

Volume 1
No. 1 1996

(社)日本鉄鋼協会会報

ふえらむ

Bulletin of

The Iron and Steel

Institute of Japan



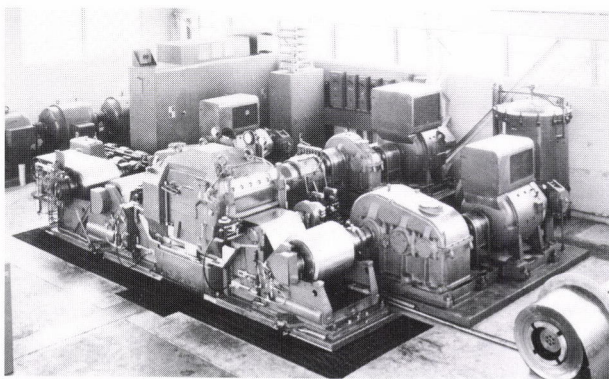
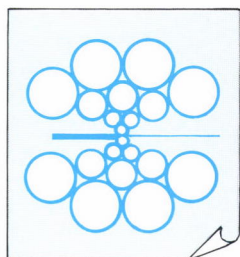
社団法人 日本鉄鋼協会
The Iron and Steel Institute of Japan

SENDZIMIR

日本センチミア製 小型圧延機

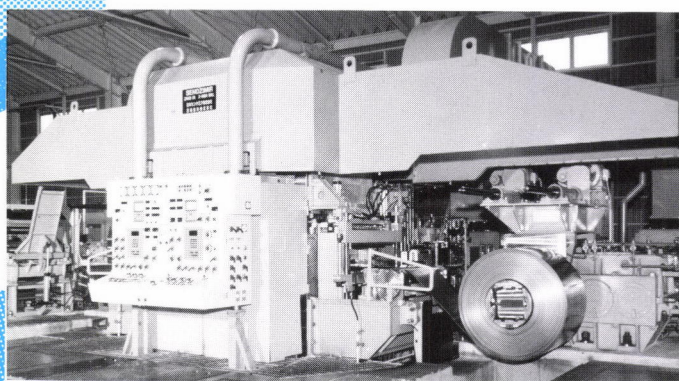
小型の20段センチミアミルも
日本センチミア(株)で製作します。

- 低設備費・短納期の実現
- 小径作業ロールと新形状制御機構
- 容易な極薄圧延・優れた平坦度



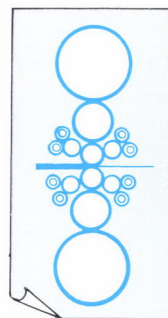
小型センチミア20 HIGH MILL

- 形状制御機構は ● 中間ロールシフト
● 新AS-Uロールクラウン装置



センチミアZ-HIGH MILL

- 形状制御機構は ● 中間ロールシフト
● 中間ロールベンディング



日本センチミア株式会社

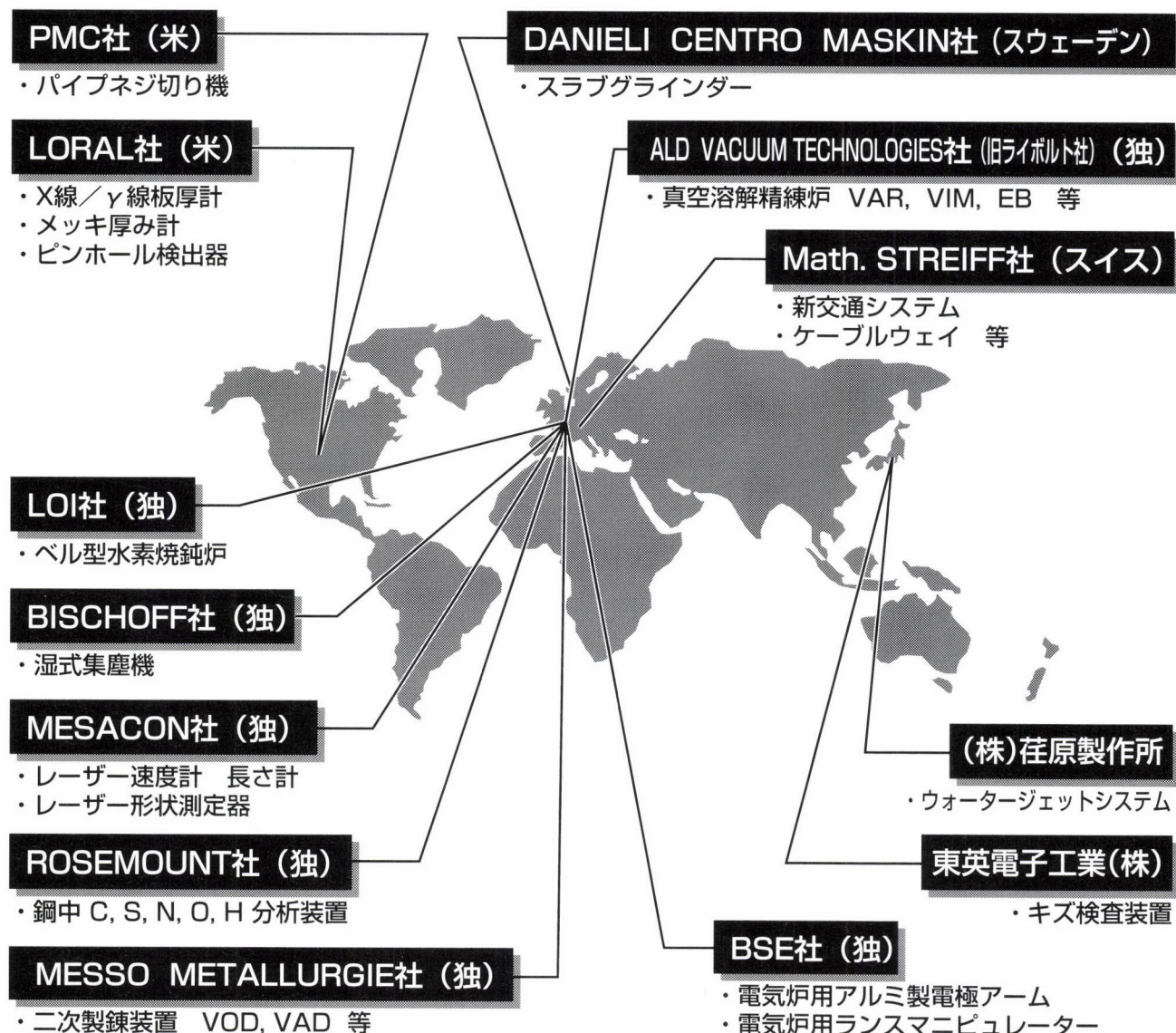
〒101 東京都千代田区東神田2-10-14 日本センチミアビル9階 ☎03-3861-1541 FAX.03-3861-1543

日商岩井株式会社 重機械部 圧延機械課

〒107 東京都港区赤坂2-4-5 ☎03-3588-2585 FAX.03-3588-4265

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

重工業グループ取扱商品



これからも世界の先進技術をご紹介します。

株式会社 **マツボー**

プラント2部

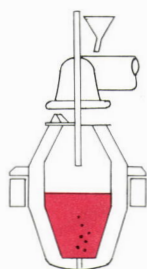
〒105 東京都港区虎ノ門3丁目8番21号
TEL.03-5472-1746 FAX.5472-1740

炉外精錬装置

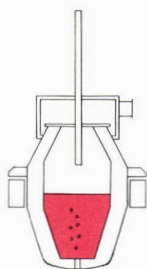
小容量装置(DETEM)から大容量熔鋼処理まで 品質改善と精錬費合理化に役立ちます

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

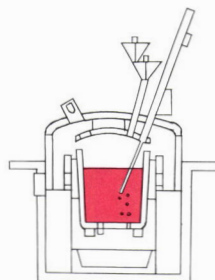
貴社の状況、ご希望等に応じて各種の炉外精錬装置を、お見積もり致します。お気軽にご相談ください。



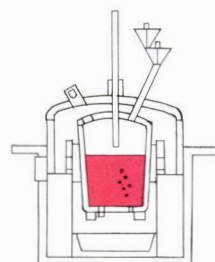
Inertgas Oxygen Converter



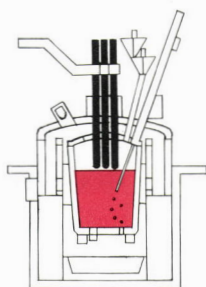
Vacuum Oxygen Decarburization Converter



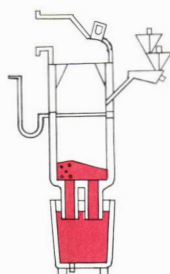
Vacuum Degassing



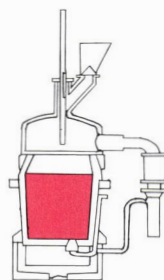
Vacuum Oxygen Decarburization



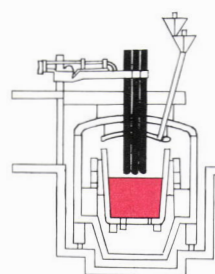
Vacuum Arc Degassing



Vacuum Circulation Process



Detem



Ladle Furnace

総代理店



株式会社 テクノヨコハマ

代表取締役社長 中村 道生

本社 〒225 横浜市青葉区市ヶ尾町1161番地14
アーバンプラザA-2号室

TEL:045-972-1066 FAX:045-972-1065

東京事務所 〒101 東京都千代田区岩本町2-1-16 千代田技研工業株内
TEL:03-3861-3623 FAX:03-3863-3075



TECHNOMETAL

Gesellschaft für Metalltechnologie mbH

Königstrasse 53 Postfach 101319

D-47051 Duisburg 1

Telephone (0203) 30503-0

Telefax (0203) 3050380

Telex 8551369

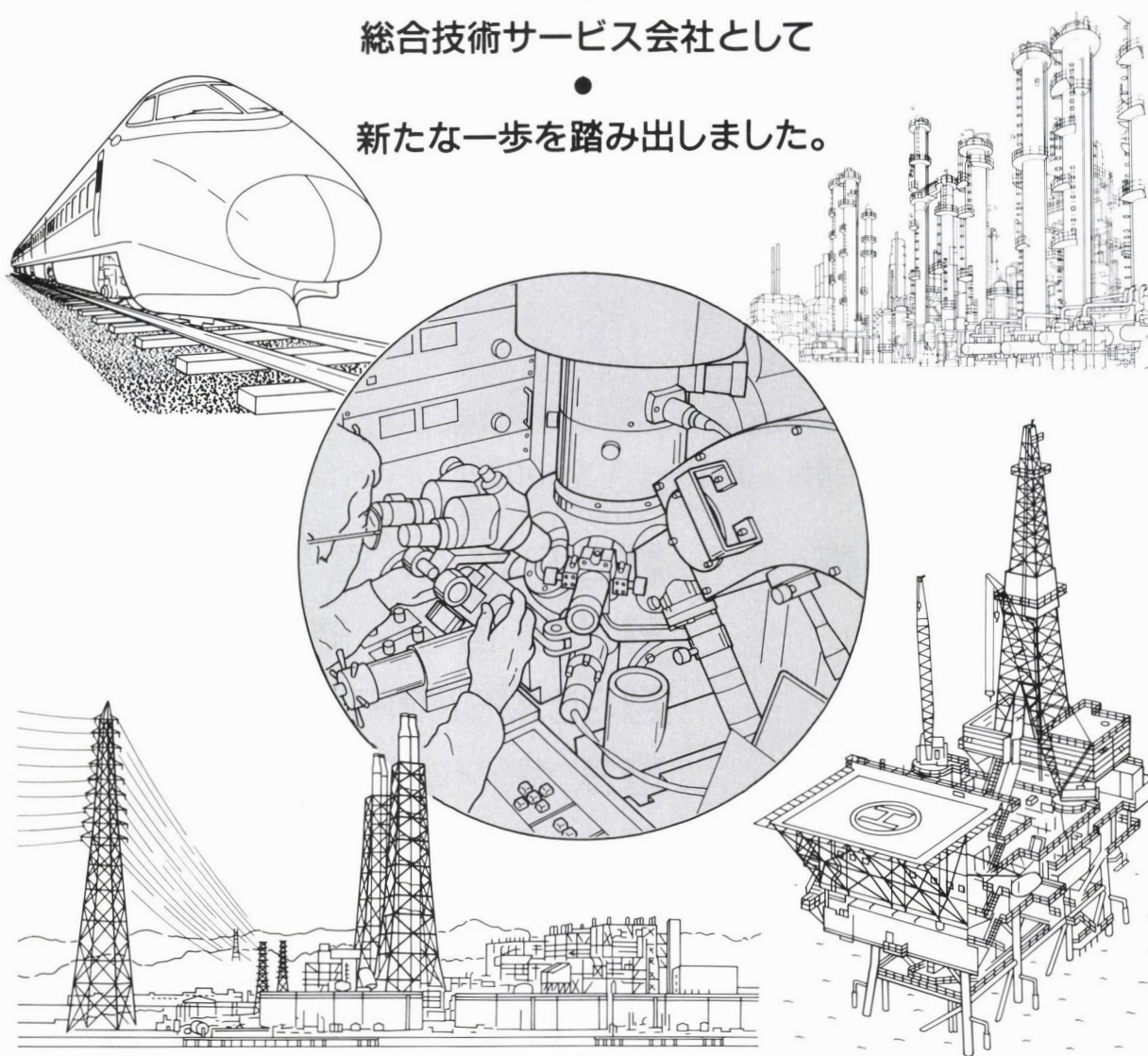
まだまだ広がる

テクノロジーの未来

住友金属工業(株)の永年の技術と経験の蓄積をバックにした

●
総合技術サービス会社として

●
新たな一歩を踏み出しました。

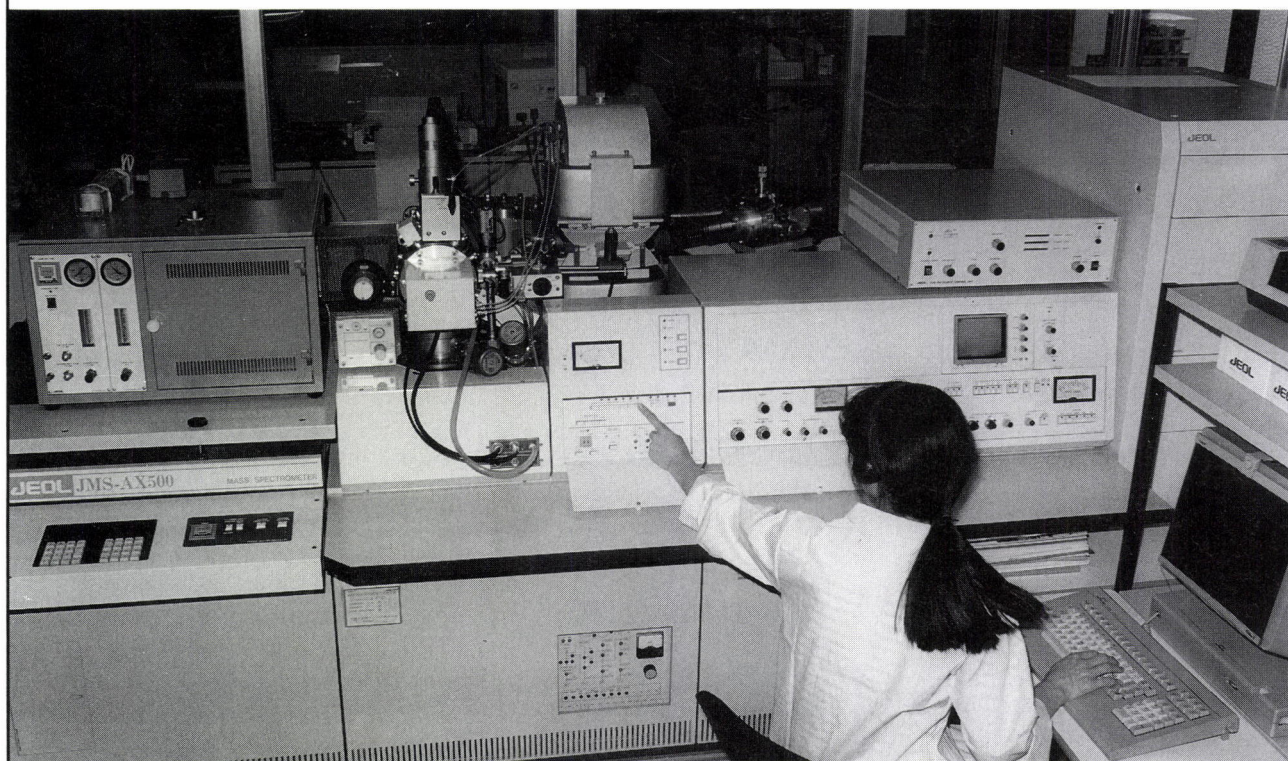


住友金属テクノロジー株式会社

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

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

新素材の分析は最高技術で迅速確実



質量分析計 JMS-AX500型GCMSシステム

◇試験業務◇

- ❶ E P M A、電子顕微鏡試験
- ❷ X 線 回 折、結 晶 構 造 解 析
- ❸ GC/MS及びFT-IR等による有機分析
- ❹ 鉄 鋼、非 鉄、貴 金 属 の 分 析
- ❺ 油 脂、燃 料、石 油 製 品
- ❻ 金属、有機材料の物理化学試験
- ❼ 環 境、公 害 分 析 全 般

環境計量証明事業所第560号
作業環境測定機関登録番号13-43
東京都建築物飲料水・空気検査業
第333,293号



株式会社

分析センター

本社営業部 〒101 東京都千代田区三崎町3丁目4番9号 ☎03(3265)1726代 FAX03(3265)1706
技術研究所 〒131 東京都墨田区東向島1丁目12番2号 ☎03(3616)1612代 FAX03(3616)1615

金属・鉱物・無機材料中

SHIMADZU

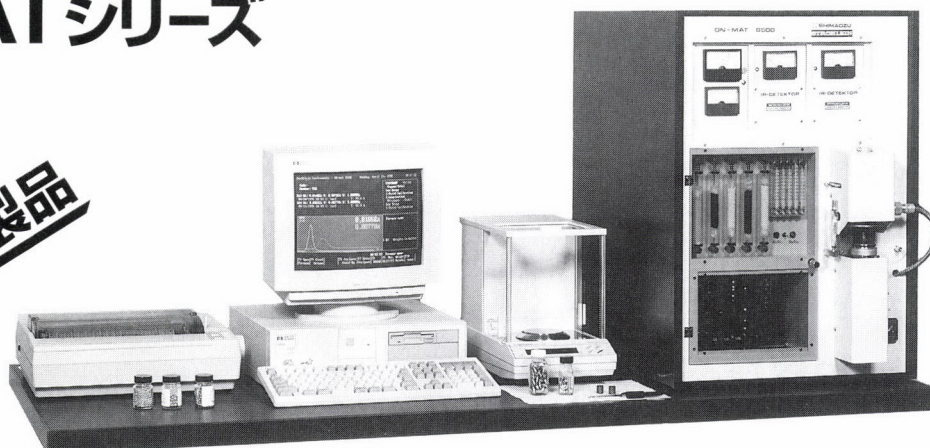
Solutions for Science
since 1875

C S O N H 分析装置

島津/STRÖHLEIN
固体/粉体試料用燃烧式ガス分析装置

MATシリーズ

新製品



鉄鋼や非鉄金属工業やセラミック製造業などの分野において、迅速性・高精度を要求されている製鋼・精錬工程の生産・品質管理用として、あるいは研究分析用として最適です。

- 保守・消耗品ともリーズナブルな価格です。分析コストの削減に貢献します。
- 光ファイバー採用の温度コントロール(特許)により、正確な昇温が得られます。
- 高温加熱して分析するので、試料履歴の影響を抑えることができます。
- 試料中の酸化物・窒化物の同定や、拡散水素の測定が可能です。

幅広い応用分野と豊富な製品ラインアップ

応用分野 主な適用機種		金 属					鉱 物					無機材料・環境分析					有機材料						
		鉄鋼	鋳鉄・鉄鋼	合金	アルミニウム	チタニウム	銅合金	鉄鋼	岩石	セラミックス	ガラス	セメント	石灰石他	無機塩	カーバイド	酸化・窒化物	土灰	湖沼	産業廃棄物	石炭・コークス	植物・泥炭	ゴム	タバコ
炭素・硫黄	CS-mat 6500	●	●	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●							
	CS-mat 5500	●	●	●	●		●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●	●
酸素・窒素	ON-mat 8500	●	●	●	●	●	●			●	●		●		●								
水 素	H-mat 2500	●	●	●	●	●	●				●												

上記機種ほかにS.OおよびN各元素の専用機やアルミニウム中極微量水素分析専用機H-mat 2020ALもあります。

科学とともに120年

⊕ 島津製作所

本社 京都市中京区西ノ京桑原町1

第二分析事業部 (075) 823-1236
お問合せはもよりの営業所へ

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

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

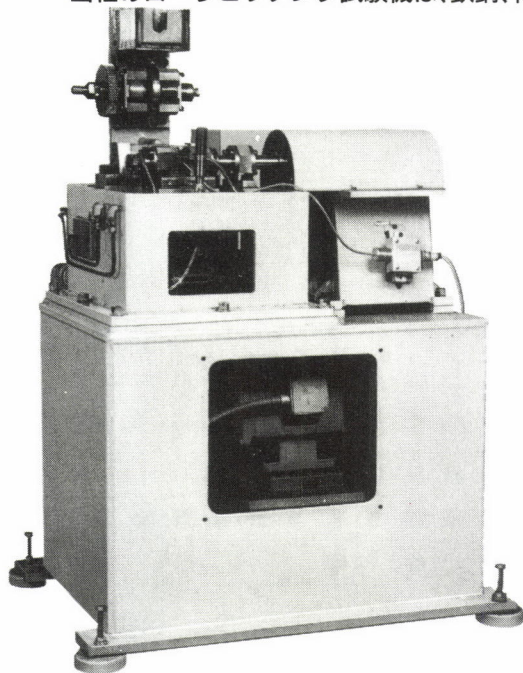
試験項目 試験機名	材 料 試 験					潤滑油試験	
	スポーリング	ピッチング	スコ어링 スカuffing	摩 耗	摩擦特性	高温清浄性	摩擦特性
ローラーピッチング試験機	○	○	○	○	○		
動力循環式歯車試験機	○	○	○	○	○		
摩擦摩耗試験機(回転式) (往復動式)			○	○	○		
クラッチブレーキテスト				○	○		
土砂摩耗試験機				○			
ホットチューブテスト						○	
マイクロクラッチテスト							○

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て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/mm²

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
計測エンジニアリング事業部 〒254 神奈川県平塚市四之宮1144-1 TEL.(0463)53-4025 FAX.(0463)53-4427

非接触浮揚溶解装置!!

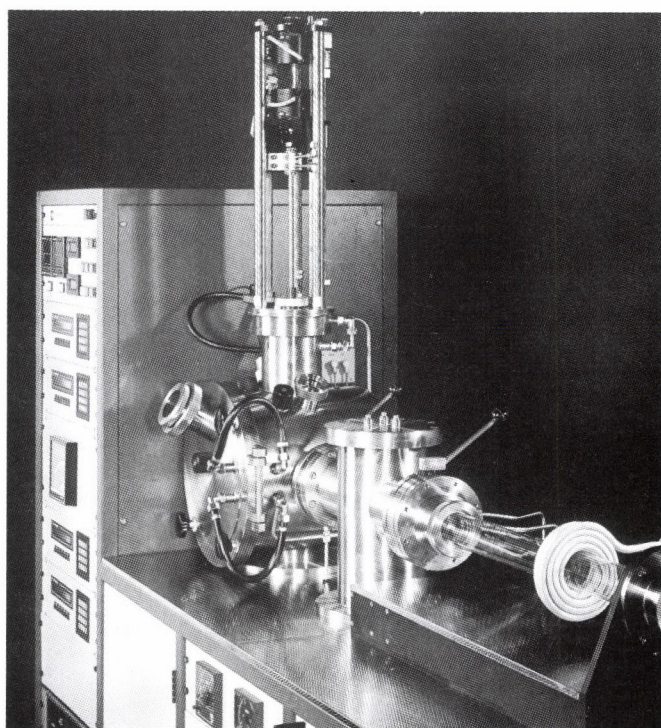
COLD CRUCIBLE INDUCTION MELTING

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)



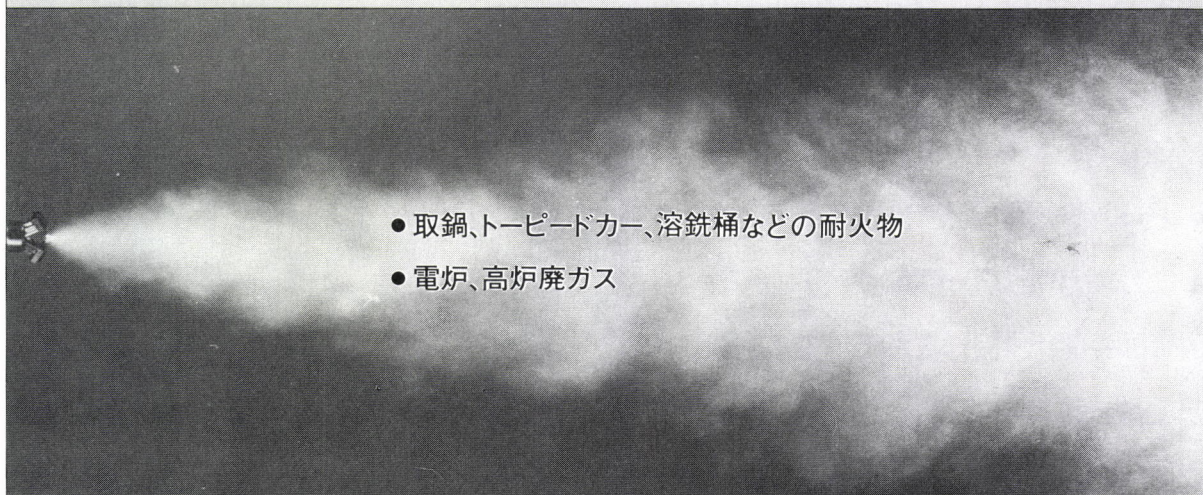
富士電波工機株式会社

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

スプレーノズル・冷却三方式

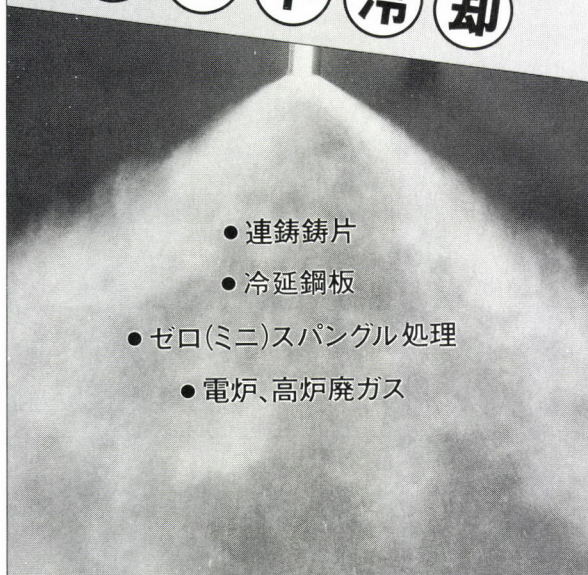
鉄鋼業界のあらゆる冷却ニーズにお応えできる霧のいけうちの冷却用
スプレーノズル三方式

ドライフォグ冷却



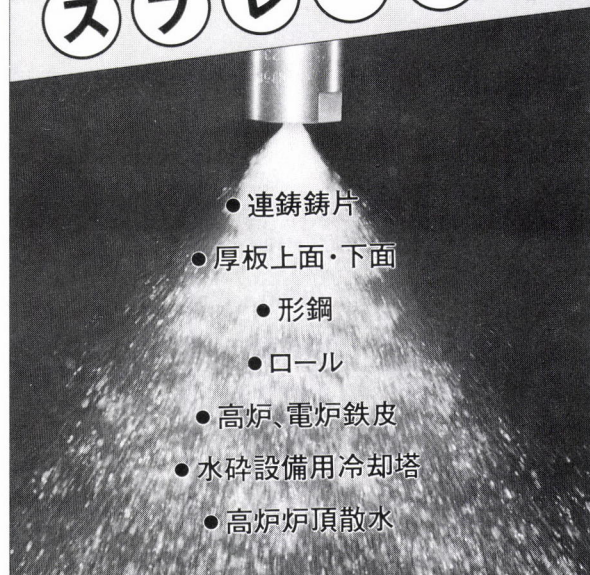
- 取鍋、トーチカー、溶銑桶などの耐火物
- 電炉、高炉廃ガス

ミスト冷却



- 連鑄鑄片
- 冷延鋼板
- ゼロ(ミニ)スパンゲル処理
- 電炉、高炉廃ガス

スプレー冷却



- 連鑄鑄片
- 厚板上面・下面
- 形鋼
- ロール
- 高炉、電炉鉄皮
- 水碎設備用冷却塔
- 高炉炉頂散水



霧のいけうち®
H. IKEUCHI & Co., LTD.

● 本社	〒550 大阪市西区阿波座1丁目15-15・第一協業ビル	☎06-538-1086	FAX06-538-4021
● 東京支店	〒150 東京都渋谷区渋谷3丁目8-12・渋谷第一生命ビル	☎03-3498-0636	FAX03-3498-0673
● 名古屋営業所	〒460 名古屋市中区錦2丁目19-1・名古屋鴻池ビル	☎052-222-0754	FAX052-222-0361
● 広島営業所	〒732 広島市南区京橋町1-23・三井生命広島駅前ビル	☎082-263-3987	FAX082-263-8176
● 福岡営業所	〒812 福岡市博多区博多駅東2丁目5-21・博多プラザビル	☎092-482-0090	FAX092-482-0058
● 横浜営業所	〒231 横浜市中区不老町1丁目6-9・横浜エクセレントVビル	☎045-662-6005	FAX045-662-8736
● 大宮営業所	〒331 埼玉県大宮市桜木町2-400・東京殖産第3ビル	☎048-665-0667	FAX048-665-0668
● 工場	兵庫県西脇市/西脇工場・広島県呉市/呉工場		
● 京都いけうち株式会社	〒604 京都市中京区烏丸通夷川上ル少将井町229-2・第7長谷ビル	☎075-211-1541	FAX075-231-2317
● 中日噴霧股份有限公司	中華民国台湾省台北市南京東路2段95號10樓	☎02-511-6289	FAX02-536-1945

(IKEUCHI TAIWAN CO. LTD.)

DHFは誘導加熱のプロ集団です。

コンパクトインバータ

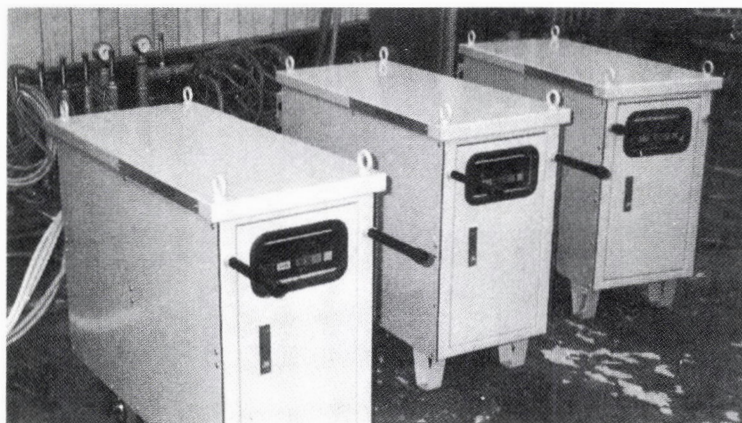
DHF HI-HEATER 3020

概 要

コンパクトインバータは、スイッチング素子にIGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)を使用し、高効率・高信頼性を実現した小型・軽量の誘導加熱電源です。

制御にマイコンを使用しているため、広範囲の負荷に適応出来ると共に負荷の変化に対しても安定した制御が可能で異常時の保護機能も万全です。

又、手押しでラクラク移動できるため、工事現場などでの“ハイクラス加熱工具”に最適で、正に万能のハイクラスヒータとしてお役に立つものと云えます。



特 長

1) マイクロコンピュータによるフルデジタル制御

- 安定した出力制御やタッチパネルによる簡単操作
- 電圧、電流、電力及び周波数のデジタル表示

2) 広範囲の負荷にジャストマッチング

加熱物の形状やワークコイルの変化もマイコンが判断し、適正な加熱を行ないます。発振可能範囲外の時は、周波数上限・下限の警報を発します。

3) 小型・軽量

キャスターが付いていますので、手押しでラクラク移動ができます。

4) 加熱タイマー標準装備

加熱時間を0.1~999.1秒で任意にデジタル設定できます。

5) 電源周波数フリー

電源周波数が50Hzでも60Hzでもすぐに御使用になれます。

第一高周波工業株式会社

本 社 東京都中央区築地1-13-10
機器事業部 川崎市川崎区殿町二丁目17番8号

TEL. 03-3545-2655(代) 〒104
TEL. 044-288-4226(代) 〒210

〈営業所〉

東京営業所 東京都中央区築地1-13-10 新阪和ビル
TEL. 03-3545-2655(代) 〒104
川崎営業所 川崎市川崎区殿町二丁目8番3号
TEL. 044-288-4221(代) 〒210
関西営業所 明石市二見町南二見21番4
TEL. 078-944-0322(代) 〒674

広島営業所 広島市佐伯区五日市中央2-9-12 用品第一ビル
TEL. 0829-24-4491 〒731-51
北九州営業所 北九州市八幡西区築地町9番6号
TEL. 093-642-7001(代) 〒806
長崎営業所 長崎県西彼杵郡香焼町字堀切3021-3
TEL. 0958-71-3755 〒851-03

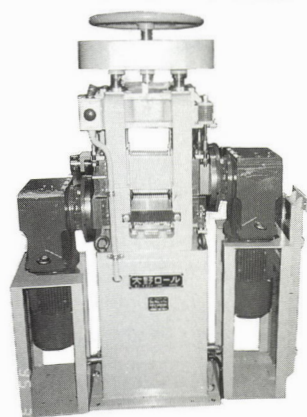


DAI-ICHI HIGH FREQUENCY CO., LTD. (DHF)

新素材の研究・開発に

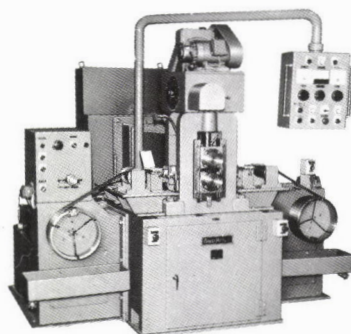
(学校・研究所に最適)
小規模生産用

直接駆動圧延機



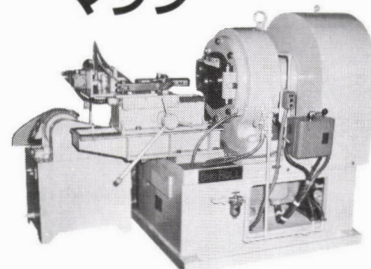
- ▲ ロールーと減速機を直結しました、機床スペースが少なくツイン駆動もすぐ出来ます
- ・ $\phi 63, 100, 125, 150, 250$ 等色々なサイズがあります
- ・ 主に小規模な生産、荒伸し、中間圧延用
- ・ 4段アタッチメントを、ロードセルの取付を、ローラを組替えればミゾ圧延を、フープ材の圧延には巻取装置をご使用ください

5型可逆2段/4段圧延機



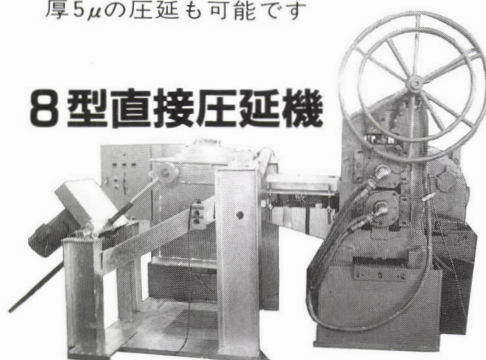
- ▲ 巻取機を取付け高精度圧延ユニットを組込めば $\pm 1.5\mu$ の圧延も可能です
- ・ 多段ロールユニットを組込めば最小板厚 5μ の圧延も可能です

スエーピングマシン



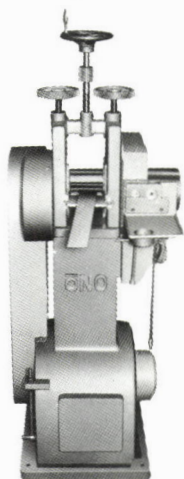
- ▲ 冷間および熱間で鍛造します
- ・ 丸、角の形で加工出来ます

8型直接圧延機



- ▲ アルミの溶湯より直接板を作ります
- ・ $2t \times 200W, 7t \times 200W$, 等色々出来ます
- ・ アップコイラー付シャーリング付

63mm 2段圧延機



- ▲ 貴金属工芸、学校、研究所等での資料作り用として一台でミゾ圧延、板圧延、伸線作業も出来る万能機

真空・雰囲気圧延機



- ▲ 真空中 (5×10^{-5} トール) で熱間粉末圧延または熱間圧延を行なえます
- ・ ロールーの大きさにより、5型、6型、8型、10型、12型、等

テスト機もあります

- $\phi 190$ 2Hiロール機
- $\phi 63$ 2Hiロール機
- $\phi 63$ 粉末圧延機
- $\phi 200$ 直接圧延機
- $\phi 80$ スリッター

機械の選定・探索テストにご利用ください

- 各機種があります
- ・ 色々な金属粉末より板 (グリーンシート) が連続的に成形出来ます

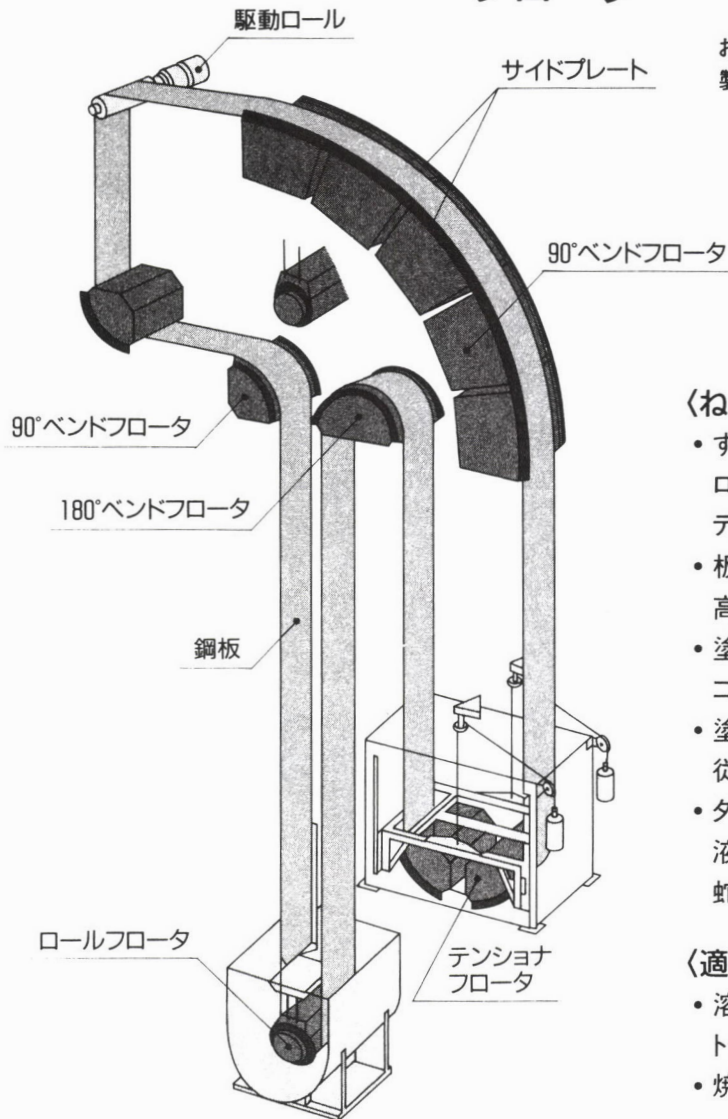
大野ロール株式会社



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

新世代のストリップ搬送設備

フロータ



お客さまのご要望に合わせて各種フロータを製作いたします。お気軽にご相談ください。

〈ねらい〉

- すり疵、押し疵撲滅
ロールピックアップ、スクラッチ、デント対策
- 板破断防止
高速ライン、ロール急加減速対策
- 塗りむら防止
コートへの振動伝播対策
- 塗布膜きず防止
従来保持不能部への適用
- タンク内ロールでの蛇行防止
液巻き込みによるストリップ浮上
蛇行対策

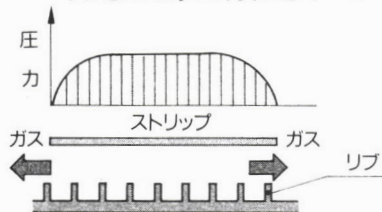
〈適用例〉

- 溶融亜鉛メッキ設備合金化炉
トップロール
- 焼鈍・酸洗設備ソルトバス

〈特 徴〉

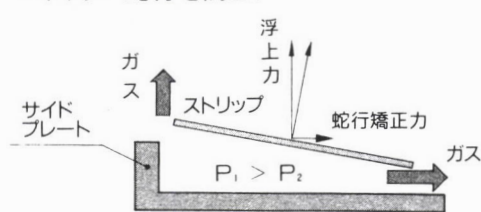
● シンプルな構造で

安定した浮上特性をキープ



● 自己矯正能力により

ストリップ蛇行を防止



三菱重工業株式会社

本社 機械事業本部 重機械部 製鉄機械第1グループ 東京都千代田区丸の内2-5-1 〒100 ☎東京(03)3212-9555
広島製作所 機械業務部 製鉄機械国内グループ広島市西区観音新町4-6-22 〒733 ☎広島(082)291-2130

あなたの基準は、国家標準とトレーサブルですか？

[硬さ標準片/シャルピー基準片]

トレーサビリティの確保



●テストピース加工 45年の実績を誇る
総発売元 (株)アサヒ技研

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

ふえらむ

Vol.1 (1996) No.1

C O N T E N T S

目 次

特別インタビュー	産学協同でつくる「魅力ある鉄」の未来像 日本鉄鋼協会会長 佐野信雄	2
創刊特集		
「宇宙の創生と鉄」	宇宙はどうやって始まったのか 東京大学理学部教授 佐藤勝彦	4
	星の運命と鉄の誕生	10
	先端技術が謎に迫る—すばる望遠鏡	13
鉄の絶景	魂としての鉄—島根	14
平成7年鉄鋼生産技術の歩み 国際競争力強化への足固め	日本鉄鋼協会生産技術部門 部門長 藤原俊朗	17
展 望	浮体式海上空港の実現を目指して メガフロート技術研究組合 第2研究部長 岡村秀夫	28
	いよいよ浮上するリニアモーターカー (財)鉄道総合技術研究所浮上式鉄道開発本部技師長 中島 洋	36
入門講座	鉄鋼材料編—1 天の恵みの「鉄」 東北大学金属材料研究所教授 倉野 満	41
	鉄鋼プロセス編—1 鉄鉱石が便利な素材になるまで 東北大学素材工学研究所教授 江見俊彦	47
鉄の歴史 ①	現代との対話としての古代製鉄技術 東京工科大学教授 東京工業大学名誉教授 飯田賢一	54
懸賞作文入賞作品紹介 ①	第1部 (中学・高校生の部) 1等賞 「レンジで鉄をクッキング」 村山武一郎	61
	第2部 (大学生・一般の部) 1等賞 「人々の夢とともに歩むこと」 柴垣顕郎	62
本会情報		66
入会案内		73

産学協同でつくる 「魅力ある鉄」の未来像

日本鉄鋼協会会長

佐野 信雄

Nobuo Sano

いつの時代も重要な役割を担ってきた鉄。しかし時代の変化とともに、鉄を取り巻く環境は目まぐるしく変化している。新会報「ふえらむ」の創刊に寄せて、佐野信雄会長に鉄の未来、鉄鋼協会の未来について語っていただいた。(聞き手は杉山編集委員)

新・鉄器時代を支える「質のよい鉄」

— 会長は、鉄に対してたいへん親しみを持っておられるようですね。

佐野●そうですね。鉄は基本的な材料ですから、だれかが必ず必要としているのです。どんな国でも鉄を必要としているわけで、私は今も「鉄器時代」だと思いますし、将来も続くと考えています。

最近、私の大学のある学生が修士の面接で「君はなぜ鉄を研究するのですか」と質問されました。答えは「鉄道のためです」。じつは、鉄道のマニアだったのです。最近ではビール缶が鉄からアルミに替わったりしていますが、鉄道のレールの場合、鉄以外の材料で作るなんてだれも考えたことがないでしょう。鉄は、いつの時代でも必ず必要な材料なのです。さきほどの学生の答えにはみんなで大笑いしましたが、彼の言うことはある意味で正しいと思いました。

— 世界経済の変動とともに、鉄鋼業を取り巻く環境も変わっています。これからの日本の鉄鋼業の将来と大学や研究機関での研究とのかかわりについて、どのようにお考えですか。

佐野●工学の研究は、つねに産業の浮沈と関連してきました。たとえば大製鉄国だったアメリカ、イギリスなどでは、いま研究者がだいぶ減っています。日本はいま、質、量ともに世界の一流国だと認められていますが、この状況がこのまま続くとは思えません。

今後も世界の鉄鋼需要は毎年2、3パーセントずつ伸びていくことでしょう。問題は、だれが作るか、です。国内生産がいったん減り始めると、大学で鉄を研究する先生がどんどんいなくなってしまうのです。学生も減り、製鉄業に就職する人も少なくなる。当然、技術のレベルも落ちてしまいます。たとえ量をたくさん作っても、けっして一流国ではなくなってしまうのです。

— そうなると、どうしても活気がなくなりますね。

佐野●日本の今の状況を維持し、独自の技術、学術を生み、さらに活性化をしようということが大切なのです。たんに、鉄を作るだけならそんなに高い技術はいらない。問題は質をどうやって高めるかで、そういうわけですから国の支援のもとにいろいろなプロジェクトが行われています。

— 質のよい鉄とは、具体的にどのようなものですか。

佐野●強度が高い、長持ちする、錆びない、折れないというもの。そして大事なのが、安いコストで作るということです。

— コストは企業にとって大きな関心事ですが、大学の研究とはどのようにかわるのでしょうか。

佐野●たとえば、自動車で使われているモーターの芯には多量の銅線が巻かれています。廃車のときいっしょに溶かすと、非常に性質が悪くなる。これを取り除くのは至難の技なのです。これを取り除く原理を考えるのが大学の役目です。最近ではリストラの影響もあり、企業の基礎研究の力が弱くなってきており、基礎研究は大学や研究所に任せようという傾向が強くなっています。そういう意味で、産学協同は大切です。今後、大学への期待はますます大きくなると思います。

「リストラ80」で魅力ある会をめざす

— 鉄鋼協会が80周年を契機に実施した「リストラ80」の活動について説明していただけますか。

佐野●「リストラ80」というのは、会員の皆さんにとってどのように魅力のある会にするかという活動なのです。具体的に変わったのは、鉄鋼協会の持つ2つの機能である「学会部門」と「生産技術部門」をはっきり分けたことです。

学会というのは、個人が会費を出して運営し、自分自身のために何かを得る。いろいろな活動はギブ・アンド・テイクで、報酬は関係なくボランティアで行う、個人の情熱でやるというのが基本なのです。また鉄鋼協会は企業の交流の場でもあります、これは歴史的ないきさつから、2つの機能がいっしょになっているのです。それを今度、はっきり分けました。ですから、企業のエンジニアや研究者は、個人としては、学会部門で活動していただこうと思います。

—— 企業にとってはどのようなメリットがあるのでしょうか。

佐野●幸いにも企業が維持会員として、学会部門を含めて経費の多くを負担してくれる。このような業界の支援があるので鉄鋼協会が発足し、活動が続けられるのです。協会活動を支援することは、研究者や従業員を活性化するために役立ちますし、大学を活性化すれば大学を出た人が毎年入社するわけです。だれもがかならず年を取ります。だから、次の世代で「しっかりやってくれる人を育てる」ことが必要で、若い研究者を育てる場を大切にするという意味で、企業側でもよく理解してくださっていると思います。

リストラで予算規模が下がっても、本の発行と講演会というのは活動の基本として続けていきます。新しい会報の「ふえらむ」は、協会と会員との接点になるわけですね。魅力のある会になるための活動の、いわば大きな目玉ですから、多くの会員の方に「おもしろい本だ」といってもらえるようにしていきたいですね。

若い人にも「鉄の魅力」を感じてほしい

—— 最近、理数系の学生が減っているとよく言われますが。

佐野●そうですね。鉄鋼協会でも20代、30代の会員比率が少ないのです。いま若い会員の増強に向けて、たとえば高校の先生や生徒たちにPRするなどの方法を検討しています。また大学院のドクターコースの学生に奨学金を出すこと、これは将来の教員養成ということで始めました。

佐野 信雄

(さの のぶお)

1959年東京大学工学部冶金学科卒業。64年東京大学化学系大学院冶金学専攻博士課程終了、工学博士。米国・パデュー大学研究員、カナダ・マクマスター大学研究員を経て、67年東京大学工学部冶金学科講師。69年東京大学工学部冶金学科助教授。80年同大学工学部金属工学科教授となり、現在に至る。94年4月より日本鉄鋼協会会長。



いま、一般社会の鉄鋼業に対するイメージがあまり良くない。もう技術が成熟したというのか、これ以上あまり伸びないのではないか、と。それを解決するには、もっとポジティブな事実を起こしていくことが必要でしょうね。たとえば、外国で新しい製鉄所を作るための受注が決まり、日本の技術者をどんどん派遣する、というような。それを支えるのは、日本の技術力の高さです。

—— これからの研究者、技術者に期待するテーマ、開発すべき技術にはどのようなものがありますか。

佐野●まず環境技術ですね。日本の鉄鋼産業は省エネの優等生で、たくさんの技術の蓄積があります。それからすでにコンセンサスのあるテーマとしては、高炉の補完技術の開発と、大量のくず鉄やスクラップの利用技術などがあります。これを安く、高品質でやるのです。

—— 終りに、次世代の研究者、技術者を育てる立場からのメッセージをいただけますか。

佐野●毎年一人や二人は「鉄がやりたい」「鉄が好き」と言っていて私のところにくる若者がいます。鉄にはそれだけの魅力があるのだから、鉄を研究することに夢を持ってほしいですね。そうやって研究を始めると、みんなけっこう楽しんでやっている。だから、やり始めたらおもしろくなるようにするのが、われわれの責任です。多くの人、とくに若い人に「魅力ある鉄」を継続的にアピールしていくことが必要だと思います。

—— 今後のご活躍をお祈りいたします。本日はありがとうございました。

宇宙の創生と鉄

私たちを取り巻いている大宇宙。その始まりは今から150億年前だといわれている。私たち人類の持つ、わずか500万年の歴史とは比べようもない。

大空で輝く太陽や月を仰ぎながら、私たちの祖先はいつも宇宙に思いを馳せてきた。たとえば古代インドでは、大きな蛇の上に亀が横たわり、その上にのった象の背によって地球が存在すると考えた。またギリシャの哲人、プラトンは、宇宙は地球と天の2つの同心球で構成されると考えた。現代に生きる私たちは、地球は太陽系の一員であり、大宇宙の中ではきわめて小さな存在であることを知っている。そして現代社会になくてはならない鉄が、長い宇宙の歴史の中で重要な役割を果たしてきたことを知っている。

これは多くの先人たちの英知と努力の賜物であるが、現在でもなお宇宙には多くの謎がある。宇宙はどうやって生まれ、どのように変貌してきたのか。そしてこれからどうなるのか。人類が手にした最先端の理論と技術が、いま宇宙の謎に取り組んでいる。

宇宙はどうやって始まったのか

東京大学大学院理学系研究科 佐藤 勝彦 教授

Katsuhiko Sato

宇宙の初期に起こったビッグバンはあまりにも有名だが、それ以前の宇宙、つまり宇宙誕生の謎に迫る宇宙論の研究が進んでいる。現在では、初めにある「無」、そして急激なインフレーション、ビッグバンが起こるというシナリオが考えられている。宇宙の始まりはどうだったのか、その後どうやって物質が誕生したのか。インフレーション理論の提唱者で、世界的に注目される宇宙物理学者である佐藤勝彦教授にお話をうかがった。

力の統一理論とインフレーション

— 宇宙の謎の解明と物理学とは、どのような関連があるのでしょうか。

佐藤●1970年の初めごろ、素粒子の理論である「力の統一理論」が大きな成果を修めました。これは、この世界にある4つの力（重力、電磁気力、弱い力、強い力）を一つの法則にまとめ、この方程式さえわかれば、この世界の力は基本的に全部わかるという究極の理論です。

私は、この研究を進めるうち、この理論によって、物質の最大の構造物である宇宙の謎が解明できるんじゃないかと考えました。その第一の理由は、宇宙の初期に起こったビッグバン、つまり火の玉の状態では、あらゆる物質は、その根源ともいえる素粒子に分解されているはず。第二の理由は、現在の宇宙は膨張を続けていますが、これは過

佐藤 勝彦
(さとう かつひこ)

京都大学理学部物理学科卒業。同大学院理学研究科物理学専攻、修士課程、博士課程終了。1979年デンマークのニールス・ボーア研究所客員教授、80年「インフレーション宇宙論」を提唱。また「宇宙の多重発生の理論」を発表。90年「素粒子論的宇宙論」で仁科記念賞受賞。国際天文学連合宇宙論委員会委員長を務めた。現在、東京大学理学部教授。95年度開設の東京大学初期宇宙研究センター長に就任。



去に遡ると非常に小さなところから始まったと思われるのです。つまり、大宇宙といえども、昔に遡ればミクロの世界なのです。ならば、素粒子の世界を支配する量子力学などを基礎として研究し、それによってはじめて宇宙の開びゃくを知ることができるということになります。

— 具体的にはどのような研究をされたのですか。

佐藤●私たちが行ったのは、力の統一理論と一般相対性理論を連立微分方程式として解くということでした。これによって、次のようなシナリオが生まれました。

もし宇宙の小さな種のようなものが生まれたと仮定すると、指数関数にしたがって急激に大きくなるというものです。つまり倍々ゲームで、宇宙が急激に大きくなるのです。しかも大きくなった最後に、真空の相転移を迎えます。相転移というのは、たとえば水蒸気が水になる、水が氷になるというのと同じことです。急激に大きくなった宇宙で真空の相転移が起こり、潜熱が解放されると、その熱によって宇宙は大きな火の玉、つまりビッグバンを迎えるのです。

— 先生がインフレーション理論を提唱されてからすでに10年がたちますが、その後の宇宙論にどのような影響がありましたか。

佐藤●いま振り返ると、ビッグバン宇宙を作るメカニズムとして大きな意味を持つ理論だったと思います。インフレーション理論については、アメリカのアラン・グースが、私より少し後に似た考え方を発表し、「インフレーション」という、いかにもネイティブスピーカーらしいアピールする名前を付けたのです。

— インフレーションの過程で起こるマザーユニバースとチャイルドユニバースとはどういうものですか。

佐藤●インフレーションの最初にちょっとしたデコボコがあると、その部分が初めに急激にインフレーションを起こすのです、まるでニキビが吹き出るように。つまりインフ

*1 CCD
charge coupled deviceの略で、電荷結合素子のこと。
光信号を電気信号に変える固体撮像素子としてビ
デオカメラなどに使われている。

*2 COBE
「コービー」と読む。1989年NASAが宇宙背景放射を
正確に測定するため打ち上げた人工衛星。92年4月に
公表された観測結果は、宇宙全体からやってくるゆ
らぎをとらえたものとして、世界的に大きな注目を
集めた。

レーションは、全体で一様に起こるわけではないのです。
元の宇宙、これがマザーユニバースですが、その宇宙か
らデコの部分が吹き出るようにチャイルドユニバースが
生まれてくるのです。

「子どもの宇宙」と呼ぶのは、最初は子どもとおかあ
さんがつながっているのに、大きくなると乳離れしたよ
うに連絡が取れなくなるからです。物理学的にいうと、
子どもとおかあさんの間はワームホール、つまり虫穴構
造でつながっており、ここに事象の地平線ができるため
に、ちょうどブラックホールの中に入ってしまったよう
に互いにコミュニケーションが取れなくなるのです。こ
の子どもの宇宙から、同じように孫の宇宙が生まれます。
これを「宇宙の多重発生の理論」と名付けました。私た
ちの宇宙が子どもの宇宙か、孫の宇宙か、それとももっ
と後なのかはわかっていません。

「ゆらぎのある無」とは何か

— インフレーションが起こる前の宇宙はどうなってい
たのですか。

佐藤●宇宙の創生論で大切なことの 하나가、元になる種
の宇宙の問題です。これに取り組んだのが有名なホーキ
ングやビレンケンです。ビレンケンは「creation of universe
from nothing」つまり「無からの創生」という論文を発
表しました。

数年前NHKの番組の中で、アフリカのサハラ砂漠に
住むドロ長老という人が「宇宙は何もないところから突
然ポコッと生まれたんだ」と、滔々と説明していました。
私たちが言っているのと同じように、無から生まれたん
だと言っているんです。つまり、哲学的にも、存在を説
明するのに存在から始めたのでは、話にならないのです。
科学的には、無から生まれたというのなら、それに対応
する式や物理学の法則に基づいて説明しなければなりま
せん。ホーキングやビレンケンのやったことは、科学の
言葉でドロ長老の言ったことを語ったということなのです。

— 現在「宇宙の種」はどのように考えられていますか。

佐藤●ビレンケンは、宇宙の種は量子力学のトンネル効果
に似ているとっています。有名なエザキダイオードは、
半導体の中で本当は電子が越えられないところを自分でト
ンネルを掘ってこちらに進入してくると言う効果、つまり

宇宙創生のシナリオ

宇宙は無から誕生し、誕生後すぐ
にインフレーションと呼ばれる急
激な膨脹を起こす。誕生後 10^{-34}
秒たつと、潜熱の解放によって熱
のエネルギーが生まれ、火の玉宇
宙になる。その後、宇宙は膨脹し
ながら温度が下がり、30万年後
には電子と原子核が結合し、宇宙
の晴れ上がりを迎える。これが光
で見ることができる最も初期の宇
宙である。

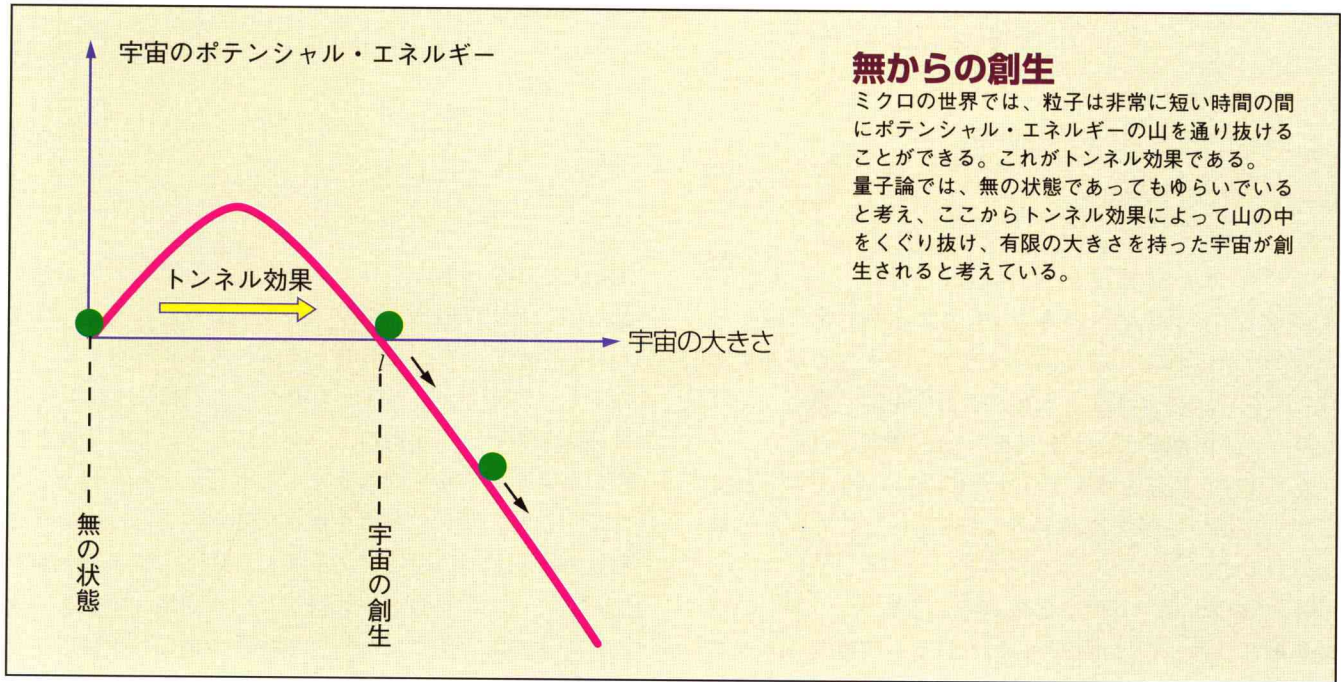
現在

宇宙の晴れ上がり(30万年後)

ビッグバン

インフレーション(指数関数的膨脹)

宇宙の誕生



無からの創生

ミクロの世界では、粒子は非常に短い時間の間にポテンシャル・エネルギーの山を通り抜けることができる。これがトンネル効果である。量子論では、無の状態であってもゆらいでいると考え、ここからトンネル効果によって山の中をくぐり抜け、有限の大きさを持った宇宙が創生されると考えている。

トンネル効果を持った素子です。同じように宇宙も無からポッと出てくるというのです。

ホーキングは、もう少し数学的な立場で「始まりは特異点から始まってはならない」と言っています。一般相対性理論だけを使ったガモフのビッグバン理論は、実は宇宙のあらゆるものが無限の数値になったところ、つまり特異点から始まっています。ホーキングはわれわれがいま測っている時間ではなく、時間を複素数に拡張し、虚数の時間から宇宙が始まるということにしたのです。

数学的に言うとビレンケンとホーキングの言っていることはほとんど同じです。私は2人の言っていることは本質をとらえていると思いますが、今後10年、20年の間に訂正され、大きく変わる可能性もあります。

ビレンケンの言っている「無」とは、量子論的にゆらぎがある無です。量子論では、完全に何も無いということは許されません。だからこの「無」とは「存在していないといっても、ゆらいでいて何かある状態」のことです。物理学ではグラウンドステートとか基底状態といいます。この中から宇宙が生まれ、しかも生まれたてのときすぐにインフレーションを起こして、巨大な宇宙になれるというように話がつながるのです。

宇宙の晴れ上がりを観測したCOBE

—— 最近の宇宙論の話題というと、どんなことがありますか。
佐藤●まず挙げられるのは、1980年代の終わりから観測的な研究が爆発的に進歩したことです。最近の光電技術では、CCD*1や画像処理、コンピュータの利用などで、100万個もあるという銀河の数の解析などがすぐできるようになりました。つまり、80年代の理論主導の時代から

90年代の観測主導の時代に移行したのです。

大きな成果の一つは、1992年4月にアメリカの人工衛星のCOBE*2が、宇宙全体から届くマイクロ波の電波を受けて宇宙の地図を作ったことです。ここからわかったことは、宇宙が生まれてからわずか30万年しかたっていないところ、つまり今から150億年の昔そのままの地図を描けたということです。宇宙では光の速さが有限であるために、遠くを見ることはすなわち過去を見ることになります。電波や光を使うと、宇宙が晴れ上がる瞬間までを見ることができますが、これが宇宙が生まれてから30万年たったときのことです。晴れ上がりとは、火の玉でプラズマ状態だった宇宙が、電氣的に中性に変わるために宇宙が透明になることです。

COBEによる地図を作ったアメリカのジョージ・スムートは「この観測によってインフレーション理論をみんなが信用することになるだろう」といいました。この地図に出ているデコボコは、インフレーション理論のデコボコを示しており、この中のデコが固まって銀河や天体が生まれてくることになるのです。このようにインフレーション理論が実験的、観測的に証拠が得られるなどと、私たちも考えていませんでしたが、この地図によってインフレーション理論への大きな支持が得られたといえるでしょう。

—— 今後の観測技術の進歩が、大いに期待されますね。

佐藤●ええ。これから100年の間には、インフレーションが起こっている瞬間の写真を撮れる可能性もあるでしょう。しかし晴れ上がりの前までは不透明だから、電磁波を使っても観測できません。それならもっと透明な、たとえば重力波などを使えば宇宙の開びやくのころまで見えるという期待があります。

次は、ちょっと都合の悪い話です。NASAが打ち上

げたハッブル望遠鏡が昨年9月に観測した宇宙の膨張の速さは、われわれが考えているのより非常に速かったのです。これでは過去に遡って宇宙の大きさがゼロになる時刻を求めようとすると、宇宙の年齢が短いことになり、最近の観測データを見ると、100億年より短いことになります。誤差を考えてもせいぜい120億年です。ところが古い星の年齢を観測すると150億年たっている星があるのです。

— この違いについて、どうお考えですか。

佐藤●これは、いま再びわれわれの宇宙が第二のインフレーションを迎えているんだという立場に立つと解決できます。つまり、宇宙の誕生のころのインフレーションを起こした真空のエネルギーがわずかに残っており、それが今ごろ第二のインフレーションを起こしているというものです。しかしなぜこんな微小な数値だけエネルギーが残っているのか。これにはまだ確かな理屈がなく、いまだに謎です。

宇宙はどうして鉄ばかりではないのか

— それでは、宇宙の歴史の中で物質が誕生したのはいつごろだったのでしょうか。

佐藤●無から生まれた宇宙は、陽子や中性子などの素粒



子よりも小さいものでした。しかしインフレーションが起こると宇宙は巨大になり、最後に潜熱として熱のエネルギーが解放され、このとき物質エネルギーが生まれるのです。エネルギーが生まれたというのは、実はマイナスのエネルギーが宇宙のどこかに隠れていて、これと物質のエネルギーを足せばほとんどゼロになるということです。ただ、たんに物質を作ったといっても、このとき物質と半物質が等量できてしまいます。このまま宇宙が冷却していくと物質と半物質が互いに消滅してしまいます。ですから実際には物質と半物質の量にわずかながら差ができる必要があります。この「物質の非対称性の起源」は宇宙論の大きな問題ですが、素粒子の統一理論によって説明できる可能性があるといわれています。

宇宙の開びやく後100秒ぐらいになると、陽子や中性子などから、少し原子が生まれ、水素、ヘリウム、リシウムあたりまでができます。

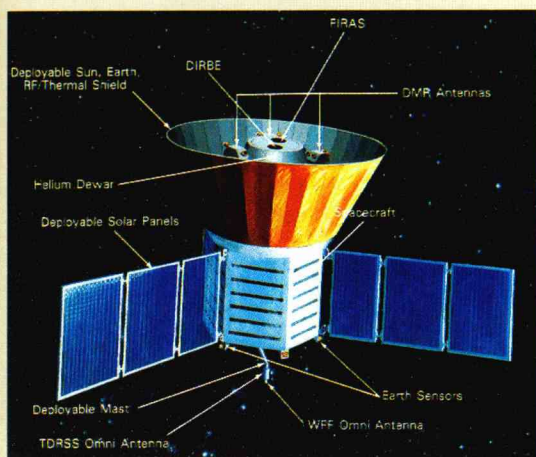
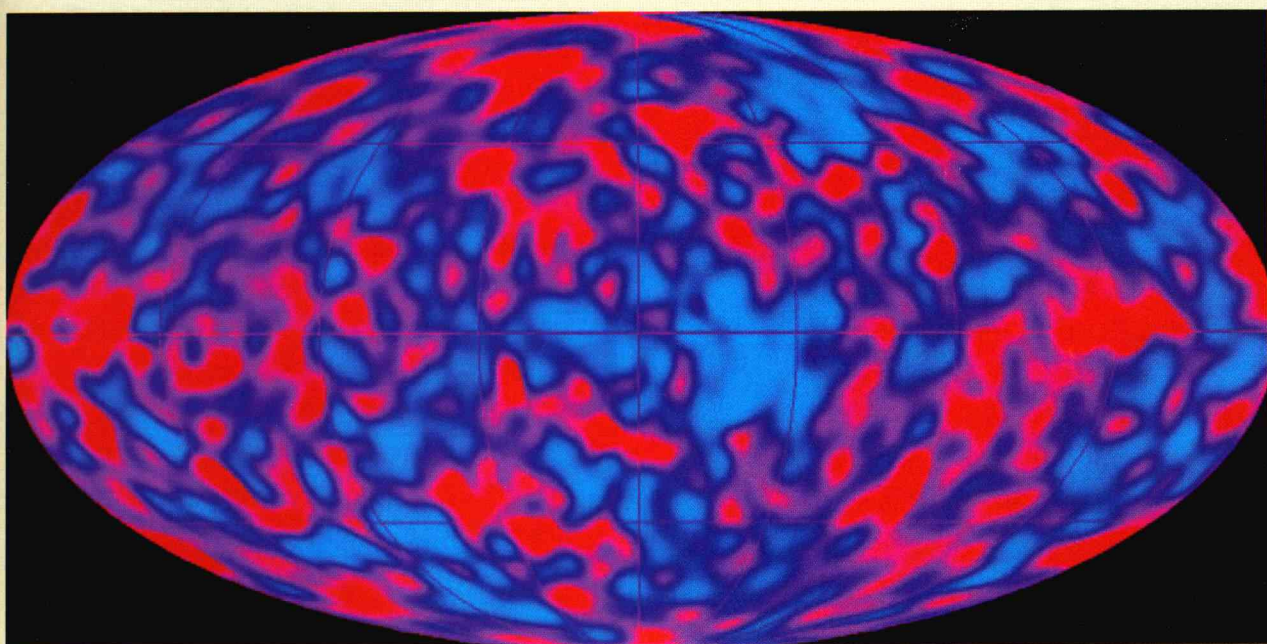
— 有名なガモフは、宇宙にある物質の研究からビッグバン理論に到達したそうですね。

佐藤●ガモフがビッグバン理論を研究したのは、ある意味では「われわれの宇宙はどうして鉄ばかりでないのか」を考えたからなのです。1922年に宇宙が膨張していると発表したフリードマンは、温度0度の宇宙を考えましたが、それはそのまま膨張したとすると、最初は宇宙全体に陽子や中性子がぎっしり詰まっている、まるで巨大な原子核のようなものでした。それをゆっくり離していくと、いちばん安定で結合力の強い鉄の原子核として、宇宙に分かれていくはずですが。ところが宇宙でいちばん多いのは水素の仲間で、重さで約73%、それからヘリウムが25%ぐらいです。後のわずか2%の中に、酸素や炭素、それ以外の元素があり、鉄は金属の中では一番多いのですが、全体から見ればほんのわずかです。

これは、全然核融合反応が進んでいないということなのです。みんな鉄になろうとするのを邪魔しなければなりません。それならば、陽子や中性子が結び付こうとしても温度が高くて結び付けない、火の玉ということになったのです。

— 鉄はどうやって誕生したのでしょうか。

佐藤●簡単にいうと、鉄は超新星の爆発で作られます。超新星爆発を起こすのは、生まれた時の重さが太陽の8倍より大きい星です。重いので順調に核融合反応が進み、真中に大きな鉄の塊、つまりアイアンコアができます。



宇宙背景放射探査衛星COBEと宇宙背景放射の温度のゆらぎ

NASAの打ち上げたCOBEのマイクロ波による観測によって、宇宙の晴れ上がり（宇宙誕生後30万年後）にゆらぎが存在することがわかった。写真の丸は全天を表す。現在の宇宙の平均温度は3 Kであり、赤い部分は平均より10万分の1 K高い部分、青い部分は平均より10万分の1 K低い部分を表す。

[写真提供：NASA]

これ以上核融合反応のできない、いわば燃えかすが鉄なのです。ですから鉄は、宇宙にエネルギーを与える役割を果たした後に、いま私たちの世界で金属材料として役立っているのです。この鉄のコアはその後、自重でつぶれていき、最後に中性子星やブラックホールになってしまいます。太陽の8倍以上、30倍以下ならばその星の中心には中性子星ができるだろうと考えられています。

このとき星全体が収縮していき、最後にはコアは原子核の密度と同じくらいの高密度になります。だいたい1cm³で10億トンの重さになるのです。そこまで圧縮されると圧力が高くなって跳ね返り、そのときにできる衝撃波で外側の層は吹き飛び、真中は中性子星になって残ります。しかしその外にあるシリコンの層に衝撃波が伝わり、シリコンが核融合反応を起こして鉄になります。これが爆発的な燃焼を起こし、宇宙空間に飛び出すのです。

—— 宇宙空間では、いたるところに鉄があると考えられますか。

佐藤●超新星がどんどん爆発すれば、確かに鉄の量は増えていきます。とくに銀河が生まれるときはあちらこちらで超新星爆発が起こりますので、そのときは一挙に鉄が増えたと思います。われわれの太陽系は、そのような、いわば汚染されたガスの中で生まれたのです。われわれがお星さまの子どもだというのは確かな話なのです。

—— もし私たちの宇宙とは違う宇宙があるならば、そこにも鉄がたくさん存在しているのでしょうか。

佐藤●宇宙の創生のシナリオを考えれば、私たちの宇宙とは別の宇宙が存在している可能性が確かにあります。私たちが信じている物理学の法則は普遍的であると思っていますので、その立場からいうと、別の宇宙でも同じようにシナリオが進んでいると思います。ただ生命が誕生しているかということについてはいろいろな考え方があり、私たち人間は、たくさんの幸運の積み重ねで現在のような知的生命体となったという考え方もあります。

—— どうもありがとうございました。

[写真提供：Atlas Photo Bank, 沼澤 茂美]

星の運命と鉄の誕生

[協力]

東京大学理学部助教授

松井 孝典

Takafumi Matsui

鉄は核融合反応の最後の姿

宇宙における元素の存在量比を調べると、鉄は元素番号の近い他の元素に比べ 1,000倍程度多いことがわかっている。なぜ宇宙に鉄が多く存在するのだろうか。

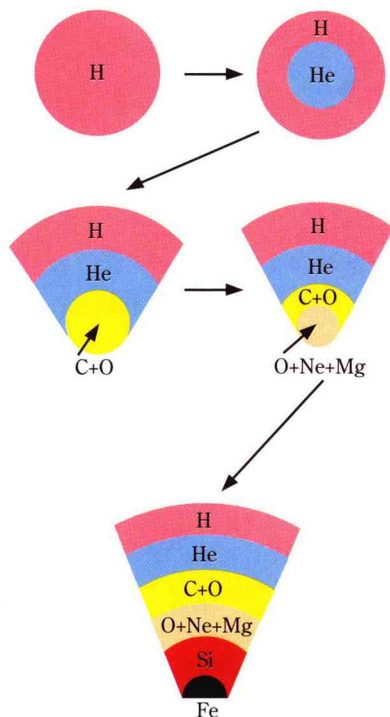
鉄は恒星の内部で生まれた。恒星は星間ガスが重力収縮で球状に集まってでき、中心部で核融合反応が起こる。最初に燃焼するのは中心部にある水素で、これがヘリウムになる過程でエネルギーを放出する。現在、太陽が輝いているのはこの水素の燃焼によるもので、この後100億年間は燃え続けると考えられている。太陽と同じぐらいの質量を持つ星は、中心部で水素が燃焼してヘリウムができ、ヘリウムが燃焼して炭素ができる。ここで燃焼は終わり、星は白色矮星となる。

質量が太陽の3倍から8倍の大きさの星では、中心部に炭素の核ができ、これに爆発的に火がついて大爆発を起こし、星全体が吹き飛ぶ。

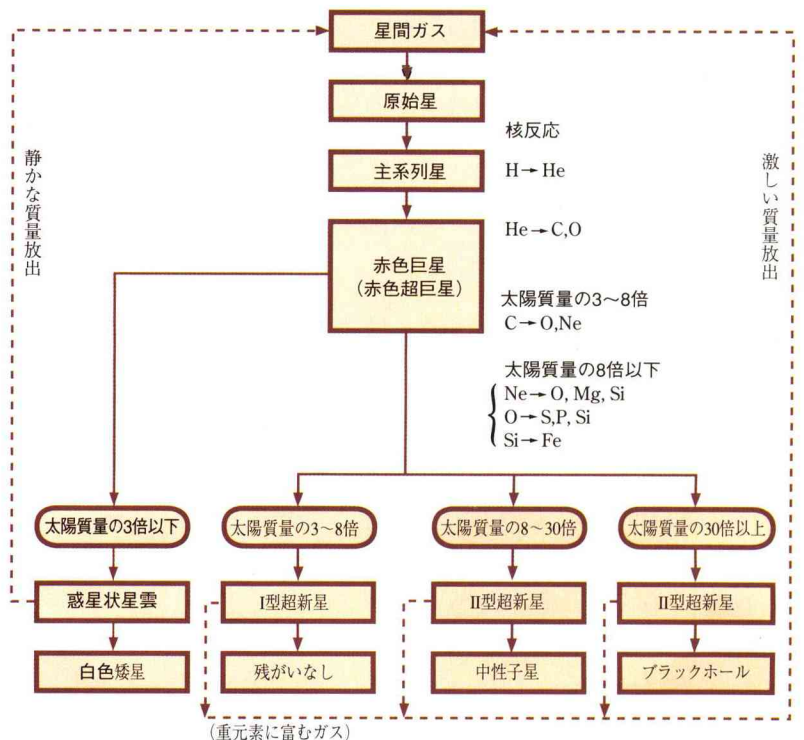
質量が8倍より大きい場合は、炭素が燃焼した後に酸素、ネオン、マグネシウム、アルミニウム、さらにシリコンなどが順々に生まれる。このように徐々に重い元素が作

られていくが、重い元素ほど生成に高い温度が必要のため、燃料となる元素とその生成物は層によって異なり、タマネギの皮状に重なる。そして最後には、中心に鉄の塊ができる。このように、星の進化とは、最初の水素燃焼でできた灰であるヘリウムを燃やし、このヘリウムを燃料にして次の燃焼が起こるといった過程のことである。ところが鉄はこれ以上燃焼できず、エネルギーを出すことができない。こうなると、内側からの圧力が減少してそれまでの外側との圧力均衡が破れる。鉄のコアは急激に収縮し、高密度の中性子星になる。この圧力が高くなって中心から跳ね返り、その衝撃波で外側は吹き飛び、爆発する。

鉄の原子核は核燃焼で得られる、最も安定したものである。このように鉄は、星の進化の最後の段階にできるため、宇宙の進化とともにその存在量比は増えていくが、現在の宇宙では水素とヘリウムとで全体の98%以上を占めている。これらの原子がすべて星の進化とともに鉄となり、核燃焼反応が終わった、いわば星の輝かない宇宙になるとすれば、それは何千億年も後のことになると考えられる。



星の内部に形成される元素組成のタマネギ構造



星の進化

太陽に近いほど多い鉄－ニッケル合金

それでは、惑星はどのようにしてできたのだろうか。自転する太陽の回りには星になりきれないガス（ダスト）が円盤状に漂う。この中の重い元素が互いに集まって原始惑星を形成する。これらは質量が少なく、内部の圧力も低いため、太陽のような核融合反応は起こらない。惑星の元素の存在量比は、惑星それぞれで大きく異なっている。たとえば地球は重い元素がほぼ 100% を占めているが、同じ太陽系の木星や土星では太陽と同じように水素やヘリウムが多く、重い元素は中心部に少し存在するだけである。しかしいずれも、太陽に比べて重い元素の存在量比は高い。

このような惑星にある鉄で金属となっているのは、鉄－ニッケル合金である。一方、岩石には鉄が酸化物として含まれているが、合金と酸化物の存在する割合は、それぞれの惑星で異なる。水星には、質量全体の3/4 以上を占める非常に大きな鉄－ニッケル合金のコアがあり、残りの1/4 の岩石の中に、他の酸化物とともに鉄酸化物が含まれている。このほか、地球では 8～10%、月では15%ほどの鉄酸化物が存在すると考えられている。

また、鉄－ニッケル合金については、太陽に近い惑星ほど存在量比が高いという傾向がある。地球や金星は質量の約半分が鉄－ニッケル合金だが、火星ではその比率は低くなる。定性的には、鉄－ニッケル合金は比較的融点が高いため、高温の太陽の回りに多く分布しやすいことになるが、くわしいことはまだわかっていない。

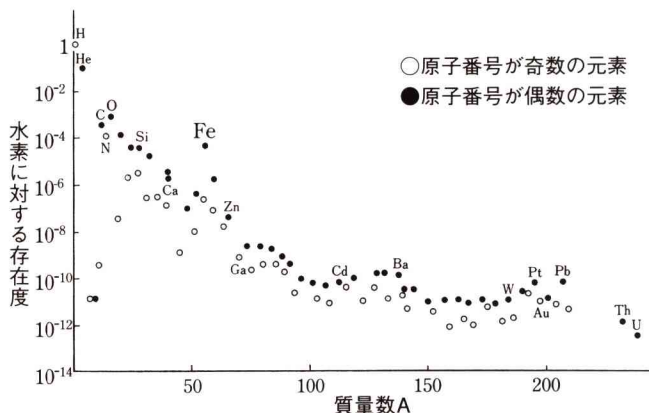
惑星は衝突を繰り返して段々に大きくなる。衝突によってできる初期の小さな惑星のことを微惑星というが、微惑星の中にどのくらい金属（鉄－ニッケル合金）が含まれているかが、衝突後の運命を決めていくのではないかと考えられている。もし、金属が多ければ延性によって衝突の力を吸収し、変形したり互にくっついたりすることになる。岩石が多い場合はばらばらに壊れ、飛散する。つまり、もともと金属が多い領域では、衝突によって金属的なものがたくさん集まりやすいことになり、太陽の近くに鉄－ニッケル合金が多く存在するという傾向についても説明がつく。

隕石は宇宙からの贈物

このようなふるまいのサンプルとして、われわれが手に入れることができるのが隕石である。隕石は太陽の周囲のガスが冷やされてできたもので、当然その中には鉄が含まれている。隕石の中に以前はある惑星の一部だったと思われるものもあり、それらを調べることによって惑星の内部構造についての推定ができる。

隕石は、その成分によって石質隕石、鉄隕石、石鉄隕石

太陽の化学組成



水素に対する元素存在度を表したもので、この組成は宇宙における天体の典型的な組成でもある。

に分けられる。石質隕石にはコンドリュールと呼ばれる、ミリメートルサイズの丸い液滴のようなものを含むコンドライトという種類がある。これは太陽系の星雲の中から鉱物の粒子が凝縮して隕石になって以来、熱的な影響を受けずそのままの形で残っている隕石である。このような隕石が、太陽系の元素存在度を推定するための大きな手掛りとなっている。

約46億年前に地球が誕生したときに、すでに現在とほぼ同じ量の鉄元素が存在していた。しかし金属と酸化物の存在量比は年月とともに変化しているはずだ。現在では、中心から半分ぐらいまでを鉄－ニッケル合金のコアが占め、その上の上部マントルという岩石の層の中に約 8% の鉄の酸化物が含まれていることがわかっている。

今から20億年以上前、地球上に酸素がない時代に、海の中に縞状鉄鉱層という鉄鉱石の層が形成された。現在人類が利用する鉄鉱石の90%以上はこの縞状鉄鉱層から供給されている。大陸の侵食、あるいは海洋底下の熱水噴出にともなって、多くの鉄イオンが海の中に溶け込んだ。これが酸化して水酸化物となり、海底に沈殿したのがこの鉄鉱層である。

古代ギリシャ人は鉄のことをワーエベ（天の産物）と呼んだ。人類が最初に知った鉄は、宇宙からやってきた隕石だった。現代人は、地球の中で生まれた鉄鉱石からすぐれた鉄を作り、生かすことを知っている。私たちが手に入れた鉄の文明は、まさに天と地の恩恵に預かっているといえるだろう。

【参考文献】

「現代の宇宙像」日本物理学会編、1991、培風館

「地球進化探訪記」松井孝典著、1994、岩波書店

「宇宙のデータブック」比田井、寿岳、高瀬著、1995、東海大学出版会

先端技術が謎に迫る— すばる望遠鏡

[協力]
国立天文台すばる計画推進部 林 正彦
Masahiko Hayashi
助教授

観測が拓く新しい宇宙観

われわれの大宇宙がどうやって生まれたのか。この謎を解くための大きな鍵が、宇宙観測技術である。17世紀初頭、ガリレオが口径 2.5cmの望遠鏡を天体観測に用いて以来、天文学は近代科学としてのスタートを切った。言い換えれば、これ以後、観測結果と人間の作り上げた理論が組み合わされることによって、新しい宇宙観が形成されてきたといえる。

1929年、ハッブルがアメリカで口径 2.5 mの反射望遠鏡を用いていろいろな銀河のスペクトル写真を撮り、遠くにある銀河ほど速く遠ざかっているのを示した。現在のように、宇宙の誕生はミクロの世界だったと考えられるようになったのは、このハッブルの観測がきっかけだった。

1965年には、ペンジャースとウィルソンがビッグバン宇宙の証拠ともいえる宇宙のマイクロ波背景放射を発見した。宇宙背景放射とは、放射(光)と物質が熱平衡の状態にあった時代の放射のことで、これは宇宙が4,000 Kほどの高温だった時代の名残である。これ以後、宇宙は大きく膨張し、温度は3 Kにまで下がったとされている。この証拠となるマイクロ波を発見したのが先ほどの二人の科学者で、彼らは通信衛星のアンテナについて研究するうち、予期せぬ宇宙の雑音、つまり3 Kの宇宙背景放射を観測したという。

1960年代といえば、電波を用いた天文観測が盛んになった時代である。それまでの可視光による観測から、軍事技術として開発されたレーダーの技術を応用した電波の時代へと移行した。

宇宙の天体からは、さまざまな波長の電磁波が地球に到来している。電磁波にはその波長によって、ガンマ線、X線、紫外線、可視光、赤外線などがあるが、現在ではあらゆる波長を利用した観測が進んでいる。たとえばX線では、極めて高密度を持つ中性子星の存在や、ブラッ

クホールと思われる天体が発見されている。赤外線では、1000 K以下の天体である、誕生しつつある星や銀河のダストのようすなどが観測できる。シンクロトロン放射を観測すれば、高エネルギーのプラズマの存在や磁力線のようなすがわかる。このように、さまざまな手段で観測を行い、総合的に判断することによって、新しい宇宙像論が導き出されてきた。

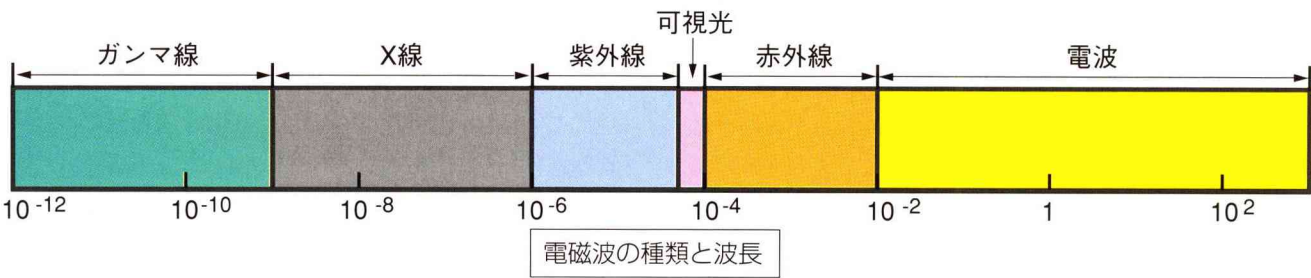
また写真に替わるCCDなどのエレクトロニクス検出器の発達により、光学望遠鏡の観測も長足の進歩を遂げ、宇宙の泡構造の解明などに大きく貢献している。

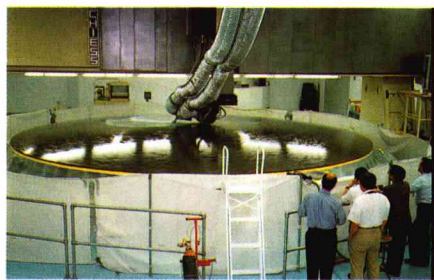
世界最大級の光学赤外線望遠鏡「すばる」

日本では、1987年に大マゼラン星雲の超新星爆発が起こったとき、電波、赤外線、紫外線、X線、ガンマ線にわたる全波長で精密な観測が行われて成果を上げ、カムイオカンデによるニュートリノの検出も成功した。またこのとき、X線天文衛星「ぎんが」がX線を宇宙からとらえることに成功した。この分野でも日本は、世界のトップクラスの技術を手に入れている。

現在、日本の観測技術の最前線の一つが、世界最大級の光学赤外線望遠鏡「すばる」計画である。これは、直径 8 m級の大望遠鏡をハワイ・マウナケアの山頂に設置する計画で、この望遠鏡を用いて、銀河の形成や太陽系外での惑星の形成などを観測することになる。ちなみに現在世界最大の望遠鏡は口径 5 mのパロマのハール望遠鏡で、「すばる」がいかに大規模なものか想像がつく。この計画は1991年に開始、1996年にはマウナケアでの組み立てが始まり、1998年には観測が開始される予定である。

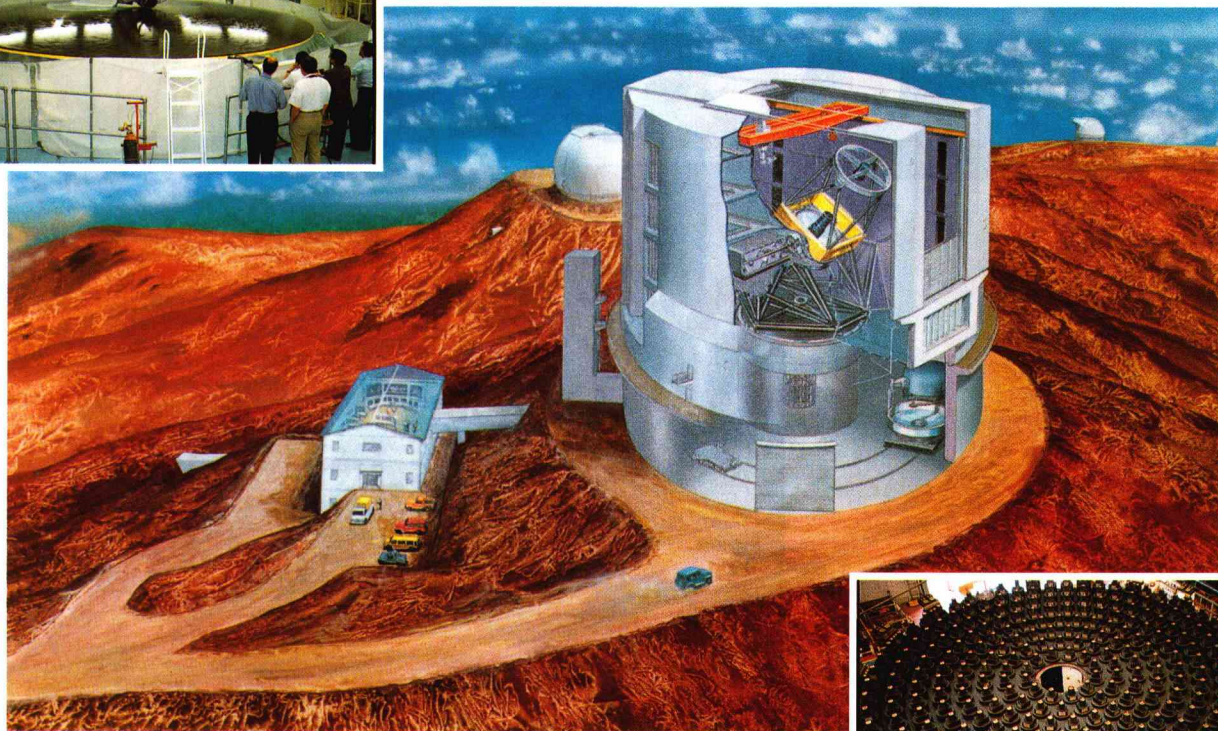
「すばる」には、現代科学技術の粋が詰め込まれている。その主鏡は、今までになく大きく、薄く、軽い。口径 8 mの主鏡の厚さはわずか20cmで、熱膨張率のきわめて低い特殊ガラスでできている。このガラスを支えている261本のアクチュエータは、ガラスの重力変形、熱変形を検知し、コンピュータ制御によってつねに最



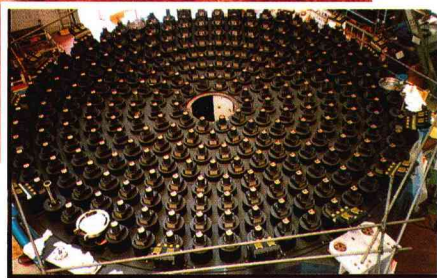


直径8m、線膨張率 10^{-8} /度の一枚反射鏡は約3年をかけて精密に研磨される。

標高4,200mのハワイ・マウナケアに建設される「すばる」(完成予想図)



1本当たり約100kgの荷重がかかるという、全部で261本のアクチュエータは、わずか100gの耐圧を検知し、コンピュータ制御される。



適反射面を作る役割を果たしている。また主鏡を支える鋼製のセルは、溶接で一体化されたが、きわめて高い寸法精度を誇っている。また、高い精度と駆動性能を生かし、天体追尾の平均誤差を約0.1秒角以下に抑えている。

観測波長域は、近紫外光から可視光、中間赤外光までをカバーし、とくに赤外線での観測能力を高め、大きな期待を担っている。

ところで、なぜ日本の望遠鏡がマウナケアにできるのか。それは、ここが天体観測に適した世界でも有数の場所だからである。具体的な条件としては次のことがあげられる。

1. 年間を通してほとんど快晴である。
2. 大気が安定しており、シャープな天体像が得られやすい。
3. 4,000m級の山で宇宙からの光を減光する大気や水蒸気が少なく、赤外線を観測するのに適している。

このような理由から、すでにマウナケアにはアメリカやイギリスが建てた望遠鏡ドームが並んでいる。もうすぐここに日本の「すばる」が仲間入りするのだ。

まだ見ぬ宇宙を見るチャレンジ

「すばる」が完成すれば、世界トップクラスの観測設備となるが、このほかにも現在、新しい観測の試みが次々と発表されている。

宇宙のことは宇宙空間から見ようというのが、人工衛星による観測である。宇宙では大気による障害がないため、精度の良い観測が可能となる。1990年に打ち上げられたハッブル宇宙望遠鏡のほか、日本でも「あすか」が活躍しており、今後赤外線衛星を打ち上げる計画も進んでいる。

また、素粒子の世界で注目されるのが、宇宙からのニュートリノを検出しようとするスーパーカミオカンデである。岐阜県の鉱山跡の地下に眠る検出器の観測が、世界に先駆けて本格的なニュートリノ天文学を開く鍵として期待されている。

またアインシュタインがその存在を予言した重力波を観測する重力波天文学はまだ未開の分野であるが、現在日本や欧米で重力波検出器の開発が進められている。これは、宇宙背景放射が作られる前の宇宙が観測できる可能性があるものといわれている。

さらに21世紀になってから、月面に天文台を建てようという、夢のような計画も進行しているという。

このように見てくると、科学技術が可能にする高度な「目」が、すでに宇宙全体を駆け巡っているように思える。しかし、宇宙には解明されていないことがまだ多くあると言われている。神の領域と言われていた宇宙開びゃくの謎に向かって、人類がチャレンジするテーマは数多く残されているのだ。

Steel La

神話のふるさと、
島根県地方は、
かつて、わが国で
もっとも製鉄の盛んな
地域として知られていた。
ここは古来からの製鉄法
「たたら製鉄」のふるさとでもある。
島根の絶景を通して、
“和鉄文化”の今を訪ねる。



鉄の絶景

魂としての鉄

島根

andscape.



水の都を一望に見わたす松江城。

18万6,000石の城下町、松江市は、市内に約500もの橋が架かる、水の都として知られている。市中を縦横に流れる川、そして宍道湖に暮れていく穏やかな夕陽を見下ろすのは、松江のシンボルともいえる松江城だ。

あの関ヶ原の戦いで名をあげ、大守としてこの地に入った堀尾吉晴が築城し、慶長16年（1611年）に完成している。設計にあたったのは「太閤記」の作者として知られ、吉晴とも親交のあった小瀬甫庵^{おぜ ほうあん}であったと伝えられている。

黒く厚い雨覆板で覆われた外装。実戦本位に造られた構造。外観の優美さをまったく無視した、質実剛健の構えが特色となっており、姫路の白鷺城に対して、千鳥城の名がある。

明治時代に入り、数多くの城閣が取り壊しの難を受けたが、幸いにも、この松江城は天守閣のみ、それを免れている。明

治8年に米100俵（約180円）相当で払い下げられかけたのを、当時の豪農らが奔走して買い戻し、現在の状態でとどめられるようになった。昭和25年より5年がかりで修復工事が行なわれたものの、桃山・江戸時代初期の面影を残す城として、重要文化財に指定されている。

築城当時の面影は、城内の展示物にも見て取ることができる。武具、そして刀剣……。『武士の魂』として、かつて用いられた道具を通して、もうひとつ島根の側面を見出だすことができる。

神が宿る、たたら製鉄の炎。

文明開化によって日本の製鉄は大きな様変わりを見せた。西洋の製鉄技術の導入である。工業化の発展を目指し、これによって大量の鋼鉄が作り出されることとなった。それまで日本の製鉄を支えてきたのは「たたら製鉄」と呼ばれる方法であり、すぐれた鋼鉄を製造する技術として、島根は出雲を中心とする中国山地一帯で生産が行なわれていた。それが洋鉄の台頭により、一旦、その長い歴史を閉じることとなる。「たたら」とは、簡単にいえば砂鉄を溶解して製錬を行なう施設の総称であり、そこで行なわれる製鉄をたたら製鉄とい



冬期、1月から2月にかけてが、たたら製鉄のシーズン。
操業がはじまると、風を送る^{ふく}の音で空間は満たされていく。
荘厳に燃え盛る炎には火の神「金屋子様」が宿るとされ、たたら製鉄には火の神に対する信仰という側面もあった。
写真は、操業の後、炉をとり壊すところ。

う。砂鉄は花崗岩や安山岩を母岩にしているため日本各地で見られるが、なかでも中国山地は花崗岩の風化がもっとも進んでいる地域であり、そのため、豊富で良質な砂鉄に恵まれていた。また、砂鉄のほかに、燃料となる木炭や運送の便などの条件も整っていた。

ちなみに、この地方で唄われる「安来節」は、どじょうすくい^{どじょうすくい}で知られるが、その踊りは砂鉄を採取する姿を真似たもの^{まねたもの}だといわれる。

西洋の技術で製造された洋鉄に対して、たたら製鉄によるものを和鉄という。和鉄は洋鉄と比較して、リンやイオウが少なく純度が高いため、おもに鉄製工芸品の機能を高めることに貢献してきた。とくに武具や刀剣には、たたら製鉄を通して作られる、もっとも良質な「玉鋼」^{たまはかね}が用いられており、折れにくく、曲りにくく、錆びにくい、最高級の鋼として重宝されていた。

刀剣は今もなお日本が世界に誇る美術品のひとつだ。愛好家も多い。たたら製鉄は、昭和初期に一度復活し、そこで生産された鋼が弘底した後、昭和52年に国庫補助事業として再開

されることとなった。現在、(財)日本美術刀剣保存協会が、日立金属株式会社の協力によって、島根県仁多郡横田町にたたらを開設している。これを「日刀保^{にっとうほ}たたら」という。

日刀保たたらでは、伝統的なたたら製鉄の方法を踏襲し、毎年冬期に製鉄を行なっている。たたら製鉄は、粘土で築いた炉に砂鉄と木炭を装入し、送風しながら木炭をたいて砂鉄を溶解していく。取り出すときは炉もいっしょに壊す。約7日間を要する作業工程のうち、火入れから送風停止までの三昼夜は「操業」と呼ばれ、もっとも重要な工程である。この間、操業の長である「村下」は炉を監視しつづけ、かつては一睡もせず^{いっしょくた}にこの作業にあたったという。一回の操業に用いられる砂鉄は約10トン。ここで生産された数トンの玉鋼が、全国の刀匠、約250人に分与されていく。

古くてすぐれたものは数々あるが、このたたら製鉄にもそれがいえそう^いだ。かつて武士の魂であり、今では類なき美術品として愛されている刀剣がその輝きを放つことができるのも、たたら製鉄が今もなお維持されつづけているからこそなのだ。

- 取材協力：財団法人日本美術刀剣保存協会
- 写真提供、撮影（たたら）：鈴木卓夫氏
- 参考文献：「作刀の伝統技法」鈴木卓夫氏著、他

平成7年鉄鋼生産技術の歩み

— 国際競争力強化への足固め —

藤原俊朗

生産技術部門 部門長

Tosiro Fujiwara

Production and Technology of Iron and Steel in Japan during 1995

1 鉄鋼業をめぐる諸情勢

平成6年の情勢

平成6年のわが国経済は、前年までの2年半に及ぶ景気後退を脱し、緩やかな回復基調に入ったものの、未曾有の円高進行等により企業収益は悪化、過剰能力の調整過程が継続し、民間設備投資の本格的回復までには至らなかった。鉄鋼の主な需要産業については、建設業は住宅関連需要が好調に推移したが、非住宅建築は低迷し、公共投資関連も盛り上がりには欠けた。製造業は円高に伴う海外現地生産の進展や輸入製品の増加等厳しい環境に置かれたものの、年央以降は国内販売が順調であった電気機械、自動車部門をはじめ各部門とも総じて増加に転じた。こうした中で、国内鉄鋼需要は年初において最悪期となったが、年後半にかけて緩やかな回復を示し、通年では前年比若干の微増となった。一方、輸出は銑鉄、半製品を中心に米国、韓国向けが増加したものの、中国向けが大幅減少となったことから、全体としては前年比若干の増加にとどまった。

このような内外需動向を反映して、平成6年の銑鉄生産

は、7,378万tと前年比4万t、0.05%の微増となったが、4年連続の8,000万t割れとなった。同粗鋼生産は9,829万tで、前年比133万t、1.3%減と2年ぶりの減少となり、わが国鉄鋼業が1億tの生産を達成して以来、初めて3年連続の1億t割れ、粗鋼生産過去最高を記録した昭和48年以降では、4番目に低い水準にとどまった。炉別にみると、転炉鋼が6,722万t、前年比1.9%減、電気炉鋼も3,107万t、0.2%減と共に減少した。また、鋼種別では普通鋼が8,024万t、前年比187万t、2.3%の減少となったのに対し、特殊鋼は1,806万t、前年比54万t、3.1%の増加となった。

普通鋼圧延鋼材の生産は、主要需要産業の内需が下期に回復したものの全体として低迷、また、輸出も鋼材が低調に推移したこと等から7,485万tと前年に比べ267万t、3.4%の減少となり、2年ぶりの減少、3年連続の8,000万t割れにとどまった。品種別では、広幅帯鋼をはじめ厚中板、線材、鋼矢板等ほとんどの品種は減少となったが、建設向け主体の小形棒鋼の生産は1,251万t、前年比70万t、5.9%の増加、また、H型钢も570万tと前年比31万t、5.8%増となり、平成2年以来4年ぶりの増加となった。特殊鋼圧延鋼材の生産

表1 高炉銑・鋼塊及び鋼材の生産推移

		(単位：千t/月)												
項目	年	4年平均	5年平均	6年平均	7年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	7年1～9月平均
高炉銑		6,091	6,140	6,144	6,398	5,716	6,334	6,211	6,404	6,263	6,484	6,309	6,115	6,248
粗鋼	計	8,178	8,302	8,191	8,583	8,131	8,831	8,702	9,036	8,699	8,679	8,087	8,112	8,540
	転 炉	5,595	5,708	5,602	6,008	5,437	5,846	5,856	6,105	5,788	5,966	5,701	5,578	5,809
	電気炉	2,582	2,594	2,589	2,575	2,694	2,985	2,846	2,931	2,911	2,713	2,386	2,534	2,731
普通鋼熱延鋼材(一般)		6,510	6,559	6,357	6,636	6,344	6,924	6,760	6,947	6,815	6,681	6,238	6,409	6,639
主要熱延鋼材	中小形形鋼	174	172	158	155	146	162	157	159	154	129	124	141	147
	小形棒鋼	995	984	1,042	954	1,021	1,070	1,056	1,106	1,132	1,114	972	997	1,047
	普通線材	110	136	131	130	121	124	123	126	118	112	103	114	119
	厚中板	696	683	651	721	694	772	722	707	700	712	686	714	714
	薄 板	10	10	7	7	6	6	7	7	6	6	4	4	6
	広幅帯鋼	3,284	3,341	3,186	3,538	3,179	3,518	3,428	3,531	3,423	3,413	3,258	3,260	3,394
特殊鋼熱延鋼材		1,237	1,231	1,251	1,286	1,278	1,464	1,399	1,454	1,390	1,402	1,325	1,370	1,374

出所：日本鉄鋼連盟資料

は、内需では産業機械向けで海外向けの火力発電用部品のプロジェクトものが入り、大幅増加、また、自動車は下期にかけて回復したこと、また、輸出向けも好調であったこと等から、全体で1,461万tと前年比17万t、1.2%増と2年連続して増加したが、3年連続の1,400万t台生産にとどまった。鋼種別では、機械構造用炭素鋼、ステンレス鋼、快削鋼、軸受鋼等が増加となったが、高抗張力鋼、構造用合金鋼、ピアノ線材、ばね鋼、耐熱鋼等は減少となった。(表1参照)

平成6年の鉄鋼輸出に関しては、2,395万t、前年比45万t、1.9%増と4年連続の増加を記録するとともに、前年に引き続き2,000万t台の水準となった。品種別にみると、韓国、台湾向け的大幅増により過去最高を記録した銑鉄が122万t、前年比303.7%増、米国向けが激増した銅塊・半製品及びフェロアロイがそれぞれ156万t、同324.2%増及び3.8万t、同65.0%増、特殊鋼も394万t、同9.4%増と増加したが、普通鋼鋼材は最大の仕向先である中国の大幅な減少等により4年ぶりに減少し1,659万t、前年比10.9%減にとどまった。

全鉄鋼輸入に関しては、899万tと前年比2.1%の減少となり、3年連続で1,000万t割れとなった。品種別には銑鉄が181万t、前年比10.7%増、フェロアロイが147万t、同2.6%増、特殊鋼鋼材が8.3万t、同45.2%増、二次製品・その他が20万t、同26.9%増等と増加したのに対し、普通鋼鋼材は512万t、前年比8.3%の減、銅塊・半製品は31万t、同3.8%の減となった。

鉄鋼業の従業員数は、平成6年12月末で271,905人と前年287,068人に対し5.3%の減少となった。新規採用については、鉄鋼43社の平成6年4月の採用者は5,037人で前年比35%減となっている。これらは高炉大手をはじめ鉄鋼各社が平成6年3月に要員合理化を含む経営計画の新規策定・見直しを行い、要員面での効率化を推進してきた結果である。

国内消費のほぼ全量を輸入に依存している鉄鋼石、原料炭の需給動向は以下の通りである。

鉄鉱石類輸入量は1億888万乾量tで前年比0.3%増、輸入先もオーストラリア、ブラジル、インドの3大ソースで84.8%と前年に比べて大きな変化はなかった。

原料炭輸入量も5,927万t、前年比2.3%減と大きい変化はないが、特筆すべきは非微粘結炭の輸入量が、PCI用の増加及びコークス製造技術の向上に伴う非微粘結炭の消費量の増加により、前年比14.0%増の2,244万tとなり、全輸入量の37.9%を占めたことである。

鉄スクラップ消費量については、電気炉用が前年比1.9%減の3,043万t、転炉用が同10.1%増の593万t、鋳物・再生鋼材用が同0.1%増の669万tとなり、その他消費も含め全体で4,312万tと前年とほぼ同量となった。転炉用消費量が大幅に増加したのは、韓国、台湾を中心に大量に輸出していた銑鉄が、年央以降の景気の回復に伴う鉄鋼生産の増加に

より年末に不足したためである。一方、供給量は、輸入が前年比16.7%増の96万t、自家発生が同0.1%増の1,248万t、国内市中スクラップの購入が同1.7%減の3,048万tとなり、合計で4,392万t、前年比0.6%減少した。また、平成4年から出超に転じた鉄スクラップの輸出入は、平成6年は市中スクラップ発生量の低迷と年末にかけての鉄鋼増産に伴う国内鉄スクラップ需給のタイト化により、前年に引き続き輸入量は96万tと前年比14万tの増加、輸出量は97万tと同21万t減少し、輸入増・輸出減の傾向にあった。

平成7年上期の情勢

平成7年上期のわが国経済は、緩やかな景気回復基調のもとで、先行きの需要増への期待および阪神大震災の復旧・復興需要を見込んだ仮需への対応から、実需以上の生産が行われた。

平成7年上期の銑鉄生産は、3,733万tと前年同期比165万t(4.6%)の増加となった。粗鋼生産は5,198万tで、同493万t(10.5%)増となり、平成3年下期の5,318万t以来の水準となった。炉別にみると、転炉鋼が3,504万tと前年同期比9.0%増、電気炉鋼は1,694万t、同13.6%増となった。また、鋼種別では、普通鋼が4,196万tと前年同期比357万t(9.3%)増、特殊鋼は1,003万t、同136万t(15.7%)増と特殊鋼の伸びが目立った。

普通鋼熱延鋼材(一般)の生産は、建設・自動車・電気機械等の内需向けが穏やかながら上向いたことから、4,043万tと前年同期比413万t(11.4%)増加し、2年ぶりに4,000万t台生産を回復した。品種別では、条鋼類が1,401万t(前年同期比5.7%増)、銅板類が2,575万t(同14.9%増)と銅板類の増加が目立った。特殊鋼熱延鋼材は827万t(同14.8%増)と大幅な増加となった。

鉄鋼貿易を前年同期比でみると、輸出において銑鉄および半製品が激減し、輸入鋼材は大幅な増加となった。

すなわち、平成7年上期の鉄鋼輸出は、1,091万tで6期連続の1,000万t超となったが、前年同期比では11.4%減と2期連続の減少となった。仕向先別にみると、最大市場である中国が176万t(前年同期比25%減)と引き続きの大幅減を記録したのをはじめ、米国(128万t、同25.4%減)、韓国(124万t、同24.8%減)向けも銑鉄、半製品の激減から前年同期比を大幅に下回った。しかしながら、台湾(141万t、同2.0%増)、タイ(121万t、7.7%増)、マレーシア(62万t、16.8%増)等、東南アジア向けは薄板類を中心に増加した。

一方、平成7年上期の鉄鋼輸入量は640万tと、前年同期比58.5%の大幅増加となった。特に、円高を背景とするスクラップ代替需要の高まりから、銑鉄が169万tと同3.5倍に急増したのをはじめ、普通鋼鋼材(330万t、27.6%増)、

フェロアロイ（94万t、44.0%増）、銅塊・半製品（29万t、61.4%増）の増加が著しい。

鉄鋼業の従業員数は、平成7年6月末で265,200人と前年に引続き年率5%台の減少を示しており、リストラによる要員削減計画が着実に実行されている事が伺われる。

平成7年上期の原料動向は以下の通りである。

鉄鋼石類消費量は5,512万乾量tで前年同期比4.5%、237万t増加し、輸入量も5,661万乾量tで前年同期比8.1%、425万tの増加となった。

原料炭消費量は3,019万tで、前年同期比4.4%、126万t増加し、これを受け輸入量も3,102万tと、前年同期比7.2%、209万t増加した。このうち非微粘結炭の輸入量は、PCI用の増加及びコークス製造技術の向上に伴う非微粘結炭の消費量の増加により、前年同期比20.1%増の1,244万tとなり、全輸入量の40.1%を占めた。

鉄スクラップ消費量については、電気炉用が前年同期比10.3%増の1,618万t、転炉用が同11.5%増の300万t、鋳物・再生鋼材用が同8.7%増の351万tとなり、その他消費も含め全体で2,273万tと同10.2%、211万tの増加となった。一方、供給量は、輸入が前年同期比263%増の69万t、自家発生が同3.1%増の623万t、国内市中スクラップの購入が同11.6%増の1,633万tとなり、合計で2,325万tと同11.5%、239万tの増加となった。また、平成4年から出超に転じていた鉄スクラップの輸出入は、平成7年上期の輸出量が30万tと前年同期比28万t（48.3%）減少し、39万tの入超に再び戻った。

鉄鋼生産に関わる諸情勢が以上のような動きのなかにあって、鉄鋼業の平成7年度設備投資計画は7,619億円と6年度見込みに比べ600億円、8.5%増で、4年ぶりの増加となっている。設備投資の内容をみると、諸コスト削減のための合理化投資、設備更新投資、維持・補修投資が中心となっており、一方で生産関連投資の比重が低下している。しかし来年度以降の鋼材需要、経営環境回復への確たる展望が開けないなかにあって、当分の間は低水準の投資が続くものとみられる。

2 技術と設備

2.1 製鉄

平成7年の鉄鉄生産量は、前年上期比（1～6月）4.7%増と4年ぶりに増加に転じた。また、平成6年の平均出鉄比は、前年の1.90t/m³・日に対して1.93t/m³・日にまで増大した。

最近の1年間に火入れされた高炉は2基、吹止めされた高炉は1基であり、新日本製鐵(株)君津2高炉（3,273m³）の平成6年11月の火入れ、日新製鋼(株)呉1高炉（2,150m³）の平成7年4月の吹止めと呉新1高炉（2,650m³）の火入れがあった。平成7年10月現在の高炉稼働基数は、30基と前年同月より1基増となった。

表2に、高炉作業成績を示す。燃料比は、前年並みの平均513kg/t前後のレベルで推移した。微粉炭吹き込みについては、平成7年10月現在、稼働高炉30基中27基で微粉炭吹き込み操業が実施されている。微粉炭比としては、平成6年平均の100kg/tに対して、平成7年1月の阪神・淡路大震災の影響を受けて一時的に低下したが、平成7年5月には昨年レベルまで戻っている。国内での高微粉炭比としては、(株)神戸製鋼所加古川1高炉（4,550m³）が平成6年の年間平均値201kg/tを達成した。NKK福山4高炉（4,288m³）では、平成6年10月に微粉炭比218kg/tを達成した。

高炉炉寿命では、安定操業の維持や装入物分布制御による炉体保護操業、炉体冷却強化等の技術により、炉寿命記録が更新されている。18年目の操業を実施している川崎製鉄(株)千葉6高炉（4,500m³）では、平成7年7月に一炉代当たりの累計出鉄量5,315万3千tの世界新記録を達成し、引き続き炉寿命、累計出鉄量の記録を更新中である。

また、コークス部門においては、川崎製鉄(株)水島製鉄所で、石炭の全量調湿処理と炉体補修技術の開発により、コークス炉の乾留熱量原単位が平成6年度の年間平均値2.1GJ/tを達成した。原料・焼結部門においては、NKK福山第4焼結機で、偏析装入法等の改善により平成7年6月には1.94t/h・m²の高生産率下で返し鉱原単位90kg/tを達成した。

高炉法に代わる次世代製鉄プロセスである日本鉄鋼連盟の溶融還元製鉄法（DIOS法）は、今年度が8年間の計画で

表2 高炉作業成績

項目	年	4年平均	5年平均	6年平均	7年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	7年1～9月平均
鉱石比 (kg/t)		1,627	1,627	1,628	1,629	1,629	1,632	1,633	1,629	1,632	1,630	1,626	1,629	1,630
コークス比(平均)(kg/t)		432	427	412	414	418	414	412	413	411	417	415	413	414
出鉄比 (t/m ³ ・日)		1.86	1.90	1.93	1.95	1.95	1.95	1.96	1.93	1.95	1.95	1.90	1.90	1.94
焼結鉱・ペレット使用率(%)		84.1	83.7	83.3	82.2	82.1	82.0	81.6	81.0	81.5	81.4	81.7	81.6	81.8
燃料比 (kg/t)		515	514	512	512	514	511	510	514	514	517	517	517	514
微粉炭比 (kg/t)		80.7	84.5	97.9	94.6	92.0	93.3	94.4	98.9	99.4	97.7	99.1	101.5	96.8

出所：日本鉄鋼連盟資料

最終年度にあたり、炉体に水冷パネルを取り付け炉体寿命延長を目的とした試験操業を実施中である。

2.2 製鋼

製鋼作業の状況は、表3の転炉作業成績および表4の電気炉作業成績に示すように、転炉、電気炉ともに製鋼時間当たりの生産高指数が増加基調にある。

転炉においては、溶銑予備処理技術・設備の改善に加え、転炉設備の新設・廃止により複合吹錬転炉割合はさらに伸びて約87%になっている。(総基数71基中62基が複合吹錬転炉化；鉄鋼統計月報による)

鉄鋼業を取り巻く経済環境が厳しい中であって、主原料事情の変化、市場要求の高度化・厳格化、国際的コスト競争力の確保、さらには作業環境の改善等々に対応するため、品質向上、コスト低減、自動化・省力化を目指した最適プロセスを実現させる動きが各社とも見られた。

新しい製鋼プロセスとしては、NKK福山のステンレス溶融還元炉（平成2年9月稼働）において、炉内鋼浴攪拌技術等によりクロム鉱石の大幅な増量が可能となりフェロクロム原単位7.7kg/tを達成し、ステンレス鋼の溶融還元操業技術を確認した。川崎製鉄(株)千葉4製鋼（平成6年7月稼働）のクロム溶融還元炉では、ステンレス鋼生産量5万t/月を達成した。これにより、原料需給や価格変動に対応し、最適な操業選択が可能となる。

また、川崎製鉄(株)千葉4製鋼では、上記クロム溶融還元炉等において発生する有価金属を含むダストを粉の状態で炉内に吹き込み、小塊コークスで溶融還元するダスト精錬炉の操業技術を確認し、メタル生産量140t/日を達成した。

有価金属の歩留り向上に加え、活用法の拡大によるリサイクルの促進、省エネルギーおよび環境改善等への寄与が期待される。

二次精錬プロセスにおいても、設備の新設や高機能化などの動きが、製品品質の高級化・厳格化ニーズを反映して、各社でさらに進展した。二次精錬処理比率は表5に示すように、平成6年も高い水準で推移している。

表5 転炉・電気炉鋼の二次精錬処理比率の推移（単位：%）

項目	年	3年	4年	5年	6年
転炉鋼	二次精錬処理比率	80.2	80.3	79.4	80.1
	内真空処理比率	59.8	61.3	58.4	60.3
電気炉鋼	二次精錬処理比率	68.0	72.0	85.2	85.3

出所：日本鉄鋼連盟資料

一方、電気炉においては、電力・電極原単位の低減およびフリッカー対策、自動化等を目的とした直流電気炉が新たに3基〔拓南製鉄(株)/浦添40t炉、2基、住友金属工業(株)/関西40t炉〕増え、既に17基となった。また、ダイワスチール(株)水島100t炉、キョウエイ製鉄(株)和歌山60t炉に引き続き、三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)100t炉でも、高炉溶銑装入を採用し、鉄原料・電力需給や価格変動に対応した弾力的操業が可能となった。

(財)金属系材料研究開発センター（JRCM）の新製鋼プロセス・フォーラムが推進している環境調和型次世代製鋼技術の研究は、8年計画の前半にあたる総合基礎研究調査およびトランプ・エレメント除去技術研究がほぼ終了し、平成8年度からは総合システム評価研究の開始が予定されている。

わが国の圧延用鋼塊に占める連铸鋼片の比率は、図1に

表3 転炉作業成績

項目	年	4年平均	5年平均	6年平均	7年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	7年1～9月平均
製鋼時間当たりの生産高指数*		100	104	107	110	112	112	109	107	109	110	111	111	110
1回当たりの製鋼時間指数		101	98	98	98	98	98	101	101	98	98	98	98	98
銑鉄配合率（%）		94.3	93.4	92.3	92.2	92.2	92.5	92.0	92.7	93.5	93.6	93.8	93.6	92.9
溶銑配合率（%）		93.2	91.6	91.2	90.8	90.2	91.0	90.1	89.6	91.2	92.6	92.8	92.2	91.2
酸素原単位（%）		53.9	55.8	56.8	57.3	58.1	58.2	59.6	57.8	57.2	57.3	58.0	57.4	57.9
連铸比率（%）		97.9	98.0	98.1	98.2	98.1	98.1	98.0	97.9	97.8	98.1	98.2	98.3	98.1
真空処理比率（%）		61.3	58.4	60.3	61.2	61.2	61.7	59.0	59.6	60.3	60.1	60.6	58.9	60.3

*平成元年～平成3年までの平均値を100としたときの指数値

出所：日本鉄鋼連盟資料

表4 電気炉作業成績

項目	年	4年平均	5年平均	6年平均	7年1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	7年1～9月平均
製鋼時間当たりの生産高指数*		106	112	116	119	119	120	122	122	118	119	115	114	119
良塊t当りの電気消費量(kWh/t)		391.2	399.8	394.8	392.3	392.7	392.2	394.9	395.2	396.3	398.6	400.6	397.6	395.5
良塊t当りの酸素消費量(Nm³/t)		25.5	25.4	24.6	24.9	24.7	24.6	24.2	24.0	23.6	24.0	23.0	21.9	23.9
良塊歩留り（%）		91.7	91.6	91.7	91.4	91.7	91.4	91.5	91.5	91.1	91.3	91.5	91.8	91.4
良塊連铸比率（%）		88.7	87.9	88.3	88.3	87.7	88.1	88.2	88.9	87.5	88.1	87.8	87.7	88.1
合金鋼比率（%）		31.5	30.6	32.1	33.6	33.5	32.5	33.3	31.9	34.4	33.0	35.1	35.9	33.6

*平成元年～平成3年までの平均値を100としたときの指数値

出所：日本鉄鋼連盟資料

示すように、平成6年度は、96.9%と前年度に横ばいであった。鋼種別でも、普通鋼が99.2%、特殊鋼が86.1%といずれも前年度に横ばいとなっている。平成6年度の連铸機総基数は、新設・廃止による異動はあるものの、年度内平均では151基で前年度と同数である。(鉄鋼統計月報による)

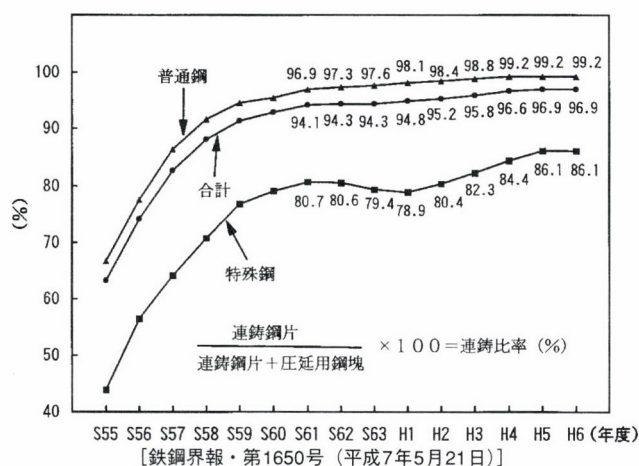


図1 連铸比率の推移

連铸分野での新技術としては、新日本製鐵(株)八幡の第1連铸機に導入されたエキスパートシステム(モールドの無監視作業を目的とした操業状態の把握・判断・制御システム)、同名古屋のスラブ自動チェックスカーフィング技術(スラブの表面欠陥をスカーフィング時の火花個数検出により品質判定する技術)等の省力化・自動化技術や、住友金属工業(株)鹿島の铸造速度の高速立上げ技術(铸造速度を早く定常値にして非定常部を減少)等の品質改善技術が実用化された。

住友金属工業(株)小倉は第3連铸機(条鋼用ブルーム)の新設により連铸機2基体制となった。粗鋼の内約30%残っていた造塊プロセスを連铸プロセスに変更することにより4名/シフト体制を目指した高生産性の連铸機で、鋼の清浄度向上対策として誘導加熱タンディッシュを、铸片の内部割れ対策として垂直多段曲げ型式を採用している。

2.3 厚板・鋼管・条鋼

前年に引き続き高品質化、合理化、省力化を目的とした設備投資、技術開発が行われ、特に形鋼・棒鋼・線材関係の新設備の稼動、新技術が目立っている。

厚板関係では、精整工程での新設備が目立ち、川崎製鉄(株)水島にて6kWのCO₂レーザNC切断機が導入され自動化を実現した。同様にNKK京浜においても既設の3kWに続いて6kWのレーザ切断機が増設された。また、川崎製鉄(株)水島において、厚板のきず情報を入力すると、夜間でも無人手入れが可能な自動グラインダーが導入された。

厚板関連では、新日本製鐵(株)にて、片面フラックス銅バッキング方式のSAWにおいて、ツインワイヤー法・4電極

法の採用による表裏1パス溶接技術が開発された。

鋼管関係では、特に継目無鋼管製造設備において、最新鋭ミルの建設が進む一方で、既存ミルの休止・業務提携による部品の生産集約も行われた。継目無鋼管では、住友金属工業(株)関西製造所にて、長尺押出管の熱間切断・冷却・曲り取り・冷間切断(特に多本数の等重量切断が可能)を連続自動ラインで行う自動精整ラインが完成した。川崎製鉄(株)知多では、オプティカルゲージ式による世界初のオンラインでの非接触高精度ねじ形状測定装置が設置された。溶接鋼管では、日鉄鋼管(株)名古屋にて移転・新設を含めた9ラインの生産体制が確立した。また、丸一鋼管(株)東京第二工場にて12インチ造管機等の一連のリフレッシュが完工した。日本パイプ製造(株)大阪では造管機におけるロールの回転精度向上などにより、φ76.3以下の製品で外径の規格値を±0.1mm～±0.2mm以下に保証出来るアズロール精密電縫鋼管製造技術が開発された。また、同社では引き抜き工具の形状改善により真円度を向上させ、高精度のショックアブソーバ用鋼管を製造する技術が開発された。検査装置としては、NKK京浜にて超音波探傷をデジタル処理しS/N比を従来の2～4倍以上改善する技術が開発された。

形鋼関係では、トーア・スチール(株)姫路にて旧大形工場のリプレースが完了した。大同特殊鋼(株)川崎では小ロット・多品種生産に対応するため、丸ノ平角製品の交互圧延が可能のように粗列を増設し、小形圧延のチャンスフリー化が実現した。山陽特殊製鋼(株)本社は、回転式漏洩磁束探傷で、検出機の自動サイズ替え機構により時間短縮を図るとともに、アナログ加算機構を付加して高精度の表面きず保証可能な装置を設置した。川崎製鉄(株)水島では、2つのバーナを交互に燃焼させ各々の廃ガス顕熱を蓄積し、もう一方のバーナの燃焼空気の加熱に使う、高速切り替え型蓄熱式燃焼システムの開発が行われた。

棒鋼・線材関係では、大同特殊鋼(株)知多で線材の熱処理一酸洗一貫ライン化および精整能力の増強で生産性の向上を実現した。新日本製鐵(株)室蘭においては線材圧延ラインの最終仕上げブロックミルの前後にプロフィールメータを設置し、その情報をもとにAGC制御する精密線材圧延技術が開発された。三菱製鋼室蘭特殊鋼(株)室蘭では、インラインプレスと剛性の高い全連続V-H無張力圧延方式の採用で大断面棒鋼の製造が実現した。トーア・スチール(株)仙台では高級化対応として線材圧延ライン4列の内2列を統合し、高級化ライン1列を新設した。ダイワスチール(株)水島では異形棒鋼D10圧延対応として、2スタンドを増設した。

鋼片関係では、トーア・スチール(株)仙台において、圧延用鋼片の表面きず検査を省力するとともに検査精度を向上させる目的で、自動きず検査装置が導入された。また、鍛造の関連では大同特殊鋼(株)知多において自動車用部品の

NNS（薄肉・複雑形状）化による機械加工の低減を目的として、温間での鍛造成形設備が設置された。

2.4 薄鋼板（表面処理鋼板を含む）

熱延工程は革新的プロセスの導入や品質向上・コストダウンを目的とした設備更新・改造が行われた。川崎製鉄(株)千葉では世界初のエンドレス圧延を目指して3HOT（仕上圧延前シートバー接合、全自動操業、高寸法精度・形状制御など）が完成した。新日本製鉄(株)君津では熱延仕上圧延機の全スタンドの主機ミルモーターを交流化し、スタンド間張力を安定させ板厚精度の向上が達成された。川崎製鉄(株)水島では仕上ミルにおいてマルチセンサ・協調制御などの高精度化技術と共に、幅プレス用軸受けにAE法による設備診断の新技術が取り入れられた。NKK福山では、大型の熱延加熱炉への全面採用としては初めて、1HOTにセラミックハニカム蓄熱体（日本ファーマス工業(株)と共同開発）を使用した蓄熱バーナが採用された。新日本製鉄(株)広畑ではクレーンの群制御システムの開発等により、出側コイルヤードの完全無人化を達成している。また、NKK京浜では光ジャイロセンサー使用によりショックレスクレーン制御技術が実現した。

冷延工程は東洋鋼板(株)下松にて2TM（完全連続化、1・2号スタンドの6段ミル化）の更新、2DRミル（25マイクロンまで圧延可能な2スタンド6段ミル）新設が行われた。新日本製鉄(株)光ではステンレス鋼板用の4CM（12段クラスター式）が稼働を開始した。川崎製鉄(株)千葉では1タンデムに形状誤認識防止を目的に、ニューラルネットによる形状制御が導入された。付帯設備では、新日本製鉄(株)名古屋にて無人搬送台車AGV等の採用により冷延コイル物流の効率化が図られた。

表面処理鋼板関係では、環境の厳しいなか、主要設備の新規稼働が行われる一方で、ラインの統廃合・休止が実施されている。溶融亜鉛めっきでは、新日本製鉄(株)名古屋にて1CGL（全ラジエントチューブ加熱炉、インダクションヒータによる合金化制御などを採用）が稼働開始した。塗装関係では東洋鋼板(株)下松にて、環境にやさしい「ポリエステルフィルムラミネート缶」の需要増大に対応するため、原板表面処理セクションも組み込み生産性を向上したNo.3ラミネートラインが稼働した。また、川崎製鉄(株)千葉では、連続焼鈍炉ハースロールの長寿命化を目的として、BN系サーメット溶射によるロール被膜技術が開発された。

薄鋼板全般に関する周辺技術としては、いずれも川崎製鉄(株)千葉にて、直流磁化の漏洩磁束法により薄鋼板の非金属介在物を検出する技術、白色光の鋼板表面での散乱反射輝度測定によるステンレス鋼板表面性状光学的測定装置の開発が行われた。

3 技術輸出・技術輸入

図2に鉄鋼業界の海外に対する技術貿易上の収支を日本政府統計（科学技術研究調査報告）により示す。平成5年度の輸出入対価受領額の超過差は、アジア向けの輸出増加に支えられて4年ぶりに大幅増加となり、前年比87%増の99億円となった。

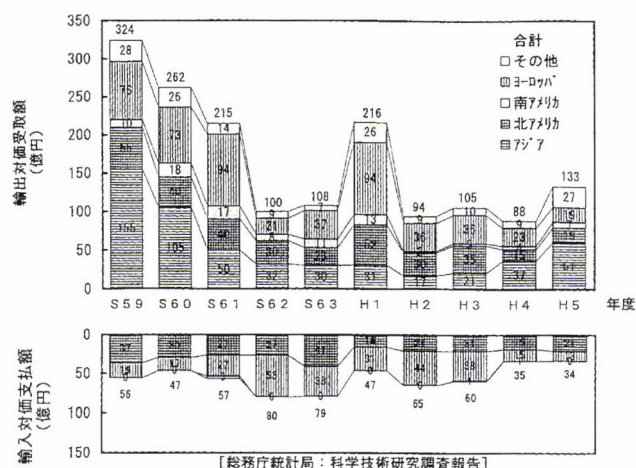


図2 鉄鋼業の技術貿易収支

表6 技術輸出状況
(期間：平成6年9月1日～平成7年7月31日)

		地域	東南アジア	東アジア	西アジア	北アメリカ	中・南アメリカ	ヨーロッパ	オセアニア	アフリカ	計
技術分野		地域	東南アジア	東アジア	西アジア	北アメリカ	中・南アメリカ	ヨーロッパ	オセアニア	アフリカ	計
A. 原料・製鉄	1・コークス				1			1			2
	2・原料処理			2	1		3	1	1		8
	3・高炉			2	1			4	2		9
	4・直接製鉄			1					1		2
	5・フェロアロイ、その他										
	6・付帯設備			1					1		2
B. 製鋼	1・溶鉄処理			1	1		2				4
	2・転炉			1	1		1	1	1		5
	3・電炉		1								1
	4・炉外精錬			1		1	1		1		4
	5・連鑄・造塊			5		6	1		1		13
	6・付帯設備		16			1		1	1		19
C. 加工・処理	1・条鋼・線材		1	1		1	3	1	2		9
	2・鋼管					1		2			3
	3・厚板		1	1					2		4
	4・薄板			4	1	2	1	1	2		11
	5・表面処理			1	1		1	8			11
	6・熱処理								1		1
	7・成形加工										
	8・溶接棒・加工部品										
	9・保全				1		1		1		3
D. 操業全般 (研究含む)				2							2
E. 製鉄所全般	1・フィジビリティスタディ							2			2
	2・製鉄所計画・設計		1								1
	3・総合的操業指導			2		3	2			1	8
	4・整備保全				1		1		1		3
	5・その他			1		2			2		5
合 計			20	26	9	17	17	22	20	1	132

調査範囲：協会維持会員会社 39社

表7 技術輸入状況
(期間：平成6年9月1日～平成7年7月31日) (件)

地域		東南 アジア	東 アジア	西 アジア	北 アメリカ	中・南 アメリカ	ヨーロッパ	オセアニア	アフリカ	計
技術分野										
A. 原料・ 製鉄	1・コークス									
	2・原料処理									
	3・高 炉									
	4・直接製鉄									
	5・フェロアロイ、その他									
	6・付帯設備									
B. 製鋼	1・溶銑処理									
	2・転 炉									
	3・電 炉						1			1
	4・炉外精錬									
	5・連鑄・造塊									
	6・付帯設備									
C. 加工・ 処理	1・条鋼・線材									
	2・鋼 管									
	3・厚 板				1					1
	4・薄 板									
	5・表面処理						1			1
	6・熱 処 理									
	7・成形加工									
	8・溶接棒・加工部品									
	9・保 全									
D. 操業全般(研究含む)										
E. 製鉄所 全般	1・フェーズリディスティ									
	2・製鉄所計画・設計									
	3・総合的操業指導									
	4・整備保全									
	5・その他									
合 計					1		2			3

調査範囲：協会維持会員会社 39社

最近1年間における技術貿易の内容について本会維持会員会社を対象に調査した結果を、表6および表7に示す。技術輸出は、132件と前年に比べて、12件増加した。その内訳をみると、北アメリカ、ヨーロッパの先進国向けが39件となり、前年より21件減少した。一方、アジアが55件、オセアニアが20件と、この地域で29件の大幅増加となった。

技術分野別の観点から見ると、統合的操業指導が前年より37件と大幅に減少したが、原料・製鉄、製鋼の上工程で前年より45件と大幅に増加した。特に、製鋼の付帯設備が前年より18件と大幅に増加している。

一方、技術輸入は3件で、昨年度6件、一昨年度4件とこの3年間はほぼ同じレベルで推移している。

4 鉄鋼業におけるエネルギー消費量

平成6年の粗鋼生産は9,829万tと低い水準にとどまったが、平成7年1～3月の大幅な回復により、平成6年度統計では粗鋼生産1億tを回復（1億137万t，前年度比4.4%増）した。これを反映して平成6年度の鉄鋼業のエネルギー消費量も増加し、石炭換算量では、前年度を2.6%上回る6,659万tと、4年ぶりの増加となる一方、粗鋼t当りのエネルギー原単位では、前年度から8万kcal/t減少して453万kcal/tと低下した。

エネルギー種別構成では、石炭系が77.9%（前年度78.4%）、石油系が7.1%（同6.9%）、購入電力系は15.1%（同14.7%）で、石炭系の比率がやや低下した。

石炭消費量は6,007万tと前年度に比べ1.2%増加した。高炉吹込み用微粉炭消費量は736万tと前年度の643万tから14.4%の大幅な増加となり、微粉炭比も98kg/tと前年度に比べ10kg/t上昇した。これにより、コークス比は411kg/tと前年度より16kg/t減少し、（微粉炭比＋コークス比）では前年度比6kg/t減少の509kg/tとなった。

石油消費量は361万kl（重油換算）で、鉄鋼生産の増加により前年度比4.4%の増加となったが、原単位では35.6l/tと前年度に横ばいであった。

電力消費量は前年度比3.25%増の637億kWhで、原単位は635kWh/tから628kWh/tへと前年度に引き続き低下した。

鉄鋼業のこれまでの省エネルギー対策による成果は極めて大きなものがあり、既存の省エネ技術による省エネルギーの余地は少なくなっている。今後一層の省エネ対策には、政策的な支援が強く望まれる。また、電気事業法の改正による入札制度の導入は、鉄鋼業の有する発電能力のポテンシャルを有効に生かす機会となることから、国民経済的観点からもその活用が期待される。

5 研究費支出

鉄鋼各社の研究開発は、下記の数字からうかがわれるように、昨年に引き続き厳しい状況になっている。

表8に総務庁の平成6年度科学技術研究調査報告の中の

表8 鉄鋼業の研究費支出

年度	社内使用研究費支出額 (100万円) A	研究本務者数 (人) B	売上高 (億円) C	従業員数 (人) D	A/C (%)	A/B (万円/人)	従業員1万人当たりの 研究本務者数 (人)
平成1	268,131	5,905	121,470	254,382	2.2	4,509	232
平成2	303,805	5,946	130,344	240,632	2.3	4,916	247
平成3	360,054	6,180	126,983	249,174	2.8	5,600	248
平成4	311,485	6,429	120,498	243,951	2.6	4,748	264
平成5	286,114	6,561	105,329	250,399	2.7	4,528	262
平成6	—	6,319	—	230,063	—	—	275

総務庁統計局：科学技術研究調査報告（平成6年）

鉄鋼業に関する基本数値を示した。

本統計によれば、社内使用研究費支出額は、平成5年度は、2,861.1億円で、前年度比8.1%の減少（平成4年度は、3,114.9億円で、同13.5%の減少）と更に減少が進んだ。その売上高に対する割合は、5年度2.7%（4年度 2.6%）と比率的にはほぼ同率を示したものの、研究本務者1人当りの社内使用研究費（給与を含む）は、5年度4,528万円と前年度（4,748万円）から更に4.6%減少した。

一方、従業員1万人当りの研究本務者数は、平成5年度275人と、前年度（262人）より見かけ上 5.0%の増加を示しているが、従業員の減少が進んでいる影響と考えられる。

これらのことから、研究投資については、昨年に引き続いて大変厳しい環境になっていることがうかがわれる。

また、5年度の社外支出研究費は、77.9億円（4年136.0億円）で42.7%もの大幅な減少となっている。社外支出の比率内訳は、国公立研究機関向け8.5%（4年度6.1%）、特殊法人向け6.1%（同2.3%）、民間向け78.7%（同62.6%）および外国向け6.7%（同29.1%）と外国向けが一転して大きく減少し、民間向けを中心に増加している。

6 日本鉄鋼協会における技術創出活動

日本鉄鋼協会では、平成7年度より学会、生産技術、総合企画の3部門体制がスタートし、鉄鋼生産技術に関する研究活動は生産技術部門に重点化した。本部門では、維持会員相互および学会部門との密接な連携のもとに、課題抽出とテーマ発進能力を向上させ、革新的な技術創出を目指している。

6.1 分野別部会（旧、共同研究会）

本部会では、鉄鋼生産に関する技術交流を主体とし、現場技術水準の向上を図るとともに、各分野において真にブレークスルーすべき技術課題の抽出、および研究実行を行っている。各部会の委員は鉄鋼企業の技術者、研究者および大学委員からなり、鉄鋼製造全般にわたる22部会の構成で活動を行っている。各部会の部会大会では、表9に示す共通テーマ・重点テーマを取りあげ活発な議論を展開した。平成7年度の部会大会参加者は3,200名にも達する見込みである。

また、各部会が自主的に運営する技術検討会として、平成7年度新規に13グループが発足し、従来からの活動を含めて38技術検討会が活動中である。新規発足の技術検討会テーマから主なものを挙げると、以下の通りである。

- ・ まっすぐ圧延技術（熱延鋼板部会）
- ・ 海外調達品の評価（冷延鋼板部会）
- ・ 連铸ロールの長寿命化技術（設備技術部会）

- ・ 鉄鋼製造プロセスにおける流動解析（熱経済技術部会）
- ・ 制御用ネットワーク技術（制御技術部会）
- ・ 厚板手動U T自動化技術（品質管理部会）
- ・ 超音波探傷用探触子技術（ 同上 ）
- ・ 鋼中酸素の発光分光分析技術（分析技術部会）
- ・ スクラップ利用に伴う鋼中微量元素の発光分光分析（ 同上 ）
- ・ 高含有域の新化学分析技術（ 同上 ）

表9 分野別部会の平成7年度活動状況

部会名	共通・重点テーマ
製 鉄	① 製鉄設備（原料、焼結、高炉）の長寿命化対策
コークス	① 配合技術および環境技術
製 鋼	① スラブ連铸における非定常部対策の現状と今後の方針 ② 二次精錬における機能拡大、簡略化・省略化の現状と今後の課題
電気炉	① 製鋼工場のトータルエネルギー管理について ② 各社チャンピオンデータとその解析
特殊鋼	① 特殊鋼CCの品質改善技術—自動車用鋼の表面疵 ② ステンレス板・帯製品の精錬による清浄度改善
厚 板	① ——— ② セン断、精製工程におけるコスト管理
熱延鋼板	① 省エネについて ② ———
冷 延	① 要員省力化 ② ———
表面処理鋼板	① 省エネ・省力・省コスト ② ———
大 形	① 生産管理について ② 生産性について
中小形	① ———
線 材	① 製造原価の解析とその低減対策
鋼 管	① 梱包の合理化について
圧延理論	① ——— ② 圧延関連の基礎技術開発
熱経済技術	① 燃焼炉の技術動向 ② 電気利用技術動向
耐火物	① 溶銑予備処理用耐火物、新規施工・機械化・自動化 ② 転炉用耐火物、補修技術・リサイクル
制御技術	① 「ライトサイジング化への対応」WG活動報告 ② 点検監視ロボットの調査、適用に関する提言
品質管理	① ISO9000Sに準拠した品質保証体制の効率的で効果的な維持管理 ② 異材検出技術 ③ 自動化・効率化
物 流	① ———
設備技術	① 銑鋼設備の耐腐食・耐摩耗延命技術 ② 熱間圧延における通板性維持の為の圧延機管理
分析技術	①② ———
情報管理	① ———

6.2 研究会

本会は、鉄鋼生産工程において重要な、特定の研究課題について、1研究会あたり1,000万円／年を上限とする研究費を活用して実施する産学共同の研究会で、基礎的研究を学

会部門に、応用的研究を生産技術部門に設置し活動している。現在活動中の研究会を表10に示すが、うち6研究会は平成7年度発足、7研究会は従来の特基研究会の継続である。

表10 研究会の活動状況

研究会名	所属部門	活動期間
ステンレス鋼の耐候性	生産技術	H4～7年度
鉄鋼スラグの基礎と応用	生産技術	H5～8
耐火物の組織評価	生産技術	H6～10
棒鋼・線材圧延三次元FEM解析システムの開発	生産技術	H7～10
冷間圧延における焼付き機構	生産技術	H7～10
多変数制御系のオンライン調整方法	生産技術	H7～10
循環性元素分離	学会	H3～7
超清浄鋼	学会	H5～9
鉄鋼の高強度化	学会	H4～8
高強度鋼の遅れ破壊	学会	H5～8
スクラップ起因不純物元素の鋼材への影響	学会	H5～8
電磁ノーベルプロセッシング	学会	H7～10
耐熱鋼・耐熱合金の高度強化	学会	H7～10

なお、平成7年度にて終了した研究会およびその活動成果は、以下の通りである。

(1) 鉄鋼の表面高機能化研究会

ステンレス、冷延各鋼板にTiNを被覆した共通サンプルを使用し、1)気相コーティング膜の構造・膜質特性を調査すると共に、2)膜欠陥検出法の提案と有効性の確認、3)膜構造・膜欠陥と耐食性の関係把握、4)膜欠陥制御による耐食性改善、5)耐食性以外の諸特性等を明らかにし、新しい表面改質法としての気相コーティング技術に関して多くの基礎的知見を得た。

(2) 高純度Fe-Cr合金研究会

フェライト系ステンレス鋼の材料特性と、微量添加元素との関係を明らかにするため、高純度Fe-Cr-X合金(X=Mo,Ti)の機械的性質、耐食性、物理的性質を体系的に調査した。また、水素雰囲気浮遊帯溶解炉により超高純度Fe-Cr合金を試作し、その機械的性質を明らかにした。

次に平成7年度に新規発足した研究会の研究計画内容を概括すると、以下の通りである。

(1) 超清浄鋼研究会

超清浄鋼の安定製造に必要な基礎的知見を得るべく、1)介在物生成・改質に関する物理化学的研究、2)介在物の凝集・除去法に関する研究、3)介在物の評価・センシングに関する研究を行う。

(2) 電磁ノーベルプロセッシング研究会

新たなステージに立った材料電磁プロセッシング技術の研究開発すべく、1)EPM利用による新精錬プロセスの研究、2)強磁場を利用した新技術の研究、3)国家プロジェクト関連の基盤研究を行う。

(3) 多変数制御系のオンライン調整方法研究会

多変数制御系の調整の難しさを解決する方策として、1)オンライン調整の立場から、ロバスト制御およびロバスト同定に関する理論体系の再解釈を行う。2)上記の成果の上になつて、プロセスデータに基づく制御パラメータの決定法を体系化し、それを操業現場で使い易い形でアルゴリズム化する。

(4) 耐熱鋼・耐熱合金の高強度化研究会

高クロムフェライト鋼において得られた成果(基底強度の向上や粒界析出相の形状制御による強度向上)を踏まえて、耐熱鋼の高強度化をはかる。更に、耐熱合金については、コンバインドサイクル発電における一方向凝固合金や単結晶合金の開発を意図して、 γ' 相のラフト化とクリープ抵抗との関連、 γ' 相によるラフト組織の相安定性等基礎的なテーマを研究する。

(5) 棒鋼・線材圧延三次元FEM解析システム研究会

1)ラウンドオーバーパス、2)オーバーラウンドの単一パスを対象として、被圧延材の幅広がり・減面率等の三次元塑性変形特性、および圧延荷重・圧延トルク等の負荷特性を精度良く解析し得る解析システムを、三次元FEMにより構築する。

(6) 冷間圧延における焼付き機構研究会

1)極薄鋼板のタンデムミル圧延、2)ステンレス鋼板のZミル圧延、3)ステンレス鋼板のタンデムミル圧延において、各々高速、高圧下率圧延でも焼付きを発生させないトライボロジー条件の解明を行う。

6.3 技術検討部会

本部会では、鉄鋼生産プロセスの各分野にまたがる分野横断的、または業際技術課題に対して、技術の方向と課題解決のための技術討議、調査活動を行っている。委員は、異分野あるいは異業種の技術者、研究者、大学人により構成され、現在表11に示す2技術検討部会が活動中である。

以上、生産技術部門を中心とした技術創出活動について概括したが、鉄鋼生産技術に関するより基礎的研究、次世代に向けた新シーズ発掘のための研究は学会部門で実施している。その中核は5つの専門分野別部会、ならびにその下部組織であるフォーラムであり、平成7年度より本格的活動を開始していることを付言しておく。

表11 技術検討部会の活動状況

部会名	活動期間
自動車用材料技術検討部会	H4～9年度
実用構造鋼の基礎特性技術検討部会	H6～9

7新製品

本協会維持会員会社各社が平成6年7月以降に発表した新製品を表12に示す。

本稿の起草にあたって格段のご協力を頂いた通産省基礎産業局製鉄課（鉄鋼業をめぐる諸情勢）、(社)日本鉄鋼連盟（各種統計資料）ならびに本会関係者の労に対し、深く感謝の意を表します。

表12 新商品一覧

区分	会社名	製品名	概 要	発表時期
条鋼・線材	新日本製鐵	高疲労強度ばね鋼	従来からのSi-Cr鋼にMo,V等を添加し、鋼中の非金属介在物を制御した高疲労強度鋼	H6.10
		1800, 2000MPa級橋梁用ワイヤー	Si-Crによるα強化と第2相分散状態制御、めっき前の加工歪みを導入した高強度ワイヤ	H6.
	川崎製鐵	TMCP極厚H形鋼 リバータフ325、355	超高層建築物柱材へ適用される極厚H形鋼をTMCP法により、溶接性、靱性を改善した鋼材	H7.7
		4条リブ付鉄筋コイル リバーコン4	加工精度、コンクリート付着性共、従来の2条リブより優れた省力型鉄筋加工の機械加工鉄筋コイル	H7.9
		引き抜き工程省略線材 伸線レス線材	従来の引き抜き→鍛造工程に対し、寸法精度向上により圧延のままで直接鍛造可能な省プロセス線材	H7.9
	神戸製鋼所	耐高面圧歯車用鋼	V添加と浸炭窒化処理により、耐ピッチング性を大幅に改善した高強度歯車用鋼	H7.3
	大同特殊鋼	精密磨棒鋼	コストダウンを狙い、同等の品質で引抜き・センターレスを1工程化した精密磨棒鋼	H6.11
日本金属	異形断面鋼	四方向ブロックミル方式で冷間成形することによって実現した、高品質の精密異形断面鋼	H6.12	
厚 板	新日本製鐵	造船用コンテナ船用SEG-ARC溶接用鋼	TiN-MnS系にて30mm 1パスのSEG-ARC溶接で-40℃での継手靱性を満足する溶接用鋼	H6.8
		建築構造用600MPa鋼 ビルテンHT440	建物の耐震性を確保するために不可欠な性能と590Nクラスの高強度を確保した鋼板	H6.
	住友金属工業	海洋構造物用高張力鋼板	石油掘削用TLPに適用された、溶接継手部CTOD保証厚肉高張力鋼板	H7.
		建築用高性能590N/mm ² 級高張力鋼板	超高層ビルの耐震性を考慮した、低YR高張力鋼板で、大入熱溶接と予熱無溶接が可能	H7.
熱 延	神戸製鋼所	軽量ホイール用780MPa級高張力鋼板	低C・高Mnの成分系にTi、Nbを複合添加したフェライト・ベイナイト型の高加工性鋼板	H6.11
冷 延	—	—	—	—
鋼 管	新日本製鐵	厚肉 高HAZ靱性耐サワー-X65鋼管	Ti脱酸Ca添加成分系にて耐サワー性と高HAZを両立させた鋼管	H6.
	NKK	チェッカースリーブ継手	プレキャスト鉄筋コンクリート部材の接合用として、安価、省力化、品質向上のできる継手	H6.12
		NT コラム	円形鋼管に鍛造リングダイアフラムを嵌め込んだ施工性に優れたコラム	H7.2
		鋼管コンクリート柱	角又は円形鋼管柱にコンクリートを充填した、耐震性に優れた柱	H7.4
		ねじ継手式地すべり抑止鋼管杭	鋼管杭の継手にねじを用い、施工性、工程短縮の可能な鋼管杭	H7.4
		NUコラム	厚鋼板をU形プレスし、所定の位置に内蔵ダイアフラムを取り付けた工程短縮できる鋼管	H7.5
	住友金属工業	HCM2S	高強度で溶接予後熱処理も不要な画期的ボイラ用鋼管材料。三菱重工業との共同開発材	H
		サーモPEL	外管としてPE管を採用し、施工性、経済性に優れた地域冷暖房用断熱鋼管	H7.6
	山陽特殊製鋼	非調質鋼鋼管	適正な成分と鋼管圧延条件の設定により焼入れ焼き戻し処理を省略した機械構造用鋼管	H6.11
	日本パイプ製造	ステンレス極薄肉鋼管	自動車エキゾーストパイプとして触媒の立上げを早め無公害化に貢献する鋼管	H6.9
粉末		アズロール精密電縫鋼管	引抜鋼管の代替となり材料コストが大幅に削減出来る内外径寸法が高精度の電縫鋼管	H6.12
		異形鋼管	色々な断面形状をもつ鋼管で部材設計の容易化及び製品の高品質化・個性化に貢献する	H7.3
粉 末	神戸製鋼所	偏平鉄粉 アトメル290PC-H	電子機器の小型化に対応し、透磁率を50%向上させた交流磁心材料用の偏平鉄粉	H6.12
	大同特殊鋼	クロム系耐食合金粉末 CP1	ニッケル系NP1と同様に、溶製材並の耐食性を備えた焼結合金粉末	H7.5
		チタンMIM製品	溶製材対比遜色ない純TiMIM製品。Niアレルギー対策として時計部品等に使用	H7.6
	クボタ	HIPロール	HIP焼結、接合による粉末ハイスロールで、耐肌荒性に優れ使用成績は鋳鉄系の5倍以上	H7.1
		加熱炉用スキッドボタン	1,300℃以上の高温操業に耐えるHIP法で作製したクロム基合金スキッドボタン	H7.1
		EGL HIP コンダクタロール	鋳造材に比べ高合金化を達成し、均一・微細組織をもつ高耐食・高耐磨耗に優れたロール	H7.

区分	会社名	製品名	概 要	発表時期
ステンレス鋼	新日本製鐵	建材用高強度マルテンサイト系ステンレス鋼 YUS550	SUS410をベースにMo,Niを添加した高強度・高耐錆性を有するマルテンサイト系ステンレス鋼線材	H6.
	住友金属工業	NAR-AH-4	SUS310Sよりも高温特性と溶接性に優れた耐熱オーステナイト系ステンレス鋼	H6.11
	東海鋼業	トーカイユースコート10および20	耐食性・加工性に優れたSUS304原板にシリコンポリエステル塗装した10年保証品およびフッ素塗装した20年保証品	H6.10
		トーカイカラーステンT-10およびT-20	加工性に優れたYUS436S原板にシリコンポリエステル塗装した10年保証品およびフッ素塗装した20年保証品	H6.10
		トーカイカラーステンAL-10およびAL-20	アルミめっきを施したYUS409D原板にシリコンポリエステル塗装した10年保証品およびフッ素塗装した20年保証品	H6.10
	日本製鋼所	核燃料再処理施設用ステンレス鍛鋼品	硝酸耐食性に優れ、かつ高酸化性硝酸環境下での加工フロー腐食を改善したSUS304ULC 鍛鋼品	H7.4
工具鋼	日本金属	ホットメルト接着剤付ステンレス鋼	ステンレス鋼帯とホットメルト型接着剤を積層した材料で各種樹脂製品との接着が容易	H6.12
	大同特殊鋼	精密鑄造ハイス ハイキャスト	特殊鑄造法により脱炭を抑え、高耐摩耗性と高靱性を実現した精密鑄造ハイス	H7.1
	山陽特殊製鋼	高耐摩耗・耐食用工具鋼 SPC5	粉末工法で製造され、SUS440C よりも非常に優れた耐摩耗性と耐食性を有する工具鋼	H7.5
	日本高周波鋼業	ハイコートブレナチップ	従来付刃バイトはロー付けバイトが使用されていた。これをスローアウェイタイプにした	H6.11
		プラスチック金型用鋼 KPM30 プラスチック金型用鋼 KAP,KAP2	被削性、溶接性、焼入性に優れたHRC30級の汎用プラスチック金型用鋼 鏡面性、放電加工性、溶接性に優れたHRC40級の汎用・精密プラスチック金型用鋼	H7.5 H7.5
その他 特殊鋼	川崎製鉄	リバーライトSX-1	Mo添加・極低C、Nフェライト系ステンレス鋼で、SUS304と同等の耐食性と深絞り性を持つ製品	H7.4
		リバーライト430UD	SUS304の欠点であるリッジング発生を防止し、かつ深絞り性をSUS304以上に向上させた製品	H7.4
		リバーライト24-2	P、Mo添加・極低C、Nフェライト系ステンレス鋼で、SUS316Jと同等の耐候性を持つ製品	H7.4
	大同特殊鋼	宇宙ロケット用マルエージング鋼 200和級薄板・厚板,150和級棒鋼	ロケットの大型化、軽量化に対応して従来の厚板マルエージング鋼製造技術を薄板、棒鋼に拡大	H7.7
		亜鉛めっき鋼板用溶接ワイヤ DS1Z	アロイデザインにより、溶接部分にできるビット・ブローホールを著しく減少させた亜鉛めっき鋼板用溶接ワイヤ	H6.7
	愛知製鋼	高強度高靱性ペイナイト鋼	自動車用足廻り部分を低コストで軽量化できる熱間鍛造用非調質鋼	H6.7
	三菱製鋼	軟窒化鋼 SCr425VS	迅速窒化性と窒化による疲労強度の増加割合が大きい非調質タイプの軟窒化鋼	H6.11
		スーパーVツース	建築機械バケット用の2体型ツースの嵌合面をヘリカル方式にし疲労強度を大幅に向上	H7.6
		陸上ガスタービン用DS製超合金ブレード	一方向性凝固(DS)方式による、耐クリープ性能の高いNi基超合金製陸上用大型ブレード	H7.7
	日本製鋼所	超大型油圧シリンダ	世界最大級の油圧式浚渫船200m ³ グラブバケットを昇降させる省エネ、大型油圧シリンダ	H6.11
表面処理	日本鉄鋼	FR鋼鑄鍛鋼	600℃で室温耐力の2/3以上の耐力を有する建築構造用大型のFR(耐火)鋼鑄鍛鋼品	H7.6
	新日本製鐵	無研磨溶接用素材 キャンエクセル	ティンフリースチールの優れた品質特性を有し、無研磨で溶接可能な缶用素材	H7.4
		極厚目付亜鉛めっき鋼板 (Z-90)	片面450g/m ² 以上のCGL法による極厚目付溶融亜鉛めっき鋼板	H7.11
	NKK	断熱折板屋根	カラー亜鉛鉄板の裏面に、ロックウール、アルミガラスウールを貼った折板屋根	H6.9
	神戸製鋼所	長期保証カラー亜鉛鉄板 コーベカラーF	耐食性・耐候性に優れたフッ素樹脂塗装を施した長期保証建材用塗装鋼板	H6.11
	日新製鋼	アルスターステンレス	ステンレス鋼板に溶融アルミニウムめっきを施した、耐候性、耐食性に優れた製品	H6.7
	東洋鋼板	高機能性鋼板 シルバートップII	特殊樹脂無機系後処理により耐摩耗性、潤滑性、電導性に優れた光沢複合亜鉛めっき鋼板	H7.1
		ニッケルトップS処理材	乾電池性能向上のため電池ケース内面側相当部のみをニッケル-銅合金化した鋼板	H7.4
	大同特殊鋼	精密鑄造チタンゴルフヘッド	レベテション溶解法と減圧吸引鑄造法を組合せて、非汚染チタンをNNS鑄造	H6.10
その他	クボタ	3連マルチシールド用セグメント(鑄造品)	3連円形状のトンネルを同時に掘削・構築する新工法に適用するために開発した覆工材	H7.6
		セラミックガイドローラ	高硬度、耐熱性に加え、赤熱状態の鋼材との耐焼付性において優れた特性を有している	H7.
	日本製鋼所	曲率の大きい鋼床版箱桁橋	複雑な鋼橋にCAD/CAMシステムを適用し、原寸処理による生産性、精度向上鋼床版曲線箱桁橋	H6.10
	日本パイプ製造	電線管付属品 NPブロック	屋上配管工事用の電線管固定台で設置即配管でき、大幅工期短縮となる	H6.11
		電線管付属品 NPクリップ	締め付けビスをクランプにセットしたままで取り付け作業のできる省力化クリップ	H7.4



浮体式海上空港の実現を目指して

岡村秀夫
Hideo Okamura

メガフロート技術研究組合 第2研究部長

Activities for the Realization of Floating Airport

1 はじめに

長距離輸送交通機関として航空機の役割が増し、空港の整備が緊急の課題となり、成田空港、関西空港等の国際空港および地方空港が建設されてきた。しかし、新たに大都市近郊に大規模空港を建設することは、土地の確保が困難であり、さらに騒音公害を避けて24時間運用可能で、しかも背後の大都市とのアクセスが良好となる立地条件を満たすことは不可能となっている。そのため、内外を問わず、沿海岸域や沖合海域を活用した海上空港が計画されている。一般的に、今後、空港を計画する場合に留意すべき条件は次の通りである。

- (1) 空港周辺環境保全に優れ、地域住民の理解が得られること。
- (2) 空港利用者に便利であること。
- (3) 安全性、信頼性の高い空港施設であること。
- (4) 経済性に優れ、工期短縮が可能であること。
- (5) 将来の航空機の動向にも対処出来る空港機能を有すること。

海上空港の建設は、現状では、埋立または干拓工法によって建設されており、例外的に米国のラガーディア空港の拡張部に鋼管栈橋工法が採用されているが、環境問題や設置海域の大水深化により、浮体式海上空港が注目されている。

以下に、大型浮体構造物の事業化を目指して活動しているマリンフロート推進機構及び超大型浮体モデル実証実験を進めているメガフロート技術研究組合の活動を中心に浮体式海上空港の実現化への展望を述べる。

2 浮体式海上空港の構想の歴史

1903年にライト兄弟が初飛行に成功し、リンドバーグが大西洋を横断したのが1927年である。浮体式海上空港の最初の構想は、1924年にArmstrongが発表した大西洋横断飛行の中継基地として計画されたセミサブ形式の浮体式空港(SEADROME計画)¹⁾(図1)である。その規模は、長さ

1370フィート、幅350フィートで飛行甲板下に倉庫、機械工場、居住施設、気象観測施設を備えている。その後、数々の海上空港構想が発表されているが、代表的な構想例としては、米国連邦航空局(FAA)が1973年に公表したニューヨーク港沖合に浮体式空港計画²⁾(図2)がある。この構想は、ニューヨークの都心から20マイル(沖合5マイルの海域)に本格的な浮体式海上空港計画である。その構造は、エプロンの下部に2層のターミナルフロアを有するポンツーン形式が提案されている。

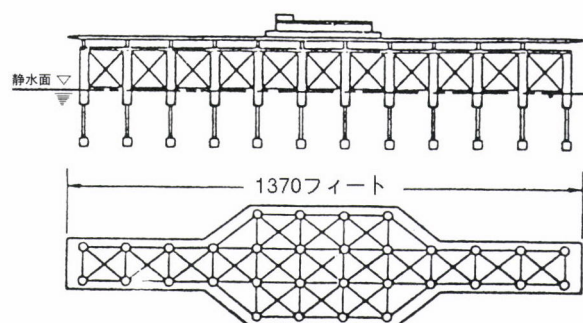


図1 THE FIRST ARMSTRONG SEADROME計画(作成: Armstrong)

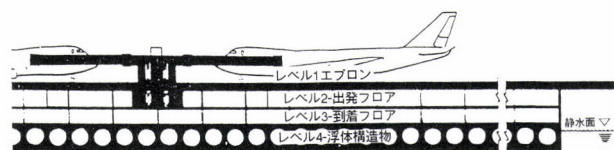


図2 ニューヨーク沖合浮体式空港構想(作成: 米国連邦航空局)

我が国では、1972年に(社)鋼材倶楽部・海上空港研究会から「海上空港のための海洋スペース」が発表され、1977年に関西国際空港Ⅰ期工事に日本造船工業会から、鋼製箱形本体を多数の円筒浮体によって支えるセミサブ構造³⁾(図3)が提案された。また、1979年には日本鋼構造協会/浮体式海上空港特別委員会から「浮体構造による海上空港試案」が発表されている。

洋上に建設された空港を海上空港と定義するならば、世界初の海上空港として1975年に長崎空港が実現し、まだ記憶に新しい関西国際空港が94年9月に開港している。さら

に、海外においても1997年の開港を目指して、香港では新空港を埋立方式の海上空港で建設中である。これらの空港の計画段階では、浮体式構造も比較検討されたが最終的には埋立方式が採用された。しかし、埋立方式の問題点も明確になってきており、経済性、環境保全等の理由から浮体式構造が有利になる場合もあると考えられる。

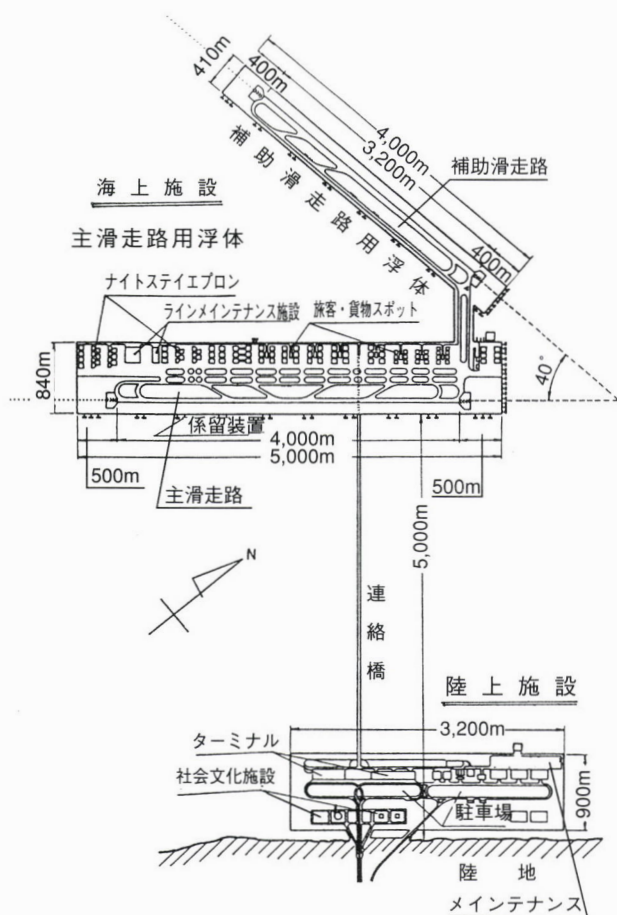


図3 関西国際空港配置図及び断面図（作成：日本造船工業会）

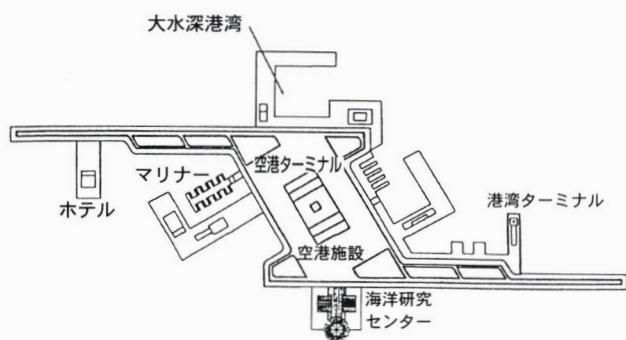


図4 Multi-mode Transportation Center構想
（作成：Howard L. Blood and A. Innis）

自然条件がより厳しくなる関西国際空港のⅡ期工事及び首都圏新空港計画に対し、再び浮体式構造の提案が積極的になされている。また、最近米国で多数の浮体式空港の構想が発表されている。一例として、Howard L. Blood and Donald A. Innisが発表したSan Diego's FLOATPORTの構想⁴⁾（図4）は、下端を開放した直径20フィート高さ40フ

ートのシリンダーを25個結合したモジュールを接合して基盤とするユニークな構造を用いた多目的交通センターである。

3 浮体式海上空港の計画

3.1 浮体式海上空港の立地

浮体式海上空港は、大都市周辺の沿岸海域に設置することが可能であり、比較的騒音等の公害を軽減出来ること、埋立土砂による自然破壊が少ないことなどの長所を有している。しかし、海上に浮遊した構造物のため、波浪、潮流、風、水圧、軟弱地盤等の諸条件を考慮して適切な計画・設計が重要となる。浮体構造は、密閉した浮体を水面に浮かべ、構造物の重量と浮力をバランスさせ、係留施設を介して海底地盤に固着させる方式である。そのため、陸域の構造物に比較して留意すべき項目として、設置地点の自然条件を考慮して浮体上に搭載した施設に適合した構造設計・施工法を選定、海洋環境に対応した耐久性の確保、海中環境への影響への配慮などが重要である。スペース的には浮体表面の利用と内部空間の有効利用が可能であり、この特長を生かした用途計画が考えられる。

表1 適用法令一覧

開発行為に 関連する 法制度	設置事業等関連	港湾法
		漁港法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	環境保全関連	海岸法
		環境基本法
施設の構造・防災 安全に 関連する 法制度	一般	自然環境保全法
		自然公園法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	漁業関連	海洋汚染防止法及び海上災害の防 止に関する法律
		水質汚濁防止法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	海域利用 関連	国有財産法
		国土利用計画法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	海運関連	国土総合開発法
		公有水面埋立法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	陸的用途 関連	漁港法
		漁業法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	陸的用途 関連	海洋水産資源開発促進法
		水産資源保護法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	陸的用途 関連	港湾法
		港則法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	陸的用途 関連	海上交通安全法
		海上衝突予防法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	陸的用途 関連	航路標識法
		都市計画法
利用・用途 形態に 関連する 法制度	陸的用途 関連	国際民間航空条約（ICAO）
		航空法・同施行規則
利用・用途 形態に 関連する 法制度	陸的用途 関連	港湾法・同施行令
		船舶安全法・同施行規則
利用・用途 形態に 関連する 法制度	陸的用途 関連	建築基準法・海洋構造物の安全 評価指針
		消防法

浮体式海上空港の基盤施設を計画する際には、滑走路・誘導路・エプロン等の基本施設、空港管理施設、旅客ターミナル施設、貨物取扱施設等の建築物、道路・鉄道等の利便施設、その他の保安・保守施設を考慮する。計画・設計には、国際民間航空条約14付属書飛行場（ICAO）、航空法・航空法施行規則、空港土木施設設計基準等に準じて行う。浮体式海上空港は、実績がないため浮体特有の潮位差、動揺に対する明確な記載はないが、基本的には陸域の空港機能と同一の安全性、信頼性を確保することを前提に進めることになる。

立地計画に当たっては、設置海域が船舶の航行または停泊などの周辺の水域の利用状況を考慮するとともに、漁業

関連の利用状況も十分考慮して、なるべくこれらの活動に支障を来さないことが肝要となる。

浮体式海上空港の建設には、空港機能面の法規制とともに、これまでの水域の使用と同様の法律が適用される。設置海域が港湾区域であれば港湾法の、漁港区域であれば漁港法の、海岸保全区域であれば海岸法の適用をそれぞれ受けることになり、漁業権が水域に設定されている場合には漁業法の適用を受けることになる。

浮体式海上空港施設の設置行為関連、空港運用及び構造・防災・安全に適用されると考えられる主要法令を表1に示す。

3.2 浮体式海上空港の機能

浮体式海上空港は、航空母艦の技術を応用して可能であると言われるが、目的が根本的に異なること、安全性と経済性の考え方に大きな差があることから全く異質のものとするべきである。空港に要求される機能は多々あるが、陸上空港に比較して、浮体式海上空港の場合に問題となりそうな主要施設について述べる。

(1)滑走路は、航空機の離着陸する主要施設であり、その適用基準・規則は、ICAO及び航空法施工規則である。滑走路の規格は、最もシビアな縦断勾配は0.8%、勾配変化点における縦断曲線の最小曲率半径は30,000mと定められており、平坦性が重要である。浮体式海上空港の場合、平坦性は問題ないが、鋼床版上の舗装について新たに設定する必要がある。

(2)誘導路は、滑走路と同様に最大縦断勾配は1.5%、最小曲率半径は3,000m以上と規定されている。浮体式海上空港では、固定構造物との連絡誘導路の設計に考慮しなければならない。

(3)航空保安施設には、航空灯火と航空保安無線施設がある。浮体式海上空港の場合に、検討対象となるのは航空灯火の進入灯とPAPI（進入角指示灯）であり、浮体移動に伴うズレ、潮汐変化による浮体端での上下変化が懸念される。PAPIについては±1分以内と規定されており、航空機の着陸衝撃による振動がもたらす変化により生じる後続機への影響を検討する必要がある。航空保安無線施設であるILS（計器着陸装置）は、進入方向（ローカライザ）と降下経路（グライドパス）を示す2種類の指向性誘導電波を発射しているが、無線施設が浮体本体上に設置されるため方向のズレは無く対応可能と考えられる。無線関連施設全般については、各種の構築物での電波の反射、障害物の有無の検討が必要であり、浮体表面による空港監視レーダー等への影響についても検討が必要である。

(4)交通施設は、膨大な旅客と貨物を円滑に輸送するために、鉄道、道路、海上アクセスの整備が重要である。浮

体式の場合、固定部分との接合部で、潮差による上下運動、温度差による前後左右への移動を吸収する機構が必要であり、信頼性の高い機構の開発が望まれる。

(5)空港の大規模建築物は、旅客ターミナルビル、貨物ターミナル、航空機格納庫、動力施設、水処理施設などがある。上載建築物は、浮体基盤と同時期に建造出来ない場合もあり、増築等に対処出来る構造システムを考案しなければならない。建築物の荷重が大きい場合には、荷重分散や吃水の変化を予め考慮して設計をしなければならない。

4 浮体式海上空港コンセプト⁵⁾

4.1 基本コンセプト

基本コンセプトは、設置海域を湾内と想定し、浮体の周囲に防波堤を設置して波浪の影響を低減するものとし、経済性と技術的信頼性を確保出来るポンツーン形式の浮体構造とする。

基本コンセプトの特長は、以下の通りである。

- (1)周囲を防波堤で囲み、静穏海域に浮体を設置して波浪の影響を低減する。
- (2)浮体本体は鋼製ポンツーン構造とし、その係留はドルフィンによる多点係留方式とする。
- (3)100年以上の耐久性を確保するため、スプラッシュゾーンにはチタン被覆を、水中部は電気防食を施す。
- (4)浮体構造の下方は潮流を通過させて、海中環境の悪化を防ぎ、水産資源の場として活用する。

空港の規模は、滑走路延長4,000m級、面積約500ha（長さ5,000m×幅1,000m）とする。

浮体式海上空港の基盤施設の設計は、以下の主要基準に準拠する。

- 国際民間航空機構（ICAO）の基準及び勧告
- 空港土木施設設計基準；運輸省航空局 監修
- 空港土木工事共通仕様書；運輸省航空局 監修
- 空港アスファルト舗装構造設計要覧；運輸省航空局 監修
- 港湾の施設の技術上の基準・同解説；（社）日本港湾協会
- 浮体構造物技術マニュアル；（財）沿岸開発技術研究センター
- 海洋建築物構造設計指針（浮遊式）・同解説；（財）日本建築センター
- 鋼船規則集；（財）日本海事協会

4.2 外周防波堤・係留施設

外周防波堤は、浮体式空港の計画共用年数100年を再現確率として推定される波浪に対して、浮体構造物が安全である静穏性を保てるように設計する。内部の制限波高は、共用時（常時）50cm、（台風時）100cm、施工時（台風時は避難）50cmと想定する。

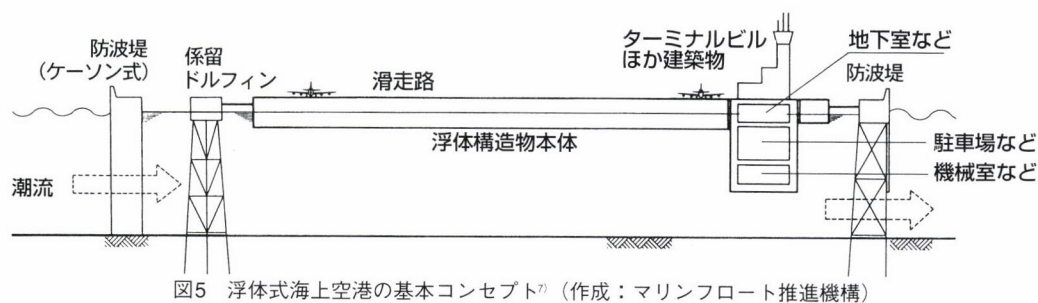


図5 浮体式海上空港の基本コンセプト⁷⁾ (作成：マリンスフロート推進機構)

防波堤の波高伝達率は、0.2を設定し、周囲の航路、泊地などに有害な影響を与えないように消波機能を考慮する。防波堤で囲まれた内部水域の水質保全のために、海水透過構造の防波堤として外海との海水交換を図る。海水交換率をより高めるには、防波堤の平面配置で開口部を設けることが効果的である。

水深20m級の軟弱地盤の海域で大規模な浮体を係留する場合を想定すると、ドルフィン方式が最適工法と考えられる。本工法は、現状の技術で対応可能と考えられるが、超大型浮体構造物を係留する場合の留意点は以下の通りである。

(1)浮体の温度変化による伸縮が大きく、浮体両舷側で2列に配置するよりは、片舷側に1列で配置する方が良いと思われる。そのため圧縮・引張り両方向に抵抗できる最適係留機構

(2)多数のドルフィンが分散配置された場合の全体係留システムの安全性、信頼性評価方法

(3)係留システムの維持管理技術

4.3 浮体構造

基本的な浮体構造の解析・設計には、大型船に適用されている手法を基本にして、大型タンカーの一般的な構造である図6に示すロングシステムを適用する。

滑走路等の基本施設の設計に用いる航空機荷重は、表2の通りである。

現時点での滑走路に作用する航空機の実荷重は、B747-400の場合以下になる

○離陸時395tf

輪荷重 (18輪均等) $395 \div 18 = 22 \text{tf/輪}$

○着陸時 $286\text{t} \times 1.35 = 386\text{tf}$ (1.35は衝撃係数)

輪荷重（メインギア16輪均等） $386 \div 16 = 24.1 \text{tf/輪}$

航空機の離着陸の繰り返し荷重による疲労に対しては、十分な強度を有するように設計する。耐用期間を100年とすると、離着陸回数は最大1,600万回程度と想定される。また、負荷荷重は、将来の就航予定の代表的な航空機の比率を想定して、荷重と頻度を定める必要があろう。

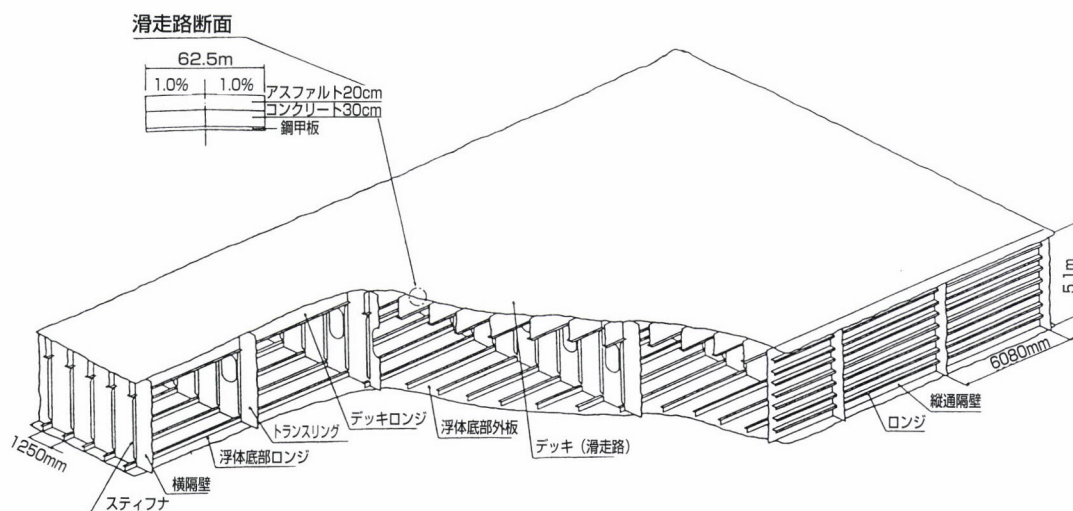


図6 浮体構造形式のイメージ図（作成：マリンフロート推進機構）

表2 航空機荷重

荷重区分	対象機材	航空機荷重
L A-0	将来想定される最大航空機	420tf (B-800人乗り)、500tf ^(注)
L A-1	B-747、DC-10、L-1011	395tf (B-747-400)
L A-2	A-300、B-767	151tf (A-300 B-4)

(注) LA-0に区分される航空機は、現存しないことから次期超大型ジャンボ（800人乗り）と運輸省船舶技術研究所の浮体式海上空港の評価に採用された次世代大型機の荷重を記載した。現行の規定では、地下構造物については、対象航空機荷重より大きい活荷重680ftで設計されている。

基本構造形式は、ロンジシステムであり、図 6 に示すように縦通隔壁と横隔壁を配置するとともに、横方向には約 6.0m ピッチでトランスリングを配置する。

超大型浮体構造物の設計技術は、最近、研究が進んでいるが、以下のような技術課題がある。

(1) 超大型浮体構造物に作用する風荷重（風圧力）に関しては、平面的な不均一性と摩擦抗力は非常に大きくなるため、摩擦抗力を的確に評価する技術が課題である。

(2) 超大型浮体構造物に作用する地震荷重に関しては、海底の地震動が海水中に伝わり、海上に浮かぶ構造物に起こす衝撃的な振動となる海震の解明が課題である。神戸淡路大震災の浮体構造物の健全性から、海水又は係留施設を経ることにより、地震の衝撃を緩和すると考えられるが、浮体式構造物が海震に遭遇する確率・考慮すべき海震力についての的確に評価する技術の確立が要望される。

(3) 超大型浮体構造物の設計に関しては、使用条件に即した最適構造様式選定及び経済性評価方法、超大型浮体構造で顕著に現れる弾性挙動を考慮した動的応答計算法、日射影響による熱流応答計算法、設計疲労寿命の推定方法、災害予測および被災度評価基準の確立などの課題がある。

4.4 製作・施工

既存の大型タンカーや海洋構造物の製作技術により基本的に対応可能と考えられる。浮体式海上空港の基盤となる構造物は、ある大きさの浮体ユニットに分割して製作し、設置する現場で接合し一体の構造物とする。この方式で建造を行えば、多数の場所で同時にユニットの製作を行う事が出来、建造期間を短縮する事が容易になる。浮体ユニットの大きさは、製造設備の制約と効率的な運用を考え、多くの建造実績のある大型タンカー並の寸法（長さ300m、幅60m）を基本とする。建造設備としては、造船用ドックでの建造と仮設のドライドック方式があり、これらの浮体ユニットの建造が可能な既存の大型ドックは、国内に19基ある。仮設ドライドック方式は、既設運河や海上埋立地を利用して設けた仮設のドライドックで建造するもので、沈埋函の製作で多くの実績がある。この方式により、現在の日本国内の能力で500haの浮体式海上空港の構造物を3～4年間で建造することが可能である。

輸送には、各地の造船所で製作されたブロックを総組立する大型ドックや陸上ヤードへの輸送と、総組立を完了した浮体ユニットを空港建設現場への輸送がある。300m×60mの基本ユニット輸送は、ユニットを自身の浮力で浮かせて直接曳航するウェット方式と半潜水式の自航式デッキパージに搭載して輸送するドライ方式がある。浮体ユニットの現地への搬入は、現地接合作業の進捗に合わせてタイムリーに行う。工程遅れを少なくするために、ある程度の

数の浮体ユニットを現地で仮係留する。

現地接合作業は、輸送されてきた浮体ユニットを既に接合済みのユニット側に引寄せ、固着、接合を繰り返して超大型浮体構造物を構築していく作業である。接合順序は、防波堤の遮蔽効果を利用して、波下側の施工に移るよう接合計画を立てる。引寄せ作業は、仮係留点から曳航されたユニットを接合位置へ誘導する作業であり、一次引寄せと二次引寄せの二段階で行う。浮体ユニットの接合は、突合せ溶接が主となり、溶接線が平面上あるいは立体的に十文字に交差する継手構造となる。接合工事では、自動溶接を可能な限り取り入れて、溶接性能の安定化と施工能率の向上を図る。しかし、海上で動揺している状態での施工であり、高品質で能率の良い溶接方法についての検討が必要である。特に、箱形浮体構造物の場合、通常底板部分は水中に没しており、水中の接合作業が必要になる。

4.5 超長期防食

浮体式海上空港では、過酷な海洋環境下で、超長期間のメンテナンスフリーを目指した防食システムの採用が必要である。浮体式空港の期待耐用年数を100年以上とし、経済性を考慮して、十分な維持管理を前提とした防食システムの確立が必要である。特に、飛沫帯、干満帯の超長期防食システムは、東京湾横断道路の橋脚に採用されている防食法の適用可能と考えられる。その防食法は、理論的には海洋環境でも錆びる恐れのないチタンクラッド鋼板を構造材の表面にライニングする方法である。浮体構造側面には、重要度、構造材との一体性、施工性などを考慮し、チタンクラッド鋼板のライニング（図 7）が適用可能である。海中部の防食システムには、石油掘削リグや各種海洋構造物で実績が多く、防食効果が確実な犠牲陽極による電気防食法を適用する。重防食塗装と電気防食の併用とメンテナンスを充分行うことにより、100年間の耐用の設計が可能である。

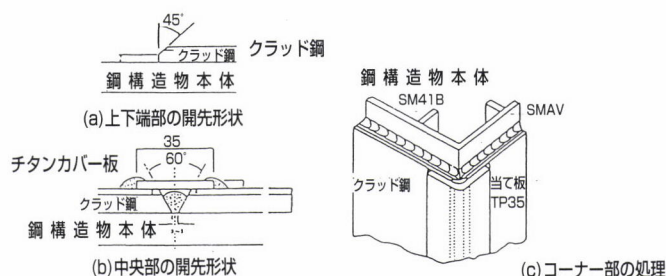


図 7 チタンクラッド鋼による浮体側面ライニング法
(作成：新日本製鐵（株）)

4.6 環境影響

浮体構造物は、埋立に比較して環境への影響が小さいと評価されているが、超大型浮体構造物の場合には規模による影響の程度を立証する必要がある。

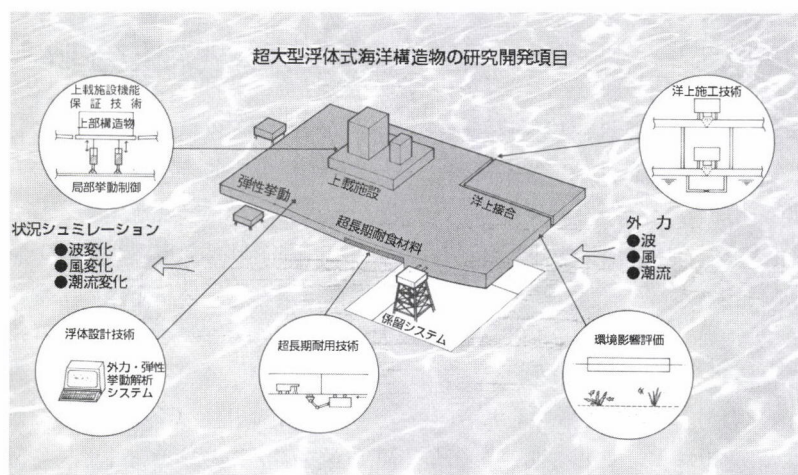


図8 超大型浮体式海洋構造物の研究開発イメージ図（作成：メガフロート技術研究組合）

浮体構造物の一般的な環境影響評価を列挙すると以下の通りである。

- (1)埋立と比較すると海域が消滅しない。
- (2)施工時に海底を乱すことが少なく、海域汚染が小さい。
- (3)浮体下面の海水の交換が可能であり、海中空間の積極的な活用が期待される。
- (4)銅製魚礁や栈橋等が集魚効果があることは知られており、外周防波堤との相乗効果により、海水浄化や稚魚の育成などに有効と考えられる。

しかし、浮体構造物の環境影響評価を実施するための技術指針は、整備されていない状況である。特に、超大型浮体構造物に関しては、実績がないことから、実証面と理論面の両面から、定量的な検討をすることが必要である。浮体の設置により、構造物の下面に水中照度に変化が生じることになり、植物プランクトン等の生産量の変化と魚類の棲息環境が変化して、適性魚類と交替することも考えられる。構造物下部の海水交換が比較的短期間に可能であれば

水質変化も少なく魚類生産への影響も軽微になると推察される。今後、生態系に及ぼす影響評価を理論面からの検討と並行して実海域での検証が必要であろう。

5 メガフロート技術研究組合の超大型
浮体モデル実海域実証実験⁶⁾

5.1 実証実験目的

運輸大臣の諮問機関である運輸技術審議会の答申で重要課題の一つとして大型浮体構造物が取り上げられているが、これを踏まえて、鉄鋼および造船業界から17社が参加して、超大型浮体式海洋構造物の実証実験を行う「メガフロート技術研究組合」が4月に発足した。1995年度から3ヶ年計画で大規模な浮体モデルによる実証的研究を推進して、超大型浮体構造物の技術的課題の解決を図る予定である。本研究の最終ターゲットは、数km規模の100年耐用の超扁平浮体構造物を実用化することであり、図8に示す5つの研究項目について研究開発を進めている。

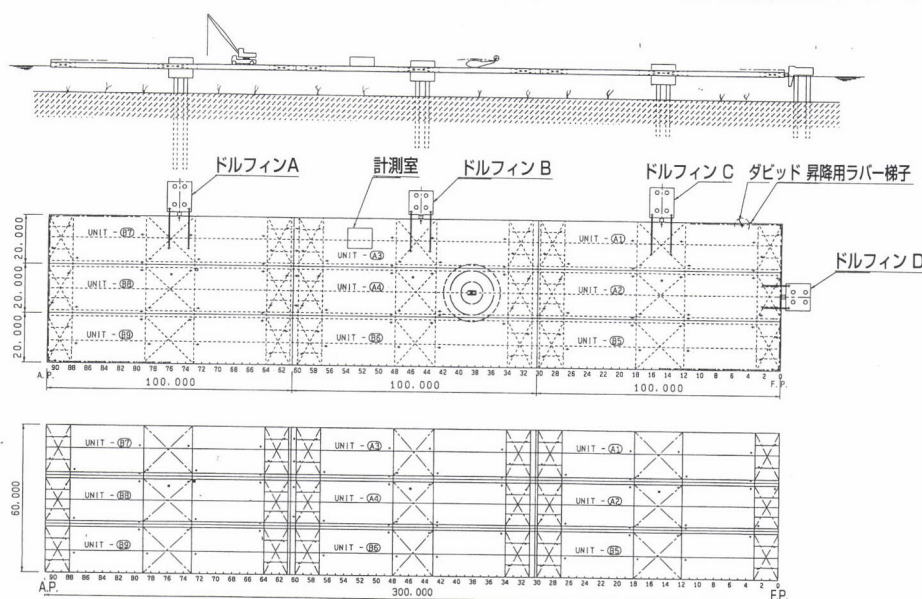


図9 実証実験モデルの一般配置図（作成：メガフロート技術研究組合）

各研究項目の概要を以下に説明する。

(1) 浮体設計技術の研究

超大型浮体式構造物は、面積に比べて構造物の厚さが極端に薄いため、浮体の挙動、構造解析、係留力、耐震性、信頼性評価等の検討に弾性応答解析の整備が必要である。初年度に解析手法の整備を行い、その研究成果を平成8年度以降に実証モデルを用いて検証する。

(2) 洋上施工技術の研究

洋上での大型ユニットの接合技術を確立するため、ユニットの引寄せ・固着技術および現場溶接接合技術、水中溶接技術を開発し、実証モデルの製作施工によって実証し、製作施工技術の確立を図る。

(3) 超長期耐用技術の研究

100年耐用を目指して、新素材の適用や点検・補修システムを研究開発し、実証モデルで検証する

(4) 上載施設機能保証システムの研究

基本的には陸上に設置される場合と同等の機能を発揮させるために、浮体側に挙動、振動等の制御技術を駆使し、上載機能を保証する人工地盤とする技術を研究して実証実験で検証する。

(5) 環境影響評価技術の研究

超大型浮体構造物の周辺の流況変化および生態系への影響について予測する技術を研究開発する。実海域での各種の調査・計測を行って実証的な研究を実施する。

5.2 実証実験計画

(1) 全体計画

1995年度から3年間に、大型浮体実証モデルの製作・設置および設計等の5分野の基礎研究、プログラムの開発を実施する。初年度は、水槽実験によるユニットの洋上接合荷重計測、引寄せ・固着技術の予備実験および接合方法の要素実験を経て、ユニットの建造および係留施設を設置し、ユニット4基による第1次実海域接合実験を実施する。平成8年度は、初年度の実績を踏まえ、更にユニット5基を追加して最終形状の300m×60mの全体モデルを完成させる。全体モデルを用いてプログラムの検証と改良を行うと共に、各種の技術の確立を図る。最終年度は、上載機能保証システムの検証、環境影響評価方法の検証など大型実証モデルを用いた総合的な検証実験を実施する予定である。

(2) 実証実験モデル

実証実験モデルは、図9の一般配置図に示すように超薄型箱形浮体であり、設置位置は、横須賀市夏島町19番地先の住友重機械工業(株)追浜造船所東艀装岸壁先である。8月末からドルフィン設置工事が現地で開始され、10月初に4基のユニットが完成、11月から洋上接合実験を開始する予定で進められている。

6 浮体式海上空港の実現化を目指して

6.1 最近の国内の動き

自然海岸の喪失や騒音等の公害問題から、陸域の生活空間から数kmの距離を隔てた、20m以深の大水深海域での空間利用の要請が高まってきており、経済性に富み、施工性、耐震性に優れた浮体構造物の実現が期待されている。このような背景のもとに、1990年7月に、日本の代表的な企業114社が会員となり、マリンフロート推進機構が設立された。その目的は大規模浮体構造物を設置するプロジェクトの創出である。活動の一環として、空港技術委員会を中心に浮体式海上空港計画が検討され、首都圏新空港や関西国際空港二期工事を対象に、空港機能保証、建設コストの低減、工期の短縮、安全性の確保、100年耐用等の問題点を研究されてきた。その成果として、新しい浮体式海上空港コンセプトが提案されており、特に首都圏新空港(図10)、関西国際空港二期工事(図11)の技術検討が実施されている。同時に、造船学会、土木学会等の海洋関連学協会においても超大型浮体構造物の研究が進められるようになり、1994年から文部省の総合研究としてメガフローティング研究が実

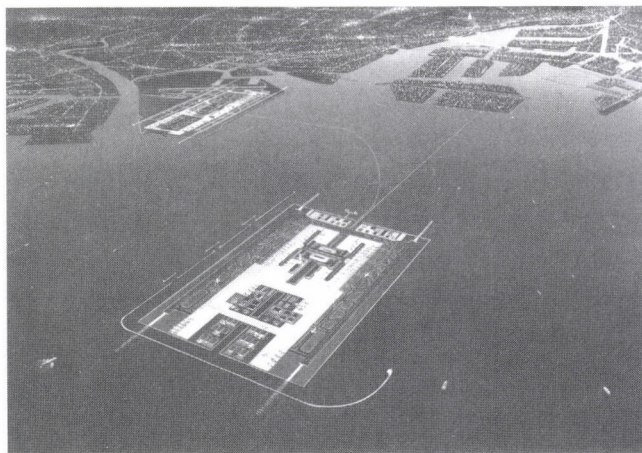


図10 首都圏新空港のイメージパース
(作成：マリンフロート推進機構)



図11 関西国際空港2期工事のイメージパース
(作成：マリンフロート推進機構)

施されている。大学や国立研究機関による基礎的研究が進められているが、一方、大型石油備蓄船等や各種の浮体構造物の実績により蓄積されてきた技術をベースにして、さらに空港のような超大型浮体構造物を実現するには、洋上接合実験を含む大規模実証実験が必要であると指摘されてきた。

運輸省は、超大型浮体式海洋構造物の研究開発を推進することを決定し、その実施主体として、1995年4月に鉱工業技術研究組合法に基づき、メガフロート技術研究組合が設立された。このメガフロート技術研究組合が3カ年で実施する大型実証実験によって、超大型浮体に関する技術課題の大半が解決される見込みである。その成果が、実績として広く認められ、浮体式海上空港の実現に向けて大きな一歩となることが期待されている。

また、運輸省は第7次空港整備5ヶ年計画において、関西国際空港2期工事、中部国際空港の着工の他、2000年までに首都圏第3空港に事業費2000億円を決定し、今後5年間で浮体式海上空港を審議対象とすると報道されている。さらに、首都圏新空港の実現に向けて、96年度から東京都、千葉県、神奈川県と海上の候補地の協議に入ると公表されている。

6.2 あとがき

地球環境の維持に海洋が果たす役割は大きく、沿岸域の海岸は、人類の活動の原点であり、なるべく自然の状態を保全することが望まれる。沿岸部の干潟は、海の浄化作用が大きく、環境保全の観点から埋立により消滅させることは、厳に控えるべきである。今後は浮体式海上構造物の活用も図りながら、海洋環境の保全に最もふさわしい工法が選択されるべきと考えられる。

浮体構造物は船舶としてなじみが深いが、人工地盤としての概念では新しい工法に位置付けられ、大規模な実績がないために採用されていないのが現状である。

我が国の公共工事では、海外で開発され、実績のあるものが採用される傾向が強く、我が国独自の基礎研究、技術開発が少ないと指摘されている。昨今は、海外からの新しい技術の導入が困難になって来ている事情から、アイディアの段階から我が国の独自の新技術開発の重要性が認識されつつある。

21世紀において、技術でリードする日本を築くために、浮体式海上空港を世界に先駆けて開発すべきである。

最後に、本文をまとめるに当たり、マリンプロート推進機構及びメガフロート技術研究組合の多数の資料を引用・参照させて戴くとともに、浮体式海上空港を研究されている関係者のご意見を拝聴した。ご協力戴いた方々に深く感謝します。

引用文献

- 1) 海上空港のための海洋スペース—関西国際空港—, (社) 鋼材倶楽部 1972年1月
- 2) Lawrence Lerner and Marshall A.Graham: 「New York Offshore Airport Feasibility Study」 Department of Transportation Federal Aviation Administration 1973
- 3) セミサブ式浮体工法による空港建設, (社) 日本造船工業会 1977年8月
- 4) Howard Blood and Donald A.Innis: 「Floatport:San Diego's Multi-mode Transportation Center」 COSU'94
- 5) 関西国際空港Ⅱ期工事—浮体式海上空港の提案, マリンプロート推進機構 1994年4月
- 6) 「超大型浮体式海洋構造物の研究」各種説明資料, メガフロート技術研究組合 1995年6月

参考文献

1. 浮体工法調査結果概要, 運輸省航空局飛行場部関西国際空港計画室 1979年6月
2. 海上空港に関する報告, 日本鋼構造協会浮体海上空港特別委員会 1979年6月
3. 宝田直之助: 超大型海洋構造物のテクノロジー・アセスメントの一例 (浮体工法による海上空港建設に対する技術検討) 日本造船学会誌No.638~No.652 1983年
4. 安藤定雄、大川豊他: 浮体工法による海上空港建設に係わる評価のための技術調査研究 運輸省船舶技術研究所報告 1983年3月
5. 太田英美: 浮体式海上空港構想 第12回海洋工学シンポジウム 1994年1月
6. 大規模浮体構造物の研究委員会 (中間報告書): (財) 沿岸開発技術研究センター、マリンプロート推進機構 1994年3月
7. 浮体式空港への期待—海上空港(F-MAP)の実現に向けて: マリンプロート推進機構 空港技術委員会 Marine'95.1
8. 山本治生: 「Concept for a Super-large Floating Structure」 International Workshop on Floating Structures (Hiroshima) 1994年11月
9. 浮体構造物に係わる環境影響評価技術指針に関する調査研究 (社) 日本海難防止協会 1991年3月
10. 青木謙知: 旅客機の新しい概念 エアワールド Vol.19 No.8 1995年7月

(1995年8月23日受付)



いよいよ浮上するリニアモーターカー

中島 洋

Hiroshi Nakashima

(財)鉄道総合技術研究所浮上式鉄道開発本部技師長

Maglev System Will Start to Levitate Soon

1 はじめに

昭和37年と言えば、新幹線の開業2年前である。そのころから、国鉄の研究所では未来の高速鉄道の心臓部としてリニアモーターの開発が始まっていた。いまでこそ、リニアモーターは地下鉄にも利用され、産業分野でも種々の形で活躍するようになっているが、当時の状況からすれば研究着手したことは先見の明があったといえるだろう。

以降30余年の間、いろいろな経緯があったが、500km/hの高速鉄道を実現させようとする源流は途切れることなく続き、大きな広がりを見せるようになった。当初から、車両を浮上させてすべるように走る鉄道を夢見たこの流れは、昭和45年頃に超電導磁石を使用した磁気浮上式鉄道の開発へと主流を選択した。

当時の超電導磁石は、ようやく大型化への道を歩み始めた頃とは言え、車両に搭載することを目標にするなど、有り得ないと考えた人の方が圧倒的に多かった時期であった。以降いつの間にか1/4世紀が経過したが、これらの成果の結集として、山梨県に新たな実験線を建設し開発の最終ステップに入ろうとしている。

山梨実験線の工事は、用地買収に伴う遅れは発生したものの、現在精力的に建設工事が進められており、走行実験に使用する車両もこの7月に現地に搬入した。

ここでは、浮上式鉄道の原理ならびに最近の開発状況について紹介する。

2 浮上式鉄道の原理

2.1 浮上・案内の原理

本浮上式鉄道の特徴は、車上に超電導磁石を搭載して電磁的な力によって車両を浮上して走行させることを目的としていることである。

磁力によって浮上させる方法として、最も身近なものは永久磁石同士と同じ極を近づけて反発させる方法である。この方法は、極めて簡単であり一般にも分かり易いが、実

は永久磁石同士では完全に安定した浮上は得られない。どのような配置をしても、手を放せば移動してくっついてしまうのが永久磁石による浮上である。(昨年に発売された玩具で永久磁石を独楽として回転させることにより、永久磁石同士で完全浮上を実現させたものはある。上記表現は回転体としての永久磁石を対象外とした表現である。)

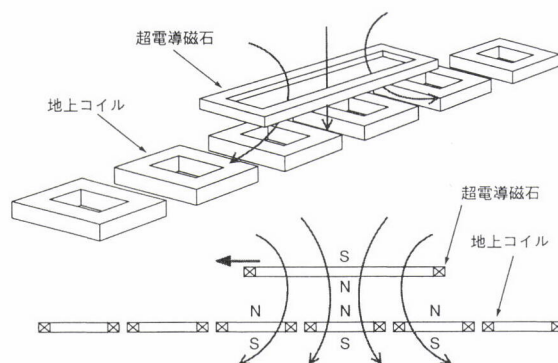


図1 磁気浮上の原理

ここに紹介する浮上方式は、電磁誘導現象を利用している。図1は、この浮上方式の基本原則を示している。超電導磁石が地上コイルに接近すると、超電導磁石の持つ磁束が地上コイルに貫通しようとする。この時、地上コイルへの磁束の侵入を妨げるように地上コイル内に電流が誘起(電磁誘導)される。この結果、地上コイルは接近した超電導磁石と同じ極が向かい合うように磁化され、超電導磁石との間に反発力が働くことになる。

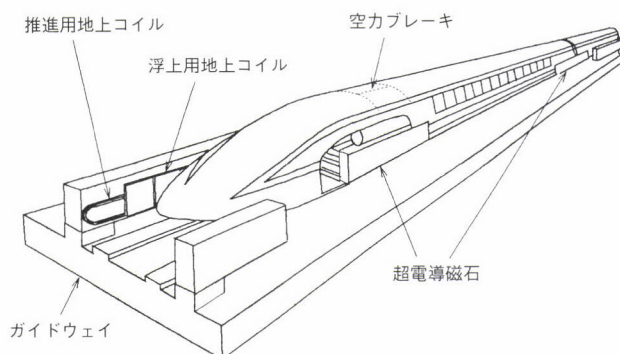


図2 山梨実験線の構成概念

車両のような重量のあるものを浮上させるには、車上に搭載する磁石が十分に強力なものであることが要求される。本システムで超電導磁石を採用する理由である。

この基本原理に対して、現実の浮上システムは、もう少し分かりにくくなっている。図2は、山梨実験線で採用される地上コイルと車両の概念を示している。

地上コイルが水平な地面にあり、浮上力を受けるコイルが真上にある場合には分かりやすいが、現在の考えかたは、図に示すように地上に配置する浮上用コイルはガイドウェイの垂直な側壁面に取り付けられている。

詳細の原理説明は省略するが、基本的原理は同じである。側壁に取り付けた地上コイルは上下に二つのコイルに分割されており、上下のコイルが逆接続されている（結果的に8の字のイメージ）ことが特徴である。こうした配置によって、地上コイルに流れる電流をより有効に利用することができ、優れた浮上特性を得ることができるようになっている。

また、図には示していないが、左右の地上コイルは、発生する電圧がお互いにキャンセルするように接続されている。車両が中心位置から左右にずれた時には、地上コイルに発生する電圧に差が生じて、左右のコイルに循環電流が流れる。これによって、車上の超電導磁石を中央に戻す力が電磁氣的に発生する。これが案内の原理である。

2.2 推進の原理

浮上した車両を推進させるためには、当然のこととして地面との接触なくして推力を伝えることが必要である。この要求を満足する推進方法は意外と少ないのが実態である。

ここで登場するのがリニアモーターである。

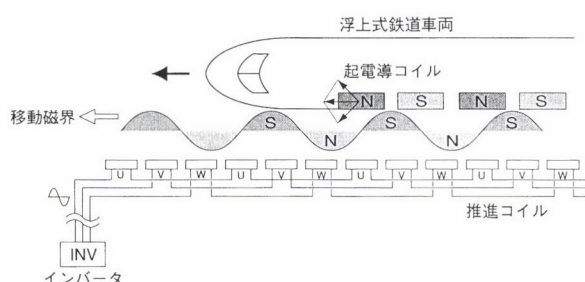


図3 推進の基本原理

実際に使用しているのはリニアシンクロナスマーターと呼ばれる方式である。特に、浮上に使用するのと同じ超電導磁石を有効利用していることが特徴となっている。超電導磁石を利用することによって、地上に配置した推進用コイル周辺の磁場を十分に確保できるために、地上設備との間に100mm程度の空間を確保した状態においても良好な効率を得ることができる。

図3は、推進系の基本的原理を示している。すなわち、地上に配置した推進用のコイルに電力変換器（インバータ）

から3相交流を供給する。これによって、地上に移動磁界を発生させることができる。この移動磁界のピッチは、地上コイルの配置によって決定されるが、車上の超電導磁石の配置ピッチと一致させてある。

電力変換器から供給する交流電流の周波数と位相を調整することによって、移動磁界の速さと超電導磁石との相対的位置を調整する。これによって、超電導磁石は丁度サーファーが波に押されて高速で移動するように、超電導磁石が移動磁界に押されて推進することになる。超電導磁石との相対位置を調整することによって、強力なブレーキ（回生ブレーキ）として作動させることもできる。

3 開発の経緯

本システムに関する構想が整理されると同時に、実際に浮上して走行させる車両の設計・製作および試験が実施された。

昭和46年に製作された最初の試験装置は、水平に回転する円板上に地上コイルを固定し、円板上方に超電導磁石を設置したものである。円板を回転することによって超電導磁石に発生する浮上力を測定することによって、解析結果との比較を行った。

この装置で得られた浮上力は約200kgであった。一方、超電導磁石の全体重量は2000kgであった。理論通りの浮上力が確認できると評価できた反面、反対意見を唱える人々にとっては、どうしてこれで車両が浮上するのかとの批判も出たものである。

その後は、実際に浮いて走る車両の製作に入り、紆余曲折はあったものの、徐々にその可能性が実証されていくことになった。

当時は、超電導磁石は腫れ物に触るようなもので、その励磁（電気を流して磁石状態にする作業）もしくは消磁に当たっては、関係者はくしゃみ一つも許されないような張り詰めた雰囲気の中で行ったものである。

昭和52年までの各種走行実験は、研究所の構内に長さ400m程の走行路を設けて行ってきたが、これらの成果が実を結び、宮崎県の日向市に7kmの実験線を建設することが決定され、昭和52年に走行実験が開始された。

最初の車両はML-500と名付けられた。この名称は500km/hを目指す意気込みを示すものであった。空気抵抗による車両の浮き上がり、磁石の振動の発生等、種々の問題を解決させながら、昭和54年には517km/hの記録を達成したものである。

その後、乗客スペースを確保した車両での走行確認をすべきであるとの考えから、ガイドウェイ及び車両の構成を一変して、新しい車両MLU001による走行実験を実施した。

これに続く車両として登場したMLU002は、将来の浮上式鉄道のイメージが固められた中で、新たに確認すべき種々の事柄を盛り込んだ車両としてデビューした。

残念ながら、この車両では開発ステップに無理をしたこともあり、超電導磁石のトラブルが続くという大きな苦しみを味わうことになった。さらに平成3年10月には火災が発生してほぼ全焼してしまうという最悪の事態を経験する苦い思い出の車両となった。

幸いにして、その後各所の温かい支援を頂き、新たに実験車両を製作することになった。これが現在走行実験に供せられている実験車両MLU002Nである。

この間には、JR東海も積極的にこの開発を推進することになり、山梨実験線の建設も決定された。丁度、上記の超電導磁石のトラブルが続出している頃であり、山梨の実験線の成否を左右する最も重要な事柄として、その改良に強力な体制が敷かれることになった。

新しく製作された実験車両MLU002Nにはこれらの改良の初期ステップのものが投入されているが、超電導磁石の安定性は十分に実証されている。後述の山梨実験線用の車両では、さらに各種の改良が盛り込まれた超電導磁石が搭載されており、安定した特性が約束されたと見ている。

なお、MLU002Nでは、山梨実験線の設計に必要なデータを収集すべく各種の試験が継続的になされてきたが、そうした中で高速走行の確認も行われており、平成6年2月には431km/hの高速走行実験も成功裏に進められた。

4 山梨実験線の建設状況

4.1 山梨実験線の計画内容

浮上式鉄道の開発をすすめてきた結果として、より長距離の実験線による本格的な走行実験を実現させたいという関係者の期待は10年以上前からあった。さらに、民営分割後のJR東海が次世代の高速鉄道として東京・大阪を結ぶ中央新幹線を実現させることを目的として積極的に推進することになり、山梨実験線の建設が決定された。

図4は、本実験線の概略の平面図を示している。図に示すように、全長42.8kmで計画されており、その中の約80%はトンネル区間となっている。トンネル外に出るところで最も長い部分が都留市街地である。中央高速道路の大月インターチェンジを富士山の方向に枝別れして高速道路を進むと、トンネルを抜けた後にこの実験線が上を通過することになる。

丁度この近辺に、指令センターと電力変換所が建設され、同時に全線の中で最も高速で走行する予定の区間となっている。

本実験線の建設計画が決定した後、始められた用地の交

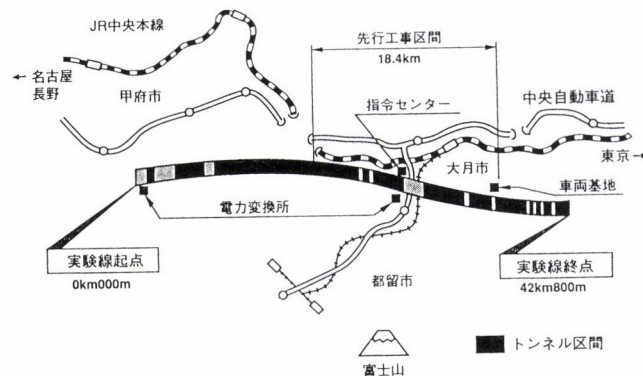


図4 実験線平面図

渉が時間を要することになった。このため、先行工事区間18.4kmを設定して、この区間内で早期の実験立ち上げが可能なように集中して工事を進めることになった。

実験車両は、3両と5両の2編成が製作される予定である。本実験線で実施される予定の走行実験では、最高速度550km/hを目指して各種の確認を行いながら徐々に速度を向上していく予定である。

高速走行特性を実証した後は、複線の設備を有効利用したすれ違い時の特性を始めとして、将来の営業線に備えて確認すべき事柄のほぼすべての事柄を試験・確認する予定である。

図5は、先行工事区間における代表的な設備の配置とイメージを示したものである。

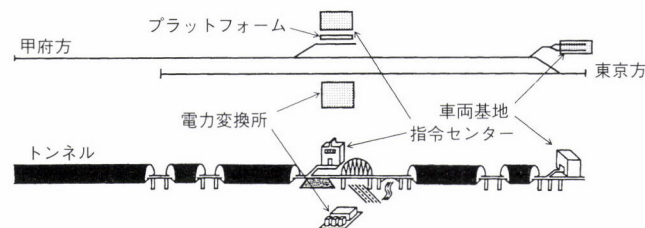


図5 実験線設備のイメージ

4.2 山梨実験線の建設状況

4.2.1 車両

実験線で使用する車両は3両と5両の2編成である。図6は車両の基本的構成を示している。車両は連接方式と呼ばれる構成で、車体の連結部の下に台車が配置されている。

超電導磁石は、この台車の両側に取り付けられている。全体として車体の高さを低くすること、および乗客スペースを超電導磁石から遠ざけて車内磁界を低減せしめる配慮をした構成である。

車体は、軽量化のために多大な努力をしたものであり、アルミ合金を使用して航空機に近い構造を採用している。

図7は、平成7年7月に現地の車両基地に搬入した3両編成分の車両である。現在は、検修庫において連結車両としての組付けを行った後、各種の確認を実施しているところである。

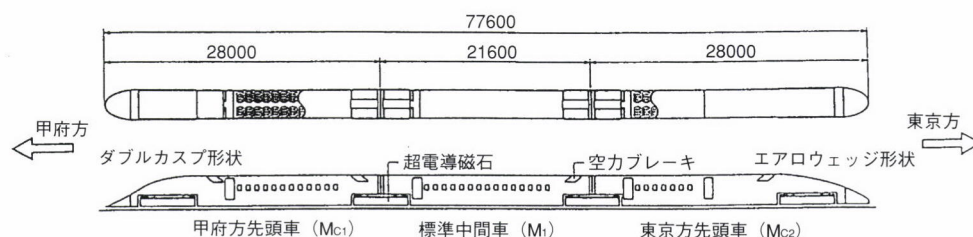


図6 車両の基本構成

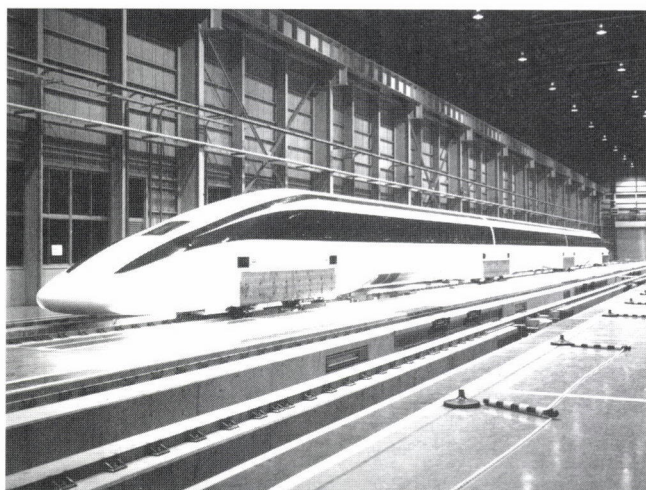


図7 製作された実験用車両



図8 ガイドウェイの高架橋建設状況

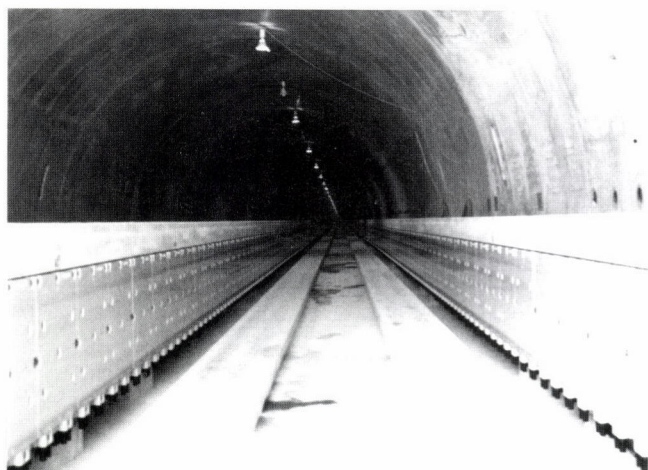


図9 完成したガイドウェイ（トンネル内）

4.2.2 ガイドウェイ

図8は、建設中のガイドウェイの高架橋部分である。また、図9はトンネル内ですでに完成した走行路部分を示す。左右のガイドウェイには地上コイルが取り付けられている。

図10は、これらのガイドウェイに取りつけられる地上コイルの例として推進用コイルを示している。これらのコイルは、いずれも線材はアルミニウムの導体を使用し、全体を樹脂で固めたものである。特に、推進用のコイルは電気的な耐圧への要求が厳しいために、エポキシ樹脂を使用している。

浮上用の地上コイルでは、電気的耐圧は大きな問題とならないため、ガラス繊維入りの樹脂であるSMC(sheet molded compound) 注(1)を採用している。

いずれにしても、実際の使用に際しては風雨にさらされる環境で長年にわたって使用されるという厳しい条件を満足する必要がある。

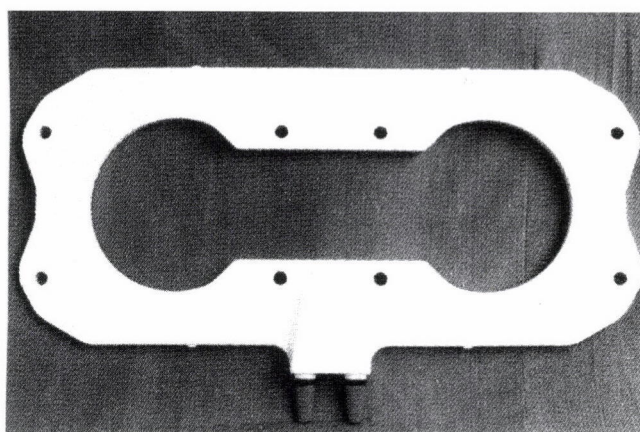


図10 地上コイルの例（推進用コイル）

4.2.3 電源設備

図11に、電力変換設備を示す。この電源は、車両の走行速度に応じて決められた周波数の電力を供給することが特長である。このために、常に車両の走行位置をセンチメートル単位で把握し、これに合わせた電流を送る機能を有している。

注(1) SMC (sheet molded compound) 一般にガラス繊維を含む樹脂をシート状にしたものを源材料とし、金型に入れて加熱・加圧して硬化させることにより強度のある成形品をつくる成形法。

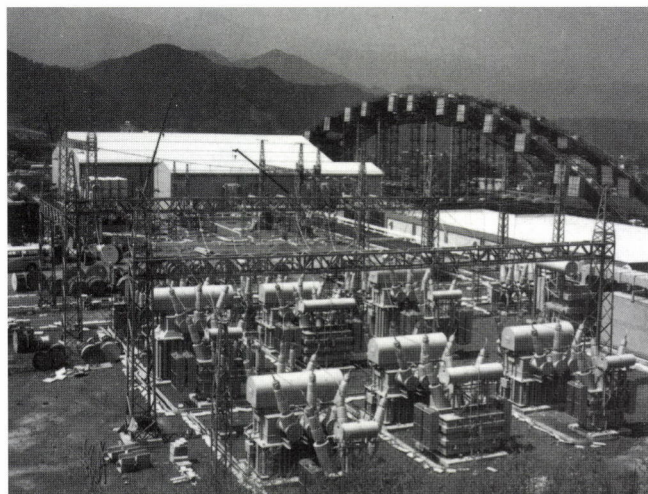


図11 電力変換所

これをなし遂げているのが、GTO(gate turn off) ^{注(2)}サイリスタを使用したインバータである。

GTO インバータとしては、非常に大きな設備であり、且つ周波数範囲が0Hzから約60Hzと幅広い制御対象となっていることが大きな特長である。

4.2.4 指令センター

図12は、完成した指令センターを示している。ここには、列車を走行させるための各種指令を送り、且つ、実験線全体の運転状態を把握するための設備が設けられている。

また、走行時に得られる大量のデータは、すべてこの指令センターで収録されて、各種の解析を行い状態の良否を判断するのに利用される。

4.3 今後の計画

現在の計画では、山梨実験線の走行実験の開始は、平成9年の春となっている。この頃には、全長約77mの3両編成の美しい車両がガイドウェイ上にお目見えし、着実にステップを踏みながら速度向上に入っていく予定である。

磁気的に浮上しながら、すべるように走る姿を多くの方々に楽しんで頂くのも間近になってきた。

浮上式鉄道の開発の最終目標は、東京・大阪間に500km/hで1編成に1000人程の乗客を乗せて走る次世代の新幹線の実現である。山梨実験線の成果は、この目標に向かって進むことができるか否かの判断をするための重要なステップでもある。

現計画では、平成11年までに各種の実験を重ねた上で、この判断をすることになっている。

注(2) GTO (gate turn off) サイリスタ

信号指令により電流のON/OFF制御が可能なサイリスタ素子。(一般のサイリスタ素子では信号指令によって電流のON制御しかできない。)

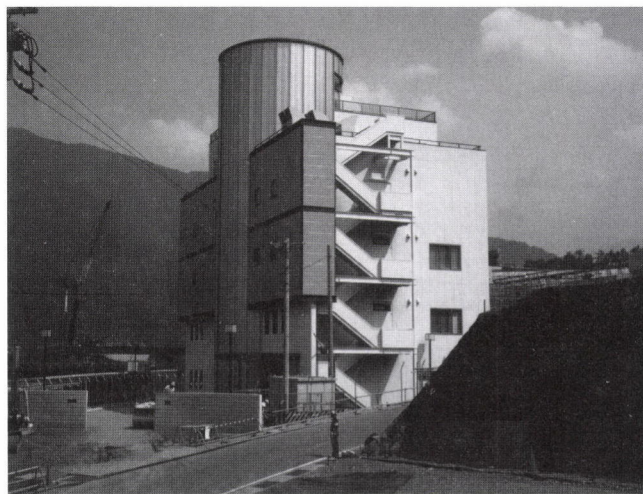


図12 指令センター

5 まとめ

超電導磁石を使用した磁気浮上式鉄道は、地上設備との間に100mm程度の空間を保ちながら車両を浮上させ高速で推進させることの出来る唯一のシステムである。この浮上式鉄道は、その基本提案は米国から始まったものであるが、この25年の開発経緯から日本が世界をリードしている数少ない大型プロジェクトの一つであると言える。

また、特に超電導磁石の開発等に関しては、その応用分野が少ない中で、初期の段階においては日本の超電導分野の発展にも寄与してきたと言える開発である。

この浮上式鉄道の開発は、国家的プロジェクトとして国の補助金を得ながら進められてきた。また、非常に幅広い学問分野にまたがる開発であり、これまでも多くの学識経験者の指導を、また日本を代表する多くの会社の協力を得ながら進められてきたプロジェクトでもある。

これまでの幅広い各所の協力に感謝するとともに、今後共々支援をお願いする。

(1995年9月21日受付)



入門講座 鉄鋼材料編-1

天の恵みの「鉄」

谷野 満
Mitsuru Tanino

東北大学金属材料研究所 教授

Blessed Metal-Iron

1 まえがき

我々は日頃の生活で鉄を意識することはあまりないが、周りを見渡すと非常に多くの鉄製品が存在することに気が付く。表1は鉄鋼材料の代表的な使用例であり、あらゆる分野において特に構造部材を中心に使用されていることがわかる。鉄鋼材料が重厚長大型材料の代表選手と見なされる所以である。使用される環境条件も多彩であり、絶対零度付近の低温で使用しても破壊しない極低温用鋼や、逆に発電プラントのボイラーチューブのように高温で使用される耐熱鋼などがある。形状の面でも厚さ200mmを超える極厚鋼板から厚さ10 μ m程度の鋼箔や直径約5 μ mのフィラメントに至るまで種々のサイズや形状の鉄製品が作られている。もしこの世の中に鉄が存在しなければ、我々の生活様式は著しく異なるものになっているに違いなく、今の形の現代社会の存在は不可能であろう。

表1 鉄鋼材料の代表的な用途

分 野	用 途 例
都市・建築	高層建築、耐火壁、鉄筋・鉄骨コンクリート、屋根材、エレベーター、非常階段、空調ダクト、水道管、護岸、貯水ダム、ゴミ焼却炉など
産業機械	ブルドーザー、ショベルカー、クレーン、ワイヤロープ、工作機械、圧延機、ロール、金型、ダイス、切削工具など
事務機器	スチールデスク、ロッカー、ファイルキャビネット、ラック、ホワイトボード、カッター、クリップ、ナイフ、鋏、ステープラー
交通・車輛	自動車、自転車、鉄道、地下鉄、レール、トンネル、鉄橋、高架道路、長大橋、ケーブル、フェリーボート、スプリング、スチールコード、ガードレールなど
輸 送	大型タンカー、貨物船、連絡船、トラック、コンテナ、貨車、船、鎖、倉庫など
電 力	火力発電所、水力発電所、原子力発電所、地熱発電所、風力発電設備、海洋発電設備、ゴミ発電設備、送電鉄塔、変電所、変圧器、格納設備、ボイラー、タービン、発電機、モーター、ダム、水路など
エネルギー・資源開発	採油槽、海上プラットフォーム、掘削リグ、ドリルカラー、油井管、ラインパイプ、大型石油タンク、石油精製装置、ナフサ分解炉、液化ガスタンク、球形ガスタンク、ガス管、ドラム缶など
家電製品	冷蔵庫、洗濯機、トースター、アイロンなど
家庭用品	ステンレス流し、グリルフード、調理台、珪藻鍋、ポット、包丁、ナイフ、フォーク、スプーン、カッター、クリップ、ホチキス針、金槌、釘、鋏、スパナ、ボルト、ナット、針金、金網、給湯器など
食 品	コーヒー缶、ジュース缶、ビール缶、缶詰、レトルト、蒸留槽、殺菌槽など
化学・医療	反応装置、タンク、輸送パイプ、メス、鋏、トレイ、注射針など
兵 器	軍艦、戦車、装甲車、大砲、砲弾、ピストル、ロケット胴体、ロケット発射台など
趣味・娯楽	ジェットコースター、観覧車、メリーゴーラウンド、パチンコ玉、焼き鳥金網、金串、競輪、競艇、ビッケル、アイゼン、釣り針、ゴルフクラブなど

鉄と言えば硬いもの、冷たいもの、錆びやすいものというのが通念であったが、身の回りの鉄製品の中には触った感が軟らかく、冷たくもなく、木製品と見間違えるものもある。また、建材、厨房用品、モニュメントなどでは鏡より美しく、錆びない鉄が多く使われている。戦後鉄製品の一部がプラスチックや非鉄金属製品に取って代わられはしたが、優れた特性や新しい機能を持つ鉄鋼商品も続々と登場してきており、未来社会を支える基礎部材としての鉄の重要性はますます高まると考えられる。鉄は何故このように重用されるのであろうか。実は、それは自然の摂理の賜なのである。

2 天恵の金属「鉄」

「鉄」は金属の仲間うちでも特に恵まれた特異な存在である。その理由は、

- ①資源が豊富に存在し、しかも還元が比較的容易であるため、安価である。
- ②特異な相変態が起こり、それを利用して機械的性質を大幅に変えることができる。
- ③種々の元素と仲良しであり、組み合わせによって多様な性質を持たせることができる。

その結果、(ア)非常に軟らかいものも、硬いものもある。(イ)磁石に付くものも、付かないものもある。(ウ)錆びやすいものも、錆びにくいものもある。(エ)金属音がするものも、しないものもある、というように多様性に富んだ鉄鋼材料が存在するわけである。

宇宙に最も多量に存在する元素は水素(H)である。Hは核融合反応によって次第に重い元素に変わっていくが、その行き着く先がFe原子である。また超新星爆発などによって作られた原子量の大きい重元素は、核分裂反応や崩壊によって次第に軽い元素に変わるがその行き着く先がやはりFe原子である。これは全元素のうちFeの原子核が最も安定なためである(図1)¹⁾。その結果、Feは全宇宙の規模でみてもかなり多量に存在する元素であり、超新星の爆発

によって吹き飛ばされた宇宙塵が集まって恒星や惑星ができるとき、大量のFeが取り込まれることになる。

地球の中心部にもFeとニッケル(Ni)が詰まっており、Feは地球の主要な構成元素である。深部にあるFeは利用できないが、幸いにして地殻中には酸化鉄が豊富に存在する。地殻中のFeの存在比は5mass%を占めケイ素(Si)、アルミニウム(Al)について多い。これはチタン(Ti)の約10倍、Niの約700倍、銅(Cu)の約900倍である。鉄鉱石はC(木炭やコークス)で還元することができる。これは特殊な還元技術を用いることが必要なAlやTiに比べて鉄が極めて有利な点である。さらに面白いことに、純鉄の融点は1536℃であるがCを吸い込むと融点はどんどん低下し、4.3mass%Cでは1150℃以下まで下がる。それゆえ高温技術が進んでいなかった古代においても比較的容易に鉄の還元が行われ、鉄器時代が出現したのである。近代製鉄法においては溶鉱炉によって大量の銑鉄が生産されていることはご存じのとおりである。

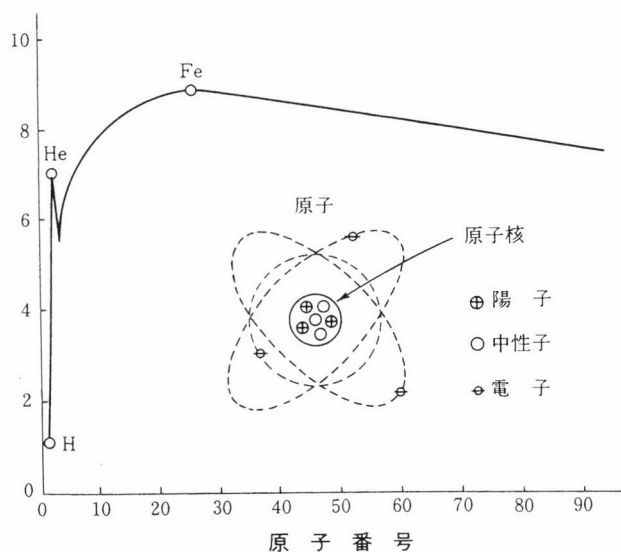
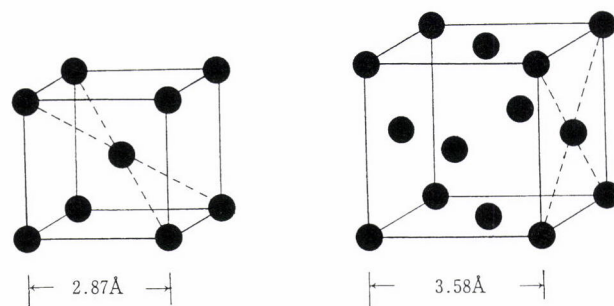


図1 原子核の安定性 (鉄の原子核は全元素の中で最も安定であるため、宇宙に大量に存在する)¹⁾

3 鉄の相変態

金属はふつう温度を上げると膨張する。たとえば猛烈に暑い日に鉄道のレールが伸びて曲がってしまったというニュースが報道されることがある。橋などでは伸びを緩和するために予め隙間が設けられている。このように鉄製品も他の金属同様、普通の温度範囲では温度が上がると膨張するのであるが、約730℃以上(鉄の成分によって異なる。純鉄では911℃)の温度で逆に収縮するという珍しい現象がみられる。これは鉄の結晶構造が隙間の多い体心立方晶(図2(a))²⁾から、原子が密に詰まった面心立方晶(図2(b))に変

わるためである。これが大部分の鉄の中で起こる $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態といわれる相変態であるが、温度を上げることによって粗な構造から密な構造に変化するのは他の金属にはみられないFe特有の現象であり、Feが常温で強い磁性を有することと密接に関わっている。この現象こそがFeの特異性の根源であり、それを利用して多種多様な鉄鋼材料を作ることができる。なお、Feの場合も1400℃以上の超高温に加熱すると再び粗な構造の体心立方晶に変わる。



(a) α 鉄

(b) γ 鉄

図2 鉄が持つ2つの結晶構造における原子の並び方²⁾

(a) 体心立方構造 (フェライト; 低温安定型)

(b) 面心立方構造 (オーステナイト; 高温安定型)

4 鉄と鋼

「鉄と鋼」とは鉄鋼協会論文誌の名前であるが、「鉄」と「鋼」とはどう違うのであろうか。鋼とは、FeとCおよびその他の元素との合金のことであるが、最も単純な鋼はFeとCの合金すなわち「炭素鋼」である。C量約0.02mass%以上2.1mass%以下のものが「鋼」、C量0.02mass%以下のものが「鉄」であるが、最近の鉄鋼製品の中にはC量0.002mass%以下の自動車用鋼板などもあり、「鉄」と「鋼」の区別はそれほどはっきりしているわけではない。しかし一部の極低炭素鋼やステンレス鋼を除く鉄鋼材料はふつう0.1mass%以上のCを含んである。

図3はFe-C系平衡状態図であり、横軸が炭素量、縦軸が温度で、いろいろな炭素量の鋼が安定に存在できる状態を表している(ただし教科書に載っている状態図とは違い横軸を対数目盛にしてある)。この図の左端が純粋なFeに対応する。

この状態図からわかることは、高温で安定な面心立方晶のFe(オーステナイトあるいは γ 鉄と呼ぶ)が最大2.1mass%におよぶ多量のCを結晶格子中に取り込む(これを固溶という)ことができるのに対し、低温で安定な体心立方晶のFe(フェライトあるいは α 鉄と呼ぶ)中にはその100分の1のCしか溶け込めないことである。このように高温状態と低温状態では結晶格子中に固溶できるCの量が極端に異なるため、高温から低温に冷却する際に余分なCはFe炭化物(セメンタイト)として析出しなければならない。

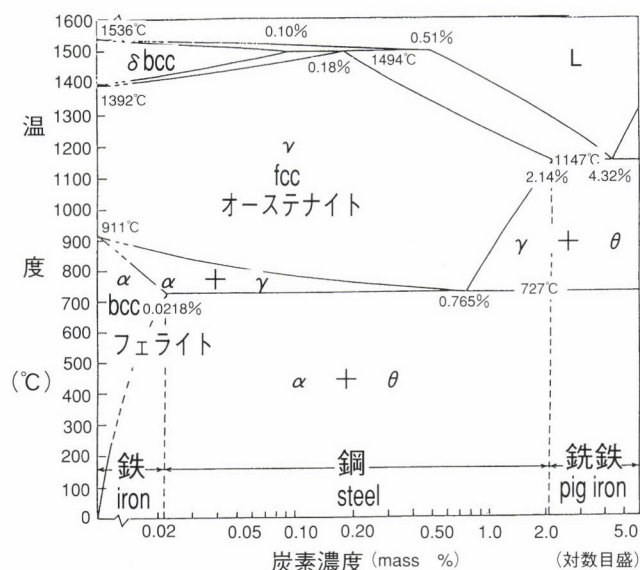


図3 Fe-C系平衡状態図（横軸対数表示）

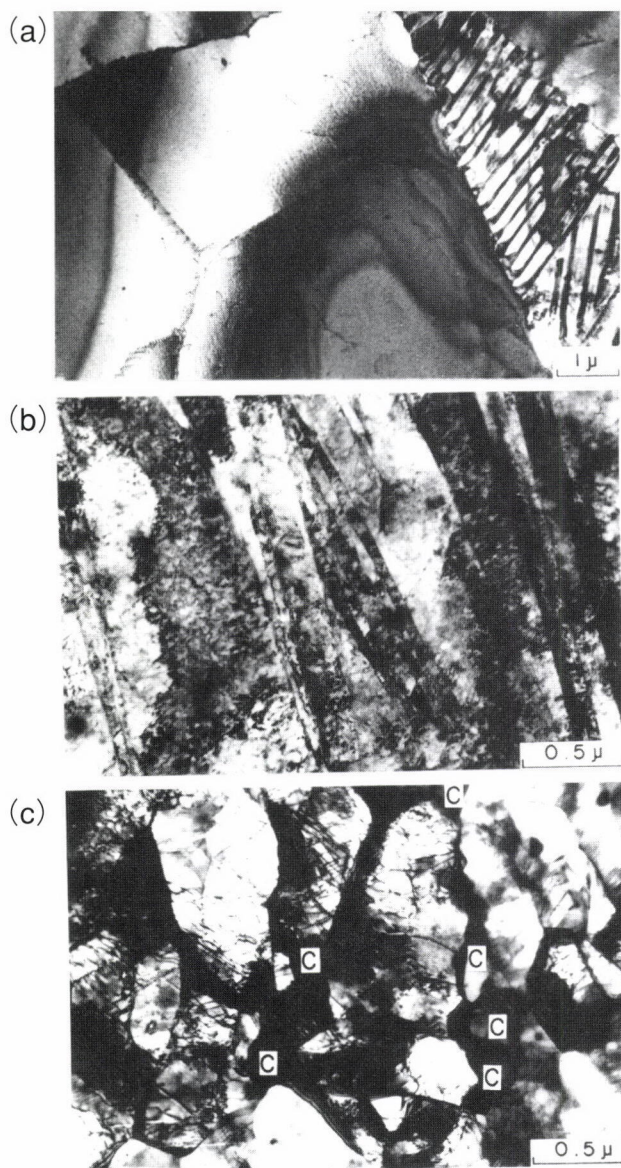


図4 代表的な鉄鋼組織の電子顕微鏡写真

- (a) フェライト・パーライト組織（徐冷組織）
- (b) マルテンサイト組織（急冷組織）
- (c) 焼き戻しマルテンサイト組織

炭化物の形態や分布状態は冷却速度によって変化し、それに対応して機械的性質も変化する。たとえば高温からゆっくり冷却すると粗いフェライト・パーライト組織(図4(a))になり、非常に軟らかくなる。これが焼き鈍し状態である。冷却速度が増すにつれて組織は次第に細くなり、硬さ(強度)も増加する。さらに冷却速度を高めるとベイナイトと呼ぶ別の組織になり、強度はさらに高くなる。

高温から水の中に放り込むような急激な冷却を行う場合には、C原子は動くことができないままFeの結晶格子の中に強制的に閉じ込められてしまい、マルテンサイトと呼ぶ組織(図4(b))になる。マルテンサイトの結晶格子は過剰なC原子のために著しく歪んでおり、非常に硬くて脆い。これがそもそもの「鋼＝刃金」の由来であり、急速に冷却することを「焼き入れ」という。非鉄金属の多くは高温から急冷した状態が最も軟らかいのに対して、鋼のみが著しく硬くなる点も鉄の特異性の一つである。

マルテンサイトは硬くて脆いため、通常はそのままでは使いものにならない。結晶格子の中に閉じ込められたCを追い出すために行われる熱処理が「焼き戻し」である。焼き戻し処理を施すことによって炭化物が均一に分散した組織となり(図4(c))、硬さは若干低下するが粘さが増加して優れた特性が得られる。

このように同じ組成の鋼であっても単に冷却速度や焼き戻し条件を変えるだけで、非常に軟らかい状態から硬い状態まで広範な機械的性質が得られる点が他の金属では得難い特質なのである。C量を変えたり、合金元素を添加したり、塑性加工を加えたりすることによって、さらに多様な性質を引き出すことができる。それゆえAl、Cu、Tiなどに比べて、鉄鋼材料は安価であるだけでなく構造用材料として基本的な優位性を有するといえる。

また、構造用部材として使用するためには強さだけでなく、粘さ、すなわち外部からの力によって簡単には壊れない性質(靱性)が重要である。靱性は一般に結晶粒径が小さいほど向上するので、結晶粒を微細化することが望ましい。相変態を起こさない金属とは異なり、熱間加工と相変態を組み合わせることで結晶粒を微細化することができる点も鉄鋼材料の強みである。

5 強く、靱い鋼をつくるには

構造用材料はその用途に応じて種々の強度レベルならびに靱性レベルを有することが必要とされる。近年、構造物の小型化、軽量化のために鉄鋼材料の高強度化が要求されるケースが増えている。しかしながら、材料強度の増加は一般に靱性の劣化を伴うため、無暗に強度を高くするわけにはいかない。いかにして靱性劣化を最小限に抑えつつ強度

を高くするかということが材料設計のキーポイントである。

鉄鋼材料をはじめ多くの金属材料は図2(a),(b)に示すような原子配列を持っている(はっきりした結晶構造を持たない物質がガラスや非晶質(アモルファス)合金である)。このような原子配列が結晶全体にわたって整然と並んでいるものを理想結晶と呼び、非常に高い強度を持つことが理論的に予想されている。鉄の場合、理想結晶の強度は約10,000MPaとされている。これは断面積1mm²の細い針金で車1台を吊り上げることができるほどの強さである。しかしながらふつうの鋼の強度はその1/25程度であり、非常に頑張っても理想強度の1/3~1/2程度の強度しか得られない。それは現実の鉄鋼材料の中には転移を代表とする格子欠陥が存在するためである。転位というのは原子配列の乱れであって、これがある程度存在すると材料は外部から加えられた力によって容易に変形するが、転位の数が多くなりすぎると互いに絡み合ったりして動き難くなる。すなわち転位が動きやすい状態では材料は軟らかく(強度が低い)、転位が動きにくくなった状態では硬い(強度が高い)。

材料の強度を高くする手段、すなわち転位を動き難くするための基本的な手段としては、①固溶強化、②析出強化、③転位強化、および④結晶粒微細化がある。転位を自動車に見立ててそれを漫画的に表すと図5のようになる。純鉄の中では転位の運動を邪魔するものがないので転位は容易に動くことができる。そのため、高純度鉄の強度は低く数十MPaの力で変形が起こる。これはよく整備された舗装道路上を自動車が快適に走行する状態に相当する。

Feの結晶格子の中の隙間にCやNの原子が入り込んだり、格子を組んでいるFe原子を合金元素が置換したりすると、結晶格子に歪みが生じ、転位は動き難くなる。これが**固溶強化**(固溶硬化)であり、でこぼこ道を車が走る状態に相当する。

次に、ニオブ(Nb)やバナジウム(V)などの添加元素が鋼の中で炭化物や窒化物を形成すると、転位はそれらの析出物に邪魔されて動き難くなる。これが**析出強化**(析出硬化)である。この状態は河原のように大小さまざまな石がごろごろ転がっている場所を車で走るのに似ており、小さい石は乗り越えて進むこともできるが、大きい石は迂回しなければならない。これらの石が互いに接近して散らばっていると最も走りにくい(強度が高い)。

軟らかい針金を幾度も繰り返して折り曲げていると次第に硬くなることはよく知られているが、これは変形によって針金の内部に多数の転位が増殖され、それが互いに絡み合っただけで動き難くなるためであり、これを**転位強化**(加工硬化)と呼ぶ。加工硬化の状態は交通渋滞に似ている。

鉄鋼材料は無数の異なる方向を向いた結晶の集合体であり、結晶同士は結晶粒界によってつながっている。結晶粒

の大きさが小さいほど結晶粒界の数(面積)は大きくなる。ある結晶の内部で運動する転位は結晶粒界にぶつかると停止してしまう。そのため、結晶の大きさ(結晶粒径)が小さいほど降伏応力は高くなる。これが**結晶粒微細化による強化**である。

実際の鉄鋼材料の製造においては、合金元素の選択、熱間加工・再結晶、相変態、冷却速度、熱処理、冷間加工・再結晶の制御などを利用し、上に述べた強化手段を様々な組み合わせで材料の強化が行われる。

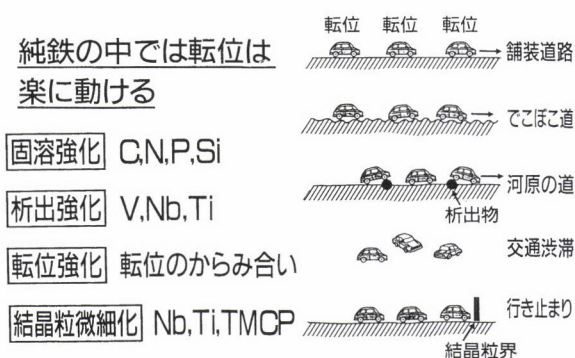


図5 材料を強化するための代表的な手段

構造用部材としては一般に高強度だけでなく、破壊に対する抵抗力(靱性)が必要とされる。材料の厚さが大きいほど靱性の重要性は高くなる。靱性を向上させるためには、①イオウ(S)や酸素(O)などの不純物元素を低減し、硫化物や酸化物等の非金属介在物を減らして、鋼を清浄にすること、②リン(P)、S、スズ(Sn)、ヒ素(As)、アンチモン(Sb)などの不純物元素を減らし、これらの元素の粒界偏析による脆化(焼き戻し脆化、SR脆化など)を防止すること、③結晶粒を微細化すること、などの方策が取られる。

材料は一般に強度を高くすると靱性が劣化する傾向を有するが、結晶粒の微細化による強化だけは例外で、結晶粒径が微細であるほど強度が増加するだけでなく、同時に靱性も向上する。したがって結晶粒の微細化は材料特性にとって最も望ましい強化手段であり、構造用鋼の主流である低合金高張力鋼(HSLA鋼)の製造においては結晶粒の微細化に対して最大限の努力が払われている。

結晶粒径(フェライト結晶粒径)を微細にするためには、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態前のオーステナイトの結晶粒を微細にすること、 $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態におけるフェライトの核生成頻度を高くすること、変態終了後のフェライトの成長を抑制することなどが有効であり、合金元素添加量を適正に設定した上で、熱間圧延開始温度、圧下率配分、圧延終了温度、冷却速度などをきめ細かく制御することによって、強度と靱性のバランスのとれた鋼材を製造する。これらの制御圧延と制御冷却を組み合わせる製造プロセスを最近では加工熱处理的材質制御技術(TMCP)と呼んでいる。

大部分の鋼構造物の施工の際には溶接が行われるが、溶接部では凝固組織を持つ溶着金属、溶接棒と母材の成分が混じり合った溶融帯、変態点以上の高温まで繰り返し加熱を受けた溶接熱影響部(HAZ)が混在する。溶接熱影響部では母材の製造時に確保した微細結晶粒が粗大化し、材質が劣化しやすい。鋼構造物の破壊事故の多くは溶接部が起点になっている。それゆえ、鉄鋼材料の合金設計においては母材の特性を高めるだけでなく、溶接方法の選定や、溶接部における材質劣化対策も同時に検討することが極めて重要である。

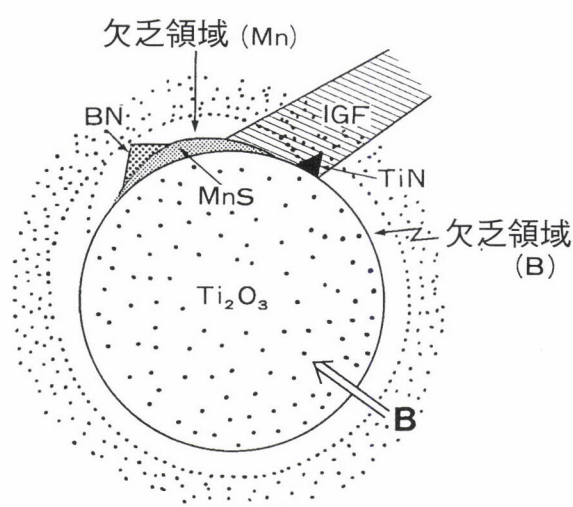


図6 変態核 (Ti_2O_3) の周辺にMnやBの欠乏領域ができることによって粒内変態が促進される³⁾

最近、微細な酸化物を利用して、オーステナイト結晶粒の内部においてフェライトの核生成を行わせ、フェライト結晶粒径を微細化する技術(オキサイドメタラジー)が実用化され注目を集めている³⁾。これは、図6に示すように、鋼中に均一に分散させた微細なTi酸化物(Ti_2O_3)粒子の周りにマンガン(Mn)やホウ素(B)の欠損領域を形成させて局所的に変態温度を高めることによって、結晶粒内におけるフェライト変態核の生態を結晶粒界とほぼ同程度まで容易にし、もとのオーステナイト結晶粒径の如何によらず微細な針状フェライト組織を作り出すという画期的な技術である。このようなオキサイドメタラジーの技術を用いることによって母材の結晶粒径だけでなく、溶接部における結晶粒径も微細にすることができ、溶接鋼構造物の破壊防止に役立つ。

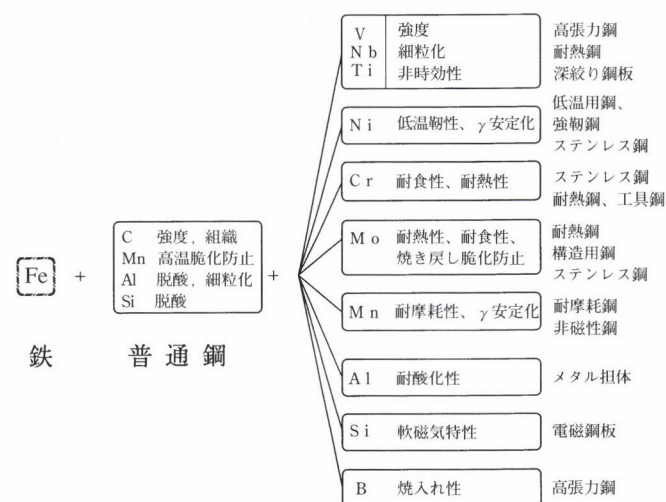
6 鉄鋼材料中の元素の働き

前述したように最も単純な鋼は炭素鋼であるが、通常はC以外に種々の元素が含まれている。それらの元素の中に

は材質を制御するために積極的に添加されるものと、原料や製錬工程で混入するものがあり、前者を合金元素、後者を不純物元素と呼ぶことが多い。これらの元素の中でもC、Si、Mn、S、Pを鉄鋼の5元素と呼ぶ。SとPは原子状態で、あるいは非金属介在物として鉄鋼材料を脆くする。またOは酸化物系介在物として延性や靱性を劣化させる有害な不純物元素であるため、前項で述べたオキサイドメタラジーのような特別な場合を除くと、通常はなるべく少ない方が望ましい。精錬技術の進歩により、最近の鉄鋼材料は以前に比べると著しく清浄になっており、延性や靱性が改善されている。

鉄鋼材料はその使用目的に応じて種々の合金元素が添加される。鉄鋼材料における合金元素の役割について詳しく述べると1冊の本になる位の内容があるが、ごく簡単にまとめると図7のようになる。

Cは鉄鋼材料の基本的な合金元素であり、微量のCによって著しく強度が増加する。しかし、Cのみで強化すると靱性が劣化し、溶接の際に割れやすくなるなどの悪影響が顕著になるので、構造用鋼ではC量を0.2mass%以下にすることが最近の傾向である。深絞り加工性を重視する自動車用鋼板ではCは著しく低い。逆に、特殊炭化物を利用して強度を増加する工具鋼や、長大橋を懸架するためのケーブル、ラジアルタイヤ用の高張力線材では0.5-0.8mass%のCが含有されている。



各種の鉄鋼材料

図7 鉄鋼材料における合金元素の役割

Mnは鉄鉱石の還元過程のコークスなどから混入するSを固定し、また焼入れ性を高めるために添加される。SiやAlは溶けた鉄の中のOを除去する(脱酸)ために添加されるが、Alは結晶粒を微細化する目的で使用されることも多い。

V、Ti、Nbはいずれも強力な炭化物および窒化物形成元素であり、微量の添加で強度を増加したり、結晶粒を微細

化したりすることができるため、低合金高張力鋼の重要な合金元素である。これらの元素の微量添加による材質制御をmicro-alloyingと呼ぶ。また、これらの元素の効果を最大限に発揮させるためには制御圧延や制御冷却を組み合わせることが効果的であり、TMCP(加工熱処理的材質制御)技術として広く用いられている。また、深絞り用薄鋼板ではこれらの元素によって固溶C、Nを固定し、歪み時効を防止する。

一般の鉄は体心立方構造を有するため、本質的に低温で脆くなる傾向がある(低温脆性)。液化天然ガス用容器に使用する鋼材などの低温用鋼の場合はこの低温脆性を防ぐためにNiが添加される。Niは面心立方構造の金属で、低温靱性を改善するだけでなく、オーステナイトを安定化する作用があり、オーステナイト系ステンレス鋼の重要な構成元素である。有名な18-8ステンレス鋼(SUS304)には8mass%のNiが含まれている。

クロム(Cr)は熱間工具鋼、耐熱鋼、ならびにステンレス鋼に多く使用される。これはCrが非常に緻密な酸化皮膜 Cr_2O_3 を作って外部からの酸化や腐食を阻止するためである。ステンレス鋼の場合、主としてCr(および時にモリブデン(Mo))を含むフェライト系ステンレス鋼と、さらにNiを添加したオーステナイト系ステンレス鋼がある。

Moは単独添加で使用されることはほとんどないが、高温強度や耐食性を改善する効果が高いため、多くの鉄鋼材料に少量ずつ使用されている。また、Moは、PやSbなどの不純物元素が結晶粒界に偏析することによって惹き起こされる焼戻脆化を防止する効果がある。

Mnは5元素の1つであり、ほとんどすべての鉄鋼材料に含まれているが、特に大量のMnを添加したものとしては耐摩耗鋼や非磁性鋼がある。Siも5元素の1つである。Siを大量に使用する鋼材としては電磁鋼板がある。

このほかBは鋼の焼入れ性を高め、粒界を強化する作用があるため極微量添加されることがある。

表2 鉄鋼材料の分類

分類の仕方	鋼 種 名
硬さによる分類	極軟鋼、軟鋼、硬鋼など
強さによる分類	高強度鋼、高張力鋼、超高張力鋼など
形状による分類	薄板、厚板、鋼管、形鋼、条鋼、棒鋼、線材、箔など
性質による分類	強靱鋼、肌焼鋼、耐熱鋼、低温用鋼、耐候性鋼、耐摩耗鋼、非時効性鋼、快削鋼、ステンレス鋼、電磁鋼、非磁性鋼など
用途による分類	自動車用鋼板、構造用鋼、圧力容器用鋼、ボイラー用鋼管、工具鋼、高速度鋼、軸受鋼、ばね鋼、ピアノ線など
成分による分類	極低碳素鋼、低碳素鋼、中炭素鋼、高炭素鋼、低合金鋼、高合金鋼、Si-Mn鋼、Ni鋼、Cr鋼、Cr-Mo鋼など
製造工程による分類	熱延まま鋼、熱延鋼板、冷延鋼板、鋳鋼、鍛鋼など
熱処理による分類	調質鋼、非調質鋼、焼き準し鋼、マルエージング鋼など
金属組織による分類	フェライト鋼、フェライト・パーライト鋼、オーステナイト鋼、ベイナイト鋼、マルテンサイト鋼、二相鋼など
後処理による分類	表面処理鋼板、亜鉛鉄板、有機塗装鋼板、カラーステンレスなど
製鋼法による分類	転炉鋼、平炉鋼、電炉鋼など
脱酸法による分類	リムド鋼、キルド鋼、アルミキルド鋼、チタン脱酸鋼など

7 鉄鋼材料の分類

鉄鋼材料は表2に示すように色々な方法で分類されている。鉄鋼メーカーでは厚板、薄板、鋼管、条鋼など製品の形状によって鋼材を区分するケースが多いが、それぞれの中には多くの鋼種が含まれる。より具体的に表現するために性質や、用途や、成分などで分類されるが、同じ鋼がしばしば別の名前で呼ばれることがあるので注意を要する(専門家でも時々混乱することがある)。これらの分類法は、たとえば低碳素低合金高張力鋼、Alキルド非時効性自動車用鋼板などのように組み合わせて用いられることが多い。

8 新しい機能を有する鉄鋼材料

現代社会にとって不可欠の基盤材料である鉄鋼材料が使用されている分野と代表的な使用例は表1に示したとおりであり、その中には旧来の鉄鋼材料とはひと味違う新しい機能を持ったものや、感性に訴える商品群が含まれている。たとえば、耐火鋼、耐震構造用鋼(低降伏比鋼)、超塑性鋼、制振鋼板、クラッド鋼、メタル担体用ステンレス鋼、鉄系形状記憶合金、銅箔、極細線材、焼き付け硬化(BH)鋼、高鮮映性鋼板、着色鋼板、高意匠性鋼板、など多数あるが、それらについては各分野の解説の中で紹介されると思うので本稿では割愛する。

9 むすび

鉄の時代は終わったなどと軽々しく言う人は結構多いが、我々の社会を支える基盤材料としての鉄鋼材料の重要性は今後とも増えることはあっても減少することはない。また、新しい機能を有する鉄鋼製品は今後とも続々と開発されるであろう。新素材と鉄鋼材料は徒に競合するのではなく、相補うことによって豊かな社会を支えて行くに違いない。

引用文献

- 1) 西沢泰二:「人類と鉄 ～鉄が語る科学ロマン～」 第2回 “鉄の神秘”、東北大学開放講座テキスト、(1992),11, [東北大教育学部附属大学教育開放センター]
- 2) 谷野 満:「人類と鉄 鉄が語る科学ロマン～」 第11回 “鉄と現代社会 -多様性の根源-”、東北大学開放講座テキスト、(1992),105, [東北大教育学部附属大学教育開放センター]
- 3) 山本広一、長谷川俊英、高村仁一:鉄と鋼、79(1993),41
(1995年9月29日受付)



入門講座

鉄鋼プロセス編 -1

鉄鉱石が便利な素材になるまで

江見俊彦

Toshihiko Emi

東北大学素材工学研究所 教授

Transforming Iron Ore into Convenient Materials

1 はじめに

鉄鋼は土木・建築・橋梁・輸送機械・産業機械・エネルギー分野は勿論のこと、日常の家電製品や容器にも大量に使われている。アルミニウム、プラスチックによる挑戦にも耐え、構造材料として相変わらず首位を占めている。これは、強度・靱性、加工性、耐久性、接合性、信頼性などの特性がよくバランスし、リサイクル可能、かつ供給が潤沢で、同一の機械的性質を有する材料を得るための価格（比価格）が低いためである。比価格が低いのは、原料が豊富にあり、安く採掘でき、鉄鋼製品に変換するための所要エネルギーも比較的少なく、変換費も割安なためである。

鉄鋼材料は、(1)鉄鉱石から製品までを溶鉱炉（高炉）一転炉を用い一貫生産する高炉一貫ミル、(2)スクラップを電気炉で溶解・ casting・加熱・圧延して製品とする電炉ミル、(3)スラブ・ブルーム・ビレット（4章に説明あり）などの半製品を高炉ミル、電炉ミルから購入し、加熱・圧延して製品とする単圧ミル、により製造される。天然ガスを産出する地域ではこれを改質し、 H_2 、 CO 、 CH_4 を主成分としたガスにより、鉄鉱石を約1200Kで還元し、固体の鉄を生産する。これを還元鉄という。代表的な還元法にミドレックス法、HYL-III法などがある。この還元鉄とスクラップを主原料とする電炉ミルもある。

これらの鉄鋼製造プロセスは近年著しく進歩したので、資源、エネルギーの消費や環境の汚染が減り、必要量の適時生産が可能となり、材料特性の向上にも大きく寄与している。現在主流である高炉一貫プロセスを図1に示す。左から右に、原料処理→製鉄→製鋼→連続 casting→圧延→表面処理などのプロセスから成っている。以下に各プロセスの設備・操業技術の要点を略述する^{1)~3)}。

2 製鉄

太古、地殻の鉄（Fe）が塩酸を含む雨に溶けて、塩化鉄水溶液となって海に溜り、のちに海中に藍藻が発生した。塩化鉄は藍藻が日中に光合成で作る酸素と反応して、水酸化鉄に変わり海底に層状に沈積した。水酸化鉄はやがて地熱と圧力により脱水され、酸化鉄となり、地殻変動にともない隆起した。これが鉄鉱石の鉱床である。ブラジルの鉄鉱山に行くと、樹々に覆われてはいるが当時の海盆が隆起した地形が見渡せ、時には赤鉄鉱の露頭も望める。ショベルドーザーで削られた鉱床には酸化鉄の層状堆積がはっきりと認められる。このような酸化鉄鉱石は世界に約8千億トン埋蔵されている。ブラジル、オーストラリアに良質なものが多い。ヘマタイト（赤鉄鉱 Fe_2O_3 ）、マグネタイト（磁鉄鉱 Fe_3O_4 ）が代表的で、60%強のFe、数%の SiO_2 、1~3%の Al_2O_3 と若干のリン(P)を含む。鉱石は表層剥土後露天掘りし、破碎、篩分し、整粒塊鉱とする。篩下の粉鉱にはコークスや石灰を混ぜ、焼結機のパレットに入れ、表層に点火、焼結後破碎する（焼結鉱）。一方、Fe分の低い貧鉱は、不純物を除く選鉱時に磨砕し微粉とし、造粒機で球状のペレットにする。いずれも10~25mm径である。日本では塊鉱15%、ペレット10%、焼結鉱75%を混合して鉄源とする。整粒、焼結、ペレット化処理の目的は、高炉の操業と溶鉄の品質を安定させ、エネルギー消費量を下げ生産性を上げることにある。

酸化鉄は通常の高温ではFeとOには分解しない。そこで、Oとの親和力が強い一酸化炭素（CO）、炭素（C）や水素

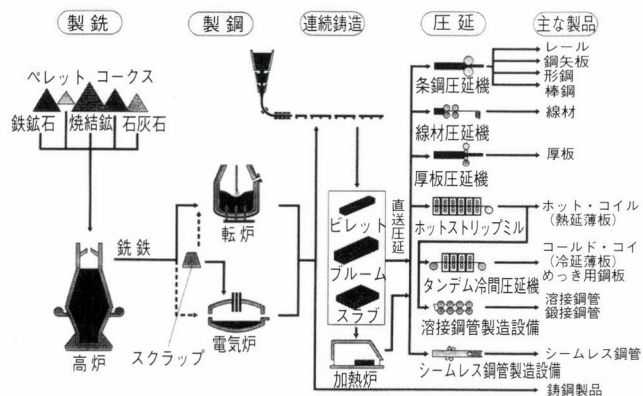
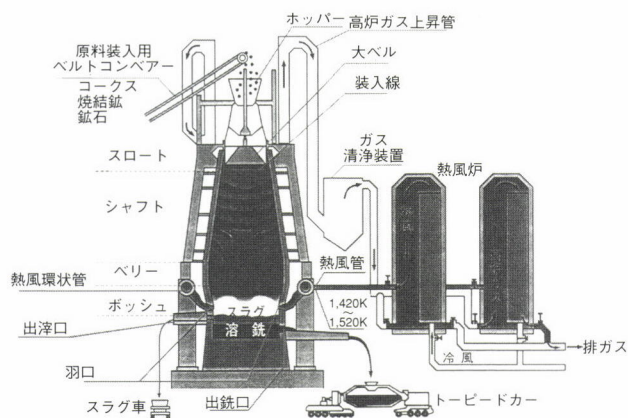


図1 鉄鋼製造プロセス²⁾

ガス (H_2) により高温で還元する。加熱および還元には石炭を用いる。価格が安く埋蔵量 (れき青炭可採量2兆t) が多く、運搬に便利なためである。石炭はCとHが化合した複雑な構造を有し、融点は低い。仮に鉄鉱石と石炭を混ぜて昇温還元したとすると、石炭が融けて鉄鉱石の表面を覆い熱伝達が妨げられ高温に上げ難い。CO、C、 H_2 への転換も遅れ還元反応も進まない。これを防ぐため、石炭を蒸し焼き (乾留) したコークスを使う。コークスも大量の鉄鉱石とともに高炉に投入し高温にすると、衝撃、荷重で粉化しやすい。粉化すると熱風が通り難く熱伝達が悪くなり昇温、COの発生、鉄源の還元が遅れる。そこで高温強度が高く、反応性を高めるよう適当な気孔率を有し、かつ硫黄 (S) や灰分 (Al_2O_3 、 SiO_2 など) の少ないコークスが要る。これをつくるには、れき青炭のうち粘結性がありSや灰分の少ないものを粉砕し、価格を下げるため安い非粘結性の炭種を配合する。配合炭を室炉型のコークス炉に入れ外壁から間接加熱により約1523Kで16hrかけて乾留、冷却、破碎して約50mmの塊とする。代表的な組成はC90%弱、S<0.8%、灰分10%強である。乾留時に発生するコークス炉ガス (H_2 50%、 CH_4 30%、CO10%)、タール、ピッチなどは、燃料や水素ガス原料、化成品原料に利用する。

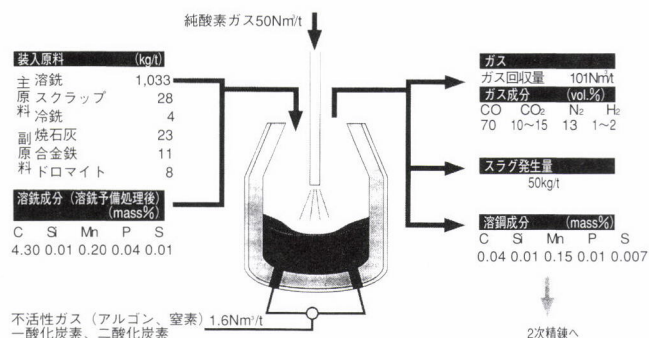
図2 高炉の構成¹⁾

溶鉄炉 (高炉) は溶鉄日産1万トン級のものなら炉体高さ35m、全高80m、鉄皮で覆い耐火物を内張りした炉体の内径約16m、内容積5,200 m^3 である。図2のように、この高炉に鉄源とコークスを交互層状に炉頂から装入し、熱風炉で約1473Kに加熱した空気 (熱風) を炉体下部の数十本の羽口から吹込む。熱風は炉内でコークスと反応し高温のCOと N_2 の混合ガスとなり、炉頂から降下する鉄源を加熱、還元しながら上昇し、炉頂から排出回収される。熱風が炉内を適正な径方向分布をもって通過し、加熱と還元が有利に進むように、炉頂から装入した鉄源とコークスの層厚比と径方向分布を制御するのが高炉操業の要点である。このため、炉頂にはホッパーの下にベル方式あるいは旋回シュート方式などの装入物分布制御装置がある。鉄源は、CO

により還元され、次第に熔融滴下しつつCを吸収し、溶鉄 (4.3%C-0.4%Si-0.3%Mn-0.1%P-0.03%S) となって炉底に溜まる。炉下部高温域では、還元により生じた CO_2 はCとさらに反応してCOとなり、再び還元反応に寄与する。最近ではコークスを節約するため、羽口から熱風とともに安い微粉炭を熱源・還元剤として吹き込む。鉄源やコークス中の脈石分、灰分は焼結鉱に添加した石灰 (CaO) と反応し、溶融スラグ (40% CaO -6%MgO-40% SiO_2 -14% Al_2O_3) となって溶鉄の上に溜まる。これらを一定時間ごとに炉壁の出鉄口、出滓口から抜き出す。炉内容積1 m^3 あたり1日1.7~2.1トンの溶鉄を生産する。これを出鉄比という。1803Kの溶鉄1000kgを得るのに鉄源1630kg、コークス380kg、微粉炭105kg、1473Kの熱風1000 m^3 を使い、溶融スラグ300kgと、CO22%を含む高炉ガス1530 m^3 を副生する。溶鉄1トンをつくるのに使ったコークスと微粉炭の重量の和 (この場合485kg) を燃料比という。溶鉄製造に必要なエネルギーは13GJ、このうち約60%が還元に使われる。高炉は還元を早めるため250KPa位の炉頂圧で操業する。炉頂ガスは除塵後発電機を通して圧力差で発電させ、ガス自体も燃料としてエネルギーを回収する。スラグは冷却後破碎して、路盤材やセメント原料に使う。エネルギー原単位の低減、出鉄量の確保、溶鉄成分・温度の安定、炉寿命延長、が高炉操業の課題である。炉寿命は年々のびて16年をこえるに至っている。

3 製鋼

溶鉄は魚雷型のトービードカーや取鍋に入れ製鋼工場に運ぶ。このさい、溶鉄予備処理として CaO 、 CaF_2 、 Fe_2O_3 などの混合粉末を溶鉄中に吹き込み、まずSiを SiO_2 として、次に不純物のP、Sを $4CaO \cdot P_2O_5$ 、 CaS として除く。さらにSを下げたい時は CaO 、 CaF_2 、Mgなどを吹き込み CaS 、 MgS として除く。

図3 上底吹き転炉による操業例²⁾

(注) 数値は出鋼時の鋼1トン当たりの物質収支

溶鉄を溶鋼に変換する時は予備処理後の溶鉄中の余分のCをO₂によりCOとして脱炭し、P、Sなどの不純物濃度をさらに下げ、合金成分を目標濃度に合わせると同時に、溶鋼を次工程に必要な温度に上げる。この目的には、図3に示す上底吹き転炉が主に使われ、1回の吹錬に150-250トンの溶鉄を20分程度で脱炭する。耐火物を内張りした徳利型の炉体上部から水冷した多孔の酸素吹管（ランス）を通して超音速のO₂ガスジェットを溶鉄上に、炉底部羽口からはAr、COなどの攪拌用ガスを溶鉄中に吹き込む。攪拌するのはO₂ガスジェットとの反応面にC濃度の高い炉底部の溶鉄をより早く送りこみ、脱炭を早め、溶鉄の局所的な過酸化を防ぐためである。

操業はまず転炉を傾け、炉内にスクラップ、ついで溶鉄を装入したのち炉を直立させる。ここで石灰（CaO）やミルスケール（鋼を熱間圧延するため再加熱するさいに生じたFeOを主体とする酸化鉄）も加える。次に炉口からランスを挿入しO₂を吹き込む。O₂とFeOによりまず溶鉄中に残っているSiが酸化され、CaO-SiO₂-FeO系の低融点スラグができる。ついで脱炭が進みつつ溶鉄は溶鋼に変化しながら温度が上がってゆく。このさい、溶鉄中のSはスラグ中のCaOと反応しCaSとして、PはFeOとCaOと反応して4CaO・P₂O₅として、上述のスラグ中に溶けこみ除かれる。炭素濃度が下がってくるとCのみでなくFeの酸化、生成酸化鉄のスラグ中への溶解、によるFeの損失も始まる。これを防ぐには、底吹きガスの吹き込み量を増し攪拌を強める。C濃度と温度が所望の値になるのをサブランスに取付けたセンサーで測定予測し、予測した時期にO₂の吹き込みを中止し、炉体を傾動し出鋼口から取鍋中に出鋼する。出鋼時、スラグが取鍋に流出して溶鋼を再汚染するのを防ぐ。発生するCOは回収し燃料とする。吹錬はモデル計算とセンサーによりほぼ自動制御されている。鋼浴温度は1900Kをこえ、スラグの侵食性も高いので、転炉を内張りする耐火物にはマグネシアと炭素の複合材料を使う。転炉操業では、吹錬終点のC濃度と温度の目標の適中率を上げること、O₂を脱炭のみに利用しFeを酸化させないようにしてFe歩留りを上げること、耐火物の溶損や熱損失を下げることで、重要である。上底吹き転炉操業時の代表的な物質収支例も図3に示す。

電炉ミルではスクラップ、冷鉄、直接還元鉄(2.5%C還元率最大95%)を図1のような電気炉（アーク炉）内に炉頂から装入し、炉上部の黒鉛電極から通電し、発生するアークの熱により溶解する。溶解後O₂をランスを介し鋼浴中に吹き込み脱炭し、所望の温度、C濃度になると炉体を傾動して出鋼する。電気炉の多くは交流アーク炉であるが、最近直流アーク炉が、黒鉛電極の損耗、電力原単位、騒音、電氣的なフリッカー発生が少ないので、普及しつつある。

アーク炉プロセスはスクラップを主原料とし、溶鉄を使わないので鉄鉱石の還元が不要なため、エネルギー消費量が高炉一貫プロセスに比べて格段に低く、スクラップが豊富で電力が安い地域に適している。ただし、スクラップに含まれる不純物元素のCu、Ni、Cr、Snなどの濃度が高くなりやすい。高級鋼用にはこれらの濃度を下げるため、スクラップの選別管理、および銑鉄・直接還元鉄による希釈が必要である。出鋼時のスラグ流出にともなう溶鋼汚染を防ぐには、偏心出鋼孔とスライドゲートを併用する。

このようにして得られた溶鋼には酸素（O）が多量に溶け込んでいる（1873Kで0.1%Cのとき0.21%O、Cが低い程Oが高い）。Oは機械的特性を著しく劣化させるので、取鍋内にAl、Si、Mnなどを加え、OをAl₂O₃、SiO₂、MnOあるいはこれらの複合酸化物として浮上分離させる。これを脱酸と呼ぶ。同時に合金成分元素の濃度調整のため合金鉄も加える。極低炭素鋼製造時には図4左端のようなRH装置で真空槽中に脱酸前の溶鋼を吸上げ、C+O→CO反応を減圧下で進めて脱炭した後に脱酸する。材質要求が厳しい鋼には、溶鋼をさらに脱酸したり、上記の脱酸生成物を徹底的に、例えば数ppm（ppm=10⁻⁴）に低減する必要がある。このためには脱酸した溶鋼中にRH真空槽内でCaO-CaF₂、CaO-Al₂O₃-CaF₂などの低融点粉末フラックスを吹込みCaS、脱酸生成物をフラックスに吸収させて除く。より清浄な鋼が要求される時は、図4左から2番目のLF（ladle furnace）で溶鋼面上にこれらフラックスを加える。ついでアーク加熱によりフラックスを溶解し処理中の溶鋼の温度降下を防ぎ、底部から吹き込んだArで溶鋼を攪拌し熔融フラックスと接触混合させて脱硫と脱酸生成物除去を進める。

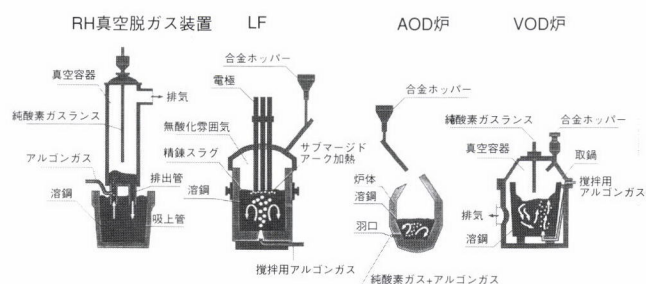


図4 主な2次精錬設備²⁾

ステンレス鋼のようにCr濃度が高く、CrとCの親和力が強いので脱炭し難い鋼にはアルゴンとO₂を吹き込み、溶鋼／ガス界面のO濃度を上げると同時にCO分圧を下げ、上記の脱炭反応を進める。このためには図4右から二番目のAOD炉（Argon Oxygen Decarburization）を使う。さらに低濃度に脱炭する必要がある場合は、図5右端のように底部から吹き込んだArで攪拌しつつ真空下で溶鋼にO₂を吹付け、VOD炉（Vacuum Oxygen Decarburization）を使う。

4 連続 casting

脱酸・精錬した鋼は、図5の連続 casting 機（連 casting 機）に注入する。連 casting 機は、図のとおり溶鋼分配用中間容器であるタンディッシュ、中空水冷銅鑄型と鑄型振動装置、鑄片支持ロール群、スプレーノズル群、鑄片切断用ガストーチおよび鑄片引き抜き用ダミーバーから成る。線、棒、型、管用の鑄片は、断面が丸や正方形で小型のものをビレット、大型のものをブルームという。薄板、厚板用の鑄片は断面が長方形でスラブと呼ぶ。厚さは100～250mm、幅は1200～2400mmである。厚さが40～80mmの薄スラブ連 casting 機もアーク炉と組合わせて実用に供されている。連 casting 機の型式は、彎曲型（垂直に据えた彎曲鑄型と同一半径の円弧上に支持ロール群を並べ、鑄片を完全凝固位置近くで水平に曲げ戻す）と、垂直逐次曲げ型（鑄型と上部支持ロール群は垂直に配置し、そののち鑄片を逐次に曲げ、完全凝固位置近くで水平に曲げ戻す）が多い。前者はビレット、ブルームやスラブの量産鋼用に、後者はスラブ用に用いる。鑄片を曲げるのは建屋高さを下げ、建設費を下げ、同時に鑄片支持、搬出を容易にするためである。鑄片を曲げない垂直型は鑄型内で介在物が上浮分離しやすいため、高級鋼のビレット、ブルーム用に使うこともある。

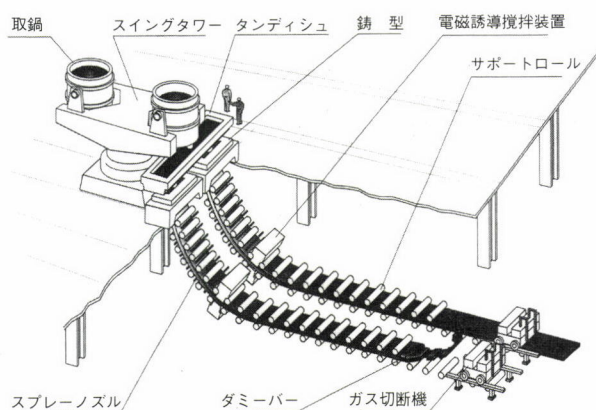


図5 2ストランドスラブ連続 casting 機¹⁾

操業はまず、溶鋼を取鍋からタンディッシュを介しダミーバーで底を塞いだ鑄型内に注入する。このさい、取鍋／タンディッシュ、タンディッシュ／鑄型間には気密な耐火物製浸漬注入管を用い、溶鋼の空気による再酸化を防ぐ。注入過程で生じた非金属介在物が鑄片内に入るのを防ぐため、タンディッシュを深くし、“せき”を設ける。また、タンディッシュから鑄型への溶鋼侵入深さを浅くするため浸漬注入管の先端形状を工夫し、さらに溶鋼流を電磁力で制御することもある。鑄型内で表層が凝固した鋼は下降しつつ中心まで徐々に固まる。鑄片と鑄型との焼付きを防ぐため鑄型は振動させる。鑄型内溶鋼表面は溶融フラックス層で覆って、空気による再酸化と放熱を防ぎ、鑄型／鑄片

間にフラックスの一部を膜状に流入させ潤滑剤とする。鑄片はダミーバーにより鑄型内から下方に引出す。この段階では赤熱した柔らかい表層（凝固殻）の中に溶鋼が残っており、鑄片が下方にゆくにつれて内部の静圧が高まるため凝固殻が膨張変形する。変形すると、鑄片内部に割れを生じたり、成分の偏析が起こったりする。これを防ぐため剛性の高い対向ロールを狭い間隔で配設し、ロールの間に鑄片を支えつつ凝固が終るまで引き抜く。凝固終了直前の位置のロールで鑄片を軽く圧下して、積極的に膨張変形を防ぐ場合も多い。対向ロールと対向ロールの間には鑄片表面を一樣に冷却するよう水や水ミストのスプレーノズルを並べ、鑄片表面割れが生じないように冷却する。凝固終了位置でロールにより鑄片を水平に曲げ戻し、ガストーチで一定長さに切断し、搬出して圧延工程に渡す。

連続 casting は、転炉あるいはアーク炉から次々に供給される溶鋼を、鑄込みを中断せずに連続して casting する連々 casting により、 casting 能力と歩留りが著しく向上する。それは、鑄込みの準備作業が不要となるためと、 casting の始めと終りの、品質が劣るため切捨てねばならない鑄片数が減るためである。連々 casting を推進するため、鑄込みのたびに鑄片幅や鋼種が異なっても連続的に casting が可能な、鑄込中鑄型幅自動変更技術や、鑄込中異鋼種連々 casting 技術が実用化されている。鑄込中に鑄片が破れ、中の溶鋼が洩れることをブレイクアウトというが、これの予知防止技術も実用化された。このような稼働率の改善の他に、 casting 速度の上昇により casting 能力が向上した。現在では2ストランドの大型スラブ連 casting 機では、約3百万トン／年を casting でき、大型転炉の生産能力とよく対応している。鑄片の生産性が向上し、表面欠陥も減少したので、従来行っていた手入れが不要となり、鑄片を熱いまま保熱炉に入れ補助的に若干加熱して圧延するホットチャージローリング（HCR）や、加熱なしに直接圧延するホットダイレクトローリング（HDR）も普及してきた。これらは省エネルギー効果が大きい。

5 熱間圧延

ビレット、ブルーム、スラブなどは、HCR、HDRの場合を除き、加熱炉で加熱したのち図6のような4段ないし6段ロールで圧延する。ロールスタンドは材料と接するワークロール、それを支えるバックアップロール、これらロールを支える枠（ハウジング、図には示していない）およびロールを油圧圧下する装置を有する。熱延薄板（ホットストリップ）は図7最上段のプロセスでつくる。連続加熱炉で加熱した厚さ250mm前後のスラブは、スケールブリーカーと高圧水ジェットにより表面のスケール（高温で生じた酸化鉄）を取り除いたのち、粗圧延機および仕上圧延機

から成るホットストリップミルにより熱間圧延する。粗圧延機は2～6スタンドの2段式あるいは4段式圧延機から成り、往復または一方向の圧延を行う。仕上圧延機は、4段式ないし6段式圧延機を5～7スタンドつないだものであり、最終板厚まで連続圧延する。ホットストリップミルで圧延する薄板の板厚は1.6～25.4mm、最大板幅は1.3～2.2mであり、最終スタンドの圧延速度は毎分1.3km程度である。熱間圧延のあと熱延薄板は冷却してコイルに巻き取る。

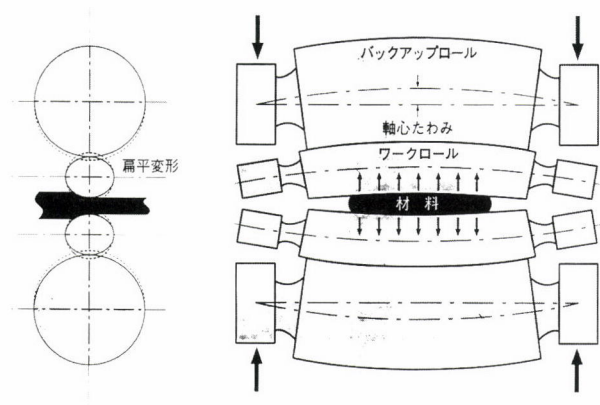


図6 4段式圧延機のロール弾性変形²⁾

厚板は普通、粗圧延機および仕上圧延機それぞれ1スタンドの4段式熱間圧延機による往復繰り返し圧延によって製造する。圧延機は基本的にはホットストリップミル用と同じ構造であるが、より強力であること、ロールの正逆回転が可能であること、ロールの前後にスラブを90°回転させる機構を持ち、スラブの幅より広い幅の製品の圧延ができることなど、が異なっている。

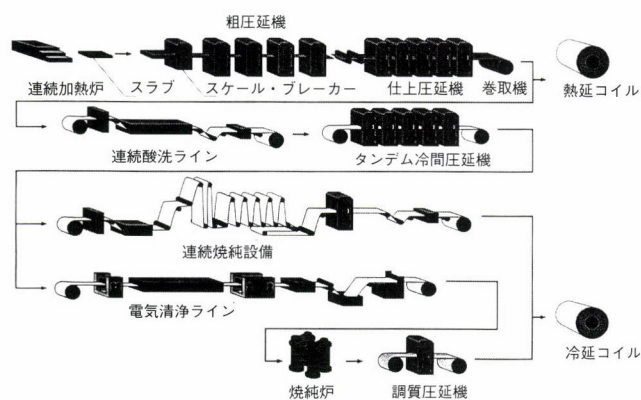


図7 薄板の製造工程¹⁾

線材、棒鋼、型鋼などは、対応する孔型をロールの周に溝状に切ったワークロールを組込んだ4段カリバー圧延機を複数スタンド用い、加熱した材料を孔型に通し圧延成形する。水平のみならず垂直ワークロールを有するユニバーサル圧延機をカリバー圧延機と併用する場合も多い。

熱間圧延で重要なのは圧延中の材料の温度、寸法と形状を目標値の範囲に制御することである。薄板、厚板などの

板圧延を例にとれば次のようである。圧延機にスラブを噛み込ませ圧延荷重をかけると、反力でワークロールとバックアップロールおよびハウジングと圧下装置が垂直方向に弾性変形する。この変形は厚板圧延で反力500～1,000トンあたり1mm位で、これをミル定数という。全変形のうち全2者（ロール）が60～70%、後2者が10～20%を占める。圧延時の板厚は圧延荷重がかかっている時のワークロール間隔に等しい。しかし、材料の温度が不均一なときは、低温部が変形しにくく、反力が大きくなり、ミル定数に比例したロールスタンドの変形がおこり、その部分の板厚が厚くなる。したがって加熱炉での均一加熱が重要であり、このため炉内でスキッド（加熱炉内でスラブを支えるために用いる水冷のレールのようなもの）によるスラブの局部冷却を起こさないウォーキングビーム炉が用いられる。また逆に、圧延荷重が変化すると、その変化分に相当するだけロール間隔を瞬時に変化させ、出側板厚を常に一定に保つ自動板厚制御（Automatic Gauge Control, AGC）を行う。一方、ロールの変形には、図6のように軸心のたわみ変形、ロール自身の扁平変形がある。たわみ変形により圧延材の板厚は中央で厚く端で薄いクラウン状となる。また板幅方向の材料の塑性変形やロールの扁平変形・摩耗などにより、板幅両端では急に板厚が薄くなる。これをエッジドロップという。ロール摩耗もクラウンやエッジドロップに有害である。板クラウンはワークロールを凸型にするロールクラウン、ロールをあらかじめ板クラウンと逆に曲げておくロールベンダーにより改善する。さらに、特殊形状のワークロールを板幅に応じて幅方向にずらすロールシフト方式で板厚の均一化や平坦度の向上をはかる。6段圧延機では中間ロールシフトを行う場合もある。また、ワークロールとバックアップロールと一緒に、圧延材の上と下でロール軸を1.5°までわずかに交差させ、ロール間の間隔を幅方向で調整するペアロールクロス圧延機も板クラウン、エッジドロップ防止に効果的である。ロール摩耗を防ぐには硬度の高いハイスロールが効果をあげつつある。これら板厚や形状の制御は感度・応答性の高いセンサーやアクチュエーターとコンピューターシステムを利用した高度なダイナミックコントロール方式によっている。この結果、熱延薄板の長さ方向の板厚精度は $\pm 50 \mu\text{m}/100\text{m}$ 、幅方向では $30 \mu\text{m}$ 以下/100mmとなっている。ホットストリップミルでは粗圧延後のシートバーを次々に溶接しエンドレスに連続圧延する技術が実用化されつつある。シートバーの両端がなくなり定常圧延ができるため、寸法、形状精度はさらに良くなり、歩留まりも向上する。

最近の熱間圧延では、圧延中に圧下率と温度変化を組合わせ結晶粒、変態、析出などの組織制御を行う制御圧延・加速冷却（加工熱処理）が一般的である。圧延中の材料の

温度を制御するために、板温度のオンライン測定結果にもとづいて冷却制御を行う。ホットストリップミルでは最終スタンド出口温度とコイル巻取温度を設定し、最終スタンドを出てランナウトテーブルを走行中に層流水やミストをコイルの面に噴射して巻取温度に合わせる。厚板の場合も材質要求に応じ制御圧延と組合わせて急速水冷却あるいは焼入れを行う。

6 冷間圧延と熱処理

連続酸洗ラインで表面のスケールを図7上から2段目のように除去したホットストリップを、タンデム冷間圧延機により冷間圧延する。タンデム冷間圧延機（コールドストリップミル）は4段式あるいは6段式圧延機を4～6スタンドつないだもので、最小0.1mm厚までの薄板を、毎分最大2.5kmの速度で圧延する。冷間圧延でも板厚クラウン、エッジドロップの制御は熱間圧延の時と同様である。ストリップのコイル単重を40トンとすると板厚3.2mm、板幅1mの熱延コイルは全長1,600mとなり、板厚0.8mm、板幅1mの冷延コイルでは全長6,400mとなる。現在のホットあるいはコールドストリップミルでは、これを1分から3分程度で圧延する。コールドストリップの厚み精度は長さ方向 $0.8\text{mm} \pm 2.4 \mu\text{m}/10,000\text{m}$ 、幅方向 $\pm 4 \mu\text{m}/1,000\text{mm}$ である。

冷間圧延後のコイルは、加工により硬くなっているため、軟化のための焼鈍を行う。焼鈍とは、鋼を加熱することにより、加工によって導入され硬化の原因となっている転位などの格子欠陥を、鉄原子の拡散によって減少させたり、溶質元素の固溶・析出などを制御するプロセスである。冷延コイルの焼鈍は、従来は、コイルを数個ずつの群（バッチ）にまとめ、箱型炉で行っていた。これをバッチ焼鈍あるいは箱焼鈍という。最近ではコイルを巻き戻し、多数のコイルを次々に溶接しながら加熱炉の中を通過させたのち、ふたたび巻き取る連続焼鈍が主流である。図7の下段

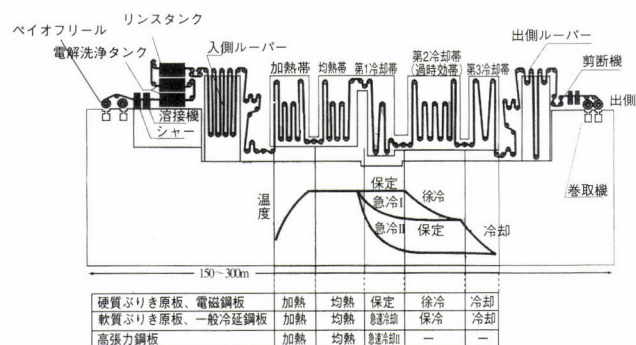


図8 連続焼鈍ラインと焼鈍サイクルの例^①

と図8は連続焼鈍ラインを示す。

ラインの入側には、ペイオフリール、コイル接続用溶接機、電解洗浄装置およびルーバーがある。炉体部は、加熱帯、均熱帯および冷却帯から成る。冷却帯はさらに3つのゾーンに分れており、急冷-加熱保持-急冷などの複雑な冷却パターンがとれるようになっている。出側にはルーバー、剪断機、巻取機があるが、ほかに調質圧延機やめっき設備が設置される場合もある。

連続焼鈍でコールドストリップに加える熱サイクルは、製品によって異なるが、代表的なものは図8に示した3つのパターンである。たとえば、一般冷延鋼板の場合、973Kで約1分間加熱したあと急冷し、673K付近で1分から3分間保持して固溶炭素を析出させ、室温まで冷却する。

設備全長は150～300mであるが、ライン内のストリップの全長は2,000mに及ぶ。ストリップの通過速度は最大200～700m/分であるが、最近では板厚0.15mmの缶用鋼板が最大1,000m/分で通過するラインも実現している。このようなラインの操業には、温度制御、雰囲気制御のほかに、ストリップの速度制御、張力制御、蛇行制御が必須であり、それぞれに高度な自動制御技術が採用されている。

7 表面処理^{②)～④)}

耐食性が必要な薄板は、連続焼鈍後、めっきを行う。代表的なものとして、自動車、建材、家電用の亜鉛めっきと、缶詰、飲料缶、ガロン缶用の錫めっきやクロムめっきがある。これらはいずれも能率の点から、切板ではなくストリップのまま、めっきを行う方式が主流である。

めっきは溶融めっきと電気めっきに大別される。溶融めっきは厚めっき、電気めっきは薄めっきを施すのに有利であり、高価な錫の薄めっきには電気めっき、安価な亜鉛の厚めっきには溶融めっきがよく使われる。図9は溶融亜鉛

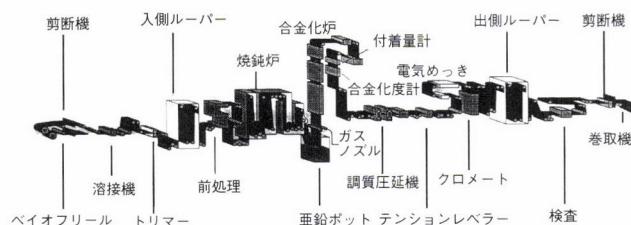


図9 連続溶融亜鉛めっきライン^⑤

めっきラインの例である。

コールドストリップは脱脂、洗浄などの前処理槽を通ったあと、焼鈍炉を経て溶融亜鉛の入ったポットを通り、引き上げられる。焼鈍炉は、必要な材質を得るための熱サイクルを与え、表面をガス還元して活性化し、めっきを着けやすくする機能がある。めっき層の厚さの制御はポット上

部にあるノズルからストリップ両面にガスを噴射して、余分の溶融亜鉛を絞ることにより行う。

亜鉛めっき鋼板の断面は、内側から表面にかけて、地鉄層／鉄・亜鉛合金層／亜鉛層となっている。この亜鉛層外面は、塗装の密着性や溶接性が必ずしも良くない。この塗装密着性と溶接性を改善したものに**合金化亜鉛めっき**がある。これは、めっきしたストリップを合金化炉を通して加熱し、めっき層と地鉄との界面に鉄・亜鉛の合金層を発達させ、亜鉛層外面にまで若干の鉄を含ませてつくる。ラインには通常、合金化炉のあと、調質圧延機、テンションレベラーや、クロメートなどの化成処理設備を設置する。

溶融めっきラインによるめっきとしては、建材用の亜鉛めっきや亜鉛・アルミめっき、自動車用の亜鉛めっきや合金亜鉛めっきが代表的である。自動車用薄板では、プレス成形のときの金型との摺動性や電着塗装性の改善のために、亜鉛めっき層の上に薄い鉄系電気めっきを行うことがある。この場合、電気めっき設備をラインに付置する。

連続電気めっきラインの前処理および後処理設備の機能と構造は、溶融めっきラインのそれとほぼ同じである。電気めっき設備は、消費電力の低減のために、ストリップと陽極間の距離を短くする必要がある。また、めっき中にはめっき液から金属イオンが急速に失われる。さらに、一様なめっき厚を得るには、ストリップ全面に供給されるめっき液の組成が均一でなければならない。均一で能率的なめっきのためには、ストリップ全面にわたってめっき液を高速、均一に供給することが必須であり、めっきセルはこれらの条件に合う種々の構造のものが開発・実用化されている。工業的には高能率化のため、多くのセルを直列に配置する。

代表的な電気めっきは、亜鉛系のめっきと、錫およびクロムめっきである。亜鉛系には純亜鉛めっきと、亜鉛・鉄、亜鉛・ニッケルなどの合金亜鉛めっきがあり、自動車、家電製品および建材などに用いられる。錫めっき（ブリキ）は、缶詰、飲料缶などの食缶に主に使われる。この分野では、缶胴部の接合法がハンダから接着・溶接に移り、ハンダに適した錫めっきの有利性は失われ、代わって日本で開発されたティンフリースチールの生産が増加している。ティンフリースチールは、下層が金属クロム、上層がクロム水和酸化物の2層構造を持つ表面処理鋼板である。

この他に表面処理鋼板としては、種々の樹脂をロールコーターなどで被覆したのち加熱重合させたカラー鋼板、プレコート鋼板、潤滑鋼板、耐指紋鋼板など多様な展開が進んでいる。また、ステンレスでは表面を電解酸化し、酸化膜の厚さを変化させることにより種々の干渉色を出したカラーステンレス鋼板なども建材用に使われている。

8 おわりに

鉄鋼材料の特性は著しく向上する余地を残している。現在最強の、ナノメートルスケールで組織制御した極細線でも、その強度は理論値の1/3にも達していない。不純物元素や非金属介在物の極低濃度への精錬、新しい合金組成や化合物の利用、急冷凝固や加工熱処理による結晶の粒度、方位や組織の精密制御、先進的な表面処理など製造プロセスの進歩により強度、靱性、耐摩耗性、耐食性などは日進月歩で改善されつつある。また、ユーザーフレンドリーな方向への発展も目覚ましい。加工時に柔かく、加工後塗装焼付時に硬化する焼付硬化性自動車用鋼板、競合材料を複合化し加工後の塗装が不要なプレコート鋼板や、断熱施工が不要な耐火鋼などはその例である。これらをもっと広汎に、安価に、高い信頼性で、かつ資源消費（リサイクル）・エネルギー消費（炭酸ガス排出）と大気・水などの環境汚染を最小に保ちつつ実現するのが、よりよい鉄のつくり方である。そのために、より多様化劣質化する原料に柔軟に対応でき、不純物元素や介在物をさらに低減できるプロセスステップが必要である。また、ロボットを導入し人工知能制御した自動化システムにより各プロセスステップをより連続化、同期化した統合システムの実現が必要である。このような課題への挑戦は、鉾石の新しい事前処理、コークスの低温乾留、鉄の溶融還元、新製鋼法など、産官学共同で進められている。

引用文献

- 1) より易しくは、日本鉄鋼連盟；“鉄ができるまで”
- 2) やや詳しくは、森田善一郎、江見俊彦；“鉄鋼プロセス工学入門”（川鉄21世紀財団、1994）
- 3) さらに詳しくは、日本鉄鋼協会；“21世紀に向けて鉄鋼技術10年の軌跡”鉄と鋼、81(1995)、No.4
- 4) 江見俊彦；“技術動向・鉄鋼材料”金属64(1994) No.9～65(1995)No.8〔(株)アグネ〕
- 5) 福島丈雄；第88・89回西山記念技術講座（日本鉄鋼協会、1983）、P.137
- 6) 大和康二；第138・139回西山記念技術講座（日本鉄鋼協会、1991）、P.1

（1995年10月13日受付）



鉄の歴史 ①

現代との対話としての古代製鉄技術

飯田賢一
Ken-ichi Iida東京工科大学 教授
東京工業大学 名誉教授

Ancient Ironmaking Technique as a Dialogue between Present-day and Ancient Times

① はじめに—歴史に学ぶことの基本

歴史とは、たんなる過去の記録ではない。イギリスの歴史家E.H.Carrがいうように、歴史とは、現在と過去との間のつぎることのない対話である。過去は私たちが生きる現在にとっての意味ゆえに問題となるのであり、他方、現在の意味は、過去との関係を通じてこそ明らかになるのである¹⁾。

製鉄技術史を学ぶにさいしての基本的態度もここにある。古代から現代にいたるまで、技術はつねに人間の生活とともにある。人間の生活のあるところ技術があり、知性のはたらいている。技術は人間の知力発達の母体であり、鉄器の登場、製鉄法の獲得が、こうした人間の知力ないし技術思想と社会の進展に大きな影響をもたらしたことはいうまでもない。

フランスの文学者A.Franceは、次のような有名なことばを残した。「人間が未来を築くのは、過去によってのみである」と²⁾。

いまの瞬間から新しい過去ができ、新しい未来がひらける。現実とは、つねに歴史的なものの積み重ねのうえに成り立っている。私たちはつねに人間にとっての技術とは何か、という原点に立ちかえって考えることを念頭に置きながら、謙虚にそれぞれの時代の技術のあり方との対話を試みることが、大切なものではあるまいか。そうしてこそ、技術の歴史を学ぶことは、現代のよりの確な理解と未来への展望を導いてくれるのである。

残念ながら、今日の日本の歴史教育は、政治史偏重の暗記ものとなっている。人文系の歴史ぎらいで、理数関係の学科を好む学生たちが、いきおい理工学部の大半を占める。ところが、大学の理工学部には、建築学科における建築史をのぞいては、当該の専門分野についての技術史や科学史の講座は皆無に近い。総合的ないし学際的な技術史について、何ら学ばぬまま、せまい専門領域の工学を専攻し、工学士となり、社会人になっていく。ちょうど海図や羅針盤をもたずに航海に乗り出してゆくようで、私には決して好

ましい状況とは思えない。いっぽう人文系の歴史学には、ほとんど科学史や技術史の視点を欠き、科学者・技術者に対する認識もとぼしい。

戦時下に型にはまった、いや型にはめられた技術教育を受けた私は、それへの反撥から戦後技術史・文化史の研究を志した。人文社会科学にも理工学にも通ずる、いわば一般教養としての技術史の開拓が私の仕事である。空海が用い、芭蕉が好んで使ったことばに「古人の跡を求めず、古人の求めたところを求めよ」がある。くりかえし言う。歴史とは先人たちの足跡をたんに記録することではない。その時代々々の現実の中で、いかに私たちの先人、科学者や技術者が創造的な精神を燃焼させてきたか、そこにどんな論理や法則、ないし「本質」がかくされているか、現代と対話を試みつつ、それを探求していくことが、歴史に学ぶことの基本である³⁾。

② 科学技術を育くむ文化的土壌

かつてLeonardo da Vinciは、手記にこう書きとめた。「自然は、経験の中にいまだかつて存在したことのない無限の理法にみちている」と⁴⁾。

それから500年後、いま人類はスペース・シャトルに乗って大宇宙へ飛び出し、無重力環境で基礎実験を繰り返し、これまでの経験ではつかみ得なかった自然の理法を探り、アモルファスはじめ最先端技術を生み出しつつある。極微の世界への探究にいどみ、走査型トンネル顕微鏡(STM)などを用いて“ナノテクノロジー”を開発しつつある。

けれども、ここで私たちはひとつ謙虚に反省することにして。人間が宇宙へ行けるのは、また帰ってくるこのかけがえのない地球＝母なる大地があるからではないか。そして原子レベルの先端技術に挑戦するのも、ほんらい人間が人間として、より豊かに賢く生活しつづけるためではないか、と。

洋の東西を問わず、人間は母なる大地のうえで生活し、技術を営み、知恵をはたらかせている。ちょうドラテン語

のhomo(人間)はhumus(土)からきたと言われるように、どんな民族もまずみずからがそこで生活する大地に工を加え、それを耕し、それぞれの大地の条件に応じつつ文化(culture)を築き上げてきた。人間の生活とともにある技術、いいかえると、人間が生きてゆくためにものをつくることは、あらゆる時代における文化の基礎であり、源泉である。日ごろ私たちが使いなれた漢字で言うと、「土」の字の上の部分の平らにする、つまり耕して人間的なものにすることが「工」である。技術も文化も大地をはなれてはあり得ない。

そこで、とりあえず「工」＝「技術」とうけとめてみると、技術を考えるうえで大切なことは、ある道具や機械や装置の大小ではなく、また他地域に対し、おくらしているか進んでいるかでもない。じつはその大地に生活する人びとにとって、どういうやり方が最も好ましいか、その大地の諸条件にかなっているか、つまり「土」と「工」とのバランスにある。この点、江戸時代の最高の農学者の一人、大蔵永常が、その著作『農具便利論』(1822年)の中で、次のように鉄製品としての鋤のよし・あしを論じているのが注目に値する⁹⁾。

「鋤は諸国とも其所により形も変れり。其ゆへは、土のねばき所にて砂地につかふ鋤を用ひては、少しも用をなさざるがごとし。その土地にしたがひ、昔より^{つか}遣ひなれたるものあれば、何ぞ畿内に用る鋤のみ用をなして、其他の鋤は用をなさざるといはんや。鋤は国々にて三里を隔てずして違ふものなり。」

人間が生きてゆくためにものをつくる、その大地の条件は、それぞれ固有の性質をもつ。文化的な伝統もちがう。ある国で良い製品でなくては他の国にとって良いものとはならないが、しかしある国ですばらしいものがつくられたとしても、それがそのまま他の国にとっても好ましいかという、決してそうは言えない。今日、ことに第三世界への技術協力・輸出にさいし、わが国はしばしば文化摩擦に当面するが、その理由は「土」と「工」とのバランスにある。紀元前3世紀のころから、わが国は稲作とともに、古代中国大陆や朝鮮半島から鉄器文明を受容し、5～6世紀をへて完全に自まえの鉄鉱(砂鉄)資源にもとづく製鉄技術を確立させている。この場合も当時の日本の大地の条件にあわせて、いわば新しい土着技術文化を築いてきたことを忘れないようにしよう。「就地取材」が古代以来、技術の定着・普及の原則である¹⁰⁾。

私たちは、たとえどれほどすぐれた先端科学技術であっても、それが一定の環境条件の中で生まれ育った以上、それを受け容れる地域や民族の土着文化と調和しないことには、真の人間のための技術として民衆の生活に決してなじまないことを、あらためて理解すべきであろう。da Vinci

は「知恵は経験の娘である」と、名言を残した⁷⁾。世界いづれの民族も、生活する大地に即して営々と築き上げてきた長い技術の経験の中に、決して非科学的ではない合理的かつ人間的な知恵を蓄えている。ほんらい平和で豊かな土着技術の文化的土壌こそ、新しい科学技術を生み育てる母体であった、と私たちは考えてよい。

3 鉄器時代の始まり

さて、オランダの古代技術史家R.J.Forbesが指摘するように、金属の語源、ギリシア語のmetal-laoは「さがす」を意味し、metal-leiaは金属をさがすこと、つまり探鉱、採鉱にあたり、metal-lonは「さがす場所」つまり「鉱山」にあたる⁸⁾。人類最古の金属製錬＝冶金技術の発端は、金・銀・銅・鉄などの鉱石資源と、燃料としての森林資源にめぐまれたアナトリア高原＝古代オリエントにおこり、冶金術の知識はやがてアジア・アフリカ・ヨーロッパなどの諸地域をへて広まっていった。アナトリア山地にボアズキョイ(ハットウサ)を首都として築かれたヒッタイト民族の国家が、世界で初めて鉄器を独占的に製造し、強大な権力をもって広い版図を治め、南のエジプト新王国と覇を競った。これは近年の中近東文化センターを中心とする中央アナトリアの製鉄遺跡調査からも知られている⁹⁾。

次に古代東アジアにおける冶金技術の知恵の一端をみよう。秦代(紀元前3世紀)の著作と考えられる『呂氏春秋』類別篇に、「金柔錫柔、合而柔則為剛」という一節がある。文中の金とは銅をさす。銅も錫も柔らかいが、この二つを合わせると剛なる金属として、青銅という合金ができる、という知見がよく示されている¹⁰⁾。司馬遷著『史記』(紀元前1世紀)の「貨殖列伝」ともなると、ある目的をなしとげるために身につけたわざとして「技術」という用語が、はやくも登場し、農林水産業・商業のほか、製鉄・鍛冶・鋳物など諸工業分野の有様がいろいろのかたちで叙述されている。この書はわが国では広く読まれ、明治初年の『米欧回覧実記』(久米邦武編)にも、ヨーロッパの工業を紹介した箇所¹¹⁾で「抑々百工ノ事ハ、鉄ノ力ニヨルモノナリ」とのべたあと、「史記ノ貨殖列伝ニ、鉄冶ヲ以テ富ヲ興セル数氏ヲ記ス」とある¹²⁾。

両書は日本の弥生時代(紀元前3～紀元後3世紀)、稲づくりと金属文化の始まった時代の文献である。わが国における金属の製錬・加工は、自然発生的に始まったのでも、隕鉄の発見やその加工から起こったのでもない。すでに中国が高度の冶金術の知識と経験をもっていた。またその影響下に朝鮮半島が鉄器時代に入っていた。アジアの最も東に位置する日本は、とうぜんこれら大陸諸国から金属・鉄器文明を受容したのである。今日でいう一種の技術移転であ

る。

大著『鉄の歴史』で知られるL.Beckは、石器時代→青銅器時代→鉄器時代という通説を批判し、青銅器時代は製鉄技術と鉄に関する冶金知識の発展が前提となつてはじめて実現し得た、という提言を行なっているが¹²⁾、中国・朝鮮に対し後発製鉄国であった古代日本の場合、Beckの見解は当てはまっている。紀元前3世紀、わが国に農耕文化が起こったところ、はやくも鉄斧・鉄刀子・鉄鉋(やりがんな)など、木製品や骨角製品をつくるための鉄製工具類が、九州から瀬戸内・近畿地方にかけ、西日本一帯に伝来し、使用されていた。考古学上の出土鉄器が、その状況を明らかにしている。列島内で鉄器の使用が始まったのは、水田稲作の導入された縄文晩期であり、福岡県糸島郡二丈町曲田遺跡出土の小型板状鉄斧が知られている¹³⁾。

興味深いのは、戦後まもない1951年に、東亜考古学会が発掘調査した長崎県原の辻、唐神遺跡の事例で、弥生時代の農具・工具など多種類におよぶ鉄製生産用具が明らかにされ、その中に特定の製品形状をもたぬ鉄片、いわば半成品が多く出土したことである¹⁴⁾。今日、発展途上国が製鉄工業化を始動する場合、輸入鉄器の使用については半成品の加工の段階に入るのが至当であるが、わが国の先人たちも同様の方法をとっていたのである。

女王ヒミコの活躍した紀元3世紀ともなれば、石器類の出土品は消滅し、九州地方以外の地域にも鉄剣・鉄刀などの武器類が普及する一方、近畿地方で鉄斧・鉄鉋・鉄刀子・鉄のみ・たがね・きり等工具類が急増する。これに対し、九州を中心に、鉄鋤先・鉄鎌等、農具類が激増する。かなりの地域差を示しながら、日本全土に鉄器時代が広まっていったのである¹⁵⁾。

4 鉄器時代確立の三段階

『魏志』東夷伝の弁辰の条に次の一節がある。「国、鉄を出す。韓・濊・倭、皆したがってこれを取る。諸市に買

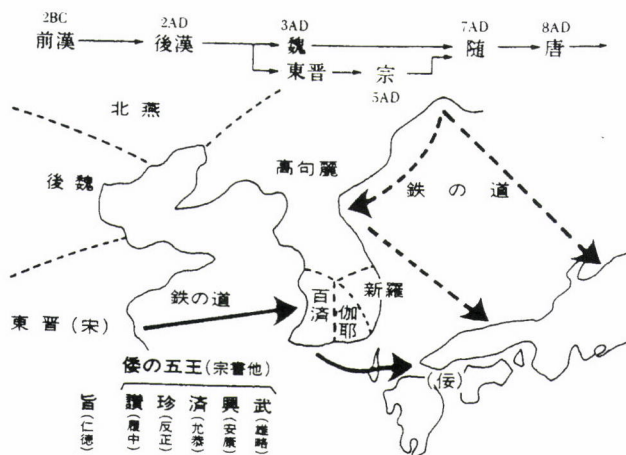


図1 5世紀初頭の東アジアと鉄の道の一例 (※1)

うに皆鉄を用う。中国の銭を用うるがごとし。またもって二郡に供給す。」

3世紀のころ、弁辰(弁韓)を支配していたのは、いまの韓国南部にあたる駕洛(伽耶)諸国といわれ、その中心国であった金官国は532年(いわゆる「任那日本府」滅亡の30年ほどまえ)までつづいた。その弁辰が楽浪・帯方の「二郡」に鉄を供給し、倭人はこれを銭(貨幣)を用いるように求め、扱ったのである。また「市」とは、国々間の交換の場としての公的な「市」である。その形成は朝鮮・対馬海峡をその舞台とするような共同体間の境界地で始まっている¹⁶⁾。

古代アジア史家の東潮は、そのころ中国内でも流通する「鉄」の存在例として、河南省鄭州市古荊鎮の製鉄遺跡から出土した「梯形鉄板」を想定し、漢・三国時代には新羅・伽耶の地域で「鉄鋌」(てつてい)というかたちの鉄板が製作されていたことを指摘している。ここで河南省出土の梯形鉄板(総重量約10kg)は、「鉄鉄鑄造で退化脱炭して鋼としたもので、鍛造鉄器の素材となしうる」という。このことは、古代日本の鉄器文化を考えるうえで、大へん重要な指摘である¹⁷⁾。

文献資料と考古学的出土遺物との対応はまだ慎重を要するものが多いとしても、『東夷伝』に記載の「鉄」は「鉄鋌」、つまり一種の地金で、貨幣のような役割を果たした。その出土品は、南朝鮮からも、九州および大和あたりの古墳からも多く見出される。ただし、一定の形状をそなえた鉄鋌以外に、純粹に素材としての鉄、つまり今日ふつう鉄塊(インゴット)とか鉄片(ピレット)などの用語で言い表わされる半成品のようなものも、注意深く観察すれば、弥生時代から古墳時代にかけて、かなり広域にわたり国内に出土している。さきにものべたように、古代の鉄冶金技術はまず地金の鍛造加工から始まったのである¹⁸⁾。

わけても、初期稲作農耕の好適地である玄海灘に面した福岡県二丈町深江の後背地に存在する、曲田遺跡と称する前出の縄文終末期遺跡から出土した鉄斧用板状の鉄片は、すでにわが国の先人たちが稲作開始の当初から、鉄器を、多くの縄文系石器、大陸系磨製石器と併用していたことを示し、注目に値する¹⁹⁾。

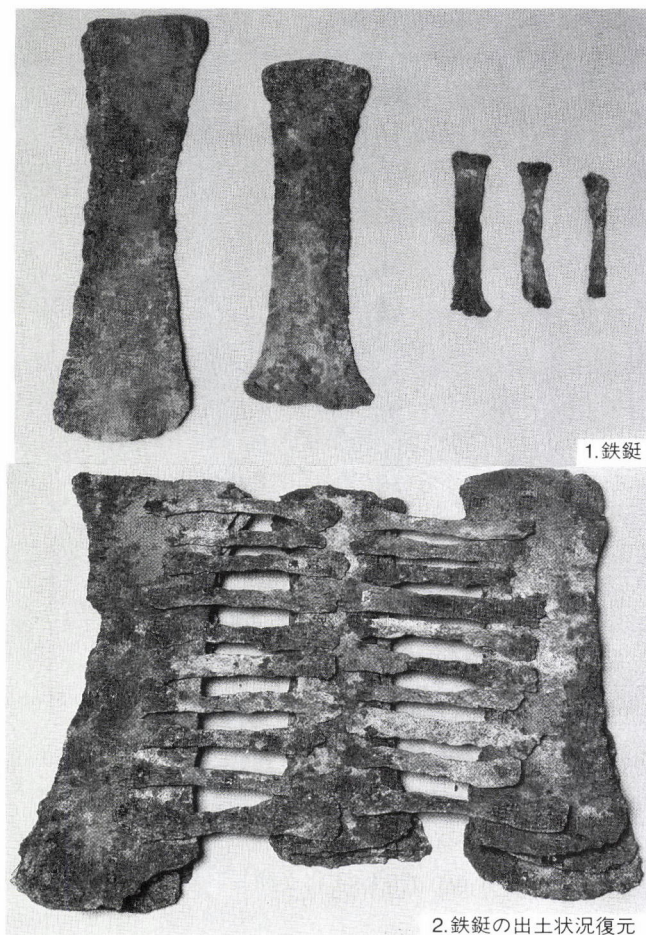
『稲と鉄』(小学館、1983)の編者、考古学者の森浩一がのべるように、日本列島の鉄器文化は、次の三つの段階をへて成立した、とみるのが妥当である²⁰⁾。

①他地域(アジア大陸)から製品だけがもたらされる。つまり鉄器を使用する知識をつむ段階。

②鉄鋌や、あるいは古くなった製品がもたらされ、それらを材料として新しい鉄製品をつくることが可能になった段階。

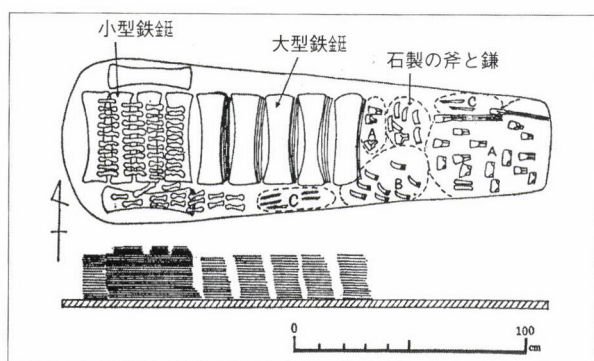
③自まへの資源(鉄鉱石や砂鉄)を用いて、製鉄(製錬技術)が始まった段階。

当初から③の段階、つまり本来の意味における「製鉄」の段階に進むことは、後発国の場合、技術史的にみても不可能に近い。少なくとも、得策ではない。東アジアの中でいちばんおくれで古代国家を築き上げた日本人は、①、②



1. 鉄鋳

2. 鉄鋳の出土状況復元



3. 宇和奈辺大和6号墳出土鉄鋳出土状況図 (森 1974より)
図2 5世紀の代表的古墳出土の鉄鋳 (※2)

の段階をへて、古墳時代(5~6世紀)によりやく完全に自まへの製鉄文化を確立した。近代日本がその工業化過程において、「小さく産んで大きく育てよ」の鉄則をあやまり、しばしば失敗を重ねた事例を思いあわせると、古代人の技術選択は正当であった、と考えてよい。

5 韓鍛冶から倭鍛冶へ—古代製鉄技術の起こり

さて、鉄器時代確立の三つの段階の中で、①の期間は②の期間にくらべて大へんに短い。森浩一も指摘するように、弥生時代や古墳時代にアジア大陸から渡来したと考えられる鉄製品の出土は、全体数の中で微々たるものでしかない。そして、北九州が先頭を切って、たちまちのうちに鍛冶・加工を開始し、わが国の風土にかなった独特の鉄器を製作し出している²¹⁾。

ことに弥生時代後期の3世紀には、さきの『魏志』の記録が語るように、鉄地金がいわば東アジア一帯の国際交流商品であった。かかる情勢を反映し、巨大古墳を築いたような地方王権や豪族の場合、6~7世紀にいたるまで、②の段階が主流であった。「鐵」の古字「鋳」(外国からきた鉄の意味)は、故なしとしない。

そこで、現代の考古学者間では、弥生時代には鉄器は製作されても、鉄の生産(岩鉄や砂鉄の製錬)は行なわれておらず、③の段階への古代日本の到達は、北九州では福岡市の海岸から福岡平野にかけて点在する製鉄遺跡群から6世紀、近畿地方では確実なものは、滋賀県マキノ製鉄遺跡群の8世紀、そして中部・関東・東北などの各地域まで、ほぼ全国的に進むのは奈良時代、というのが一般的見解である²²⁾。文献資料のうえでたとえば『常陸風土記』の慶雲元年(704年)の条に、香嶋郡若松浜、いまの鹿島灘の浜辺で、国司・安女朝臣(くにのつかさ・うねめのあそみ)が鍛(かぬち)、佐備大麻呂を率い、浜の「沙鉄」を採って剣をつくった、とあり、『続日本紀』大宝3年(703年)の条には、鉄穴(かんな、鉄鋳石を採るところ)を志紀親王に賜わった、という記録がみえる²³⁾。自まへの資源を用いての製鉄が、国家的経営のかたちをとりながら進められていたことは確実である。

これを古墳出土の上古刀のごとき、いわゆる古代の芸術的作品にみても、正倉院御物の中国渡来^{から}の唐太刀や、帰化人による唐様大刀など、4世紀末ないし6世紀初期のものは、地金の科学的分析からいって、鉄鋳石を溶錬した「百練鉄」に類する韓鍛冶の系列に属すのに対し、6世紀以後の作とされる正倉院刀の大部分および各地の出土刀は、砂鉄製錬特有の地肌をのこす鍛錬刀、すなわち「倭鍛冶」(やまとかぬち)の刀である。記紀にもとづく表現によれば、古代日本の鉄器文化は、まさしく韓鍛冶から倭鍛冶への発展であったといえることができる。

ここで、いま少しく古代日本の製鉄技術の解明を進めてみよう。

供献鉄滓という考古学上のことばがある。古墳の玄室入口あたりに、しばしば多量に積みこまれ、出土する。古代の地域権力者と鉄の生産とが、いかに密接に結びついてい

たかを物語る格好の資料である。鉄製の武器、農具、工具とともに出土する供献鉄滓の例も多い。一般民衆の住居地からは、鉄製農工具の出土はほとんどみられない。鉄と農工具の生産は、古代王権・豪族の支配下、ないし専有のもとにあったのである。だが、どの農工具も実用的なかたちをもつことは、これらが祭祀用の青銅器や銘文鉄刀などとはちがいで、じっさいに使われたことはまちがいない、鉄製の農具・工具が、古代の農業生産力をいちだんと高めた象徴であったことがわかる。

6世紀ころの大規模の製鉄遺構ともなれば、森浩一もいうように「炉の跡もはっきりしており、小型トラック一杯分くらいの製鉄滓」が出る²⁴⁾。今日の鉄鋼業でいえば、いわば高炉をもつ銑鋼一貫製鉄所の大企業の段階である。だが、今日も資本力を要する大規模の高炉設備をもたず、もっぱら鉄くずと銑鉄を外部から購入し、製鋼・圧延加工のみを行なって、民衆生活により直接に結びついた中小企業が独自の存在意義をもつように、いわば小規模製鉄が全国各地に(江戸時代の村の鍛冶屋のように)あったはずである。この点、日立金属研究所長清永欣吾の発言は、製鉄技術の実態を知るだけに、考古学者の見解とちがって、まことに要点をとらえている。氏は言う²⁵⁾。

「弥生時代前期くらいから鍛冶滓があることは、加工技術があったことを意味する。加工が行なわれているのに製鉄技術が5世紀半ばまでないというのはおかしい。つまり、そのころは生産工程がちがっていた。製鉄イコール加工であった。比較的低温で還元した鉄塊を再加熱してたたき、滓を絞り出しながら形状をつくる。すると大きいものはできないが、小さいものならできる。しかも重要なことは、そういうつくり方をするかぎり、いわゆる製鉄滓は出ない。鍛冶滓と思ってわれわれが見るのは、鍛冶滓でもあり、かつ製鉄滓でもあるわけで、そこに日本の古墳時代以前の製鉄技術の本質がある。」

なお、年代を確定できぬ鍛冶滓の類は、現在東北の各地にも続々と出土している。古代東北地方は、いわゆる「化外の地」といわれたが、はやく大和朝廷の記録に「東辺北辺に鉄冶置く事を得じ」(700年)とあり、みちのくは、むしろ鉄の鍛冶・加工の先進地域であったことが明らかである。官符(787年)の一つには、蝦夷人は中央権力の残した武具の廃材「冑鉄」で農具をつくる故、これを打ち捨ててはならぬ、という記録も残っている²⁶⁾。あの『旧約聖書』のことは、「剣を打ち変えて鋤となし、槍を打ち変えて鎌となし、人はふたたび戦いのことを学ばざるべし」といった人間的知恵を、古代のえみしたちはすでに獲得していたのである。幕末に、この東北地域(釜石)から洋式高炉による鉄鉱石の製鉄という、近代製鉄技術の創始がなされたのは、源流をたどれば古代以来の長い土着製鉄文化の土壌が

あったからにほかならない。

古代製鉄技術史の解明には、いちだんと民衆生活の基盤に結びついた視点から、学際的な手法を折りこんだ研究がなされることが大切であろう。

6 銘文鉄刀の語るもの

それにしても、古代日本における鉄器文化の最高技術水準を語るものは、何としても古墳出土の鉄製遺物である。そこで終りにとくに銘文鉄刀の問題をとり上げ、小論を結ぶこととしたい。

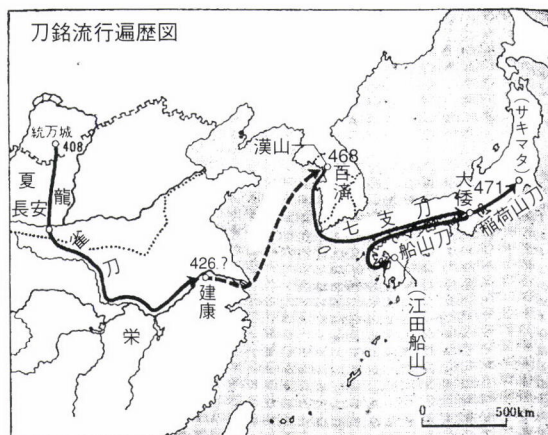


図3 銘文鉄刀の渡来経路 (※3)

周知のように、1968年、埼玉県行田市に所在する「さきたま古墳群」(6世紀ころ)の中の稲荷山古墳から、鉄刀が出土した。10年後(1978年)劣化が激しいため、それは奈良元興寺文化財研究所に送られ、保存処理がなされた。この時、X線照射により金象嵌の銘文115文字がはじめて発見された。所員の的確な配慮もさることながら、戦後における非破壊検査技術の発達の賜物である。

日本史・東洋史関係の古代学者たちにより、頭初の文字「辛亥の年」は471年と比定され、文中もっとも重要な意味をもつ「獲加多支爾大王」は、中国の史書『宋書』に「倭王武」の名で登場する「雄略天皇」にあたることが明らかとなった。文末には「天下を治むるを佐けんが為に、此の百練の利刀を作らしめ」とある。「百練」とはなにか²⁷⁾。

ここで対比されるのが、はやく1873年に発掘された熊本県玉名郡菊水町江田の古墳から出土した銀象嵌の銘文(約75文字)をもつ江田船山大刀である。この頭初文字は「天の下治しめすワカタケル大王の世」と読めるから、稲荷山鉄刀と同時代であり、この銘文には「刀を作りし者」(鍛冶工人)の名は「伊太加」と刻まれているうえに、その製法が次のように記載されている²⁸⁾。

「一釜の美し鉄(銅鉄)の板と、併せて4尺(約90cm)の刀形の鋌を用いて、八十たび煉えて、十握(約90cm)あまり3寸(約9cm)の上好なる利刀を造らしめた。」

ここには「八十練」とある。鋌とはさきにみた鉄鋌のことである。さらに、稲荷山・江田船山両鉄刀とあわせ比較されてよい資料が、大和・石上神宮に伝わる神宝「七支刀」である。『古事記』にも表われるこの刀は、表に34字、裏に27字、計61字の銘文がある。中国の南朝宋の年号「泰始4年」(468年)に、「百練鋼の七支刀」を、「百済王世子」が「倭王」のためにつくり、これを後世に伝えんことをねがって贈った、と解釈できる²⁹⁾。

さて、江田船山の場合は素材としての鉄を80回も鍛えて利刀をつくった、と受けとめてみるのが一般的である。これに対し、七支刀と稲荷山の場合は、「百練鋼」という名の材料を用いて刀をつくった、という解釈が成り立つ。

さいわい稲荷山鉄刀は、保存処理のさい、元興寺文化財研究所に合計0.3gほどの鉄さびが残された。その一部を資料として1982年に超高压電子顕微鏡により(当時の新日鉄・基礎研究所において)科学的解析がなされた。その結果、地金の成分は炭素C0.2~0.3%の軟鋼で、チタンTi0.01%以下、銅Cu0.35%、マンガンMn0.18%、と計測された。鋳石の要因からいって、チタンの少なさに加え、銅分の多さは日本在来の砂鉄資源ではなく、含銅磁鉄鋳を製錬したものであることが、明らかにされた。さらに鉄さび(黒錆)の中に残る非金属介在物(造滓材の成分、CaO・Al₂O₃・SiO₂など)の解析から、地金の製法は前漢(紀元前3~2世紀)時代に開発された《炒鋼法》と同様のものであることがほぼ解明された³⁰⁾。

炒鋼法とは、固化した銑鉄を再加熱し、溶融状態で攪拌し、空気酸化を行なって炭素を低減し、鋼にする方法で、原理的には産業革命期にイギリスで発明されたパドル法(鍊鉄製造法)と同じで、のちの平炉法(鉄くず製鋼法)の原型と言えなくもない。そして「百煉鋼」とは、こうして溶

融状態で脱炭してつくられた鉄に、さらに鍛打・加熱を百回近くも繰り返してでき上った、きわめて清浄で軟らかく、象箴しやすい鋼と考えられる。刀身の棟金部分に銘文を刻み込むには最適であり、前記の炭素量0.2~0.3%という解析結果ともよく符合する。

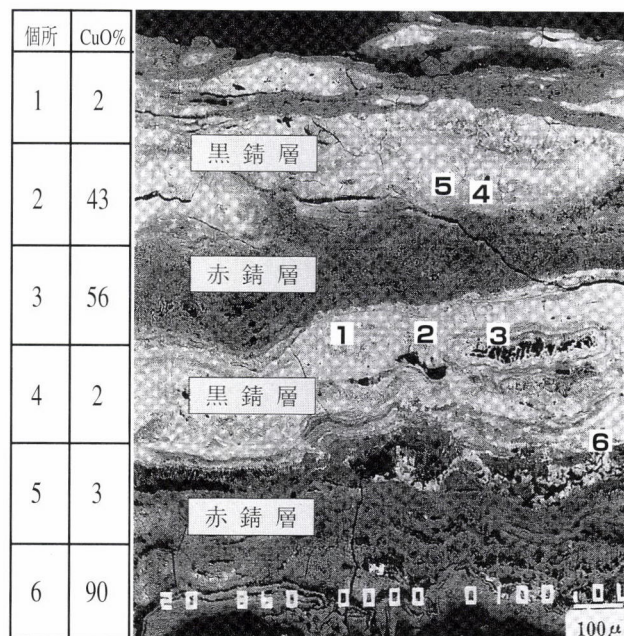


図6 稲荷山鉄刀の解析、黒錆層への銅分の濃縮(CMCによる反射)(※6)
(佐々木稔による。Cu分が黒錆中に濃縮されていることを示す。)

日本で含銅磁鉄鋳といえば岩手県釜石産が知られるが、18世紀の本草家阿部将翁によってようやく知られるようになったもので、5~6世紀にはとうぜん利用の対象にならない。古代日本の製鉄に関係があると考えられる含銅磁鉄鋳は、山東省から揚子江沿岸にかけての江南地方のものである。その製錬品がさらに精錬・鍛造の過程をへて、地金として日本へ伝来し、稲荷山や江田船山の銘文鉄刀が誕生したと結論づけてよいであろう³¹⁾。

1968年出土のとき真赤に錆びた鉄刀にすぎなかった稲荷山古墳出土鉄刀は、現代科学技術の光をあびて、1983年には国宝に選ばれた。目には見えないが最も肝心のものが解明されていくこと、歴史研究の楽しさはここにある。

7 おわりに—古代アジア史の枠組みの中で

日本の古代国家の形成とかかわり合う、5世紀から8世紀にかけての渡来人の移住の波は、東アジアの諸国家・諸部族間の相互の戦争と平和といった国際関係と密接に結びついている³²⁾。まず5~6世紀の渡来人の中の手工業技術集団が、鍛冶部(かぬちべ)などとして、律令制下に組みこまれた。かれらはU字型の鋤や鋤、また鎌のような農具および諸工具をつくり、さらに鋳留技法による鉄製甲冑など、支



図4 銀象嵌銘鉄刀〔複製〕
(熊本 江田船山古墳)(※4)



図5 七支刀(奈良 石上神宮)(※5)

配者用の武器づくりを推し進めた。と同時に「文字」の文化を日本列島に持ちこんだ。江田船山古墳および稲荷山古墳の銘文鉄刀に刻まれた、きわめて「日本的な文字」は、何よりも雄弁にこのことを私たちに語りかける。日本の鉄器文化の始まりは、文字文化の起こりを意味したのである。

こうして、古い渡来人たちによって、まず古代日本文化の土壌が形成された。前記②の段階の鉄器文化がその基礎であった。そして、高い農業生産力の創出を背景に、それまでにない土木・建設技術が生まれ、ついに自まへの資源にもとづく新しい鉄づくり、すなわち比較的大規模の生産組織をともなった鉄製錬技術のシステムが登場し、これが古代国家の成立を支えたのである³³⁾。

次に、唐の高句麗征討に端を発する東アジア諸国の動乱を機に、7世紀後半以後に渡来人が集中する。この場合は古い渡来人とちがい、その役割がちがう。大きくは2群に分れ、一つは朝鮮の母国においても支配層に属し、日本でも律令国家の官僚群に編入された人びと、もう一つは一般民衆として渡来し、各地の公民として位置づけられた人びとである。後者はまた地域の生活に密着した小規模の製鉄など、古代技術の推進に寄与したであろうことは十分に推察がつく。

ちなみに、745年に起工された東大寺と大佛の造営にさいし、その技術の総合的な指揮にあたった行基は、百済渡来の工人の家の出身であり、752年大佛開眼に先立ちその鍍金に必要な産金を律令国家に寄進したのは、陸奥国の国造(地方長官)百済王敬福であった。

古代日本における金属文化・鉄器文化の形成とその発展は、こうして東アジア史の全体の枠組みの中で、ますます多角的かつ総合的に解明されていくべき課題を、私たちに投げかけている、と言うことができる。

引用文献

- 1) E.H.Carr, 清水幾太郎訳:歴史とは何か(1962)〔岩波新書〕
- 2) 桑原武夫:日本文化の活性化(1988)〔岩波書店〕
- 3) 飯田賢一:技術史—人間と技術のふれあい(1990)〔放送大学教育振興会〕、飯田賢一:教養教育としての技術史(前田清志編:技術史教育論(1995)p.22〔玉川大学出版部〕
- 4) 7) 杉浦民平訳:レオナルド・ダ・ヴィンチの手記・下(1973)p.13,p.9〔岩波文庫〕
- 5) 三枝博音編:復刻・日本科学古典全書6(第11卷)農業・製造業・漁業(1978)〔朝日新聞社〕
- 6) 飯田賢一:人間と科学技術—科学技術文化論30講(1994)p.3〔近代文芸社〕
- 8) 10) 飯田賢一:銅、青銅から鉄へ、週刊朝日百科・世界の歴史10(1989)
- 9) 中近東文化センター:1994年度トルコ調査報告会・第5回

トルコ調査研究会(1995)古代中近東世界の鉄器文化

- 11) 久米邦武編・田中彰校注:特命全権大使米欧回覧実記5(1982)p.202C〔岩波文庫〕
- 12) 中沢護人訳:ベック・鉄の歴史、第1巻第1分冊(1974)〔たたら書房〕
- 13) 石井昌国・佐々木稔:古代刀と鉄の科学(1995)〔雄山閣〕
- 14) 岡崎敬:考古学雑誌、42(1)(1952)
- 15) 潮見浩:鉄・鉄器の生産、岩波講座日本考古学第3巻、生産と流通(1986)〔岩波書店〕
- 16) 17) 東潮・大林太良編:日本の古代第3巻、海をこえての交流(1986)〔中央公論社〕
- 18) 20) 21) 22) 33) 森浩一編:日本民俗文化大系3・稲と鉄—さまざまな王権の基盤(1983)〔小学館〕
- 19) 奥野正男:鉄の古代史1・弥生時代(1994)〔白水社〕
- 23) たたら研究会編:日本古代の鉄生産(1987)
- 24) 25) 森浩一対談集:古代技術の復権—技術から見た古代人の生活と知恵(1987)〔小学館〕
- 26) 飯田賢一:日本人と鉄—現代技術の源流と土壌(1982)〔有斐閣〕
- 27) 28) 29) 宮崎市定:謎の七支刀—五世紀の東アジアと日本(1983)p.154,p.167〔中央公論社〕
- 30) 31) 日吉製鉄史同好会:稲荷山鉄剣の六片の錆(新日鉄広報企画室編:鉄の文化史(1984)p.148〔東洋経済新報社〕
- 32) 鬼頭清明:大和朝廷と東アジア(1994)〔吉川弘文館〕

図表出所

- (※1) 新日本製鐵(株)広報企画室編『鉄の文化史』東洋経済新報社、1984年、138ページ。
- (※2) 大津市歴史博物館編『火の贈りもの—国づくりを支えた古代人の技術』1971年、10ページ。
(大小の鉄鉞872の出土を数える)
- (※3) 宮崎市定『謎の七支刀』中央公論社、1983年、187ページ。
(5世紀に長文の刀銘の流行が、万里長城外、内蒙古沙漠内の遊牧王朝の首都に起り、江南佳麗の地、南朝の国都に伝わり、海を渡って百済にいたり、もう一度海をこえて日本に達し、さらに近畿から一方は埼玉に、一方は熊本に分岐する。)
- (※4)(※5) 京都国立博物館編『倭国—邪馬台国と大和王権』1993年、104,106ページ。
- (※6) 日本考古学協会ほか『いま、なぜ鉄剣か』(稲荷山古墳発掘20周年、辛亥銘鉄剣発見10周年記念講演会要旨)1988年。

(1995年9月14日受付)

鉄-21世紀への夢

創立80周年記念懸賞作文入賞作品紹介 ①

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

第1部 1等賞

レンジで鉄をクッキング

福岡県粕屋郡古賀町立古賀東中学校1年 村山 武一郎

「電子レンジで簡単に鉄ができたらー」、これが僕の夢。
鉄への興味は、小学校3年の一学期に「フジマック」（注：厨房用品の会社）の工場見学に行き、鉄の勉強をしてもっといろいろ知りたいと思ったことに始まり、夏休みの自由研究で製鉄実験を行ったことから大きくひろがった。

4年半前の夏、僕は鉄鉱石の種類を調べ、赤鉄鉱、かっ鉄鉱、磁鉄鉱、砂鉄のそれぞれが磁石にくっつくかどうか、方位磁石を動かすかどうか、釘をくっつけるかどうかの観察をした。その時、鉄鉱石は、鉄+酸素+かす（みゃく石という）でできている酸化鉄だということを知った。そして、鉄鉱石から鉄をつくるには酸素をとればよいということを勉強した。どうすれば酸素をとりのぞけるかーそれは酸素とくっつきやすいものをもってくればいい。そこで、ほかのものより酸素とくっつきやすい一酸化炭素（これは人が死ぬくらいの毒性があるそうだ）を炭を燃やして作り、それによって鉄鉱石から鉄を作る実験をやった。

実験では次のものを準備した。七輪、木炭、うちわ、鉄鉱石（ここでは鉄鉱石を砕いて粉にしたものを焼き固めたものーペレットという）、釘、かなづち、はかり、磁石、時計、ものさし、土（しめりけをふくまないもの）を使った。

実験は次のようにした。

1. ペレットの色、かたち、大きさ、強さ（かなづちでたたいたり、胸の高さから落としてみたり）を調べた。
2. ペレットが磁石にくっつくか、釘をくっつけるか、方位磁石を動かすかどうかを調べた。
3. 使用するペレットの重さを測ったら50グラムだった。
4. 七輪に材料をつめて火をつけた。
5. うちわであおいで温度を上げた。そのあいだ約3時間、煙を吸わないように注意した。
6. 土をかけて七輪をふさぎ温度を下げた。そして、一晩おいて完全に冷やした。
7. ペレットを取り出し重さを測ったら約48グラムだった。
8. 実験後のペレットで2についてもう一度調べた。

その結果次のような事がわかった。

- 1) 僕にできる製鉄の実験を父がアドバイスしてくれたので、実験をととして製鉄の仕組みー炭を燃やして一酸化炭素をつ

くった中に鉄鉱石を入れて、酸素を取りのぞき鉄をつくるーがわかった。

- 2) 完全な鉄になるには、始めの重さの4分の3くらいにならないといけないそうだが、実験では2グラムしか変化しなかった。この理由は、温度が低くて一酸化炭素がたくさんできず、ペレットの酸素がしっかりとれなかったのか、一度鉄になったペレットに、冷やしている間に別の酸素がくっついたからかもしれない。でも実験後のペレットが磁石にくっついたので、実験前より鉄に近くなっていたことがわかりうれしかった。

この時、鉄を作るにはもっと難しい準備が必要で、一人で簡単にはできないという感想を持ったが、大きくなってもう一度挑戦してみたいとも思った。そして、中学1年の夏に、今度は電子レンジでの実験にチャレンジした。

今度の実験は次のようにした。

1. 木炭をかなづちで粉々にした。
2. ペレット（15グラム）を陶器に入れ、レンジでチーン！した。
3. ペレットの上下に炭をいれ断熱材で包み、陶器に入れてレンジで5分チーン！した。
4. 3を更に10分チーン！した。
5. 4でできたものを1時間さまし、磁石にくっつくかどうか調べた。

結果次のような事がわかった。

- 1) 2の加熱だけでは鉄にはならない。
- 2) 3では時間が短すぎて、鉄にはならない。
- 3) 4を取り出した時、炭が赤くなり灰になっていて、高熱になっていたのがわかった。さましたものがすべて磁石にくっつき、やはり鉄に近いものになっていた事がわかったが、重さはそう変わっていなかった。
- 4) 小学校3年の時と同じように、さます時に酸素が入り完全な鉄はできなかったが、電子レンジでは短い時間で同じ様な実験ができた。電子レンジは七輪と違い、中からあたためるので速い。そして、完全な鉄を作る事は非常に難しいという事をまたもや味わった。

4年という時間をおいて行った二つの実験で、鉄を作るという事はやはりそう簡単ではないという事を知った。しかし、もしも家で簡単に鉄を作ることができたら……クロノトリガーのアイアンソード（鉄剣）などを自分で作って、ゲームの世界にもっと深くひたってみたいと思うし（でも、母がきっと怒るだろうなあ）、今、中学の部活で取り組んでいるブ

ラスバンドの、パーカッションのいろいろな楽器（例えば、トライアングル、ドラ、もっと大きなものではグロッケンなど）で、自分専用のものを作りたい。

いろいろな事を考えると、“これはすごいぞー！”というワクワクする気持ちになれる。近い将来、実現できるようになるといいと思う。

第2部 1等賞

人々の夢とともに歩むこと

柴垣 顕郎

「鉄は国家なり」

鉄について論じようとするとき、その響きの奥にふと何か重たいものの影がよぎることがある。それはもしかすると、国家というものの影なのかもしれないと思う。近代製鉄産業はその発祥以来、単に鉄ばかりでなく、一国の産業自体を作り出す使命のようなものを負わされてきたからである。

戦前から戦後を通じて、製鉄業、鉄鋼業は常にわが国の製造業の中心に位置し続けてきた。明治維新期の「殖産興業」の時代には、政府に主導された国営の八幡製鉄所は、日本にはじめて育成される近代産業のいわば先導役としての役わりを果たしてきた。あるいは戦後の高度経済成長期には、製鉄は「産業の米」とも呼ばれ、石油化学産業と並んで技術革新をすすめる他の多くの製造業に良質な基礎素材を供給し続けてきた。ヨーロッパに産業社会が始まって以来、「鉄は国家なり」と言われてきたが、近代国家としての日本は、文字どおり、製鉄業と共に歩んできたといっても過言ではないだろう。

戦後驚異的な復興をとげたわが国の製鉄業は、今や自由世界の中で第1位の生産量を誇る。年間の粗鋼の生産量は1億トンの大台に達し、製品の用途は土木、建築、自動車、機械、造船、電気と他産業に広範囲にひろがっている。年間出荷額十数兆円、従業員数35万人の産業規模は依然として日本経済の中核的存在であり、高炉メーカーから、電炉、伸鉄、鋳鍛鉄メーカーと、さまざまな企業群が幅広くこの産業のすそ野を構成している。製鉄は現在もなお、わが国の工業化や経済発展を象徴する基幹産業としての位置にある。

没落する「重厚長大」産業

しかし今や製鉄は、同時に、衰退する産業の象徴でもある。戦後の高度経済成長を支えた鉄鋼、石油化学プラントなどの素材産業は「重厚長大」産業と揶揄されるようになり、どれも構造不況業種としてその没落ぶりにかつての繁栄は見えない。

不況に伴うリストラの動きの中で、室蘭、釜石とわが国を代表する製鉄所の高炉は次々とその火を消してきた。企業城下町として発展してきた町ではそれに代わる産業もなく、地域経済自体の崩壊の危機に瀕しているところもある。さらに年明け以来、劇的に進んでいる円高の影響を受け、間接的なものを含めれば輸出が4割を占める鉄鋼業はますます苦況に立たされることが懸念されている。

多くの企業が先を争うように業種転換や他業種への進出を計り始めた。巨大化した装置産業から、フットワークが軽く投資額にくらべて高利潤のいわゆる「軽薄短小」産業へと製造業の関心は大きく移りつつある。あるいは新興工業国の技術革新に追いあげられる中で、労働集約型の重化学工業から知識集約型の航空、宇宙、情報、原子力等のハイテク産業への転換に企業としての生き残りをかけるところもある。

産業界の関心がマイクロ・エレクトロニクスやコンピュータへと急速に移行するにつれて、人々の夢もまた変化していった。今や多くの人々を魅了するのは、例えばパソコンや電子手帳のような小型の電子情報機器群である。

パソコンを育てた夢

電子産業の隆盛を見るにつけて、思い起すのは20年前、当時マイコンと呼ばれたマイクロプロセッサチップが初めてこの世に登場した時の光景である。

人々ははじめて手にするこの途方もない可能性を秘めた小さな「部品」を前に、とまどいながらも、ほとんど熱気に似た情熱を燃やした。当時完成した製品はまだわずかしき市場に出回っておらず、技術に多少でも素養のある者は続々と秋葉原に出かけ、数ミリ角のICチップと周辺部品を購入し、ニッパーやハンダゴテを使って手作りのコンピュータに取り組み始めた。

出現したばかりのマイクロコンピュータ素子に関してはメーカーやプロの技術者の側にもそれまでに何の蓄積もなかった。手探り状態の中でマイクロコンピュータに関するアマチュア雑

誌が次々と刊行され、回路やプログラムに関する読者からの投稿が毎号のように誌面を埋めた。それらはしばしばプロの技術者による市販の製品をはるかに上回る高い性能を発揮したのである。

多くの人々が自分だけのコンピュータを作り、使い、論ずる中からさまざまな夢がふくらんでいった。それは高度に発達し、専門化し、ブラックボックス化していく他の多くの技術とは質的に異なり、そこでは普通の個人やアマチュアこそが主役だった。中央集権的ではない技術への夢が語られ、技術の民主化といったテーマが真剣に論じられた。現在の水準からみれば、まだ何十分の一の性能しか持たなかった当時のパソコンに、多くの人々は人間と技術の関係を作り換えていく夢をかけたのである。

時を経て熱気も落ち着き、少数の成功したベンチャービジネスを除いて主役は再びメーカーやプロの技術者たちに戻った。しかし当時の人々の描いた夢が、今のパソコンブームを実は深いところで支えている。アマチュアリズムの伝統と精神は、いまもフリーソフトやパソコン通信の形でパソコン文化の重要な一翼を担い続けている。登場して以来年率10%以上もの伸びを示してきた成長産業としてのパソコンは、いわばアマチュアたちの夢によって育てられてきたのである。

夢の喪失

ひるがえって、では製鉄や鉄鋼に同じような夢があるだろうか。残念ながら今の製鉄は人々の夢からはるか遠く取り残されているのではないかな。

最先端の技術という面では、製鉄もエレクトロニクス産業に決して引けをとるわけではない。技術革新は今もなお頻繁に繰り返され、新鋭プラントには現代の最先端の水準の制御理論やコンピュータが使われている。そこで生み出される製品も、以前とは比べものにならないほど高度な品質のものに変わり、省エネルギー、環境にやさしい新技術も随所に取り入れられている。

だが高度化し巨大化すればするほど、皮肉なことに、産業は人々の生活からますます隔たっていつてしまう。あまりにも巨大化した製鉄産業は、もはや素人の想像力の及ぶところではなくなり、鉄がどこでどのように作り出されているのかについて、いまではほとんど誰も関心を払わなくなってしまった。製鉄業はそびえたつ高炉の煙突の威容のように、技術の高度化によってかえって私たちの抱く日常の関心からは隔絶した領域へと遠のいていったのである。

今さかんに言われているように、「重厚長大」産業が衰退しつつあるとするならば、それはまさに夢の衰退にほかならないのではないだろうか。

産業社会の終焉を前に

ところが今回の不況をめぐって私たちの眼前に突きつけら

れているのは、さらに新たな事態である。「重厚長大」産業に代わって日本経済の牽引役を引きついではずの電気電子産業も、また出口のみつからない深刻な不況に直面しているのである。

日本の電子機器産業はこれまでラジオ、テープレコーダー、カラーTV、ビデオとその都度の大型商品に牽引されてきた。しかし例えば期待されていたはずのビデオの出荷台数は90年代に入って前年を大きく割り込むようになり、その後いっこうに回復の兆しを見せないのである。カメラ一体型ビデオも91年には前年比30%の減、AV機器に至っては毎年のように連続しての減少と軒並みの不振である。今は各メーカーとも、いわゆる隙間商品といわれる小物で食いつなぎながら、次の商品を必死に探しあぐねている現状であるという。

いくつかの指摘も始まっている。半導体や原子力など技術や産業の基幹部分は、現時点でひと渡り発展が飽和してしまい、次の段階の商品開発にいたるには今後かなり長い年数が必要であると言われる。また、日本企業の技術開発は、例えば有名なDRAMメモリー素子の集積度競争に象徴されるように、量的発展ばかりを追い求めてきたために、いわば技術の狭い袋小路にはまりこんでしまったという声も聞かれる。さらに今回の不況が「消費不況」という側面をもつことから、消費もまた飽和現象を呈しており、人々はもはやこれ以上の電化製品を求めてはいないのではないかという悲観的な意見すらある。

ポスト産業社会という言葉がにわかに現実味を帯びはじめている。電気電子産業もまた夢を喪失しかけているのである。どれほど新しい利便性をもった機器が登場しようと、いまや単に提供されるサービスや便利さだけでは人々が求める夢の要件を満たすことができないのである。

手作りの夢を探して

東京田無市に、手作りで鉄を作っている市民グループがある。千年以上前から続いている砂鉄と木炭を使った日本古来の「たたら」製鉄を現代に復活させ、それを追体験しようというのである。

その手法はまず千葉の海岸で層状の砂鉄をスコップを使って集める。松の木炭をナタで割り、自作した耐火レンガの炉と送風機を使って千数百度の温度で数時間をかけた鉄作りを行う。出来上がった鉄で、メンバーたちは手作りのナイフなどを作っているという。

人類と鉄との付き合いは、すでに四、五千年に及ぶが、「たたら」製鉄のグループは歴史のロマンに思いをはせるとともに、鉄作りが人間の身のたけ、等身大の技術であった時代を手繰ることで、技術の高度化の陰で見失われようとしているモノ作りの原点を現代によみがえらせようとしているのではないだろうか。

鉄の運んだ夢

「たたら」製鉄は、明治にいたるまで、日本に土着の製鉄法として、関連する諸産業が互いに有機的に結びついた独自の産業システムを形成していた。明治政府による近代製鉄のわが国への導入が驚異的な成功を修めた陰には、これらの高度な伝統技術があらかじめ民間に広く普及していたことが大きく寄与していたという、貴重な研究成果もある。

製鉄にもまた人間の夢があった。ときには「まもるもせめるもくろがねの」と歌われたように、居並ぶ大型戦艦の威容と共に国家間の軍備拡張競争の夢にほんろうされた不幸な時期もあるが、鉄はそんな時代をはるかに上回る数千年に及ぶ歴史を通じて常に人類と共に歩み続けてきた。太古以来、世界の幾多の地で土着の技術として綿々と受け継がれ、それに携わる幾多の無名の技術者の夢を担いながら、製鉄の技術は長い時間をかけて少しずつ確立されていったに違いない。

鉄の歴史は文字どおり人間の等身大の技術としての歴史でもある。製鉄の再生を願うならば、私たちもまた鉄作りにこめられてきたこれらの夢をもう一度思い起すところから出発しなければならないだろう。

秘められた豊かな可能性

改めて目を向けてみると、鉄は他の素材にはない多くの優れた個性をもっている。とりわけ、数千年にわたって人類と共存してきた実績は人間と技術とのあるべき関係を探っていくときに極めて重要な要素である。

今日、科学技術の発展に伴って、日々新たな物質や新素材が開発されていく。それらの物質は確かに人間にとって様々な利便性を提供してはくれるが、しかしそれが人間や他の動植物にとって本当に無害なものなのかどうかについてはほとんど何の検証も行われていないのである。地球に生命が誕生して以来、生物たちは外界との間で多様な物質代謝を行いながら生活してきた。必要な成分を体内に取り込み、不必要な物質は体外に排出していくことで、生命体は何万年にもわたって、自らの生命秩序を維持してきたのである。

しかし新たに開発された物質や地球上では希有な元素等に関しては、それらの代謝の為のプログラムが前もって生物の体の中に用意されているわけではない。はじめて遭遇する「異物」を誤って体内に取り込んでしまう危険性も大きい。現実に重金属や放射性物質の体内蓄積に関して幾度も警鐘が鳴らされている。その上に素材の発ガン性や催奇性まで考えれば、安全性の検証には今後さらに長い時間を必要としているのである。鉄は人間にとって、その面で親しみと安心感を持てる、数少ない素材の一つである。

また鉄は廃棄されればさびて朽ち果てることによって、再び自然の中に帰っていく。プラスチックやアルミニウムに比べて腐食しやすいという鉄の弱点は、裏をかえせば鉄が再生性の資源であり、自然の物質循環の流れのなかに有機的に組

み込まれていることの証明でもある。大地に落ちた鉄片はいずれは酸化され、鉄サビとなって土壌の一部となり、雨水に解けて川や海に流れこみ、あるいは生命体に吸収されていく。地球環境は、鉄のような元素に対しては、長い年月をかけて醸成されたいわば天然の自己浄化能力を備えているのである。

近年地球環境の危機が叫ばれているが、自然保護やエコロジーの視点からみても、鉄には多くの夢の可能性が秘められているのである。

誰もが「村の鍛冶屋」になること

これらの長所を生かし、私たちの鉄への夢をよみがえらせていくには、まず何よりも人間と技術の関係を反転させることから始めなければならぬ。

近年都会では、手作りがブームとなり、日曜大工の工具や材料を集めた店が爆発的な人気を呼んでいる。人々は各種工具をそろえ、休日を待っては角材などを買い求めると、はずんた気持ちで家に帰る。それらはていねいに時間と人手をかけられ、家具や日用品に変わっていく。端切れとしての、なんの変哲もないただの木片までが、そこでは大切に売られていくのである。

鉄材は、今のところ、このように魅力に満ちた素材として扱われることは少ない。しかし鉄は物質の中では元来加工の容易な材質の一つである。金属の中ではそれほど高くない適度な温度で溶かすことが可能で、溶接やガス溶断等の加工手法も確立されており、品質の基本となる炭素量の調整や焼き入れ、焼きなましなどの工程も小規模の器具で比較的簡単に出来る。

例えば、家庭用の小型溶接機やガス溶断機がもっと普及し、簡単に扱える電炉が開発されれば、もともと多くの魅力を備えている鉄に対する人々のイメージは一変していくに違いない。各家庭にのこぎりやかなづちがあるように、たいていの家にこれらの器具が備えられるようになれば、人と鉄との関係も大きく変わってくる。

古くなった鉄製品を誰も廃棄しようとはしなくなり、貯めておいて週末には家庭の溶鉱炉に放りこむ。それらは例えば新しいなべやフライパンなどの調理用具として再生されていく。長年使い続けていた鉄製の機械を溶かして、子供たちのために新しい遊具を作りあげる親達もいるかもしれない。人によっては昔ながらの雰囲気をつかしんで、何週間もかけて槌をふるって手製のナイフを打ち出したりする者もいるだろう。良質の鉄の固まりが手に入ったりすれば、人々はまるで上等の毛糸や小麦粉に出会った時のように、わくわくした気持ちでその使い道に思いをふくらませるようになるだろう。

そうなれば鉄のイメージは大きく作り替えられる。かつて、「鉄の団結」、「鉄壁の守り」などの硬質の言葉とともにあった鉄は、やわらかさやしなやかさ、親しみやすさなどの象徴

になり、そのうちに「鉄のようになってかしい」といった表現も使われ始めるかもしれない。

素人の鉄作りを保証する社会

それにともなつて社会的な環境や文化もまた変化していく。各自治体は鉄のリサイクルのために自前の電気炉を持つようになるだろう。地域で集められた鉄クズは、今のゴミ焼却場に代わって自治体の電気炉で燃やされ、出来た鉄は市民に払い下げられたり、福祉機器に生まれ変わったりするかもしれない。鉄作りは人々の日常にとけこんだ自然な光景となっていく。

そうなってくればプロ集団としての企業側も手をこまねているはずはない。日常生活に密着した個人相手の製鉄のサービスが必ず始まるようになるだろう。例えば個人が設計した自動車部品や新しいデザインの家具、あるいは改築するベランダの部材のデータを各家庭のパソコンで入力して送れば、数日後にはその人あてに出来上がった製品が届けられるといった具合に。現在でいえばちょうど写真の現像所のような個人相手の鋼材生産サービスセンターが、各商店街に出現する日もそれほど遠くはないであろう。そのうちに磁気カードで同じように利用できる、鉄の自動販売機ですら街角に立ち並びかねないのが今の技術状況である。

これらは何万トンもの鉄を相手にしてきた製鉄業界にとってみれば、とるにたらない量に思えるかもしれない。しかし大切なのは目先の採算よりも未来のための夢を育てることである。

一国の技術の水準は、その国が持っている最新の製鉄プラントの技術水準で決まるわけではない。近代製鉄の導入にあたって「たたら」製鉄が果たした重要な役わりを思い起してみても、あるいはざっと10年の開きがあるといわれる日米のコンピュータソフト分野の技術格差も、それを生み出しているのは無数の大衆プログラマーたちによって作り出されるソフトウェア文化の厚さだといわれることから考えてみても、その社会の技術の水準を深いところで本当

に規定していくのは、むしろその社会を構成する無名のアマチュアたちのその技術への親しみや知識、そして夢なのではないだろうか。

人々の夢と共に歩むこと

あと数年で私たちは21世紀を迎える。次の世紀の製鉄・鉄鋼業に、本当に未来があるかどうか、そんな夢はあらかじめ思い描けるわけではない。

この論考も、夢の復権をたて糸に、アマチュアリズムの復権をよこ糸に、織りなしてみた一つのシミュレーションに過ぎない。逆に人々の夢こそが一つの産業を育てもし、反対に一つの産業を終息させもするのである。

1月17日の阪神大震災は技術社会の抱えるさまざまな側面を照らしだした。崩れるはずのない高層建築が崩壊し、倒れるはずのない橋梁が倒壊した。豊かな社会を保証してきたはずの多くの技術が人々の信頼を裏切ったのである。

今やポスト産業社会の時代に入ったのだと喧伝される中で、人々のモノ離れも深く進行し続けている。地震の直後には、もっとも重要だったのは情報だ、と何度も強調された。しかしTVの画面で見ると、すべてを失った被災者を最初に支えたのはやはり一杯の食料や一枚の毛布であり、再びの人生に向かう被災者の復興への歩みは、また新たなモノづくりから始まるように思えてならない。

今大切なのは信頼を失ったモノ作りを投げ捨てていくのではなく、逆にこれまで見失われてきたモノづくりの原点に再度立ち帰ってみることであり、人間と技術との関係、夢と技術との関係を大きく反転させていくことなのではないだろうか。

そして鉄も、ただ多くの人たちの地に足をつけた夢と共に歩んでいこうとする姿勢があるならば、数千年の間はぐくみ続けてきた人類の夢を今後も担い続けることが出来るに違いないと思うのである。

(自由業)

次号目次案内

ふえらむ Vol.1 (1996) No.2 掲載記事

景観をつくる Iron and Steel

話題のプロジェクト

超伝導浮上式リニアモーター

鉄の絶景－東京編

展望

製造物責任法とこれに対する企業の対策

これからの自動車車体用材料

唐津恵一（新日本製鐵（株））

田中淳夫（トヨタ自動車（株））

入門講座

鉄鋼材料編 -2 鋼の組織制御学入門

西沢泰二（住友金属工業（株））

鉄の歴史

（第2回）古代製鉄史における東と西－ある講演会でのスピーチより

村上英之助（川崎製鉄（株））

解説

製鉄技術のあゆみ

鉄鋼生産における計測制御システムのあゆみ

今野乃光、他（新日本製鐵（株））

服部正志（新日本製鐵（株））

懸賞作文入賞作品紹介 ②

第1部（中学・高校生の部）2等賞 「鉄は人と地球の芸術品」

竹山 梓

第2部（大学生・一般の部）2等賞 「アイアン・ドリーム」

比留間幸子

※掲載記事及びタイトルは変更になる場合があります。

本会情報一覧

記事内容	掲載号
第2回次世代鉄鋼奨学助成の募集案内	本号 66 頁
会費等の自動払込制度ご利用のお願い	本号 66 頁
鉄鋼研究振興資金による第5回助成テーマの選定結果	本号 67 頁
7th International Symposium on Physical Simulation講演募集	本号 68 頁
入会案内	本号 73 頁
創形創質工学会への参加募集案内	12号 N603頁
創形創質工学会棒線工学フォーラム「棒線の材質向上技術」開催案内	12号 N603頁
第159・160回西山記念技術講座「新しい時代を創造する高性能厚板」開催案内	12号 N604頁
第1回世界製鋼会議（I C S' 96）開催案内	12号 N605頁
学生会員および若手正会員のための96北アメリカの大学・研究所・製鉄所めぐり参加者募集案内	12号 N606頁
鉄鋼技術用語辞書と機械翻訳サービス案内	12号 N610頁
平成7年度各賞受賞者一覧	12号 N613頁
鉄と鋼 Vol.81(1995) 年間索引	12号 N619頁
会員異動・変更連絡のお願い	12号 巻末
平成8年度重点研究募集要項、平成7年度重点研究採択結果	11号 N578頁
平成8年第131回春季講演大会 一般講演募集案内	11号 N581頁
平成8年第131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 N583頁
平成8年度俵・澤村論文賞候補論文推薦に関するお知らせ	11号 N584頁
第11回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会のお知らせ	11号 N586頁
関東地区に支部を設置するためのボランティア募集のご案内	10号 N477頁

編集後記

「ふえらむ」第1号をおとどけます。従来、「鉄と鋼」誌は、会報と論文誌を兼ねたものとなっておりました。これを分離する提案は10年以上も前からあったそうですが、今回実現することになりました。「鉄と鋼」誌は、和文論文誌として、ますます充実させていく方針です。名称「ふえらむ」は鉄の化学記号「Fe」の由来となるラテン語だそうです。会員のご提案の中から採用させていただきました。表紙デザイン

も公募作品です。多くの方々のご協力にお礼を申し上げます。記事のできばえには、いろいろご意見がおりと思います。遠慮のないご批判をお願い申し上げます。「多くの会員に興味を持たれることがらをわかりやすく解説したり、専門家しか注意していなかった事項にも興味を持っていただけるような」会報を作るよう努力したいと、編集委員一同張切っております。ご支援下さい。(M.S)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 阿部 光延 (新日本製鐵 (株))

副委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

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

連絡先

本部事務局 〒100 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館3階

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021 (代)

学会部門事務局: 03-3279-6022 (代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023 (代)

FAX: 03-3245-1355 (共通)

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000円 (消費税本会負担)

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

1996年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 島田 仁

印刷人/印刷所 東京都新宿区三栄町20-3(新光オフィソーム) (株) ニューマーケット

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

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021 (代)

学会部門事務局: 03-3279-6022 (代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023 (代)

FAX: 03-3245-1355 (共通)

郵便振替 口座東京00170-4-193番 (会員の購読料は会費に含む)

© COPYRIGHT 1996 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

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

また、本会は上記団体を通じて米国Copyright Clearance, 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, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

行事等予定

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

開催期日	行事(開催地)	締切	掲載号及び頁
1996年			
1月 16～18日	国際金属歴史フォーラムしまね(島根)	1995-12-8	
17日	第8回分析化学フォーラム「分析業務におけるQC&QA」(東京)	1995-12-27	11号N591頁
18,19日	S I C Eセミナー「ロバスト制御」(東京)		12号N609頁
18,19日	北海道支部「平成7年度支部冬季講演大会」(札幌)		12号N609頁
25日	排気ガス浄化触媒担体ハニカム材の高温酸化と強度(東京)		本号 71頁
30日	東海支部「第18回若手材料研究会—粉体加工技術と材料特性」(名古屋)		本号 71頁
31日	創形創質工学部会棒線工学フォーラム「棒線の材質向上技術」(大阪)	1996-1-12	12号N603頁
31～2月2日	計算材料設計に関する国際ワークショップ(つくば)		11号N591頁
2月 1,2日	金属学会セミナー「高温材料の開発と適用」(東京)		12号N609頁
7,8日	第159回西山記念技術講座「新しい時代を創造する高性能厚板」(東京)		12号N604頁
21,22日	第160回西山記念技術講座「新しい時代を創造する高性能厚板」(広島)		12号N604頁
23日	第19回ウィンターセミナー(東京)		12号N609頁
3月 7,8日	金属学会セミナー「材料科学における相変態の基礎と応用」(東京)	1996-1-20	12号N609頁
12～14日	第11回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会(全国15会場)	1996-1-12	11号N586頁
12～28日	学生会員および若手正会員のための '96北アメリカの大学・研究所・製鉄所めぐり(アメリカ)	1996-1-11	12号N606頁
26～28日	平成8年第131回春季講演大会(千葉)		11号N581頁
29日	材料の組織と特性部会セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」(東京)	1995-4-28	
4月 22～24日	第1回世界製鋼会議(ICS'96)(千葉)		12号N605頁
28～5月1日	International Symposium on the Engineering of Quality in the Casting of Materials (Vancouver,Canada)	1996-1-12	3号N125頁
5月 15～17日	第5回複合材料界面シンポジウム(福岡)	1996-2-2	本号 71頁
16,17日	第5回材料の衝撃問題シンポジウム(京都)		12号 609頁
20,21日	第161回西山記念技術講座「鉄鋼とチタンの組織制御技術—極限性能を目指して」(東京)		
20～24日	第16回国際低温工学会議・国際低温材料会議(北九州)		5号N268頁
6月 3～5日	International Conference Stainless Steel '96 (Düsseldorf,Germany)		3号N125頁
10日	第32回白石記念講座「これからの品質保証」(東京)		
18,19日	第162回西山記念技術講座「鉄鋼とチタンの組織制御技術—極限性能を目指して」(大阪)		
27,28日	第9回フラクトグラフィシンポジウム(大阪)	1996-1-10	本号 71頁
8月 5～9日	「材料における拡散の諸問題」国際会議(ドイツ)	1995-7-15	7号N403頁
21～24日	第3回アジア—太平洋塑性工学の進歩とその応用に関する国際会議(広島)		本号 71頁
25～30日	第14回IUPAC化学熱力学国際会議(大阪)		12号N 頁
9月 28～30日	平成8年第132回秋季講演大会(北海道)		
29～10月3日	第15回科学技術データ国際会議・第20回科学技術データ委員会総会(つくば)	1996-4-1	10号N486頁
10月 22～24日	7th International Symposium on Physical Simulation(つくば)		本号 68頁
27～30日	2nd International Symposium on Extraction and Processing for the Treatment and Minimization of Wastes(Arizona,USA)		本号 76頁
1997年			
3月 27～29日	平成9年第133回春季講演大会(東京)		
7月 7～11日	International Conference on Thermomechanical Processing of Steels and Other Material (Wollongong,Australia)	1996-10-14	本号 71頁

ふらむ Vol.1 No.1 広告目次

表2 日本センチミア(株) 小型圧延機	前8 株いけうち スプレーノズル	後5 日本鋼管(株) 企業PR
日商岩井(株) //	9 第一高周波工業(株) インバータ	イゲタ鋼板(株) 企業PR
前1 株マツボー	10 大野ロール(株) 各種圧延装置	6 日本冶金工業(株) 企業PR
重工業グループ取扱商品一覧	11 三菱重工業(株) ストリップ搬送設備	矢橋工業(株) 精錬剤
2 株テクノヨコハマ 炉外精錬装置	12 株アサヒ技研 硬さ標準片等	7 中部鋼板(株) 電炉厚板
3 住友金属テクノロジー(株)		坂井化学工業(株) フラックス
試験分析サービス	後1 本誌広告目次	8 近畿日本ツーリスト(株)
4 株分析センター 試験分析サービス	耐火物技術協会 書籍	団体旅行案内
5 株島津製作所 分析装置	2 山武ハネウエル(株) 制御技術	株方英社 高級美術印刷
6 コマツエンジニアリング(株)	3 中越合金鋳工(株) モールド製品	
摩擦摩耗試験機	4 新日本製鐵(株) 企業PR	表3 日本ミンコ(株) サンプル・サンブラ
7 富士電波工機(株) 非接触浮揚溶解装置	山陽特殊製鋼(株) 企業PR	表4 日本アナリスト(株) 分析装置

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

山口明良(名古屋工業大学教授)著

高温セラミックス材料を中心とした 『相平衡状態図の読み方』

A4判 129頁 価格 4,000円(送料 380円別途)

好評発売中

高温セラミックスの実例を中心に 『すぐ使える熱力学』

A4判 172頁 価格 3,000円(送料 380円別途)

★送付先(氏名、所属、住所)、注文冊数、送金方法明記の上FAXまたは郵便でお申込みください。

注文先 耐火物技術協会 TEL.(03)3572-0705
〒104 東京都中央区銀座7丁目3番13号
FAX.(03)3572-0175

送金方法 ①現金書留
②郵便振替口座 東京6-26794 耐火物技術協会
③第一勧業銀行数寄屋橋支店 耐火物技術協会
普通預金口座 034-1076021



省エネ技術で豊かな社会の実現に貢献します。

制御技術は、産業を支える神経網。省エネを通して環境にやさしい技術です。変革の時代…PA・FA分野ではユーザーニーズに的確に応える最適な生産システムを提案。BA分野では「もっと素敵に創・快・環」をコンセプトに都市空間での快適性、利便性、安全性を追求。総合オートメーション・メーカーとしてシステムの提案とそのサービスの両面からお客様の様々な課題解決に当たっています。

セーブメーション [Save + Automation] を経営理念とする山武ハネウエルは、工場、都市で、暮らしの中で豊かな社会の実現に省エネの制御技術でお役に立ちます。

産業に、環境に
活きる制御技術。

Savemation

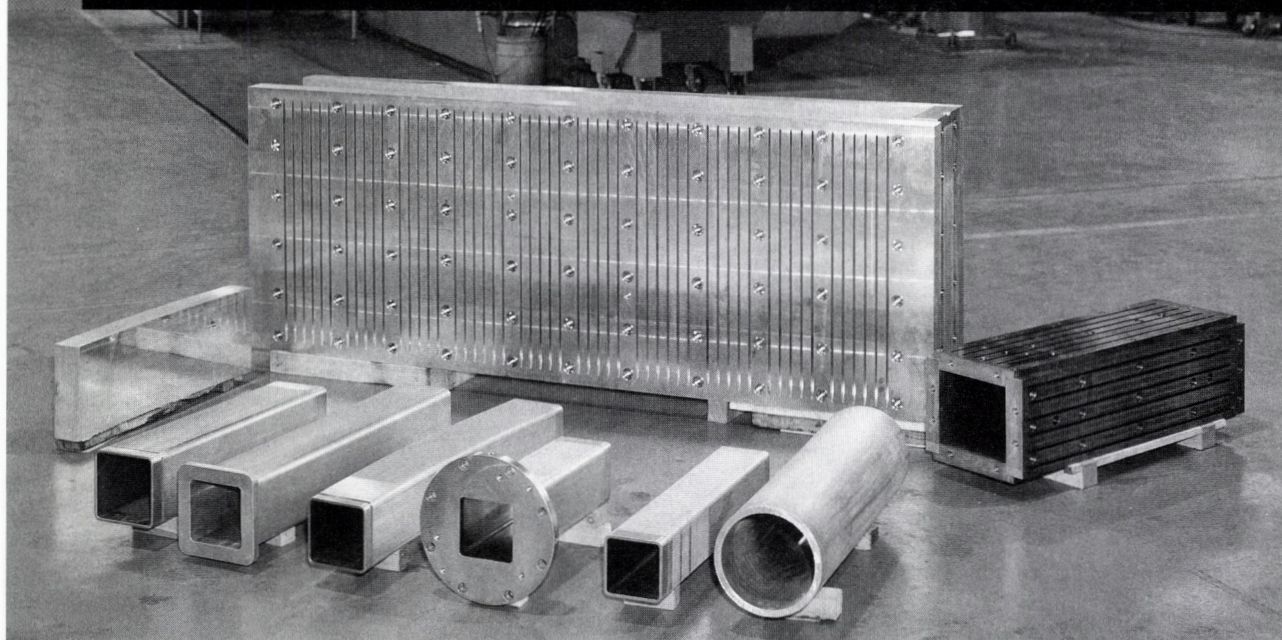
制御の山武ハネウエル

山武ハネウエル株式会社

本社：〒150東京都渋谷区渋谷2-12-19

●この広告に関するご意見、ご感想、お問い合わせは…
☎(03)3486-2451(社長室広報グループ)へどうぞ。

CHUETSU MOLD



中越モールド製品

- ・組立型スラブ・ブルーム用モールド
- ・組立型ビームブランク用モールド
- ・チューブ型ブルーム・ピレッド用モールド
- ・リングモールド
- ・ストリップ鑄造用ロールモールド
- ・電磁攪拌用モールド
- ・双ベルト式鑄造用ダムブロック
- ・ESR・VAR炉用銅ルツボ
- ・VA炉用水冷銅鑄型
- ・抵抗溶接用電極材
- ・樹脂成形用金型材
- ・鑄鉄・非鉄ダイキャスト鑄造用金型材

中越モールド納入形態

- ・荒加工素材品
- ・表面処理前加工品
- ・単体仕上げ加工完成品
- ・組立完成品
- ・改造・改善の設計及び製作
- ・改削補修加工

中越モールド材質

従来の純銅 (CuB) 及び銀入り脱酸銅 (AgDCuP1A-H) からクロム銅、クロムジルコニウム銅をはじめ当社新開発による高性能な析出硬化型オリジナル材 (新開発 PH シリーズ) も供給しております。また最近の鑄型内電磁攪拌技術に対応出来るよう、導電率30~70% IACSの電磁攪拌用モールド材 (新開発 ES シリーズ) も供給出来る態勢を確立しております。

中越合金鑄工株式會社

本社／東京営業部

〒101 東京都千代田区神田司町2-7 (福緑ビル)

大阪営業部

〒550 大阪市西区北堀江1丁目5番2号 (四ツ橋新興産ビル)

名古屋営業所

〒453 名古屋市中村区椿町17番地16号 (丸元ビル)

工場／富山営業所

〒930-02 富山県中新川郡立山町西芦原新1-1

TEL(03) 3292-4421 FAX(03) 5259-7027

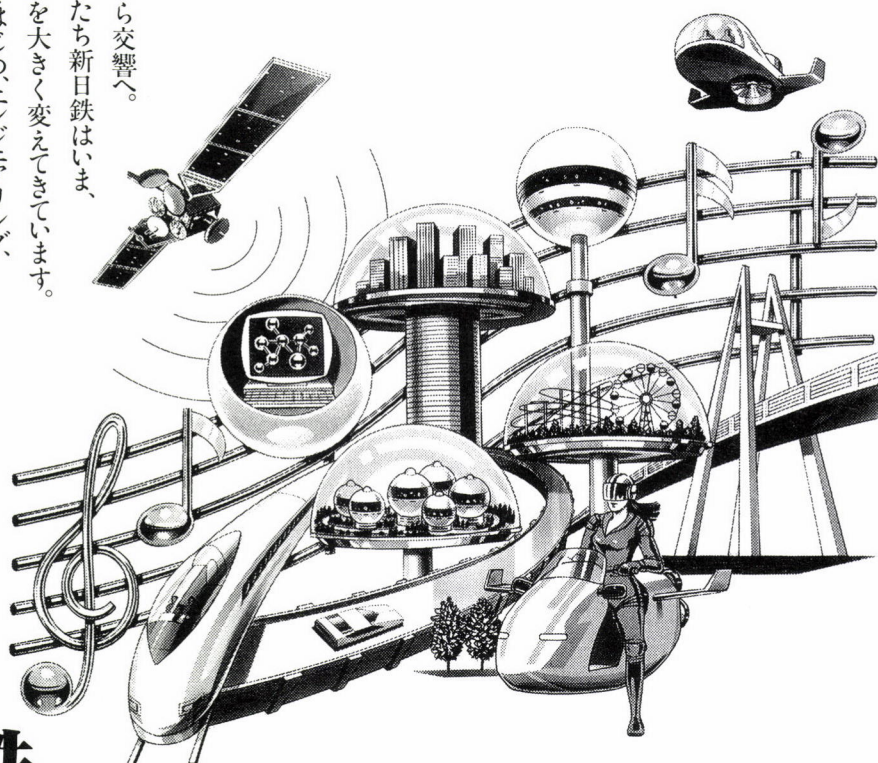
TEL(06) 541-0155 FAX(06) 537-2422

TEL(052) 452-5236 FAX(052) 459-1060

TEL(0764) 63-1211 FAX(0764) 63-1230

交響

シンフォニー



独奏から交響へ。
わたしたち新日鉄はいま、
その姿を大きく変えてきています。
製鉄をはじめ、エンジニアリング、
エレクトロニクス・情報通信、新素材、
化学など数多くの事業を展開。
多彩な音色とハーモニーであなたの心と響き合う、
そんな企業をめざしています。

新日鉄

Fine Technology, Fine Steel

山陽特殊製鋼



21世紀の主役。

ファイン・スチール

鉄の歴史は現代文明の歴史といわれます。
さまざまなカタチで利用され、20世紀を築いてきました。
いま、次の時代へ向けて、
さらに高度な素材が求められています。
それがファイン・スチール。21世紀を担う主役です。
山陽特殊製鋼は、ファイン・スチールを通して次代を見つめ、
みなさまとともに、新しい価値を創造していきたいと考えています。



NKK

日本鋼管株式会社

エネルギーの柱。

ピラミッドの不思議な魅力は、いったいどこから来るのでしょうか。

あの、人を引きつけるエネルギー。未知へのロマン。

私たちは、人と技術で生活に感動を生むエネルギーの柱
になりたいと思います。



最近の施工例より……舞洲アリーナ多目的体育館

設計の夢をカタチにしたい

住友金属グループの一員として、新しい鉄の可能性を見つめるイゲタ鋼板。高度な設計要求に応え、付加価値の高い鋼板製品と施工技術を提供します。

高級塗装鋼板、アルミ、
ステンレス、チタンを
使った建物の設計から
責任施工まで。



イゲタ鋼板株式会社

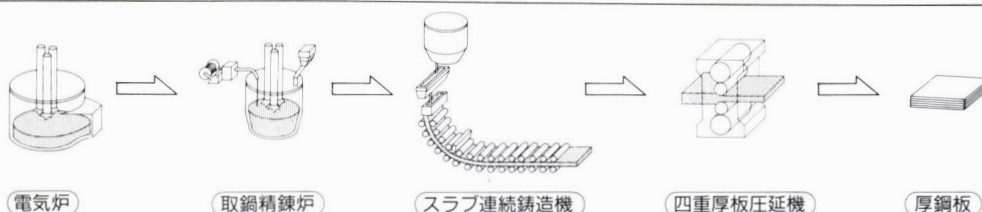
建 材 工 事 営 業 室 〒550 大阪市西区新町1丁目10-9 ☎(06) 536-1114
東 京 建 材 工 事 営 業 室 〒105 東京都港区浜松町2丁目6-2 ☎(03) 5470-2090
本 社 〒590 大阪府堺市出島西町2番地 ☎(0722) 47-0111
鹿島出張所 ☎(0299) 83-1496 和歌山出張所 ☎(0734) 56-1381

地球にやさしい電炉厚板

特徴

- 時代の要求に応えた、リサイクル・省エネの製造プロセスを採用しています。
- 建築構造用圧延鋼板(SN規格)は、全種類製造可能です。
- Ceq、Pcmを低く抑えた成分設計によって溶接性が良好です。
- 制御圧延などの適用により、高い靱性(衝撃値)と80%以下の降伏比を確保しています。
- 非金属介在物の形態制御・脱水素処理などにより、板厚方向特性が極めて良好です。

製造プロセス



あつい心で未来を創ります

中部鋼鉄株式会社

〒454 名古屋市中川区小碓通5丁目1番地
TEL(052)661-3138(直通) FAX(052)654-1425
販売部 営業推進室

あなたの良きパートナーです。

創業以来50有余年。

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

テルマックス

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



夢を実現する 鉄の副資材メーカー

坂井化学工業株式会社
神戸工場

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





おおらかで雄大な自然。ゆるぎない歴史、継承される文化。そして、そこに息づく人々の力強い暮らし。触れてみてこそわかる“旅”の醍醐味。

わたしたちの人生で、いったいどれだけの素晴らしい旅を体験することができるのでしょうか。

“旅”は人生の愉しみ。

近畿日本ツーリストがお届けする、日本の旅<メイト>、世界の旅<ホリデイ>。

永年の実績を生かし、自由多彩なコース、内容の濃いプランで、多くの方の人生に、さまざまな喜びや忘れ得ぬ思い出を提供しています。

人生航路でどれだけの素晴らしい旅を体験できるのだろう。

自然の心にふれる日本の旅…………… **メイト**

気ままに自由に世界の旅…………… **ホリデイ**

人が好き。地球が好き。旅が好き。

団体旅行のご用命は



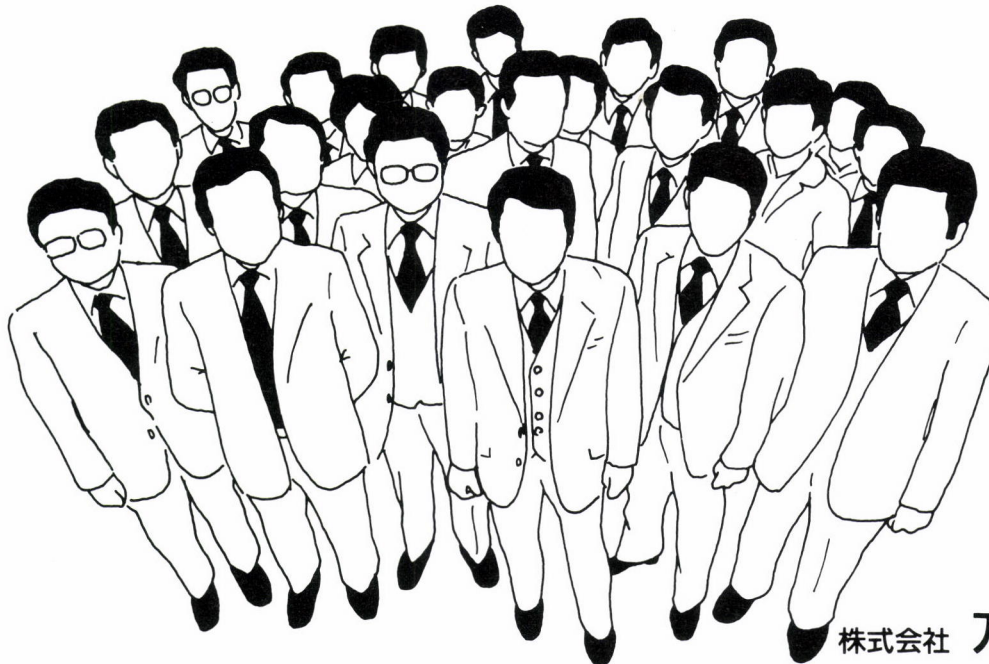
近畿日本ツーリスト

日比谷支店 ☎03-3595-1177

☎運輸大臣登録一般旅行業第20号

明日を拓く男達がいる——。

●高級美術印刷の企画制作 ●カタログ・DM・会社案内等の印刷物の企画制作 ●PR紙・ハウスオーガン・社内報等の企画制作



株式会社 **方英社**

〒101 東京都千代田区神田錦町2-7 TEL.(3294)0461 FAX.(3295)3469

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)



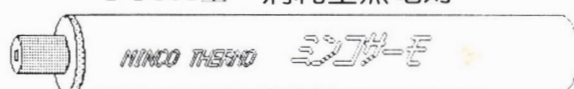
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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 溶鉄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)

—— ルーチン分析用 簡易型 ——

金属中炭素・イオウ 同時分析装置

LECO

CS-300

高い信頼性を保ちながらも
贅肉を落とした簡易型です**CS-300型金属中炭素・イオウ同時分析装置**

■高周波燃焼、赤外吸収型検出器 ■分析所要時間30~40秒

18MHz、2.2kWの高周波燃焼炉及びソリッドステート型赤外線検出器を採用。

高度なコンピュータテクノロジーを駆使して、ユーザーに親切な操作システムと簡単さを実現しました。

日常分析のみに焦点を合わせ、無駄を省いて経済性を優先、C・Sルーチン分析の必要充分条件を備えた熟練不要の普及型です。

特に高度な分析精度は求めず、分析件数も余り多くないユーザーに最適です。

常設展示中 ユーザーご自身の手でテストしてください。

LECO

日本総代理店

LECO CORPORATION
U.S.A.**日本アナリット株式会社**ISO-9002
No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

本社 〒141 東京都品川区西五反田 3-9-23 ☎(03)3493-7281代 FAX(03)5496-7935
 大阪支店 〒560 大阪府豊中市岡上の町 2-6-7 ☎(06) 849-7466 FAX(06) 842-2260
 九州営業所 〒804 北九州市戸畑区汐井町1-1(戸畑ステーションビル) ☎(093)884-0309 FAX(093)873-1190