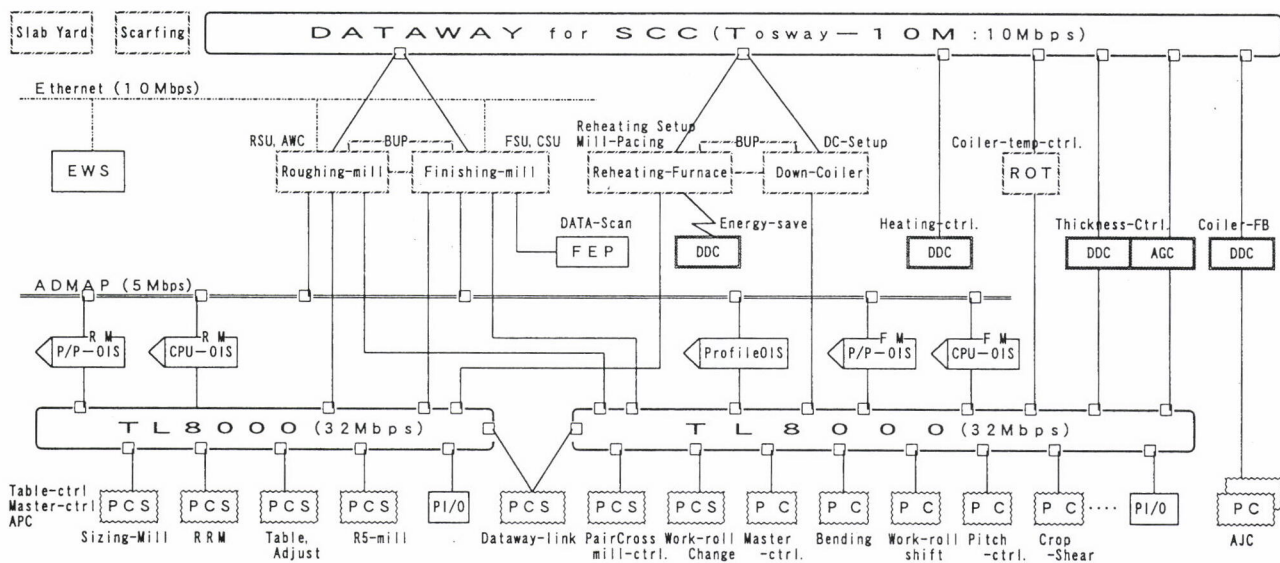


Fig.3. System configuration, hot strip mill, Nagoya Works.

4. 粗幅制御システムの概要

Fig.4に粗制御システムの中の品質制御の中核に位置づけられている自動幅制御システムのブロック図を示す。本システムではプロセスコンピュータ内に、幅設定制御（含ダイナミック再設定機能：図中上段）とダイナミック制御（AWC：図中下段）の両機能を組み込み、両制御機能が相互にデータリンクしながら高度な幅制御を実現している。特に、AWC機能では全エッジに油圧圧下装置を装備し、板内板幅変動を低減することによって効果を得ている(Table 3 参照)。その結果、幅制御機能の更新前後でFig.5に示すように、粗出側における幅予測精度の向上を実現し、平均幅マージン3.1mm低減を達成した。

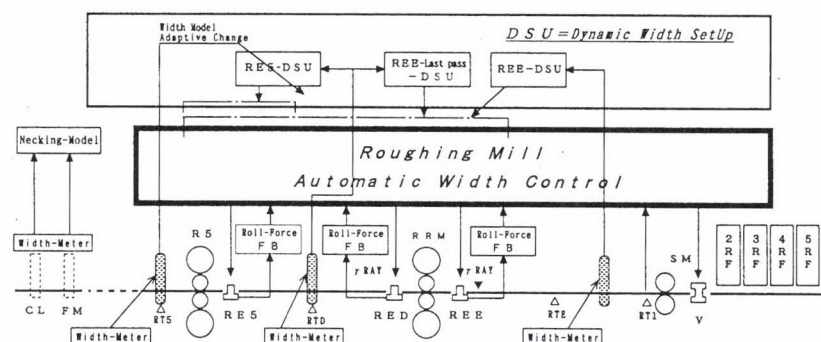


Fig.4. Outline of automatic width control.

Table 3. Main function of AWC.

	S M	REE	RED	RE 5
AWC sampling Pitch	100 mm min 50ms	100 mm min 18ms	100 mm min 18ms	150 mm min 37ms
SSC	○	○	○	○
Bisra-AWC	×	○	○	○
FF-AWC	×	○ (*)	×	○
Necking-ctl.	×	×	×	○

(*) Last Pass only

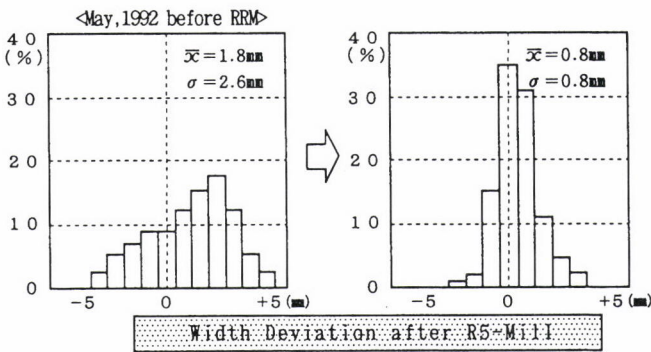


Fig.5. Improvement of width predict accuracy.

5. 工事工程と工法

今回の粗ミル再配置工事は、平成2年9月に工事開始以来、28ヶ月間に12回のライン休止工事（延111日休止）を経て平成4年12月に完成した。ミル本體工事のうち長期間を要する基礎工事は、粗3号／4号間のテーブルを架橋化し、ラインを稼働させながら基礎構築を行った。また200tonに及ぶミル本體の据え付けでは、既設120ton ミルヤードクレーン2台による共吊りを実施した。また、電気室へのRRMミルモータ設置に際しては、まず障害となる既設制御板室を12000点に及ぶケーブルとともに移設し、その後モータ据付け用に新設したクレーンを用いて2台のモータを設置した。

Table 4. Schedule of reconstruction of NAGOYA roughing mills.

	'90/9	'91/1	4	7	10	'92/1	4	7	10	12		
Line Stop (days)	4.0	8.3	8.3	10.3	8.3	8.3	14	6.3	14	8.3	8.6	12.3
Mill Construction	⇔ withdraw obstacles ⇔ ⇔ foundation work of mill ⇔ ⇔ install mill ⇔ ⇔ Total adjust-ment ⇔											
Electrical Construction	⇔ withdraw or move obstacles ⇔ ⇔ Foundation work of motor ⇔ ⇔ install motor ⇔											

さらに、熱延工場では長期間のライン休止は不可能であり、かつ最終切替え工事立上げでは制御系の一括切り替え直後からの高生産が必須条件であった。このため、中盤の休止工事に既設設備から新システムへの切り替えによる試運転をスムーズに行うため制御点数の完全2重化工事を（Fig.6）行い、各休止毎に新システムでの試運転調整を実施した。

6. 結言

名古屋熱延工場粗ミルの更新工事は、その規模の大きさにも関わらず、設計者・メーカー・施工業者が一体となって綿密な計画を立て、用意周到な事前準備を行うことにより、完全垂直立上げを実現（立上げ4日目にはフル生産）した。現在は制御モデルを中心に更なるレベルアップに取り組んでいる。

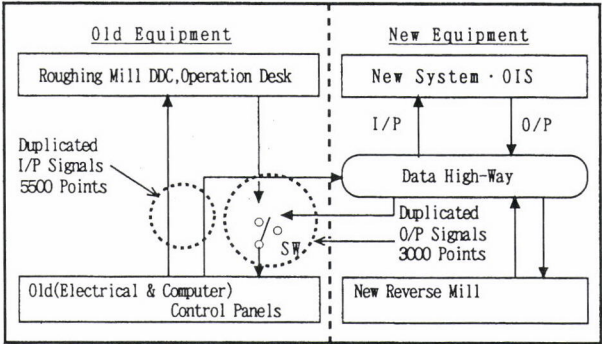


Fig.6. Outline of duplicated system.

鉄-21世紀への夢

創立80周年記念懸賞作文入賞作品紹介 ②

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

鉄は人と地球の芸術品

新潟県上越市立直江津中学校3年 竹山 梓

「鉄血宰相」といえばドイツのビスマルク「鉄の女」というとイギリスのサッチャー。

昔から、鉄は強さの象徴だった。

事実、鉄は丈夫で強い。僕が住んでいる直江津には大きな港があるのだが、そこにも鉄の重く冷たい空気が感じられ、経済全体を支えているという責任感と強さがある。また、日本の鎌倉、室町時代の農業生産の増大や、19世紀のヨーロッパの産業革命をはじめ、歴史上有名な経済成長期には、鉄の生産増大が発展の基礎となっている。

もちろん、鉄を利用する知恵がなければ産業は発展しないが、この強くて丈夫な鉄は大変広い用途があるので、どの国も工業の基礎を築くにあたっては、一番に製鉄所を作った。

そして、そこには鉄鉱石、石炭等の原料を運びこむ港ができ、製品を輸送するために鉄道が走る。また、製鉄所にはたくさんの人が働くので、人が集まり、町ができる。こうして、できあがったのが現在の北九州市だ。

工業の基礎となるのが、製鉄業だが、社会資本の整備にも必ず必要だ。橋、鉄道、高層ビル等、鉄がないと作れないものは多い。

かつて「鉄は国家なり」といわれ、光り輝く歴史を持っている鉄の近況は少し暗い。日本の主要な製鉄会社は一部を除けば赤字だし、韓国に猛烈な追い上げを受けている。

原因はなんだろうか。

一つ目には鉄離れが考えられる。

近年、科学技術の進歩で、新素材と呼ばれるものが生まれ、鉄を使って作っていたものがそれらを使って作るようになった。

セラミック、プラスチック等がこれにあたり、また同じ金属でもコストが低く、軽いアルミニウム等の非鉄金属等が自動車や家電製品などの部品で多く使われ始め逆に、鉄は最低度必要な部分だけということになった。

しかし、日本の鋼板の質は世界一といわれるほどに高く、世界中からひっぱりだこののだ。また国内でも、造船、重機をはじめ、大半を鉄で作る、大口のユーザーとなっている企業は、少し前不調となったものの、ここ数年順調だし、宇宙航空という新たな需要も生まれつつある。なのにどうして、鉄だけ不調なのだろうか。

それが二つ目の原因である円高だ。

1980年代からちょうど僕がものごころつきはじめたころから、急に円の価値が上がり、輸出を行うには、以前よりも安くしないと海外では割高になるようになってしまった。

しかし、輸出する時は円高は不利だが、輸入するときは円高は有利になる。

しかし、実際円高差益が製鉄会社の業績に影響を及ぼしたことは皆無に近い。石炭、鉄鉱石、石油をはじめとした原材料を輸入するときに出るはずの利益の大半がどこかで消えてしまい、円高差損ばかりが出てしまったのだ。

このような理由から日本の鉄鋼業は不調となったのだが、これ以上このような状況が続いていると日本経済は平成不況など問題にならないような危機におちいるだろう。

そのようなことから逃れるためにはどうすればいいのだろうか。

いくつかの方法と計画が考えられる。

一つ目は、宇宙開発だ。プラスチック、セラミック等が広い範囲で使われるようになったことを「鉄離れ」といったが、まだまだ鉄でなければ作れないものがたくさんある。

だから、この際もっともっと鉄でなければ作れないという物を増やしてはどうだろうか。そして、それが最も多く発見できそうなのが宇宙開発なのではないかと思う。人類は僕が生まれるずっと前からすでに地球の外に出て月に行ったりしていた。だから宇宙に出ることはそれほど難しくはない。そして、スペースシャトルの量産と宇宙観光を可能にすると大変な量の鉄の需要が生まれることだろう。

また各惑星上にスペースシャトルが立ち寄るためのステーションを作ったりしてはどうだろうか。

また、無重力状態においては、金属が、密度等によって分離してしまうことがない。したがって今まで合成することができなかった物質同士を組み合わせることによって「さびない鉄」や「光を受けても熱くならない鉄」等が出てくるのではないのだろうか。こういった夢の金属を作ることは宇宙航空の技術の発達によってスペースシャトルが量産化されるようになれば、驚くほど安く開発できるようになるのではないのだろうか。

したがって、もし苦勞する点があるとすれば、宇宙で製鉄

所を作ることぐらいだろうし、他の惑星には、鉄分の高い鉱物があって高炉などを使わなくとも至極簡単な方法で鉄が作れるようになるかもしれない。

二つ目は都市開発だ。

今回1月17日に関東大震災以来の大地震といわれる阪神大震災が起こった。この地震では高速道路をはじめとした巨大建設物が次々と崩れてしまった。これによって日本が誇りとしていた「安全神話」が崩れたと報道された。しかし、僕自身はそれについて疑問を持っている。改めて考えれば、木は腐るか枯れるかどちらかで、鉄はさびてしまうし、コンクリートはひびが入ったりする。そもそもこういうものを使っているのだから崩れないというほうが無理である。とはいえ、人類は数千年の間、その無理にいどんできた。そして地上数十階にもなる大きなビルを作ることができるようになった。

それほどまでに進歩していた建築学をもってしても建物が崩れたのはなぜかという、都市直下型の今回の地震が予想もつかないほどに強く大きなものであったということと、多くの建物が地震の少ない時期に建てられたので、地震に対する配慮をつい忘れてしまったということが挙げられる。

事実、神戸の埋立地のあるホテルでは地下数十メートルのところまで千本を越える棒を打ちこんでおいたので、その上に建ったホテルはびくともしなかったという。

この話を聞いてから、僕はビルとは木であり、都市は森ではないかと思えてきた。

つまり、そのホテルのように根をしっかりととはったものならゆさぶられても倒れることはない。また木は鉄という根も大切だが、鉄という幹も大切だ。それは、最近の建築学では、丈夫に作るだけでなく、ゆれて力を分散させることを重視しているからだ。

「柔よく剛を制す」ではないが、一寸のゆとりもなく作るといけないのだろうが、それにしても基礎である幹の鉄と根の鉄がなくては、ゆれて力を分散する構造なんてものは考えられないだろう。

木は二酸化炭素と水を葉緑体が光のエネルギーで合成して、酸素とデンプンを作るが都市という森の中のビルという木ではどうだろうか。ビルは電気と人間が機械を動かし、利潤を生み出している。よく考えるとわかるのだが人間以外全て鉄でできているのだ。

電気から考えてみると、あの大きな発電所のタービンは鉄でできているし、発電機をはじめとしてモーター類は良質の鉄がないと、心棒が作れず電気を作ること、逆に電気で回

転させることもできない。本当の森の場合、自然にある水からエネルギーを作りだせるが、人間の世界では電気は自然発生する量ではとても足りないの、発電所で作っている。

そして、鉄の強さを一番感じるのが橋だ。この十年ほどの間、日本中で海を渡る長く大きな橋ができた。

産業革命の頃のイギリス以来こういった大きな橋は数多く作られ、数多くの失敗を重ねてきた。しかし、鉄の強度と、建築学の進歩は橋を“交通系路の一部”から“都市の中の芸術品”に変え、ワイヤーや鉄骨が形作るシンメトリーは夜になってライトアップされたりすると更に美しくなる。これは、鉄をはじめとした基礎とワイヤーなどの補強の見事な融和が作り出したものだと思う。

以上、鉄鋼の問題と未来についてそれぞれ二つずつ述べた。

これらをまとめると、重厚長大から軽薄短小といわれて久しいがやはり軽薄短小ではやっていけない部分もたくさんあり、加工貿易を基本とする日本経済にとっても世界経済にとってもこの二つの共生、共存が大切であるということと、共生、共存のためにはまわりが助けてくれるのを待つのではなく、メイクニュー（新規創造）の精神を忘れることなく現在ある市場以外にも新たな需要を作り出すこと、そして、それは宇宙や都市の開発などが有望であるということだと思う。

円高、平成両不況を耐えてきた企業に新しいことをする能力、体力は残っていないかもしれない。しかし、今ここで冒険を恐れ進むことを拒めば、鉄には21世紀はないだろう。

歴史上、組織が減びる原因のほとんどが絶頂期に生まれている。鉄も同じではないだろうか。絶頂期にあり余る需要があったために新たな需要を作り出すことをしなかったのではないだろうか。

だから、鉄は基礎、重厚長大であると繰り返してきたが、応用、軽薄短小の部分に鉄の入りこむ余地を作るべきではないだろうか。事実、そのために、電子工業をはじめとした先端産業に子会社を持っている製鉄会社は多い。

残念ながら、今のところこの試みは成功していないが、近いうちに実現されるのではないかと思う。なぜなら、かつて「財界総理」と呼ばれる経団連会長を二人も出している鉄鋼業界には、数えていたらきりがなくくらい優秀な人材がたくさんいるからだ。「企業は人なり」とよく聞くが、鉄ほどその意味で強い産業は数少ない。だから、明るい未来を信じ、力強く一步一步新たな道を進んでいくべきではないだろうか、鉄は。

第2部 2等賞

アイアン・ドリーム

埼玉県越谷市

比留間 幸子

デパートの地下の食料品売り場はありがたい。

外食に飽きて、かといって仕事帰りに一人分の材料を買って自炊する気力もないときは強い味方になってくれる。

その日も夕食と、翌日のお弁当のおかずを調達すると、バーゲンのお知らせポスターを横目でチェックしながら駐車場に戻った。

ドアを開けるとシートの上に、キーホルダーのようなものがある。

つまみ上げると、それは鉄腕アトムの人形だった。

どうして、とあたりを見回してすぐに、運転席側の窓が数センチあいていることに気がついた。おそらく誰かが隙間からいたずらしたのだろう。

気をつけなければと思いつつ、無意識にアトム人形を助手席に置いて駐車場を出た。

三つ目の交差点で信号待ちをしていると、前の車の後の窓からにゅっと伸びた手が、歩道のゴミ箱に向かって空き缶を放り投げた。

空き缶はゴミ箱のへりにぶつかって跳ね返り、ゴロゴロ転がって私の車の下に入った。

「野蛮人！」

思わずそう叫んだ私に答えるかのように、誰もいないはずの助手席から「まったくだね」という子供の声が聞こえた。

えっ、と思って横を見ると、さっきまでほんの五センチ程度だったアトムの人形がいつの間にか大きくなって、ニコニコしながらこちらを見ている。

「21世紀には空き缶は全てリサイクルされるからね。あんなことする人いないよ」

あめぐりと口をあけたままの私に、

「お姉さん、信号青だよ」と、アニメの鉄腕アトムそのままの彼がいった。

「びっくりするの無理ないね。じつはボク、50年後の未来から過去を見物しにやってきたんだ。しばらく、つきあってくれる？」

「か、構わないけど、どうすればいいの？」

なんとか気を取り直して、とりあえず車を走らせながらそう尋ねると、彼は成田空港へ行きたいという。

きっと、これも何かの縁だろう。

私は未来からの使者を乗せ、空港へと向かうことにした。

鉄とリサイクル

それにしても、鉄腕アトムが本物になる21世紀は、どんな時代なのか。戦後の50年でこれほど社会が変わったのだから、きっとすっかり様変わりしているに違いない。

未来の生活に興味津々の私に、アトム君は「本当はあんまり喋っちゃいけないんだけど」といいながら、嬉しそうに話してくれた。

彼によれば、21世紀はとにかく物が大切にされて『リサイクル』がキーワードの時代になるという。政治も経済も20世紀とは大違いで、省エネやリサイクル計画を抜きにしては誰も相手にしてくれない。アトム君の言葉を借りれば「それだけ文化的で知的な社会」になるそうだ。

「たとえば、さっきの空き缶だけど。車から放り投げる人がいるなんて社会全体の文化レベルが低い証拠だよ。21世紀の人は、資源の大切さをしっかり理解してるから、貴重な空き缶をむやみに捨てたりしない。みんなスチール缶とアルミ缶をきちんと分けて、ちゃんと『リサイクル箱』に入れてるよ」「偉そうな言い方ね」

私が冷やかすとアトム君は、

「だって、ボクの体もそのおかげでできたんだもの。スチール缶のスチールは、ようするに鉄だよ。鉄はもともとスクラップとしてリサイクルされていたけど、それがもっとずっと簡単にできるようになって、空き缶一つもムダにされなくなるんだよ」

と心持ち顔を赤らめ、ムキになって答える。

「捨てられていた鉄の再利用が本格化するでしょう。そうすると鉄は安く大量に出回って、どんどん身近なところで使われるようになる。同時に研究もぐんぐん進んで、鉄の優秀さがますますわかって、リサイクル文化の花形になっていくというわけさ」

「ふーん」

「19世紀の初めに、化学者フルクロアは『鉄は文明の尺度』といったけど、その通りだと思うな。文明の進んだ21世紀には、鉄を使ったまったく新しい素材も開発されて……ね、このボクの体、ぜんぜん冷たくないでしょう」

アトム君はハンドルを握る私の左手に軽く触れた。

彼の手はほんわかしていて冷たい鉄のイメージとはほど遠かった。気のせいかな、軟らかくさえ感じる。

「たしかに、とても鉄の腕とは思えないわね」

「50年後の“鉄腕アトム”は新素材、『ライブ・アイアン』でできてるってこと。鉄に保温性と弾力性が加わって、触った感じを自由に調節できるんだ。人型のボクの体は、人体に近い感触に設計されているんだよ」

20世紀のリサイクルといえば、古新聞・古雑誌からトイレットペーパーを作るイメージだろうか。それが、21世紀にはジュースの空き缶から人肌の鉄腕アトムが生まれるとは……

そんな素晴らしいリサイクルなら、20世紀の私たちだって空き缶のポイ捨てなどしないだろう。

鉄と人体

そのうちどこかで高速道路に乗ろうと考えながら、なんとなく車を走らせているうちに道に迷ってしまった。夕闇に浮かぶ東京タワーを前にして、芝公園の入り口がわからない。

とりあえず車を止めて地図を広げると、アトム君が不思議そうに「どうして地図を見るのに思いっきり首を曲げるの」と聞いた。

それは肩こり症の私の無意識のクセだった。

数年前、鉄アレイで肩叩きしているのを目撃されて以来、会社では“鉄の女”と呼ばれている。

そんな話をする、アトム君は自分の胸をパカッと開き、中から綺麗なピンク色の鉄アレイを取り出した。

「電動式『オート鉄アレイ』だよ。なんでこんなのができたのかと思ってたけど、きっと、お姉さんみたいな人たちの要望で生まれたんだね。使ってみて」

「未来の肩叩き？」

「スイッチを入れると振動して自動的にマッサージ機になるんだ。硬さも調節できるし、さびないからお風呂でも使えるよ」

さっそく渡された鉄アレイを肩にあて、スイッチを入れた。心地好い振動が伝わってくる。

「うーん、トレーニング用の鉄アレイとマッサージ機をくっつけるなんてアイデアね。これだけ人の体にやさしい鉄が作れるなんて、21世紀はなかなか素敵な時代だわ」

「とにかく鉄製品の発展は目覚ましいよ。鉄は資源としてリサイクルが簡単だというだけでなく、たとえば酸化鉄なんかは自然にかえるからね。公害にならない、環境を汚さないという長所もあるんだ。さらに、鉄からエネルギーをとりだす研究も進んでるよ」

「エネルギー？」

半分目を閉じてオート鉄アレイに肩をまかせたまま尋ねると、アトム君はまたしてもびっくりするような話しをはじめた。

「そもそも、発電機そのものも鉄がなければ作れないからね。20世紀にも、電気エネルギーをつくるには鉄が大活躍してたんだよ。それが21世紀になると、別の角度からも鉄エネルギーの利用が始まるんだ。お姉さん、“鉄細菌”て知ってる？」

「知らない」

「自然界には鉄を食べて生活のエネルギーを調達する、鉄細

菌という連中がいるんだよ。その細菌を利用してエネルギーを取り出そうというのが『バイオ・アイアン・エネルギー計画』さ」

“たで喰う虫も好き好き”とはいうけれど、本当に鉄を食べる細菌などいるのだろうか。

半信半疑の私にアトム君は、「生き物の体と鉄は、本当はともに関係が深い」ということを、こんこんと説明してくれた。

じつはタンパク質や脂肪などの他に、生物の体には少量でもどうしても必要な元素がある。その中で鉄は一番重要な元素で、「人間の体も鉄がなければ存在しない」とまで言いきれるそうだ。

なにしろ血液の主成分であるヘモグロビンは、その分子の中心にがっちりと鉄の原子をはめこんでいて、それがなければ人間は体内に酸素を運ばずに死んでしまうという。

そういえば「鉄欠乏性貧血」という名前を聞いたことがあるなあと考えていると、アトム君は胸の奥から一握りのキャンディを取り出し、私に差し出した。

「21世紀の女性が愛用してる『アイアン・キャンディ』だよ。貧血予防の健康食品として爆発的ヒットを飛ばしてるんだ。20世紀に使われていた貧血の薬より品質も味も改良されて、ずっと効果が大きいよ」

「たしかに、人間も鉄を“食べる”となれば、鉄を食べる細菌がいたっておかしくないわね」

私はもらったキャンディを一つ口に入れ、車のエンジンをかけた。

鉄と都市

ほどなく芝公園の入り口は見つかった。高速に乗ってしまえば、あとは湾岸道路に出てひたすら東へ走ればいい。

左手にレインボーブリッジが見えてきた。助手席のアトムに「きれいでしょう」と自慢すると、「50年後もあるよ」の返事。

「私ね、ここの夜景大好きなの。アトムの時代もこんな感じ？」

「東京タワーのある側はあんまり変わらないけど、海側の景色は全然違っちゃう。いまはポツンポツンとしか灯りがないけど、タワーの方が淋しく見えるほどビルが並んでキラキラして……“1億ドルの夜景”と呼ばれるよ」

あんまり金きら金になるのも考えものだと思っていると、アトムは「未来の夜景、見たい？」といって、小さなビデオテープを取り出した。

私は首を横に振った。

「やめとくわ。長生きしてナマで見るから」

「残念だな。夜景はともかく、このテープの性能を見て欲しかったんだけど……これ、20世紀のカセットテープ並みのサイズでしょ。これですととても高画質なんだよ。じつはね、これもやっぱり鉄のおかげなんだ」

録画テープは磁性体の鉄でできている。

21世紀には鉄の性能がミクロのレベルでも向上し、磁性記録メディアとしての録画テープもどんどん小型・軽量・高性能化していくという。

さらに、鉄の磁性体としての性質を使って指紋を読み取る『フィンガーセンサー』も開発され、家庭や自動車の鍵に併用されるようになる。

聞けば聞くほど未来の暮らしは鉄のお世話になるようだ。

そういえば、今走らせているこの車も、後ろを走るトラックもバスも、塗装した鉄のかたまりだ。

鉄道だって、線路も電車も鉄である。

東京タワーも、レインボーブリッジも、高層ビルも……考えてみれば、この街を特徴づける建造物はすべて頑丈な鉄を骨をもった、巨大な鉄のかたまりだ。

東京から鉄を取り去ってしまったら、きっと何も残らない。私の生まれ育った東京は、鉄とともに大きく成長したのか……

ふっと、助手席のアトムを見た。未来からきた彼は、もう単なる冷たい鉄のかたまりではない。人肌の感触をもった温かい鉄だ。

21世紀の人々は、鉄に木材と同じ生きた優しさを与えようとしているのかも知れない。

もっと身近で、もっと親しみのもてる鉄に囲まれた社会がやってくる……

「お姉さん、危ないよ」

アトムに脇見運転を注意され、あわててハンドルを握り直した。

「車もね、21世紀にはアルミニウム並みの『超軽量鉄』が開発されて、ごく軽いボディが普通になるよ。もちろん強度や安全性は保証つき。それでいて燃費が向上するんだから、いいことづくめだね」

「燃費がいいってことは、それだけエネルギー資源の節約にもなるってことね」

ガソリンをがぶ飲みしない未来の軽やかな車。やはりボディは流線形だろうか……

「アトムに話そうかな」

「なあに？」

「ずうっと感じてて、誰にもいえなかったこと」

鉄と地球

小学生のとき、遠足で山へ行行った。

新鮮な空気に満ちた緑の木立の中で一日を過ごし、バスに揺られて灰色の空の都会へ帰って来る。校庭で点呼をとり、解散。友達と別れて家路を急ぐ私は、車がビュンビュン飛び交う立体交差点の前に立ったとき、「ああ帰ってきた」と心の底からほっとした。それは交差点の向こうに家があ

る、あと少しで帰れるという安心感だった。

大学生になって、友達と富士山へドライブに出かけた。

帰り道、中央高速を抜け、高井戸から都心へ向かう首都高速で、助手席の窓からうす紫に暮れてゆく景色をぼんやりと眺めていた。

やがて、ゆるやかなカーブの先に新宿の高層ビル群が見えたとき、「帰ってきた」「ここが私の居場所だ」という、子供のころ遠足の帰りに感じたのとまったく同じ安心感が強烈にわきおこった。

私は困惑した。

数時間前、富士の自然を満喫していたそのときよりも、はるかに安心できて落ちつくこの感じは、一体なんだろう？ 大自然の対局にあるような圧倒的な高さでそびえたつ鉄筋コンクリートの街並みに、懐かしいまでの温かさを感じるとは……

「どうしてそうなのかわからないけど、とにかく私は鉄のかたまりみたいな人工の建造物に、山や木や草に感じる以上の親しみを感じるのよねえ」

アトムは黙って聞いている。

「横浜のベイブリッジを初めて見たときも、こんなのつくっちゃう人間てスゴイなって、そう思ったらドキドキしたわ。でも自然保護の立場もよくわかるの。私だって、開発の名のもとに片端から自然を壊すのはよくないと思う。だから高層ビルを見ると落ちつくなんて変な話し、誰にも言えなかったの」

「ちっとも変じゃないよ」

アトムが真剣な声でいう。

「開発がすべて悪じゃないし、鉄のかたまりに親しみを覚えたって、ちっとも変じゃないよ。鉄はもともと地球の一部なんだから。鉄は地球に生き物が生まれるずっと前から地球にあった、自然界の一部なんだよ」

「……？」

「ボクらは地球の表面を覆う地殻の上に住んでいるけど、地殻の成分の中で、鉄は酸素、ケイ素、アルミニウムの次にたくさん含まれている元素なんだ。それに、地面に穴をあけてどんどん掘り進んだら、やがて鉄のかたまりにぶつかるよ。地球の中心部は鉄のコアでできているんだから」

「地球が鉄でできている……」

「人間は地球がくれた《鉄》という素晴らしい素材を、五千年以上の時間をかけていろいろな角度から研究し、便利で使いやすいものに変えてきたんだよ」

それは木彫りの人形をつくるより遥かに遠く長い道のりだったかも知れない。でも、だからといって鉄の人形がそれほど自然とかけ離れているわけじゃない。

酸化鉄は自然にかえるし、鉄を食べる細菌もいる。鉄のリサイクルがうまくいくのも鉄が自然のサイクルにうまく

馴染んでいるからだ。21世紀の人々は、開発と自然保護の矛盾を乗り越え、見事に鉄と自然を調和させる。

「そのときがくれば、お姉さんも鉄のかたまりを見て落ちつく自分に、引け目を感じなくなると思うよ」

鉄と宇宙

空港はすぐそばに迫っていた。高速道路の彼方に、ジェット機の赤いランプの点滅が見える。

私は胸が熱くなるような思いで、アトムにいった。

「あたり前みたいに飛んでいるけど、空に憧れた多くの人々の夢の結晶が、あのジェット機なのね。鉄と付き合いはじめて数千年で、人間は足元の重たい鉄を空に浮かべてしまったのね」

「鉄はもともと宇宙^{そら}からきたものだしね」

「空って？」

「宇宙だよ。今から46億年前、宇宙に浮かんだたくさんの巨大隕石が合体して、地球は生まれたんだ。隕石の中には鉄を含むものもたくさんあって、それが地球の一部になったんだよ。そのときの鉄を掘り起こして、今の人間が使っているというわけさ」

「鉄の故郷が宇宙だなんて……」

「鉄だけじゃないよ。地球上のすべての物の故郷が宇宙なんだ」

「すべてって、人間も？」

「人間の体をつくっている原子の故郷、という意味だね」

宇宙には初め、一番軽い水素と二番目に軽いヘリウムの原子しかなかった。

やがて無数の水素原子が集って、太陽のように自ら燃える星が生まれると、その内部で原子の核融合反応がはじまり、炭素や酸素など、さまざまな原子が誕生した。

「星の原子炉がなかったら、水素とヘリウムより重い原子はどこにもなくて、人間もいなかったというわけさ。その星の原子炉の中で、一番最後にできるのが最も安定な金属、鉄なんだよ」

アトムはいう。だから人体の故郷も宇宙。鉄の故郷も宇宙だ。

宇宙のすべての物質は星の原子炉と、ときに原子炉が燃えつきたあとで起こる超新星爆発によって生まれた原子でできている。

つまり地上のあらゆる物質は、海も山も人も鉄も、地球が生まれるずっと前に爆発した、星のかけらでできている……

「鉄と人間が同郷だったなんて、妙な感じだわ」

私の嘆息に、アトムは笑いながらいった。

「でも人は昔から、無意識に鉄との接点に気づいてたんじゃないのかな。だからこそ、人は鉄といっしょに故郷の宇宙を目指してるんだと思うよ。ボクは今からそれを確かめに行きたいんだ」

鉄と未来

空港に着くと、アトムは再びキーホルダーのサイズに戻り、目立たないように私の手の中におさまった。私は彼の望み通り、ヒューストンへ向かう荷物の一つに彼をくくりつけた。

アトムは小さく「ありがとう」といって手を振ると、すっかり固まってしまった。もうどこから見てもただの鉄の人形だ。

車に戻り、ぼうつとした気分で走り出す。彼の最後の言葉が頭の中にこだまする。

『21世紀は宇宙旅行も普通の時代になるけれど、宇宙船をつくるのも、スペースコロニーをつくるのも鉄だよ。すでに20世紀の人たちも、鉄を人工衛星の形で地球のまわりに飛ばしてるけど、未来にはそれがもっともっと大がかりになっていくわけさ。』

お姉さんたちの時代は、いろいろな点で過渡期なんだと思うよ。開発と自然保護の問題、宇宙公害の問題、そういった現実もある一方で、やっぱり新しいビルを建て、スペースシャトルを飛ばすのはどうしてかな。

きっと、人は神話の時代から夜空の星に憧れて、いつも星を目指していたんだよ。意識の底で故郷の宇宙としっかりつながっているから、人は宇宙へ旅立たないではいられない。

そのときは鉄といっしょなんだ。人間は鉄の可能性を無限大にまで引き出して、手を取りあって夢を見るんだ……』

私は自分の部屋に帰ってからも、まだふわふわと夢見心地だった。

台所に立てば、未来のキッチンの色つきのステンレスで、もっと華やかになっているだろうとか、電気製品も軽量鉄のおかげで軽く扱いやすくなっているだろうとか、いろいろなことが浮かんでくる。

そういえば、この前見た新型洗濯機の広告によれば、鉄の進歩で雑音が減り、静かになったとか。脱水槽には高速回転のできる高性能のステンレスが使われて水切れがアップし、洗濯物が早く乾くという。

鉄の進歩は身近なところでどんどん進んでいるのだとあらためて思う。

食事を終え、お風呂に入った。

湯ぶねにつかり、アトムにもらったオート鉄アレイを首すじにあてる。

いい気分で、ゆったりと手足を伸ばしてまた考えた。

これが21世紀なら……

人肌のステンレスの湯ぶねがスイッチ一つで、全身を気持ちよくマッサージしてくれるだろう。

夢かなあ……

(東京都立上野高等学校教諭)

名 誉 会 員 追 悼



故 名誉会員 小林佐三郎 君

弔 辞

社団法人日本鉄鋼協会名誉会員、前会長、株式会社日本製鋼所相談役小林佐三郎博士は、平成7年11月30日心不全のため、ご逝去になりました。享年89才でした。ここに謹んでご冥福をお祈り申し上げますとともに、お別れの辞を捧げます。

氏は昭和27年から29年までの2年間本会副会長を、さらに昭和51年から53年までの2年間会長を歴任され、鉄鋼技術ならびに研究開発に関する深い造詣と、優れた指導力をもって本会事業の運営に当たられました。なかでも会長在任中には、学術技術の研究開発の重要性を唱えられ、昭和52年に設立された特定基礎研究会は、鉄鋼ならびに関連業界から解明を要望された「基礎的課題」を学界の協力を得て共同研究する体制を確立したもので、氏のお考えに沿うものであります。本会が平成7年度に実施したリストラ80と称する抜本的事業改革に伴い特定基礎研究会も改組されましたが、これまでに24研究部会が、鉄鋼の製錬から製品までの分野に亘って活発な研究活動を行い、それらの成果が鉄鋼の生産活動に反映され、我が国鉄鋼生産技術の進歩発展の一翼を担ったことに思いをいたす時、氏の製品ニーズへの対応、技術革新への先見性に感銘を新たにします。

また、氏は学術、技術を通じての国際的な交流と協調に強い理解を示され、その一つとして、世界から喜ばれかつ日本開催がふさわしい国際会議を標榜され、昭和55年の「第1回国際鉄鋼圧延会議」の開催決定を始めとする、その後の国際会議の方向付けをされました。

これらの事業推進に当たっては、氏は高邁なる識見と卓越した洞察力と指導力を発揮され、その発展に多大の貢献をされておられます。

氏は昭和2年浜松高等工業学校応用化学科を卒業後、直ちに株式会社日本製鋼所に入社、室蘭製作所において研究部門、製造部門の業務に従事された後、企業経営の中核にあつて「研究を中核とした鋳鍛鋼品の製造」の指揮を取られ、真空鋳造法の導入、大形鋼塊製造技術の開発などにより大形鋳鍛鋼品製造技術を確立されました。また極厚鋼板および各種高級鋼板の開発製造を成功に導かれました。これら大形鉄鋼材料の製作は設備機器の巨大化、高性能化の時流に対応し、国内外の各種産業に飛躍的な発展をもたらしております。

昭和40年社長就任後も、独創性、進取性をもった研究に立脚した技術者、経営者あるいは業界の指導者として活躍され、世界に冠たる大形溶接構造物製造技術の地歩を築かれるなど、我が国鉄鋼業の発展に寄与された功績は多大であります。

氏は本会のみならず鉄鋼界、産業界ならびに学界に亘る関連諸団体の要職を歴任され、科学技術の発展、業界の育成、協調体制の確立に貢献されました。これら一連のご業績に対して、本会からは製鉄功労賞、渡辺義介賞、服部賞が贈られたほか、政府からも従四位勲二等瑞宝章、藍綬褒章が授与されております。

前会長の本会ならびに鉄鋼界の発展に尽くされました偉業を偲び、会員一同心から哀悼の意を捧げ、ご冥福をお祈り申し上げます。

平成7年12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. 3 掲載記事

自動車の未来を拓く IRON&STEEL

話題のプロダクツ

チタンドライバー

鉄の絶景—福岡編

展望

海上高速輸送の現状と将来

木原和之(三菱重工業(株))

入門講座

鉄鋼材料編—3 鉄器時代はまだ終らない—力学的性質から見た鉄と鋼

矢田浩(静岡理科大学)

鉄鋼プロセス編—2 製鋼プロセス「鋼ができるまで」

森克巳(九州大学)

解説

マイクログラムが見える

岩田英夫(日本鋼管テクノサービス(株))

懸賞作文入賞作品紹介③

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

第2部(大学生・一般の部)2等賞「鉄は新文化材」

岡本久人

1996年第131回春季講演大会プログラム(別冊)

*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
定款改正のお知らせ	本号 147頁
第1回 (1995年度) 遊休研究設備紹介事業のご案内	本号 147頁
第81回通常総会開催案内	本号 148頁
第131回春季講演大会 懇親会のお知らせ	本号 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	本号 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	本号 149頁
シンポジウム「材料電磁プロセスの最近の動向」開催案内	本号 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	本号 150頁
創形創質工学会切削・切断フォーラム 討論会・見学会開催案内	本号 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	本号 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	本号 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	本号 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	本号 153頁
セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」開催案内	本号 153頁
3学協会共同企画シンポジウム開催案内	本号 154頁
第130回秋季講演大会 学生ポスターセッション報告	本号 155頁
第2回次世代鉄鋼奨学助成の募集案内	1号 66頁
会費等の自動払込制度ご利用のお願い	1号 66頁
鉄鋼研究振興資金による第5回助成テーマの選定結果	1号 67頁
7th International Symposium on Physical Simulation講演募集	1号 68頁
入会案内	1号 73頁
第159・160回西山記念技術講座「新しい時代を創造する高性能厚板」開催案内	12号 N604頁
第1回世界製鋼会議 (ICS'96) 開催案内	12号 N605頁
鉄鋼技術用語辞書と機械翻訳サービス案内	12号 N610頁
関東地区に支部を設置するためのボランティア募集のご案内	10号 N477頁

編集後記

電通総研は96年の潮流として新「知行合一のすすめ」を挙げている。先進国にあっては、個人の意識、価値観が消費や生活のスタイルを支えており、その集合として経済が成り立っている。天災・人災の両面から日本の成長安全神話が崩れさった今、まさに明治維新以来の古い設計図を新しい設計図に替え、同時に工事を始める知行合一のときなのだという。

鉄鋼は素材革新の中心としていつの日までか産業技術と学術の牽引車であった。今もそうであるのか、そうありたいと願っているのか。どうしても必要なものは他分野からの借り

物でない新しい学理である。

鉄鋼は巨大な装置、莫大な物量を取り扱う。が、原子・電子の極微の世界とのギャップに苦しみつつも混沌として看過している。両者をつなぐ新しい総合化の理論こそ我々だけが開拓しうる新しい領域なのではあるまいか。

起業家精神を放棄し、企業家に走る組織依存の官僚型体質からは、既存技術を打ち破る破天荒な発想は出てこない。知行合一に根ざした異色研究こそ望まれる。(K.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))	船橋 佳子 (川鉄テクノリサーチ (株))	古田 修 (愛知製鋼 (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2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			
2月 7,8日	第159回西山記念技術講座「新しい時代を創造する高性能厚板」(東京)		12号N604頁
21,22日	第160回西山記念技術講座「新しい時代を創造する高性能厚板」(広島)		12号N604頁
23日	第19回ウィンターセミナー(東京)		12号N609頁
28日	炭素材料学会2月セミナー「エレクトロニクスとカーボン」(東京)		本号 160頁
3月 7,8日	金属学会セミナー「材料科学における相変態の基礎と応用」(東京)		12号N609頁
8日	関西支部 3月見学会・講演会(姫路)	1996-2-15	本号 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)		本号 160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	本号 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)		本号 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)		本号 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)		本号 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 ー鉄鋼技術の移転はどのように行われたかー」(千葉)		本号 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 ー鋼管素材への要求シリーズ その1」(千葉)		本号 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)		本号 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)		本号 152頁
28日	3学協会共同企画シンポジウム(千葉)		本号 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	本号 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)		本号 160頁
4月 18,19日	第6回電子顕微鏡大学(東京)	1996-4-5	本号 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 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
20,21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ー極限性能を目指して」(東京)(予定)		
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ー極限性能を目指して」(大阪)(予定)		
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 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	本号 160頁
8月 5~9日	「材料における拡散の諸問題」国際会議(ドイツ)	1995-7-15	7号N403頁
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	本号 155頁
9月 28~30日	第132回秋季講演大会(北海道)		
29~10月3日	第15回科学技術データ国際会議・第20回科学技術データ委員会総会(つくば)		10号N486頁
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)		本号 160頁
22~24日	7th International Symposium on Physical Simulation(つくば)	1996-4-1	1号 68頁
1997年			
1月 4~8日	5th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts '97 (Sydney, Australia)	1996-3-15	本号 154頁
3月 27~29日	第133回春季講演大会(東京)(予定)		
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)		本号 160頁

ふらむ Vol.1 No.2 広告目次

表2 株トライメート	スラブ切断装置他	前5 中外炉工業(株)	バーナシステム	後3 ニチメン・メカトロニクス(株)
前1 住友金属テクノロジー(株)	試験分析サービス	6 株堀場製作所	炭素硫黄分析装置	材料試験機
2 丸本工業(株)	試料準備機器	後1 本誌広告目次		4 坂井化学工業(株)
3 島津メクテム(株)	寸法測定装置	株CRC総合研究所	熱力学計算ソフト	株協会通信社
4 株チノー	放射温度計	2 東レ・デュポン(株)	バーコードラベル	表3 トクデン(株)
				表4 日本アナリスト(株)
				ジャケツトロール
				各種分析装置

本誌広告取扱 株式会社 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

開発元
スウェーデン
KTH

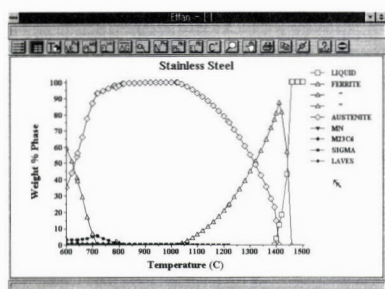
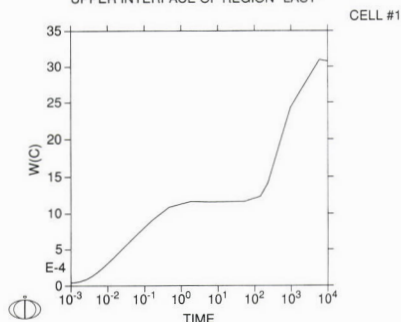
統合型熱力学計算ソフトウェア

Thermo-CalcTM

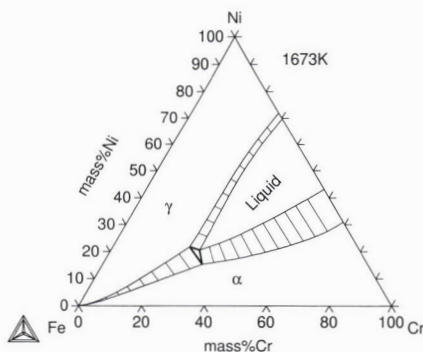
未来設計企業

CRC

DICTRA (1995-10-15:17:27:24) : Growth of M23C6 in a Austenite
UPPER INTERFACE OF REGION "LAST"



- 平衡計算、状態図計算、凝固シミュレーション等
- SGTEデータベース、Ti基、Ni基、Al基データベース等



稼動コンピュータ

- ・UNIX ワークステーション
- ・パソコン DOS/V

関連ソフトウェア

- ・拡散律速型変態計算ソフト
DICTRA
- ・パソコン版Windowsソフト
ETTAN

お問合せ先

日本総代理店

株式会社 **CRC総合研究所** 科学システム事業部

〒136 東京都江東区南砂2-7-5

TEL: 03-5634-5809 FAX: 03-5634-7338

高温下の鉄鋼管理に最適な バーコードラベル……



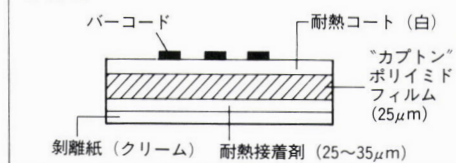
260°C～300°Cの耐熱性があり、ほとんどの印刷方法に
適応できる……。さらに粘着材は
240°Cの表面の粗い被着体
にはっても、ズレ、浮き、
ガス発生がない…。
よし！サンプルを取りよせよう。

●お問い合わせは下記までどうぞ

ラベルの特長

- ベースフィルムに-269°C～+400°Cの過酷な条件に耐えるポリイミドフィルム“カプトン”を使用し、耐熱コート層と耐熱接着剤の組み合わせで、260°C～300°Cの耐熱性を実現しました。
- 表面の耐熱コート層(印字層)は、白色でインク吸収性、平滑性に優れているため、ほとんどの印刷方法に適応します。
- 接着剤は240°Cの被着体に貼付されてもズレ、浮き、ガス発生がありません。

◎構造



耐熱粘着シート用ベースフィルム

超耐熱・超耐寒性ポリイミドフィルム

カプトン®

®は、米国デュポン社の登録商標です。

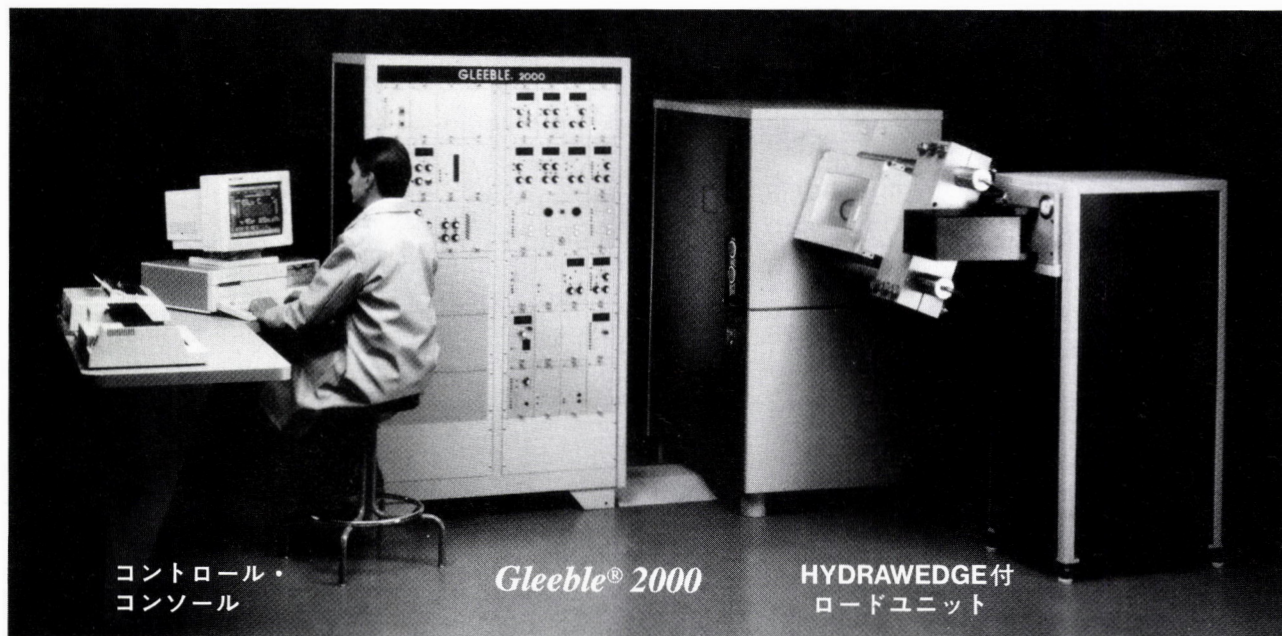
熱間加工再現試験機

Gleeble®

2000 (8 TON)

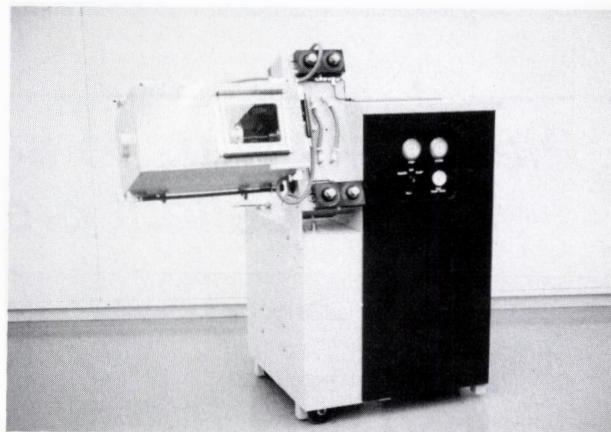
1500 (8 TON)

1000 (5 TON)



直接通電加熱電気油圧サーボ式万能材料試験機

- 加熱方法は独特の直接通電抵抗加熱方式で最大加熱速度 10000℃/sec 以上も可能(試片溶融再凝固試験も可) 又通電可能な全ての材料(銅・アルミ等)がテスト出来ます。
- 2000型には別系統の油圧サーボシステムにより歪量を強制的に制御し、正確な歪量/歪速度制御による多段加工テストが行なえる装置(HYDRAWEDGE)や、1250℃までの高温真空中でのトーションテスト(最大トルク100NM)が行える装置等オプション機器も豊富に揃っています。
- 熱履歴のみの(熱処理、溶接試験等)再現専用試験機もあります。



Hot Torsion Option

- 応用例
 - HOT ROLLINGS FORGING (Max 16 Hit)
 - HOT WORKABILITY
 - THERMAL FATIGUE
 - HOT STRENGTH AND DUCTILITY
 - TENSION-COMPRESSION
 - RELAXATION-RECOVERY
 - HEAT TREATMENT OF METALS
 - WELD METALS
 - GRAIN GROWTH
 - HOT CRACKING
 - TTT AND CCT DIAGRAMS
 - SHORT TIME RECRYSTALLIZATION
 - HEAT AFFECTED ZONES IN WELDMENTS
 - OTHERS (Thermdl and Mechanical combination)

Manufacturer : Dynamic Systms Inc, USA.

ニチメン・メカトロニクス株式会社

〒530 大阪市北区中之島2-2-2 〒104 東京都台東区浅草橋3-8-5
TEL (06)223-5171(代) FAX (06)223-5178 TEL (03)5820-0263 FAX (03)5820-0267

あなたの良きパートナーです。

創業以来50有余年。
私たちは、鉄とともに歩んでまいりました。
これからも、夢の鉄づくりを、お手伝い致します。

テルマックス

連続铸造用フラックス (粉末・顆粒)
下注造塊用フラックス (粉末・顆粒)
取 鍋 用フラックス (粉末・粒状)
タンディッシュ用フラックス (粉末・粒状)
その他 副資材一般



夢を実現する 鉄の副資材メーカー

坂井化学工業株式会社
神戸工場

〒654 神戸市須磨区大池町3丁目1番26号
TEL(078)732-2421(代) FAX(078)732-2427



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

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANÉ

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

日本鉄鋼協会講演論文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

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

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

For more Information,
Write or Facsimile.

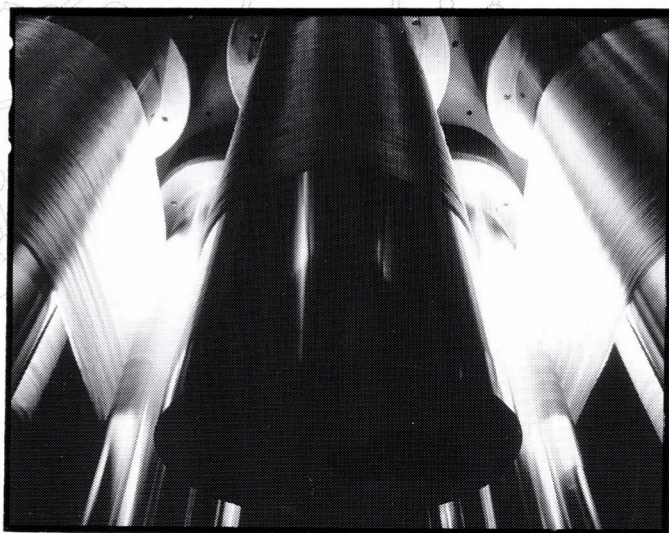
ADVERTISING AGENCY for
The Iron and Steel Institute of Japan
KYOKAITSUSHINSHA CO., LTD.

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

熱加工の最先端

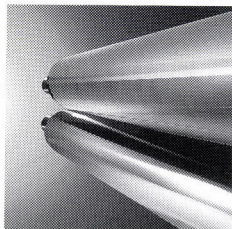
JACKET ROLL

スーパー繊維の 理想結晶をつくった技術。



精密熱加工で 新素材時代を拓いた JACKET ROLL

JACKET ROLLは、1967年の開発以来、あらゆる熱加工の領域に、大きなインパクトを与えてきました。
超高温加工の実現。均一で高精度な温度制御。高速生産への対応——ジャケットロールは、高度な生産技術が要求される熱加工分野で他の熱ロールを圧倒。先端産業分野で多彩な活躍をみせる新素材の品質向上はもちろん、量産化、コストダウンにも大きく貢献しています。



トクデン株式会社

同じ重さの鋼鉄に比べ、数倍、時には十倍近くもの引っ張り強度をもち、織られた布は防弾チョッキになり、適当な樹脂と複合させた素材は金属より軽く丈夫で、飛行機やスペースシャトルの機体材料にもなる。そんな優れた力学特性をもつ「スーパー繊維」が目覚ましい活躍を繰り返している。

アラミド繊維や超高強度ポリエチレン繊維をはじめとする、これら超高強度・超高弾性率の高性能ポリマー繊維は、どうやって生まれたのか。

本来、ポリマーの理論強度は金属材料に勝るとも劣らない。しかし、分子鎖が幾重にも折れ曲がり不規則に並ぶ構造や、結晶度の低さなどが原因となつて、従来は理論値のわずか数%という強度しか発揮できなかった。完全な結晶をつくることができれば、強度は理論値に限りなく近づく。

この理想結晶の形成に役かっているのがジャケットロールだ。

ジャケットロールは誘導発熱というまったく新しい加熱方式で、300℃を越える高温の領域でも、1℃と狂わない精密な熱加工を実現した熱ロール。繊維をムラなく均一に結晶化し、分子の配向性を大きく向上させる。

現在、高分子繊維には、その理想構造の実現によって、力学特性だけでなく、耐熱機能、電気的機能や化学的、生化学的機能においても飛躍的な向上が期待されている。ジャケットロールが、「スーパー繊維」の可能性を大きく開花させようとしているのだ。

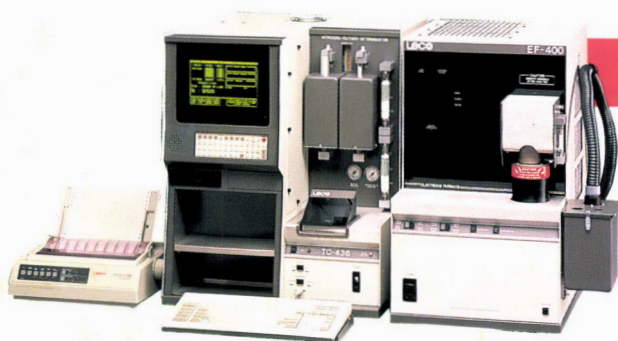
「スーパー繊維」時代の到来

本社・工場 〒607 京都市山科区西野離宮町40番地(山科郵便局私書箱6号)
マキノ工場 〒520-18 滋賀県高島郡マキノ町大字寺久保87
東京営業所 〒101 東京都千代田区神田須田町1丁目26(芝信神田ビル5F)
大阪営業所 〒533 大阪市東淀川区東中島1丁目18番31号(新星和新大阪ビル709号)
名古屋営業所 〒450 名古屋市中村区名駅3丁目3番2号(志摩ビル5F)

TEL.(075)581-2111代 FAX.(075)581-1596
TEL.(0740)27-1848代 FAX.(0740)27-1839
TEL.(03)3252-7251代 FAX.(03)3258-0347
TEL.(06)325-4737代 FAX.(06)325-4735
TEL.(052)581-3561代 FAX.(052)581-3564



金属・鉱石・無機物・セラミック中 C・S・O・N・H 分析装置各種



TC-436

酸素窒素同時分析装置

〔鉄鋼，非鉄金属，電子材料，炭素繊維等
各種セラミックス (Si_3N_4 , AlN , BN , SiC , TIC)
 SiO_2 , $\text{Ba}_2\text{YCu}_3\text{O}_{7-y}$ 等〕

感 度：0.1ppm 分析時間：標準40秒
分析範囲：(1g試料) (50mg試料)
酸素：0~0.1% 酸素：0~20%
窒素：0~0.5% 窒素：0~45%

電子天秤：プリンター内蔵
オプション：昇温抽出プログラム

姉妹機

TC-136 O-N分析 TN-414 N分析
RO-416 O分析 TN-114 N分析

CS-444

炭素硫黄同時分析装置

〔鉄鋼，非鉄金属，特殊合金，鉱石等〕

感 度：0.1ppm 分析時間：標準30秒
分析範囲：(1g試料) 炭素：0~6.0%
硫黄：0~0.35%

電子天秤，プリンター内蔵
オプション：オートクリーニング
オートローダー，ルツボ空焼器

姉妹機

CS-244 C・S分析 EC-12 C分析
IR-412 C・O分析 IR-432 S分析
WR-112 C分析 IR-232 S分析



RH-404

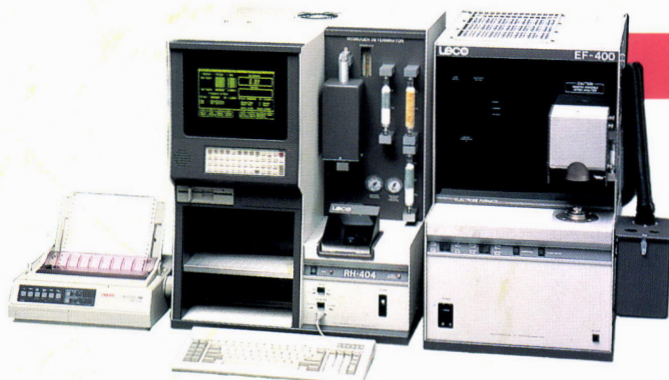
水素分析装置

〔鉄鋼，銅，チタン等〕

感 度：0.01ppm 分析時間：通常80秒
分析範囲：0.3~250ppm (試料1gの場合)

姉妹機

RH-402 水素分析
DH-103 水素分析



常設展示中 分析方法その他
御相談承ります。



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 ☎(03)3493-7281代 FAX(03)5496-7935
大 阪 支 店 〒560 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 北九州市戸畑区汐井町1-1(戸畑ステーションビル) ☎(093)884-0309 FAX(093)873-1190