

Vol.3 No.1 1998

(社)日本鉄鋼協会会報

Bulletin of

The Iron and Steel

Institute of Japan

ふえらむ



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

ホームページ <http://www.isij.or.jp>





エンジニアリング・ニーズ  
 のあるところ、  
 グローバルに対応します



## 住友金属工業株式会社

エンジニアリング事業本部 プラントエンジニアリング事業部  
 TEL.03-3355-8004

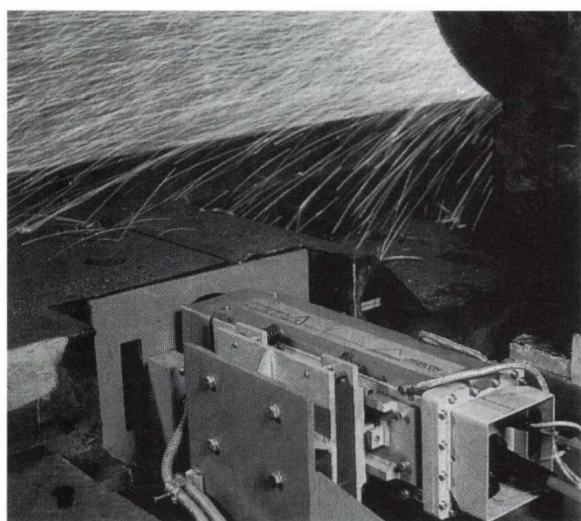


# ドイツ/メザコン社 高精度レーザー測定器



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

## ☆レーザー長さ計、速度計 LV503型



### 主仕様例

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

## ☆オンラインレーザー形状測定装置 Mesameter P型

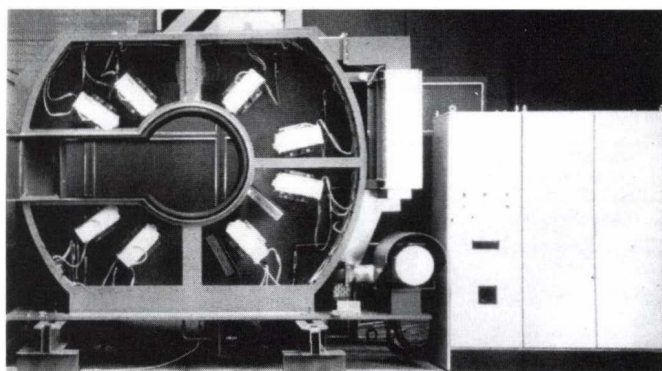
### 主仕様例 右図装置の場合

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

応用例：型鋼寸法測定

棒鋼寸法測定

スラブ寸法測定(オフライン)



MESAMETER P

(ドイツPreussag社納入のH鋼形状測定装置)

これからも世界の先進技術をご紹介します。

日本総代理店

株式会社 **マツボー** プラント2部

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

国内メンテサービス

株式会社 **タウ技研**

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



# 高精度、高速応答、高信頼性

人と社会を豊かにするチノの技術

## CHINO



### 新形放射温度計

#### IRC SERIES

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しい放射温度計です。

##### ■IRCの特長

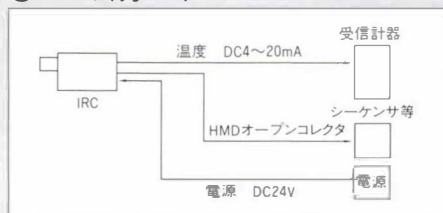
- 単色で10ms、2色で20msの高速応答。  
(高速タイプで0.5ms)
- 測定温度範囲の広い単色・ワイド形用意。
- 放射率や視野欠けの影響を受けにくい2色形用意。
- 可動部がないため長期信頼性に優れている。
- 放射率遠隔設定機能や、HMD(熱塊検出器)機能、アイソレート出力など豊富なオプション。
- コストパフォーマンスに優れた価格。

#### 用途に合わせて3タイプ

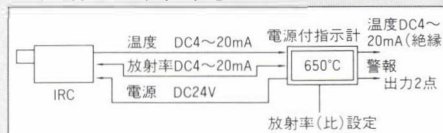
##### ●基本タイプ



##### ●HMD出力タイプ



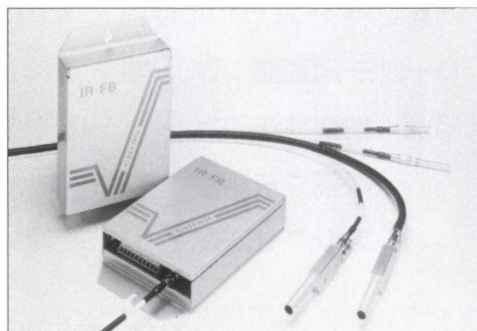
##### ●放射率遠隔設定タイプ



### ファイバ式放射温度計

#### IR-F SERIES

高精度、高速応答。耐熱形ファイバの採用で水冷却せずに150°Cの環境でも計測可能です。80~3000°Cの温度範囲を低温用、中高温用、2色形、ワイドレンジ形の4種類でカバー。誘導加熱や防爆機器が必要な雰囲気、レーザ溶接にも使用できます。



計測技術で明日を拓く

## 株式会社チノ

〒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   | 川崎 044(200)9300       | 広島 082(261)4231  |                     |
| 川崎 044(200)9300   | 水戸 0292(24)9151       | 福岡 092(481)1951  | 研修・広報部 03(3956)2449 |
| 厚木 0462(27)0551   |                       | 北九州 093(531)2081 |                     |

# 鑄鉄・鑄造の品質管理分析に

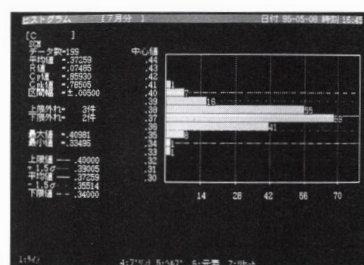
PDA測光法を標準装備した低価格・迅速・多元素同時分析装置

島津発光分析装置

## PDA-5500Ⅱシリーズ

新製品

PDA-5500Ⅱシリーズは、金属中の多元素を同時に、しかも迅速に精度良く分析できるPDA光電測光式発光分析装置です。光電測光式発光分析法は、JIS（日本工業規格）にも制定され、広い分野で公認の分析法として採用されています。品質管理分析には欠かせない有用な最新鋭機です。



JISで定められたヒストグラムと、工程能力指数（Cp, Cpk）が表示できます。MS-Excel®へのデータ変換もできます。

### ●分析精度の向上

独自の水平型発光スタンド、時間分解PDA測光法の採用により、微量域の分析感度が向上しています。

### ●長期安定性

温度変化の影響が少ない分光器を使用しているため安定した分析が行えます。

### ●迅速分析

秒単位で化学成分値の測定・規格の合否判定ができます。

### ●操作は簡単です。

### ●幅広い分析範囲

極微量から高含有率成分まで、分析範囲に応じて最適な分析条件を設定できます。

### ●試料欠陥による分析値への影響が除去されます。

### ●鋼中アルミニウムの形態別分析が可能です。

### ●機能的な設計で、設置場所を選びません。

※MS-Excelは米国マイクロソフト社の登録商標です。

**⊕ 島津製作所**

本社 京都市中京区西ノ京桑原町1

分析機器事業部 (075) 823-1195  
お問合せはもよりの営業所へ

●東京 3219-5730 ●大阪 373-6561 ●札幌 205-5500  
●仙台 221-6231 ●つくば 51-8511 ●大宮 646-0081  
●横浜 311-4154 ●静岡 272-5600 ●名古屋 565-7612  
●京都 811-8151 ●神戸 331-9665 ●岡山 221-2511  
●高松 34-3031 ●広島 248-4312 ●福岡 461-0332



## 中型自動切断機 ユニットム

Unitom



### (特 徴)

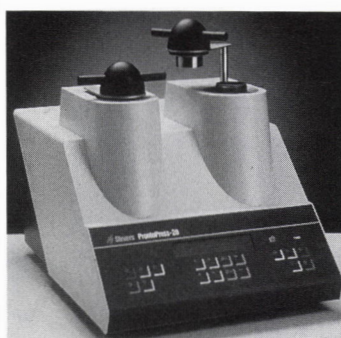
- マイクロプロセッサで制御される切断パラメータ。
- 予定されている定常な送り速度。
- マイクロプロセッサに支援された切断パラメータの拡張。
- 加圧力限界の調整による試料の保護。
- 切断ホイールが試料を通過し終えた時の自動停止。
- 近代的なデザイン。
- 耐蝕性のある切断室。
- 最高の安全性。

### ユニットム

最新のプロセス制御で非常に効果的な高機能と強力な切断力を備えた自動切断機。

## 自動二連式埋込プレス プロントプレス-20

ProntoPress-20



### (特 徴)

- 熱伝導効率を大幅に向上させた斬新なシリンドラ。
- 冷却水が節約できる3種類の冷却プログラム。
- 循環冷却装置が接続可能。
- 最大φ50mmまでの6種類のシリンドラ。
- 良好な埋込を支援する予熱機構。
- 再現性の高い埋込を可能にする圧力と加圧力の自動設定。
- 設定温度の自動制御。
- 最大200件の埋込データを保存できるデータベース。

### プロントプレス-20

2基のシリンドラを装備し、同期運転により高い処理能力を実現した埋込プレス。

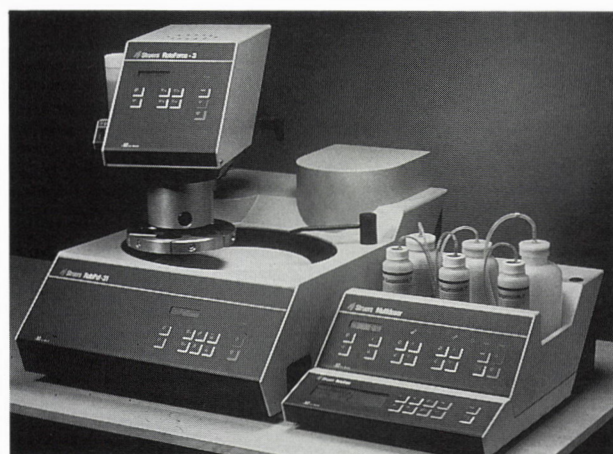
## 卓上型高性能自動研磨装置 ロトシステム300

ロトポール-31 ロトフォース-3 マルチドーザ ロトコム

### RotoSystem300

RotoPol-31 Multidoser

RotoForce-3 RotoCom



### ロトポール-31

最大φ300mmの円板が使用でき、大きな負荷が必要な研磨に耐える卓上型研磨/琢磨装置。

### ロトフォース-3

最大φ200mmの試料板の使用で、大量の試料及び大型試料の研磨が可能な自動試料回転機。

### マルチドーザ

ダイヤモンド懸濁液3種、潤滑剤2種及び酸化物琢磨剤1種用の自動精密供給装置。

### ロトコム

100件の研磨条件が保存可能で、システム上の研磨工程を管理する制御装置。

### (特 徴)

- 各装置が独立で使用可能な装置の組み合わせで必要に応じて増設できるシステム。
- システムが完備されれば各試料独自の研磨条件を時間、圧力、回転速度及び研磨剤供給量の各項目で作業段階毎に制御。
- 使用される消耗品を画面表示。
- 附属のPCソフトウェアを使用しパソコンと接続することで保存できる研磨条件数が増大し、条件の入力もパソコンのキーボードで可能。(接続できるパソコンには制限があります。)
- パソコンからFDによるデータの移動が可能。

掲載された各装置は弊社西川口の実験室でご覧になれます。



丸本ストルアス株式会社

本 社 〒104 東京都中央区築地二丁目12番10号  
TEL(03)3546-8051 FAX(03)3546-7980  
大阪営業所 〒550 大阪市西区北堀江一丁目6番5号  
TEL(06) 532-2661 FAX(06) 532-1977  
名古屋営業所 〒464 名古屋市千種区内山三丁目17番4号  
TEL(052)732-1862 FAX(052)732-2392



コマツグループの試験計測技術を生かした

# 摩擦摩耗関連試験機

負荷条件が厳しい建設機械要素の研究開発のため、自分達で設計製作し、数多くの試験を行ってきた試験機であるため、その信頼性は高く評価されております。

## 主な試験機

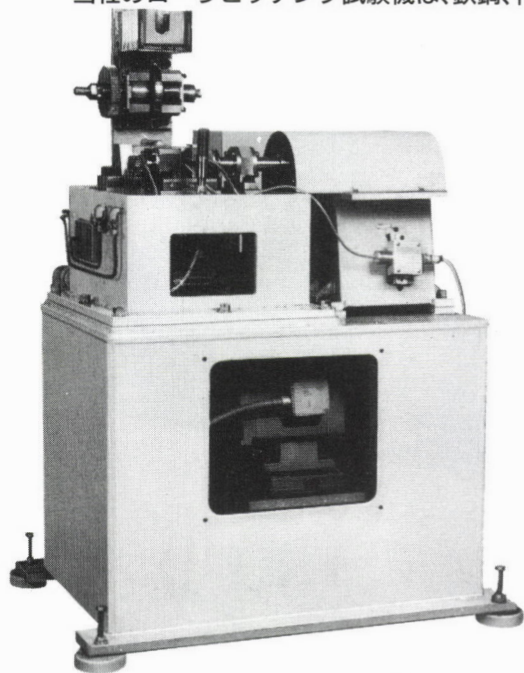
| 試験項目<br>試験機名         | 材 料 試 験 |       |                  |     |      | 潤滑油試験 |      |
|----------------------|---------|-------|------------------|-----|------|-------|------|
|                      | スポーリング  | ピッチング | スコ어링<br>スカuffing | 摩 耗 | 摩擦特性 | 高温清浄性 | 摩擦特性 |
| ローラーピッチング試験機         | ○       | ○     | ○                | ○   | ○    |       |      |
| 動力循環式歯車試験機           | ○       | ○     | ○                | ○   | ○    |       |      |
| 摩擦摩耗試験機(回転式<br>往復動式) |         |       | ○                | ○   | ○    |       |      |
| クラッチブレーキテスト          |         |       |                  | ○   | ○    |       |      |
| 土砂摩耗試験機              |         |       |                  | ○   |      |       |      |
| ホットチューブテスト           |         |       |                  |     |      | ○     |      |
| マイクロクラッチテスト          |         |       |                  |     |      |       | ○    |

## ローラーピッチング試験機

歯車、軸受、カムタペット、ローラ等高面圧を受けながら転がり、滑る部品の材料、熱処理、表面処理等の研究開発になくてはならない試験機です。

ローラー状の2個のテストピースを、高面圧下で連続的に回転させたり、滑らせたりして、ピッチングやスコ어링などを発生させ、寿命を評価します。

当社のローラーピッチング試験機は、鉄鋼、特殊鋼、自動車等幅広い業界で、使用して頂いております。



### ■特 長

#### ○高い信頼性

簡単な機構を採用しているため、試験条件のバラツキが小さく、信頼性の高いデータが得られます。

#### ○豊富な試験ノウハウを保有

研究開発および受託試験のために長年にわたり使いこなしできているので豊富な試験ノウハウと試験データを保有しております。

#### ○広い試験範囲(オプションを含みます。)

面 圧：最大400kg・f/mm<sup>2</sup>

回転数：最大2,000rpm

滑り率：最大90%

油 温：最大120℃

#### ○無人連続運転が可能

ピッチングが発生するとセンサーがこれを検出し、試験機は自動停止しますので、安心して無人連続運転が出来ます。

### ■その他の主な営業品目

○各種試験機・計測器・テストベンチの設計・製作。

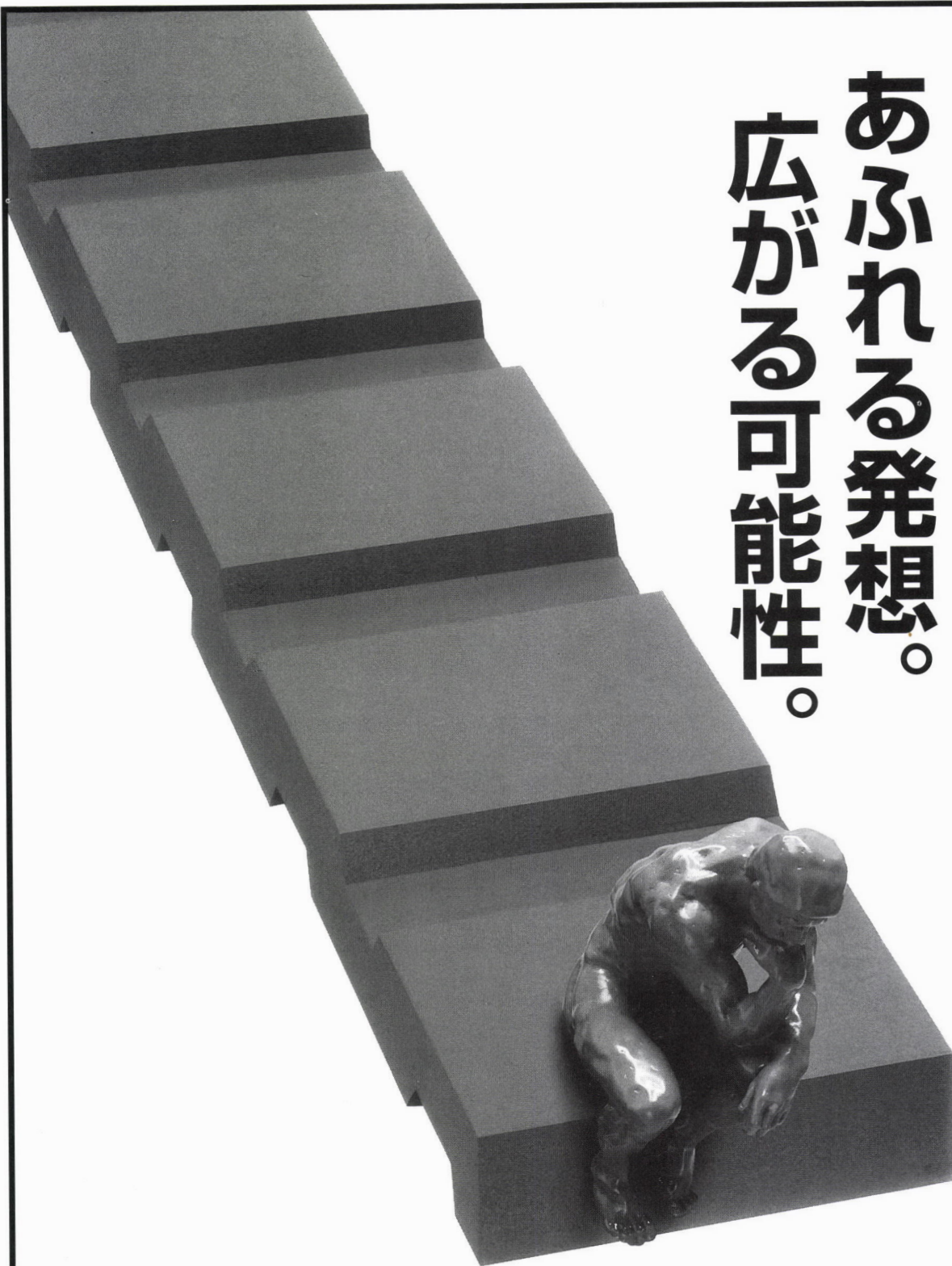
○レーザー応用計測・検査器の設計・製作。

**KOMATSU** コマツエンジニアリング株式会社

本 社 〒210 神奈川県川崎市川崎区中瀬3-20-1 TEL.(044)299-8773 FAX.(044)288-8777  
システム商品事業部 〒254 神奈川県平塚市四之宮1144-1 TEL.(0463)53-4417 FAX.(0463)53-4427



あふれる発想。  
広がる可能性。



**王子製鉄株式会社**

本社：03-5201-7722 群馬工場：0276-56-2111

# ふえらむ

Vol.3 (1998) No.1

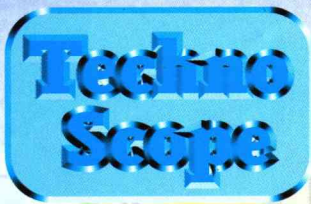
## C O N T E N T S

### 目 次

|              |                                |    |
|--------------|--------------------------------|----|
| Techno Scope | 大深度地下開発の可能性を探る                 | 2  |
| 話題のプラダクト     | 暗号技術                           | 10 |
| 鉄の点景         | 美しい日本の鉄—鐔                      | 14 |
| 展 望          | 都市景観の保存                        |    |
|              | 越野武                            | 17 |
|              | 一貫製鉄プロセスにおける二酸化炭素排出理論値に関する調査報告 |    |
|              | 西野誠                            | 23 |
|              | 人材問題に対するリストラ過程からの教訓            |    |
|              | —新日鐵のリストラに立ち向かった研究開発人材の育成強化策—  |    |
|              | 正賀晃                            | 27 |
| 入門講座         | システム技術編—1                      |    |
|              | マルチメディア時代の生産システムシミュレーション       |    |
|              | 藤本英雄                           | 33 |
| 鉄の歴史         | 戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編     |    |
|              | 線材圧延                           |    |
|              | —戦後の復興期から発展期におけるいくつかの回想—       |    |
|              | 三宮章博                           | 39 |
| 解 説          | 鉄の橋から鋼の橋へ                      |    |
|              | 成瀬輝男                           | 48 |
| 会員へのお知らせ     |                                | 54 |

ホームページ <http://www.isij.or.jp>





# 大深度地下開発の 可能性を探る

——ジオフロントを拓く空間構築技術——

うちは、ほら、ほら、  
そとは、すぶ、すぶ。

すさのお おおくにぬし  
須佐之男が放った野火にまかれた大国主の前に

一匹の鼠が現れているには、  
外からは狭いが内側が広い空洞が土の中にあるという。

鼠に導かれ、空洞に避難した大国主は、  
須佐之男の試練を見事切り抜け、  
その娘である美しい須勢理姫すせりを手にいれた——  
というストーリーが、古事記にある。

大深度地下空間＝ジオフロントの開発のテクノロジーとして  
国家プロジェクトによって要素技術の開発が行われたジオドームは、  
ちょうど外側が「すぶ」で内側が「ほら」になった、  
この神話中に出てくる鼠の穴を想起させる巨大な地下空間である。

技術が生み出すこの新たなフロンティアの活用によって、  
現代都市がかかえる閉塞状況を乗り越えることが可能になるかもしれないという。  
ジオドームの実態と、ジオフロント開発の可能性を探ってみる。

写真：ネットワーク化されたジオドームのイメージ。



# 大深度利用へ向けての法的整備も進行中 要素技術がそろいつつあるジオフロント開発

公共の目的に限って、民有地を含めた大深度地下を使用することができるようになろうという案が浮上しようとしている。もしこの法案が成立すれば、大深度地下開発へ向けての自由度が大幅に向上することが期待される。また開発技術の面では、昨年、工業技術院の産業科学技術研究開発制度による「大深度地下空間開発技術」が終了し、要素技術がそろいつつある。また鉄道の大深度化のためのあらゆる角度からのノウハウも研究されており、ジオフロントへむけての第一歩がよいよ間近となりつつある。

## 都市再生への手段として

乗車率250%の通勤電車。渋滞で頻繁に麻痺状態に陥る高速道路。びっしりと埋め尽くされ、土地所有権が交錯して計画的な都市整備が難しい大都市圏空間。とくに首都圏では、こうした飽和状態に、思い切った対策がとれない状況が続いている。

その一方で一部では設備の老朽化は進み、どうやって機能をストップさせることなく都市機能を刷新していくかが重く困難な課題となっている。

せめて新聞が広げられる通勤電車や、一般道路よりは早く目的地へ行ける高速道路を実現することはできないのだろうか。だがそのためには、さらに新たな設備面での拡充が必要となり、そのために必要な時間と用地取得をはじめとするさまざまな調整は容易なことではない。

ジオフロント、すなわち大深度地下空間の開発・利用はこうした前にも横にも行けない現状の都市的飽和を打開するノウハウのひとつとして、きわめて魅力的なアイデアである。首都圏では、どんな種類の開発にせよとびぬけて高い地価の問題に突き当たる。東京の土地の値段を聞いた後に、道路を1本通すためにかかる土地買収の費用を考えると、それが並たいていではなく「金のかかる」事業であることはすぐに納得がいくはずである。費用がかかるだけではない。使用可能な土地そのものが、まともには空いていない。用地を取得しようとすれば、長い年月と多数の手続きが必要になるわけだ。

土地買収にかかるはずの費用と時間を考えると、それを工事費にかけること代替できるならば、そのほうがよりスムーズに事業が具体化できるケースは当然考えられるだろう。

たとえば首都高速の渋滞を解決するには、高速道路の許容量を増やす必要がある。バイパスを建設すればよいわけだが、そのスペースはないから地下につくろうという発想が成立するわけだ。地下高速に一時的に交通をシフトさせておいて、その間に地上の老朽化した高速道路を刷新し、長寿命コンクリ

ートなどで新たな地上の高速を再建する——といった旧設備再建にも大深度開発技術はまたないチャンスを与えてくれるのである。新地上高速は、より現代的な視点で都市景観や環境調和を十分に配慮したものにしていくのもいいだろう。そして現行の機能を停止させずにリニューアルを行ったらその後は、地上と地下に機能分担させ両方を併用していけばよい。

だが従来どおりに浅部の地下で開削工事を行わねばならないとすれば、土地所有者との調整が必要になり、地上での建設に準じた面倒が生じることになる。ならばいっそ地上にはまったく影響をおよぼさない方法で、しかも通常の地下利用（建築などの地下室や基礎など）には影響を与えない大深度を使えば理想的なわけである。

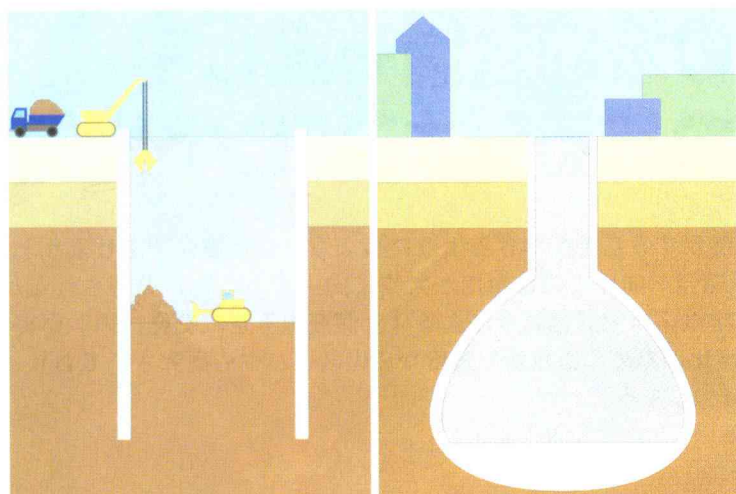
これはいわば都市インフラを時代に合ったものに再生していくための「となりの部屋」として、地下空間を用いようという発想だ。同様に工場や倉庫などといった設備も地下化しながら地上を再生していくことが可能だろう。これらの設備は必ずしも再び地上につくり直す必要はない。開いた土地は、緑化したり住宅にあてたりしてもよいのである。

こうしたジオフロントの発想は、アイデアだけをならべていけば、よいことばかりのようにも見えるのだが、現実には当然ながら技術的制約とコスト問題とのせめぎあいの後にはじめて成立する技術であり、コスト面で十分に見合うノウハウが希求されているのである。

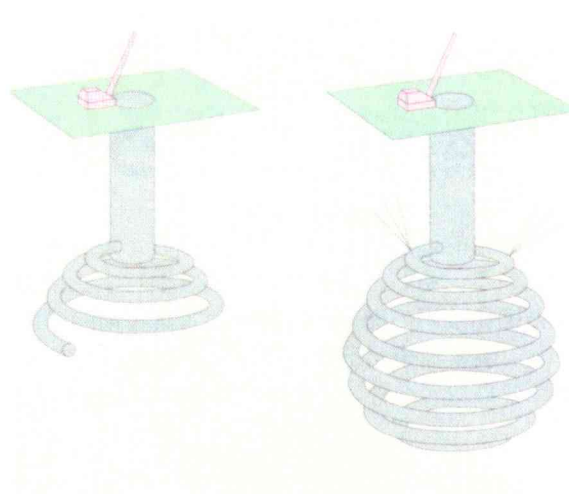
## バブル時代のジオフロントブームをこえて

ジオフロントの発想は、そもそも1980年代後半以降のバブルの時期、極端なオフィス不足などの打開策として登場してきた。オフィスの賃貸料が高騰し、その価格帯を前提にすれば、たとえ大深度まで掘削してコストをかけても、十分に見合うだろうというそろばん勘定があったようだ。この時期ゼネコン各社は競って大深度地下開発の構想を打ち出し、鉄鋼メーカー、関連省庁などもその輪に加わった。ジオフロント・ブームである。しかしバブルがあっけなく弾けるとオフィス需要は急速に





従来の開削工法では、大量の土砂が排出される。また埋め戻しにも大変な労力が必要になる。ジオドームは開削工法によらない新たな地下空間構築技術として開発された。



スパイラル天盤の構築。

沈静化し、コストのかかる大深度空間の魅力は急速に色褪せてしまったかにみえた。

だが、先に述べたような都市の飽和状態の中で、より実効性のあるインフラ整備や、都市機能の再生という課題に取り組もうとすると、大深度地下開発がやはりきわめて有力な手段のひとつであることは否定できないだろう。ジオフロントのビジョンは、バブルが弾けても今なお生きているといっている。また阪神淡路大震災で地下施設の被害が少なかったことも改めて地下利用の有効性に目を向けさせている。

その証拠にというのもおかしいかもしれないが、昨今、大深度利用への法的整備へむけての動きが活発化してきている。より具体的には1995年に臨時大深度地下利用調査会が首相の諮問機関として誕生しており、来年夏にはその最終答申が発表される予定になっている。この調査会での検討結果をもとに、大深度地下の利用に関する法律が新たに制定されるだろうと予測することができる。

焦点になっているのは、土地所有者が常識的には使用可能性がない大深度地下では、公共利用に限りて使用できるようにしよう——という点である。公共のために個人の土地所有権を制限することにもつながる内容だけに慎重な検討が重ねられている。

これまでは地下鉄などでも、建設にあたっては地上の土地所有者との調整が難しく、事実上道路下にしか線路を敷設できないのが実情だった。地図上で道路と地下鉄の線路が重なっているのには、そうした事情がある。だがもし大深度利用が上記のような方向で法制化されれば、銀座の真ん中でも、住宅地の下でも、鉄道や道路を最短距離で通過させることが可能になるのである。そうなれば、土地買収が難しい都市部中央では大深度地下に道路や鉄道を通し、郊外に行ってから地上を走らせるといった方法が採用できるようになるだろう。公共

利用に限ってのことではあるが、10年がかりといわれる区画整理や土地買収の問題に悩まされずに、インフラ整備ができるようになるということである。したがって都心の一等地で土地買収を行うよりも低いコストで大深度空間が確保できるようになれば、実現の可能性は高いということになる。

### 国家プロジェクトで開発された空間構築技術

大深度利用が法的側面からより具体的に検討されつつある一方で、利用技術の面はどうなっているのだろうか。大深度地下の特徴は、浅部に比べてより高い土圧、水圧がかかるということである。そうした特殊な環境下で深く掘削していくことを考えると安全にしかもコストをできるだけ抑えて工事を行わねばならない。通常の地下開発では開削工法によって、利用する面積全域にわたって穴を掘る方法をとっている。だが50m以上もの深度にわたって土を掘っていったのでは、掘削土量や埋め戻し土量は大変なものになるし、高い土圧下で開削した空間を保持するにはかなり堅固な構造が必要になる。必然的にコストも高くつくわけだ。

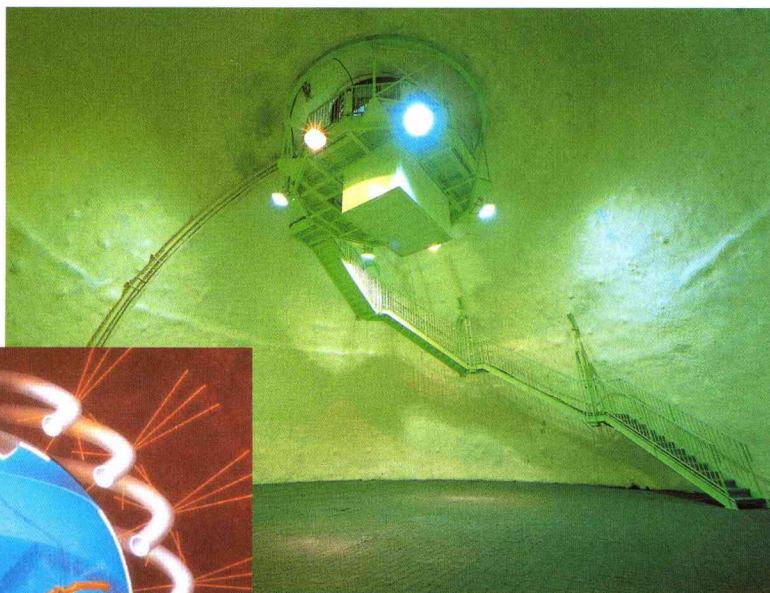
こうした大深度の問題点をクリアーするための技術革新をめざして、通産省工業技術院の産業科学技術研究開発制度（かつての大型プロジェクトを引き継ぐ制度）では、平成元年から8年度までの8年をかけて、施工技術をはじめとする大深度地下開発に必要なさまざまな要素技術開発が行われた。

NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）を通じて（財）エンジニアリング振興協会への委託という形で進められたこのプロジェクトでは、大深度地下空間開発のための4本柱として

- ①高精度地下構造評価技術
- ②大深度地下空間構築技術
- ③大深度地下環境制御・防災技術



ジオドーム工法のイメージ。



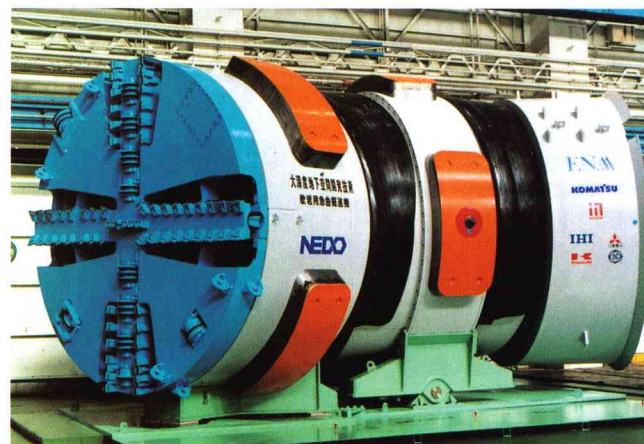
スパイラル天盤の効果を実証するために在来工法で構築されたミニドーム内部(直径20m、高さ12.5m、深度50m)。ジオドームの実物は、今後の実用プラン出現を待たねばならない。

#### ④ トータルシステム・利用技術

といった各項目ごとに研究開発が進められたが、その核芯ともいべきものは、やはり②の大深度地下空間構築技術だろう。プロジェクトにあたっては、いくつかの空間構築技術が検討されたが、最終的に選定されたのは、スパイラル天盤というユニークな構造をもつドーム状の大深度地下空間——ジオドームだった。スパイラル天盤とは、螺旋状に掘ったトンネルを利用した構造を用いて、コイルのようにして掘削前の利用空間をとり囲み補強していくもので、高い土圧を螺旋構造物がその軸方向へと逃がし、空間に直にかからないようにした工法である。このジオドーム工法では、開削口は利用空間の径よりもずっと小さくてすむ。掘削される空間はちょうどプラスコのような形状となる。

螺旋構造は本来ならドーム部分の空間に直にかかる土圧を下方に逃がす働きをするが、このコイル状の構造物からは山岳工法などで用いられるようなロックボルトがヒゲのように延び、それによって土をしっかりとつかむように設計されている。外見上のイメージは植物の球根にとても似ている。地中深くにある丸く大きなかたまりから、細い茎が伸びていて、ロックボルトはあたかもあらゆる方向に張り巡らされた根毛のようだ。

ジオドーム工法では、この細い茎にあたる縦坑をまず開削し、そこからスパイラル天盤のためのトンネル掘進機を発進させる。この目的のために新たに軟岩用急曲掘進機と呼ばれるトンネル



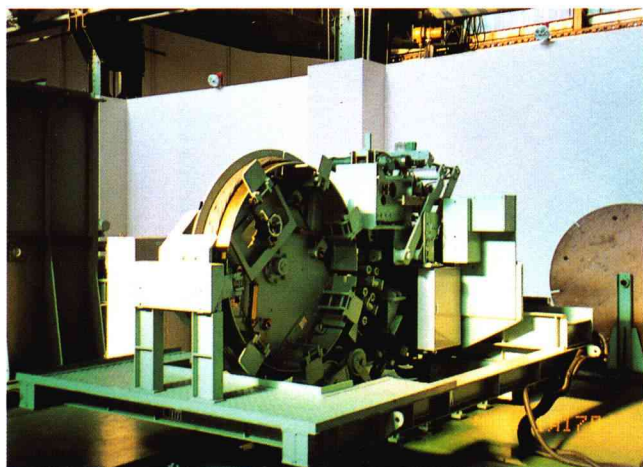
軟岩用急曲掘進機。螺旋を掘り進むそのイメージは巨大な鋼鉄のミミズ。



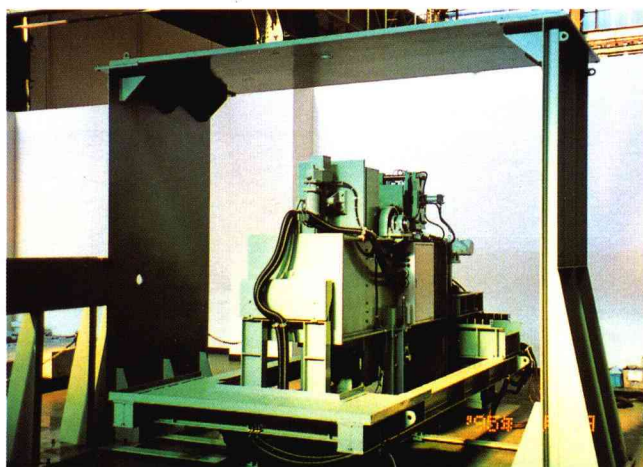
スパイラル・トンネルの内部を固めるスチール・セグメント。ジオドームを支える重要な鉄の技術である。

掘削機が開発された。外見的にはシールド工法などで用いられるトンネル掘進機と岩盤を掘り進むトンネルボーリング機を合体した構造で、エビのような外殻をもちシャクトリ虫かミミズのように屈曲して進めるようにしたもので、3次元急曲トンネ





FRPロックボルト成形機。ロール部分にロックボルトが巻き取られている。

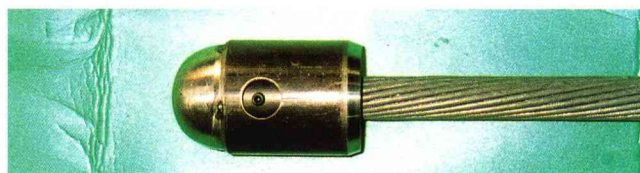


FRPロックボルト固定装置。この装置によりスチール・セグメントにロックボルトを固定していく。

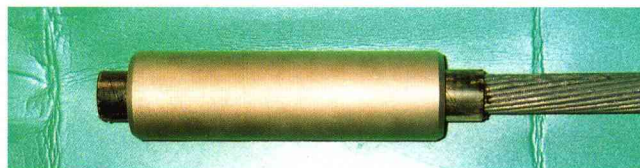
ルを効率的に掘り進むことができるようにパラレルリンクと呼ばれるロボット機構を備え、壁面に反力を得ながら地中深く3次元の計画線に沿って進んでいけるようなシステムになっている。この巨大な鋼鉄のミズによって直径4mの螺旋トンネルを穿ち、同時にスチールセグメントによって、内壁を補強していく。

この直径4mのトンネルから最長で20mというロックボルトを土中に打ち込んでいかねばならない。ロックボルトの素材にはフレキシブルで耐候性に優れ高張力特性を持つFRP（ガラス繊維強化プラスチック）製の現場成形型のものが考案された。ロールに巻き付けたFRP製ロープを打設位置で加工しながら、水圧を使って開けた孔に挿入していき、所定位置に固定するという方法である。

こうして大深度地下の土圧をしっかりと支えるスパイラル天盤構造を先に構築した後、その内部をくりぬいていくわけだが、ジオドームでは、ここでも既存の工法とは異なる発想が採用されている。大深度地下の掘削では、高水圧の地下水流出が予想されるが、ジオドーム工法ではこの地下水をあえて汲み出す



FRPロックボルトの先端金具部分。



スチールセグメント側固定金具部分。



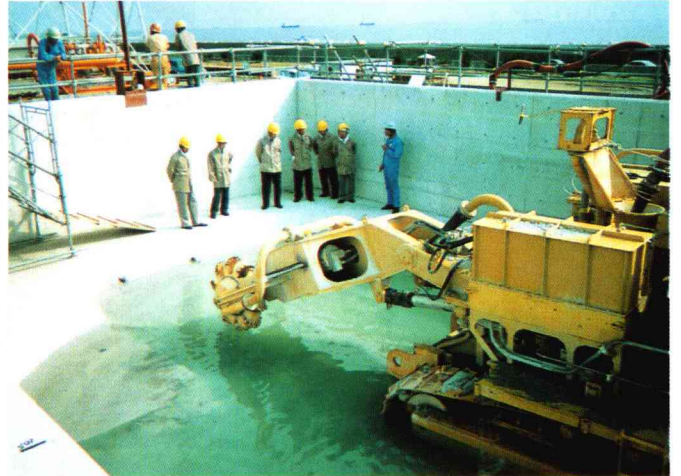
水圧を利用したロックボルト用掘削機（上）とその噴出口（右）。

ことをせず、その水圧を利用しながら地下空間を掘削・固定していく。つまり泥水で満たされたまま所定の形状に掘削し、次に壁面をライニング材で固めていくのである。地下水の水圧を利用することで、落盤を防ぎ安定した作業ができるというわけだ。

プロジェクトでは、水没下で作業を行うために、遠隔操作による水没自動掘削機と水没自動ライニング機とが開発された。それぞれに鋼鉄製の土龍と首長龍とでもいうべきいかつい外見をしている。ともに真っ暗な泥水の中で作業を行うための無人機である。操作は地上からコンピュータ・グラフィックの画面を見ながら行う。

作業手順としては、まずコンピュータ制御された掘削機がドームの円周状に壁面掘削を行うと、それと入れ替えてライニング機が中央に下ろされ、先端に移動型棒が取り付けられたアームを泥の壁面に延ばす。新開発の水中コンクリートをこの型





水没自動掘削機（左）と泥水中での模擬岩掘削試験（右）。



水没自動ライニング機（左）と泥水中での壁面固定試験（右）。

枠に流して壁面を押さえ、固まったらアームを回転させるという繰り返して、一周を固定するのである。こうして水中で少しずつ円周状に掘削と固定を繰り返してゆき、ドーム状の内壁を築いていく。排土はポンプを使って地上まで運ぶ。最後に泥水を汲み上げると、直径50mにもおよぶ大空間が出現するというわけだ。

要素技術として開発されたこれらの機械は、それぞれに模擬環境での実証実験が行われ性能が確認された。軟岩用急曲掘進機は実際の軟岩地盤に投入した実験が行われ、目標とする最小曲率半径7mが自動運転で実証された。FRPロックボルト関連の削孔機、成形機、固定装置、定着剤供給システムなどは模擬トンネル内で実験が行われた。また水没自動掘削機は泥水を満たした大型水槽内での模擬岩掘削によって、自動ライニング機も同様な仮地山での泥壁面の固定試験によって、その性能が確認された。

またスパイラル天盤そのものの有効性を実証する意味では、実際のジオドームよりは小さな、直径20m高さ12.5mという空間（ミニドーム）を既存の工法によって地下82.5mという大深



ライニング機の移動型枠部分。

度に構築し、計測解析によって、たしかに圧力が螺旋の軸方向に、変換されていることが分かり、スパイラル天盤の効果が確認された。

ジオドームの構築技術は、先にあげたプロジェクトの4本柱のうちの大深度地下空間構築技術に当たるが、そのほかのパートでも同様に研究開発が行われ成果が出ている。①の高精度地下構造評価技術では、各種トモグラフィ技術を用いて岩盤内の割れ目や地下水の有無など、地下の状態を1m角単位



で3次元的に推定することが可能なシステムが開発されている。

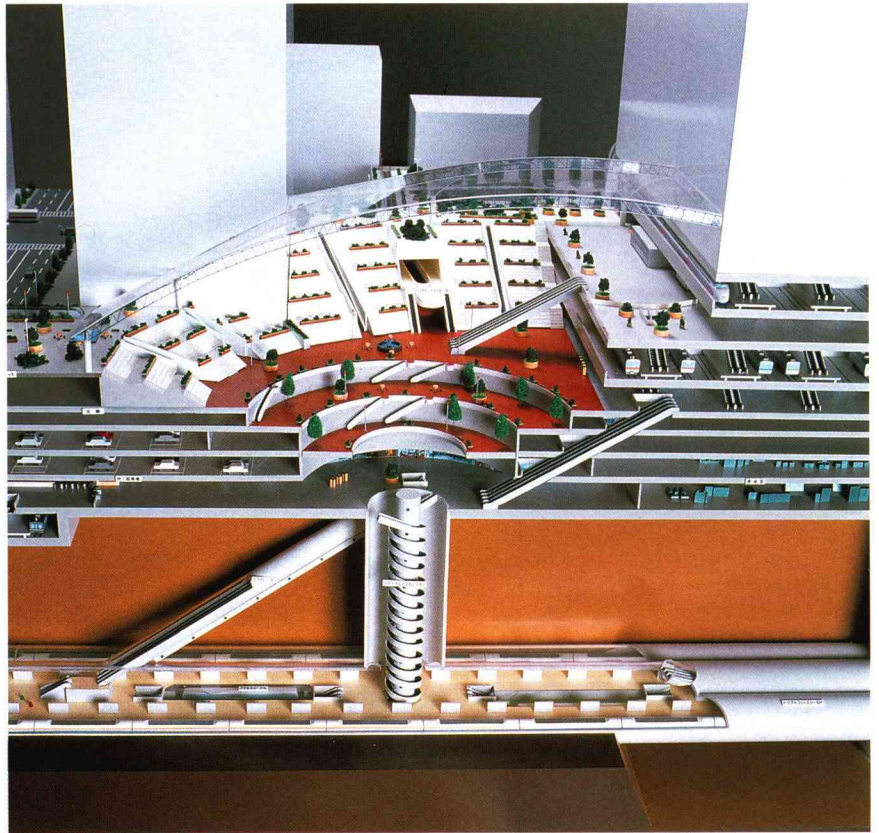
③の環境制御・防災技術では、反射鏡や光ファイバーを用いた採光システムをはじめ、火災などを早期に発見できる高感度なセンサー（異種センサーの組み合わせ）や、漏洩式光ファイバーによる避難誘導システム、地下水対策など、あらゆる面から予想される事態への対策と技術が研究された。

こうして開発された大深度空間としてのジオドームを、まずはどんな用途に適用していくかということが④のトータルシステム・利用技術の開発では検討が行われた。利用可能性としては、地下防災シェルターやアミューズメント施設などさまざまな用途が提案されたが、まず第一に可能性が高いのは、地下の断熱性や保温性を利用した貯蔵設備ではないかと考えられているようだ。90年代に入ってから石油備蓄基地が地下に建設されるようになり、今後はさまざまな貯蔵設備として、もジオドームは有望な地下空間であると考えられる。

## 地下での人間心理研究も今後の課題

大深度地下の利用にあたっては、人の心理面からも解決すべき問題があるという。たとえば大深度地下空間は、耐震性の面からは地上よりも安全性が高く、防災拠点としても検討されているほどだが、人の心理としては深い土の底にいるという意識は不安や圧迫感として感じられがちである。そうした場所で災害に遭った場合の不安や動揺にどう対処するかということが問題になる。外部光の導入や映像の使用など、解決方法は想定されているものの、医学や心理学など幅広い分野からの研究が将来的には必要とされてくるかもしれないという。「とりかかりは、いきなり万人が利用する施設に適用するのではなく、特定の職員や施設関係者が利用する設備として使ってみて、その経験をもとにより広く利用範囲を広げていけばよいのではないかと考えています」（エンジニアリング振興協会・地下開発利用研究センター研究主幹 古見喜八郎氏）。

ジオドームのような大深度空間は、かならずしも万人が直接利用する施設としなくても、公共に益することは可能である。たとえば清掃工場などの施設を地下化することを考えてみよう。この場合、地下の清掃工場に降りていくのは職業上の訓練を受けた職員であり、一般の人々は深大深度地下空間を直接に利用することはない。また清掃工場を大深度地下に建設す



鉄道総合技術研究所が描く大深度地下駅のイメージ（模型）。

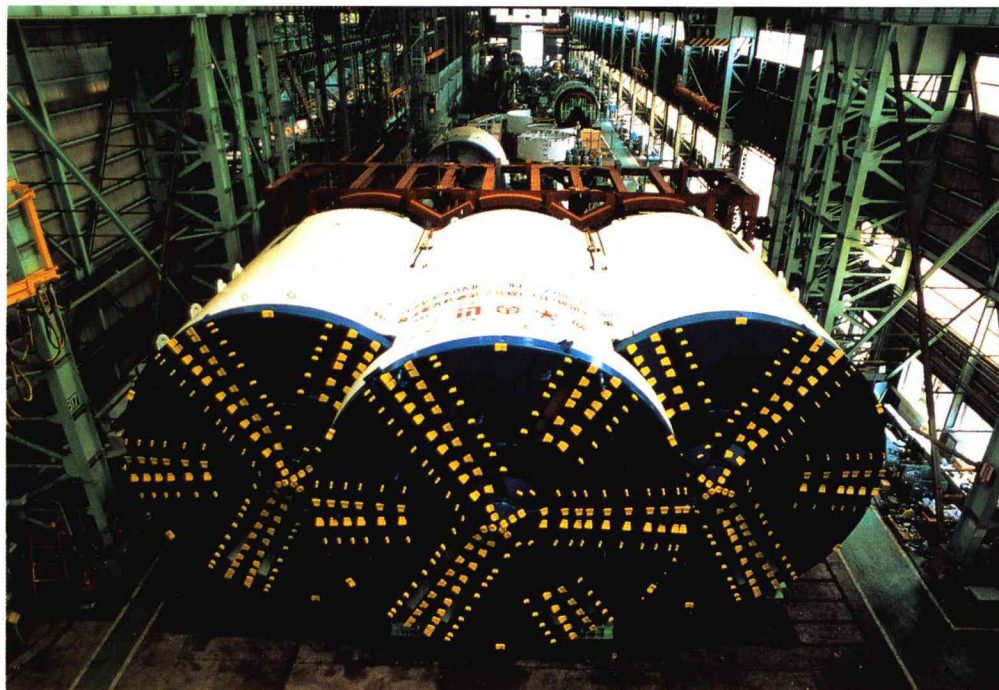
る場合、当然ながらコストはハネ上がることになるが、地上を公園とすれば、公園用地取得費用を大深度地下開発費用に転用することによりコストを吸収してしまうこともできる。予算のマジックといえなくもないが、実現するためには、行政の横の連絡が必要になってくる。横の連携が難しい場合もあらかじめ想像されるわけだが、今後に期待したい。

大深度地下空間は、ジオドームのような単独のものから、将来的にはトンネルなどによってネットワーク化されていくことも考えられるが、その場合の残土量はなみたいていではないと考えられる。掘削で出た土のもってゆき場を確保するには、埋め立て地造成などの開発プロジェクトを並行して組み立てていく必要がある。そうしたトータルな視点で計画を立てる意味では、専門の担当省庁が必要だという発想にも頷けるものがある。

## 進展する大深度交通網実現のためのノウハウ研究

大深度空間をネットワークしていくことを考えた場合、そこに必然的に登場してくるのは大深度道路、大深度鉄道である。このうち鉄道については、現実の地下鉄工事の中にも40m以深というものが登場してきており、シールド工法の進歩によって、かなり可能性が出てきているようだ。今年6月に通達された運輸省の「鉄道構造物等設計標準」でも、これまで浅い地盤を想定したこれまでの設計法に代えてより深い地盤までカバーできる新設計法が採用されるなど、地下での鉄道設計をよ





大阪市営地下鉄7号の駅舎工事に使われた3連泥水式MFシールド。地下30mという深度でプラットフォームを挟んだ両車線を一気に掘削してしまう（鹿島建設(株)）。

り重視する方向に向かっている傾向もある。

ジオドームのような大深度地下空間をひとつの出発点として、シールド工法などを適用していけば、文頭に述べたような大深度鉄道、あるいは大深度高速道路も技術的には可能になってゆくだろう。そうなれば万人が直接大深度空間を往来することになるわけだ。大深度トンネルは、すでに関門海峡（地下100m）などでも実現しており、50m以深でのトンネル工事は、けっして夢物語ではない。

「大深度での鉄道用シールド・トンネル建設を想定した場合、まず開発しなくてはならないのは、新たなセグメントの技術ではないかと思います。高い水圧と大きな施工時荷重に耐えるセグメントを用意しなくてはならないわけですが、今までの設計方法ではコスト高になってしまいます。深いところの特殊な条件に合わせて設計したローコストなセグメントができてくると、大深度鉄道の可能性はさらに現実的になってくると思います」（鉄道総合技術研究所・構造物技術開発事業部・小西真治氏）。長距離にわたって敷設しなくてはならない鉄道や道路ではセグメントのような要素パーツをいかにローコストで得ることができるかが勝負の分かれ目になってくるということだろうか。たしかに乗車料や通行料が高くなりすぎてしまえば、現実的とはいえない。

大深度地下鉄道の場合、ノウハウ上の大きな焦点となるのが地上からのアクセス方法である。地下50mという距離を不便さを感じさせずにつなぐ工夫が検討されているが、具体的にどのような設備になるのかは絞り切れていないようだ。連続的に人を運ぶためにはエスカレーターが妥当ではあるが、螺旋にするのか真っ直ぐ長いものにするのかなど、さまざまに検討の

余地があるようだ。

大深度の場合、コスト抑制策として駅数を減らすことが考えられるが、その場合ひとつの地下ホームに対し、エスカレーターを2地点の地上口につなぎ、エスカレーター出口をひとつの駅に見立ててひと駅で2駅分の機能を担わせようという案もあるようだ。つまりエスカレーターに中継ぎ交通機関としての役割を担わせてしまおうという発想である。

1軸上に複数のゴンドラが往来できるリニアエレベーターのような中継ぎ交通を用いて、ある程度分散された地上駅から大深度駅まで人を運ぶという方法も実証実験によって、技術的には可能であることが確認されている。

このように大深度地下空間や大深度交通網などの開発技術は、組み替えをするにもあまりに過密になりすぎてしまった都市東京やその他の都市部の再生に、突破口を開くキーテクノロジーになりうる可能性を秘めている。

長引く景気の落ち込みの中で、行革を遅延させても公共事業などによる景気のココ入れが不可欠との論が急浮上している。だが今、求められているのは、たんに有効需要を生み出すためだけの公共投資ではなく、新しい理想に立った、真に役に立つ人間本位の社会資本の創出であり、その未来のための現在の投資によって経済を刺激していくということではないだろうか。大深度地下開発技術のようなひとつの技術的ブレイクスルーがそうした新たな将来のビジョンと関連しあっていくことこそが、こうした時代の閉塞に風穴を開けるきっかけをつくりうるのではないだろうか。そうであることをぜひ期待したい。

取材協力・写真提供：(財)エンジニアリング振興協会、  
(財)鉄道総合技術研究所、鹿島建設(株)



話題の  
**PRODUCT**

プロダクト

**暗号技術**



### Establishment of NSA

NSA was established by Presidential directive in 1952 as the Department of Defense (DoD). In this directive, President of Defense as Executive Agent for the signals intelligence activities of the Government. The Agency was charged with systems security for national security systems, in a 19 operations security training mission in a 1988 Presidential letter etc.)

### NSA/CSS

In 1972, the Central Security Service (CSS) was established in order to provide a more unified cryptologic effort. CSS, NSA underwent a major internal reorganization. As Chief, CSS, the Director of NSA exercises control over military services.

EDI推進協議会



Electronic Data Interchange Council

...で実現するネットワーク・ビジネス社会

...者、ビジネスマンのためのEDI読本」刊行

会のご案内

議会について



# ビジネスの世界で 注目を集め始めた暗号技術 安全保障上の壁を乗り越えられるか

アメリカの安全保障・暗号政策を統括するNSA（National Security Agency：国家安全保障局）のホームページ。冷戦時代にはその存在すら秘密のベールに包まれていたが、現在では暗号博物館を設置し一般公開している（写真左）。日本では通商産業省が音頭をとり、ECに積極的に取り組んでいる。一般消費者を対象としたECOMに100億円、企業間取引を扱うEDIに200億円以上が投入されているという（写真右）。

ゴア米副大統領の情報スーパーハイウェイ計画に触発されインターネットが爆発的普及したことで、暗号技術の商用利用と暗号ビジネスが、がぜん注目を集める結果となった。各国でネットワーク社会に対応したECの実験が始まっているが、実用化段階でどの方式がデファクトスタンダードの地位を獲得しているのだろうか。



## ネットワーク社会が必要とする暗号技術

暗号—推理小説やCIA・KGBといった諜報機関が暗躍する映画の世界ならいざ知らず、実生活でお目にかかることは滅多にないものだった。しかしここ数年、ビジネスの分野でこの暗号が話題を集めている。そのきっかけは、やはりインターネットの爆発的普及だ。

1969年に軍事目的で開発の始まったARPAnet (Advanced Research Projects Agency Network) を引き継ぐ形で、1983年に全米科学財団が開設したNFSnet (National Science Foundation Network) が基幹ネットワークとなり、1991年にCIX (Commercial Internet Exchange Association) が設立されたことで、インターネットの商用利用が本格化した。NFSnetは、大学や政府・企業の研究機関を結ぶ学術利用が中心だったことから、セキュリティ上、さまざまな課題を抱えていた。そのシステムをそのまま商用利用に開放したため、「インターネットは無法地帯」と形容されるほど、インターネットのインフラは、セキュリティの面で脆弱なものとなっている。

アメリカは国土が広く、物流体制を整えたり、店舗網を整備することが難しい側面がある。このため通信販売が発達した。インターネットを使った商品の受発注は、このアメリカの商習慣にマッチしていた。またアメリカではクレジットカードによる決済がもっとも一般的な方法となっている。つまりインターネット上で商取引の情報や、決済に必要なクレジットカード番号といったデータがやり取りされることになる。こうした経済行為に対して悪意ある攻撃が行われた場合、インターネットはまったく無防備なのだ。そこで登場してきたのが暗号技術である。

## シーザーも利用した暗号技術

ここで暗号の基本的な仕組みを考えてみよう。暗号とは、平文と呼ばれる元の文章やデータを、見ただけではわからない形に変形してしまうことだ。しかし変形したものが元に戻せなくては意味がない。この変形された暗号文を元に戻すことを復号という。

最も古い暗号方式の一つが、古代スパルタで使われていた転置式暗号といわれている。これは同じサイズの細い指揮棒を2本用意し、自分と伝えたい相手が1本ずつ持つておく。通信の必要が生じたら、細長いパピルス（当時の紙）を指揮棒に巻き付け、巻き付けた方向と直角に文字を書き込んでからパピルスをはずし、伝令に手渡して相手に届けてもらうというものだった。一巻きで3文字書ける太さの指揮棒を使用するとお互いに取り決めておけば、通信文を受け取ったものは、パピルスに巻き付けることで、元の文章に復号することができるわけだ。

また推理小説の謎解きなどに登場する、古代ローマ帝国の

ジュリアス・シーザーが用いたといわれるシーザー暗号もよく知られている。たとえば次のような文章を、アルファベットを3つ後ろの文字に置換して暗号化してみよう。

平文 All roads lead to Rome

暗号文 DOO URDVOHDG WR URPH

この方法は、換字式暗号と呼ばれる。

暗号文を復号化する場合に必要な情報は、暗号化するアルゴリズムと鍵である。上の暗号化では、換字方式というアルゴリズムを使っていて、鍵はアルファベットを後ろに3つずらすということになる。これを数式で表すと、

$$y = x + 3 \bmod 26$$

となる。実際には、シーザー暗号では換字表と呼ばれる変換表をお互いが持っていて、暗号文を解読していた。この方法は非常に簡単だが、それだけに第三者に解読される危険性も高い。そこで鍵の3を固定せず、しょっちゅう変更することによってよりセキュリティを高めることができる。またパラメーターを2つにして、

$$y = ax + b \bmod 26$$

という暗号式を使えば、より解読しにくい暗号文が作成できる。この関数をアフィン (affine) 関数と呼ぶことから、この暗号方式をアフィン暗号と呼ぶ。シーザー暗号はアフィン暗号のパラメーター  $a=1$ 、 $b=3$  の事例ということになる。上記の文章を  $a=7$ 、 $b=3$  のアフィン関数で暗号化すると、

DCC SXDYZ CFDY GX SXJF

となる。

## 革命をもたらした公開鍵暗号

暗号を利用するのは、ある特定の相手だけに通信文を伝えることが目的であるから、伝えたい相手に、どのようなアルゴリズムで暗号化されており鍵はなにかが知られている必要がある。スパイが利用する暗号なら、アルゴリズムも鍵も秘密にしておいたほうが都合がいいだろうが、ビジネスの世界ではそういうわけにはいかない。どのようなアルゴリズムを使っているかだけは公開して、鍵のみを秘密にする暗号を秘密鍵暗号と呼ぶ。この場合、鍵の管理を相当厳重に行う必要がある。また先のシーザー暗号では、暗号化するときも復号化するときも、同じ3という鍵を使用した。こういう暗号形式を共通鍵暗号と呼ぶ。

共通鍵暗号では、相手に鍵をどのようにして伝えるかが常に問題となる。

1976年、DiffieとHellmanによって暗号技術の歴史上画期的な理論が発表された。公開鍵暗号である。公開鍵暗号では、鍵を暗号化する公開鍵と復号化用の秘密鍵を別々に用意する。暗号文は、暗号化に使われた鍵では、復号化できない仕組みになっている。

ここでX氏からY氏に対して、公開鍵暗号を使って通信文



世界の主な暗号

|           | 開発者        | 鍵長(ビット) | アルゴリズム | 商用実績 |
|-----------|------------|---------|--------|------|
| DES       | アメリカ政府     | 56      | 公開     | 有    |
| SkipJack  | アメリカ政府     | 80      | 非公開    | 有    |
| RC2       | RSADSI     | 128 ほか  | 非公開    | 有    |
| RC4       | RSADSI     | 128 ほか  | 非公開    | 有    |
| FEAL-N    | NTT        | 64      | 公開     | 有    |
| MULTI2    | 日立製作所      | 320     | 公開     | 有    |
| MYSTY     | 三菱電機       | 128     | 公開     | 有    |
| ENCLIP    | NEC        | 非公開     | 非公開    | 有    |
| IDEA      | Ascom Tech | 128     | 非公開    | 不明   |
| B-CHIPHER | BT         | 64      | 非公開    | 不明   |

を送信する場合を考えてみよう。Y氏はX氏に対してあらかじめ公開鍵を平文で送っておく。X氏はその公開鍵を使って暗号文を作成し、Y氏に送る。Y氏は自分だけしか知らない秘密鍵を使って暗号文を復号し通信の内容を読むことができる。ここで第三者であるZ氏が暗号文を手に入れても、Y氏が公開している鍵では復号できないため通信の秘密は守られる。

公開鍵暗号が画期的だったのは、鍵のやり取りが安全に行えるだけではない。再びX氏とY氏の間で通信文をやり取りする場合を考えてみる。Y氏は、彼しか知らない秘密鍵を使って平文を暗号化し、X氏に送ったとする。X氏はY氏が公開している公開鍵で暗号文を復号することができる。このとき、この暗号文を作成できるのは世界中にY氏しかないことになる。

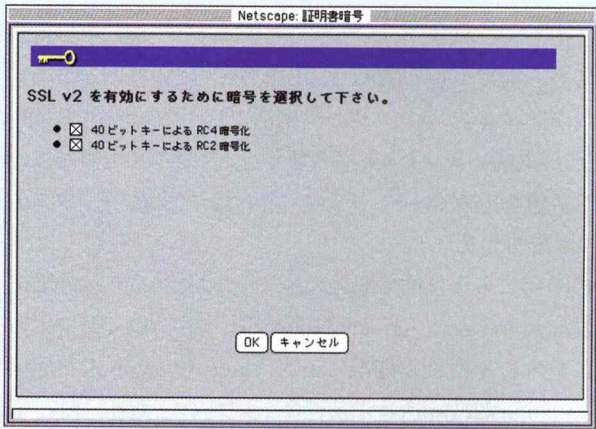
事前にX氏とY氏の間で、秘密鍵を使って暗号文を作り送信すれば契約に合意した印だとして取り決めておけば、この暗号文は契約書類に署名捺印したのと同じ効力を持たせることが可能だ。これが電子捺印技術（digital signature）の原理である。

たとえば第三者であるZ氏がこの暗号文を横取りし、Y氏の公開鍵で復号して内容を読むことはできる。そこでこっそり内容を改ざんして、再び公開鍵で暗号化しX氏に送ったとしよう。しかしこの暗号文はY氏の公開鍵では復号することはできないため、X氏はこの暗号文を送ったのはY氏ではないと判断することができる。

このように、公開鍵暗号を利用すれば、通信の守秘性を高めるだけでなく、電子捺印や相手の認証といった利用も容易に行える。

解読技術開発とイタチゴッコを繰り返す暗号開発

暗号技術に革命をもたらした公開鍵暗号だが、一つ欠点がある。秘密鍵暗号に比べて計算が複雑で時間がかかることだ。また暗号はいずれ解読される宿命をもっている。そのためより解読が難しい暗号方式が次々に開発されている。たとえば現在、公開鍵暗号といえばRSAが一般的だが、安全性を高めるため鍵のビット長がどんどん長くなっている。またRSAは整数の因数分解の困難性を基礎に成り立つ暗号方式だが、部分集



デファクトスタンダードとなったRSA

1977 年、MIT の Rivest、Shamir、Adleman という 3 人の教授が公開鍵暗号理論を使った暗号システムを開発した。その暗号は 3 人の頭文字を取って RSA と名づけられた。3 人は 1982 年に RSA データセキュリティ社（RSADSI）を設立、ベンチャービジネスに進出した。設立後数年は赤字が続いたが、経営手腕を持つ社長を迎え、さらに時代が暗号ソフトを求めたことで急成長を遂げた。そのきっかけとなったのが Netscape Navigator や Internet Explorer といった WWW ブラウザソフトに RSA の暗号ソフトが組み込まれたことだ。その後、RSADSI の暗号ソフトはさまざまな通信ネットワーク系のソフトウェアに採用され、会社は急成長を遂げる。

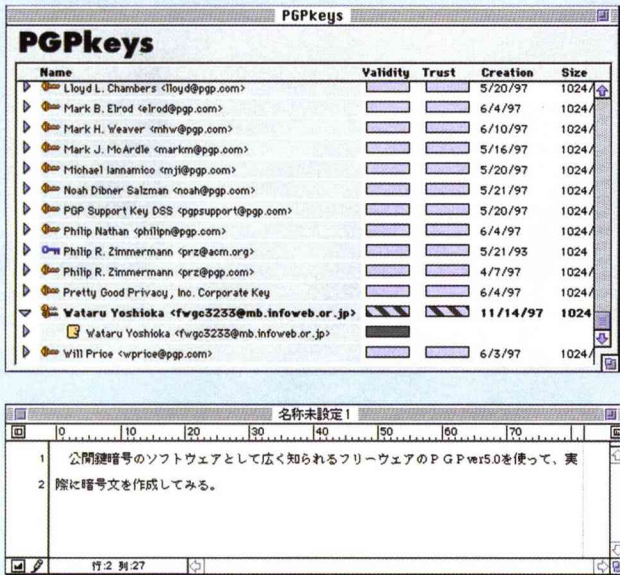
しかし、暗号はいまだにアメリカ政府による輸出規制の対象となっている。そのため Netscape 社はアメリカ国内向けと海外向けに 2 種類の Navigator を用意せざるを得なかった。違いは使用できる暗号の種類と強度である。たとえば日本仕様の Navigator では 40 ビットキーによる RC4 と RC2 の 2 種類の暗号しか使用できない（写真上）。また、RSA 暗号の特許は MIT が所有しているが、RSADSI と MIT との独占使用契約は 2000 年で期限切れを迎える。日本をはじめイスラエルなど各国が公開鍵暗号の新方式の開発にしのぎを削っているが、現在の RSA 独占状態が大きく変化する可能性も秘めているのだ。

合和問題の難しさに基礎を置いたMerkle-Hellman ナップサック、代数的符号理論に基づいたMcEliece、従来の公開鍵暗号系を修正した楕円曲線暗号など、現在の暗号理論は、数学の先端理論を基礎にしたものばかりだ。

もう一つ暗号技術が抱える問題として、軍事的な側面も見逃せない。アメリカでは従来、暗号は軍事技術として厳しい輸出規制が取られていた。1996 年末に暗号は武器指定からはずされ、輸出に関しても国務省から商務省に管轄が移されているが、ビット長など依然厳しい制限が設けられている。日本や欧米各国でもなんらかの輸出規制が行われている。

現在、各国でエレクトロニック・コマース（electronic





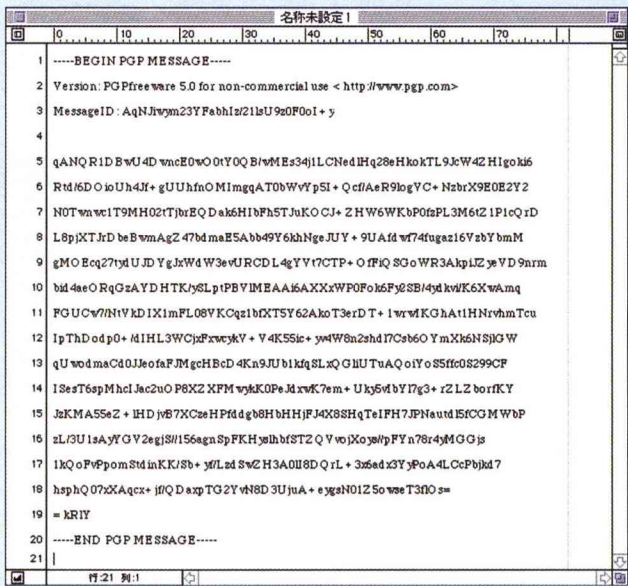
暗号文を作成してみる

実際に公開鍵暗号方式を組み込んだ暗号ソフトウェアを使って暗号文を作成してみよう。使用したのはフリーウェアのPGP version 5.0のMacintosh版だ。

PGPをパソコンにインストールし自分のフルネームと電子メールアドレスを入力する。次にパスワードを設定するとPGPkeysに自分の公開鍵と秘密鍵が登録される（図左上）。エディターソフトでPGPを使用可能に設定し図左下のような文章を作成した。これをPGPで暗号化すると図右のような暗号文が作成される。

今回は自分の公開鍵で暗号化するため、自分の秘密鍵で復号することができるが、通常は送信相手の公開鍵を使って暗号化し、その暗号文を相手に送ることになる。この場合は、暗号化した本人も復号することはできない。相手の秘密鍵を知らないからだ。

PGPというのはPretty Good Privacy（なかなかよいプライバシーとでもいう意味）の略で、開発者はフリーのプログラマーだったPhilip Zimmermann。アメリカ政府が進めていたクリッパー計画という暗号政策に疑問をもったZimmermannは、1991年たった一人でPGPを完成させる。しかしこのソフトウェアはRSAの特許技術を利用していたため販売することはできなかった。しかたなく



Zimmermannは、友人たちにこのソフトを無料で配布する。そのうちのだれかがPGPをインターネット上に掲載し自由にダウンロード可能にした。PGPは瞬く間に世界中に広まる結果となった。

当時、暗号技術は軍事技術に指定され、国務省により輸出は厳しく制限されていた。Zimmermannは国際武器流通規定という法律に違反した罪で起訴される。輸出が許されていたのは40ビット以下の鍵を使う暗号に限られ、128ビット鍵を使用していたPGPはその規定に抵触するというのだ。Zimmermannは市民のプライバシー保護の象徴的な存在となり、さまざまな支援活動が展開され、PGPもあらゆるぶらっとフォームに移植された。1996年末、Zimmermannは不起訴となり、晴れて自由の身になっている。

現在もPGPはアメリカ国内のみならず世界中で、MS-DOS、Windows、Macintosh、Unixなどで使用されている。ZimmermannはプログラムではなくPGPのプログラムソースを印刷し海外に持ち出すことで、暗号の輸出規制をクリアした。欧州でもイギリス、フランスなどは厳しい規制が敷かれているが、ノルウェーなどの北欧では規制がないため、PGPはこうした国に設置されたサーバからダウンロード可能となっている。

参考・<http://www.ifi.uio.no/pgp/download.shtml>

commerce：EC）の実証実験が行われている。電子商取引と訳されているが、欧米のECは「市場調査、取引先の選定、商談、契約、商品発注、出荷、請求・支払いといった商取引にかかわるすべての業務を企業間の情報ネットワーク上で処理するシステム」といった少し広い意味で使われている。

従来のグループ企業間や特定業種間での閉ざされたネットワーク上であれば、セキュリティ問題もそれほど大変ではなかった。しかしECのように異業種間やグローバルで行う場合は、暗号や電子捺印システムといったものが不可欠になってくる。公開鍵暗号は、こうしたオープンなネットワーク時代のニーズを満たす基礎技術として注目を集めている。

暗号技術は、どれが優れているかよりどの方式が一般化しているか（デファクトスタンダード）という部分が重要になる。しかし、その方式に欠点や解読方法が見つかったら、セキュリティが崩壊してしまう危険性ははらんでいる。

暗号ビジネスの市場規模は、まだ10億円にも満たないといわれている。大企業が進出するには十分成長しているとはいえない。新たなベンチャー企業が登場する余地が残されている世界なのだ。





鉄無文鐺  
無銘 古刀匠 室町時代



菊図透鉄鐺  
無銘 古萩 桃山時代

# Steel 鉄の点景 Landscape

世界に比類なき美術工芸品として認められる日本刀。  
実はその一部である鐺だけを愛し、  
専門に収集するコレクターが数多く存在する。  
鐺という小さな鉄片の中にひそむ、人々を惹きつける魅力とはなにか。  
日本の伝統の美の中で息づく鉄に迫る。



鉄が主役の迫力ある「絶景」をとらえようと試みてきたこのシリーズ、この号から少し視点を変えて、私たちの暮らしや文化の中の「点景」としての鉄のさまざまな表情を探っていくことにする。



張果老図透真鍮鐔  
銘 安親 江戸時代中期



桜丁子雪華透鉄鐔  
無銘 古甲冑師 室町時代

日本の  
美しい鉄

# 鐔

鍛えあげられた鉄に浮かび上がる風雅—古鐔の魅力

現在、美術店や骨董店であつかわれる鐔は、江戸時代以降の物が多いが、鐔の本当の魅力は古鐔にこそあると愛好家という。

古鐔とは、おもに室町時代から桃山時代にかけてつくられたものをさし、刀匠や甲冑師をはじめ、尾張、金山、京透、古正阿弥、古萩などの流派があり、もっとも時代が古い古刀匠や古甲冑師の鐔は大振り薄手の鉄製で、戦乱の世にあってまさに実践の場で白刃を受け止めるのにふさわしい剛毅なつくりのことが多い。

古鐔の魅力は「鉄味」にあるといわれる。そもそも鐔は、研磨して光輝く状態にする刀身とは異なり、鍛えあげた鉄に黒錆をつけて仕上げるものである。日本刀と同じように折り返し鍛錬をして錆付けをし、腐食につながる赤錆から鐔を保護する。いわば「錆をもって錆を制する」わけで、不動態被膜を形成することで腐食を防ぐ現代のステンレス鋼などと同じ発想である。当時の工匠たちが、こうした自然科学の原理を知っていたかどうかは明らかではないが、彼らはどうすればよい黒錆が得られるのかを研究して試行錯誤を重ねた。伝えられるところによれば、鼠のふんを塗り付けてみたり、鮎のはらわたを使ってみたりと涙ぐましいまでの努力をしていたようだ。

こうして完成した鐔は、紫や青味を含んだ独特の黒色を顕わし、表面には、幾度となくたたきこみ鍛えた槌のあとが残っている。そのざらついた槌目、錆のつき具合、時代時代によってかわる鉄の色味などがあいまって、たまらない味わいを醸し出すのだと愛好家という。備前焼きや信楽焼きなどの素朴で深みのある土物にも似た枯淡な趣は、わび・さびの世界に通じるものがある。

金梨子地菊紋金装糸巻太刀拵  
江戸時代初期（後水尾天皇御料）





もうひとつの古鐔の魅力は、その狭い空間に描き出される宇宙である。およそ装飾性というものを排したその表面には、桜や梅などの自然の風物や、素朴な信仰を表したと思われる抽象的な図案が透かし彫りされている。卒塔婆を背景に、空風火水地の5文字と南無阿弥陀仏という念仏を刻んだものもある。

鉄鐔の横綱と呼ばれる室町末期から桃山時代にかけての鐔工、尾張の信家は「斬り結ぶ 太刀の下こそ地獄なれ ひと足ふみこめ そこは極楽」と道歌を毛彫りで表した。明日をも知れぬ戦乱の世に身をさらしていた当時の武士たちの覚悟とか剣の極意が見てとれる。

### わび・さびの古鐔美から華やかな金工鐔の美へ

室町後期から桃山にかけて、専門の鐔工が現れた。これにより鐔の世界は、その図柄、素材、形ともに大きく変わっていく。それは刀装の一部を担っていた鐔が、独立して箱に入れられ、鑑賞されるようになっていったことを意味する。茶道にあって、掌の上で茶碗を鑑賞するようにである。桃山時代には信長の安土城に代表される華やかで自由闊達な時代の空気を反映して、鐔はさまざまな意匠を凝らした美術工芸品として本格的な鑑賞の対象となっていく。もっとも素朴な板鐔や透鐔に加え、高肉彫、象嵌、色絵といった彫金の技術を駆使した、より絵画的、より彫刻的な美が展開されていったのである。

さらに下って江戸時代も元禄頃になると、天下太平の世

になり、紀国屋文左衛門のように強固な経済基盤をもつ町衆が出現してくる。豪商、豪農と呼ばれた者たちは武士の表道具である刀を保護装飾する鐔などの刀装具に財をつぎ込み、名品を手に入れようと競い合うようになる。この風潮が鐔の世界においては、より装飾的な、より華美な傾向を促し、鉄鐔のほかに、金・銀・真鍮・四分一といった色金鐔が作られるようになった。これらを総称して金工鐔と呼ぶ。

鐔好きの中には鉄鐔派、金工派と、それぞれ最良がいるが、両派のよいところを認めて鉄も金工もともに好きだという向きも少なくない。埋忠明寿、土屋安親、後藤一乗、加納夏雄といった巨匠たちも、両方に名品を残している。しかし数的には古鐔の名作は少なく、愛好家にとっては鉄鐔の美しい雅味のある名鐔を探すのは並大抵のことではないようである。古鐔を愛でるのは古き時代のよさを認め、時代の味を鑑賞することにもつながる。

\*

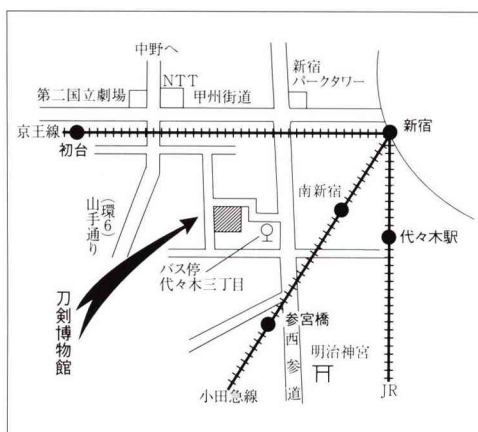
「鉄味」という鉄そのものの素朴で力強い美を見出だそうとする古鐔の世界は、虚飾をふり捨てて、真の美を見出だそうとするこれからの新しい時代の日本人の心を象徴するものかもしれない。また、鉄そのものの中にそれほどの美がひそんでいるのだとする古鐔愛好家たちの視点には、鉄に携わる者として何かしら学ぶべきものがありそうだ。

[取材写真協力：財団法人 日本美術刀剣保存協会 刀剣博物館]

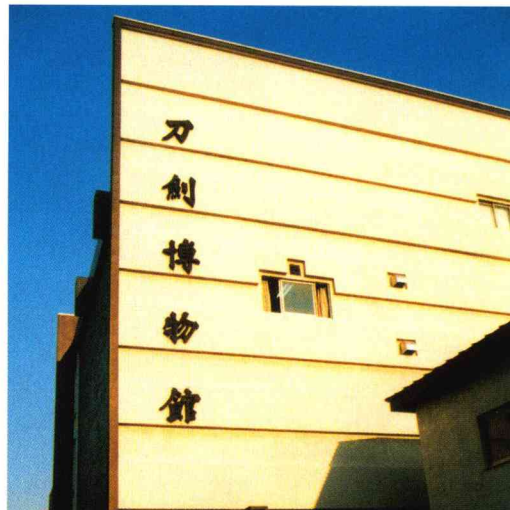
## 刀剣博物館

世界唯一の日本刀専門博物館。通常展示では平安から江戸にかけての名刀と鐔・刀装具・刀装を展示。新春名刀展（1～3月）は国宝重文を多数陳列、6月は現代刀匠と鐔製作者のコンクール展、12月は現代研師白鞘・拵・柄巻・白金師のコンクール展を開催する。（財）日本美術刀剣保存協会は日本刀の原料である玉鋼を確保するために伝統的な「たたら製鉄」を現代に復活させたが、同館前にはその製造物である2.5トンもの「鉾」（鉄塊／右下写真）が展示されている。

年末年始と毎月曜日を除き、常時陳列・開館。



渋谷区代々木4-25-10  
TEL 03-3379-1386  
小田急線参宮橋より徒歩7分。







# 展望

## 都市景観の保存

越野 武

Takeshi Koshino

北海道大学工学研究科  
都市環境工学専攻 教授

### Conservation of Urban Landscape

#### 1 はじめに

どういう風の吹きまわしで小生のようなところへ舞込んできたものか、編集担当者から頂戴したものと題目は「都市景観の保存は今後も可能か」であった。さてペンをとろうとして、いささかとまどっている。一見したところ別に変なところもなさそうに見えるかもしれないが、題目の立て方がわれわれとは少々違うのである。

まず議論の対象をはっきりさせなければなるまい。都市景観は大変広い範囲の要素からなるはずで、それらを全部ひっくるめて「保存」を云々することはあまりなさそうである。例えば山や川、森のような自然要素も都市景観の重要な側面である。先年京都でできる高層ホテルの建設計画が、東山の眺望景観との関連で論議されるのを耳にしたが、わざわざ京都の例をあげるまでもなく、こういう町は小生の住む札幌を含めて全国にたくさんあるであろう。自然要素は「どのように」保全するかが問題で、山麓地の乱開発をどうコントロールするかとか、どのような緑を育て管理するかといった課題はあっても、まさか山並みそのものについて「保存は可能か」といった設問は普通はしない（もっとも琵琶湖東岸の名山伊吹山の一部が、セメント原材料採取のため大きく削られてしまったし、骨材採石のために無くなった山もあるようだから、日本の現状は小生が考えるほど甘くなく、ずっと深刻な問題なのかもしれない）。

そういうわけで与えられた題目のうち、ここでは都市景観中の自然要素を除いて、市街を構成する人工物、主として建築物ということにさせてもらう。以下歴史的な建築と町並みに対象をしばって話を進めることにしたい。

しかし歴史的建築にしばったとして、やっぱりダイレクトに「保存は可能か」という一般的な問いかけは小生らの仲間内ではあまりしない。もちろん個別の建築は別で、それこそ「保存は可能か」はしょっちゅう問題になる。しか

しわれわれが頭を悩まし、悪戦苦闘しているのは、ここでも「どのようにして保存するか」なのである。この点では、方法のみに走って物事の本質を問うという姿勢の欠如が突かれたのかもしれない。仲間内では「本質」は了解済みでも、外側から眺めれば別である。それも「今後も可能か」と問われれば、これは強い危機感を突きつけられているわけで、われわれとしても考えないわけにはいかない。この問いはおそらく「なぜ保存するのか」という問題に直結する。しかしこんな最も本質的な議論を十全に展開するのは小生には荷が重すぎる。少し道筋を変えて、これまで歴史的建築の保存がどのように考えられてきたのかという世界的な流れをおさらいし、北海道という地方でのわずかな経験や調査をまじえてお話ししていきたい。最後にできるものならこの本質的な設問に戻ることにしよう。

#### 2 保存の出発点

国家的なレベルで歴史的建築物の保存制度が誕生したのは19世紀からとされている。保存事業の制度を最も早くから充実させたのはフランスである。1837年に歴史的記念物委員会が創設され、4年後にはプロスペル・メリメ（1803～70）が歴史的記念物総監に任命されている。メリメが歴史探索行の途路、フランス中部山地にひっそりと生き残った、ロマネスクのサン・フォワ修道院教会堂と珠玉の中世村落コンクを「発見」したのは有名な話である。このような中世の再発見が初期の歴史的建築保存を色濃く染めているが、もっと大きく見るなら、産業革命の進行が引き起こした歴史遺産の破壊が背景にあって、国家レベルまで含めた人為的対応策に迫られたというべきであろう。

イギリスがフランスと並んで保存の先進国であるのは、それだけ破壊の危機感が強かったからである。1882年にはイングランドおよびウェールズで「歴史的記念物保護法」



が制定されている。当初は先史、古代遺跡が保護対象であったが、1900年には中世の建造物も含めるようになった。

1913年フランスが「文化財保護法」を定めたが、ここで注目されるのが、同法で指定された記念建築物の周囲 500メートル以内の景観規制がうたわれたことである。発想は記念物を良好な環境中で保護しようということにあるが、実質的には歴史的町並みの保存、記念建築を核にした都市景観の保全につながるものであった。

フランスのような町並み保存の萌芽はあるにしても、こまでは個々の歴史的記念物の保存が眼目であった。歴史の継承という、人間存在の基底にかかわる要請であり、もちろんあらゆる歴史遺産保存の基本であることは今も変わらない。日本では1897年（明治30）に公布された「古社寺保存法」が保存法制の最初であるが、その法律名称にも個別記念物保存という考え方が端的に示されている。

### 3 都市計画と歴史的建築保存

今世紀半ばになると、こうした考え方の枠組みをひろげて、歴史的建築の保存をもっと現実の生活レベルに密接させようという考えが顕著になってくる。具体的には都市計画の側から歴史的遺産を位置づけようとする動きである。イギリスでは1932年の「都市田園計画法」に基づいて、歴史的建築の登録が開始されている。67年の「都市アメニティ法」は、その第1部が「建築的もしくは歴史的的重要性を有する建築物および地区の保存」であり、同法にもとづいて歴史的保全地区制度が開始された。

フランスでこれに対応するのが1962年に制定された「保護街区法＝文化財保護法を補助し、不動産修理を促進するための法律」である。その制定に主導的役割を果たした文化担当大臣の名をとって「アンドレ・マルロー法」と呼ぶ方が通りがよい。パリ都心のマレー街（図1）の再生計画は同法制定の端緒であり、かつその成果として有名であるが、全国的な歴史的町並み保存事業がこの法制によって展開された。同法の勘所は、再開発事業資金を現存の歴史的建造物の修復と開発にあてるという点にあるが、日本では今もまだそうした発想がみられない。

話が前後するが、都市計画と歴史的建築保存を結びつけようとする概念はもっと前からあった。1933年のCIAM（国際近代建築会議）第4回総会の「アテネ憲章」は、以降の近代都市計画における基本概念そのものといってよく、その反面固定した機能的都市のとらえ方が、大戦後新しく生まれた都市概念と衝突することで、功罪の評価が分かれるのであるが、近代都市の5つの構成要素として、住居、レクリエーション、労働、交通と並んで歴史的建造物が掲げ



図1 パリ、マレー街 取壊し計画を変更、1962年「マルロー法」によって保存再生され、現在ではパリ都心有数の高級住宅街になっている

られていたことは銘記してよい。普通「アテネ憲章」といえば最も冷徹な機能主義的都市を指向するものと理解されているが、にもかかわらず（というべきかどうか）歴史的建築が都市の不可欠の要素とされているのである。

偶々同じアテネで2年前の1931年に、記念物保存のための国際会議が開かれており、1964年の国際会議はその第2回目とされている。ここで定められた「ヴェニス憲章」は、翌1965年のユネスコ・ICOMOS（＝記念物と遺跡のための国際会議）設立総会で採択された。「ヴェニス憲章」第1条「歴史的建造物」は単一の建築作品ばかりでなく、「都市および田園の建築的環境」も含むとされている。上記のイギリスやフランスの動きはこうした国際的運動に連動したものであることがわかっていく。

なお、ユネスコの活動では1972年の総会で「世界の文化遺産と自然遺産の保護に関する条約」が採択されている。いわゆる「世界遺産」で、日本もようやく1992年になって条約に加盟したことは、まだ記憶に新しいところである。昨年までに姫路城、法隆寺地域の仏教建造物、白神山地、屋久島地域、京都の文化財、白川郷・五箇山の合掌造り集落、広島原爆ドーム、厳島神社の8件が「世界遺産」の仲間入りしていることはご存じであろう。世界では506カ所が遺産リストに登録されている。

### 4 日本：ひろがる保存対象

身近な日本の場合をふりかえって、同じ歴史的遺産の保



存といいながらも、その内容がずいぶん変わってきたのをみてみよう。

先にふれたように日本の保存法令は1897年の古社寺保存法から始まるが、これは1933年（昭和8）の国宝保存法、大戦後1950年の文化財保護法へと継承されていった。初めはもっぱら社寺建築が保存の対象であったが、大戦前後から民家が加わり、さらに1960年代からは近代以降の建築に範囲がひろげられるようになった。近代建築も当初は文明開化期の洋風建築が主であったが、1970年代からは日本銀行本店（1896年、辰野金吾）をはじめとする現役の都市建築、あるいは札幌の北海道大学第2農場施設（1877年以降）や栃木県の下野煉化製造会社ホフマン式輪窯（1890年）（図2）といった産業遺産が重要文化財の仲間入りして、保



図2 下野煉化製造会社ホフマン式輪窯 1890年 栃木県  
1979年国重要文化財に指定された

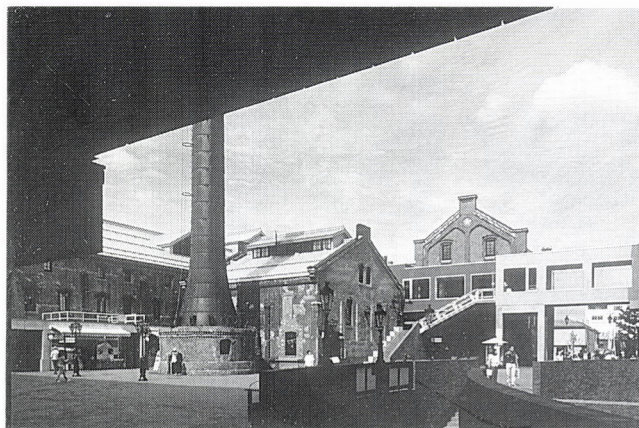


図3 旧札幌麦酒醸造場 1892年以降 札幌市 1993年生活工房サッポロ・ファクトリーとして再生された 設計大成建設、竹山実建築総合研究所他

存建築のイメージもずいぶん変わり始めた。また保存対象の建設年下限も大正期までひろげられ、最近では昭和初期のものまで視野に入っている。

もちろんこれらは国の重要文化財だけのことで、実際の保存建築はさらに大きなひろがりを見せている。この点で大きなエポックを画したのは1974年の倉敷アイビースクエアの誕生であった。倉敷紡績の赤煉瓦工場を改装してホテル、レストランに活用したもので、倉敷を本拠とする建築家浦辺鎮太郎のデザインを得て、近代の歴史的産業遺産が、見た目にも、また商業的にも魅力的な空間に蘇った。今では同様の楽しい例を名古屋市の旧豊田紡績工場（産業技術記念館）や函館市の金森倉庫（ヒストリー・プラザほか）、札幌市の旧札幌麦酒醸造場（サッポロ・ファクトリー）（図3）など全国でみることができる。

保存対象がひろがるのと並行して、保存の方法でも多彩な試みがされるようになった。京都市中京郵便局（1902年、吉井茂則他）は三条通り商業街にある現役の郵便局であるが、昭和53年その正面外観だけをもとのまま残し、内部を全面的に新築した。外観保存とかファサード保存と呼ばれ、内部をモダンイズすることで都市景観にかかわる建物外観を生かそうとする手法である。欧米では常識にすぎないが日本ではこの中京郵便局がほとんど初めての試みで、以降さまざまなヴァリエーションをもった近代建築の外観保存がおこなわれるようになっていく。横浜市の旧川崎銀行支店（1922年、矢部又吉）（図4）の例を写真で紹介しよう。



図4 旧川崎銀行横浜支店（現日本火災横浜ビル）1922年 設計矢部又吉 1989年、いったん解体の上石造外壁を復原、内部と上階を新築した 設計日建設計





図5 中山道妻籠宿 長野県 1975年重要伝統的建造物群保存地区に選定、日本における歴史的町並み保存の先駆例になった

保存対象のひろがりでは、1975年の文化財保護法改正が画期的なものであった。法文では「(重要) 伝統的建造物群保存地区 (略して伝建地区)」と呼ばれるが、歴史的町並みの保存制度である。上に紹介したユネスコやイギリス、フランスの動きに遅ればせながら日本も呼応したものであった。

重要伝建地区の第1号には長野県の中山道妻籠宿(図5)などが選ばれ、昨1996年まで全国で44ヵ所に増えている。旅好きの方ならそれらの2つや3つを訪れているのではないだろうか。中京郵便局のファサード保存事例を紹介したが、妻籠宿でも同じような手法がとられた。ただし堅固な外壁をもつ洋風建築と違って、柔らかな構造の和風建築では正面の壁1枚の保存では不十分で、表からある奥行き部分までを保存または復原して、その内側は自由に改装してよいといった方策がとられた。

このように必ずしも建物全体を丸ごと保存するのではなく、多様な保存手法がとられるのは、いうまでもないが保存対象が神社や寺院建築から、現に人が暮らし、業務などに使っている民家や近代建築、さらには町並みにまでひろがってきたからである。

## 5 文化財登録制度の考え方

このように国レベルでも歴史的建築保存の対象はずいぶんひろがってきたのであるが、それでも重要文化財といわれると何か遠い存在で、とても身近な都市景観に寄与するとはいえない。特に日本の文化財保護法では国宝級の美術工芸品や芸能と同列に扱われることもあって、余計縁遠いイメージになってしまう。実際ずいぶん増えたといっても、重要文化財建造物は2,137件、3,588棟、うち近代建築は128件、199棟にすぎないのである(1996年12月現在)。

こうした限界を打ち破ろうとしたのが、一昨1996年10月

に発足した登録文化財制度(文化財保護法改正)である。一般のジャーナリズムでも大きく取りあげられたから、耳にした方も多いであろう。登録文化財制度の眼目は、従来の文化財よりは格段に広い範囲の歴史的建築を保存しようとするところにある。具体的には明治以降の近代建築で、時代の下限はおおよそ建築後50年というめどがあげられている。現時点からいえば大戦後1950年くらいまでの建築が範囲に入るということである。保存の対象とするのは街路のような公共空間から望見できる屋根や外壁部分とし、規制内容も従来の文化財に較べればずっと緩くして、そのかわり保存支援は薄くする(税制上の優遇や低利融資などの制度が考えられている)といったものである。こうしたことからわかるように、その目的は狭い意味での歴史文化の継承にかぎらず、もっと広く都市景観形成に寄与しようとするものである。

実際どのくらいのものが「登録」されていくのであろうか。まだ生まれたばかりの制度で、1997年4月の第4次までの登録数も173件、270棟ほどにすぎないが、「期待される登録件数」は25,000件(文化庁建造物課主任調査官亀井伸雄。月刊文化財 1997.3.)などといわれるように、はるかに広範なものがめざされている。このくらいになればたいがいの町が2つや3つの文化財建築を持つわけで、初めて身近な都市景観を構成する上で有効なものになってくるであろう。

25,000件が妥当な目標なのか、あるいは夢物語にすぎないのか、今のところは先行き不明としかいえないが、途方もない数字でないことはいくつかのデータからわかる。

1980年日本建築学会の近代建築史研究者らが主軸となってまとめた『日本近代建築総覧』は、登録文化財制度が構想される上で出発点となった調査成果である。そこでは幕末から第2次大戦終結までの約13,000件にのぼる建築がリストアップされた。その後20年近くを経過して滅失した建築も多いが、その一方ではこの調査で見落としていたものも少なくない。北海道の例をあげさせていただければ、最近になって登録文化財に加えられた士別市の旧岡崎医院(昭和6年)は『近代建築総覧』からもれていたもののひとつである。見落としは調査を担当した者の1人として恥ずかしいことに違いないが、正直なところ避けられぬこととハラをくくつてもいる。わずかな人数の調査で広い北海道をくまなくカバーするのは無理だということもあるが、何をリストに入れるかという価値観が時代によって大きく変わっていくからである。

『近代建築総覧』採録の件数は現在ではどのくらいに相当するか、まだ全国的な集計はない。13,000件のうち北海道では698件であった(1983年補遺を含む)。北海道でも見直し調査が今も続けられているが、1993年のデータによ



れば、取り壊されたものが 203件ある一方、現存する歴史的建築 1,314棟がリストアップされている。そのまま他府県にあてはめるのも乱暴な話だが、『近代建築総覧』の 13,000件は大幅に増えるものとみてよいであろう。

登録文化財制度も欧米諸国の先行例が参考になる。イギリスでは歴史的建築の登録は1932年に開始されており、1968年までの1次リストで約17,000件であったが、93年にはイングランドだけで実に 441,188件を数えるまでに増加している。67年の「都市アメニティ法」によって始められた町並みの保全地区も、93年にはイングランドで約 7,500地区になっていることもあげておかななくてはならない。ドイツはイギリスの上を行っている。各州ごとの立法（1973年以降）なので正確な数は伝わっていないが、現在約90万件の建築記念物が登録されているという（Henrichsen, C., 建築雑誌1997.1.）。これらの数字がそのまま日本に対応しないのは当然として、上にあげた日本の目標数が決して常軌を逸したものではないこと、そして歴史的建築に対する欧米でのイメージ、その保存に対する取組みが日本よりは数段本格化していることがわかる。

## 6 まちづくりの側から

歴史的建築の保存が都市計画と結びつけて展開されるという国際的な趨勢を紹介したが、残念ながら日本が国家レベルでそうした方向を強く打ち出しているとはいえない。1975年文化財保護法改正による伝統的建造物群保存地区が、都市計画法上の地区として位置づけられ、初めて現実の都市景観づくりに寄与することになったが、その数はまだ44地区ときわめて少なく、ごく特殊な歴史都市に限られている。考えてみると、都市計画法そのものに歴史的建築や町並みに対応するような仕組みがあるわけではない。建築基準法もそうだが、日本の建築や都市づくりは徹頭徹尾、新築ないしスクラップ&ビルドをベースにしている、歴史的なものにはまことに冷淡なのである。

近年都市計画畑のプランナーや研究者が、歴史的建築の保存に強い関心を寄せ始めているのは、都市計画法など国家レベルの制度からではなく、各都市自治体や住民サイドからの、言ってみれば草の根的な要請に後押しされてなのである。その具体的なあらわれは、ここ10ないし20年きわだってきた自治体ごとの町づくり条例や都市景観条例制定の動きである。そして当然のことながらほとんどの景観条例は歴史的建築の保存を中心的な課題にすえている。

全国の地方自治体を網羅したデータは知らないが、日本経済新聞社産業消費研究所が1994年にまとめたレポートは、23府県および264市区町村の景観形成に関する条例300

を得て分析している。年次別制定状況を見ると、2つのピークがあって、「最初のピークは経済の高度成長に伴う公害の多発から環境保全への意識が高まった73年。それをも上回るのがここ1、2年（＝1992、93年）の動きだ。この制定熱の高まりの裏には、バブル景気の下、かつてない勢いで各地に広がった開発ブームがある」という。

少し補足していえば、初めのピークをつくった1960、70年代は、今井（樫原市）、有松（名古屋市）、富田林寺内町（富田林市）、中之島（大阪市）、小樽運河（小樽市）、祇園新橋（京都市）など、優れた歴史的町並みを持ちながら、さまざまな形で開発＝破壊の危機に見舞われた都市で、多くの市民運動がおこされた時代である。「町並み保存」と「都市環境」がこの時代のキーワードであった。

1990年代の動きは、運動の視野も主体も70年代とは違ったひろがりをもっている。必ずしもまとまった歴史的町並みを持っていなくても、数多くの都市が加わるようになってきており、「町づくり」と「都市景観」がキーワードとして前面に打ち出された。したがって単に歴史的建築や町並みを守るのではなく、それをひとつの核としながら、もっと広い都市環境を創出していこうとする姿勢に変わり、これに対応して都市自治体の行政サイドが積極的に行動しはじめたのがこの期の特色である。

## 7 小樽の場合

こうした動きを北海道小樽市の例で少し具体的にみてみよう。小樽は、札幌を含む道央圏への主玄関口であり、経済中枢として栄えた港湾商業都市である……今ではこんな説明を要しないほど有名になっている。

事の発端は1966年に決められた自動車道（道道臨港線）である。道路計画は埠頭運河と石造倉庫群をつぶして通すもので、今からでは想像しづらいかもしれないが、この当時はウォーターフロントとか、明治の軟石造倉庫群がつくる歴史的都市景観などには何の価値も認められていなかったのである。72年運河南端近くまで道路工事が進み、何棟かの石造倉庫が壊されるのを目にして「小樽運河を守る会」が結成された。以降10年ほどにわたる市民運動は、運河戦争といわれるように激しく、かつ多彩な形で繰りひろげられたが、直接の結果だけでいえば自動車道路の幅員を縮め（計画変更）、道路部分の運河の半分と、運河北端部を残すという妥協で終わった。82年から運河埋立てが開始されたが、皮肉なことにこの頃から小樽は全国から多くの観光客をひきつけ始めるのである（図6）。

市民運動は表舞台から退いたが、あとに大きな影響力を残していった。自治体行政当局の覚醒もそのひとつであっ



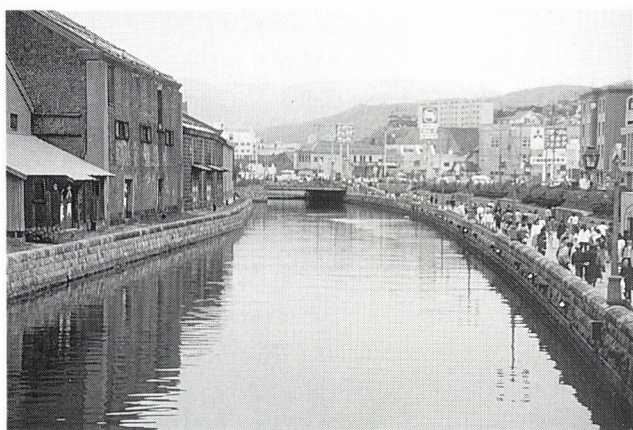


図6 小樽運河 小樽市 明治20年代以降埠頭の石造倉庫群が建設され、大正12年沖合埋立で運河が形成された。1982年運河の西岸(写真右手)に自動車道路が通されたが、今は親水遊歩道がつけられ、多くの観光客が散策している

たといってよいであろう。1983年には「小樽市歴史的建造物及び景観地区保全条例」が制定され、85年には初めて歴史的建造物28棟を選定（うち13棟を指定）、2つの景観地区（6.3ha）と景観整備地区が指定された。

1992年、この旧条例を継承して新たに「小樽の歴史と自然を生かしたまちづくり景観条例」が制定された。条例名称からも想像できるように、歴史的建築、町並み保存を含みながら、もっと総合的に小樽の都市景観を向上させていくとする制度である。具体的には保存関係のほかに、新しい都市景観の創出 — 大規模建造物などのコントロール、新都市景観形成地区の指定など — や、緑の保全といった目標が加わっている。

歴史的建築については、1993年にわれわれも加わっておこなわれた全市域の悉皆の実態調査にもとづいて、登録、指定を拡大していった。現在99棟の建物を選定、うち所有者などの了承を得たもの64棟が市歴史的建造物に指定されている。その分布も従来からの運河周辺や旧都心商業街にとどまらず、周辺住宅地などを含めてひろく全市にわたるようになった。また保全地区も歴史的景観地区など6地区、計41.2haを指定して景観整備事業を展開している。

## 8 結び

世界的な動きから、北海道小樽市の具体的な事例までざっとながめてきた。歴史的建築を都市景観形成の重要な要素として位置づけ、その保存をはかるといふ趨勢が、もはや押しとどめられぬ確固たる流れであることはおわかりいただけたかと思う。今後も保存は可能か、そしてなぜ歴史的建築の保存なのか、という問いへの答えは、そうした動きの中におのずから読みとれるのではないだろうか。

歴史を大切にするというのは、現実から遊離した文化的趣味とか単なる老人の懐古趣味ではない。それはよりよい生活環境を求める住民のきわめて現実的な要請なのである。安定してサステナブルな生活空間の創出、視点をかえていけば省資源や安全な環境の確保にもつながる要請である。われわれはそうした要請に応えるべき社会的、経済的、法的な仕組みをつくっていかねばならない。

もちろん現実には、東京の丸ビルのようなビッグなものから、ごく身近な建築まで、それぞれに重い意味を持った個々の歴史的建築で取壊しが取りざたされるケースはあとを断たない。小樽の場合にしても決してバラ色ではなく、登録された歴史的建築で姿を消すものすら既にあらわている。楽観はできない。しかし悲観することもないのではないかというのが、全体の趨勢をながめた時の筆者の考えである。

当然、既に述べてきたことからわかるように、保存の内容も固定的なものではありえない。頭初の「保存は可能か」の答えも、どのような保存を考えるかで右にも左にも変わるであろう。さまざまな形の柔軟な「部分保存」のほか、例えば保存の時間スパンのようなものも、従来の文化財建築がすべて「永久保存」を考えてきたのとは違って、いくつかのグレードがあってもよいのではないだろうか。実際、「登録文化財」制度にしても、膨大な数になるはずの個々の建物全部を永久に保存するとは考えていまい。問題は限られた文化財建築の域をはるかに超えるが、建物は少なくとも数世代にわたって継承される、そのようなことを実現するだけでも、今の日本で住宅建築の平均寿命が30年、40年などという、異常な状況を脱することにつながるであろうし、見方によってはこれが保存の原点なのではないかと思うのである。

## 参考文献

1. 宮沢智士『町並保存のネットワーク』第一法規、1987.
2. 西村幸夫『歴史を生かしたまちづくり 英国シビック・デザイン運動から』古今書院、1993.
3. 日本経済新聞社産業消費研究所『景観とまちづくりー全国2134自治体の挑戦』、1994.6.
4. 『建築雑誌ー特集 広がり変化する「保存」の世界』1997.1.大河直躬「保存という概念あるいは言葉」、西村幸夫「都市景観施策と歴史資産の保全」、C. Henrichsen「ドイツにおける建造物保存と修復見本市」ほか
5. 『月刊文化財ー特集 文化財登録制度』1997.3. 亀井伸雄「文化財建造物の登録の実務と保護措置について」ほか

(1997年9月1日受付)



# 展望

## 一貫製鉄プロセスにおける二酸化炭素 排出理論値に関する調査報告

西野 誠

国際鉄鋼技術委員会委員

(新日本製鐵株) 技術開発企画部 マネジャー)

Makoto Nishino

### Theoretical Evaluation of CO<sub>2</sub> Emission by Integrated Steelmakers

#### 1 はじめに

わが国の部門別エネルギー最終需要量に対する鉄鋼業の比率は約12%で、個別の業種としては最も高い割合を占めている。これに化学、紙・パルプ、セメント・窯業などの素材関連産業が次ぐ。つまり加工や組み立てを主体とする製造業種では、熱や動力源としてエネルギーを消費するのに対し、素材製造業では天然資源を社会に有用な素材に変換するのに多くのエネルギーが必要とされると言える。一貫製鉄プロセスの場合、製鉄所で消費される全エネルギー量の70%以上が鉄源製造工程で消費されており、数十億年に亘って酸化された状態にある鉄鉱石を還元して有用な鉄鋼素材に変換する過程で、多くのエネルギーが必要であると言える。

19世紀の英国において一貫製鉄法が構築されたのは、その前時代の木炭高炉における森林資源の枯渇というエネルギー危機を、コークス熔鉱炉の発明によって克服したことを出発点とする。これ以降の製鉄技術の歴史も、エネルギーの有効利用を追求する歴史でもあったと言える。戦後の日本に目を転じた場合でも、大型化・高速化・連続化という技術の流れは生産性の追求と同時にエネルギー有効使用の追求でもあった。特に1970年代の石油危機以降、設備投資総額の20%以上が省エネルギーや環境保全に充てられてきた。1979年以降の省エネルギー関連の設備投資の累積額は2兆円を越える規模となっている。この具体的な設備技術として、連続 casting と熱間圧延機との直結化・連続焼鈍設備・高炉への微粉炭吹き込みなどの革新的な設備技術の他、コークス乾式消火・焼結排ガス顕熱回収・高炉炉頂圧タービン・転炉ガス回収などの排エネルギーの回収技術や、各種加熱炉での高燃焼効率バーナーの採用・コンピュータを活用した燃焼制御・炉体断熱性能の向上などの燃料低減対策技術などの多様な事例を挙げることができる。

しかしながら、これらの経済的効果の大きな主要省エネルギー対策設備の設置は、図1に示すように今日殆ど全て完了していること、そして表1に示すように特殊鋼・表面処理鋼板・電磁鋼板などの付加価値の高い高級鋼材、すなわちより多くの製造エネルギーを要する鉄鋼製品が市場から求められていること、また市場要請の多様化を受けて生産が多品種小ロット化し、生産の効率性が阻害されていること、などの理由から、図2に示すように、1980年代後半以降、省エネルギー設備対策の継続的な実現にも関わらず、エネルギー消費の実績値は横這い傾向となっている。

このような状況下、昨今の最大課題である地球温暖化防止対策を推進すべく、1996年12月に日本鉄鋼連盟から「鉄鋼業の環境保全に関する自主行動計画」が提示された。その骨子とするところは次のような点である。

- ①導入可能な最高水準の省エネルギー対策技術の継続的な導入により、2010年の生産量を現状並みと仮定した場合、1990年時点と比較して10%の省エネルギーを達成する。

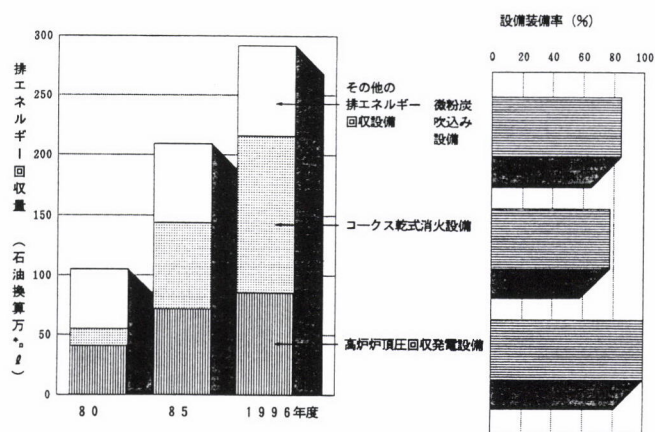


図1 一貫製鉄所における排エネルギー回収量の推移と省エネルギー設備の設備率 (出典：日本鉄鋼連盟資料)



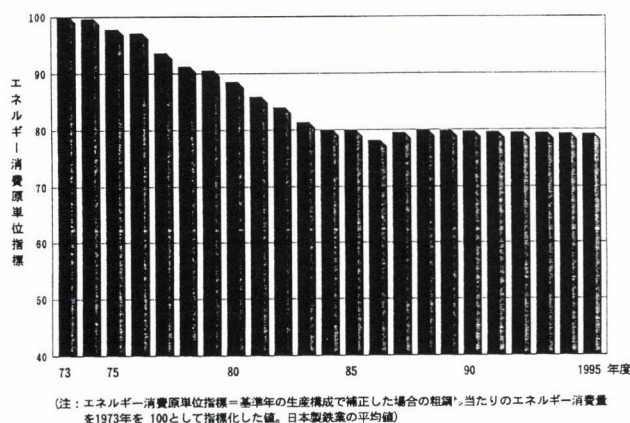
表1 鋼材生産に占める高級鋼材の割合

(単位:1,000t)

|         | 1975年  |       | 1985年  |       | 1995年  |       |
|---------|--------|-------|--------|-------|--------|-------|
|         | 生産量    | 比率(%) | 生産量    | 比率(%) | 生産量    | 比率(%) |
| 特殊鋼     | 7,826  | 9.3   | 15,881 | 16.5  | 15,329 | 16.5  |
| 高張力鋼    | —      | —     | 4,399  | 4.6   | 2,712  | 2.9   |
| ステンレス鋼  | —      | —     | 1,935  | 2.0   | 2,916  | 3.1   |
| その他     | —      | —     | 9,547  | 9.9   | 9,701  | 10.5  |
| 表面処理鋼板  | 6,724  | 8.0   | 11,782 | 12.2  | 14,686 | 15.8  |
| 亜鉛めっき鋼板 | 4,549  | 5.4   | 8,388  | 8.7   | 11,045 | 11.9  |
| その他     | 2,175  | 2.6   | 3,394  | 3.5   | 3,641  | 3.9   |
| 電磁鋼板    | 710    | 0.8   | 1,213  | 1.3   | 1,939  | 2.1   |
| 高級鋼材合計  | 15,260 | 18.1  | 28,876 | 30.0  | 31,954 | 34.5  |
| 一般鋼材合計  | 69,088 | 81.9  | 67,504 | 70.0  | 60,738 | 65.5  |
| 全鋼材合計   | 84,348 | 100.  | 96,380 | 100.  | 92,692 | 100.  |

(注:最終鋼材ベース)

(出典:日本鉄鋼協会調査検討部会、大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦、1996.8)

図2 日本製鉄業のエネルギー消費量の推移  
(出典:日本鉄鋼連盟資料)

- ②廃プラスチックや都市ごみ等をエネルギー資源として活用する。また未利用エネルギーの製鉄所近隣地域における有効活用を図る。
- ③エネルギー消費の観点から有用な鉄鋼製品を社会に供給することによって、社会トータルとしてのエネルギーの有効活用を図る。またスラグなどの鉄鋼製造プロセスから生まれる副産物の有効活用を図る。
- ④世界最高水準を誇るわが国の省エネルギー技術を海外鉄鋼業に対して積極的に技術協力する。

これらによって地球温暖化対策を進めると共に、スチール缶や副産物のリサイクル使用によって、循環型経済社会の構築に積極的な貢献を果たす、というものである。今後も更に省エネルギーを進めて地球環境の保全に貢献せねばならない使命を担っているが、同時に安価で有用な高品質鋼材を安定して市場に供給することもまた鉄鋼業が果たさねばならない役割である。

以上を背景として、「一貫製鉄プロセスの過程で発生する二酸化炭素量の最小値」を理論的に求めることは、エネルギー消費と二酸化炭素排出に関する今日の製鉄技術の位置

付けを明確化するためにも、それらの削減目標を定量的に設定するためにも、更には社会が鉄鋼製品を必要とすることによって unavoidable 地球環境への負荷を明確化するためにも、基礎的な数値として重要な量である。また国際的な場で二酸化炭素排出量の理論最小値と実績値を比較検討することは、日本の製鉄技術の実態を検証するためにも重要な意義を持つ。

平成9年4月に京都で開催された国際鉄鋼協会(IISI)理事会にて環境問題の集中的な検討がなされ、この場で技術委員会(TECHCO)から各国の二酸化炭素排出量の最小値と実績値を骨子とする、Review of Technical Possibilities to Reduce CO<sub>2</sub> Emissions と題する報告がなされた。本報告の準備に際し、IISI-TECHCOの国内対応委員会である鉄鋼協会国際鉄鋼技術委員会は、一貫製鉄プロセスにおける二酸化炭素排出量の最小値に関する理論的検討を東北大学素材工学研究所、八木順一郎教授、秋山友宏講師(現、国立宮城工業高等専門学校助教授)に依頼した。本報告はその検討結果の概要およびIISI-TECHCO報告に基づく国際的な比較結果の概要である。理論的検討の詳細については八木らの報告<sup>1)</sup>を参照されたい。

## 2 二酸化炭素排出量の最小値 についての理論的検討

### 2.1 検討の前提条件と手法

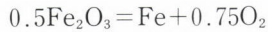
一貫製鉄プロセスにおける二酸化炭素排出量の理論的な検討に際して、現行の高炉法での工業的な生産を前提として、銑鉄生産反応を熱力学的な平衡関係から考察する手法(；熱力学的理論最小値とする)、および現行の一貫製鉄法の各プロセスが理想的に操業された場合を想定して考察する手法(；工業的半理論最小値とする)の二通りの前提条件と手法に拠った。



### 2.1.1 熱力学的理論最小値

現状の工業的な銑鉄の生産を前提とした現象を以下に示すように近似する。

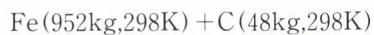
酸化鉄（鉄鉱石）の還元反応



炭素の燃焼（完全燃焼および不完全燃焼）

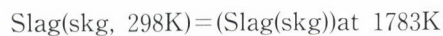


浸炭（C=4.8%）および昇温（1510℃）



スラグ（43%CaO-35%SiO<sub>2</sub>-15%Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-7%MgO）

(skg)の溶解（1510℃）



これらで記述される現象は、熱力学の第一法則（エネルギー保存則）および第二法則（エクセルギー減少則）の関係式が満足されなければならない。またガス利用率と必要炭素量の関係は反応温度に依存するが、平衡状態図における鉄-ウスタイトの境界線とソリュションロス反応の境界線の交点を平衡論的な還元反応の最低温度として求めた。詳細は割愛するが、これらの熱力学的・平衡論的な手法によって、溶銑1tを生産するのに必要な炭素量の最小値がスラグ量に応じて求められる。

### 2.1.2 工業的半理論最小値

現状の一貫製鉄各プロセスでの操業技術レベルを以下のように仮定する。

焼結機：焼結銑1tの生産につき、CaOを112kg、粉コークスを46.6kg、コークスガスを0.43kg使用し、必要電力量を30kwhとする。

コークス炉：コークス1tの生産につき、コークスガスの発生量を430 Nm<sup>3</sup>、発熱量を4,450kcal / Nm<sup>3</sup>、成分をH<sub>2</sub>/O<sub>2</sub>/N<sub>2</sub>/CH<sub>4</sub>/CO/CO<sub>2</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>/C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>=56.7/0.2/3.4/27.0/7.8/2.2/2.2/0.5%とする。必要電力量を7.5kwhとする。

高炉：溶銑1t当たり、コークス量を302.6kg、微粉炭量を150kgとする。また操業条件は、重油=0、スクラップ装入量=0、ダスト発生量=12kg、熱風量=851Nm<sup>3</sup>、富化酸素=28Nm<sup>3</sup>、酸素富化率=2.5%、熱風温度=1250℃、湿度=15g/Nm<sup>3</sup>、炉頂温度=119℃、炉頂ガス量=1348Nm<sup>3</sup>-dry、熱損120,000kcal、ウスタイト-鉄平衡温度=950℃、シャフト効率=1、ガス利用率=54.2%と仮定した（いずれも溶銑1t当たり）。高炉送風に要する電力量を100kwh、酸素製造に要する電力量を10.4kwhとする。

製鋼：酸素製造に要する電力を0.37kwh/Nm<sup>3</sup>、酸素使

用量を1チャージ当たり13,320Nm<sup>3</sup>、1チャージ当たり粗鋼量を280tとする。

一次圧延およびその他の部門：電力消費の実績値を使用する。圧延工程を47.5kwh、ポンプ運転動力を15.1kwh、補機運転動力を22.8kwhとする。

これらを理想的な操業として、これによって発生する温室効果ガス（GHG）の総量から炭素量を換算することによって求めた。

## 2.2 検討結果

### 2.2.1 熱力学的理論最小値

熱力学的・平衡論的な手法によって求めた二酸化炭素排出量の最小値は、溶銑1t当たりにスラグ250kgを必要とすると仮定した場合、炭素量換算で382kg（二酸化炭素量換算で1.4t、エネルギー量換算で12.9GJ）となる。この内訳は鉄鉱石の還元に必要な量が約72%、鉄の溶融および浸炭のために必要な量が約25%、およびスラグの溶融のために必要な量が約3%である。尚、スラグを必要としない場合には同じく炭素量換算で361kgとなる。

### 2.2.2 工業的半理論最小値

現行の一貫製鉄プロセスによる理想的な操業をベースとした手法によって求めた二酸化炭素排出量の最小値は、製銑部門から溶銑1t当たり炭素量換算で489kg、全プロセスを対象とした場合には粗鋼1t当たり同じく531kgとなる。前者に対する後者の増加分はいずれも電力消費によるものであり、一貫製鉄プロセスではコークスガス・高炉ガス・転炉ガスを使用して製鋼工程以下に必要な電力を賄うことが可能である。従って工業的半理論最小値として溶銑1t当たり炭素量換算で489kg（二酸化炭素量換算で1.8t、エネルギー量換算で16.5GJ）と考えることが適切である。

## 3 一貫製鉄プロセスの二酸化炭素排出実績値

今日の日本の一貫製鉄各社の二酸化炭素排出量の平均値は、粗鋼1t当たり炭素量換算で625kg（二酸化炭素量換算で2.3t、エネルギー量換算で21.1GJ）となっている。最も低い値の会社で574kg（二酸化炭素量換算で2.1t、エネルギー量換算で19.4GJ）、最も高い値の会社で735kgの変動がある。但し、これは省エネルギー対策設備・操業技術の差だけでなく、スクラップ消費量や電力構造の相違にも依存するものである。

先に求めた二酸化炭素排出理論値の、実績値に対する比率を表2に示す。



表2 炭素排出量の実績値に対する理論最小値の比率

|                       | 熱力学的理論最小値<br>(C換算382kg/t) | 工業的半理論最小値<br>(C換算489kg/t) |
|-----------------------|---------------------------|---------------------------|
| 平均実績値<br>(C換算625kg/t) | 0.611                     | 0.782                     |
| 最小実績値<br>(C換算574kg/t) | 0.666                     | 0.852                     |

(注：実績値には、スクラップ鉄の消費や余剰エネルギーの外販などを含むため理論値と同一条件で算出されたものではない)

ここで上述したように、実績値には数%から10%程度のスクラップ鉄を鉄源として含んでいることや余剰エネルギーを電力として外販していること、さらには理論最小値は溶鉄製造をベースとする値であるのに対して、実績値は表面処理材や特殊鋼材などの高級鋼材の製造エネルギーを含んだ粗鋼生産量をベースとするものであることなどの相違があり、単純な比較は必ずしも適切なものでないことに留意する必要がある。

これらを踏まえた場合でも、二酸化炭素排出量から見た、現行の一貫製鉄プロセスにおけるエネルギー使用効率は、天然資源を還元・溶融する熱力学的な理論最小値に対して60%以上、現行の製鉄プロセスが理想的に操業された値に対して80%程度の、かなり高い値を実現していると言える。

## 4 製鉄プロセスから排出される二酸化炭素量に関する国際比較

IISI理事会にて報告された、一貫製鉄プロセスでの二酸化炭素排出量の理論最小値の検討結果について検討する。理論値の算出条件については明確化されていないが、ベルギーのCRM(金属研究所)やドイツのVDEh(ドイツ鉄鋼協会)などの信頼できる機関による検討結果に基づく、溶鉄1t当たりの理論最小値はエネルギー換算値で12-14GJであり、上述した熱力学的理論最小値の12.9GJにほぼ近い値である。熱力学的理論最小値の検討では地域条件による相違が発生する要因はなく、鉄鉱石から鉄を得るために必要な理論的な最小値として国際的な認知が可能な数値であると言える。これに加えて熱延工程までを含んだ理論的最小値として16-17GJのエネルギー量が必要であると報告

されている。

また同報告に示された二酸化炭素排出量の現実的な削減可能限界の考察に拠れば、鉄源として100%鉄鉱石をベースとする熱延工程までの値は2.289t、鉄スクラップに100%依存する場合は0.526tとなっている。従って鉄スクラップを10%含む場合には2.11tとなる。前節で示した日本の実績値を再掲すると、鉄源としてスクラップを含み、熱延以降の工程を含んだものではあるが、2.1-2.3tとなっている。

## 5 まとめ

一貫製鉄プロセスの仮定で発生する二酸化炭素の最小値を理論的に求めることによって、社会が鉄鋼製品を必要とすることによって不可避な環境負荷量を把握することができる。またこれに対する現在の製鉄技術の位置付けと、今後の環境負荷削減努力の方向を認識することが可能になったと言える。現行の製鉄プロセスはエネルギーの有効利用の観点から考えた場合、他の工業的なエネルギー変換プロセスと比較してかなり高い効率を実現しているプロセスであると言える。また日本の一貫製鉄プロセス技術は世界的にも高いレベルの省エネルギーを達成しており、技術的には限界に近い状況にあることを確認することができた。

一貫製鉄プロセスは高いエネルギー効率を実現しているのみならず、保有する港湾などの設備は貴重な社会インフラであり、発電設備や廃棄物処理、中低温排熱の周辺地域やプラントでの有効利用の点でも大きな可能性を有するものである。今後はトータルコストミニマムおよびトータル環境負荷ミニマムの視点から、社会が求める鋼材供給のあり方や設備の有効活用の方策を求めていくことが、一貫製鉄ミルが果たさねばならない社会的使命の方向であることが明らかである。

## 引用文献

- 1) 八木順一郎, 秋山友宏: 国際鉄鋼技術委員会資料 (ISIJ International) に投稿予定)

(1997年8月26日受付)



—Enhancing of Research Personnel for Restructuring at Nippon Steel—

## 27



た経営計画の実行に着手した。

(1) 製鉄事業の国際競争力の再構築 → 3,000億円のコスト改善の実行

本社部門の間接費に占める本部の研究開発費用のウェイトの大きさから、大幅な削減対象となる。

(2) 経営ソフトのリストラチャリング → 「小さな本社」の実現

本部は全社のスタッフ部門である「本社」の一部門として、組織的・人的スリム化の徹底を求められる。

(3) 複合経営・グループ戦略の強化 → 新規事業・関連企業の自立化促進

## 2.2 本部が取り組んだリストラ目標

本部は、研究開発成果の早期実現を組織のミッションと認識したうえで、自らの研究開発活動の抜本的な重点化・効率化の徹底を基軸に以下のリストラ目標の具体的実行に努めるとともに、従来以上に踏み込んだ研究開発人材の精鋭化に総力を挙げて取り組んだ。

(1) 研究開発費用の30%抑制

研究開発テーマの重点化・優先順位付けを徹底することによって、研究リソースの縮減即ち人員削減と試験研究費の圧縮を図る。

(2) 研究者を中心とした40%人員削減 (図2 参照)

従来聖域視されていた研究者の合理化について、製鉄分野30%、新規分野50%を削減目途として諸方策に取り組むとともに、残る中堅・若手層を中心に人材の精鋭化を強力に推進する。

## 3 リストラ環境下での本部の人材育成への取り組み

### 3.1 土台にあった研究環境の整備

#### 3.1.1 「技術開発本部」の発足と「総合技術センター」への立地統合 (平成3年度)

当社は昭和45年旧八幡製鉄(株)・富士製鉄(株)による合併発足以来、研究拠点としては旧両社の東京近郊・北九州市等に分散立地していた中央研究施設を活用しながら研究活動を進めてきた。昭和60年代に入り21世紀に向けて研究開発の先端性・独創性を増すために中央研究部門の自律化を促す必要があるとの経営判断から、平成3年度に至り「技術開発本部」という組織体の発足および千葉県富津市に「総合技術センター」という中央研究開発拠点の建設を実現させた。これにより、研究―開発―設備エンジニアリングの立地統合と一貫した業務運営体制を確立し研究開発成果の早期事業貢献に拍車をかけることとなった。

同時に本部の組織体としての自律は、第一に研究開発に関するリソース調整やテーマ設定等企画・行政から研究実行・成果評価までを一元的にシステム化し担当することによって、従来ややもすれば受身的な仕事の進め方からの脱皮を可能としたこと、第二には、本部独自の人事セクションを持つことにより専ら研究者・エンジニアの人事に対処し部門固有の人事諸課題への積極的なアプローチを図り得る体制が整備されたこと等、本部活動の活性化に果たした意味合いは大きかった。

#### 3.1.2 研究者独自の新人事制度の適用 (平成3～7年度)

以上が組織・体制などハード面からの環境整備であるとするれば、人事制度の見直しはソフト面からの取り組みと言えよう。その骨格は、「新日鐵フェロー制度」を新設し研究者独自の新たな「職務層区分」を設定して、研究系列以外のスタッフとは別体系による人事・考課管理を実現することであった (図3 参照)。

意図したところは、研究者にはいわゆる昇進志向のみで

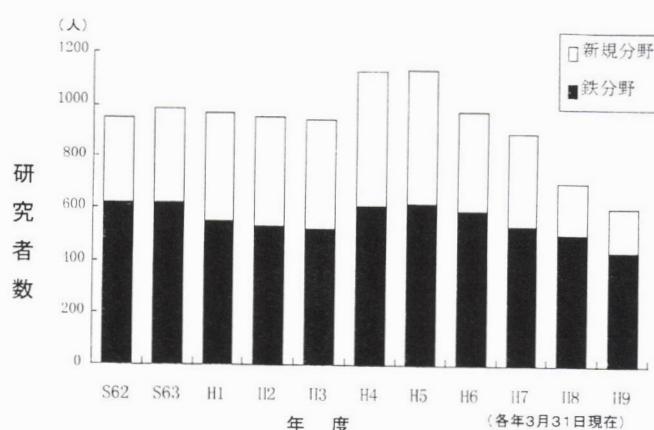
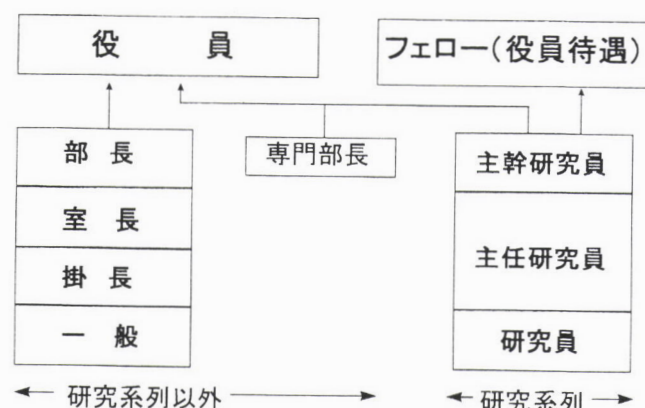


図2 研究者数の推移



(注)主幹研究員には、研究部門の所長、部長を含む

図3 研究者の新人事制度 (平成9年4月現在)



なく高度な技術専門性の評価・認知で明確に動機付けられるフラットな人事制度を用意することによって、真に研究者としての働き前を問い、中堅・若手研究者の競争意欲の喚起を図ることにあった。図3に沿って具体的な特徴点を例示すれば、次のとおりである。

- ・高度な研究専門性を持ち、社会的にも認知された研究者固有のボードレベルの処遇として「新日鐵フェロー」を新たに設け、研究者集団に独自の到達目標を明示した（注：平成9年4月現在フェロー処遇者6名）。
- ・研究者全体の約2/3を占める「主任研究員」層（30才～40才前半代）を中心にフラットな業務運営を進め、真に研究成果で競い合う組織風土を醸成した。
- ・研究企画・管理のリーダー役となるライン研究部長を「主幹研究員」の中から適材を一定期間（3～4年が目途）配置する仕組みとし、ベテラン主体の管理傾向があった研究マネジメントを見直した。

このように、従来製鉄所をベースとした現場管理型の組織・人事運用に追随しがちだった研究者集団への対応に、新しい考え方を取り入れることによって研究開発人材の育成・活性化の環境整備に努めてきた。

## 3.2 リストラに向けた人材育成取り組みの基軸

### 3.2.1 基本的な考え方

本部の平成6～8年度におけるリストラを引っ張ってきた本部の活動スローガンは、「事業貢献・精鋭化・業務革新」であった。このなかで、リストラという人減らし中心的后向きな取り組みイメージを払拭させ人材育成に本部の総力を向かわせたキーワードは「精鋭化」である。本部の幹部・フェロー・管理者層が議論をたたかわせ認識の共有化を経てまとめられた人材育成への取り組みに対する基本的な考え方を以下に示す。

＜基本的な考え方＞

- 専門技術力の深化・拡大  
—「専門領域での卓越度」＋「境界・周辺領域への働きかけ度」
- 少数化・人員構成是正の中での若返り化・OJT育成強化  
—研究者の再配置・転活用の積極展開・育成促進

このような考え方に立って、およそ1,000名から600名強の規模となる研究者集団に対して職場管理者・人事部門スタッフが一体となって限りなく個別人事管理にトライしたのである。要は、一人ひとりの研究者の技術力・持ち味を最大限に発揮させることを眼目とした人材育成へのチャレンジが行われたと言える。

次に、この基本的な考え方について若干説明を加えたい。

### 3.2.2 ‘専門技術力の深化・拡大’

一般的に研究の世界における専門技術力を考える場合、研究者とはまさに「専門領域での卓越度」に優れていればそれで良いと規定されがちであり、研究者自身の志向もそのことに向きがちである。本部としては、そうした考え方に対して新たに「境界・周辺領域への働きかけ度」という表現で、文字通り自分の専門性以外でも関連する専門領域において相応の技術力を体得する、ないしは技術評価し得る能力までは獲得することを明確に求めることとした。

実機化・商品化までの関与を宿命づけられている企業研究者として、そして少数化が促進される中で従来以上に事業への貢献を期待される研究者として、専門性一辺倒に陥らないよう意識の持ち方の変革を促すものであった。

### 3.2.3 ‘少数化・人員構成是正の中での若返り化・OJT育成強化’

今回の本部リストラは、これまで当社において聖域視されていた研究者集団に対してベテラン研究員の社外転出等による短期的で相当規模の減員を必然的に迫るものとなった。

このようにして進む少数化・年齢構成の若返りの中で、それまで配置が固定的であった中央研究所所属の研究者を思いきって再配置することによって、より複合的な技術力を身につけさせる、つまりOJTによる‘専門技術力の深化・拡大’を目指したのである。中央研究上位という漠然とした思い込みに対し、ローテーション、職種コンバートによる転活用等が育成の手段であることを明示する、そのうえで一人ひとりの研究者に、何のテーマをどのような場でいくらのコストと時間をかけて実行させるかを計画化しフォローすることによって、急激に若返る研究者集団をOJTにより育成することを職場・人事部門一体となって推進することとした。

こうして本部内における中央研究部門・製鉄所研究部門・研究行政等の間での人材の相互ローテーションを活性化することに併せて、本部外へも育成の場を求め積極的な人事措置を進めた。その具体的な再配置・転活用策の概念を図4に示すとともに、特色ある取り組みをいくつか列挙すると次のとおりである。

- ・若手優秀層の期間限定的なベンチャー企業・分社化事業への配置
- ・30才前後の研究者を対象とした「学位取得のための休職制度」の設定
- ・いわゆる‘国家研究開発プロジェクト’への中堅・若手研究者の目的参画
- ・ベテラン・中堅研究者の大学・高専等教職ポストへの積極的転職



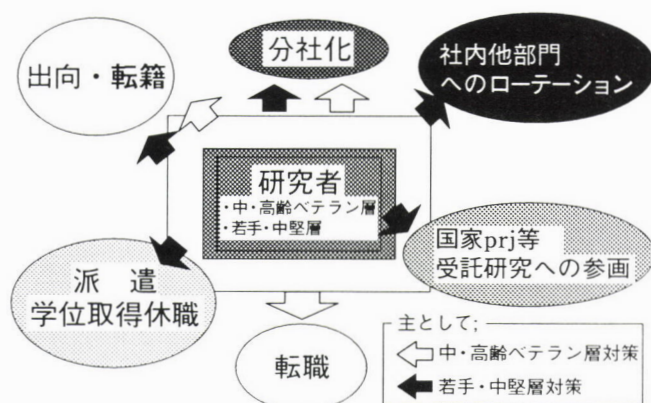


図4 研究者の再配置・転活用策

### 3.3 人材育成のための主要な新規施策

本部におけるリストラを着実に実行する一方、精鋭化に向け前向きに取り組んだ主要な新規施策について、具体的に触れてみたい。

- (1) 研究マネジメント職位に対する「機能論」の取り込みと配置の弾力化促進

ポイント：○研究ライン部長・グループリーダー層の若返り

○研究マネジメント職位OB者の積極的活用

前述したとおりややもすればベテラン主体の管理に陥りがちな研究マネジメントを、それが組織運営にとって重要であるが故に「機能」と明確に意味付け年功序列の考え方を排除し活性化させるため、その機能を担わせるのに最も相応しい人材を好ましいタイミングで当該職位に弾力的に配置することとした。これにより、大幅かつ急速に研究マネジメント職位配置者の若返りが実現【注：研究グループリーダー配置状況＝H4年度約90名・平均年齢48才→H8年度約50名・同43才】するとともに、研究ライン部長・グループリーダーを経験した実力派の研究員を再度高度専門研究者として積極的に活用する方途を開くなど、柔軟な人事配置が大いに促進された。

- (2) 'RE (Research & Engineering、即ち「技術開発本部」) キャリアアセスメント'の導入とキャリア開発への本人参画の強化

ポイント：○研究者独自の「自己申告制度」の採用

○ローテーションが育成手段であることの明示

中堅・若手研究者のキャリア開発の目玉となったのがこれらの取り組みである。

'REキャリアアセスメント'とは、入社10年目の研究者全員を対象とするキャリア開発のための個別面談（本人と上司である研究部長、人事スタッフの3者で実施）であり、

議論は当該者の育成状況・ローテーション等に関する本人申告と部長評価に基づいて対等で自由な雰囲気の中で行われ、その場で共有された確認・方向付けが記録・保管されて以後の個人毎の人事運用のベースとして活用されることになる。

その前提として、全社的にも毎年実施されている「人事調査表」による自己申告制度においても調査表の記入様式・内容面で研究者のみ独自のものを採用している。即ち、個人にとってのチャンピオンテーマによる年間業績・目標の申告、専門領域・育成類型の本人宣言、レーダーチャートによる適性・能力評価の廃止などが、研究系列以外の自己申告の運用との大きな違いであり、狙いとするところは、研究成果重視、専門性・独創性の尊重といった点が指摘できる。

また人事ローテーションに関しては、特に研究グループリーダークラスの育成を念頭に置いて、研究者としての異分野経験あるいは研究以外の異職種経験が有ることをリーダー起用の要件とする本部内運用ルールを定め、実際の人事配置を進めてきている。このことによって自己の専門・得意分野に埋没しがちな若手研究員層に対して、キャリア開発への関心・意欲を持たせるよう意図しているが、自分達の目の前で行われている人事異動の現実からのアナウンス効果とも相俟って、'ローテーションが育成手段である'ことの認識が定着してきている。

- (3) 本部長・研究所長の「業績・人事評価の基本理念、評価の視点」の公示

ポイント：○評価の客観化・オープン化の促進

○研究者の自立・独創への励ましと'個'の尊重

研究者の能力評価・業績の認知は、各々が所属する研究組織のミッションや各自の担当する研究テーマの内容・フェーズ等によって大いに影響を受ける。また、いわゆる企業人として'優等生'的であることは必ずしも全ての研究者に望まれてはいない。こうした研究集団における業績・人事評価の基軸をどこに置き何に求めるのか。

本部は平成6年度からこの命題に対する一つの挑戦として、本部長・研究所長の標記のような理念・視点の自筆メッセージによる公示に踏み切った。研究者個々人は全員に配布される幹部のメッセージを踏まえ、上司との対話を通して年度単位で研究テーマを設定し能力開発の目標を定め、また上司の評価もその過程をベースに本人との対話の中で共有化出来るように運用されている。

全社的に業績主義に基づく人事考課や「短期業績賞与」の運用による業績評価のオープン化が推進される中で、組織のヒエラルキーとの対応においてではなく一人ひとりの研究者の業績と能力開発などに焦点をあてたこうした本部



の取り組みは社内でも注目されており、今後ともより充実させるべく必要な見直しを検討していきたい。

以上の施策の他にも、◎国家プロジェクトへのメンバー参画・ユーザー共研促進等社外連携強化による研究活動の拡大 ◎「海外研究者受入制度」の新設・海外交流の積極化 ◎「フェロー塾」の実施等が挙げられるが紙面の制約上詳述を略させていただきます。

## 4 リストラ過程からの人材育成に関する教訓

### 4.1 リストラ過程での人材育成の取り組みが変えたもの

これまで述べてきた人材育成に対する新たな取り組みが、厳しい人員・研究開発費用削減を伴ったリストラが進行する中で、特に中堅・若手研究者層の研究活動の進め方や意識の持ち方などに関して、どのような変化をもたらしたかについて二点述べる。

#### (1) 事業貢献・競争原理を意識した研究活動の展開

研究における成果の出来映えは、研究テーマの設定如何にかかっているとよく言われる。全社的なリストラの取り組みが、本部に人員・コスト面で厳しさを迫ると共に研究開発成果による事業貢献をも強く求めたことは冒頭触れた。

本部発足あるいはリストラ以前においては、その組織的な位置付けや業務運営の仕組み等を反映して受身的な研究テーマの設定になりがちだった研究者たちが、今回の経験のなかで何より研究成果の「出口」を明確に意識して市場・現場ニーズに根差した研究テーマ設定を考えるようになってきた。自らの研究テーマにかかわるコスト・工期そしてそれが事業部門にもたらす収益を考え、研究着手段階から実機化・商品化のステップを念頭におく意識付けが定着しつつある。全社的にも技術陣のスリム化が進み業務の効率化が促進されるなかで、研究者の役割そのものが、研究論文を事業サイドにリレーするだけではなく研究ニーズ元における実績までをフォローし見届ける一貫した取り組みへの期待に変わってきていることを、多くの中堅・若手研究者が理解してきている。

そうした研究者たちの自覚をサポートしてきたのが、本部独自の「自己申告制度」の採用であり幹部による評価軸の明示であったと言える。

#### (2) ‘専門技術力’に対する意識改革の促進

‘専門技術力の深化・拡大’が今回の人材育成の取り組みのキーワードであり、その考え方や施策の進め方については先に述べたとおりである。

さらに補足するなら、この間に研究部組織の‘大括り化’を実施し、一つの部が担当する品種・工程・要素技術等につ

いての統合を進め研究者の活動や活用の土俵を広く構えるとともに、研究者個人に対しても‘マルチ専門性’を期待することを明確にした。本部幹部・フェローの言葉を借りるなら‘富士山型から八ヶ岳型の研究者志向’を企業研究者として促したわけである。

勿論、こうした本部内の研究者育成の取り組みを考慮しそれを補完するものとして、基礎・基盤研究ステージにおける大学・公的研究機関等社外との連携強化、‘準公募による大学委託研究制度’の新設を進めるなどの新たな方策も取り入れている。

人事運用や組織制度そして研究運営の様々な仕組みの見直し、従来「専門領域での卓越度」に価値づけられてきた研究者の意識の持ち方を、境界・周辺領域を含む幅広い専門性への働きかけを促し、事業成果に的確にタイムリーにつながる活力ある研究テーマ展開を引き出している。

### 4.2 今後の人材育成の活性化・促進に向けて

今回本部に迫られたリストラを人材育成を推進するうえでの環境変化として前向きにとらえ、主に中堅・若手研究者を対象に置きながら多様な新規施策に知恵を絞って実行に当たってきたこと、そして自画自讃するなら相応の成果を挙げてきたことについて述べてきた。

しかし一方で、多くの有能なベテラン研究者を本部外に送り出し、本部の研究者構成がこれまで経験したことのない規模とスピードで若返りスリム化したことで、本質的な研究ポテンシャルや技術・ノウハウの伝承といった面で新たな問題を抱え込むことになったことも、また厳然たる事実である。

現在本部は、今日までのリストラの実績と今後の対応すべき課題を踏まえて、新しい取り組みをスタートさせている。中でも人材育成の活性化については、今回の活動を通して整理してきた残された課題認識に対して、本年度からの本部の新体制の下で検討の緒についているところである。従って、ここでは当時の課題認識について列挙するととめたい。

#### (1) 少数の精鋭化を真に実現させる計画的な配置・育成の一層の強化

- ・今回リストラ下で新たに取り組んできた人事施策のさらなる充実と積極展開
- ・研究成果の早期事業貢献に向けた戦力の集中配置促進・事業要員の育成支援

#### (2) 若手研究者の早期育成に向けた仕組みの充実

- ・初任配置における集中配置分野の拡大検討等新入社員配属方針の見直し
- ・若手・中堅層の社内外幅出しローテーション人事の



一層の促進

(3) 戦力構成の多様化・配置弾力化の推進

- ・アウトソーシング拡大と分社化研究事業展開によるベテラン研究者の活用
- ・社外（‘官’を含む）戦力受入れ、契約による研究者期間限定雇用の拡大実施

## 5 おわりに

既に本部のリストラ施策の推進に関与してきたポストを本年4月に離れた小職にとって、本小論をとりまとめる機会をいただいたことにより、改めて本部の取り組んできた

人材育成の過程を振り返り、その成果とともに途上の苦勞、至らなかった反省など感慨深いものがある。

しかし、この3年間の本部の総力を挙げた人材育成への取り組みが、厳しいリストラ環境のなかで研究者一人ひとりの活性化を鼓舞し自立を促し、そして全社の技術をリードする多くの研究成果を引き出す役割を少なからず果たしてきたことを自負している。

研究の世界においては‘人材’こそが財産であり競争力の源泉である。そしてその‘人材の育成’は永遠の課題である。読者諸兄のご批判・ご意見をいただければ幸いである。

(1997年9月4日受付)





## 入門講座

システム技術編- 1

# マルチメディア時代の生産システムシミュレーション

藤本英雄

名古屋工業大学 機械工学科 教授

Hideo Fujimoto

Manufacturing System Simulation in the Multimedia Era



## 1 システムモデリングとシミュレーション

### 1.1 モデリングとシミュレーション

生産システムのような複雑なシステムを十分評価することは、解析的なアプローチのみでは不可能である。そこで近年では、コンピュータを利用するシミュレーション(simulation)技術がよく用いられる。製品設計の分野では、CAE(computer aided engineering)とも呼ばれ、システムの動的性能評価をビジュアルなグラフィック表示を利用して行うことが少し依然から積極的に行われている。NCパーツプログラミングにおける工具の動きをグラフィック上に表示するビジュアルシミュレーション、視覚対話型シミュレーションが最近の傾向であろう。

ロボットやフレキシブル生産システム(FMS)のシミュレーションも注目される分野である。ロボットシミュレーションにおいては、3次元空間上で障害物やコンポーネント間の衝突チェックを効率良く行うことが重要な課題である。加工の際の工具の動きやロボットの衝突チェックなど実システムでは、試行が困難なやり直しのきかない場合にシミュレーションは効果を発揮する。このような場合コンピュータシミュレーションでは、パラメータ値を変更し、何度でもやり直しをすることができる。

FMSシミュレータの利用も今後増大すると思われる。FMSのような複雑なシステムの運用評価を解析的に行うことは困難であり、FMSシミュレータはコンピュータを利用することによってシステムの性能を効果的に評価できる可能性を持っている。今後、多種中少量生産を実現する手段としてFMSの社会的ニーズの増大とともに、各種機能を備えたFMSシミュレーションの設計や運用への適用の重要度は高まると思われる。シミュレーションにおいてはモデルの構築技術(モデリング、modeling)が重要である。

シミュレーションでは実物の模擬表現をつくらなければならない。この模擬表現をモデルという。シミュレーションは、モデルからなんらかの解を導き出すのに用いられる方法である。解析的、数値的な解法により解が求められない場合にその有効性が高い。ここでは数学的モデルを用いたコンピュータによるデジタルシミュレーションを対象とし、この場合、モデルはデジタルモデルと呼ばれる。

モデルは偽物であり、本物ではない。特にデジタルモデルでは、実物を正確に詳細に表現することは、不可能であり、対象システムの調べようとする本質に注目し、それに関連する部分だけを取り出してモデル化する。このようにモデルの抽象化と対象を絞りこんだ限定的模擬がデジタルシミュレーションの大きな特徴であるとされている。

デジタルモデルには、連続系モデルと離散系モデルがある。連続系モデルは、対象システムが時間の経過とともに連続的に変化するという考え方に基づいており、システムの変化を差分方程式で表現する。連続系モデルは事実により忠実なモデル構成法であるとされている。一方、離散系モデルは、対象システムが不等時間間隔で生起する事象により不連続的に変化すると考える。このように、連続系モデルではシミュレーション時刻は等時間間隔で進行するのに対して、離散系モデルでは事象に依存して不等時間間隔で進行する。

### 1.2 生産シミュレータ

#### 1.2.1 シミュレータ

複雑な競合関係を有する同時並列現象の処理は難しく、汎用のプログラミング言語を用いてシミュレーションプログラムを書くことは一般に容易でない。このため、シミュレーション専用のプログラミング言語あるいはシステムが開発され、通常、シミュレータと呼ばれている。このような汎用シミュレータは、あらゆるシステムに適用できるこ



とを目的にして作られており、プログラミング言語としての性質が強い。

一方、専用シミュレータは、目的を限定したシミュレーションのために用いられる言語というよりむしろアプリケーションパッケージという傾向が強い。そしてこの場合、モデルは所定の形式のデータ群より構成されることが多い。さて、シミュレーションプログラムには、ほかの一般的なプログラムと異なる共通した特性がいくつか存在する。そしてこれら共通した特性に注目し、その処理を簡略化する機能をもたせるプログラミング言語がシミュレータであるといえる。

### 1.2.2 時間の進め方

コンピュータ上のモデルでシミュレーションを行う場合には、タイミングが重要である。それは、実システムの構成要素は、同時に作動するのに対して、シミュレーションの構成要素は、逐次的に作動するからである。実システムでは、いくつもの事象がシステムのいろいろな箇所で同時に起こることがよくあり、またシステムの各箇所間には、依存関係がある。それゆえ、シミュレーションモデルの時間進行機構をシステム構成要素の動作が同期するように作ることが大切である。シミュレーションモデルでの時間の進め方には二つの基本型がある。まず、固定時間増分法(単位時間方式)である。この方法では、コンピュータモデルが等しい時間間隔で進行するように作られる。

可変時間増分法(事象方式)は、ある事象の起きた時点から、つぎの事象の起きる時間まで時間を一挙に進める方式である。この場合、一般に時間間隔は等しくない。一般的に固定時間増分法よりもシミュレーションの実行時間は速くなるが、プログラムは複雑となる傾向がある。

### 1.2.3 モデル構成概念

事象(event)は、システムの状態になんらかの変化を生じることができるとあり、事象が生じたときだけ、状態は変化する。活動(activity)は時間の進行とともに実行されるものであり、その開始および完了の時点において事象が生起する。素材の加工待ちや加工中が活動の例であり、加工の開始・終了が事象の例である。また、トランザクション(transaction)とは、時間の経過とともにシステムの中を動きまわるもので、工作物、工具、搬送車、作業者がこれにあたる。これら三つがモデル構成概念の基本である。

まず、事象中心モデル構成法では、事象が生じた時だけシステムの状態は変化する。そして、いつどのような事象がどこで生起するか注目してモデルを構成することを基本としている。つぎに、活動中心またはプロセス中心モ

デル構成法では、モデルは対象システムで行われるすべての活動間の時間的連鎖に着目して記述される。そしてトランザクション中心モデル構成法では、システムの変化はすべてトランザクションの動きによって引き起こされるという考え方に基づいている。

## 2 FMSスケジューリングとシミュレーション

規模の大きな問題に対しては、計算時間などの点からスケジューリングルールを用いたコンピュータシミュレーションによって解を求めることが行われている。この場合、どのスケジューリングルールをどういう場面に用いればよいかということがわかっているならば、解を求めることができる。

この方法は、あらかじめ与えられたルールによってスケジュールされるので、最適解を求めることは望めないが、いろいろな評価基準やシステムについて検討できる利点がある。

ルールを利用して解を求めるには、評価基準とルールとの関係が必要である。この方向に沿ってスケジューリングルールと評価基準の関係を検討した研究事例を以下で説明する。

シミュレーションにより検討を行うためシミュレータを準備する必要がある。用いるシミュレータは、事象駆動型で可変時間増分法を採用しており、主に次の点に着目して作成されている。

新しい設備や機械の導入、また機械類の廃棄に対応したモデルの変更が容易なこと。このためモデル構成要素のユニット化をしている。入力情報などのデータの更新、変更が容易に行えること。このため情報のデータベース化を進めている。プログラムの修正・拡張が容易なこと。このためプログラムのモジュール化を用いているなどを特徴としている。

より現実のFMSモデルに類似して、以下の四つの意志決定場面のモデルを考慮する。

#### (a) 倉庫からジョブへ投入するジョブの選択

倉庫内に存在するジョブのうち、どのジョブを優先してショップへ投入するかを決定を行う場面

#### (b) 各機械でのディスパッチング

各機械の入り口バッファに列んでいるジョブのうち、どのジョブを優先して加工するかを決定を行う場面

#### (c) 次行程の代替機械選択

一つの行程が終わったとき、ジョブが次の行程のために訪れる機械の決定を行う場面



## (d) 入り口バッファでのジョブの引き取り

入り口バッファに空きができたときに、どの機械の出口バッファのどのジョブを優先してその入り口バッファに持ってくるかの決定を行う場面

さて、現在までに考え出されているスケジューリングルールは膨大にあるが、ここでは様々な文献を参考にして広く使われている物を取り上げる。各意志決定場面で適用するスケジューリングルールとして、以下のような物を考える。

FIFO (入荷した順に出荷するルール)、FDD (納期の早いジョブを優先するルール)、LPT (加工時間の長いジョブを優先するルール) など23種類である。

評価基準は総生産時間、平均滞留時間、最大滞留時間、納期遅れジョブ数、平均納期遅れである。

対象とするFMSハードウェア構成を図1に示す。

ジョブは、中央倉庫、1台のローディングステーションとアンローディングステーション、入り口と出口にバッファを持つ6台のマシニングセンター(MS)、無人搬送車(AGV)から構成されている。

種々の実験条件の下で、すべてのジョブのそれぞれの行程段階における代替可能機械の点から、次の2通りの条件を考えることにした。

- (1) 柔軟性のある場合：MC全6台のうち次の行程を処理することのできるMCの台数を2～4台の乱数で与える。
- (2) 柔軟性のない場合：代替加工できる機械が一つもない場合。

とした。

以上のように四つの意志決定場面を考えて、それぞれの

意志決定場面で用いるスケジューリングルールの組み合わせと評価基準について、よい結果のでたルールの組み合わせ、悪い結果のでた組み合わせを求め、それぞれの評価基準に対して検討を加えて、いくつかの結論を得ている。遺伝アルゴリズムを用いた最適ルールセットの作成法も検討されている。

シミュレータを用いたシミュレーション結果より得られた結論を例えば、スケジューリングエキスパートシステムの知識ベースとして蓄え、利用する方法が可能である。

## 3 マルチメディア時代の生産システム

### 3.1 モノづくりをめぐる最近の話題

人間が道具を獲得して以来、ファクトリーオートメーションは機械化、自動化、システム化、情報化の時代を経て進展し、物づくりの現場でのコンピュータ利用の高度な知能化はますます進展しているし、今後も続くであろう。一方では人間や自然に目を向けた環境と生産とのかかわり合いの重要性が指摘されている。これらを調和させた物づくりの新しいパラダイムの構築が望まれる。

「物質」を中心とする近代科学、そして19世紀末から生産を支配する「機能」、「効率」重視に対して、最近、人類の文明や科学技術は、「共生と循環」の原理に基づくべきであることや、物作りにおいて「人間科学」の視点に立つことが重要であることなどが科学論や哲学の分野の多くの学者により提唱されている。工学においてさえも、「人間」や、「心」とか「感性」とかを対象に明確に含めるという方向性である。これらを工学的に扱う体系は、まだ漠然としており、本質的な解決には今後の展開を待たねばならない。

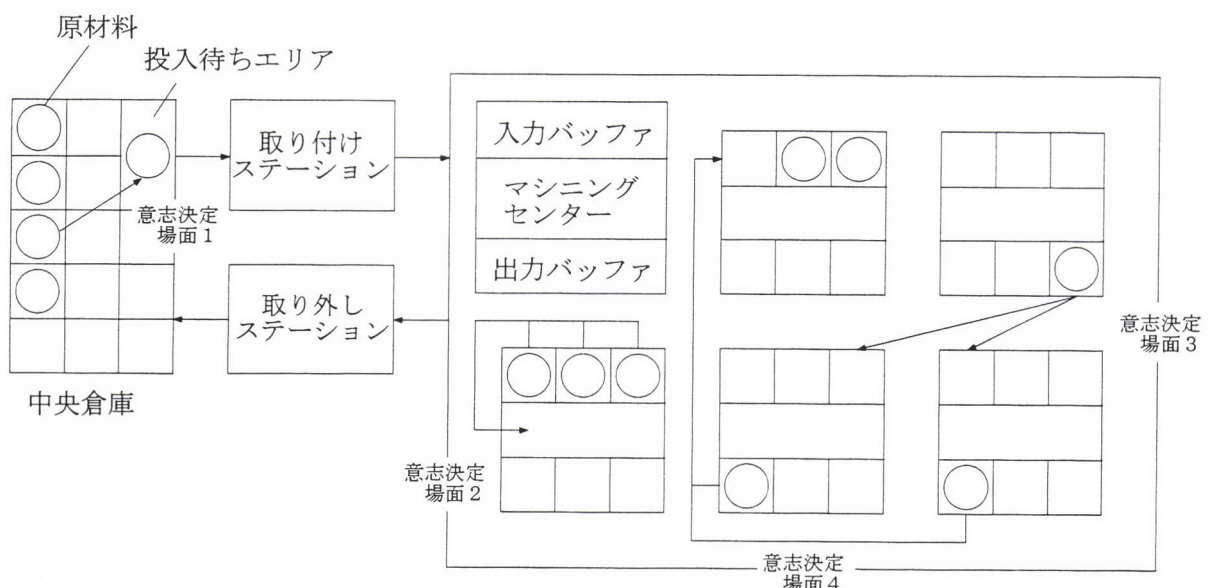


図1 FMSハードウェア構成



物づくりにおいて機能と効率に対する価値観を変えることが必要であろう。人間科学に基礎をおいて、何を作るのか、どの様に作るのかという物づくり哲学が要求される。

何を作るのかに関しては身の回りの商品がどの様に我々の生活に役立つのか。たとえば、機能的に便利であれば良いというのではなく、人間に不足している能力技能を最低限補助するだけの道具であることなども一つの考え方であろう。電動自転車バスの設計思想は注目に値する。

どの様に作るのかに関しては、開発設計生産期間の短縮、製品コストの低減、品質の向上を目的とするコンカレントエンジニアリング、バーチャルファクトリーでは、より高度なコンピュータ化の下で、生産活動全般（トータルプロダクトライフサイクル）を対象とすること、モデルに人間を含む方向をとるであろう。同時に環境問題に対する対策や高度コンピュータ化の時代での人間性の回復や安全性に関して、人間にとってわかりやすく理解しやすいコンピュータ環境が望まれる。そこでは臨場感に配慮したインタフェースやソフトウェアの透明性の向上が不可欠であろう。

### 3.2 コンカレントエンジニアリング

コンカレントエンジニアリングとは、設計の早い時期に、生産性を考慮して、全体としてよりよい設計を行おうとするものである。コンカレントエンジニアリングにおいては、生産の一連のプロセスに対して、それに関連するいくつかの専門技術グループが協調して、作業を効率的に行うための共通の計算機支援環境を必要とする。

早期の製品化や品質の向上、製品価格の低減などの目的のためにコンカレントエンジニアリングにおける「協調」作業を必要とする。アジャイルマニュファクチャリング、リーン生産方式なども同様である。

従来は、設計から生産までのプロセスは、シーケンシャルな一連の流れにより処理されているが、コンピュータシミュレーション技術やCAEなどの進歩により、コンカレントエンジニアリングにおける計算機環境の下で、同一のコンピュータ内プロダクトモデルにもとづき、並列に一連の処理を行うことが考えられる。並列に処理することによって開発生産期間が大幅に短縮できる可能性が高まる。

以上より、コンピュータをインテリジェントに利用して、製品の開発生産期間を短縮することと各部門の技術者が協調して生産活動を行うための技術を広い意味でコンカレントエンジニアリングという。

重要なことは距離や空間と時間の拘束を緩和した物づくりの技術であるといえる。

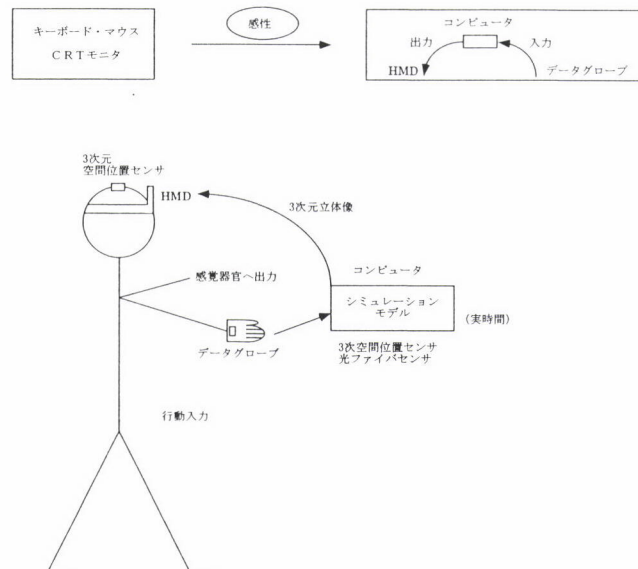


図2 バーチャルリアリティシステム

## 4 バーチャルリアリティと ヒューマンインタフェース

バーチャルリアリティ (VR) を人間とコンピュータのコミュニケーションの道具として用いることにより臨場感を増すことができる。

今後の物づくりにおいて人間の果たす役割は増大するであろう。これに対応してモデルに人間を含ませる人間機械生産システムのモデル化が重要になるであろう。同時に解法に人間を参加させる人間機械意志決定システムが考えられる。

この場合、高度にコンピュータ化した時代における人間性の回復や安全性に関して人間にとってわかりやすく理解しやすいコンピュータ環境は不可欠であろう。臨場感に配慮したインタフェースとともにソフトウェアの透明性の向上が望まれる。臨場感や透明性という助けの下で複雑な人間の意志決定に対して、単純化することなく総合的な判断を下すことができる。

バーチャルリアリティは3次元的な入力と五感への直接出力が特徴である(図2参照)。入出力デバイスがハードウェアで、インタフェースと仮想世界はソフトウェアである。インタフェースの中で、人間の側に関係する技術は認知工学、心理学、生理学などである。システム側に関係する基礎技術は管理と制御のソフトウェア関連としてAI技術、感性情報の処理、モデリング技術、シミュレーション技術などがある。仮想世界表現に関する技術は仮想モデルと仮想環境である。



新しい芸術表現の方法である、コンピュータシミュレーションのより発展した一形態である、人とComputerとの間の新しいコミュニケーションのためのInterfaceである、Tele Roboticsの新展開であるなどVRの定義付けは色々である。いずれにせよ、VRで扱う対象のタイプとしては、コンピュータ内に構築された仮想のモデルを将来製品として実現する前に扱う、人間の感覚機能では通常、感知されない顕微鏡下のマイクロな対象や分子、原子の世界など、実在するがスケールの大きいまたは小さいモデルを我々の常識のスケールの世界へ表現し扱う、人間が問題解決を行う際のプロセスや種々の概念の世界を視覚などの感覚の世界へ表現して扱う、これには実在しない人工生命なども重要な興味の対象であろう、などが考えられる。

## 5 バーチャルファクトリー

### 5.1 仮想生産

コンカレントエンジニアリングでは、バーチャルファクトリー／バーチャルマニュファクチャリングのような概念が提唱されている。これは、実際に生産する前にコンピュータの中で製品を生産し、製品開発期間を短縮したり、製品の品質を確保しようというものである。ヒューマンインタフェースとしてバーチャルリアリティが利用される。

仮想設計、仮想開発、仮想解析、仮想試作、仮想生産と呼ばれ、仮想のモデルを用いて仮想の時間によりVirtual Worldで、コンピュータシミュレーションが実行される。もともと仮想の世界で実施されている内容と従来よりシミュレーションによる効果が期待できる衆知の分野である。

いくつかの工場を仮想的に一工場のように管理するために、データのやりとりは双方向であるコンピュータネットワークを用いた生産管理(Management)システム、Virtual Enterpriseも実用化の模索が始まっている。遠隔による技術支援が後者の特長である。

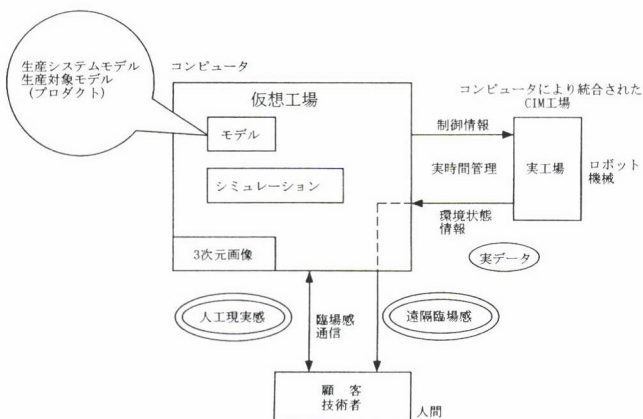


図3 実仮想統合型生産

### 5.2 遠隔臨場生産

Tele 又は Computer Network Robotics (Operation, Manufacturing) と呼ばれ、Real Worldを作業対象とする。

データのやりとりが双方向であることと、遠隔操作と操作感の双方向が、特徴であるが、距離や空間に関して、今いる世界と異なるという意味のVirtual Worldを対象とする。Real Timeな情報通信技術と臨場感を出すための五感に関するハプティックスインタフェースの重要性が高い。複数の工場の生産設備の制御系コントロールをComputer Networkを利用する遠隔で行うシステムも含まれる。

コンピュータ内に仮想的に構築された生産工場又は、実工場をオフィスから仮想体験する遠隔臨場感・制御システムとともに仮想工場と呼ぶことが多い。カメラによる現場の映像やセンサにより取得された各種情報、およびコンピュータ内に構築されたモデルを活用し、仮想環境のシミュレーションと、実工場の遠隔臨場感・制御を併用して実現するシステムである。人とコンピュータ、実工場とのコミュニケーションに人工現実感の技術が必要なことはいうまでもないが、その他にも多くの課題が存在する。コンピュータ内の仮想生産環境に対する並列シミュレーションや、実工場と仮想工場の生産システム間で情報のやりとりをおこなわせることによる、Real Timeな並列処理の実現のために遅れ対策などの時間管理の工夫が必要である（図3参照）。

### 5.3 バーチャルファクトリーの課題

Computerによる情報通信ネットワークと各分野固有の物づくり技術が前提となる。情報伝達の遅れは臨場感にとって致命的であること、特にインフラストラクチャ（基盤技術）としてのネットワークに関しては、回線容量やデータの種類などのより一層の向上が望まれる。

力覚仮想現実感が重要な役割をするため、力覚や触覚に関する効果的なフォースディスプレイ、ハプティックインタフェースの開発が今後の重要課題の一つである。

人間の心と感性を扱うHuman Worldを対象とする人間との調和型生産も重要である。

ヒューマンインタフェースに代表される仮想現実感技術は、人間とコンピュータとの調和を実現するための強力な道具（ハードウェア）であり、真のヒューマンオリエンティドシステムには不可欠な技術である。VR技術を利用して、直接操作による形状フィーチャモデリング及び設計、工程設計への支援を行うことができる。

人間工学や従来のマンマシンインタフェースにおいて、人間と機械との調和はハードウェアレベルに重点が置かれている。これに対して人間とコンピュータのソフトウェア



の調和やソフトウェアの透明性に関する検討はこれからの課題である。

リサイクルとバーチャルファクトリーとの関連について述べる。資源と環境に留意する必要性が増大している。この点からも生産のパラダイム変化が求められている。製品の設計や生産プロセスにリサイクル性を考慮するためには、従来の生産系技術に対する還元系技術をも含めて体系化が必要である。たとえば、製品生産における組立問題と同様に解体問題を考え、組立性評価法に対して、解体性評価法を確立することが望まれる。解体性評価はそれを行うには計算機内のモデルを用いる必要があることなどのためバーチャルファクトリー、仮想生産の重要な課題であるという指摘もある。

生産活動全般を対象とするCALSにおいては、従来のコンカレントエンジニアリングの技術をより広く生産系と還元系を一体として考える必要がある。究極のコンカレントエンジニアリングとしてのバーチャルファクトリーが構築される。

## 参考文献

### 第1章：

- 1) 藤本英雄：コンピュータ統合生産システム，コロナ社，(1994)。
- 2) 藤本英雄：日本機械学会テクノライフ選著 変わる生産のしくみ，オーム社，(1994)。
- 3) 藤本英雄：日本機械学会論文集，55 (1989)510，476。

- 4) 藤本英雄：日本機械学会論文集，55 (1989)510，484。

- 5) 藤本英雄：機械と工具，工業調査会，33 (1988)。

### 第2章：

- 6) 藤本英雄：計測と制御，計測自動制御学会，33 (1994) 7，533。
- 7) 藤本英雄：生産スケジューリングの新展開，M&E，工業調査会，(1995)。
- 8) H. Fujimoto and K. Yasuda：Proc. of New Directions in Simulation for Manufacturing and Communications，(1994)。

### 第3章：

- 9) 藤本英雄，菅野重樹：日本ロボット学会誌，日本ロボット学会，10 (1992) 3，310。

- 10) 藤本英雄：機械の研究，養賢堂，48 (1996) 2，227。

### 第4章：

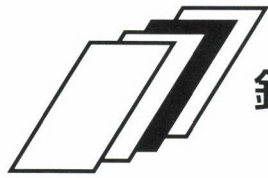
- 11) 藤本英雄編著：人工現実感の展開，コロナ社，(1994)。

### 第5章：

- 12) 藤本英雄，仲町英治：ヴァーチャルファクトリー，工業調査会，(1994)。
- 13) 藤本英雄：マルチメディア時代のバーチャルファクトリー，モノづくり未来論コンファレンス，日本機械学会，(1996)。
- 14) H. Fujimoto：Virtual Factory in the Multimedia Era, Keynote Speech of Int. Conf. on Computer Simulation, IEE & LAAS, (1997)。

(1997年9月29日受付)





## 鉄の歴史

### 戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 線材圧延 —戦後の復興期から発展期におけるいくつかの回想—

三宮章博

元条鋼部会長

Akihiro Sannomiya

Wire Rod Rolling—Recollections of the Past Development after the War to the Mid 1960's—

#### 1 はじめに

第二次大戦後の我が国の線材圧延機の発展の歴史を整理すると、

- (1)昭和20年代：戦前からのガレット式及び半連続式ミルを主体とした復興期（仕上圧延速度10m/秒程度）
- (2)昭和30年代：各種全連続式ミルによる第一次発展期（仕上圧延速度20～40m/秒）
- (3)昭和40年代後半以降：ブロックミルによる第二次発展期（仕上圧延速度50m/秒以上）

に大別できる。

今回、本稿で設定された対象期間は上記(1)及び(2)に相当するもので、いわば線材圧延の近代化思想の萌芽期を経て各種様式のミルが誕生し、我が国でも多くの新線材ミルの稼働が相次ぎ線材圧延技術の躍進の一步を踏み出した時期に相当する。

しかしながら、これら昭和30年代のミルもその殆どが歴史的役割を終え既に姿を消し、今日の設備から当時を想像することが困難なほど設備も隔世の進歩を遂げ、圧延作業も暑熱・重筋の肉体労働の大部分が解放されて安全・環境も飛躍的に改善されている。

当時の設備や操業については多くの技術資料<sup>1)~4)</sup>があり、今日でもその一端を伺い知ることができるが、本稿では当時の線材圧延技術者が往時を振り返り、目覚ましく変化した技術課題への取り組みや操業にまつわる経験や雑感を綴ることにした。本編の企画の主旨として当該時代の先人達の体験を通した技術展開の様子が求められていたので、該当する方の座談会から得られた生の声を中心に記述した。ただ、諸般の事情から対象会社を1社のみで行なった故に業界全体の姿を映しきれないこと、内部情報に入りすぎた点などあるが、当時線材ミルを操業していた数社のうちの1例としてとらえていただければ良いと思う。

#### 2 戦後の工場再稼働

昭和20年3月以降、数度にわたる大空襲により神戸の街は甚大な被害を受け(図1)、海岸地区の平炉8基のうち3基は全く稼働し得る状況になかった。幸い圧延工場は全焼を免れ、昭和20年11月に操業を再開した。

戦後復興への第一歩である第二線材工場での生産再開に携わった元圧延職長（当時18歳）の体験。

\*終戦後、2ヶ月程して会社から呼び出され、第二線材工場の再稼働の準備を命ぜられました。設備は空襲のため、あちこちが破損していましたが何とか形を留めていました。

\*10月初めから4～5名で圧延再開の準備に入りました。圧延用冷却水に海水を使用していたため、ボルト、ナット、部品類はひどく錆びつき、これをガスで切断したり錆落としや油塗りに手間がかかりました。予備品も供出のために在庫が乏しく、調達も工場の焼け跡から探し出すしかありませんでした。配管内にも既に錆や貝殻が詰まっていました。



図1 空襲後の神戸市街地と製鋼所



\* 昔の仲間がボツボツと職場復帰し、次第に人が増えてきました。11月初めに手持ちのピレットを使って圧延を再開しましたが、最初は仕上列まで圧延材が通らずミスロールの山を築きました。設備の整備が十分でないという問題もありましたが、終戦直後の混乱の中で熟練工の多くが郷里に帰ってしまい、若手や他の圧延工場の作業者の応援で再開したために作業に不慣れであったことが大きな原因だったと思います。

\* 当時は12時間勤務でしたが、昼間は電力不足でよく工場が止りました。その後次第に人も増え、夜勤も生産する2交替となりました。当時の加熱炉は石炭焚きで、圧延の調子が良いと加熱能力が足らず、ピレットの焼きムラが大きくなり、これには圧延の「箸方」や「調整方」は苦勞させられました。

\* 何しろ食べ物が無い時代でしたので、給料の他に里芋やカボチャなどの現物支給がありました。昼食は全くひどいもので、アメリカ製の干しリンゴやカボチャがよく出たものです。3時にはふかし芋が出ましたし、また残業するとパサパサのダンゴが出たこともあります。休憩時には工場の端の岸壁でせっせと魚やカニを捕り、腹の足しにするという時代でした。正月には会社から鯛をもらったことも記憶に残っています。

\* 終戦後の圧延再開作業は大変でしたが、戦争が終わって何かホッとした気持ちもありました。先輩がいなくなり新人が増えたため、それまでベテランが譲ろうとしなかった花形の「箸方」作業などの仕事もやらせてもらえるようになり、技術を磨くチャンスも与えられました。職場にも再出発の気運が日々昂まっていったようでした。

### 3 昭和20年代の線材圧延作業

戦後、復旧・再建のため本格的な鉄鋼需要が開始したのは昭和21年秋頃からであったが、石炭を始めとする原料の不足から鉄鋼生産は伸び悩んでいた。こうした状況を打開するため、政府は昭和22年1月にいわゆる「傾斜生産方式」を導入した。輸入重油を使って鉄鋼の増産を図り、その鋼材を優先的に炭坑へ振り向けることによって石炭の増産を図る。その石炭を鉄鋼生産へ優先的に振り向けることによって更に鉄鋼の増産を行うという相互拡大循環による産業基盤の拡大再生産を狙ったものであった。この「傾斜生産方式」の本格化により、炭坑用ロープに使われる高炭素鋼線材などの需要も増えていった。

生産能力15,000 t/月の半連続式線材ミルが需要増大と共に繁忙が続き、ドル箱工場として最盛期に入っていた。その工場の作業と風景の回想。

\* 素材は180kgのスモールインゴットが使われ、燃料は石炭→発生炉ガス→重油へと変わっていきました。銅塊にテーパーがついていたので装入時にはリフマグで吊って一本おきに方向を反対にして並べ、抽出側でターナーで再び反転する作業をやっていました。今思えば、よくあの様な作業が続けられたものだと思います。

\* 粗列第一連続は一本通しで圧延され、ロータリーシャーで二つ切り後、3本通しの粗列第二連続（図2）に入ります。第三列と仕上列（図3）は圧延機が横配列なのでスタンド間の圧延材の誘導は角形状についてはレビーターが使われていましたが、オーバル形状の箇所については「箸方」と呼ばれる人手による作業（図4）でした。

\* 圧延の主役はこの「箸方」作業でした。圧延材の先端がロールから出てくるタイミングを測り、オーバル形状の熱鋼の先端部を鉤型の鉄箸で掴み、オーバル形状の熱鋼を縦にした状態で次のロールのガイドに突っ込みます。10m/秒の速度で出てくる熱鋼をループを収める溝の中にきちんと入れるため「箸方」自身も身体を180度回すことになります。先端を掴み損なった時には、ループをさばきながら掴み直す技術や、先端部の温度が低下すれば、片手に斧を持ち最先端部を切断した後、ガイドに入れるなど個人技の生きる作業でした。仕上スタンドに行くに従って圧延材の通し本数が増え、最終スタンドでは最大9本通しにもなるので、ループをたくれさせないように気を配り、高温多湿と粉塵の中での重労働でした。断面の大きな熱鋼を扱う第三列の「箸方」は15分作業して45分休憩、また仕上列では15



図2 半連続式線材ミル（粗列第二連続）



分作業して30分の休みがありました。

＊「箸方」の相方となる作業が「尻押え」で、オーバル形状のループの後端を箸で押え、ループが跳ねたり、最後端がピッグテイル状にたくれガイドに詰まることを防止するのが役目で、「箸方」の安全を確保する上で重要な仕事でした。しかしこの作業は交替が少なく、単調で給料も安く、しかもヘマをすると先輩の「箸方」のカミナリが落ちるので辛い仕事でした。通常の作業の中で新米が「箸方」の練習をさせて貰えるチャンスが与えられることは殆どありませんでしたが、皆「箸方」に早くなりたくて必死で技術を盗もうと努力したものでした。

＊仕上スタンドには「油差し」と呼ばれる作業員もいました。仕上スタンド入口のフリクションガイドは製品寸法精度を保つため、非常に隙を小さくして組み立てていたので、80kgの圧延材が一本通る度にグリースをガイドにすばや

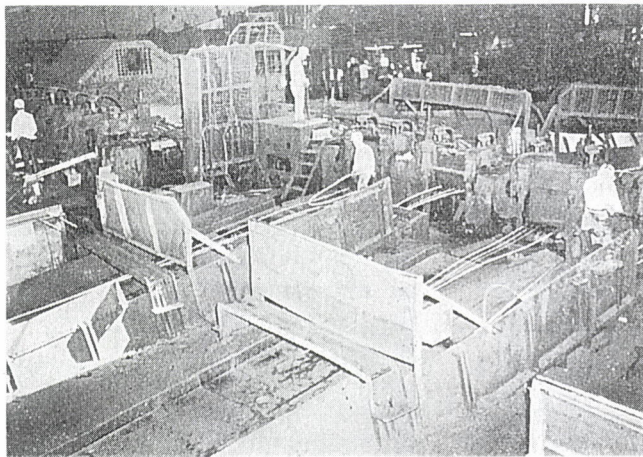


図3 半連続式線材ミル（仕上列）

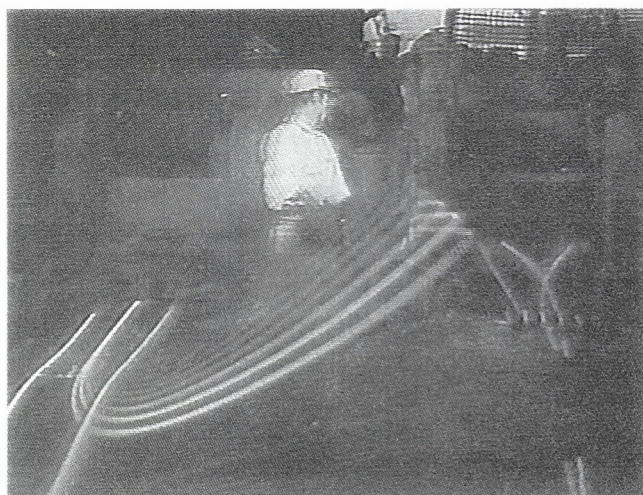


図4 「箸方」作業

く塗るという敏捷性を要求される危険な作業でした。

＊圧延材の寸法を測りロール隙の調整をするグループを「調整方」と呼び、中でも仕上スタンドの調整方は「製品造り」と呼ばれ最も高い給料を取っていました。圧延途中のサンプル採取は、当時はスナップシャーもなくルーピングチャンネルの上で鋼材の後端を斧で叩き切る方法でした。

＊第二連続の後面に「鐘叩き」とよばれる人が座って居ました。第二連続を出た熱鋼は最初の角レベーターを廻って第三列に入って来ます。第三列のオーバル形状のスタンドから「箸方」作業が始まるが、熱鋼がどのストランドを通ってくるのかを「箸方」に鐘を叩いて合図を送るのが仕事でした。鐘一つは第一ストランド、鐘二つは第二ストランドの孔型から出てくるぞという訳です。扇風機を側に据え、減速機の上に座り、鐘を叩きながら工場全体の圧延状況を把握します。大体は、高給を取っていた作業係長の仕事でした。終日そんな所に座っているので、汗と粉塵や油煙で真黒になっていました。

＊当時の圧延機は開頭式ロールスタンドで軸受けは木製メタルの半割り構造になっていました。海水を汲み上げて冷却していたので、海がしけると海水に貝殻や異物が混じり、軸受けが焼き付いて困りました。

＊加熱炉のスキッドパイプの水漏れや煉瓦の損傷でしばしば生産がストップをしました。なにしろ寸時を惜しんで修理せねばならず、炉の温度も下がらぬうちに「濡れむしろ」を頭から被って炉内に入りました。むしろがくすぶりそうになると急いで炉から出て、入れ代わりに次の者が入っていく。特攻精神がまだ横溢していた時代で、身体を張った仕事が多く、災害にも繋がっていました。

＊80kgの線材は「精整場」のフックコンベア上で番線結束され、脱荷はコンベアの頭部の止め金を作業員が手で叩き、フックを傾けて重力落下させていました。そのコイルを「玉転がし」作業で出荷場へ人手でころがしていました。この頃の80kgコイルは二次加工メーカーでも人力で横持ができるので、当時はむしろ歓迎されていました。

＊作業員の服装は、布製の帽子に白の綿シャツ、国防色の綿スポンに白の綿靴下、現場で「ハツ割り」といっていた板裏ぞうりというのが標準スタイルでした。「箸方」だけは汗がしたたり落ちないように帽子の代わりに扱じり鉢巻をし、「ハツ割り」の代わりに下駄を履き、防熱用に木綿の前



垂れを付けていました。運転工は地下足袋を履き、ゲートルを巻いていました。手袋は当初は綿入りの今で言う「鍋掴み」のようなものでしたが、その後皮手袋が始め、箬方作業は随分やりやすくなりました。汗とほこりで汚れたシャツは手待ち時間の間に洗濯していました。泡立ちの悪い洗濯石けんがブリキ製の長い洗い場に置かれ、そこで皆ゴシゴシやっていました。線材精整ラインのコイルを吊るしたフックコンベアの周辺には線材が張られ、格好の物干し場になっていました。

\* 圧延していた銅種は普通線材が主体でしたが、炭坑用ロープ材として5.5mmの60C (SWRH60相当) も生産していました。その後ピアノ線材の製造技術も確立し、こちらは第一線材工場で圧延していました。ピレットは全面グライNDERをかけて疵取りを行い、加熱炉では脱炭防止の工夫を凝らして加熱し、圧延では寸法や疵の観点から生産性を犠牲にし、仕上列も一本通しにして対応していました。

\* この工場は昭和40年に寿命を全うしました。工場レイアウト、個々の機器設備が当時とすれば優れていたことが、戦争をはさみ32年の長期操業の実績を残すことが出来たと思います。

## 4 新圧延設備の導入

昭和30年になると、ミルの高速化、自動化、品質改善などを旨とし、全連続式圧延機が次々と実用化され近代化の第一次発展期に入っていく。

### 4.1 レピーター圧延方式のミル新設

スウェーデン・モルガシャーマー社から設備を導入し、昭和30年7月に第三線材工場が稼働した(図5)。当時、ミル建設と操業に携わったエンジニアの回想。

\* この設備の導入に先立って昭和27年頃、工場のトップが欧州に出張し、スウェーデンのファガスタ<sup>5)</sup>社の線材工場を見学しました。特殊鋼の生産で名声を馳せていたこの工場で、圧延機メーカーにモルガシャーマーという会社があることを聞き、調査を始めたのが導入のきっかけでした。

\* この工場が稼働する以前から、角断面のレピーターは実用化されていましたが、オーバルレピーターは安定して廻せる設備が得られず、いわゆる「箬方」作業に頼らざるを得ませんでした。設備が動くまでは、本当にオーバル形状の圧延材がレピーターの内溝に沿って廻り、何の補助装置

も無しにうまく溝から蹴り出されるものかという不安を抱きながらの選択でした。それだけに新工場を立ち上げた時、圧延材が自動的に次の孔型へ誘導されるさまを見て感心しました。

\* こうしたことが可能となった一つの理由としては、圧延機のロールネック軸受けの構造が従来と全く違っていた点が挙げられます。つまりスフェリカルローラー軸受けの採用により、上下のロールが圧延材の通過中にも正確な位置に確保され、スタンドから出たオーバル形状の熱鋼の捻り角度が一定に保たれていることによると納得しました。ロールネックにテーパースリーブを入れ、ベアリングを油圧で圧入しているののでベアリングやスリーブが古くなくても圧入代を調整すれば所定の精度が確保できるという構造にも感心させられました。

\* パス回数の多い線材圧延では、中間段階で圧延材の先端部の変形部分を切断する必要があります。従来のミルでは、先端部については「箬方」がシャーに嚙ませて切断できましたが、後端部については何とか切れないか腐心していました。新ミルに付けたロータリーディスクシャーでは上下の回転軸にそれぞれ2枚のディスク状の刃をセットし、パスラインを切り替える2段切り替えのエヤーシリンダーとの組み合わせで圧延材を走行中に先端部を切断する、誠に賢い方法であると感心しました。このシリンダーの切り替えに使われたスウェーデンのアセア社製光電管は当時は初めての経験であり、新ミルのホットランの時には誤動作をおそれ、用心のため手堅く全て手動で作動させたものです。

\* この圧延機には、ロールの入口ガイドに従来のフィリクシオンガイドに代わりローラーガイドが使われていました。性能がよく、小形でしかも堅牢なデザインに驚きました。ローラーガイドの使用によって線材の表面疵、寸法精

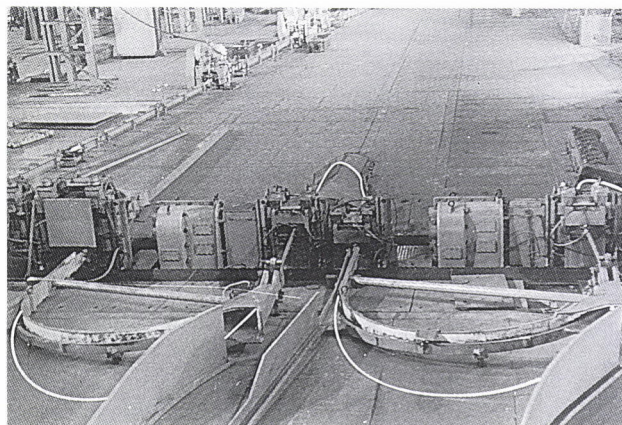


図5 レピーター式線材ミル



度は大きく向上しました。そのほか、仕上列オーバルレピーターに取付けられたウィップチャンネルや各レピーターの出側に取付けられたスナップシャー、巻き取りの径を変えられるポーリング式巻き取り機のピン構造など、個々の機器の設計、製作の出来栄も立派でしたが、ロールの孔型デザインやガイド形状、ロール隙の標準値といった線材圧延一貫のシステムも完成度が高く、色々な点で世の中には良い機械があるものだと感心しました。

＊この設備から初めて圧延機のモーター制御に水銀整流器による直流が使われ、仕上列での列間のループ制御、巻線機との同期制御が出来るようになりました。最終仕上速度も20～25m/秒へと旧式ミルの約3倍になり、高級鋼の量産体制が築かれていきました。圧延の高速化に伴って起こる事象が、ミスロールなどのトラブルが起こるたびに判ってきましたが、その過程では考えていなかったような事故も発生しました。ミスロールの発生に気づくのが遅れ、スナップシャーの作動ボタンを押すのが遅れるとミスロールのループが観覧通路の上にまで延びて落ちたり、天井クレーンの電源トロリーにからみ、火花とともに工場が全面停電になったりしたこともありました。夜勤で全面停電のトラブルが起きるとミスロール切断用のガストーチを照明代わりに後始末をしました。天井の低い、旧機械工場を利用して線材仕上列を設置したためであり、こうしたトラブルを経験してからなるほどと気づき、それ以降の新ミル建設においては、天井クレーンのトロリー線は建屋の柱に沿って設置することにしました。人的災害の面では、圧延速度が上がったためこれまでは火傷程度で済んでいた災害が作業者の身体を貫通するというようなひどい災害になることもありました。こうした事故が契機となり、圧延信号灯や各種の安全インターロック装置が充実していきました。

＊このミルの加熱炉には当時としては斬新なデザインの西ドイツのテルモ社製のセグメント組み立て方式の炉(図6)を採用しました。当時既に鉄鋼協会に「熱経済技術部会」が発足しており、その活動成果をまとめた「加熱炉の設計と実際ならびに熱精算方式」(昭和29年丸善)などの技術資料で、鋼材の均一加熱のための燃焼室負荷の取り方が話題になっていたと思います。燃焼室負荷や輻射熱効率、さらには炉修の簡便さからこの形式の加熱炉を選択したわけです。しかしながら、鋼片装入方式がプッシャー式であったため炉内スキッド煉瓦の磨耗によるビレットの炉内での盛り上がり事故がかなり多く発生したのが、この炉の泣き所でもありました。

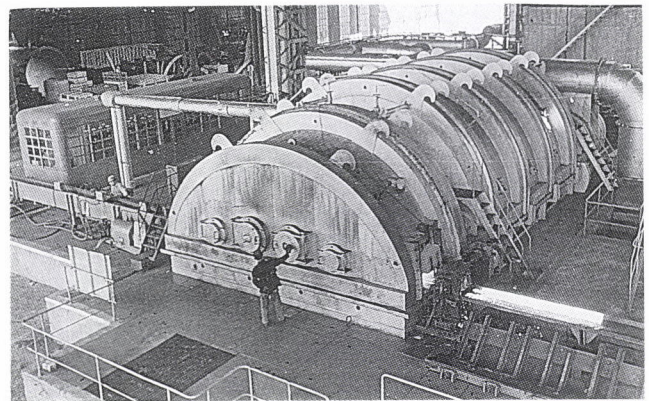


図6 テルモ式加熱炉

＊この工場ではいろいろな種類の特殊鋼線材を圧延しました。ピアノ線材はもとより、ステンレス鋼、高速度鋼、バネ鋼、溶接棒用極低炭素鋼、さらにはチタン線材などです。若戸大橋などの長大橋用などで既に量産化されていたピアノ線材では、表面疵よりむしろ脱炭対策には気を使いました。加熱炉に装入する前のビレットに水ガラスを塗布したり、鋼製の箱に入れて加熱するなどやりましたが、低温圧延によるミスロールにも苦労したものです。高級線材を大量に生産し始めたのは、冷間圧造用線材が国内で普及した昭和35年頃からで、家電用のタッピングネジや自動車向けの冷間鍛造部品等が増えるに従い、表面疵との戦いが本格化しました。自動車の大量生産に伴い冷間加工使用の部品が増え、特に量産される大衆車向けの部品では素材である線材への品質要求が厳しくなりましたが、少量生産される高級スポーツカー用の部品は従来通り熱間鍛造で造られる部品用の線材は、品質面では意外に問題にならなかったように記憶しています。

＊圧延機を納入したモルガーシャーマー社からMr. Yanssonが据え付け指導で来ていました。半年以上いてもらいました。後に家族の方も来日し、神戸の夏は暑いので六甲山頂の社長の別荘を提供しました。大変立派な人で我々と一緒に油まみれになり働いてくれました。No.1スタンドの孔型を8パスから6パスに変え、大きなオーバル断面形状の圧延材をレピーターで回すことを試み成功しました。これによって時間当たりの生産性(トン/hr)が大きく向上しました。スウェーデンのミルでもまだ実施していない試みだったこともあり、「ヤンセンさん」も「君たちをスウェーデンに連れて帰って一緒に仕事をしたい」との賛辞を呉れたものです。我々の方も、こうした海外からのスーパーバイザーを優遇し、彼らから謙虚に習い、正しい仕事の仕方を身に付けたと考えます。



\*この型式のミルによる高級鋼の生産も時代とともに設備、圧延技術が発展し、垂直／水平交互配置の連続ミルに置き代わっていき、このミルも昭和49年に休止され19年間の使命を終えました。

#### 4.2 4 本通し圧延方式のミル新設

新しい埋立地に高炉建設と合わせ、線材の量産を目的に西ドイツ、シュレーマン社から全連続圧延機を導入し、昭和35年に操業開始した。機種選定からミル建設、立ち上げを担当した当時の部長、課長の体験や感想。

\*新ミルのための調査を始めた昭和30年頃は米国にも2～3本通しのミルが動いていましたが、「アメリカの線材品質は今一つ、機械類はドイツ製の方が良い」という一般的な通念がありました。また、当社の第二線材工場が戦前のドイツ・クルップ社製のミルであったことや、戦後のいささかの親独感情も残っていたこともあって信頼性の高いといわれたドイツ・シュレーマン社に決めたようです。欧州での同社ミルの稼働状況を商社を通じて調べましたが、余り詳しい情報は得られなかったようです。購入決定後の昭和34年になってドイツのクレックナー社ハスペ工場<sup>6)</sup>の視察を行いました。見学中はミスロール続きで一本の線材も通りません。「大変なミルを買ってしまったな!」と多いに心配になりましたが、既に賽は投げられていました。

\*4本通し、全連続方式のこの設備には、これ迄に経験のない新しいコンセプトの設備が入ってきました。例えば、保熱炉、保熱炉出側のトロンメルパイヘと呼ばれる各ストランドへの圧延材振り分け装置、ロータリーフライングシャー、共通駆動による仕上6連続スタンド、レーイング式巻線機など、設計思想は良く出来ていましたが、操業に入ると言うように圧延材が通らず、何ヶ月も悪戦苦闘が続きました。孔型設計やフリクションガイドの仕上精度の抜本的見直し、ロールの回転制御やシャー、巻線機との同期制御などの調整などの手間がかかり、ミスロールと緊急切断されたクロップの山が築かれていきました。作業員も、これまでの肉体労働による物造りから、一気に近代設備に変わったため戸惑いや不慣れもあり、気の毒な面も多かったのですが、習熟するまでは新ミルの操業成績はしばらく低迷していました。

\*操業に入って2年も経たないうちに、修理工事の際の溶接火花が電線ダクトに落ち、火災が発生して電気室が全焼してしまいました。火災現場に駆け付けた経営幹部が、電気には水は禁物との観念から放水消火に躊躇したため消火活

動が後手に回り、大事に至ったとの笑えぬエピソードもありました。しかし、火災による復旧で電気配線が一新され、再稼働すると急に圧延がスムーズになり操業成績が良くなりました。休止中に他社から線材の代替生産の応援を貰いましたのでその分を返す必要があり必死に増産を試みたら、忽ち月間30,000トンを達成しました。あながち無駄な事故ではなかったとの話も残っています。

\*圧延技術が一通りマスターされると、増産に追われ仕上圧延速度も当初の仕様では25m/秒だったのが5年後には35m/秒を達成しました。圧延機のモーターを定格以上で連続的に使うということを平気でやっていましたので、オーバーヒートによるローターの巻き変えや容量アップ工事を繰り返しましたが、思えば設備能力フルでの生産が出来た良き時代でもありました。

\*レーイング式巻線機には当初からコイル高さを低くするため回転数を一定範囲で上下させる「波動制御」が可能のように設計されていましたが、初めは精整の結束、倉庫の積み効率を考えコイル高さを低くすべく、内外ピンの間隔も広げてコイル厚みを厚くし「波動」をかけて巻き取りました。しかし、生産量が増えアメリカへの輸出を始めた頃になると、この荷姿でクレームが発生しました。伸線加工時に線材がもつれるというクレームで、横型のフリッパー式と呼ばれる線材供給装置を使った場合に線材リングが重なって束になって落ちてしまうというトラブルや、手荒いハンドリングのため「線材コイルがラーメンのようになって荷崩れを起こした」という連絡を商社から受けたものでした。また、アメリカの客先から「線材工場によって巻き取り方向が違う」との指摘を受けたこともあり、これには我々も全く気づいていませんでした。大量消費で経験豊かなアメリカから、作業能率に関するいろいろな問題を学んでいったお陰で、その後の国内線材需要が急速に増大していった時に品質問題を事前に対応することができたと思っています。こうしたクレームについては、国内線材メーカーの会合があった際に後日談として話をしたら、各社とも同じアメリカの需要家から同じクレームを受けていたことが分かり、新しい設備では各社が同様の苦勞をした時代でありました。

\*この線材工場はその後昭和56年まで21年間稼働しました。昭和45年ごろから国内に出回り始めた2トンコイル線材が主流となり、この工場で作られる360kgコイルはその後450kgに単重アップしたものの、次第に国内向けの数量は減り東南アジアや中国向けの比率が高まり、工場の生産



量も減少して行きました。

#### 4.3 ループ圧延の限界を求めて

国内でブロックミルと線材冷却を備えた線材工場が稼働を始めたのは昭和45年であった。これにより、線材ミルの世界においては線速は一拳に50m/秒に上がり、コイル単重は3000lbs(約1.5トン)へと増大、ミル能力も5万トン/月を越え、以後国内ではこうしたブロックミルの建設ラッシュへと入っていく。この時期に先立つ、昭和40年頃の線材技術の動向の一端を当時の係員が回想。

\*ループ圧延方式による1本通し圧延はピアノ線材や冷間圧造用線材、低合金鋼線材などの高水準の表面疵を要求される線材の圧延には作業性の優位さが認められるようになっていました。しかし、圧延速度はループ後端のムチ打ち現象によるトラブルが避けられず30m/秒が限界でした。一方、当時タンデム式仕上列の圧延機では35m/秒を越える生産性を挙げるミルもありましたので、質と量を備えた新ミルの建設を試みました。

\*その結果、仕上列を各個駆動の垂直/水平のロールスタンドの交互配置とし、サイドローパーによるループ圧延方式を試みました。その当時は、電気機器も水銀整流器からサイリスタへ、また電機制御装置にもトランジスタの実用化が進み、思いのほか精度の良いループコントロールが出来、圧延材の後端でループの減少指令を出し「ムチ打ち」を防止するような制御にも成功を納めました。

\*客先からのコイル単重への要求も徐々に増えてきたので1000lbs(454kg)が得られるビレットを採用するようになりました。ビレット用加熱炉としては初めてウォーキングハース式を採用し、炉床煉瓦との摩擦による表面疵の減少、炉内耐火煉瓦の長寿命化といった改善もなされました。しかし、このミルでは炉は2基操業でしたので、省力も考えサイドプッシャーを使わず「前方突き落とし方式」を採用しましたが、均熱帯での冷風の吸い込みが避けられず熱効率の面では不利で、エネルギー危機以降の新しい加熱炉ではこの方式は姿を消していきました。

\*コイル単重の増加に伴い、線材冷却技術の改善、開発にも取り組んでいました。仕上水冷帯の長さを可能な限り長くとり、ジェット水流で蒸気膜沸騰を抑え冷却効率を上げる、巻き取りコイルの厚みを薄く巻き、巻き取り機の台数をふやし巻き取り機内での風冷時間を長くとするなどの技術が実用化されました。殊に高炭素鋼線材に対してはパテン

ティング熱処理の代替技術の開発に注力され、例えばジルコン砂を冷却媒体とした流動床冷却や沸騰水による冷却プロセスが各社で開発研究され、今日の線材冷却技術の基盤になったものも多くあります。

\*この頃には省力への意識も高まり線材ミルにおいてもさまざまな取り組みがなされました。粗列三重式圧延機での圧延材の誘導は人力で行われていましたが、チルターやグライフカンターなどの自動装置が考案され、圧延制御運転台も集中監視方式が進み、天井クレーンにも無線操作が導入されました。

\*こうしたミル能力は2ストランドで20,000トン/月~25,000トン/月を生産できましたが、やがて訪れるマルチストランドの高速ブロックミルの生産性には勝てず、ブロックミルでの線材の品質も次第に向上しましたので、この時期の設備も約20年後には役割を終えることになりました。

\*この第6線材工場は昭和42年4月には天皇皇后両陛下の行幸啓の荣誉に浴しました。中間列の辺りに御立ち台を設け、そこへは検造りの通路を設置し、手すりには紅白の布を巻いて製鉄所総出でお迎えしました。工場は稼働してから2年しか経っておらず、汚れも少なかったですが、それでも何日もかけて念入りにペンキ塗りをを行い清掃に努めました。当日は早朝から工場内に不審者がいないかどうか、爆弾等の不審物はないかなどと、普段は思いもつかないことに気を使い、くまなく点検しました。ミスロールが出ないよう圧延し易い鋼種を選び、ミルセッティングも入念に行なって無事、約5分間ほどの御視察を終えました。戦争帰りの作業係長は「もし陛下の前でミスロールが出たら俺はスタンドに頭をぶつけて死ぬ!」と公言していました。彼にとって全身全霊、緊張と感激の一瞬であったと思います。今でもかくしゃくとしてこの時のことを語ってくれます。

## 5 往時の線材圧延周辺

今で言う「現場スタッフ/係員」の回想。

### 5.1 品質への関心

\*圧延工程での管理に関するデータ採りは生産歩留りに関するものからスタートしました。昭和30年を過ぎるとミスロールの発生場所、原因、本数などを記録するようになり改善への意識が高まりましたが、質よりも量の時代が長く



続きました。鋼材内部にはパイプあり、外面にはヘゲがある素材が当たり前で、圧延での生産阻害の要因は鋼塊の品質不良によるものが大半を占めておりましたが、製鋼や造塊工程の改善が聞き入れて貰える雰囲気ではありませんでした。彼等も量に追われており、成分調整が品質の全てであったようです。軟鋼線材用の鋼塊でも180kgの水張りキルドで造っていた頃には連続伸線機で1.9mmまでも伸線できず他社の大型リムド鋼塊から分塊したビレットを素材とした線材には差を付けられていました。

\* 第三線材工場が稼働し、レピーターに付けたスナップシャーで各スタンドの圧延材サンプルを採取できるようになりました。当時新しい組織として出来た「品質管理課」の課員と疵の状況を調べるべくサンプルを採って見たところ、どのサンプルも疵だらけでビレット素材の改善の必要性を強く感じました。

\* 線材工場の新設と分塊工場の新設のどちらを優先すべきかという検討があり、品質改善の観点から分塊工場が先になりました。これを機に分塊工場にホットスカーフも設置され、グラインダーやチッピングの疵取り設備により「鋼片手入れ」という工程が強化され線材の表面品質も改善されました。特に、目視による疵見とチッピングによる疵取りは、手間はかかるが有効な方法だったと思います。

\* 作業標準らしきものとしては、昭和30年にモルガーシャーマー社から圧延設備を導入した時の機械保全マニュアルを翻訳して作業者に配布した位でした。ビレットの加熱温度や製品コイルの端末切り捨て量の指示表程度のものでありました。新入社員の増加に伴い、安全課から安全作業標準の作成を指示されましたが、面倒くさがられ現場はあまり歓迎しませんでした。昭和37年頃から技術課で技術標準がまとめ始められ、現場の作業標準も少しずつ整備され始めました。しかし標準が出来ても、現場の作業に実際に活かされるまでには時間がかかりました。QCの先生方に指導いただき工場にQC思想が芽生え始めたのは昭和30年代の終わりでした。

## 5.2 重油焚きの始まり

\* 当時操業していた古い第一線材工場（大正15年稼働）と条鋼工場（大正13年稼働）の加熱炉は、燃料の石炭をストーカーの羽根で炉床にばらまく方式でした。平炉と第二線材工場（昭和8年稼働）はガス発生炉で石炭をガス化し使用していました。昭和22年6月に鉄鋼生産への重油使用が許可されたことを受け、昭和23年ごろに平炉に重油バーナー

を導入して重油焚きに切り替え、次いで条鋼工場にも重油を使うことになりました。平炉用の重油バーナーは長さ1.5mもあり火炎も数m以上になるので使えず、新たに設計すべく文献を探しました。本社の図書室は古い本ばかりで役立たず、当時神戸・三宮にあったアメリカCIAの図書館に足を運びました。軍国主義教育に浸った日本人を洗脳するための文化施設でしたから誰でも入ることができ、工業図書も沢山ありました。石油技術の先進国だけあってバーナーはもちろん、重油燃焼について詳しく解説した本を見つけ、日本の技術書より遥かに丁寧に判りやすく親切なのは感心しました。貸し出しが出来なかったので市電で通っていましたが、何度も足を運ぶうちに「How To Play Baseball」という本を見つけ、やや気が咎めましたが2塁への効果的な盗塁方法を翻訳して野球好きの若い人たちに配ったこともあります。技術情報源としてCIA図書館は大いに役立ちました。

## 5.3 技術導入

\* 工場の立ち上げの際には今でいうスーパーバイザーが来日したので彼等から技術を教えてもらいました。昭和8年に稼働した第二線材工場の場合は、ドイツのクルップ社から数人のスーパーバイザーが来日し、現場に圧延の基本技術を伝え「カリバー」「カステン」「フェールング」などのドイツ語が慣用語として残りました。昭和30年代には第三線材工場ではスウェーデン人、第四線材工場ではドイツ人が指導員として来日しました。いずれも立派な人柄と優秀な技術でもって、現場にすっかり溶け込み尽力してくれました。経済的にも苦しい時代で、日本人が実習のために先進国に出かけるということは当時考えられませんでした。海外からのスーパーバイザーをきちんと優遇し、彼等から懸命に習い、自分達の技術として吸収していったと考えます。

## 5.4 文献学習

\* 一世代昔の先輩が若い頃、「Stahl und Eisen」の購入を上司に申請したが認めて貰えなかったとの話を聞いたことがあります。昭和30年代に入ると幾種類かの欧米の技術誌が入手できるようになりました。一般には線材・条鋼の記事は少なく、巨大なホットストリップミルの記事をすごいなと感心しながら眺めていたものです。

\* 昭和34～35年に青刷りのコピー機が普及し、入手が容易になった外国の雑誌の文献コピーも増えて上司から翻訳を指示されることが多くなりました。カナダのアトラス・スチール社の最新設備プラネタリーミルの文献で内容があま



りに難解であったため困った事も記憶しています。文献で紹介されていたUSスチール社のカヤホガの最新鋭線材ミルに昭和37年に初めて海外出張で出かけた時、見学を申し込んだのに受け入れてもらえず、電話でのQ&Aになら応じるとの返事でした。この頃には既に日本からの線材輸出が始まっており、安売りの競争相手として先方に警戒されていたのだと思います。

＊昭和37年頃に工場長の指示でサンフランシスコのゴールデン・ゲート・ブリッジの文献を技術課の数人で分担して翻訳しました。当時、当社も既に若戸大橋での実績があり、海外との技術比較をしながら国産品のPR誌を作成しようと試みたものです。数百ページに及ぶ詳細な記録で、基礎の掘削方式から始まり、ロープの製作等についても詳しく説明されていました。線材はベツレーム社のスパローズポイント工場で製造され、その伸線は当時の橋用ケーブルの専門メーカーであったレーブリング・アンド・サンズ社で加工されていました。造塊はキルド鋼6トンのインゴットで、分塊工程でのトップ部の切り捨て量が少なく「これではかなり中心偏析が残る筈だが…」と皆で話し合いました。強風で飛ばされて崩壊するアメリカの橋の記録映画も社内で見たり、英国の鉄道橋Firth Bridgeや、当時世界最長であったニューヨークのFerrazano Narrowsの新しい橋の調査見学も行いました。これらの勉強がその後の長大橋用懸架ロープの製造に役立っていると思います。

## 6 結び

昭和36年に発刊された線材分科会報告書によれば、昭和20年代に操業していた線材ミルは5社6工場であったと思われる。うち1工場は昭和23年の建設であり、従って5工場が戦前に建設され、戦火をくぐり戦後も引き続き操業されたことになる。また、上記の昭和23年に建設された戦後第一号のミルが稼働して以来、昭和45年にブロックミルの第一号機が稼働するまでの22年間に、線材分科会加盟各社

においては18基の線材ミルが建設・稼働している。本稿ではこのうちの1社4ミルを中心とした記述となった。

戦争による被害状況も千差万別であったであろうし、復旧への道のりも限りなく多様だったと思う。また今迄、歴大な数の技術者、作業者の貴重な経験と知恵で今日の我が国線材圧延技術が築かれていることは言う迄もない。

当時の線材圧延の第一線で仕事をした各位の情報を基に記述したが、我が国線材圧延技術の歴史から見ると、その一断面しか捉えきれないと思いつつ執筆したことにご理解を賜りたいと思う。記述の設備や技術が既に過去の遺物と化している所もあるが、いろいろな試行錯誤の末、近代設備に具現化された技術力や時代の推移を経ながらブラッシュアップされている生産技術もあったと思う。

本稿を一読された新しい世代の技術者諸兄に何か寄与するところがあれば望外の喜びであり、併せて本編を企画された方々へ深甚の敬意を表する次第である。

末筆ながら、本稿執筆に当り貴重な記事、談話を戴いた下記の諸氏に謝意を表したい。

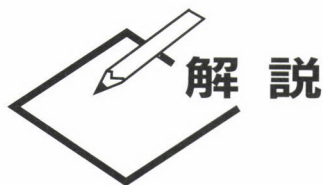
- ・浅田幸吉氏（元神戸製鋼所専務、元条鋼部会長）
- ・片岡 修氏（元神戸製鋼所副社長、元条鋼部会・線材分科会主査直属幹事）
- ・三木 修氏（元神戸製鋼所技師長、元条鋼部会・線材分科会主査）
- ・吉松秀男氏（元神戸製鋼所課長）
- ・鈴木 稔氏（元神戸製鋼所職長）

## 参考文献

- 1) 例えば、線材分科会報告書：鉄と鋼, 47, (1961), 1755.
- 2) 鉄鋼便覧第III巻(2), 日本鉄鋼協会編, 丸善, (1980), 811.
- 3) 三宮章博：圧延理論部会シンポジウム, (1974), 253.
- 4) 上村眞彦：第98・99回西山記念技術講座, (1984), 251.
- 5) Wire and Wire Products, (1957), 991.
- 6) Wire, (1958), 644.

(1997年7月7日受付)





## 鉄の橋から鋼の橋へ

成瀬輝男 (有) 成瀬橋梁研究所 代表  
Teruo Naruse

From Iron Bridge to Steel Bridge

### 1 まえがき

その昔、鉄という材料は高価な貴重品だった。武器や生活具、装飾品といったものは別として、橋のような大きなものに鉄を使うようになったのは、いつ頃からだろうか。

釘やカスガイの類は別として、橋の主要部材に初めて鉄を使ったのは中国である。先頃亡くなったイギリスの中国研究家J. ニーダムは、中国の古文書を克明に調べあげた上で、「鍊鉄のチェーンを使った吊橋が現われたのは、+6世紀よりも遅くはなく、ほぼ確かなところ+1世紀」としている。渓谷の間に鉄鎖を張り渡し、その上に木の床板や欄干をつけて、人が歩けるようにしたものである。

時代はずっと下り18世紀末になると、それまで橋といえば石橋か木橋しかなかったヨーロッパで、鑄鉄のアーチ橋が架けられ始めた。ここでは近代の鉄の橋の系統的な発展の出発点として、また全鉄製の橋の始まりとして、第1号のイギリスのアイアンブリッジから話を始めるとしよう。

### 2 産業革命とアイアンブリッジ

世界文化遺産に指定されている鑄鉄のアーチ橋「アイアンブリッジ」(図1)の完成は1779年、場所はイングランドのコールブルクデールである。全鉄製の橋第1号の登場がなぜイギリスなのか、ざっとその背景を探ってみよう。

18世紀後半のイギリスは、黄金色の次世紀に向けて発展の途上にあった。対外的には植民地帝国としてインド・アフリカ・アメリカとの通商で富を貯え、国内では農業が振興して穀物の価格は下がり、食生活に困窮することはなくなっていた。この時期の人口増は50年間でほぼ50%という高率の伸びである。

18世紀前半から開発されていた石炭製鉄が軌道にのり、高性能の蒸気エンジンを使いこなすようになると、従来の



図1 世界最古の全鉄製の橋「アイアンブリッジ」(1779)

木炭に代わって石炭が工業用燃料の主役として脚光を浴び、林業はすたれていった。こうした環境の中で、人口の増加分はそのまま工業用労働力にシフトし、新規の労働人口がまた需要の増大をもたらして、産業革命を引き出す大きな要因となった。

イギリスの産業革命(約1760~1850年)の揺りかごの地であったコールブルクデールは、19世紀に入ってからすっかり寂れ、いま往時の隆盛の面影を垣間見せるのは点在する博物館だけであるが、かつては世界一の製鉄量を誇ったこともあった土地である。

他国ではまだ貴重品であった鉄が、この土地には潤沢にあり、生産者は鉄という古くて新しい材料の新用途の開発に熱心であった。工場内の馬曳き貨車のレールに鉄を使い、鉄船を造ってセバーン川に浮かべたりもした。生活面でも、窓枠・階段の類に鉄材を用いた跡は今でも随所に残っているし、揺りかごや棺桶まで鉄で作った記録もある。まさに揺りかごから墓場まで、鉄の世界だったわけである。

セバーン川は当時毎年のように出水を繰り返していた。かつての木炭製鉄時代に、流域の森林の大規模な伐採が行





図2 サンクトペテルスブルクの鑄鉄橋 (1783)

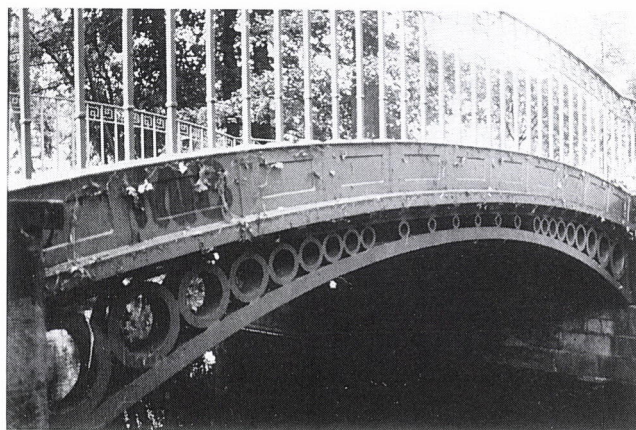


図4 ベルリンのシャロッテブルク公園の橋 その2 (1800~3)

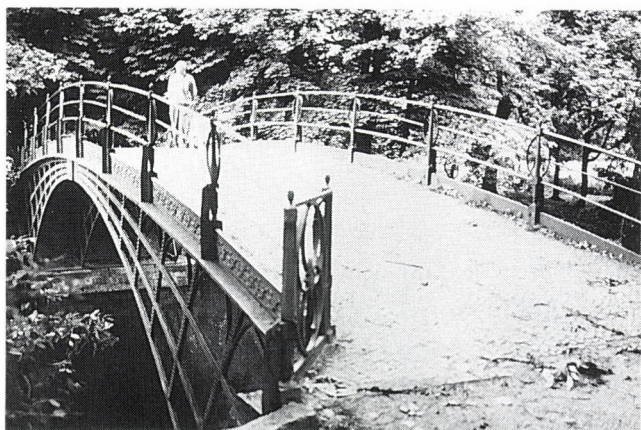


図3 ベルリンのシャロッテブルク公園の橋 その1 (1800~3)



図5 「アイアンブリッジ」を模写したヴェルリッツ庭園の橋 (1791)

なわれたためである。木橋を架けてはすぐに流され、石橋を架けても基礎を洗掘されて長持ちせず、それではということで鉄の橋の建設が起案されたのである。起案・出資者はコールブルクデール製鉄所の経営者（ダービーIII、1750～91年）と彼を囲む地元の有力者達である。

完成後も橋体全部が水に吞まれる大出水は一度ならずあったが、目論みは的中、丈夫で水通しの良い橋は流されることはなかった。洪水のあと、次第に水位が下がって橋の姿が再び濁流の上に現われてくると、住民達は歓声をあげて喜んだという。

イギリス名物となった鑄鉄の橋の名はアイアンブリッジ、橋詰めの集落の名前もいつの頃からかアイアンブリッジ村となった。小規模な修理を重ねながら橋は軽車両も通してきたが、1934年すべての車両の通行を禁止、1950年にはそれまで私有だった橋を州が買い上げ、同時に通行料金の徴収も廃止した。文化財としての認識が深まったためである。

アイアンブリッジが出来てから15年間、イギリスで鉄の橋が架けられたという記録はない。やはり当時の建設材料

として、鉄は割高であったのである。アイアンブリッジは土地柄と条件に恵まれたから出来たのであろうし、また多分にモニュメンタルな意味もこめられていたのであろう。その後18世紀末になると、鑄鉄アーチ橋はリバイバルの時期を迎え、1795～99年の5年間に十指を越す建設が行なわれている。

### 3 ヨーロッパ大陸の鑄鉄橋

この頃ヨーロッパ大陸の方はどうだったかというと、ロシアがイギリスから輸入してサンクトペテルスブルグの公園に架けた鑄鉄アーチ橋2橋（図2がその一つ、1783年完成）、プロシャの殿様がベルリンのシャロッテンブルク庭園に架けた2橋（図3および図4、1800～3年完成）が現存する鑄鉄橋として挙げられる。

面白いのはドイツのデッサウにあるヴェルリッツ（Wörlitz）庭園内に架かっている橋（図5、1791年完成）で、これはイギリスのアイアンブリッジの側面形を1/4に縮小した錬鉄製の歩道橋である。この地方の殿様が造らせたもの



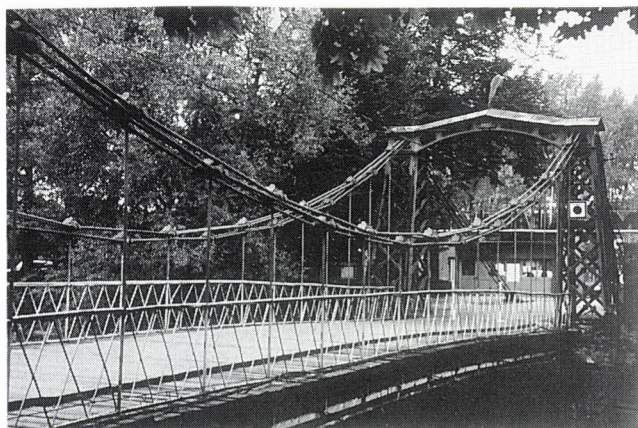


図6 ポーランドのマラパネに現存する古い吊橋 (1827)

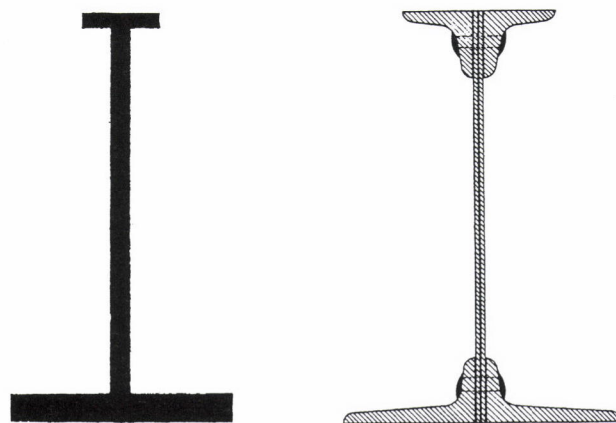
だが、先進国イギリスの例に倣うことは当時のハイカラ趣味に通じたのであろう。この庭園はゴルフ場にしたら45ホールは入りそうな広大なもので、鉄の小橋がほかに2橋、その他にも様々な装飾的な橋が数多く架かっている。

フランスでも、セヌ河に鑄鉄アーチ橋ボンデザール橋が1804年に開通した。ボンヌフの下流側に隣接する歩道橋で、これは長年パリの添景として親しまれ、画の主題にされることが多かったが、20年ばかり前に撤去・架替工事が行なわれた。新橋は鋼橋だが、もとの外観を忠実に模写している。ついで、シテ島のやや上流のオステルリッツ橋も鑄鉄アーチで1807年に開通した。これは本格的な公道橋だったが、1930年代に架替えられ、往時の面影をとどめていない。

群雄割拠の大陸にいま一つ勢いが無いのは、産業革命の出遅れもあるが、18世紀末の大陸で大はフランス革命から小は各地の農民の反乱まで、動乱が連続した影響もある。前記の初例でもわかる通り、この中で比較的前向きに鉄の橋に取り組んだのはフランス、それにフリードリッヒ大王率いるプロシヤである。

当時ヨーロッパ最強の軍団を有した大王は、1740年代にシュレージエン（現ポーランド）を手中にすると、そこにいくつかの製鉄所を建設した。この地方では鉄鉱石が採れたのである。

1754年にできたマラパネ（Malapane, 現在のポーランド名Ozimek）の製鉄所は、最初は木炭高炉で操業していたが、1790年代から技術先進国イギリスに倣って、燃料にコークスを使い始めた。軍需のかたわら、これもイギリスに倣っていくつかの鉄の橋が造られたが、そのうち公道としてもっとも古いのは1796年にできた鑄鉄アーチ橋である。鉄の橋を語るときしばしば引用されてきたこの橋の建設地点は、ブレスラウ（Breslau, 現在のポーランド名Wroclaw）の西南西35kmのLaasan村であるが、1945年に敗走するドイツ軍が木っ端微塵に爆破してしまった。建設200年記念行事



(a) 鑄鉄梁の標準的断面 (b) 最初期の錬鉄梁の例

図7 梁の断面形

として、先頃この橋のあったStriegau川川底の浚渫を試みたが、全46tあったはずの鉄材のうち、収穫は3t余の残材だけであったそうである。

因みに、いまなお操業しているマラパネ製鉄所の正面玄関前には、1827年にできた吊橋が現存している（図6）。鑄鉄の塔の中心間隔は31.56m、幅員は4.66m、車両重量制限4.2t、補剛トラスらしきものが付いているが、これは構造材というより高欄とみるべきである。丸棒の吊り材はすべて錬鉄であろう。この年代の吊橋の現存例としては、スコットランドのUnion吊橋（1920年完成）について、おそらくヨーロッパ二番目のものである。現在のマラパネ製鉄所は、140年余の歴史を経た今もHütte（製鉄所）の看板は出ている。高炉らしきものは見当らず、鋼の精練と若干の機械加工を行なっているようである。

## 4 その後の鑄鉄橋

イギリスの鑄鉄橋建設の歴史は丁度百年続いた。というのは、1878年に起きたスコットランドのテイ湾の鉄道橋の崩壊事故をきっかけに、その翌年以降新規の鉄道橋に鑄鉄を使うことは禁じられたからである。道路用の鑄鉄橋も新設は急減した。

鑄鉄橋トラブルが頻発した最大の要因は、鉄道の出現（1825年）である。機関車荷重は瞬間に増大し、やがて建設当時の橋の想定荷重を超えた。鑄鉄が圧縮には強いが引張りには脆くて弱いことは古くから経験的にも知られていて、図7 (a) の鑄鉄梁の断面で圧縮側に比して引張側フランジが大きいのは、この経験則を示すものである。鉄道橋の場合、鑄鉄は一般に圧縮力を主に受けるアーチリブや橋脚柱などに多用され、主として引張りを受ける部材には錬鉄が用いられていたのであるが、それでも問題は続発し



た。

自重すなわち死荷重の支配的な道路橋と違って、大きな列車荷重の載る鉄道橋ではアーチリブにも曲げによる引張り力がかかり働く。鑄鉄管を積み上げた柱状の橋脚でも、強風下では曲げが働く。嵐をついて橋上を列車が走行中、高さ27mの橋脚群もろとも橋体が薙ぎ倒され、75人の犠牲者を出した上記テイ湾の事故は、後者の例である。

鑄鉄橋建設の終焉が鋼橋の時代の始点ときびすを接していることは、注目に値する。近代製鉄技術を構成するベッセマー転炉（1856年発表）シーメンス・マルティンの平炉（1864年開発成功）およびトーマス炉（1878年発表）の三大発明は、テイ湾事故当時すでに完成していたのである。鋼の時代は駆け足でやってきた。5.1万tの鋼材を使ってスコットランドにフォース鉄道橋が完成したのは、1890年のことである。

鋼の時代はすでに始まりつつあったこの時代まで、なぜ問題含みの鑄鉄が使われていたのであろうか。結果的にいえば材料特性の認識の甘さ、設計施工技術の未熟さということになるのだろうが、当時の視点で考えると鑄鉄は錬鉄に比べてはるかに安かったのである。加えて鑄鉄は造形の自由度も豊かであり、構造材としてそれなりに利点もあったのである。

史上最大の鑄鉄橋は、ロンドンでテムズ河を渡る道路橋サウザーク橋（Southwark、最大アーチ支間73m、1819年完成、1921年架替）である。大きいわりに建設年代が遡るのは、この辺りから後の大径間橋梁は錬鉄橋が主流になっていったからである。

鑄鉄の道路橋はともかくとして、鑄鉄を主部材に使った鉄道橋がイギリスで今なお供用されている事実は驚きである。大規模な例として挙げられるのは、ニューカースル駅から歩いてすぐのハイレベル橋（1849年完成）である。上段が鉄道、下段が道路のダブルデッキ構造であるから、下段に立つと鑄鉄のアーチリブの全容が手の届く距離で仔細に観察できる。吊材など引張材には基本的に錬鉄を使っている。いまは枝線となった鉄道の走行頻度は多くはないが、150年近くを経てなお現役で働いている。イギリス人は古いものを大事にするから、この鑄鉄アーチはまだまだ使い込むことになりそうである。

ヨーロッパ大陸の経緯もイギリスと似ている。鑄鉄の鉄道橋のトラブルがあまりに多いことから、一時は石造アーチ橋のリバイバル時代もあったりした。鑄鉄橋の立場でいえば、鉄道の急激な発展の時代に生まれ合わせたのが不幸だったのかも知れない。

日本の鉄の橋は、開国直後に錬鉄橋から始まり、30年もすると鋼橋の時代に移行したから、鑄鉄橋の時代というも

のではない。鑄鉄アーチをヨーロッパから輸入して架けた例など、いくつかの事例はあるが、散発的で十指に満たない。国産とはっきりしている橋の一つに東京の八幡橋（明治11年京橋に弾正橋として架設、その後移設をされ江東区深川八幡横に現存、アーチリブが国産の鑄鉄部材、図11）がある。橋脚柱に鑄鉄管を用いた例はかなり多く、今でもそのいくつかは私鉄に建設当時の姿で残っている。

## 5 錬鉄の橋

話は鑄鉄時代から鋼の時代の幕開けまで飛んでしまったが、19世紀の鉄の橋は錬鉄抜きでは語れない。とくにトラス形式の大型橋梁については錬鉄が主材料であった。まず錬鉄の生産の工業化の過程を展望してみよう。

コークス高炉は18世紀中頃までコールブルクデールで見られなかったが、その後イギリス全土に急速に広まった。技術的に熟してきたのである。

次の課題は、高炉からえられた銑鉄を錬鉄に精錬する方法の開発であった。この段階でまだ木炭に依存していた錬鉄精錬の状況を打破するべく登場したのが、H. コートによる錬鉄の精錬法である。コークス炊きの反射炉の中で銑鉄を手作業でかき回し（パドル）ながら脱炭し、これを何回も圧延・除滓して精錬するもので、発明は1783年、というアイアンブリッジが出来た直後のことである。

実験的に成功したといっても現場では種々の問題が待ち受けていた。この方法が本格的に工業生産の軌道に乗ったのは次世紀、それも鉄道が走るようになってレールの需要が急増してからである。

1830年代になると、錬鉄板を組み合わせた部材が登場してくる。図7(b)はその原点ともいえるものであるが、注目すべき点が二つある。一つは腹板を2枚千鳥重ねにして交互に継いでいる点である。一つは鑄鉄梁の慣用手法に倣って、引張フランジの方を大きくしている点である。

当時の技術者が板の接合でどんな苦労をしたか、別の実例で示そう。図8のブリタニア鉄道橋（1850年完成、材料はすべて錬鉄、1970年の火災被害によって架替）の製作にさいして供給可能な板のサイズは、700×3600mmまでだった。人間労働に制約されたパドル法で得られる鉄塊は350～360kgが標準であったから、大板の生産は困難であったのである。

この程度の板で大型の橋体を造るとなると、至るところ継手だらけになるのは当然である。図9を見ると、腹板は幅610mmの板を上下方向に3ないし4段つないでいる様子がわかる。垂直方向に走る継手が見えないのは、T断面の垂直補剛材が腹板の添接材を兼用しているからである。



小さな板を綴り合わせて1万tの構造物を組み上げるとき、つぎにひかえる問題は全数175万本という気の遠くなるような数のリベット打ちである。板の孔明けはパンチング機械がすでに開発されていたから良いとして、リベット打ちは1850年代中頃以前はまだ機械化されていなかった。当て盤を使って25mm径のリベットをハンマーを振るって叩き、鉋頭を形成したのである。

鑄鉄橋第1号のアイアンブリッジの支間長は30m、鑄造単位は半径間、という20m近くの長さである。この70年も前の橋に比べても、当時の鍊鉄橋構造の継手数の多さと効率の悪さがわかる。

近代化されていた高炉と圧延工程の中間にあってボトルネック化していた精練工程に、根本的解決を求めたのは、いわば時代の要請であった。鋼の時代は来るべくして来たのであるが、その背後にはこうした事情もあったのである。

話をブリタニア橋に戻そう。狭い箱桁の内部に蒸気機関車を通して煙の問題はどうだったのか、これは興味のあるところであるが、その辺の事情に触れた文献は見当たらない。これは推定だが、その頃のロンドンの地下鉄が、地表のと

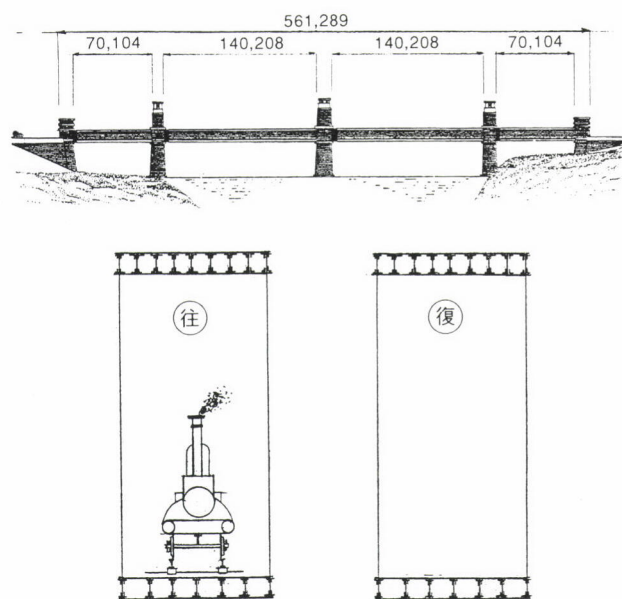


図8 箱桁第一号ブリタニア鉄道橋 (1850)

単位: m

ころどころに排煙塔を立ち上げるだけで、蒸気機関車を走らせていたことを考えると、それほど問題視しなかったのかもしれない。

ブリタニア橋は建設の最中から話題を呼び、外国からの見学者が大勢やってきたが、この形式をそのまま真似た例は出ていない。唯一の類似例はプロシヤが鉄道橋として架けた一群のラチス橋である(図10)。箱の内部に列車を走らせるところは同じだが、壁も天井も網状のラチス構造だから、内部は明るく、煙も抜ける。大陸の鉄板の供給事情がイギリスより悪かった時代であるから、小断面のフラットバーや山形材を網状に組んだ方が実際的だったのであろう。また、イギリスの無煙炭に比べ褐炭系が多い大陸では、煙の問題をより深刻に捉えたということもあるのかもしれない。

以上紹介した箱桁やラチス橋は、鍊鉄の橋としてはやや特殊な例で、19世紀に鍊鉄が多く使われたのはトラス橋である。ただ、必ずしも全部材が鍊鉄というわけではなく、

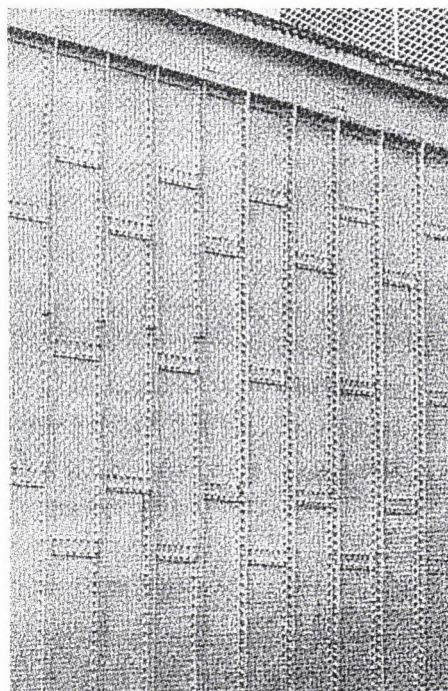


図9 ブリタニア橋の腹板

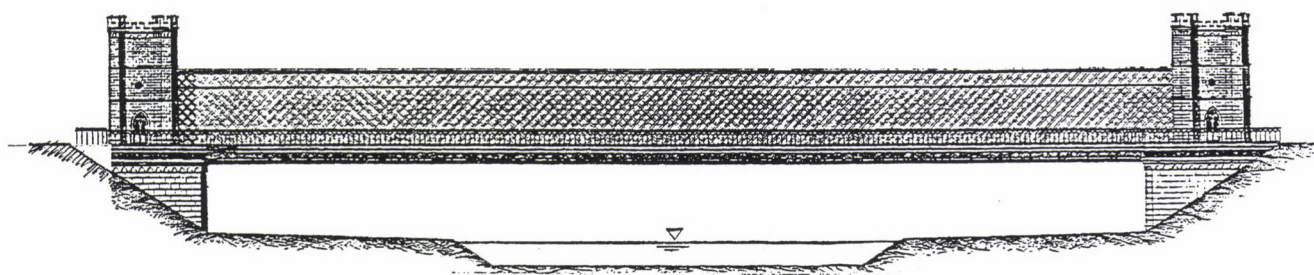


図10 プロシヤが架けたラチス式鉄道橋の一例



錬鉄は下弦材や斜材など引張材に使い、端柱や上弦材などの圧縮部材には鋳鉄を用いることもあった。とくに、アメリカの場合ほとんどのトラスがこの混淆型であった。

日本の錬鉄橋第一号は、慶応4年(1868)8月に長崎に出来た桁橋「くろがね橋」である。鋳鉄橋よりも錬鉄橋の方が先に出来てしまったわけである。設計はオランダ人、組立は官営長崎造船所であるが、材料をどこから輸入したか、日本での加工が組立だけなのか板の切断からすべてを行なったのか、その辺を明示する資料はない。この橋自体も、昭和初年にスクラップにされてしまって現存しない。

図11の八幡橋にも錬鉄が使われている。前記したようにアーチリブは鋳鉄で、その鋳造が日本で行なわれたことは確認されている。しかし、吊り材、筋違、タイ材などに使われている錬鉄の出処を確認する資料はない。幕末のころに数藩が築造していた反射炉は、動乱を経てもはや機能しなくなっていたと考え、一般に推定されているように、多分輸入材なのであろう。

日本の錬鉄橋時代は明治30年代初頭で終わった。その後も、桁橋腹板の山形補剛材など小部材に錬鉄材を使うことはあったが、大勢は急速に鋼橋に移行していった。

錬鉄時代は短かったが、今も供用中の橋をとくに見かける。われわれが知らないうちにお世話になっている橋を一つ挙げよう。JR中央本線多摩川橋梁の上り線のプレートガーダー橋は、430m全長が錬鉄製である。今年で創架100年ということになるが、幹線鉄道でこの長寿は珍しい。今後さらに頑張ってもらいたいものである。

## 6 そして現代の鋼橋

イギリスの統計でみると、鋼の生産量が錬鉄を上回ったのは1885年である。磨耗し易い錬鉄レールは急速に鋼に代り、橋梁も1900年頃までに鋼橋に転換を終えた。他の国々が多少遅れたといっても、この5~10年後には概ね鋼橋に転換を終えた。アメリカの鋼生産は、1880年代末には先進国イギリスを超越し、新大陸に鋼構造大国を現出した。

19世紀末に現われた鉄筋コンクリート橋、また今世紀前半に端を発するプレストレスコンクリート橋は、最初は小規模橋梁に用いられていたが、やがて適用支間長を拡大し、鋼橋の好敵手に成長していった。

ここで現代の状況を展望してみると、鋼構造とコンクリート構造は、中規模以上の橋については、競合の段階を過ぎて共存の時代に入りつつあるようにみえる。19世紀の橋が引張材に錬鉄、圧縮材に鋳鉄と使い分けが行なわれた

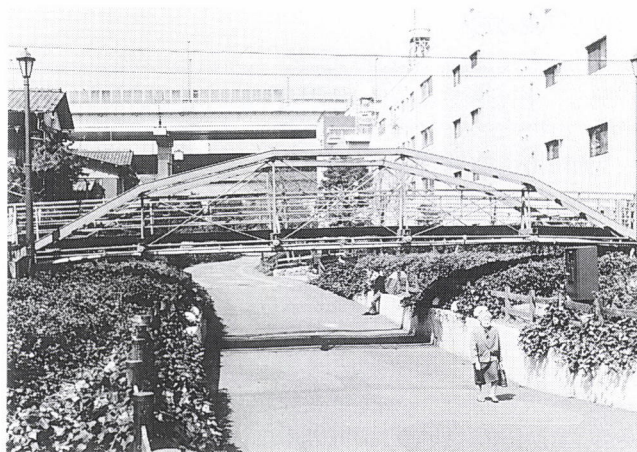


図11 東京江東区の八幡橋 (1878)

ように、現代の世界の橋の潮流を鋼橋の視点から眺めると、引張材に鋼、圧縮材にコンクリートという使い分けの傾向が、かなりはっきり出てきている。こうした傾向が、鋼橋における鋼材の使用量の頭打ち要因になっていることもまた事実である。

例えば大きな吊橋でいうと、桁には軽量の鋼材を用い、主として圧縮力をうける塔柱にはコンクリートを使うといった使い分けが、世界的な流れになってきている。また中規模の桁橋などでは、圧縮側にコンクリートを利用した合成構造を適用するといった具合である。小径間の橋でも、最近のヨーロッパの状況を見ると、 $\pi$ 形断面の2主桁の合成桁がコンクリート橋よりも経済的とされている。

若き溢れるコンクリート構造に押されて、鋼橋の衰滅を懸念する議論も一時はあったが、これは杞憂だった。軽量故に現場の施工性とくに都市内の迅速施工に適する利点、また多少の損傷を受けても修復可能ないわゆる板金加工が容易であるという特質は、鋼橋の本質的な強みである。軽量かつねばりのあることは耐震性の面で当然有利であり、震災経験を活かしてさらに改善の方向に向かっている。

豊かな信頼性、品質の安定性、それらに比較した場合の価格の安さなど、鋼材のもつ利点は大きい。21世紀の鋼橋は合成構造・複合構造の時代になろうが、そうした形をとりながら鋼構造は多用されていくと考える。強化プラスチック材の橋梁への試用はすでに始まっていて、イギリス・アメリカ・デンマークなどで、すべてプラスチック製の歩行者用斜張橋が誕生するなど、開発気運が活発化しているが、鋼構造に競合できる時代はまだまだ先のことであろう。

(1997年9月8日受付)



## (社)日本鉄鋼協会 第4回「次世代鉄鋼奨学助成(1999年度から交付)」の募集案内

本会では、大学等における鉄鋼研究に関わる分野の教育者・研究指導者の後継者候補を広く養成するため、次世代の教育者・研究指導者を目指す優秀な大学院博士課程在学者に標記助成金を交付しております。

第4回(1999年度から交付)を下記のとおり募集しますので、希望者は「6. 申請手続き」に従い申請して下さい。

### 1. 申請資格：

- 1) 申請時に修士課程1年次に在籍中で、博士課程に進学を目指し、将来は大学等における鉄鋼関連の教育者・研究指導者を目指している学生とします。
- 2) 申請者の博士過程における指導教育者の推薦を必要とします。  
なお、指導教育者は、本会が関わる分野で研究を行っている本会会員とします。
- 3) 他の奨学金の受給は関知しません。  
ただし、学術振興会の特別研究員に採択された場合には、「次世代鉄鋼奨学助成金」を辞退していただきます。
- 4) 受給には学生会員であることが必要です。非会員の方は申請前に入会手続きを行って下さい。

### 2. 採用予定数：原則として、毎年4名以内とします。

### 3. 助成期間：原則として、博士課程在籍の1年次から3年次までの3年間とします。

### 4. 助成金額：1) 月額125,000円 2) 給付であり、返済は不要です。

### 5. 申請受付期間：1998年1月10日～2月27日(必着)

### 6. 申請手続き：下記「申込み先」に所定の申請書を請求の上、申請して下さい。

### 7. 選考：1次選考を学会部門、最終選考を総合企画/助成委員会が行います。

### 8. 決定通知：

- 1) 選考の結果は1998年5月頃に申請者本人に通知します。
- 2) 受給者名、一次選考者名等を会報(8月号)およびホームページに掲載します。

### 9. 助成金の交付：

- 1) 1999年4月から毎月交付します。
- 2) 大学等の教育者・研究指導者を目指す進路からはずれた場合、または助成金の受給資格に変更などが生じた場合は、すみやかに本会に報告し、その決定に従うものとします。

### 10. 助成金の使途・報告：

助成金の使途については問いませんが、支給開始1年後から3年間、研究内容に関する経過報告書を本会に提出していただきます。

**申込み先：**(社)日本鉄鋼協会 総合企画事務局 総合企画グループ 征矢(ソヤ)  
TEL.03-3279-6021 FAX.03-3245-1355 E-mail:corplan@isij.or.jp

## 本会情報一覧

| 記事内容                                      | 掲載号     |
|-------------------------------------------|---------|
| 第35回白石記念講座「地球環境・地域環境問題と鉄鋼業」開催のお知らせ        | 本号 54 頁 |
| 第4回「次世代鉄鋼奨学助成(1999年度から交付)」の募集案内           | 本号 55 頁 |
| 高温プロセス部会 セミナー「鉄鋼プロセスにおける移動現象とその右脳理解」開催案内  | 本号 56 頁 |
| 高温プロセス部会 新規研究グループ募集案内                     | 本号 56 頁 |
| 「鉄と鋼」特集号 「評価・分析・解析」原稿募集のご案内               | 本号 57 頁 |
| 課題抽出ワーキンググループ活動紹介                         | 本号 57 頁 |
| 計測・制御・システム工学部会フォーラムのご案内                   | 12号895頁 |
| 計測・制御・システム工学部会賞候補者推薦募集                    | 12号896頁 |
| 講習会「設備技術者のための実用設備診断技術」開催案内                | 12号896頁 |
| 材料の組織と特性部会「自主フォーラム」設置の募集                  | 12号897頁 |
| ISS主催行事予定                                 | 11号830頁 |
| 第135回春季講演大会 一般講演募集案内                      | 11号831頁 |
| 第135回春季講演大会 予告セッションへの講演申込のお誘い             | 11号833頁 |
| 講演大会参加方法のご案内                              | 11号834頁 |
| 第135回春季講演大会 学生ポスターセッションでの発表のお誘い           | 11号836頁 |
| 第13回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会および第2回学生セミナーのお知らせ | 11号837頁 |
| 平成10年度俵・澤村論文賞候補論文推薦に関するお知らせ               | 11号840頁 |



## 行事等予定

太字は本会主催の行事

| 開催期日      | 行事（開催地）                                          | 締切         | 掲載号及び頁  |
|-----------|--------------------------------------------------|------------|---------|
| 1998年     |                                                  |            |         |
| 1月 19日    | 金材技研ワークショップ「超鉄鋼材料：実現への萌芽技術」（つくば）                 |            | 本号 58 頁 |
| 20,21日    | 第13回環境工学連合講演会「循環・共生・参加」（東京）                      |            | 12号900頁 |
| 29日       | 第117回腐食防食シンポジウム「高温腐食-溶融塩腐食・廃棄物焼却炉環境-」（東京）        |            | 本号 58 頁 |
| 30日       | 第21回レーザー協会ウィンターセミナー レーザ加工'98-新しい装置・制御・実用-（東京）    |            | 本号 58 頁 |
| 20,21日    | 第47回システム制御情報学会講習会「最近のロボット技術の動向と今後の展望」（大阪、東京）     |            | 12号900頁 |
| 21日       | 第10回分析化学フォーラム-21世紀の分析化学を目指して-（東京）                |            | 12号900頁 |
| 22,23日    | 北海道支部 平成9年度総会・評議員会・講演大会（札幌）                      |            | 12号898頁 |
| 22,23日    | 第26回ガスタービンセミナー（東京）                               |            | 12号900頁 |
| 23日       | 金属学会シンポジウム「高温変形と衝撃破壊」（東京）                        |            | 12号900頁 |
| 26,27日    | 第6回機械・構造物の強度設計、安全性評価に関するシンポジウム（京都）               |            | 12号900頁 |
| 27,28日    | 第5回超音波による非破壊評価シンポジウム（東京）                         |            | 12号900頁 |
| 27,28日    | HPI技術セミナー「圧力容器関連規格の国内外動向」（東京）                    |            | 12号900頁 |
| 28~30日    | 第70回塑性加工工学講座「圧延加工の基礎と応用」（東京）                     |            | 12号900頁 |
| 29,30日    | <b>講習会「設備技術者のための実用設備診断技術」</b>                    |            | 12号896頁 |
| 2月 3,4日   | SICEセミナー「ロボスタ制御入門」（東京）                           |            | 本号 58 頁 |
| 6日        | <b>セミナー「鉄鋼プロセスにおける移動現象とその右脳理解」（札幌）</b>           | 1998/1/30  | 本号 56 頁 |
| 6日        | 第16回技術セミナー「事例で学ぶ淡水腐食とその防止」（東京）                   |            | 12号900頁 |
| 6日        | 第178回塑性加工シンポジウム「最近の塑性加工用金型技術」（大阪）                |            | 12号901頁 |
| 19,20日    | HPI技術セミナー第21回「石油等貯蓄技術基準と安全性」（東京）                 |            | 12号901頁 |
| 25日       | <b>第35回白石記念講座「地球環境・地域環境問題と鉄鋼業」（東京）</b>           |            | 本号 54 頁 |
| 3月 4~6日   | <b>第2回学生セミナー（知多）</b>                             | 1998/1/19  | 11号838頁 |
| 6,10~12日  | <b>第13回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会</b>                  | 1998/1/19  | 11号837頁 |
| 6~16日     | <b>学生会員向け'98年カナダの大学・研究所・鉄鋼会社めぐり</b>              | 1987/12/25 | 12号894頁 |
| 16日       | 第14回塗料・塗装研究発表会（東京）                               | 1997/10/20 | 10号771頁 |
| 17~19日    | 第27回FRPシンポジウム（京都）                                |            | 12号901頁 |
| 4月 1~3日   | <b>第135回春季講演大会（東京）</b>                           | 1998/1/8   | 11号831頁 |
| 5月 13~15日 | 平成10年度（第29回）塑性加工春季講演会（大阪）                        |            | 本号 58 頁 |
| 21~23日    | 表面技術総合展-METEC'98-（東京）                            |            | 本号 58 頁 |
| 26~28日    | 第3回日本計算工学会講習会（東京）                                |            | 本号 58 頁 |
| 6月 23~25日 | 第10回「電磁力関連のダイナミックス」シンポジウム（蔵王）                    |            | 本号 58 頁 |
| 7月 16,17日 | 第14回海洋工学シンポジウム-海洋新世紀 夢から実現へ-（東京）                 |            | 本号 58 頁 |
| 11月 8~12日 | 国際炭素会議1998（東京）“ニューカーボンのための科学と技術”                 |            | 本号 58 頁 |
| 10~12日    | 画像化システムと画像通信システムの雑音低減に関する国際シンポジウム (ISNIC-98)（東京） |            | 本号 58 頁 |
| 12月 1~3日  | 第2回高温エネルギー変換システムおよび関連技術に関する国際シンポジウム（名古屋）         |            | 本号 58 頁 |

### お詫びと訂正

本誌Vol.2, No.12, p.898に掲載の Iron & Steel Societyの刊行物の申込み・問合わせ先E-mailに誤りがありました。お詫びして下記のとおり訂正いたします。

E-mail:custserv@issource.org



## 編集後記

あけましておめでとうございます。「ふえらむ」もVol.3に突入しました。石の上にも3年と申しますが、「ふえらむ」の記事のイメージも定着してきた気がします。お陰様で会員の皆様にもご好評を頂いているようです。

昨年12月に開催された「気候変動枠組み条約第三回締結国会議」、米国内における「モーターのエネルギー効率基準の引き上げ」など、地球環境保護の気運が高まってきています。これらを受けて各企業、研究機関での研究開発が盛んに行われていますが、地球レベルの課題には各国の思惑が絡み合うにしろ、各人が自分達の立つ地球を見直すことは非常によいことだと思います。

地球温暖化を取り上げたあるTV番組を見終った小学生が、就寝時、外出時には必ずリモコンテレビの主電源を消すようになりました。この気持ちを大切にしたいものです。「ふえらむ」が彼らの目に触れる機会を作るよう、彼らに必要な情報が提供できるよう、編集委員一同努力していきたいと思っています。よろしく願いいたします。

(T.Y.)

毎年1月号に「わが国における鉄鋼生産技術の歩み」を掲載いたしておりましたが、本年より掲載時期を5月号に変更いたしました。「ふえらむ」12月号会告を参照願います)

### 会報編集委員会 (五十音順)

**委員長** 雀部 実 (千葉工業大学)

**副委員長** 近藤 隆明 (NKK)

|                         |                 |                   |
|-------------------------|-----------------|-------------------|
| <b>委員</b> 石井 邦宜 (北海道大学) | 梅本 実 (豊橋技術科学大学) | 大河内春乃 (東京理科大学)    |
| 上村 正 (いすゞ自動車㈱)          | 川田 豊 (㈱神戸製鋼所)   | 北村 高士 (㈱ニューマーケット) |
| 久保田 猛 (新日本製鐵㈱)          | 小林 正人 (㈲日本鉄鋼連盟) | 今野 美博 (住友金属工業㈱)   |
| 下川 成海 (㈲日本鉄鋼協会)         | 手塚 誠 (㈲日本鉄鋼協会)  | 成島 尚之 (東北大学)      |
| 古田 修 (愛知製鋼㈱)            | 丸山 俊夫 (東京工業大学)  | 柳 謙一 (三菱重工業㈱)     |
| 山下 孝子 (川崎製鉄㈱)           |                 |                   |

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

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

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

編集兼発行人 東京都千代田区大手町 1-9-4 経団連会館内 内仲康夫

印刷人/印刷所 東京都文京区白山 1-33-15 (株)トライ

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 1998 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

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

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

Copyright Clearance Center, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

表紙デザイン 出澤 由野



## ふらむ Vol.3 No.1 広告目次

表2 住友金属工業(株)

エンジニアリング各分野

前1 (株)マツボー

高精度レーザー測定器

2 (株)チノー

放射線温度計

3 (株)島津製作所

発光分析システム

4 丸本ストルアス(株) 試料準備機器

前5 コマツエンジニアリング(株)

摩擦摩耗試験機

6 王子製鉄(株)

企業PR

後1 本誌広告目次

ティーイーピー(株)

カルシアセラミックス

後2 富士電波工機(株) 非接触浮揚溶解装置

3 大野ロール(株) 各種圧延装置

4 耐火物技術協会 書籍

(株)協会通信社 広告案内

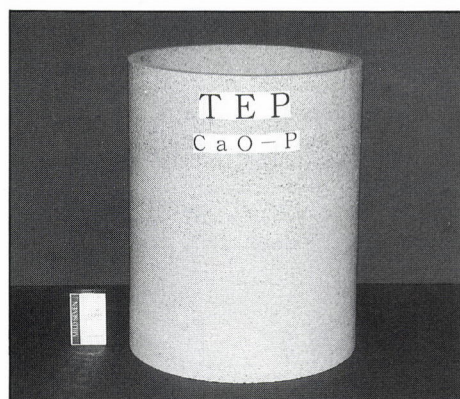
表3 日本ミンコ(株) サンプル・サンブラ

表4 日本アナリスト(株) 炭素分析装置

本誌広告取扱 (株)協会通信社 TEL.03-3571-8291 / (株)共栄通信社 TEL.03-3572-3381 / (株)スノウ TEL.03-3257-9565  
FAX.03-3574-1467 / FAX.03-3572-3590 / FAX.03-3257-9568

# 多孔質“カルシア”セラミックス

## CaO-P



φ360×φ320×h460(上図サイズ)

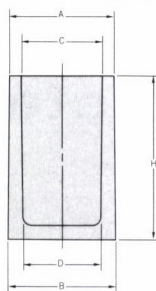
大形サイズの“るつぼ”“ノズル”等  
当社独自の成形法で製作いたします。  
ぜひ、使ってみて下さい!!

### 【用 途】

- 高純度金属の精製
- 熔融金属合金製造用るつぼ
- 鑄型材
- ノズル
- 介在物除去用フィルター

るつぼ標準規格

寸法表▶



|    | A   | B   | C   | D   | H        | 容量<br>(鉄換算)<br>kg |
|----|-----|-----|-----|-----|----------|-------------------|
| 3  | 49  | 50  | 38  | 37  | 120      | 0.5               |
| 4  | 60  | 62  | 49  | 48  | 150      | 1                 |
| 5  | 72  | 74  | 60  | 58  | 150, 160 | 2                 |
| 6  | 85  | 86  | 71  | 69  | 160, 180 | 3                 |
| 7  | 95  | 97  | 78  | 77  | 185      | —                 |
| 8  | 108 | 110 | 89  | 87  | 185, 207 | 5                 |
| 9  | 119 | 122 | 98  | 96  | 210, 250 | 5                 |
| 10 | 135 | 137 | 110 | 107 | 210, 250 | 10                |
| 11 | 134 | 137 | 116 | 113 | 210, 250 | 15                |
| 12 | 167 | 172 | 138 | 136 | 250, 300 | 20                |
| 13 | 195 | 198 | 159 | 156 | 250, 300 | 30                |
| 14 | 240 | 242 | 199 | 195 | 380, 410 | 50                |
| 15 | 320 | 324 | 275 | 270 | 430      | 100               |
| 16 | 357 | 363 | 320 | 315 | 450      | 150               |

規格寸法以外もご相談に応じます。

熱の総合メーカー

## TEP株式会社

本社 〒124 東京都葛飾区小菅2-20-4  
TEL (03) 3602-2992(代) FAX (03) 3601-5120



# 非接触浮揚溶解装置!!

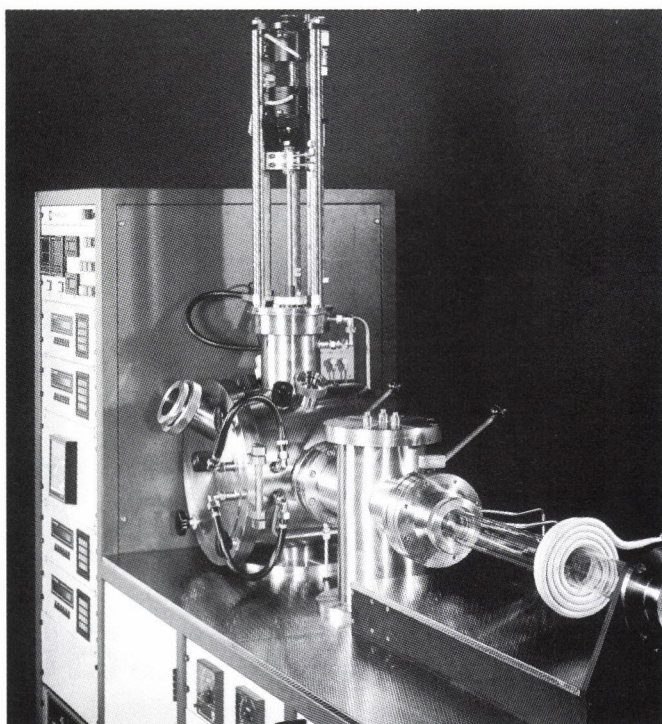
## COLD CRUCIBLE INDUCTION MELTING

### 新素材の研究・開発に最適

溶融金属がルツボ壁に接触することなく溶融・浮揚・保持

#### 特徴

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



#### 溶解可能な金属

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

(英国Crystalox社と提携)

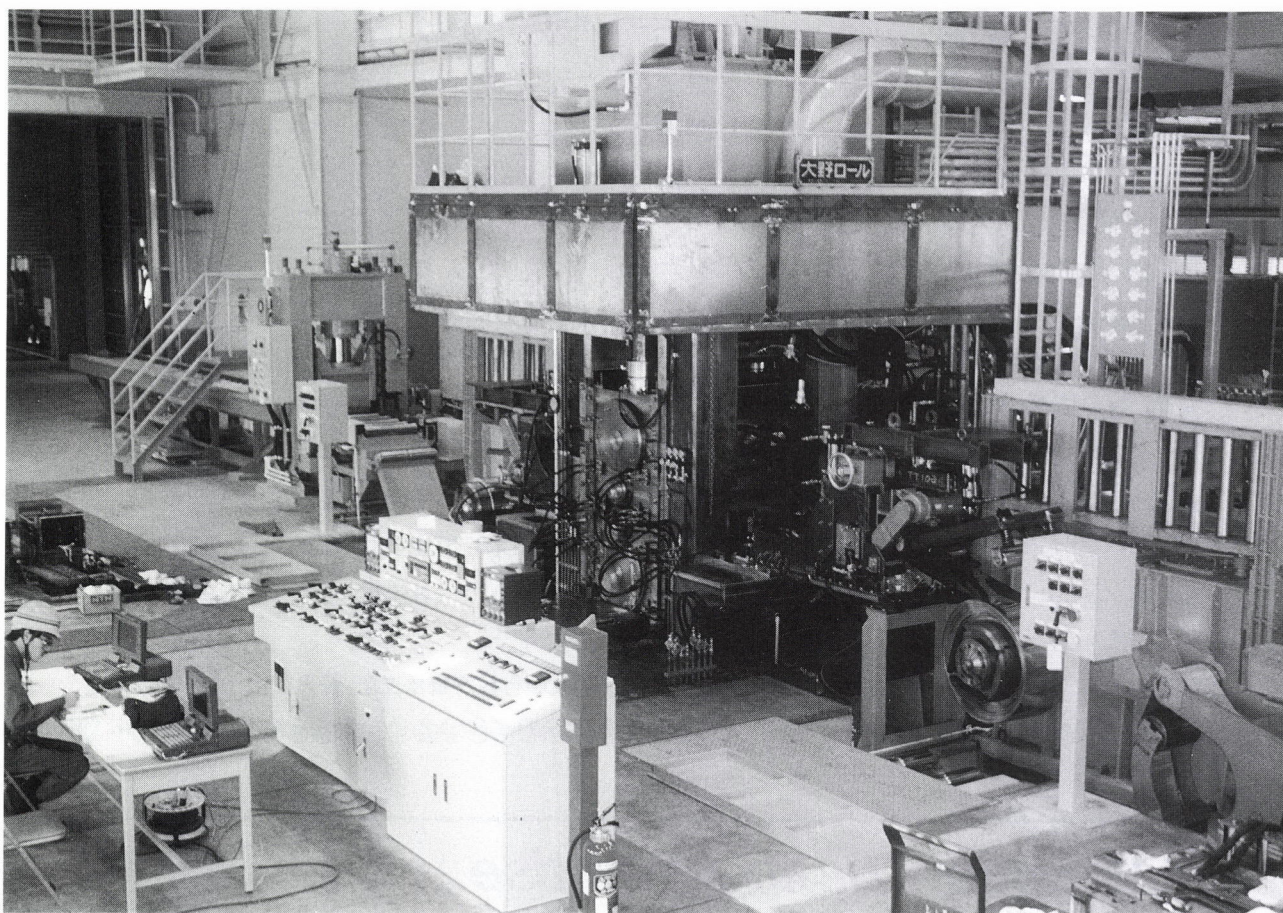


**富士電波工機株式会社**

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



# 生産用に、研究用に。 技術と経験が役立ちます。



## 24型 2/4段 圧延機

W ロール φ300  
B ロール φ600  
板 巾 500  
最大スピード 500m/min  
2 段 時 250t×500Wより  
4 段 仕 上 り 30μ×500Wまで

スラブの熱間圧延から50μのコイルまで一台の機械でロールを組替えて圧延出来ます。

機械の選定・探索テスト  
に御利用下さい。

φ190 2Hiロール機  
φ350 電池用プレス機  
(ヒーター付)  
φ63 2Hiロール機  
φ63 粉末ロール機  
φ200 直接圧延機  
φ80 スリッター  
3S2 セージングマシン



## 大 野 ロール 株 式 会 社

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



好評発売中!!

耐火物手帳 '97 編集委員会編

## 耐火物手帳 '97

耐火物技術協会創立50周年記念事業の一環として、15年振りに耐火物手帳の全面改訂版『耐火物手帳 '97』が発行されました。本書は馴染みのある耐火物手帳の書名を継承しておりますが、内容を全く一新した全面書き下ろしです。また関係者には常時座右に置かれ、ハンドブックとしても長く愛用されるよう、内容・構成を吟味しております。耐火物関係者のご購入をお勧めします。

『耐火物手帳 '97』概要 (B5版、本文512頁)

内 容: 耐火物概論、耐火物各論、耐火物と工業炉、耐火物規格、耐火物用語、耐火物関係資料

発 行 日: 平成8年12月5日

頒 価: 5,090円 (消費税込み) 送料: 500円 (ただし2冊以上一律1,000円)

購入方法: 送付先 (住所、所属、ご担当者氏名、電話、FAX)、注文冊数、送金方法を明記の上、  
ファクシミリまたは郵送でお申込下さい。請求書を添えてご送付致します。

申込先・送金先: 耐火物技術協会 FAX 03-3572-0175 〒104 東京都中央区銀座7-3-13

送金方法:

①現金書留 ②郵便振替口座 東京00160-8-26794 ③第一勧業銀行数寄屋橋支店 普通預金 034-1076021

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

**ふえらむ**

ferrum

**Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan**

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

**ISIJ**  
International

**ISIJ International**

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

**鉄と鋼**

TETSU-TO-HAGANE

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

日本鉄鋼協会講演論文集

**材料とプロセス**

Report of the ISIJ Meeting

**Current Advances in Materials and Processes**

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

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

For more Information,  
Write or Facsimile.

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

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



# Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

## 品質向上のパイオニア

### ■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)



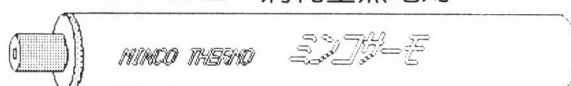
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

### ■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

PT301型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968  
白金・白金ロジウム

### ■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。

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

### 日本ミンコ株式会社

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

お問い合わせは

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

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



# 米国 **LECO** 社製 **WC-200**

— 最新型 —

## 炭素分析装置

高炭素含有量域の精度向上

分析対象物質：各種セラミックス・耐火物(SiC、TiC)  
鉄、鉄鋼、フェロアロイ、非鉄金属、鉍石、触媒等



本体寸法／W700、H775、D600mm

製造プロセスの工程管理や製品の品質管理に威力を発揮します。

### ■ 広く高精度な分析範囲

測定範囲：40ppm～4.0% (1g試料)

測定範囲は、試料重量を変えることにより広がります。

分析精度：20ppmまたは0.15%RSD

(いずれか大きい方)

### ■ 分析時間 3 分以内

### ■ 高周波燃焼法/赤外線吸収方式

姉妹炭素分析装置

IR-412型

高感度(0.1ppm)分析用

C-400、C-200型

ルーティン分析用

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



日本総代理店

**日本アナリスト株式会社**



ISO-9001  
No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

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