

Volume 1
No.12 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

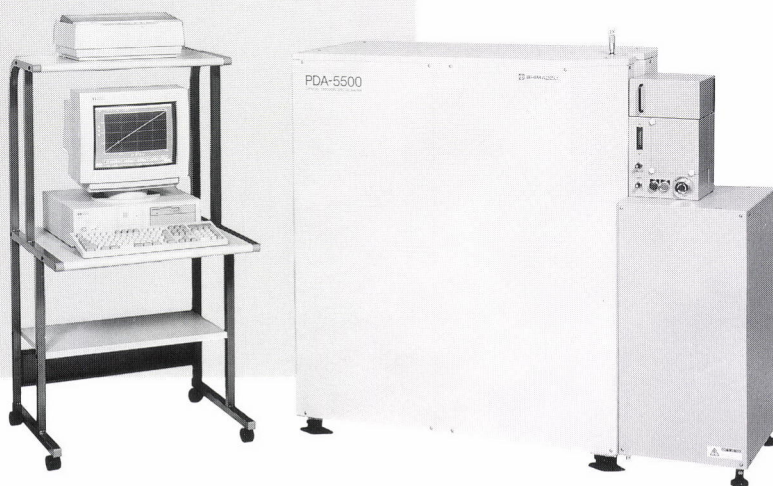
鑄鉄・鑄造の品質管理分析に

PDA測光法を標準装備した 低価格・迅速・多元素同時分析装置

島津発光分析装置

PDA-5500シリーズ

PDA-5500は、金属中の多元素を同時に、しかも迅速に精度良く分析できるPDA光電測光式発光分析装置です。光電測光式発光分析法は、JIS（日本工業規格）にも制定され、広い分野で公認の分析法として採用されています。品質管理分析には欠かせない有用な最新鋭機です。



●分析精度の向上

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

●長期安定性

温度変化の影響が少ない分光器を使用しているため安定した分析が行えます。

●迅速分析

秒単位で化学成分値の測定・規格の合否判定ができます。

●幅広い分析範囲

極微量から高含有率成分まで、分析範囲に応じて最適な分析条件を設定できます。

●試料欠陥による分析値への影響が除去されます。

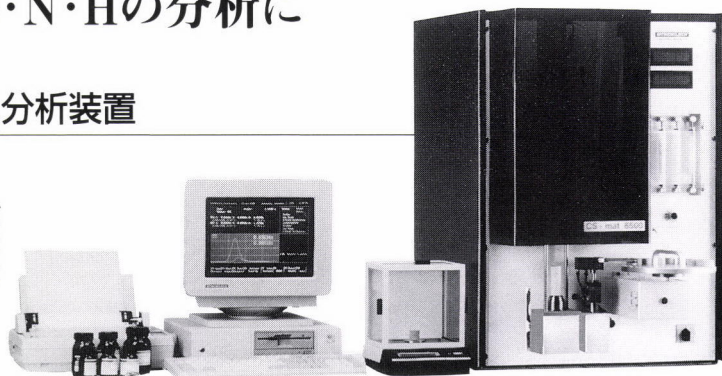
鑄鉄・鋳鉄中 C・S・O・N・Hの分析に

島津/STRÖHLEIN

固体/粉体試料用燃焼式ガス分析装置

MATシリーズ

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。



⊕ 島津製作所

本社 京都市中京区西ノ京桑原町1

分析機器事業部 (075)823-1195
お問合せはもよりの営業所へ

●東京 3219-5730 ●大阪 373-6561 ●札幌 205-5500
●仙台 221-6231 ●つくば 51-8511 ●大宮 646-0081
●横浜 311-4154 ●静岡 272-5600 ●名古屋 565-7612
●京都 811-8151 ●神戸 331-9665 ●岡山 221-2511
●高松 34-3031 ●広島 248-4312 ●福岡 271-0332

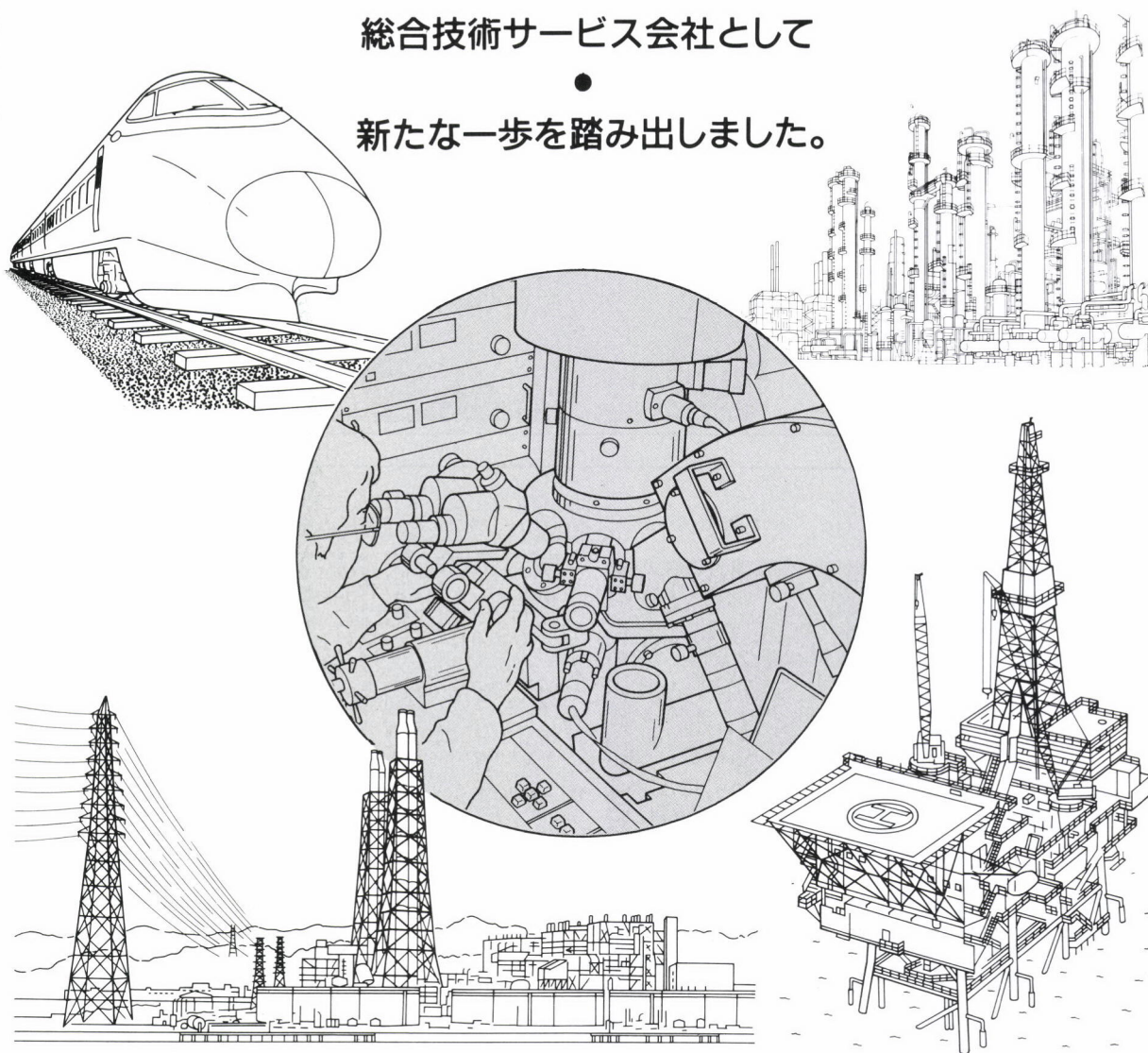
まだまだ広がる

テクノロジーの未来

住友金属工業株の永年の技術と経験の蓄積をバックにした

●
総合技術サービス会社として

●
新たな一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)
(和歌山事業部)
(小倉事業部)
(鹿島事業部)
(鉄道産機事業部)
(OCTG事業部)

本社
(尼崎)
(大阪)

〒660 尼崎市扶桑町1番8号	TEL.06-489-5779
〒660 尼崎市東向島西之町1番地	TEL.06-411-7663
〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号	TEL.06-466-6153
〒640 和歌山市湊1850番地	TEL.0734-51-2407
〒803 北九州市小倉北区許斐町1番地	TEL.093-581-3289
〒314 茨城県鹿嶋市光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

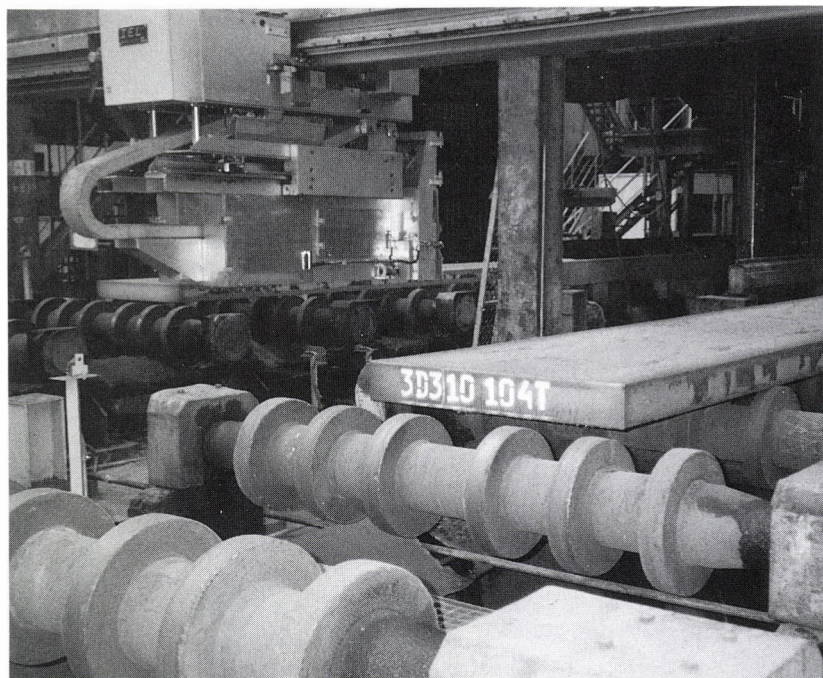
こんなアイディアで、先進技術の日本にも貢献を!



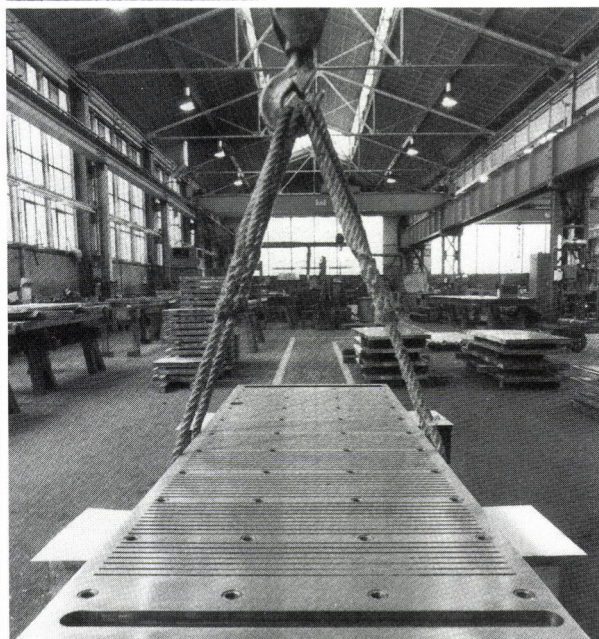
スプレーマーキング装置

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

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



用途に応じて、KMヨーロッパメタルは最適な素材で製品を提供いたします。以下にそれぞれの素材の特性を示します。



スラブ用モールドプレート

素 材 の 種 類			脱 酸 銅	銀入り銅	特殊合金銅(ELBRODUR)		
諸 特 性		単 位	DHP-Cu	DPS-Cu	G(CuCrZr)	BN(CuCoNiBe)	
化学組成		%	Cu 99.9 P 0.03	Ag 0.09 P 0.006 Cu 残	Cr 0.65 Zr 0.10 Cu 残	Co 3.0 Be 0.15 Zr 0.15 Cu 残	
	電 導 性	m / Ω mm ²	48	55	47	35	
物理的 特性	熱 伝 導 性	% IACS	83	95	81	53	
	熱膨張係数 (20-300℃)	W / m ・ K 10 ⁻⁶ / K	322 17.7	370 17.7	315 18	233 17	
	再結晶温度	℃	350	370	700	(720)	
	半軟化温度	℃			500	520	
	弾 性 率	10 ³ N / mm ²	120	125	128	138	
		温度(℃) 単 位					
機 械 的 特 性	0.2 % 耐 応 力 (Rp0.2)	20 200 350 500	N / mm ²	265 235 (190) (30)	265 235 (190) (30)	300 280 240 165	570 560 540 430
	抗張力 (Rm)	20 200 350 500	N / mm ²	275 240 (195) (90)	275 240 (195) (90)	410 380 320 200	750 710 650 460
	伸縮率 (A5)	20 200 350 500	%	25 9 (10) (40)	15 9 (10) (40)	18 17 19 20	17 12 8 5
	硬 度 (HB2.5 / 62.5)	20		85	90	125	200
用 途			チューブ	チューブおよびプレート			



IEL IdentequipおよびKM Europa Metal製品についてのお問い合わせは：

株式会社 **トライメート**

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

ふえらむ

Vol.1 (1996) No.12

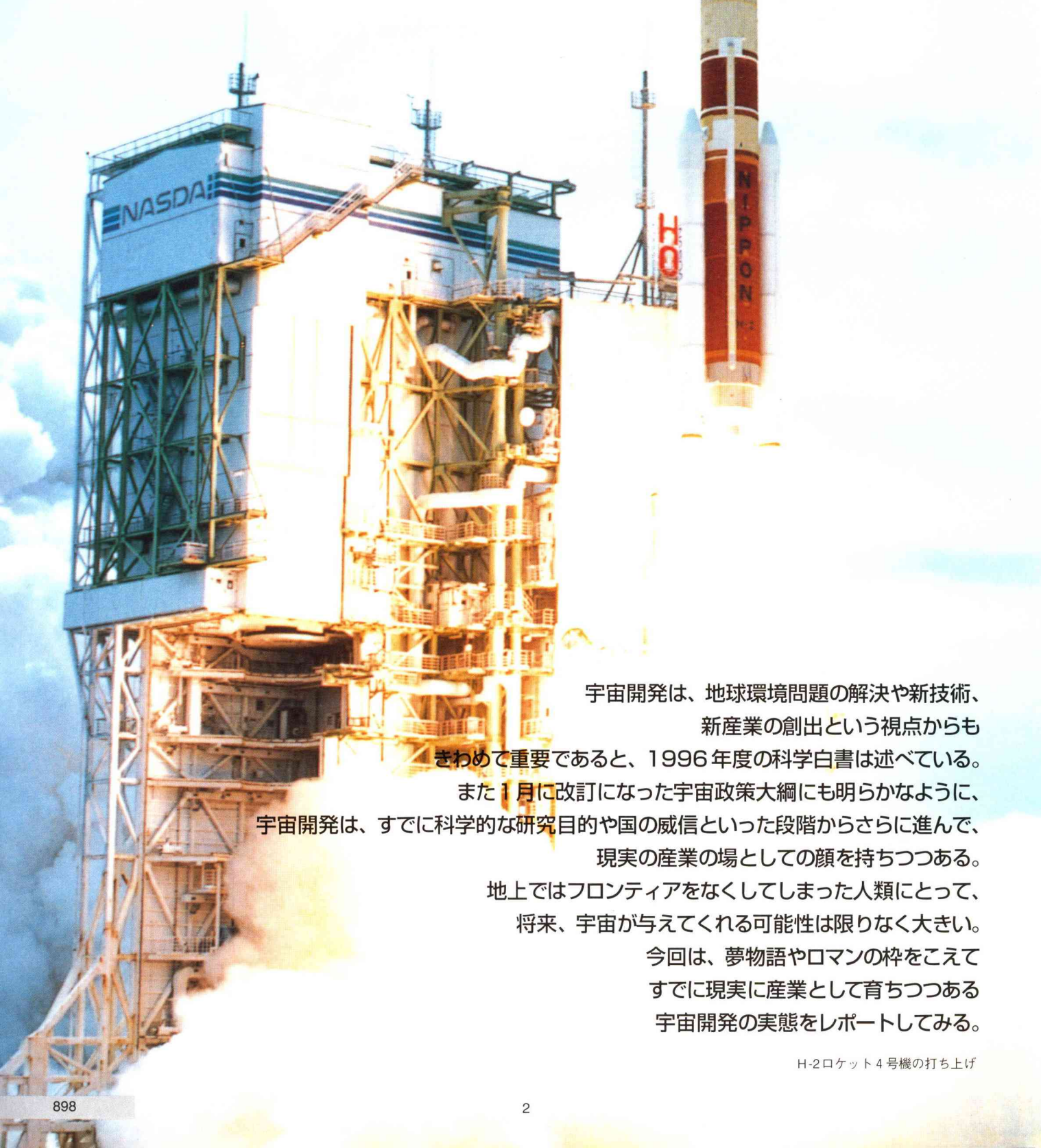
C O N T E N T S

目 次

宇宙に挑む IRON & STEEL	
世界のトップレベルに迫る日本の宇宙開発	2
月—21世紀へのニュー・フロンティア	7
話題のプロジェクト 高度道路交通システム	10
鉄の絶景 鉄都の鉄—岩手編	14
名譽会員からのメッセージ 共同研究について思うこと	
住友シチックス(株) 社友 池島俊雄	17
53年ぶりの老受験生	
東北大学名譽教授 大谷正康	19
展 望 活力ある中小企業に向かって	
通商産業省中小企業庁 遠藤正利	21
最近の製品開発における材料開発者の仕事	
日経BP社NBP企画第一制作室長 丸山正明	29
入門講座 専門用語—鉄鋼材料編2 拡散変態	
茨城大学工学部物質工学科教授 榎本正人	35
鉄の歴史 ㊦ たたら製鉄法の技術史的・冶金学的考察	
東京大学名譽教授 館 充	41
解 説 自動車用冷延鋼板向け鋼種の変遷	
—薄鋼板製造技術と車体製造技術の共鳴の歴史	
NKK総合材料技術研究所主席 荒木健治	48
本会情報	54
「ふえらむ」年間索引	71

IRON & STEEL

宇宙に挑む



宇宙開発は、地球環境問題の解決や新技術、
新産業の創出という視点からも
きわめて重要であると、1996年度の科学白書は述べている。
また1月に改訂になった宇宙政策大綱にも明らかなように、
宇宙開発は、すでに科学的な研究目的や国の威信といった段階からさらに進んで、
現実の産業の場としての顔を持ちつつある。
地上ではフロンティアをなくしてしまった人類にとって、
将来、宇宙が与えてくれる可能性は限りなく大きい。
今回は、夢物語やロマンの枠をこえて
すでに現実に産業として育ちつつある
宇宙開発の実態をレポートしてみる。

H-2ロケット4号機の打ち上げ

国際宇宙ステーション参加を焦点に 世界のトップレベルに迫る日本の宇宙開発

日米欧露加の国際共同プロジェクトとして、国際宇宙ステーション建設がいよいよ始まろうとしている。最初の機材打ち上げは来年度にも行われる予定という。ステーションには日本独自の実験モジュールが接続され、完成すれば、2人の宇宙飛行士が常駐できるようになる。物資の補給と回収のための日本版無人シャトルの開発も順調に進んでいる。日本でもいよいよ本格的な宇宙時代への軌跡が見え始めているようである。

'94年、日本は世界トップクラスのロケットを手にした

1996年1月24日、総理府・宇宙開発委員会は、前年より先送りになってきた新しい「宇宙開発政策大綱」を発表した。21世紀へ向けての方向性が盛り込まれた、日本の宇宙開発の指標となる大綱である。前回の84年の改訂では、国産技術によるロケットの必要性や独自の有人宇宙活動の必要性などが唱えられ、純国産H-2ロケット開発着手や日本人宇宙飛行士の育成といった物語へとつながった。

今回の「宇宙政策大綱」改訂では、それらを引き継ぐとともに、国際宇宙ステーションを利用した有人宇宙活動や宇宙インフラストラクチャーの開発、将来の月面利用を視野に入れた月探査計画など、より具体的ともいえる宇宙空間の開発・利用への姿勢が示されている。

宇宙開発といえば、その初期から長きにわたって米露2国の独占が続いてきた。しかしここへ来て、日本や欧州（ESA：欧州宇宙機関）、さらには中国などがそれぞれに力をつけてきている。

将来宇宙開発が産業として成立するためには、地上と宇宙空間とをつなぐ交通インフラが不可欠となる。日本は1992年のH-2打ち上げ成功によって、そのボーダーラインをクリアした。

将来の商業利用に対応できるフレキシビリティ

H-2は2段式・液体水素酸素エンジンと現状2基の固体燃料ブースターを備え、大型衛星の打ち上げが可能な性能を持つ。打ち上げ能力は静止軌道で2トン、低軌道で10トン。この数字はH-2同様に商業利用が可能なESAのアリアンⅣ（静止軌道2.2トン、低軌道9.5トン）や、米国のタイタンⅢ（静止軌道2.5トン、低軌道12.5トン）などと肩を並べるものである。将来ロケットの商業利用が多頻度化した場合にも十分に競合できるだけの性能をH-2は備えていると考えられるだろう。

96年現在、H-2ロケットはすでに試験段階を終了し、実用へ向けて、いっそうの改良を目指している。今後しばらくは、約190億円ともいわれる打ち上げコストをどう軽減させていくかがひとつの焦点となってくると考えられる。コストによって

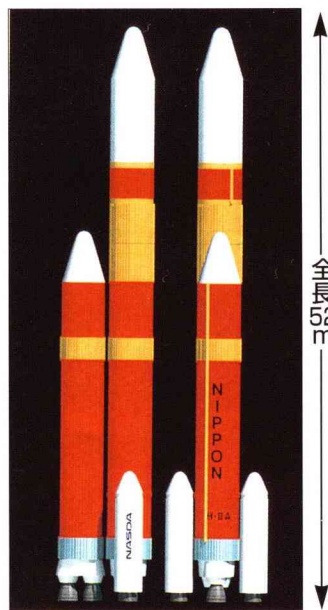
商業ベースでの競争力に差が出るからである。

そうしたコスト面と、将来的な打ち上げ能力の向上を視野に入れて開発されているのがH-2Aといわれる発展型である。標準機体コンフィギュレーション（メインエンジン+ブースター2基）で静止軌道約2.2トン、液体ロケットブースターを追加装備することで静止軌道約3.3トン（静止3トン級）、低軌道約14トンの打ち上げ能力を発揮する。さらにその先には、液体ロケットブースターを2基装備した静止4トン級のものも準備が進められている。日本版スペース・シャトルといわれるHOPE-Xも、この発展型H-2Aを使って打ち上げられる予定である。

国際宇宙ステーション参加へ向けて

今年96年の宇宙政策大綱改訂でも力点が置かれていたもののひとつに国際宇宙ステーションを舞台とする宇宙環境利用の研究がある。

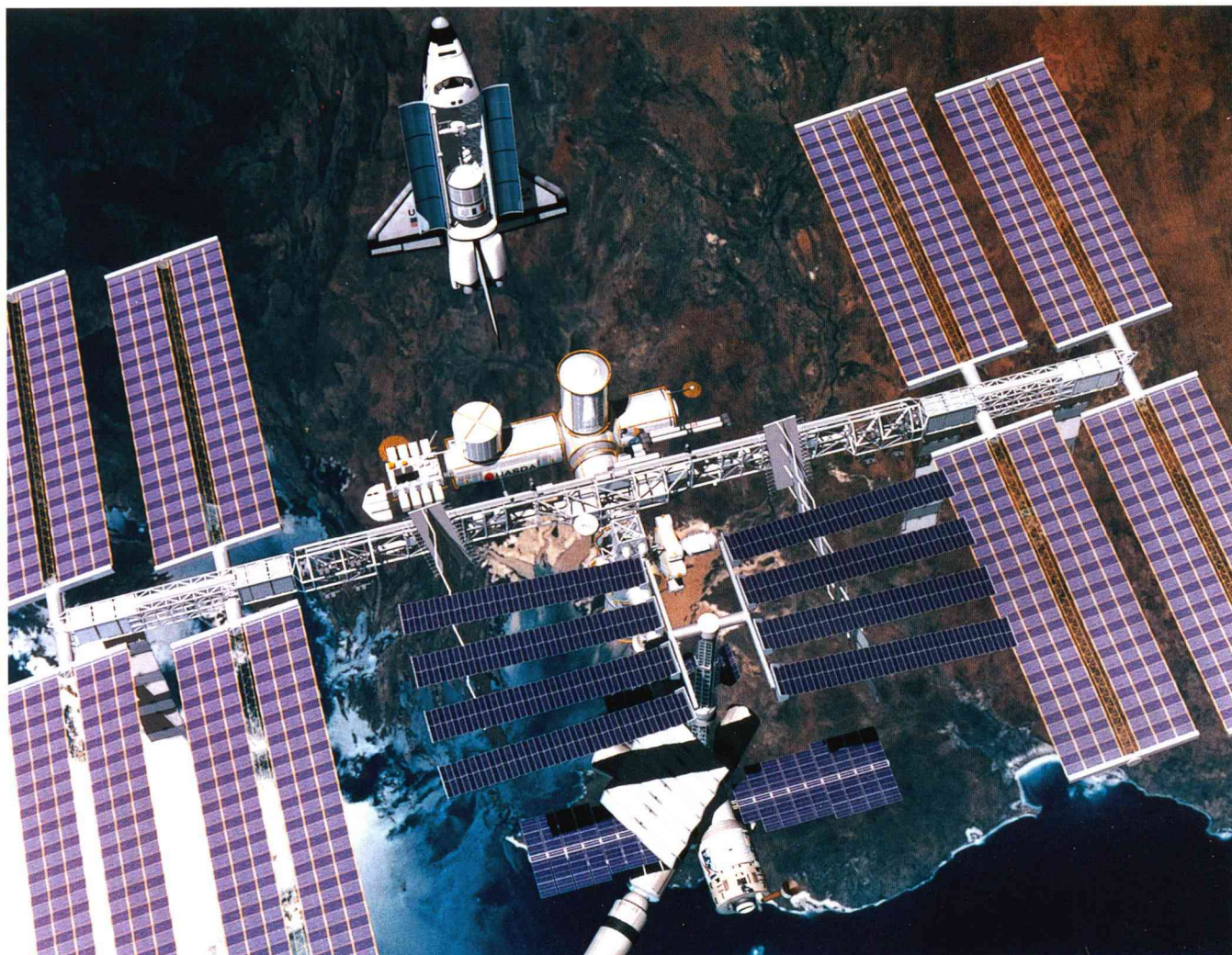
現在注目を浴びている国際宇宙ステーション計画はNASAが発案し、1984年レーガン大統領の時にゴーサインが出され、同年のロンドン・サミットで各国への参加が呼びかけられた。その



液体ロケットブースターによって打ち上げ能力向上をねらう静止3トン級のH-2Aロケット（イメージ）

宇宙開発政策大綱

日本の宇宙開発の方向性、基本方針を決定するもので1963年に設置された宇宙開発委員会（科学技術庁長官ほか4名の委員で構成）によって策定される。最初の大綱は1978年に出された。84年に第1回改訂が行われ、純国産ロケットH-2の開発を決定。89年の第2回改訂で、国際宇宙ステーションへの参加が決定された。今回96年は第3回目の改訂に当たり、さらに本格的な宇宙利用時代へ向けての技術基盤確立をめざすものとなっている。



コンピュータ・グラフィックによる国際宇宙ステーションイメージ。スペースシャトルの下方に見える日の丸の描かれた部分が日本の実験モジュール（JEM）

呼びかけに日本、欧州、カナダが応える形で計画がスタートしたが、NASAの予算削減によって、常に存亡の危機にさらされてきたという経緯がある。93年、この計画にロシアが参加し、米国議会ではロシア支援の名目も追い風となって予算が通過したが、今後の展開はまだ流動的だと見る向きもある。しかし各国の共同事業という意味でも、新たな技術、新たな産業の創出という意味でも期待は大きい。

国際宇宙ステーションが建設されるのは地上約400kmの比較的低い軌道上で、その大きさは、現在の計画でいけば全長約110m、幅約75mほどのものになる。むろん人類が宇宙で建設する建造物としては、現状では最大のものだ。構造的には1体のトラスを中心に、その両端に巨大な太陽電池パネルが据え付けられ、トラス中央あたりに円筒状の各国モジュールが取り付けられる。

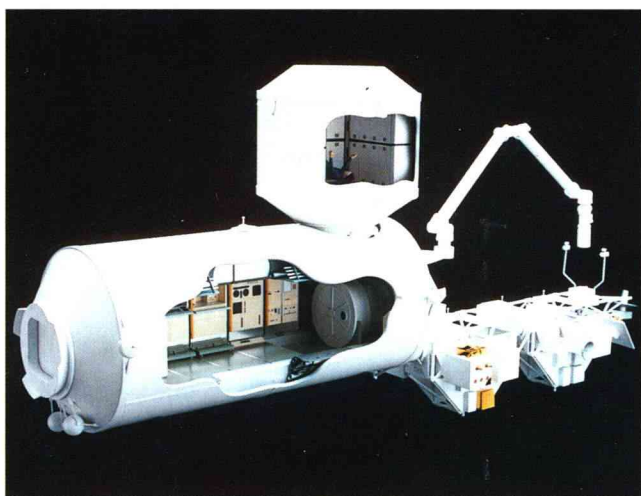
このモジュール部分を各国が独自に開発する。アメリカが実験用モジュールと居住用モジュール、ロシアが実験用モジュールとサービスモジュール、そして日本と欧州が実験用モジュールを割り当てられる。カナダはステーションの組立て、保守などを支援するロボットアームを担当する。

宇宙へのステップとなる研究・実験

予定では1997年にはステーション組立てのための最初のフライトが開始され、コアとなる部分が組立てられる。当初の予定では1999年には完成する見通しだったが、その後の経緯で現在、完成予定は2002年前後に修正されている。日本の実験用モジュール（略称JEM）の完成はもう少し後で、2000年頃から2010年頃にかけて各部分ごとに打ち上げられ、組み上げられる予定である。

JEMはちょうど空缶を2つ組み合わせたような形状の与圧部（飛行士の居住空間、研究設備）とアイロン台のような形の曝露部（宇宙放射線等の曝露実験を行う）、そして機械の腕ともいべきマニピュレーターから構成される。与圧部のサイズは外径4.4（内径4.2）m×長さ11.2m。この中に計算機システムや実験用器材等の設備を組み込んでいくことになるから、居住空間は「鰻の寝床」のように細長だ。ここに常時2名の宇宙飛行士が乗り込んで、さまざまな実験を行う。耐用年数は10年以上におよぶ。

宇宙環境を活かした実験・研究としては、第一に「宇宙メダカ」などの実験でよく知られるようなライフサイエンスの分



模型で再現されたJEMの全体像

野がある。地球の生物が無重力の空間へ行った場合にどんな反応を示すかを研究するもので、将来人間がさらに広範な宇宙空間へと出てゆこうとする場合に直面する生理学上の問題を解決するためのデータを収集し、研究しようというものである。

宇宙空間に長期間にわたって飛行士が滞在する宇宙ステーションのミッションそのものも「有人宇宙技術研究」のための重要なテーマのひとつとなる。例えば無重力（軌道上の場合、より正確には微小重力）で長く生活していると、筋肉はもとより、骨のカルシウムが抜けて脆くなっていくという現象がこれまでの有人宇宙飛行でもわかっている。将来の宇宙活動のためには、そうした地上とは異なる生理現象についてできるだけ多くのデータを集める必要がある。また例えば、宇宙では上下の概念がまるで役に立たなくなるが、そのことが人の視覚、ひいては心理におよぼす影響なども居住空間の設計などの視点から十分に研究する必要がある。

新しい産業技術創出の可能性

また工学的な分野では、よくいわれるように微小重力空間を利用して地上では製造できなかった素材や精密部品などを作る研究も大きな目玉のひとつとなる（コラム参照）。宇宙空間での建造物をつくる技術の研究開発も、ここで確立しておきたいもののひとつである。宇宙空間では拠点となる構造物を建造する場合にも人手に頼ることはできない。したがってロボットによるノウハウの開発が欠かせない。その他、エネルギーや熱の管理技術、通信、メンテナンスなど、実験と同時に検証を重ねていかなければならない課題は山ほどある。

JEMでの有人宇宙活動とあらゆる実験・研究は、そうしたさまざまなデータとノウハウを積み重ねていくうえで、きわめて重要な経験となることが考えられる。

さらに宇宙空間での活動を日常のものとするためには、閉鎖された空間で、小さな生態系をつくり上げる必要が出てくる。



JEMモックアップ内部

宇宙空間が可能にする未知の製造技術

無重力または微小重力空間（地上の数万分の1）では、材料の特性がさまざまに変わってくる。例えば鉄—ジルコニア—アルミナのように、比重が大きく異なるために地上では混合しにくかった素材も宇宙空間でなら、均質に拡散・混合することが可能になる。

また熔融した金属を冷却していく場合、地上では結晶が沈降しながら積み重なって成長するが、無重力では、できた核がその場で成長していくという違いがある。熱対流も、当然存在しない。

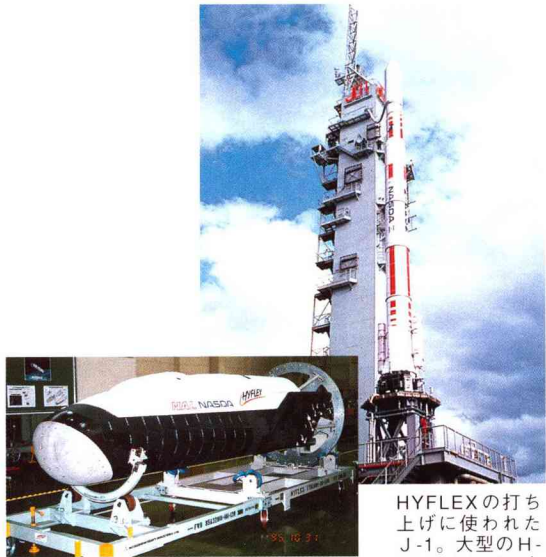
その他にも大型で均質な単結晶を得たい場合にも無重力空間が有利なことなどが分かっている。そうした現象が材料工学などの視点からどのような意味を持つのかを調べていくことも、新たな技術的フロンティアを生むことにつながるだろう。

製造技術の面でも、さまざまな可能性が考えられる。例えば鋳造品の場合、鋳型に材料を流し込むと、材料の重み（静圧）によって、型そのものがごくわずかながら歪んでしまうが、重さのない世界では、そうした心配は不要になる。したがって、極めて高い精度を要求される鋳造品も、宇宙空間でなら製造可能になるわけだ。また地上で金属を溶解する場合に必須なのが「るつぽ」だが、宇宙空間なら、空中に材料を浮かせて加熱することができるから、「るつぽ」そのものの耐熱温度を気にすることなく高温加熱することができ、「るつぽ」からの不純物混入の心配も不要だ。JEMに宇宙飛行士が常駐するようになれば、こうした材料研究なども、より多頻度に行えるようになり、データの蓄積が可能になると考えられる。

とはいえ、地上から材料を運び上げるとすると、当然その運搬コストは相当に大きなものとなる。それに見合うだけの価値のある素材でなければ、商品化の可能性はないという考え方もあろう。ただし、こうしたコスト問題も月面から素材を供給できるようになれば、地上から運び上げるよりは、格段に割安になることも考えられ、宇宙工場の可能性は悲観すべきものでもなさそうだ。むしろ5年、10年先の話というわけにはいかないだろうが、それまでに、あらゆる未知の可能性を宇宙実験室で試みることができるはずだ。

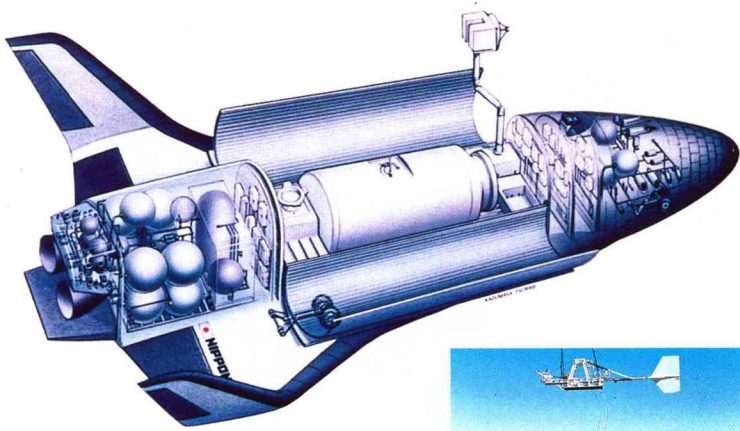
例えば火星への有人飛行を計画することになった場合、推進装置の進歩を考慮に入れてなお、1年以上の月日がかかると考えられるわけだが、当然、その間の水や空気をどうするかという問題が出てくる。数人の人間が1年以上も使用するだけの水や空気をすべて積んでいくとしたら、大変な量になってしまうだろう。また月面基地に滞在員が長期滞在するなどといったケースも想定されるだろう。

そうしたケースでは、宇宙船の中に小さな生態系をつくり上げて、その中で上手に物質循環を図っていく技術が不可欠になる。「閉鎖生態系生命要素維持技術」と呼ばれるこの種の技術も、国際宇宙ステーションならびにJEMでは重要な研究テーマのひとつになってくると考えられている。



HOPE-Xのための極超音速実験を行ったHYFLEX。回収には失敗したが多くのデータが得られた

HYFLEXの打ち上げに使われたJ-1。大型のH-2とならんで日本の宇宙開発を担う小型ロケット



20トン級HOPE-Xの概観イメージ



HOPE-Xのための滑空実験機ALFLEX。今年7月、オーストラリアで実験に成功した

進む日本版シャトルの開発

JEMの打ち上げは、米国のスペースシャトルと国産のH-2ロケットを併用して行われることが考えられるが、将来は往還が可能な交通手段を独自に開発することが計画されている。日本版スペースシャトルともいべき有翼宇宙往還機HOPE-Xである。打ち上げは先述のH-2Aロケットの発展型によって行われる。ただし当初は無人のものを遠隔操作して荷物の上げ下ろしに用いる計画で、有人飛行も有り得ない話ではないものの、まだ先のことになりそうである。

2000年には実験機を打ち上げることを目標に現在開発が進展しており、そのための各種実験も着実に進んでいる。そうした実験のひとつとして今年2月に第1回目が行われたのがHYFLEX（極超音速飛行実験機）といわれるもので、大気圏再突入時の極超音速域での熱の問題や、打ち上げから回収にとまなうノウハウなど、HOPE-Xの実現に必要な各種データの収集が行われた。

HYFLEXの打ち上げは、J-1ロケットと呼ばれるH-2より小型の新型ロケット1号機で行われた。J-1は今後H-2と並んで日本の宇宙開発を支えるロケットとなるもので、小さな荷物を低軌道まで上げる場合などに、より低コストで運用できるというメリットがある。HYFLEXの打ち上げは、その1号機の打ち上げ実験も兼ねていた。

アルミの主構造に耐熱用のセラミックタイルを敷きつめたHYFLEX機の外観は、さしずめミニシャトルといった風で、将来のHOPE-Xのイメージを彷彿とさせるものがある。

実験1号機は種子島から打ち上げられ最高マッハ14のスピードで飛行した後、パラシュートで目標海域に着水した。実験そのものは順調で、データ収集もうまくいったものの、フロー

ーション・バッグで波に揺られる間に、機体とバッグをつなぐ金具が破断してしまった。飛行実験は成功だったが予期せぬミスで海に沈んでしまったわけだ。

打ち上げ再突入実験とは別に、有翼の小型実験機による滑空実験もこの7月から8月にかけてオーストラリアのウーメラの砂漠で行われ、無人での自動着陸に成功した。ALFLEXと呼ばれる実験機は、大型のヘリコプターによって高度約1500 mまで吊り上げられ、切り離されて滑空した後に滑走路に無事タッチダウン。エアブレーキと後部パラシュートで減速し、停止した。滑空実験は最終的に13回にわたって行われ、HOPE-Xのための自動着陸技術もこれによって検証された。

HYFLEXとALFLEXの実験によって、HOPE-Xへの布石が敷かれたわけだが、日本の宇宙往還技術は、すでにその先も見通している。科学技術庁では航空機と同様に滑走路から出発して、宇宙との往還が可能な完全な再利用型スペース・プレーンを研究している。SSTOと呼ばれるこの未来の宇宙往還機が可能になるためには、多くの技術的課題をクリアする必要がある、実現は2020年以降という見方もあるが、その動力となる「エアブリージング・エンジン」のための研究・実験も、すでに具体的に進んでいる。スペース・ポートで宇宙便を待つ時代は確実に近付いてきているのである。

日本は、宇宙開発技術でも、世界的に高い水準に達している。こうした宇宙開発技術を手にできるのは現状限られた高度な技術開発力を持った国々である。今後宇宙というフロンティアが産業に与える影響を考えると、将来は宇宙技術を「持てる国」「持たざる国」が出てくる可能性もある。その意味でも現在、何をしておくかが大きなターニングポイントになるかもしれない。

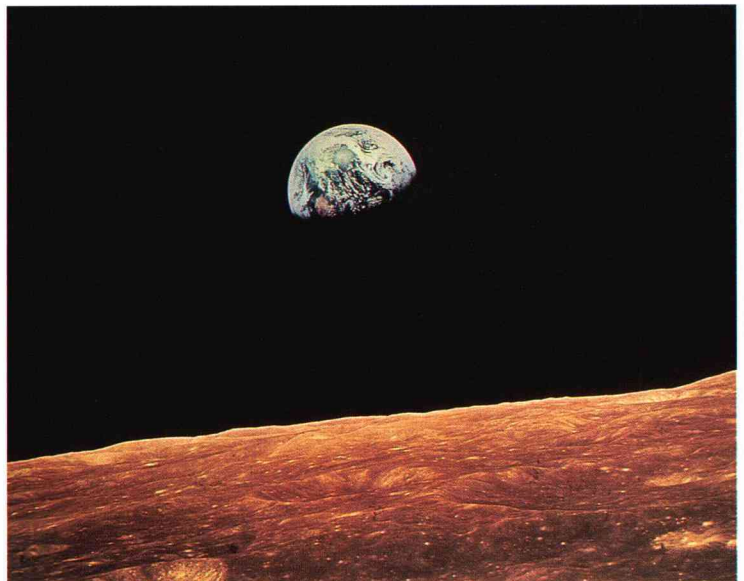
[取材協力・写真提供：宇宙開発事業団、(財)宇宙環境利用推進センター]

月—21世紀へのニュー・フロンティア

「これは、ひとりの人間にとっては小さな一歩だが、人類にとっては偉大な飛躍である」

アームストロング船長のことばが衛星を通じ、全世界中で固唾をのむ人々の間を駆けめぐった。1969年7月20日。アポロ11号月面着陸。人類が初めて地球以外の天体に降り立った歴史的な瞬間である。

それから20年あまり、アポロ計画が一応の成功をもって打ちきられた後、人類の月へのアプローチは中断したかのようであった。が、宇宙開発が近未来の有望なビジネスとして本格的に展開されはじめようとしている90年代に入り、地球に最も近い衛星「月」がふたたびクローズアップされている。



開発の処女地、月面。天空に浮かぶのは地球

「月」は可能性の宝庫

アポロの宇宙飛行士たちにより、地球に持ち帰られた月面の岩石や土が分析された結果、月が豊富な資源に恵まれていることがわかった。月の岩は、主に玄武岩、斜長岩、角礫岩からなり、成分は地球上の岩とほとんど変わらないが、特筆すべきはその成分比率である。

鉄やチタンは地球上の岩石の3倍、クロムは10倍、そのほか半導体の材料となるシリコンやアルミニウム、カルシウム、マグネシウムも豊富に含まれる。また、空気も水もない月だが、岩石中に酸素が45%もあるのは、鉱物がすべて酸化物として含まれているからで、これを分解することにより酸素そのものを得ることができる。

1994年、アメリカのクレメンタイン衛星は月の南極で氷の存在を示唆する現象を発見した。今後の探査により本当に氷があることがわかれば、人類の月面での展開もより容易になる。

石油はいうまでもなくさまざまな鉱物などの自然資源があと数10年で枯渇の危機にさらされている地球にとって、月は、採掘法さえ現実のものとなり、採算可能ということになれば、まさに手つかずの資源の宝庫ともいえるのである。

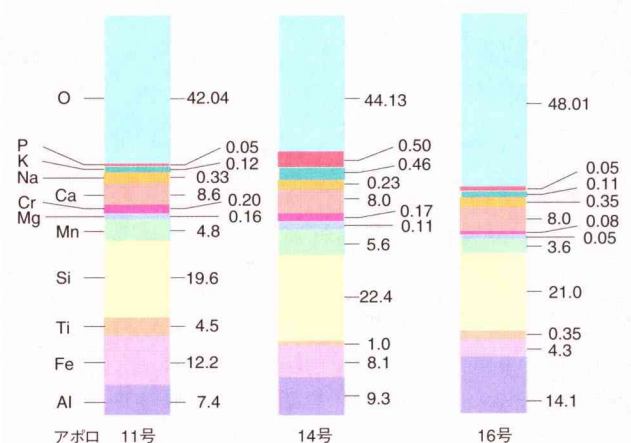
月に寄せる期待のなかで、最も切実なもののひとつが新しいエネルギー源開発の可能性である。核融合をエネルギー源とする太陽は、宇宙空間にヘリウム3という物質を噴出している。太陽風と呼ばれるものである。ところがこの太陽風は大気や磁場で覆われた地球には届かない。しかし、月には大気に邪魔されることなく降り注ぎ、蓄えられている。ヘリウム3は重水素と融合させることにより容易にしかも効率よくクリーンなエネルギーに転換できるのである。鉄やチタン、クロムといった地球

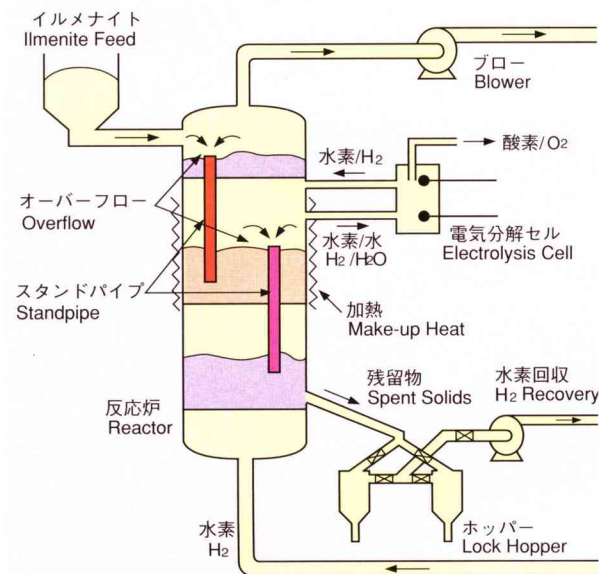
でも手に入る資源と異なり、ヘリウム3は月にしか求められない、それこそ未知なる夢の資源なのである。

核融合という次世代あるいは次々世代の技術が実用化された暁には、月はヘリウム3というクリーン・エネルギーの圧倒的な供給源として、エネルギーという人類が抱える最大の難問を一挙に解決してしまうことになるかもしれない。少なくとも大気汚染、自然破壊、温暖化など化石エネルギーの濫用に起因する地球規模での現在の問題の大部分から解放されることになるだろう。

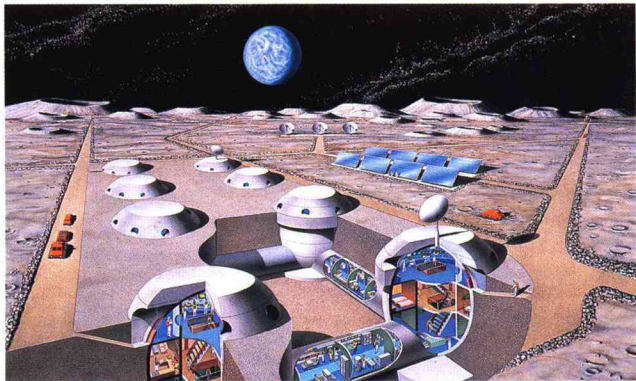
このように月が資源の宝庫であるのはすでに実証されているのだが、これからの問題は、それらをいかに利用するかという技術上の解決策をどう見出して行くかであり、さらにはそこから一歩進んで、単に地上で枯渇しつつある資源の代替対象としてだけでなく、地球環境では求められない月という特異な環

■アポロ計画で持ち帰った月の岩の成分 (%)

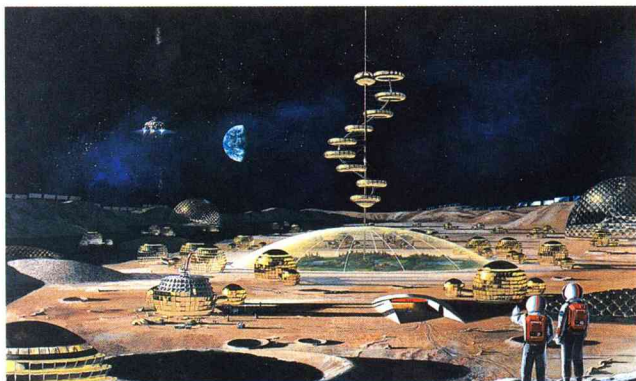




■月海に広く分布するイルメナイト鉱石 (FeTiO₃) を利用する酸素製造プラントシステム (清水建設)



月面実験研究都市のモデル「スーパーラプ」(大成建設)



月面都市のモデル「月面都市2050」(大林組)

境下ならではの資源の利用法のメリットを求めることである。

一例を挙げれば、地球の6分の1という月の重力を利用するテクノロジー。人工衛星やスペースシャトルなど宇宙空間の軌道の上に物体をもちあげることは、地球からであれば膨大なエネルギーとコストを要する難事業であるが、しかしこれを月から打ち上げるということになれば、画期的な省エネ・省コストが実現する。例えば月から高高度地球軌道に資材を運ぶのに要するエネルギーは、地球からのそれに比して何と22分の1で済むのである。宇宙ステーションが実現し、惑星間往来を日常化した後の未来のどこかで、人類はさらに大規模で本格的な宇宙施設の建設に挑むことになるだろうが、そこで月の出番である。宇宙用建築物に使う資材をすべて月面資源によって月でつくり、さらに月から直接宇宙空間へ輸送する。かくて、月は、膨脹する宇宙事業における開発基地として機能しはじめるのだ。

月から始まる——宇宙へのFirst Step

これまで宇宙開発において後塵を拝し、宇宙先進国の開発した技術に追随してきた日本が、自国の技術による先進ロケットH2の完成をスプリングボードに、21世紀に向かって本格的な宇宙利用のシナリオを描きはじめたことは、本特集の前段でも触れている通りである。その場合、中核となるのが月面基地開発構想である。主に民間の企業が中心になっている月惑星協会が提案した無人口ロボットによる有人月面基地建設構想

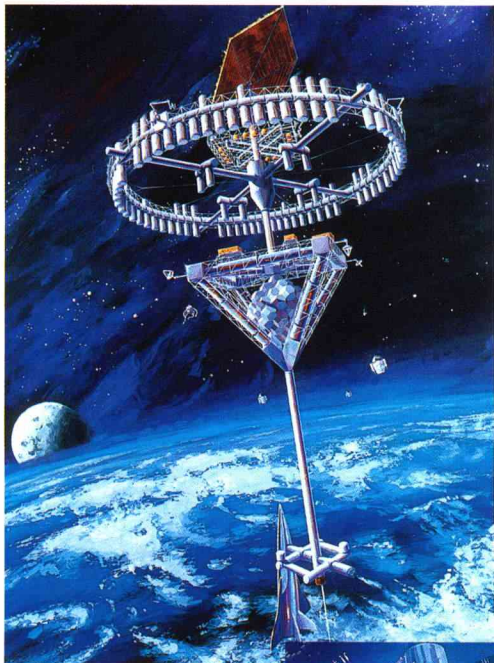
(年1000億円、30年)が、宇宙開発大綱見直し過程の長期ビジョン懇談会で取り上げられ、宇宙開発事業団と宇宙科学研究所の協力による取組みが勧告された。

1997年には、月震計と熱流量計を備えたペネトレーターを月面に打ち込んで月の内部構造を調べる「ルナA」計画が、2002年にはH-2ロケットによる月探査周回衛星打ち上げがそれぞれ予定されている。同様のプロジェクトがアメリカ、フランスでも始まっており、全体のシナリオとしては、2005年ごろに最初の月面基地建設、更なる月面探査や実験を繰り返しつつ基地を随時拡張、2010年ごろには有人恒久施設化が実現、2020年には本格的な月面工場が活動を開始するという。

太陽発電所の建設などエネルギー面の確保が完成すれば、完全な自給体制が整い、宇宙施設の建設・運用コストは飛躍的に縮小するだろう。月面基地は人類の更なる宇宙戦略の前線基地として、拡大・再生産されてゆく。やがてもっと遠くの惑星への宇宙港もできる。ここから人類は火星へ、そして木星へと新たな開発段階へ入ってゆくだろう。

第2の地球——月面基地から月面都市へ

これまで述べてきたような広大な宇宙計画、特に月開発はすでに科学的空想の域ではなく、近未来に確実に実現されるプロジェクトとしてプラクティカル・ステージに入っている。宇宙開発の公的団体だけでなく、純粋な科学研究機関から情報産業、プラント産業やゼネコンに至るまで、日



宇宙ホテルと宇宙レジャーの想像図（清水建設）



本の多くの企業がこれに参画すべく、ビジネススペースでの積極的なアプローチに取り組んでいる。宇宙建造物、宇宙ロボット、ロケット、衛星技術など宇宙に応用できるあらゆる分野の開発努力が複合的に、重層的にかつ緊密に結び合い、月面基地の実現を推進して行く。

それらの技術はやがて月を単なるプラントやポートといった非居住空間としての技術基地から、都市として人々が生活する日常空間へと発展させるだろう。すでに日本の建設会社は、月面で研究や作業に従事する人々の大規模な居住施設や、娯楽施設まで視野にいった研究を進めている。さらにその先にはスペースリゾート時代を想定して宇宙ホテルや宇宙バスといった具体的構想までもが練られている。最近のニュースによると、年収の2、3倍なら月世界観光に行ってみたいというアンケート結果もあるというから、月は近未来の観光資源としても大いに有望であるといえそうだ。

地球の衛星である月は、まさに第2の地球として人類を新たな空間へ解放してくれるのだ。

「月」は未来への資産

21世紀半ば、月は相当数の人間を擁する月世界都市となっているだろう。宇宙開発の中継基地、惑星間移動の燃料補給基地、宇宙環境を利用した化学物質や合金製造工場、資源供給工場。これらを包括する実用都市として機能する一方、月はさまざまな科学的研究の場であり続ける。大気も水もないこ

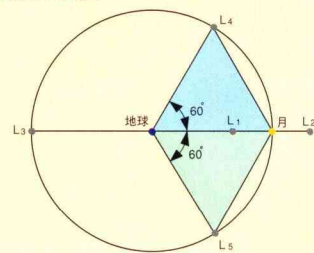
スペースコロニー——宇宙空間に暮らす

1969年、プリンストン大学のG.K.オニール博士は、地球以外に人類が集団で居住できる空間の可能性として高軌道宇宙施設を提唱した。これがスペースコロニーである。

二つの天体間で、それぞれの引力がバランスよくつりあうことにより、そこに置かれた物体が安定した位置を保てる点をラグランジェ点というが、スペースコロニーとは、この月と地球の間の5つのラグランジェ点のうち、最も安定したL4、L5地点に永久居住施設を建設するという構想である。月の資源を建築資材として使い、水素、窒素など月に不足するものは他の惑星から運ぶ。食料やエネルギーもコロニー内で自給し、地球から完全に独立した人類の居住空間を創出しようというのである。数万から1千万単位の人間が居住する巨大コロニーをいくつも建設し、地球から移住する。コロニーを自然の生んだ奇跡の星・地球の小型版として利用するには、例えば重力の作り出しがた、その程度、コロニー内の気象条件の調節など克服すべき問題点は多々あるものの人口増加と食料不足、環境汚染に悩む地球の諸問題を一挙に解決し、人類の領域を宇宙へと広げる方策として、このオニール構想は、あまりにも魅力的な提案であった。

それから30年、2005年には最初のスペースコロニーが実現しているという博士の予想からすればだいぶ遅まきではあるが、ようやく具体化しつつある宇宙開発の道程で、宇宙ステーション、月開発の後に来る最も有用な宇宙事業としてスペースコロニーが脚光を浴びるのは間違いないところだろう。

■ラグランジェ点の位置



とにより、地球に比べ誕生以来原始の姿を保っている月の起源や進化の過程が明らかになれば、地球型惑星の誕生や構造、ひいては太陽系そのものの成り立ちや起源を探る重要な指針となるかもしれない。

もちろん天文学の分野でも月は絶好のフィールドである。1990年、NASAの打ち上げたハッブル宇宙望遠鏡は地球の周回軌道にのり、大気の揺らぎに邪魔されことなく遙かなる銀河からブラックホールまで、驚くべき宇宙の姿を明瞭に私たちにみせてくれた。月面天文台では、しかしその1000倍の精度での観測が可能になる。公転周期と自転周期が同じで常に地球に対し同じ面を向けている月の裏側に据えた望遠鏡は地球上のあらゆる電波の干渉を受けることなく、無限の宇宙空間をみつめ、新たな天体の誕生や終焉を見届けるかもしれない。

このような無限の知的好奇心こそ、有限の地球から無限の宇宙へと飛び出して行くことをあるいは可能にするかもしれない人類という特別な種のレゾナードルともいえよう。

月——それは実用レベルにおいても、飽くなき知的好奇心にとっての身近な対象という意味でも、人類の未来にとっての「大いなる遺産」ならぬ「大いなる資産」といえるのではあるまいか。

[取材協力・写真提供：(株)大林組、清水建設(株)、大成建設(株)]

話題の PROJECT

プロジェクト

高度道路 交通システム



21世紀の道路交通を実現するITS

安全で渋滞のない道路交通をめざす先端技術開発



AHSによる自動走行システムにより、ドライバーは運転操作から解放される。

交通事故による死者が毎年1万人を超え、都市部の道路渋滞は慢性化の一途をたどっている。車が吐き出すCO_x、NO_xなどによる環境への影響も無視できなくなってきた。対策はとられているものの、有効な解決策はないのが現状だ。こうした道路交通問題を一举に解決する技術と期待されているのが、ITSである。1996年、ITSの重要な構成要素であるAHSの公道実験が行われ、VICSも運用を開始した。次世代道路交通システムの現状にスポットを当ててみた。

交通問題の切り札と期待されるITS

発明からおおよそ1世紀を経て、現代社会に不可欠の存在となっている自動車。確かにさまざまな利便を私たちに与えてくれるが、逆に大きな不利益ももたらしている。日本では交通事故による死者が、年間1万人以上に達している。高齢社会を迎え、事故の被害者・加害者双方に占める高齢者の比率も、増加の一途だ。また首都圏をはじめとする都市部や、高速道路の渋滞による経済的損失、環境への影響も無視できない状況となってきた。

従来から、これらの問題解決のため自動車、道路、交通管制システムなど、さまざまな対策がとられてきている。しかし個々の解決策では、効果に限界が見えてきたのも事実だ。道路交通が抱える諸問題を、総合的に解決していこうという試みが、高度道路交通システム（ITS: Intelligent Transport System）である。

ITSは大きく9つの開発分野で構成されている(図1)。こうした幅広い分野をカバーするためには、全体的な視野に立った開発・方向付けが必要になってくる。政府は、総理大臣を本部長とする「高度情報通信社会推進本部」を設置すると同時に、警察庁、通商産業省、運輸省、郵政省、建設省による5省庁連絡会議を設けて、開発推進体制を整えた。また、民間主導の推進母体として「道路・交通・車両インテリジェント化推進協議会」(*1)も設置され、関連企業や学者・研究者が多数参加している。

ITSが5省庁連絡会議によって推進されるのは、交通規制や自動車の安全基準、電波・通信規制、道路設置などの役割が省庁ごとに分散しているためだけではない。自動車、情報機器などITS関連市場は、20年間で約50兆円と試算されており、新たな産業創造として大きな期待が寄せられているからだ。また道路交通をめぐる問題は、わが国に限ったものではない。アメリカやヨーロッパでも、同じ問題を抱えている。このため、ITS開発機関が設置され(*2)、技術開発にしのぎを削っている。同時にISO(*3)による標準化の議論も進められている。国内のITS開発体制の整備は、こうした国際舞台での発言力にも、大きな影響を及ぼす。5省庁連絡会議は、1996年7月、「高度道路交通システム推進に関する全体構想」をとりまとめ、今後の開発方向の大枠を決定している。

進む自動走行システムの開発・研究

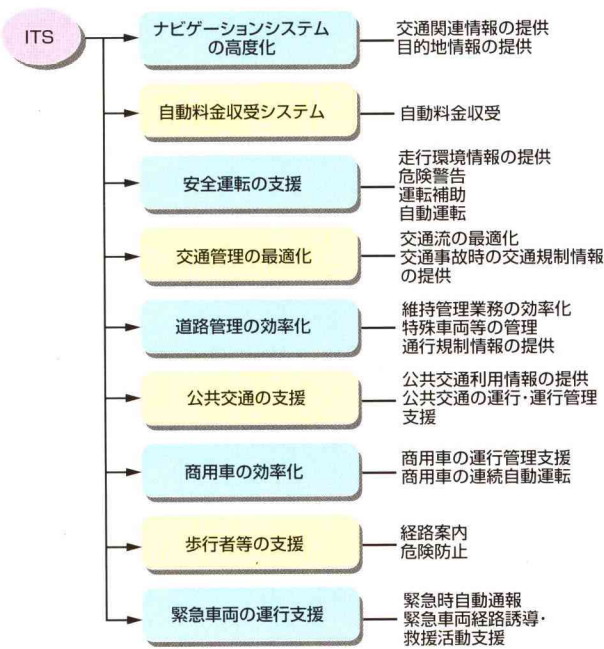
こうしたなか、96年9月から約1カ月間、長野県小諸市で自動運転道路システム（AHS: Automated Highway System）の走行実験が実施された。AHSは、建設省土木研究所が民間と共同で研究開発を行ってきた。これまで茨城県つくば市のテストコースで実験が続けられていたが、実際の道路を使って走行実験を行うのは、世界でも初めての試みだ。AHSには、大きく2つの側面がある。1つは自動走行システム。従来人間



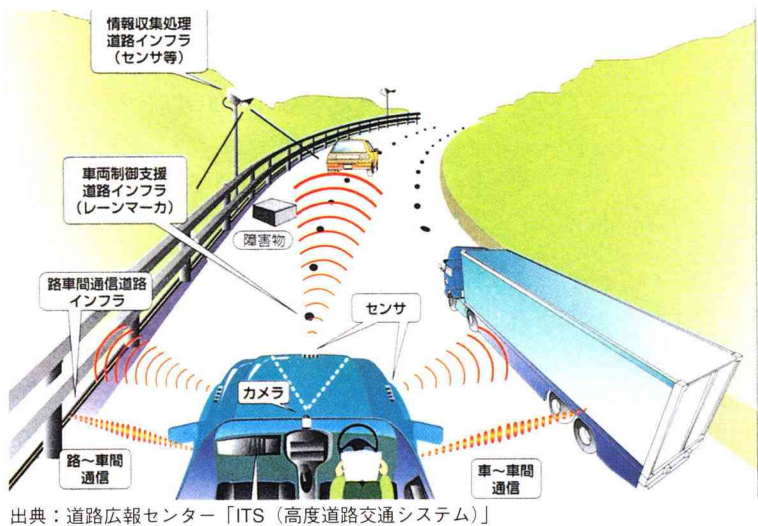
車のフロントグリルにはレーダ、バンパ一部には磁気センサーが取り付けられている

長野県・上信越高速道におけるAHSの走行実験の様子

図1 ITSの開発分野と利用者サービス



■図2 AHSのイメージ



出典：道路広報センター「ITS（高度道路交通システム）」

が行っていた「走る、止まる、曲がる」という運転操作を、自動的に行うものだ。たとえば、40km/hの一定速度を守って、安全な車間距離を保ちながら、道路のカーブに合わせて自動的にハンドルを切って走行することが、現在可能になっている。最終的には、ドライバーは、エンジンをかけて行き先を指定するだけで、後はハンドルやアクセル、ブレーキに触ることなく、車が勝手に目的地まで運んでくれるようになる。

2つめは、安全走行システム。前方に落下物や故障車などの障害物があれば、それを自動的に避けて走行する。隣の車線を他車が走行していれば、その情報も考慮しながら、障害物の回避操作を実行する（図2）。

現在の安全走行システムでは、運転操作はドライバーが行うが、指示速度をオーバーしたり、車線からはずれると警報が鳴り、ドライバーに注意を促す。車間距離が短くなると警報を発し、それでもブレーキを踏まない場合は、自動的にブレーキをかけるなどの機能が実現されている。

AHSの第一の目的は安全・快適な道路交通の実現にあるが、効率的な輸送システムの実現という側面も見逃せない。たとえば、トラックなどの大型車両を一定間隔で自動的に走行させることができれば、陸上輸送の大幅な効率化がはかれるからだ。こうした研究もすでに行われている。

世界初の公道を使った走行実験

実験が行われたのは、長野オリンピックの開催にあわせて建設が急ピッチで進む、上信越道小諸～東部湯ノ丸インターチェンジ間の約11kmの公道。今回は、一定速度で走行しながら、指定された車間距離を保って、自動的に車を走行させることと、前方の障害物を回避する実験が行われた。また、従来40km/h程度だった走行速度を、80km/hまで上げて実験が行われた。AHSでは、道路と自動車、自車と周囲の自動車の間で、相互に情報をやりとりすることで、自動走行を実現する。道路側のインフラとしては、道路と自動車間を結ぶため漏洩同軸

ケーブル（LCX）と呼ばれる施設を設置する。LCXは、情報処理装置（コンピュータ）が処理した、速度指示や事故情報などを、車に搭載された通信機に送信する。道路上の事故や障害物の情報は、画像センサなどの情報収集装置で集められ、コンピュータに送られる。

また、道路には約2mごとに「磁気ネイル」が埋め込まれており、車に対して車線の中央位置を知らせる磁気信号を発している。車には磁気ネイルセンサが搭載されており、信号を検知しながら、道の方向に従ってハンドル操作を行う。

車には、道路上の白線や前車との車間距離を計測するためのCCDカメラ、前車との距離を測ったり道路上の障害物を検知するレーダが搭載されている。これらの情報は、LCX、磁気ネイルセンサからの情報とあわせて、車載の情報処理装置で処理され、アクセルアクチュエータ、ステアリングアクチュエータ、ブレーキアクチュエータといった車両制御装置をコントロールしている。

今回の公道実験は、AHSの基礎技術の評価と、今後の開発方向の検討が目的。たとえば、車に道の方向を示しているレーンマーカーには、磁気ネイルが使われているが、自然界にはさまざまな磁気が存在する。また道路設置物からの影響も受けやすい。実際に車が走行する環境のなかで実験を行うことで、今後の開発課題が明らかになってくるわけだ。場合によっては、今後要素技術のいくつかは、まったく別の技術に置き換えられる可能性もある。

今回の実験には、海外からも大きな関心が寄せられた。おりしも96年9月25～26日の両日、VERTISでは「第1回アジア太平洋地域ITSセミナー」を開催した。セミナーには、アジア各国や中国、オセアニア地域の政府機関、研究者、企業など多数が参加した。特に、近年成長著しいアジア地域では、インフラ整備の遅れも伴って、交通問題が深刻になってきている。そのため、ITSへの関心もかなり高い。この地域は、日本にとっては将来の大きなマーケットとも考えられるわけだ。

運用が開始されたVICS

AHSと並んで、現在開発中の分野に「ノンストップ自動料金収受システム」(ETC:Electronic Toll Collection System)がある。高速道路での料金所渋滞を解消するため、料金所ゲートに設置したアンテナと車載装置の間で無線を利用して自動的に料金の支払いを行おうというもの。ノンストップで料金所通過が可能になる。

アメリカをはじめ、海外ではすでに実用化されているシステムもあるが、日本では研究が若干遅れていた。米国・ニューヨーク市で昨年からの試験的に導入されている「EZパス」というプリペイドカードシステムでは、誤動作によるトラブルが頻発しているという。

わが国では、こうした誤動作の問題や、料金精算の精度確保、全国共通のシステム導入など、より完全なシステム開発を目指して、研究が進められてきた。現在基礎研究は終了し、次の段階の準備が始まっている。

またITSのなかには、すでに実用化されている技術もある。96年4月から運用が始まった「道路交通通信システム」(VICS: Vehicle Information and Communication System)がそれ。VICSは、最近急速に普及しているカーナビゲーションシステムを利用して、現在の道路情報をリアルタイムに車に送信するサービス。VICS対応のカーナビ装置さえあれば、だれでも無料で利用できる。

ラジオや表示板などで提供される渋滞などの道路情報は、警察や道路公団などの道路設置者が収集し、(財)日本道路交通情報センター(VICSセンター)に集められる。VICSでは、その情報をVICSセンターで処理・編集し、電波ビーコン(*4)、光ビーコン(*5)、FM多重放送(*6)の3つを使って各車に提供している。

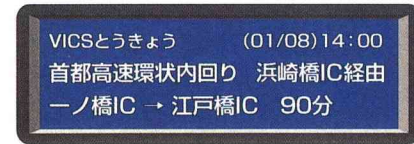
VICSで提供される情報には、レベル1～3まであり、利用できる情報量に差がある。レベル1は、文字による情報提供のみ。レベル2では、簡易図形による情報が利用でき、レベル3になると、カーナビの地図画面に渋滞情報などが重ねて表示される(図3～5)。

96年7月現在VICSが利用できるのは、東京圏と東名・名神高速のみだが、大阪圏は96年度内にサービスが開始され、設備が整った地域から、順次実施されていく予定だ。

ITS全体の開発テンポには、大きな差がある。VICSのようにすでに実現している技術もあれば、ETCのように実現間近のもの、AHSのようにまだ基礎実験の段階にあるもの、歩行者支援システムのように、これから研究に着手するものなどさまざま。ただ、AHSの安全走行システムのように、要素技術のいくつかは先行利用される可能性もある。

いずれにしても、従来、道路や橋梁建設は建設業、自動車は自動車メーカー、交通制御機器は通信機器メーカーなど、それぞれ特定の業界との結びつきが深かった道路交通が、ITS

■図3 レベル1の文字表示 (FM多重放送)



■図4 レベル2の簡易図形表示 (FM多重放送)



■図5 レベル3の地図表示

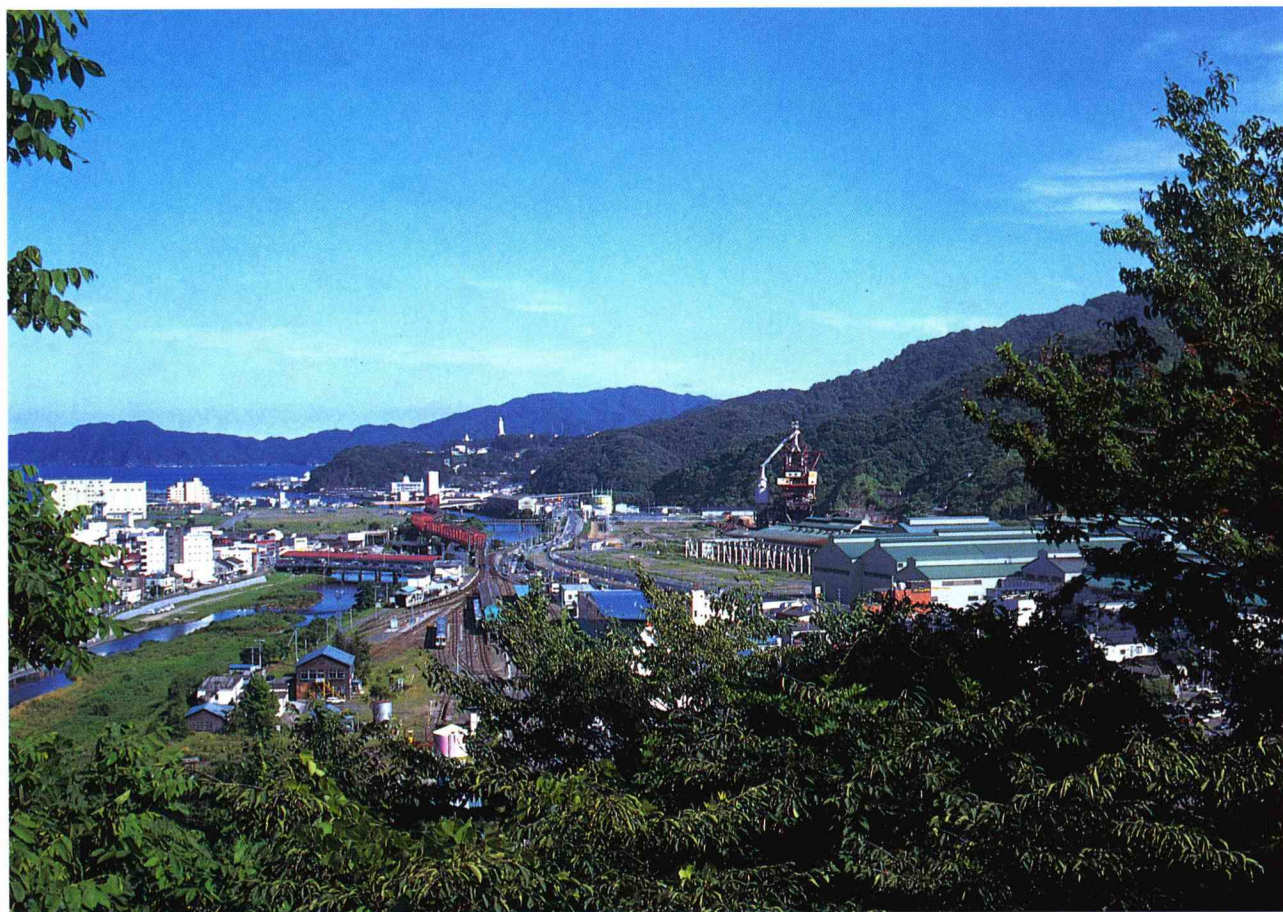


によって多元的・有機的に結びつき、かつ非常に大きな市場規模になることは確実。当然、それに対応して、各省庁の連携も密にする必要がある。ITS研究の成否が、日本の産業の将来を左右することになるだろう。

〔取材協力・写真提供：建設省道路局企画課、
道路交通情報通信システムセンター〕

- *1 VERTIS:Vehicle Road and Traffic Intelligence Society 豊田章一郎会長。
- *2 アメリカでは産官学で組織されたITS Americaが中心となって、年間200億円を超える予算を投入し開発を進めている。欧州では、政府主導のTELEMATICS、民間主導のPROMOTEに多大な研究開発費が投入されている。
- *3 International Organization for Standardization 国際標準化機構
- *4 電波を利用して、車から前方200km先の情報を、ビーコンの設置位置から前後35mの範囲で受信できる。高速道路に設置。
- *5 警察庁が管轄する主要幹線道に設置。車から前方30km、後方1kmの情報を受信できる。ビーコン直下の3.5mの範囲でしか受信できない。
- *6 文字多重放送と同様、FM放送の隙間を利用して広い範囲に情報を提供できる。ただし受信位置が特定できないので、提供される情報の密度が低い。

鉄の絶景 Steel Landscape.



釜石駅付近の様子

鉄都の鉄 岩手

12月1日「鉄の記念日」の発祥を岩手県釜石市に追う、
今回のスチールランドスケープ。

「鉄都」として、漁業と観光の町として歩みをつづける同市の「現在」と「過去」にスポットをあてる。

「鉄都」から漁業と観光の町へ、変化をつづける釜石

「東京―横浜」間につづいて「大阪―神戸」間、そして日本で三番目に開通した鉄道が「釜石―大橋」間だったから、この釜石は東北地方における鉄道発祥の地ということになる。当時、この鉄道が人気名所となったのはいうまでもない。人気の機関車は「義経号」や「弁慶号」、これら「丘蒸気」を一目見るために沿道は賑わった。泊まりがけで出向く人もあったほどだという。しかし、この鉄道も元来は一般旅客のためのものではなかった。その名も「釜石鉱山鉄道」、大橋鉱山の鉱石を釜石まで運ぶための鉄道、つまり名実ともに「鉄の道」だった。開通は明治13年、東北本線が上野から盛岡まで延びるより、10年もはやい敷設だったから、当時のこの鉄道の重要性も推して知るべしである。

釜石の駅へ降り立つと、まず目の前に新日本製鐵釜石製鉄所の広大な敷地が広がる。町の繁華街までは、ここからバスで5分も移動しなければならない。まさに釜石駅は製鉄のための駅であったということを、改めて思い知らされる。車で中心街へと移動する途中、橋の上に造られたマーケットの脇を通る。日本で唯一の橋上市場。世界でも、ここより他にはフィレンツェにあるだけだという。海産物から衣料品まで、生活に必要なものはたいてい手に入る市民の百貨店であり、観光客にとっては記念撮影のための絶好のポイントであるとともに、お土産の物色に最適の場所でもある。

釜石といえば鉄、そして海産物。三陸沿岸漁業の基地として栄えてきたこの町は、海の幸がことさら旨い。季節によってさまざまなバリエーションの味覚が楽しめる。また港からは観光船も発着していて、クルーズ途中で見られる三貫島は、あの「ひょっこりひょうたん島」のモデルになった島だとか。作者の井上ひさし氏は、ここで一時期を過ごした。また、小高い丘の上に建てられた「鉄の歴史館」も観光のポイントだ。たたら製鉄から、鉄の未来まで幅広い視野から展示されていて、マルチスクリーンの映像も迫力がある。

岩手県釜石市。見所は多く、海産物も旨い。この町もまた、多くの地方都市と同じように、新しい未来像に向けて、古い殻から脱皮しようと試みをつづけているように見える。輝かしい鉄の歴史と美しい自然が共存する観光の町として生まれ変わろうとしている。



大島高任により高炉が築かれたのは、現在の場所よりも山深く入った釜石市橋野の地。記念碑や説明板が、訪れる人々に当時の様子を伝える



高炉跡の記念碑



一番高炉の跡。説明板には高さ8メートルであったと記されている。大橋高炉とも呼ばれ、ASM InternationalからHistorical Landmarkの指定を受けている

近代製鉄の産声が、ここ釜石から

幕末。黒船の来襲でまず幕府が打った手は、大砲による沿岸防備だった。大砲鑄造のための実験が日本各地でなされた。佐賀、鹿児島、伊豆韮山……。これらの場所で西欧式の反射炉がつくられ、鑄砲製造が試みられる。こうした中、大島高任が水戸において、ある程度の成功を収めた。彼は南部藩医の長男として盛岡で生まれ、江戸に出て蘭学を、そして長崎で西洋砲術と製鉄法を学んだ。その後、水戸藩に呼ばれて反射炉を築き、安政元年（1854年）に大砲の鑄造に成功する。

ところが、この大砲は亀裂が入りやすかった。材料として用いられたのは出雲砂鉄だったが、どうもそこに問題があった。すぐれた磁鉄鉱が必要だ。そこで、高任は釜石に着目した。釜石には高品質な磁鉄鉱がある。18世紀初頭に発見され、貴重な鉄鉱であるという理由で幕府によって発掘が停止されたままになっていたものだ。しかし、それを製錬して製鉄を行なうため

には、従来の方法では至難の技。高炉による方法を採用するしかない……。そこでさっそく、高任は釜石における高炉の建設に着手した。

安政4年（1857年）の12月1日（旧暦）、初出鉄のための火入れが行なわれた。この日を記念して、現在の「鉄の記念日」が定められた。まさにその火入れの瞬間、日本の近代製鉄は試作の時代を終え、本格的な操業の産声を上げたのだ。しかし、それは小さな産声だった。なにしろ、近代製鉄がわが国に根づくまで、その後数十年を要したのだから。近代製鉄の発展には、長く険しい道程が待っていた……。

あらゆる産業には、誕生の瞬間があり、それが発展し、連綿とつづいていく歴史がある。かつて近代製鉄が誕生した釜石は、長い年月を経て、いま新しい歴史を刻みはじめている。観光の町もまたよい。高炉の名残は、さまざまな施設跡地に、そして鉄の歴史の偉大な記録にとどめられていくだろう。

名誉会員からのメッセージ

共同研究について思うこと

住友シチックス(株) 社友

池島俊雄



1 研究テーマの選定の重要さ

以前、住友金属工業で研究部長などの研究管理の仕事に従事していた時、研究テーマの選定に一番頭を痛めたし、最も多くの時間を費やした。不適切な研究テーマを選定したため、研究は計画通り達成されたにも拘らず、実用化されず、その結果、研究費の無駄使いとなったばかりではなく、研究者の苦勞に報いることができず、時には研究者に自信を失わせることすらあった。

また、研究者の能力に過大な期待をかけすぎて研究成果が得られぬこともしばしばであった。

研究テーマの選定にあたっては、企業内の要望、市場のニーズ、研究者の希望や能力などを充分調査・検討して決定するが、所期の研究成果を得られ、その成果が企業化されて企業に利益をもたらす確率、即ち成功の確率は必ずしも高くない。研究テーマの決定後、外部環境の変化による企業の方針の変更、市場ニーズの変化、或いは思わぬ競合品の出現などが起こり、研究目標は達成されたにも拘らず、企業化されぬことが多い。従って、研究テーマの選定に当っては実用化のニーズの強いテーマを優先すべきである。特に、長期の研究の場合には、政府や各種団体の長期予想をベースに研究テーマを選定するが、この予想は外れる場合がかなり多い。従って、研究テーマの選定に当っては、外部環境の変化に強いものを選び、または柔軟性をもたせることが大切であろう。

このように、適切な研究テーマの選定は困難なものであるが、研究の成功のためには最も大切な仕事であると思う。

2 研究環境の変化

私が現役の時代は、日本鉄鋼業の高度成長期であったので、大した研究成果でなくても増産便益のおかげで、企業に対しては大きな利益をもたらすことができた。研究テーマの選定も困難と言いながらまだ楽であったと言える。

しかし、日本鉄鋼業の量的成長が止り、増産便益を期待することができなくなってきた今日では、質の高い研究成果でないと企業に利益をもたらすことができなくなった。従って

研究テーマの選定も困難の度が一層高くなり、研究者にはより高度の研究成果を要求することになったと思う。

さらに円高という外部環境の変化により、日本鉄鋼業の国際競争力の低下という事態が起ったため、各企業は人員の削減をはじめ、リストラを余儀なくされ、ひいては研究費や研究者の削減も行なわれている。

しかし、これらの悪条件にも拘らず、鉄鋼協会の研究発表を見るかぎり、その内容も大変立派なものが多く、世界をリードする地位を維持していることは、誠に頼もしい。また、製造設備についても苦しい中、たえずリフレッシュが行なわれ、例えば、薄板圧延におけるペアクロスロール、熱延におけるエンドレス圧延、シームレス管における高交叉角穿孔などの新技術が世界に先がけて開発され、実施されている現状を見るにつけ、現役の方々のご努力とその成果について心から敬意と感謝を表したい。

3 共同研究の重要性

今後も、日本鉄鋼業をとりまく環境は厳しい状況が続くものと思われる。従って各企業における研究費の減少がボディーブローのようにきいてきて、日本の技術レベルの優位性が失われる心配がある。その対策として、従来、各企業で独自に行なっていた研究の中で、各企業に共通なものを共同研究として取り上げることは大変望ましい方向と考える。一般に共同研究と言っても、多くの種類があるが、ここでは同業者間(大学を含む)の共同研究に限って論ずることとする。

現在、鉄鋼協会や金属学会でも数多くの共同研究が行なわれており、またJRCMでは過去10年にわたって日本金属産業の基盤となる技術開発に努力しておられる。さらに、鉄鋼連盟を中心としてナショナル・プロジェクトの溶融還元製鉄法などの大型の共同研究も行なわれている。

このように共同研究が盛んになり、その規模が拡大し、特に多額の公的資金が投入されるようになると、研究成果の評価や研究効率といった面での批判も厳しくなるのは当然であろう。

私は共同研究を盛んにすることに賛成する者であるが、研

究の成功率をもっと高めることに、努力と工夫をしてほしいと思うものである。

共同研究には多くの人材を結集できるなどメリットも多いが、運営上にはトラブルも少なくない。例えば、責任の所在、リーダーシップ、仕事の分担などいろいろとあろうが、私の知る限り大変うまくやっておられる例が多いので運営上の問題は致命的だと思わない。

一番の問題は、一般の研究と同じく研究のテーマの選定と適切な人材を集めることにあると思う。

4 共同研究のテーマの選定

共同研究のテーマにもシーズ探索型のもの、現象の解明を目的としたもの（過去の例では、寒冷地における天然ガスのラインパイプの延性破壊現象の解明のプロジェクト）、新プロセスの中の核となる技術に絞っての研究など種々あろうが、鉄鋼の上工程の研究では工業化に近いパイロットプラントまで行なわれる例が多い。

何れの場合にも研究が終了した時点で直ちに実施に移されるか、又は実用化に向けて次の段階の研究に進むことが大切である。第一義的には実用に供されてはじめてその研究は成功したと言えるからである。

共同研究の成功のためには、研究テーマを選定する時研究の目標が達成されたら、各企業が直ちに工業化することを確認する必要がある。従来、どちらかと言えばこのような実用化のニーズの強いテーマは各企業が独自に行ない、将来必要であり重要ではあるが、直ちに実行に移すかどうかは、未確定のままテーマを選定された例が多いのではないかと思う。

共同研究の成功例として私の印象が深いのは、1976年発足した超LSI技術研究組合の超LSI研究所である。これは、日本の複数のLSIメーカーが集まって研究した機関である。この共同研究は大きな成功をおさめ、日本の半導体業界の飛躍的發展に大きく貢献したと言われている。この研究所の所長で

あった垂井康夫氏は、「成功のポイントは将来使われる基礎的、共通的テーマを中心とすること、その分野の特質と本質を見抜いたテーマであると思う」と言われている。この場合、研究テーマが適切であったため成果が直ちに実施に移されたのだと思う。後に1987年米国でも日本のこの成功をまねして、米国では珍しく官民共同の研究会社セマテックを設立、半導体製造技術を研究、その成果は米国の半導体業界の復権に大いに貢献したと言われている。

今後、鉄鋼業界においても共同研究の成果が業界の発展に大きく貢献する例が多くでるように期待するものであるが、そのためには研究成果が直ちに実用化されるような研究テーマを選定されることを切望する。現在進行中のプロジェクトの中で私が最も期待するのは次世代コークス炉の開発である。

この場合、研究開発が予期通り成果をあげれば、各企業はその採用に踏み切る公算は極めて高く、これにより高炉一転炉法の優位は維持され、日本鉄鋼業の競争力は高まると思う。このプロジェクトではむしろ技術的に成功するかどうかが鍵であり、ご担当の研究者、技術者の方々のご努力を大いに期待したい。

5 終わりに

以上は、日本鉄鋼業の競争力向上を目的とした共同研究について申し上げたが、今後はさらに地球環境問題解決のための国際的な共同研究が必要となろう。例えば、CO₂排出に関する炭素税の問題、廃棄物減少に関するリサイクルの強化の問題などについて政策上の論議だけでなく、その解決のための新技術開発が重要であり、そのための共同研究が国際的規模で行なわれることと思われる。ここでも目的達成のため、最も効率が高い研究テーマの選定は一層重要性を増すと思う。研究指導者と研究管理者のご精進とご努力を切にお願いするものである。

(1996年9月20日受付)

名誉会員からのメッセージ

53年ぶりの老受験生

東北大学名誉教授

大谷正康



会報編集委員会より「名誉会員からのメッセージ」として、随想風記事の執筆を依頼された。編集委員の原稿集めの苦勞を考え、会報「ふえらむ」の寄贈を受けている引け目(?)もあり、承諾した。

ごく最近の経験を題材にとり、近況報告もかねて責(せ)めを果したい。

平成8年6月9日、文部省認定漢字能力検定試験2級を受験した。大学在学中、昭和18年10月、旧海軍技術学生を受験して以来、実に53年ぶりの受験である。長い歳月が経ち、73才となった老受験生には久しぶりの緊張の一時であった。

町内会の高齢者間で回覧している「100歳万歳」のなかに、73才になった男性が2級漢字能力検定試験に合格した喜びの記事を見たのが受験の動機である。

丸善で願書をもらい、日本漢字能力検定協会に出願したのは3月の終りであった。私も前述の男性と同年で、一念発起、まず、2級を受験することにした。

第1回の受験日までに約3ヶ月の期間がある。以来、2級能力検定問題集、孫から送ってもらった「高校生の常用漢字」などを相手に、勉強を始めた。漢和辞典、用字苑および拡大鏡が常備品である。

ご承知の方もいると思うが、ここで検定試験の概略を説明しよう。

全国的規模では(財)日本漢字能力検定協会の実施する「日本漢字能力検定試験」と、もう一つは東京漢字検定協会の「漢字検定試験」の二つが代表的なものである。前者は7級～2級、準1級、1級の8つの級がある。1級が最高で、合格者は俗にいう漢字博士(はくし)である。試験実施は毎年3回、定期的に行われ、2月、6月および10月の日曜日に協会が定める各都道府県の会場で実施する。

各級とも200点満点、合格基準は1～3級は80%(160点)、4～7級は70%(140点)が目安となる。

検定料は級により異なるが、2級は4,000円、1級は6,000円である。

なお、2級以上は受験票に顔写真の貼付が要求される。

試験では生半可な漢字の覚えかたでは通用しない。拡大鏡を使って正確さを確かめたことは数限りない。解答は楷書体

で、はっきり正確に書かなければならない。専門の門には口がない。巳(み)はふさぎ、己(おのれ、つちのと)みな開けよ。半ばふさげば巳(すでに、やむ、のみ)となる。爪(つめ)に「ツメ」なし、瓜(ウリ)に「ツメ」ありなど、よく云われるいいまわしも覚えた。

問題は(1)読み方 (2)送りがな (3)部首 (4)熟語 (5)対義語と類義語 (6)誤字訂正 (7)書き取りの範囲で200点満点である。

部首と部首名は辞書を引くとき不可欠であるが、なかなか難しい。テキストの模擬試験に挑戦するが、初めのうちは60%程度しか取れない。4月、5月と過ぎ、80%を越すようになった。

6月9日の第1回試験日を選択した。当日、試験場に行くと、受験生の大半は高校生と見られる若人で、年配者は数えるほどしかない。入室前も、入室後も、参考書に目を通してゐる。高校生が多いのは合格者の大学入試での優遇制度があるからだろう。平成8年6月受験者数は約29万人、平均年齢18.9才と報じられている。

本番5分前、係員から答案用紙記入の注意を受ける。この頃になっても、受験生数名が入室してくる。10:00試験開始。さて、これからと久しく経験しなかった緊張感が走る。問題数の割りに時間が短い気がするのは力不足か。

11:00終了。退出時解答用紙が各人に渡される。

結果は40～50日のち、本人に通知するとのことで、7月22日合格証書(図1参照)が届いた。

いま、1級、漢字博士を目標に「晴耕雨読」ならぬ、やや誇張すれば「晴読雨読」の毎日である。ちなみに、平成7年第3回上級合格者は1級 145名、準1級 372名で、(平成7年第3回受験者数約20万人程度と推定される。《図2参照》)かなりの難関である。

“サムエル・ウルマンの詩”ではないが、老いしつつも漢字博士を目指し、希望に満ちた青春時代を過ごしている。

現役会員はワープロでの研究報告作成に忙しいと思う。いまは、漢字を勉強する時間的余裕はないだろうが、正確な日本語を使うよう心掛けて欲しい。私自身、これまでいかに曖昧な覚えかたをしていたか、今回の経験を通してよく判った。

30年ほど前、的場先生が「これからの社名などは、読んですぐ判らないようなカタカナのものが会社として成長してゆくんだね」と話されていたことを思い出す。「ふえらむ」もすぐ判るタイトルではない。ごく最近、徳田先生（東北大）と話す機会があった。その折、「カタカナの時代は過ぎ、“ひらがな”がはやっていますよ。金属学会の「まてりあ」もその一つです。そのつぎは漢字に回帰するかも知れません」と話

してくれた。

現在の「鉄」という字は「金を失う」と書くが、再び「金の王なる哉」なる鐵に戻り、ますます発展して行くことを念願し、終わりとする。

参考までに、平成7年度2級および準1級の試験問題中、「四字熟語」の項を抜粋した。挑戦して下さい。

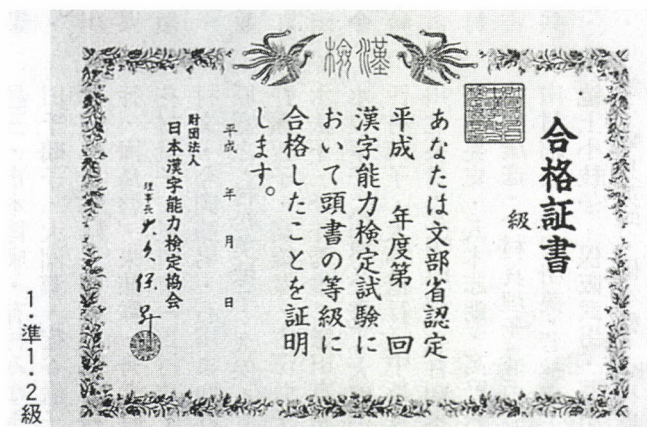


図1

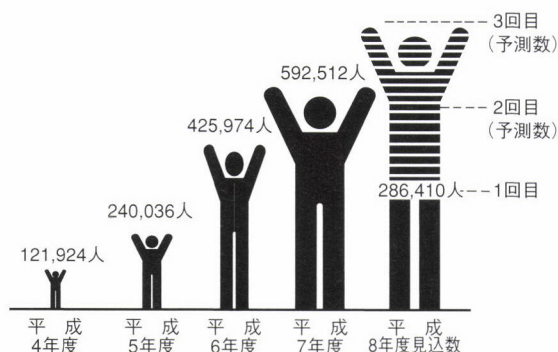


図2 志願者数（日本漢字能力検定協会調べ）

準1級

●次の（ ）に入ることは後の語群から選び、漢字に直して四字熟語を完成せよ。答案用紙に二字記入せよ。

5 ()	4 ()	3 ()	2 ()	1 ()
積玉	章草	名人	秀麗	凝議
10 ()	9 ()	8 ()	7 ()	6 ()
礪山	身体	拔本	一目	三者

きゆうしゆ・せきし・そくげん
たいか・たいきん・ていだん・はつぷ
びもく・りようぜん・ろぎよ

(答) 準1級

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
帶河	髮膚	塞源	瞭然	鼎談	堆金	魯魚	碩師	眉目	鳩首

2級

●次の（ ）内に入る適切な語を（ ）の中から選んで、漢字に直して四字熟語を完成せよ。答案用紙に二字記入せよ。

5 和洋 ()	4 愛別 ()	3 孤立 ()	2 是非 ()	1 当意 ()
10 ()	9 ()	8 ()	7 ()	6 ()
正大	打尽	乱麻	止水	果敢

いちもう・かいとう・きよくちよく
こうめい・せつちゆう・そくみよう
むえん・めいきよう・ゆうもう・りく

(答) 2級

10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
公明	一網	快刀	明鏡	勇猛	折衷	離苦	無援	曲直	即妙

(1996年9月4日受付)

展望

活力ある中小企業に向かって

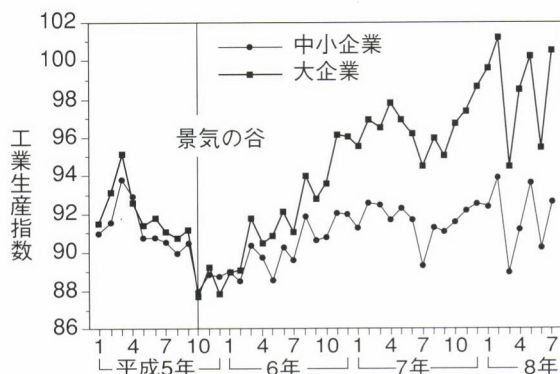
遠藤正利
Masatoshi Endo

通商産業省 中小企業庁

To Active Small and Medium Enterprise

1 最近の中小企業の景況感

最近の我が国経済は、緩やかな回復の動きを続けている中、中小企業の景況感や生産指数の動向には、やや持ち直しの動きが見られるものの、大企業の回復に比して大きく遅れをとっているなど、依然として厳しい状況にある。(表1、表2、図1)



(注) ・平成2年を100とした。
・季節調整済み指数。
出所：中小企業庁「規模別製造工業生産指数」、最新調査時点平成8年7月速報

図1 工業生産指数の推移

表1 製造業の規模別業況判断指数

業況判断指数	平成7年 5月	8月	11月	8年 2月	5月	8月	12月 予想
中小企業	▲22	▲30	▲30	▲25	▲19	▲17	▲11
大企業	▲16	▲18	▲14	▲12	▲3	▲7	0

(業況判断指数は業況が「良い」とする企業割合から、「悪い」とする企業割合を引いた値)

出所：日本銀行「企業短期経済観測調査」、最新調査時点平成8年8月

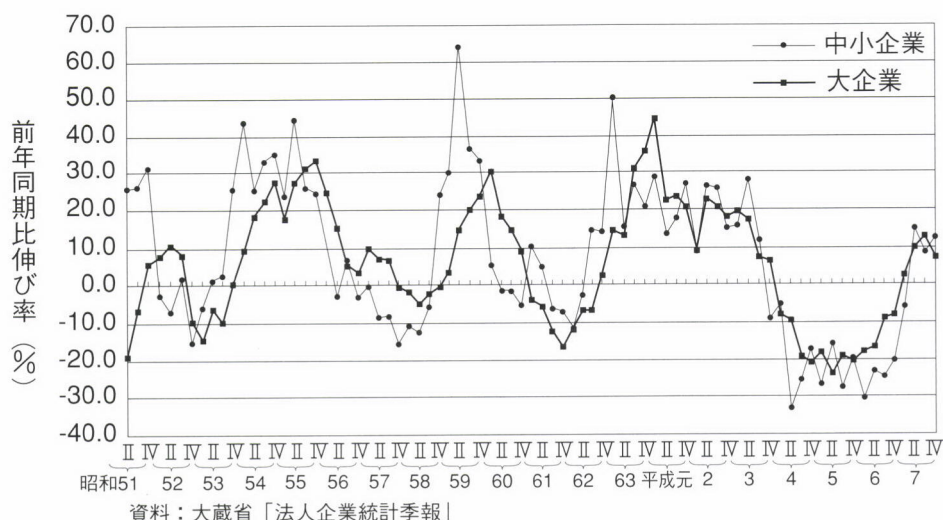
表2 工業生産の直近の動向

生産指数	平成7年 4～6月期	7～9月期	10～12月期	8年 1～3月期	4～6月期	5月	6月	7月
中小企業	91.9 (▲0.3)	90.6 (▲1.5)	92.1 (1.7)	91.8 (▲0.4)	91.7 (▲0.1)	93.6 (2.6)	90.2 (▲3.6)	92.6 (2.7)
大企業	97.0 (0.6)	95.2 (▲1.8)	97.6 (2.6)	98.4 (0.8)	98.1 (▲0.4)	100.2 (1.7)	95.5 (▲4.7)	100.5 (5.2)

(注) ・平成2年を100とした。

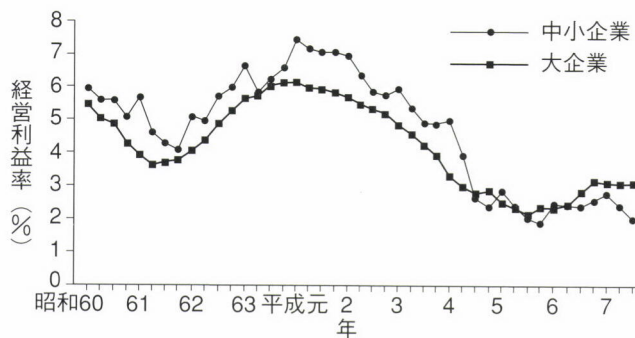
・季節調整済み指数。括弧内は前期比。

出所：中小企業庁「規模別製造工業生産指数」、最新調査時点平成8年7月速報



資料：大蔵省「法人企業統計季報」

図2 製造業の設備投資推移（前年同期比伸び率）



資料：大蔵省「法人企業統計季報」

(注) 1. 季節調整済、三期移動平均。

2. 中小企業とは、資本金1千万円以上1億円未満の法人企業、大企業とは、資本金1億円以上の法人企業を指す。

図3 総資本経常利益率の推移（製造業）

中小製造業の設備投資動向についても回復は緩やかであり、依然として大企業に比べて力強さに欠けており、今回の景気回復局面においては、従来見られていた中小製造業の設備投資先行性は見られなくなっている。（図2）

また、中小企業の収益の回復も遅れており、従来中小企業の総資本利益率は、大企業を上回る傾向にあったものの、平成6年以降は大企業が中小企業を上回る状況が続いている。（図3）

これらの統計資料は、我が国製造業の基盤を支えてきた中小企業の動向において、構造的な変化の時期にさしかかってきたことをあらわしていると思われる。

2 中小企業の実態

2.1 中小企業基本法の制定（昭和38年7月）

昭和30年から始まった「神武景気」により、我が国経済は新しい高度成長過程に入り、昭和31年の経済白書では「もはや戦後ではない」と発表された。

翌昭和32年の経済白書では「早すぎた拡大とその反省」と表現され、その年の下期から昭和33年の間は「なべ底不況」といわれた景気調整局面が生じた。

その後、昭和33年下期からの「岩戸景気」で、再び高度成長が始まり、昭和35年末に池田内閣で「所得倍增計画」が策定された。この所得倍增計画において、農業と中小企業の近代化が二重構造解消の道であるとされ、農業基本法は昭和36年に制定された。

中小企業基本法の制定については、中小企業が農業に比べ業種態が多岐にわたり、膨大な数を占めるため時間を要し、また高度成長過程において大企業の発展が大きく、中小企業は大企業に比べ大きな遅れを示した。このため日本経済の二重構造解消と貿易の自由化の進展に伴う国際競争力強化の

要請は一段と強まった。中小企業に対しては、政策の方向づけと個別施策の総合的体系化・拡充強化の必要性により、昭和38年7月に「中小企業基本法」が制定された。

2.2 我が国経済の重要な役割を果たす中小企業と大企業との格差

昭和38年に中小企業基本法が制定され、第1回の中小企業白書（昭和38年版）の基本的データと現在のデータを比較対照しても、中小企業が我が国経済において事業所数・従業員数・出荷額等で大きなウエイトを占め、我が国経済の発展に大きな役割を果たしている。その実情を以下に述べる。

①全事業所に占める中小企業の事業所数は99%以上

昭和30年から36年にかけての統計では、製造業の場合とその全事業所数の99%以上は中小企業であり（表3）、その傾向は近年になってもほとんど変化していない。（表4）

②全従業員数に占める中小企業従業員数は70%以上

昭和30年代の高度成長期の製造業においては、中小企業より大企業が発展したため中小企業の従業員比率は、70%台から60%台へと減少していったが、バブル崩壊等による景気低迷によって、大企業は大幅なリストラ等の雇用調整を実施し、中小企業の従業員比率は70%台に回復した。（表5、表6）

つまり我が国中小企業は、雇用の安定に重要な役割を果たしているといえる。

③製造業の出荷額比率の50%超は中小製造業

昭和30年代の高度成長期における製造業出荷額は、従

表3 全事業所に占める中小企業事業所数（製造業）

	昭和30年	31年	32年	33年	34年	35年	36年
事業所数（万）	43	43	46	45	45	48	49
中小企業の比率（%）	99.6	99.6	99.6	99.5	99.5	99.4	99.4

資料：通産省「工業統計表」

出所：中小企業白書（昭和38年度）から作成

表4 全事業所に占める業種別中小企業事業所数（民営非一次産業）

	中小企業							大企業	計
	製造業	建設業	卸売業	小売業	サービス業	その他	計		
事業所数(万)	82	61	47	241	160	57	647	6	653
中小企業の比率(%)	99.4	99.9	99.2	99.3	97.9	99.7	99.1		
(うち小規模)	(85.5)	(91.7)	(46.1)	(75.0)	(69.3)	(86.6)	(75.4)		

(注) 四捨五入のため計と各項目の和が一致しない場合がある。

資料：総務庁「事業所統計」平成6年

出所：中小企業施策総覧〔資料編〕（平成8年度版）

表5 全従業者数に占める中小企業従業者数（製造業）

	昭和 30年	31年	32年	33年	34年	35年	36年
従業者数（万）	402	437	477	482	514	568	595
中小企業の比率（％）	73.0	72.3	72.3	72.3	70.4	69.5	68.0

資料：通産省「工業統計表」

出所：中小企業白書（昭和38年度）から作成

表7 製造業の出荷額・付加価値に占める中小企業比率

	昭和 30年	31年	32年	33年	34年	35年	36年
出荷額シェア（％）	56.0	53.3	51.7	52.7	50.5	48.9	47.8
付加価値シェア（％）	51.7	49.8	48.6	50.5	46.7	45.7	45.2

資料：通産省「工業統計表」

出所：中小企業白書（昭和38年度）から作成

表6 全従業者数に占める業種別中小企業従業者数（民営
非一次産業）

	中小企業							大企業	計
	製造業	建設業	卸売業	小売業	サービス業	その他	計		
従業者数（万）	974	482	416	1,023	773	543	4,227	1,189	5,146
中小企業の比率（％） （うち小規模）	73.2 (26.5)	95.4 (55.5)	84.0 (11.3)	87.5 (34.6)	62.9 (18.0)	87.4 (29.1)	78.0 (27.5)		

（注）四捨五入のため計と各項目の和が一致しない場合がある。

資料：総務庁「事業所統計」平成6年

出所：中小企業施策総覧〔資料編〕（平成8年度版）

表8 製造業の出荷額及び付加価値に占める中小企業比率

年	昭和 61	62	63	平成元	2	3	4	5	6
製造業の出荷額 に占める中小企 業のシェア （4～299人）	52.0	52.6	52.5	51.8	51.8	51.8	51.9	51.7	51.3
付加価値に占 める中小企 業のシェア （4～299人）	56.6	56.4	55.5	54.8	55.5	56.2	56.7	56.6	55.9

資料：通産省「工業統計表」

出所：中小企業施策総覧〔資料編〕（平成8年度版）

業者数と同様に、大企業の発展によりその比率は、50％台から40％台へと減少していったが（表7）、近年は中小企業比率は50％台へ回復し、付加価値に占めるシェアは昭和30年代の40％台から50％台へ高まっている。（表8）

④ 中小企業と大企業との格差は未だ大きい。

「中小企業基本法」は、中小企業と大企業との格差を是正し、中小企業の成長発展を図り、中小企業の従業者の経済的社会的地位の向上に資するために制定された。

しかし、現在においても中小企業と大企業の格差は、改善されつつあるものの依然として存在し、中小企業は大企業に比べ労働生産性が低く、労働集約型の産業が多く賃金格差も存在している。（表9）

3 戦後50年と日本経済の構造変化

3.1 戦後の高度成長と大企業体制の構築

我が国経済の高度成長過程において、製造業は欧米先進国の進んだ技術の導入を図り、その技術のキャッチアップに努めてきた。

昭和29年には、冷蔵庫・洗濯機・掃除機が「三種の神器」と呼ばれ始め、我が国の人口は8千万人を超えており、十分な国内マーケットが存在していた。このため昭和30年代末にはこれらの普及率が大幅に拡大し、この普及率の拡大によって、製品の低価格化が可能となった。

この低価格化によって、輸出の拡大が図られ、輸出拡大に

表9 中小企業と大企業の格差指標

諸格差指数（大企業を100とした場合の中小企業の水準）の推移

（製造業について）

年	昭和 51	54	57	60	62	63	平成 元	2	3	4	5	6
格差指数												
労働生産性格差指数	51.0	47.2	49.4	47.5	48.7	46.5	45.9	47.4	49.5	51.7	51.5	50.6
資本装備率格差指数	48.1	46.0	50.0	50.0	51.4	52.7	53.3	54.6	56.0	57.4	57.5	58.9
賃金格差指数	58.4	58.1	61.9	61.4	61.6	61.1	61.9	62.5	63.3	64.9	64.8	64.1

（注）1 労働生産性＝ $\frac{\text{年間付加価値額}}{\text{従業者数}}$

2 資本装備率＝ $\frac{\text{有形固定資産}}{\text{従業者数}}$

3 賃金＝ $\frac{\text{現金給与総額}}{\text{従業者数}}$

4 労働生産性、賃金については、従業者4人以上の事業所（昭和51、54年については、従業者数1人以上の事業所）、資本装備率については、従業者数30人以上の事業所について集計。

資料：通産省「工業統計表」

出所：中小企業施策総覧〔資料編〕（平成8年度版）

よって大量生産方式による生産規模が拡大され、更なるコストダウンが可能となって輸出競争力が強化された。

この大量生産方式の導入によって、我が国の優れたプロセス技術と生産システムが構築され、大企業体制が確立することとなった。

また、我が国の競争力の強さは、効率的な分業体制によってもたらされたものであり、大企業と技術的に質の高い中小企業との分業体制によって構築され、この結果日本的経営や企業間関係（系列化・株式持ち合い等）が形成された。

3.2 我が国の雇用システムとその変化

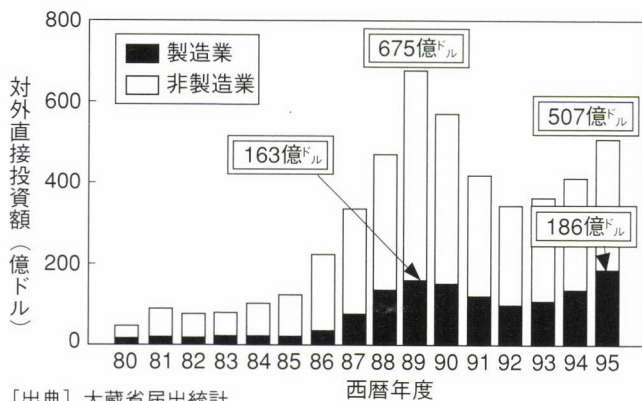
日本的経営や企業間関係が形成されたと同様に我が国の雇用システムにも、戦前は一部の企業、幹部社員等に導入されたに過ぎなかった終身雇用制・年功序列賃金制が幅広く導入された。この雇用システムは戦後の成長過程において、生活保障を求める労働者と従業員の定着率を高めて熟練度の向上等を図る経営者側の意向に基づいて根づいたもので、現在まで雇用システムの基本的部分を占めており、我が国経済の発展に貢献してきた。

しかし、近年の経済成長の鈍化、国際競争の激化、産業の空洞化の懸念等によりこの雇用システムの前提が変化し、革新的取組みへの活力不足等のデメリットも顕在化し、就業体系の多様化、報酬体系の変化等により雇用形態が多様化している。

3.3 製造業の海外直接投資の増加と製品輸入

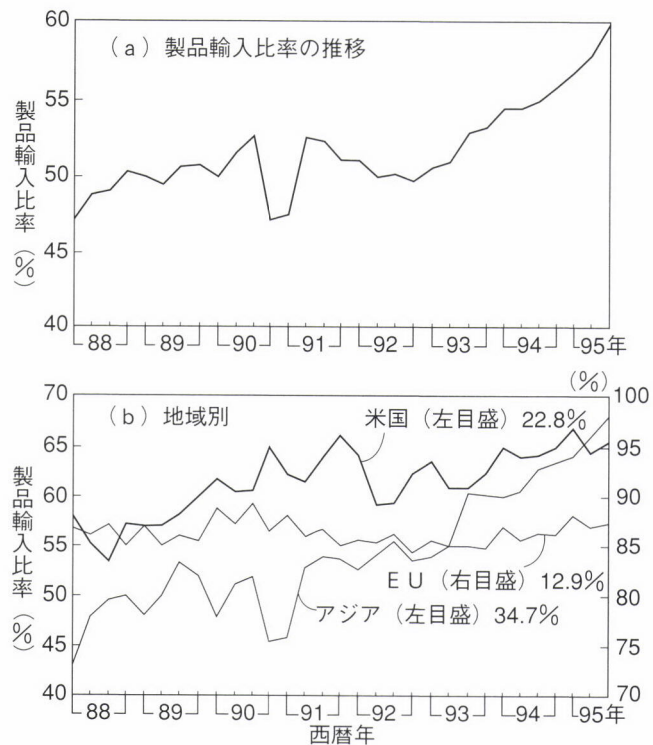
1985年9月のプラザ合意によりドル高是正への介入強化により、急激な円高に向かった。我が国製造業は、輸出競争力の低下等による危機感を強め、海外直接投資を活発化させ、1989年度には163億ドルを記録した。

その後世界経済の低迷と国内のバブル景気によって、製造業の海外直接投資は減少に向かったものの、93年初めからの円高の一層の進展等により、海外直接投資額は再び増加に転



〔出典〕大蔵省届出統計

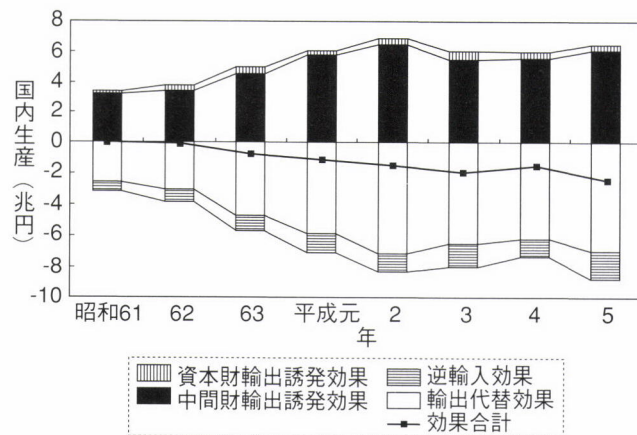
図4 我が国対外直接投資額の変遷



(注) a. 製品輸入比率＝製品類輸入額／輸入総額
製品類＝化学工業品＋繊維製品＋金属・同製品＋非金属鉱物品＋機械機器＋その他
b. 地域名に付されている数字は94年の各地域からの輸入金額ウエイト。

(資料) 大蔵省「外国貿易概況」

図5 製品輸入比率



資料：通産省「海外事業活動基本調査」「工業統計表」、中小企業庁「規模別産業連関表」

図6 製造業の海外展開による国内生産への波及効果（中小製造業）

じ、95年度の製造業の海外直接投資額は186億ドルと過去最高を記録した。(図4)

また、製造業の海外展開やアジア地域の成長等によって資本財・部品や耐久消費財等の製品輸入が増加し、国際分業が急速に進展しており、中小製造業においては少なからず影響を受けている。(図5)

海外展開による国内製造業の生産への影響は、「資本財輸出誘発効果」と「中間財輸出誘発効果」のプラス効果と「輸出代替効果」「逆輸入効果」のマイナス効果があり、中小製造業においてはマイナス効果の方が強く、その影響を受けている。(図6)

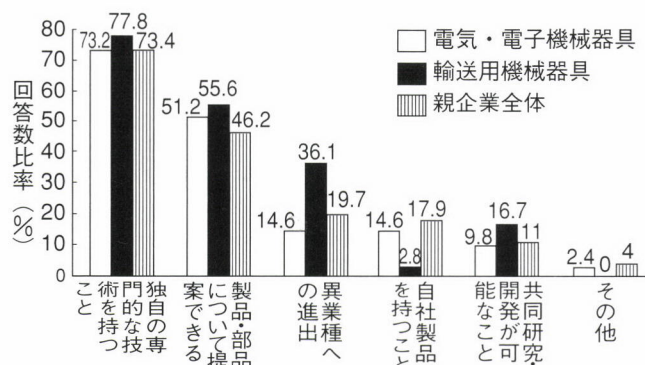
また、我が国の高コスト構造によって海外生産にシフトが生じた場合も、中小製造業の生産はその分減少することになる。

3.4 中小企業における構造変化

加工組立型産業を中心に発展してきた我が国の製造業において、中小企業は高品質の部品等の安定供給者として貢献し、日本経済の高い成長と雇用の創出に大きな役割を果たしてきた。

しかし円高の進展やそれに伴う海外生産の進展、アジア地域の発展等による製品輸入の増加、規制緩和等様々な状況の変化の中で大きな構造変化を強いられている。

また、加工組立型産業の競争力の向上に大きな役割を果たしてきた下請分業構造の中で、下請型中小企業においても、親企業との継続的な取引にとらわれない新たな取引関係を見いだそうとする動きをはじめ、中小企業をめぐる厳しい状況の中でも構造変化への対応の兆しも出てきた。脱下請化の方法としては、中小企業が持っている技術力、機動力等において優位性を発揮することができる中小企業が望まれている。(図7)



資料：中小企業庁「我が国下請分業構造実態調査（親企業）」平成7年11月

(注) 複数回答のため合計は100を超える

図7 脱下請化の方法（対象：親企業）

3.5 高コスト構造と規制

また、円高の進展は内外価格差を拡大させ、我が国製造業の価格競争力の低下の原因となってきた。特にエネルギー、運輸、通信等の非貿易財・サービスにおいては大きな内外価格差が存在し、その要因として貿易財産業と比べて生産性の向上が遅れている分野であり、この分野の高価格はこれらを利用する製造業にとって大きな負担となっている。

世界経済は大競争時代に突入しており、我が国の高コスト構造の是正と、新しいビジネスが自由に展開される環境の整備が不可欠である。このため生産活動の基本となる各制度を抜本的に見直す必要がある。とりわけ、経済活動の基本となる人・もの・金の移動に伴うコストの低減や自由な企業組織の選択等を可能とするため、規制緩和や制度改革を推進する必要性がある。

4 日本経済再建と経済構造改革

我が国経済については、高コスト構造や硬直的制度等による日本的経済社会システムの制度疲労、キャッチアップ型からの脱却に必要な基礎的研究開発の遅れや独創的人材の不足等による創造的発展基盤整備の遅れが指摘されている。

このような我が国経済が直面する問題を払拭するためには、経済構造改革の推進と新規産業創出が政策の重要課題となっており、新経済計画（平成7年12月）において21世紀に向け安定的な経済発展のため、経済構造改革の実行が不可欠と明確化している。また、高コスト構造の是正や新規産業創出のため規制緩和を図っていくことが重要で、平成7年3月に規制緩和推進5ヵ年計画が策定され、4月には5ヵ年計画を3ヵ年計画へ前倒しされた。今後は高コスト構造の要因の一つである金融雇用・運輸・情報・通信等を中心に規制緩和を強力に推進し、新規産業創出に期待している。

また、中小企業にとって、個性と活力を最大限に生かせるよう規制緩和・競争促進等を通じ、中小企業の力が十分発揮できるような市場環境の整備に努め、かつ中小企業の自前の情報力、技術力、リスク管理能力の向上を図ることが重要である。

このような状況下、我が国が科学技術創造立国を目指して平成7年11月に「科学技術基本法」が施行された。

4.1 科学技術基本法の制定と科学技術基本計画

我が国の研究開発システムが社会経済の変化の中で、柔軟性を欠き連携・交流等が十分に行えないなど制約要因が顕在化し、研究機関の設備等も老朽化しているのが現状である。また民間の研究開発費は3年連続して減少し、研究所の海外展開も86年の119ヵ所から92年の295ヵ所へと2.5倍に拡大され、研究開発の空洞化問題も起こっている。基礎研究の面においても、その水準は欧米諸国に遅れを取っており、将来を担う若者の科学技術離れ問題も生じている。このような現状を踏まえ、我が国の科学技術活動を巡る環境を抜本的に改善し、我が国の研究開発能力を引き上げることを目的に科学技術基本法が制定された。

この基本法に基づき、新たな視点に立って、変革を目指し

た科学技術政策を総合的、計画的に推進するため、今後10年程度を見通した平成8年度から平成12年度までの5年間の科学技術政策を具体化するものとして、科学技術基本計画が策定された。

〔科学技術基本計画の内容〕

(1) 資金面

政府研究開発投資について、その倍増の具体的な「規模及び時期」を明示し、具体的には「平成8年度より12年度までの科学技術関係経費の総額の規模を約17兆円とすることは必要」と明示。

(2) 制度面

競争的な研究環境の実現を目指し、兼業規制の緩和、任期付き任用の導入、研究開発業務の労働者派遣事業の対象化等の実施。

4.2 新規市場創造プログラム等

21世紀に向けて、自律的な発展性と質の高い雇用吸収力を併せ持つ新たな市場の形成を促進し、新たな産業分野開拓の大きな原動力となる新規事業を効果的に育成していくことが極めて重要であり、産業構造審議会基本問題小委員会報告書に12の新規有望市場群が提示された。(表10)

また、新規事業の創出のための環境整備の一貫として新規事業法を改正し、平成7年11月に「ストックオプション制度」が導入された。また平成7年4月には産業の空洞化が懸念される中で積極的な事業展開により、この環境変化を乗り越えようとする意欲的な中小企業を支援するため「中小企業創造活動促進法」が施行された。

表10 新規市場創造プログラム（12の新規有望市場）
○産業構造審議会基本問題小委員会報告書に提示された12の新規有望市場群の市場規模・雇用規模予測

	市場規模（兆円）			雇用規模（万人）		
	1993年	2000年	2010年	1993年	2000年	2010年
住宅関連	34.0	38.3	39.8	254	271	227
医療・福祉関連	2.9	6.9	12.4	15	33	56
生活文化関連	18.1	25.6	38.2	180	200	244
都市環境整備関連	2.4	3.5	4.4	19	23	25
環境関連	13.2	19.8	29.1	55	69	82
エネルギー関連	2.0	3.5	6.0	4	6	9
情報・通信関連	31.9	65.0	120.6	184	313	467
流通・物流関連	8.8	18.6	35.2	13	23	36
人材関連	1.9	6.3	12.6	2	3	5
国際化関連	0.7	1.7	3.0	4	8	12
ビジネス支援関連	3.6	6.6	11.0	38	52	71
新製造技術関連	9.9	17.2	36.4	81	97	134
合 計	129.4	213.0	348.7	849	1,098	1,368

4.3 新規事業法の改正とストックオプション制度

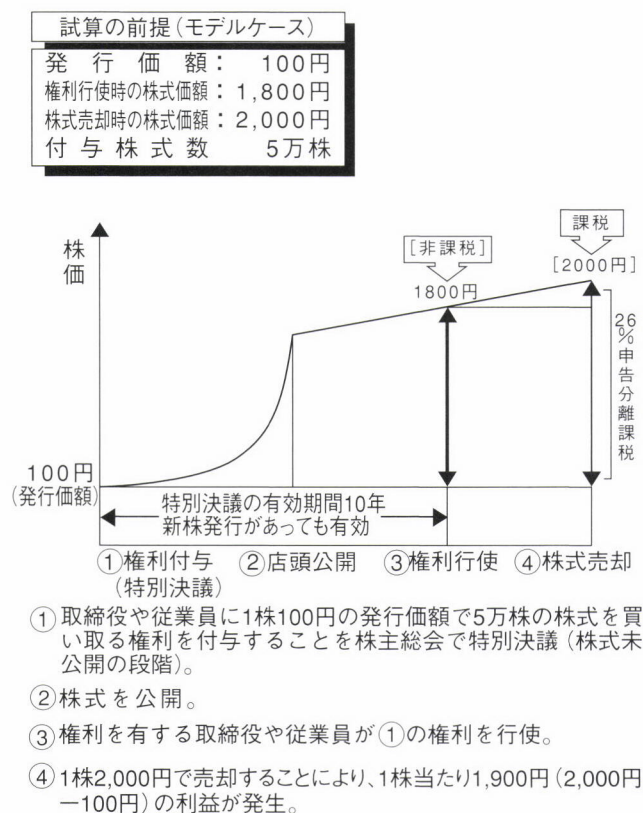
① 新規事業法とは

「特定新規事業実施円滑化臨時措置法」といい、特定新規事業の実施者の事業が以下の点を満たした場合、通商産業大臣から認定され、債務保証・出資融資等を受けることができる制度である。

- ・事業（商品、サービス）に新規性が存在すること
- ・通商産業省の所掌事業であること
- ・事業活動又は国民生活の向上に寄与すること
- ・実施計画（資金計画、実施体制など）が適切であること

② 新規事業法の改正とストックオプション制度の創設

平成7年秋の臨時国会で、現行商法上の新株有利発行



＜試算の結果＞

	③権利行使時	④株式売却時	総課税支払い
	〈給与所得課税〉	〈申告分離課税〉	〈総 計〉
特例措置の適用なし	収入8,500万円 納税4,466万円* 手取額4,034万円	収入1,000万円 納税260万円 手取額740万円	収入9,500万円 納税4,726万円 手取額4,774万円
特例措置の適用あり	非課税	〈申告分離課税〉 収入9,500万円 納税2,470万円 手取額7,030万円	〈総 計〉 収入9,500万円 納税2,470万円 手取額7,030万円

*納税額の計算

- ・ストックオプションによる収入のみ計上。
- ・各種所得控除は給与所得控除・基礎控除以外は考慮していない。
- ・あくまでも試算であり実際とは異なる。

図8 スtockオプション制度の税制の特例措置（モデルケース）

に係る規定の特例規定として、ストックオプション制度創設のため新規事業法を改正し、将来性・新規性のある事業を行う株式未公開のベンチャー企業等の方々を支援するために導入され、それに伴う税制上の特例措置も設けた。(図8)

③ストックオプション制度とは

株式未公開企業の役員や従業員の方に対して、企業の発行する株式を株価が上昇した時にあらかじめ定めた安い価格で、株式を買い取ることができる権利を付与する制度で、米国ではベンチャー企業等における人材確保の有力な手段として活発に利用されている。

ストックオプションの権利を有する者は、株式の買い取り価格よりも株価が上昇した場合に、ストックオプションの権利を行使して株式を買い取った後、それを売却することによってキャピタルゲインを得ることができる。

④ストックオプション制度の効果

・新規事業への人材確保の手段として

創業・発展期にある企業が有能な人材を確保するためには、大企業に劣らない、能力・業績に見合った報酬の提供が必要である。しかしその時点では限られた資金の中で十分な報酬を提供できなくとも、将来企業が成長し、役員や従業員が十分な利益を得ることができるので、有能な人材を確保することができる。

・役員・従業員の経営努力・勤労意欲の促進

役員・従業員は、自らの努力で企業の業績を向上さ

せ、株価を上昇させることにより、より高い利益を得ることができるので、経営努力や勤労意欲を促進させる効果につながる。

4.4 中小企業創造活動促進法

我が国経済の構造変化が急速に進行し、産業の空洞化問題が懸念される中で積極的な事業展開により、環境変化を乗り越えようとする意欲的な中小企業に対する支援策を定めたものに、中小企業創造活動促進法がある。

①中小企業創造活動促進法とは

平成7年4月に施行された「中小企業創造活動促進法」は、正式には「中小企業の創造的事業活動の促進に関する臨時措置法」といい、創造的事業活動を行う中小企業を支援するための法律である。

「創造的事業活動」とは、創業や研究開発・事業化を通じて、新製品・サービス等を生み出そうとする取り組みのことをいい、中小企業庁と都道府県の連携の下に、創造的事業活動をする中小企業を支援するため、中小企業創造活動促進法を柱に、税制、金融等の幅広い支援策を準備している。

②支援対象者

新製品や新サービスの開発を行おうとする中小企業者であれば、製造業・サービス業等の業種を問わず利用することができる。また一定の要件を満たす組合等も対象

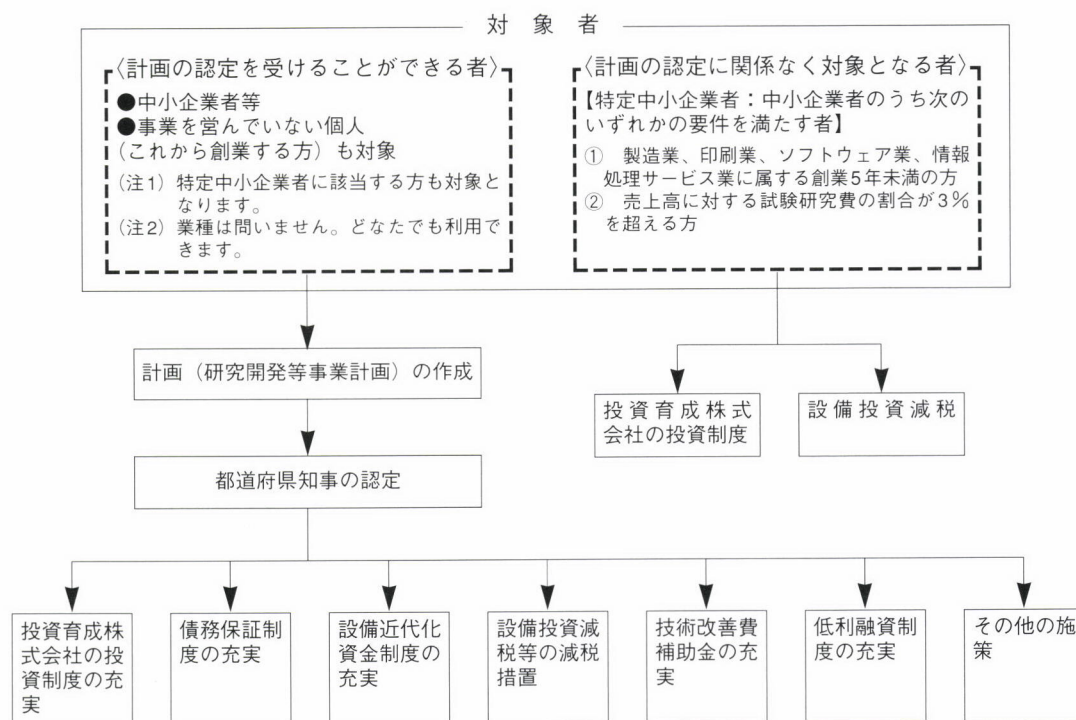


図9 中小企業創造的活動促進法の体系

になる。

さらに、これから創業しようとする方も利用できる。

また、中小企業者のうち、次のどちらかの要件を満たす方（「特定中小企業者」という）は、事業計画を策定したり、事業計画の認定を受けなくても、中小企業投資育成株式会社の特例措置、設備投資減税が受けられる。

- ・創業5年を経過していない法人（一部の組合を除く）
- 又は事業開始後5年を経過していない個人事業者であって、現在製造業・印刷業・ソフトウェア業・情報処理サービス業に属する事業を営んでいる方
- ・前事業年度又は前年において試験研究費の額の売上高に対する割合が3%を超える方

③支援内容

中小企業者やこれから創業しようとする方は、新製品・サービス等の開発に関する研究開発等事業計画（注）を作成し、都道府県知事の認定を受けると図9の体系にある各種支援策が受けられる。

（注）研究開発等計画

本計画には、①研究開発②研究開発成果の利用（事業化）③事業化のために必要な需要の開拓の3つの事業を記載することができる。

5 21世紀に向けて

最後に、我が国は「少子・高齢化社会の到来」「産業の成熟化、日本的経済社会システムの制度疲労」「空洞化等の国際化問題」等の構造問題を抱えており、21世紀に向けて安定的な経済発展のため、大胆な構造改革の実行が必要であり、構造改革の推進の過程において、痛みを伴う場合もある。中小企業においても同様に構造改革が必要である。

新規産業・事業の創出のためには、資金面・人材面・技術面での環境整備の促進が必要であるが、既存の支援策も新規事業法・中小企業創造活動促進法以外に多くの支援策がありその有効活用が望まれる。

また、中小企業の優れたプロセス技術を活用し、需要サイドのニーズにマッチした高付加価値製品の開発や互いのプロセス技術を活用した共同の研究開発、そのためのネットワークの構築、未利用特許の活用等いろいろな手段を活用して構造改革に挑んでいくことが重要と考えられる。

最近では研究開発型中小企業が、大企業に生産をアウトソーシング化している中小企業も出現しており、心強く感じているところである。構造改革の中、下請型中小企業から脱皮し、活力ある中小企業に向かつての対応が望まれる。

（1996年10月3日受付）

展望

最近の製品開発における材料開発者の仕事

丸山正明 日経BP社NBP企画 第一制作室長
Masaaki Maruyama

Material Science Engineers Work in Recent Product Development

1 既成枠を覆す新材料の威力

1.1 製品の新機能付与や性能向上に効果

製品開発競争が激しい製品分野では、新材料を採用する確率が大幅に高まる。新機能を付加したり大幅に性能を高めるために、ふつうは機構の改良・工夫などの設計面でまず対処することを試みるが、解決できない場合には、新材料に頼るケースが増えるからだ。

その代表例は、ノート型パソコンの主要機構・部品。最近登場したパソコン向けのOS（基本ソフト）やアプリケーションソフト（業務ソフト）は、記録容量が数10MBあるものが珍しくなくなっている。この結果、今年発売されたノート型に組み込まれたHDD（ハードディスク駆動装置）は、記録容量が1GB前後と大容量になっている。そのHDDに用いられるHD（ハードディスク）は大部分がガラス基板製に切り替えられている。

1.2 ノート型の性能向上を支える新材料

小型・軽量化を徹底追究した製品開発が続いているノート型は、内蔵するHDDのHDが直径2.5インチ（約64mm）と、デスクトップ型に用いられている3.5インチ（約90mm）より小さい。このため、一層高い記録密度が求められ、HDには従来のアルミニウム合金（AlMg系）製から、表面硬さが500数十～700HVと20～30%程度高いガラス製に切り換えられた¹⁾。95年以降に、発売されたノート型に採用されている2.5インチHDは、ほとんどがガラス製とみて間違いない。

このガラス材料には、アルミノシリケート系とソーダライム系の化学強化型と、リチウムシリケート系の結晶化型の3種類が用いられている。化学強化型はガラス相を構成するアルカリ金属原子を、イオン半径の大きい原子に置換する処理でガラス表面に残留圧縮応力層を設けて破壊強さを改善したもの。結晶化型は熱処理によってシリカ（SiO₂）結晶を析出させて破壊強さを改善したもの。ガラス製基板は、HOYAや日本板硝子、旭硝子、オハラなどが製造・供給している。

ガラス製は、アルミ合金製に比べて価格が10～20%程度高いため、90年代初めにガラスメーカーが熱心に売り込んでも採用が見送られてきた。ノート型向けのHDDが記録容量を大幅に高める必要性に迫られた途端、高価なガラス製に一気に切り替わり始めた。新材料の性能に頼らざるをえない状況が、高コストを跳ね返したのである。

ガラスからの代替を狙う別の新材料が早くも登場した。HDの高密度化ニーズに答えるために、非晶質カーボン製が登場した。フェノール樹脂などを1000～2000℃の高温で焼成し、非晶質カーボンをつくる。この次世代HD基板は、ユニチカや日清紡、花王、鐘紡などが精力的に開発を進めている。米国のパソコンメーカーがこの非晶質カーボン製法を採用すると発言している。

このほか、次世代のHDD向けには、材料開発に支えられた要素技術が目白押し。これから採用が増えると予想される、話題の高性能磁気ヘッドのMR（磁気抵抗）ヘッドには、ヘッドとHDが万一接触してもクラッシュしないように、MRヘッドの表面にDLC（ダイヤモンド・ライク・カーボン）保護層が設けられている。ダイヤモンド結晶構造を一部含んだDLCなどの高硬度・耐摩耗性に優れた新材料の出番が高まっている。

MRヘッドの次を狙って開発されているGMR（巨大磁気抵抗）ヘッドの素子材料として、磁性層と非磁性層を積層した材料候補が提案されている。GMRヘッドの開発の中身は、現在のところ材料開発と表裏一体といえる。

1.3 製品開発の激化に伴い材料代替が盛んに

ノート型パソコンの開発競争が激しくなった背景は、パソコン市場は拡大しているものの、事業の収益性は悪化しているためである。

市場の大部分を占める米IBMのAT-PC互換機すなわちDOS/V機の新製品ラッシュが続く中で、各パソコンメーカーは、従来のデスクトップ型からノート型に開発の力点を移し始めている。この理由は、各社のデスクトップ機のパフォーマンス

仕様に大きな違いが無くなった結果、価格競争に陥って事業収益が落ち込んでいるからである。95年に、わが国ではパソコンが500万台も売れ、大きな市場を築いた。そして95年11月にWINDOWS対応パソコン向けの新しいOSである「WINDOWS 95」の日本語版が発売されたことが、パソコンの製品開発を加速させた。

わが国のパソコン市場でシェア第一位を保ってきたNECの通称98機と、DOS/V機の見た目上の使い勝手の差が無くなった。特にデスクトップ型は、NEC製とDOS/V機メーカー製の性能・仕様の差がほとんど無くなった。売れ筋のビジネス用途向けの中級機のデスクトップ型は、各社とも実売価格が20万～30万円台で、似たような仕様・性能を持つようになり価格競争に陥った。

収益が悪化したデスクトップ型に代わって、パソコンメーカーはノート型の開発に力を入れている。オフィスで使うデスクトップ機に対して、自宅向けに場所を取らないノート型を買う傾向が高まり、また高価だが高性能デスクトップの機能に引けを取らない高機能ノート型の登場で会社のオフィスにもノート型が浸透し始めている。日本ガートナーグループデータ・クエスト社によると、世界市場では、96年にはノート型の販売台数が約40%と大きく伸びると予測されている²⁾。

96年に入って、ノート型は機能分化が鮮明になった。一つは、CD-ROM（コンパクトディスクを用いた読み出し専用メモリー）駆動装置まで搭載したデスクトップ型の機能に引けを取らない高機能タイプ（マルチメディアタイプとも呼ぶ）、二つ目は、持ち運びを前提にした小型のサブノートタイプ（図1）、三つ目は通信機能に用途を絞った超小型タイプの3種類である。

高機能タイプは、A4判よりやや大きいサイズで重さが3kg以上あり、持ち運びには向かず、実売価格が40万円以上と高



図1 サブノート型パソコン。ハウジングに炭素繊維強化熱可塑性プラスチックを用いているなどの効果で、重さが1.3kgと軽い

価である（最近、高機能タイプはフルスペックの高機能版と機能をやや絞って低価格化した普及版に分かれ始めている）。一方、サブノートタイプはB5判サイズに近い大きさで持ち運びできるように、1kg台か2kg弱に抑えてある。FDD（フロッピーディスク駆動装置）などを外付けにし、その分小型軽量化している。超小型タイプは1kg以下でパソコン通信機能を中心とした仕様で実売価格は10万円台である。

この分類が示すように、ノート型では重さが重要な指標になっている。軽量化のため数年前に、ノート型のハウジング（筐体）の材料選択が激しく揺れ動いていた。プラスチック系複合材料や非強化熱可塑性プラスチック、マグネシウム合金などから、ノート型の開発の度に採用される材料が選ばれていた。ノート型の開発が激しくなり、軽量・薄肉化と耐久性、耐熱性、コストなどを同時に満たす材料選択に毎回迫られていたのである。

プラスチック系複合材料には、炭素繊維強化熱可塑性プラスチックと炭素繊維強化熱硬化性プラスチックの2種類があり、さらに炭素繊維強化熱可塑性プラスチックは炭素繊維の含有量の多寡（たか）で2種類に分かれる。炭素繊維含有量が多いものは導電性を示し、電磁遮蔽（しゃへい）機能を持つようになる。

非強化熱可塑性プラスチックとしては、ABS（アクリロニトリル・ブタジエン・スチレン）やPC（ポリカーボネート）／ABSアロイなどが用いられている。マグネシウム合金としてはAZ91Dのダイカスト合金である。

96年に入って、ノート型の機能分化が進んだ結果、ハウジング向け材料のある程度のすみ分けが始まっている。高機能タイプ高機能版のノート型には、炭素繊維含有量が多い熱可塑性プラスチックやマグネシウム合金が主に用いられている。高機能タイプ普及版やサブノートタイプは、炭素繊維含有量が少ない熱可塑性プラスチックや炭素繊維強化熱硬化性プラスチック、非強化熱可塑性プラスチックが主に用いられ始めている³⁾。

1.4 超電導フィーバーが示した新材料の威力

新材料が持つ威力は、それまでの材料開発の限界を乗り越え、材料選択の常識を変え、先行企業の優位性を覆す点にある。86年12月に登場した酸化物超電導材料による超電導フィーバーは、新材料出現の衝撃を実感させた出来事だった。

IBM社のチューリッヒ研究所（スイス）が、ランタン・バリウム・銅・酸素系（La・Ba・Cu・O）化合物（臨界温度 $T_c=30K$ ）が超電導を示すことを見出してから、たちまち酸化物超電導材料を探す研究が盛んになり、この結果、87年2月にはイットリウム（Y）系酸化物（ $T_c=90K$ ）が、88年初めにはビスマス（Bi）系（ $T_c=120K$ ）とタリウム（Tl）系酸化

物 ($T_c = 120\text{K}$) と次々と新しい超電導材料が出現した。

86年までは実用超電導材料といえば、合金のニオブチタン (NbTi) や金属間化合物のニオブ3スズ (Nb₃Sn) を示し、線材などに加工され高磁場発生用コイルなどに利用されていた。酸化物超電導材料の出現で、それまで超電導材料に無縁だった多くの企業が研究開発を始め、酸化物超電導材料の実用化で主導権を握ろうとした。従来の金属系超電導材料の実用化に励んでいた企業・機関の技術蓄積の優位性が無くなったと判断した多くの企業は、これから何が出てくるか分からない大きな可能性のある酸化物超電導材料の研究開発に邁進 (まいしん) した。金属系超電導材料を手掛けてきた電線メーカーに加えて、鉄鋼・非鉄・化学の材料メーカーや電機・機械メーカーなどが多く参加した。

この際に興味深いことは、各企業・機関が持つ得意技術を決め手に開発指針を立てる傾向が強かった点である。例えば、ゾルゲル法や液中紡糸法、一方向結晶成長法などの得意とする独自技術を武器にした開発が、まさに百花りょう乱に進められた。この結果、材料科学の知見は急速に深まり、新材料の研究・開発の基盤を強化したことは間違いない。材料開発者にとっては、研究開発費がふんだんに使えた幸せな時代だった。

用途開発でも、従来の金属系超電導材料の延長線である高磁界を作製するコイルやその線材の開発も盛んになったが、酸化物系超電導材料ならではの磁気シールド容器や永久磁石、高速半導体デバイスなどの従来には考えられなかった用途も目標になった。従来は難しいと思われた T_c をあっさり超えたうえに、材料選択・用途に新天地を開いた点が新材料の威力である。

逆に、新材料の用途開発が難航すると、その新材料の開発から撤退することになる。超電導フィーバーから10年目が過ぎて、多くの企業は研究開発を中止し、現在残っているのは元々、金属系超電導材料の線材を手掛けていた電線メーカーと一部の大手電機メーカーなどに留まっている。新材料の開発に参入する際の開発戦略の立て方が、適切な撤退時期を決めることを教訓として残した。

1.5 何が出るか分からない新材料開発

材料開発の奥の深さを示した点では、永久磁石材料の変遷が興味深い。83年に磁力が強くて安価な永久磁石として、ネオジム・鉄・ホウ素 (NdFeB) 系が発見され、それまで高性能永久磁石の代名詞だったサマリウム・コバルト (SmCo) 系の材料開発では、銅 (Cu) やジルコニウム (Zr)、鉄 (Fe) の添加量を調整し、これを最適化して最大磁気エネルギー積をジリジリと高めていた。これに対して住友特殊金属は、希土類元素の精錬工程で廃棄物になっていたネオジム原料を用

い、最大磁気エネルギー積が数10%高いネオジム・鉄・ホウ素系 (現在は $360\text{kJ}/\text{m}^3$ とサマリウム・コバルト系の $240\text{kJ}/\text{m}^3$ の約1.4倍) を開発し、たちまち永久磁石市場は戦国時代に突入した。

住友特殊金属が開発したネオジム・鉄・ホウ素系永久磁石は焼結タイプであるが、ほぼ同時期に米国のGM (ゼネラルモーターズ) 社が同じネオジム・鉄・ホウ素系粉末を開発し、樹脂結合タイプ (ボンドタイプ) のネオジム・鉄・ホウ素系永久磁石を実用化した。材料開発で従来の限界が打ち破られて注目を集めると、いろいろな開発が同時多発的に進むことがあり、周辺技術も含めて技術蓄積が一気に進む。永久磁石のシェア上位の企業はシェア拡大の好機とみて、下位の企業は上位の優位性を覆す好機として、精力的に材料開発と用途開発を進めた。

83年以降、希土類系永久磁石の生産額は年率2桁 (けた) の成長を続けている。この中身は、サマリウム・コバルト系の生産額が横ばいであるのに対して、ネオジム・鉄・ホウ素系は急成長し、新規用途を開拓している。例えば、HDDの磁気ヘッドの駆動用ボイスコイル・モーターや医療機器のMRI (磁気共鳴画像診断装置) の磁場発生磁石などに用いられている。

さらに、91年に新しい樹脂結合タイプとして、高性能なサマリウム・鉄・窒素 (SmFeN) 系が見出された。旭化成工業や三菱マテリアルが研究開発を進めている。

一時期は、サマリウム・コバルト系が高性能永久磁石の代名詞であり、材料開発が成熟期に入り停滞ぎみとみられた時期もあった。何が飛び出すか分からないところに、新材料登場のこわさと面白さがある。

2 新素材革命の成果を検証

2.1 材料科学・材料開発は長足の進歩

80年代前半の新素材革命は、材料開発の技術を大幅に進歩させた。正確に言えば、新材料の基本型を実用段階まで進める技術である⁴⁾。その典型例は、構造用セラミックスとして期待されたエンジニアリング・セラミックスである⁵⁾。

その中心素材である窒化ケイ素は、70年代後半にはセラミックス粉末、焼結助剤、成形技術、焼結技術と材料開発に必要な要素技術がどれも未確立だった。当時は、焼結助剤を多く添加し加圧しながら焼結するホットプレス法で、単純な形状の小さな試験材を作製するのがやっとのレベルだった。粉末も研究用の標準粉末はドイツ製が多く用いられていた。

焼結助剤では、東芝の米屋勝利さん (現横浜国立大学教授) を中心とした研究グループが、アルミナ・イットリア ($\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{Y}_2\text{O}_3$) 系を見だし、良好な工業用原料粉末の製造

法として、直接窒化法やシリカ還元法、イミド分解法が開発された。現在は直接窒化法とイミド分解法で作製された窒化ケイ素粉末が販売されている。現在では、窒化ケイ素の良好な工業用原料といえば、「日本製」と答えるほどの定評を勝ち取っている。

粉末と焼結助剤の技術開発が進んだ結果、ある程度複雑形状の焼結体を作製できる常圧焼結法の技術が確立されていった。1軸加圧で単純な形状の焼結体しか作製できないホットプレス法に比べて、普通の鉄系粉末冶金と同様に大気圧下で焼結できる常圧焼結法の実用化は、窒化ケイ素焼結体の適用範囲を広げるのに大きな役割を演じた。

ある程度の複雑形状が可能になると、より複雑な形状の部品に新材料の窒化ケイ素を適用したいとのニーズが高まった。窒化ケイ素焼結体は硬さが高いことが利点の一つである。このため、焼結後に部品形状を正確に与えようと後加工すると、砥石で砥石を削るような具合なので後加工コストがかなりかかり、最終的に部品コストが大幅に跳ね上がり、実用価格ではなくなってしまふ。

この問題を解決したのが、成形技術の進歩である。射出成形法とスリップキャスト法が確立された。小型部品にはプレス成形法も適用された。射出成形法では、窒化ケイ素粉末に焼結助剤を加え、さらに成形助剤と呼ばれる有機材料を混合したものが成形原料になる。成形助剤を30～40体積%と大量に混合するため流動性が高まり射出成形できるようになる。

この成形助剤は、窒化ケイ素粉末と焼結助剤粉末の間に入って糊（のり）として働いて成形後の形状を維持するのが役目だが、射出成形によってできた成形体（圧粉体）を焼結するとなると、今度は不要になる。成形助剤を含んだままの成形体を焼結すると、高温に加熱された有機材料が急速にガス化し、大きな気孔が多く入ったスカスカの多孔質体の焼結品ができ、もろくて使いものにならない。

焼結の前に役目の済んだ成形助剤を低温にゆっくり加熱して、有機材料を少しずつ気化させて除去する脱脂処理を施す。加熱の温度パターンや加圧雰囲気採用など製造ノウハウが蓄積され技術が確立されていった。

2.2 用途開発には周辺技術の確立が不可欠

窒化ケイ素の基本型を開発するのに必要な一連の要素技術が確立され、その応用の具体的な成果である新材料应用型の一つの頂点が、セラミックス・ターボチャージャーであった。正確には、高温の排ガスにあたるローターの羽根車を、従来のニッケル系耐熱合金製から窒化ケイ素製に切り替えた事例は、エンジニアリング・セラミックスが実用材料となった象徴の一つといえる。

85年に、窒化ケイ素焼結体製のローター羽根車を日本特殊

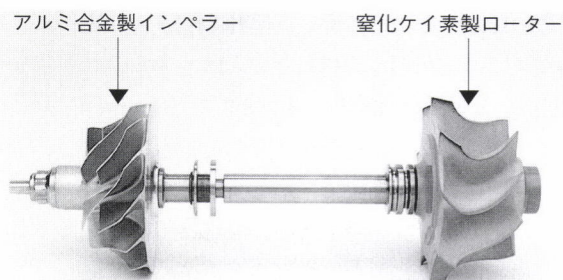


図2 窒化ケイ素製ローター羽根車を採用したターボチャージャー

陶業とやや遅れて日本ガイシの2社が日産自動車に供給した。同社はターボチャージャーに組み上げて一部の車種に採用した（図2）。

焼結体をつくる一連の要素技術が確立され、部品そのものは作製できるようになった。しかし、実際にターボチャージャーのローター羽根車に採用されるには、炭素鋼製の軸との接合技術をはじめとする周辺技術の確立が不可欠だった。実用化できるかどうかは、実は周辺技術が開発できるかどうかのカギを握っているケースが多い。新材料の応用型は、周辺技術まで含めた適用に必要な要素技術が整うかが成否を分けることが多い。

逆にいえば、新材料とは、周辺技術が未確立な材料を示し、実用化までにいくつもの技術開発のハードルを超えなくてはならない材料のことである。技術開発のハードルを超えることができて、開発コストがかかり過ぎては、新材料の事業化はできない。新素材ブームの時期に登場した新材料は基本型までたどり着いたものはある程度に達した。しかし、製品・部品の仕様を満たすような応用型の開発となると、各ニーズにきめ細かく対応しなければならず、開発時間がかかり過ぎて事業として成立しなかったケースが多い。

新素材ブーム時に同業他社が参入しているからと、あまり開発戦略を持たずに参入した材料メーカーは、90年ごろに事業の採算がとれないとみると、あっさり撤退する企業が多かった。新材料は、銅やアルミニウム合金、汎用プラスチックなどの汎用材料では対応できない用途に用いられる。元々、適用が難しい用途向けに適用されるため、超える必要にある技術開発のハードルが多くて開発コストが各用途ごとにかかるうえに、特殊な用途向けであるため、需要はあまり多くなく、開発コストの回収が難しい。この結果、事業としてなかなか成立しないのである。新材料の潜在需要量を見通した事業戦略を持つことが重要なことが、90年代前半に新素材ブームを反省した中から浮上してきた。

2.3 投資額に応じたスモールユニットで事業化

80年代に新材料の基本型が確立し、その後いろいろな新材料はそろって、多様な用途向けに応用型の開発が進み、周

辺技術を含めて技術蓄積が進んできている。もちろん、新材料の基本型のすべてが生き残る訳ではないが、90年代後半に入って製品仕様の高度化・差異化が進み、新材料に頼る余地は増えている。

新素材ブームの反動で安易に撤退した結果、新材料の応用型を生かす独自の周辺技術の育成にむやみに腰が引けている状況が続いている。新材料の事業化は、自社が持つ独自技術の優位性を生かす戦略に基づく長期計画で進めることしかない。特に、基本型と応用型の段階を登っていく際に、設備投資を過不足なく進める見極めが重要になる。70年代には鉄鋼やエチレンのような汎用素材（コモディティ）では大型設備投資で事業拡大に成功したが、特殊素材（スペシャリティー）である新材料は小さな設備・組織のsmallユニットで事業化を進めるしかない。

このsmallユニットで事業を進めるには、新材料の独自技術を武器に、成形加工などの周辺技術では欲しい技術を公募し、いろいろな企業の得意技術を持ち寄った一種の仮想事業部（仮想企業）で、製品の開発リードタイムをできるだけ短くすることで、迅速に製品を開発し販売するしかない。

国際的に大競争時代に入っている現在、製品開発ごとに、ある時はライバル企業と組み、ある時は外国企業と組む。80年代までのように、自社開発に固執して製品開発が遅れて製品化を断念するよりはましである。製品開発ごとに、最強の開発メンバーの組み合わせを、企業と国の枠を超えて選ぶ時代になりつつある。

3 ユーザー志向の材料開発を目指す時代に

製品の開発競争が激しくなり、その開発の中身も技術的に高度になるばかりである。新材料の適用対象となる製品の機構・部品がハイテク化すると、その開発仕様に合わせる応用型の開発も高度な技術レベルが求められるケースが増える。例えば、パソコンの外部記録媒体（メディア）として採用が増えているMO（光磁気記録）ディスクは、記録層にテルビウム・鉄・コバルト（Tb・Fe・Co）系非晶質、その上下の保護層に窒化ケイ素に近い窒素・ケイ素化合物（SiN_x）が用いられている⁽⁶⁾。これらの層はスパッタ法で作製されるが、スパッタに適した組織を持つ母材の作り方が求められる。最終的な使い方まで踏み込んで新材料の応用型を開発しなければならないことが分かる。このMOの開発は実用化までにいろいろな紆余（うよ）曲折があった。これを理解し追従して母材を作製することは、かなりの決断があった。逆に言えば、製品開発が足踏みしている時が、新材料の売り込み時期でもある。

発展途上の製品でも新材料の出番は増える。例えば、再充

表1 リチウムイオン2次電池を採用しているノート型パソコン⁷⁾

出荷時期	パソコンメーカー	機種
1994年前半	東芝 東芝	T3400／T3400T T3600
1994年後半	米Dell Computer Corp. 富士通 日立製作所 米DEC	Latitude XP FM PenNote L3 FRORA PEN Digital HiNote Ultra
1995年前半	米Texas Instruments Inc. 富士通 米AST Research Corp. 松下電器産業 日本アイ・ビー・エム 台湾Acer Inc. 東芝 米AST Research Corp.	TravelMate5000 FMV-450NL、同T、同S Ascentia910N CF-11DS2 ThinkPad755CX AcerNote950/CX、同350N DynaBookSS-R590 Ascentia950N
1995年後半	米Dell Computer Corp. NEC 三洋電機 米Gateway 2000, Inc. 米Compaq Computer Corp. ソーテック	Latitude XPi Versa2000/4000/4050 MBC-P50J LibertyDX4-100 LTE5000 WinBook Quattro 90/90D

電が可能で繰り返して使えるリチウムイオン2次電池。ノート型パソコンなどの携帯用情報機器の電源として需要が伸び（表1）、96年度のリチウムイオン2次電池の需要は、95年度の約3倍と大幅な伸びが見込まれている。各電池メーカーはシェア拡大を狙い、リチウムイオン2次電池の性能向上に励んでいる。その有力手段が負極の炭素材料の改善。現在、負極の炭素材料向けに呉羽化学工業、大阪ガス、日本カーボン、ペトカ（鹿島石油、ジャパエナジー、東京電力、三菱化学などが出資）、日本酸素などが参入している。炭素に関する技術蓄積が豊富な企業ばかりである。

ペトカは80年代に高弾性を売りものに開発されたピッチ系高性能炭素繊維の開発時に蓄積したメソフェーズ相の技術を生かし、MCF（メソフェーズ・カーボン・ファイバー）と呼ばれる黒鉛系炭素材料を開発した。94年から新規参入した、NECと三井物産の合弁会社の日本モリエナジーは、96年から正極材料に安価なマンガン酸リチウム（LiMn₂O₄）を採用したリチウムイオン2次電池を発売した。正極材料は、これまでコバルト酸リチウム（LiCoO₂）が用いられてきたが、戦略物質で希少原料であるコバルトは高いうえに価格変動が大きく使いにくい。日本モリエナジーは、安いマンガンに基づいた化合物に切り換えて、約20%コスト低減できたようである。

発展途上の製品を目指して、新材料の売り込みをかける。この時に決め手となるのが、材料ユーザーである製品開発側に立って、新材料の応用型を開発できるかということである。新材料を用いて難問を解決するには、製品そのものの技術まで理解して使い方を薦めなくてはならない。製品開発向けに新材料の応用型を開発するには、多くの勉強が必要になる。90年代後半の製品開発では、材料開発者はスーパーエンジニアでなくてはならないのである。

参考文献

- (1) 鶴原吉郎：日経メカニカル，No.481〔5月27日号〕，
(1996)，p.24

- (2) 中村正弘：日経エレクトロニクス，No.658〔3月25日号〕，
(1996)，p.134
(3) 佐藤利夫：日経メカニカル，No.477〔4月1日号〕，
(1996)，p.70
(4) 丸山正明：平成8年度工学教育連合講演会講演論文集，
(1996)，p.3
(5) 丸山正明：セラミックス，Vol.29，No.10，(1994)，p.891
(6) 丸山正明：熱処理，Vol.36，No.4，(1996)，p.191
(7) 山下勝巳：日経エレクトロニクス，No.649〔11月20日号〕，
(1995)，p.99

(1996年10月4日受付)



入門講座

専門用語-鉄鋼材料編-2

拡散変態

榎本正人 茨城大学工学部物質工学科 教授
Masato Enomoto

Diffusional Transformation

1 はじめに

相変態は鉄鋼その他の金属材料の開発や設計に欠かすことのできない学問分野である。取り扱う現象は合金系や温度によってさまざまに変化する。このなかにはベイナイト変態のように現在も機構に関して共通の理解が得られていないものもある。このような点を念頭において、本稿では拡散変態についてわかりやすく述べて見たい。

2 変態の分類

変態とは温度や圧力などの外的条件の変化に対応して系の構成単位である原子、分子の配列状態が変化することをさす。配列状態の変化に伴ってミクロ組織が変化し、光学顕微鏡や電子顕微鏡で観察できる。表1に金属の相変態として通常考えられているものを示した。

変態は大きく**剪断変態**と**拡散変態**に分けられる。前者は数千個の原子が集団的に動いて結晶構造の異なる別の相へ移り変わる。個々の原子の拡散は起こらず、従って母相と生成相の間で組成の変化は起こらない。これに対し、**拡散変態**は原子がばらばらに動き回って新しい相を形成する。この中には原子が界面近傍の格子点の間をとび移る程度のものと（短距離拡散）、界面から遠くはなれたところから拡散して新相に取り込まれるもの（長距離拡散）とがある。短距離拡散によるものは組成の変化は起こらない。

表1 金属と合金のいろいろな変態。詳細は文献⁹⁾を参照。

剪断変態 (shear transformation)	拡散変態 (diffusional transformation)	
マルテンサイト変態	短距離拡散	長距離拡散
	マッシュ変態	析出 共析変態 セル状析出
	規則-不規則変態	スピノーダル分解
双晶変形	再結晶	

剪断変態は無拡散、あるいは変位型 (displacive) 変態ともいう。また、**拡散変態**はリーコンストラクティブ (reconstructive) 変態ともいう。これは、前者は変態前の古いボンダが持ち越されるのに対し、後者は古いボンダが切れて生成相では新しいボンダが形成されることを指している。

相変態の相 (phase) とは、「ある系の中で組成と性質が巨視的に均一な部分」と定義されている。従って、再結晶や双晶変形によって生成した新しい領域は転位の密度や結晶方位が異なっても相としては同じであり、相変態ではない。しかし、顕微鏡下では組織の変化をもたらすので、単に変態と言ったときにはこれらを含めることがある。

拡散相変態としては表1の右側の上2つの枠内のものが含まれる。これらの変態は通常、**核生成** (nucleation)、**成長** (growth) という2つの過程を経て進行するが、規則-不規則変態の一部とスピノーダル分解は核生成の過程を経ないで、原子配列 (規則度) と組成が連続的に変化する。

3 相変態の熱力学

3.1 単体金属における自由エネルギー変化

一定の温度と圧力のもとでは相変化の方向はギブスの自由エネルギー (Gibbs free energy) G の大小関係に左右される。単体金属のギブスの自由エネルギーは、 $G = H - TS$ と書き表される。ここに、 H と S はそれぞれエンタルピーとエントロピー、 T は絶対温度である。 G の温度変化は図1のように右下がりとなり、曲率は上に向かって凸の曲線である。

核生成、成長型の変態は融解や気化と同じように潜熱 (ΔH) がある。2相の自由エネルギーが等しくなる温度を T_0 とすると、エントロピーの変化は $\Delta S = \Delta H / T_0$ に等しい。 H と S はともにギブスの自由エネルギーの1階の微係数と関係している。1階の微係数にとびがあるような変態を1次の相変態という。体積も自由エネルギーの圧力に関する1階の微係数と関係しており、変態に伴って不連続に変化する*1。

表2に純鉄の変態と凝固に伴う H 、 S 及び V の変化量を示し

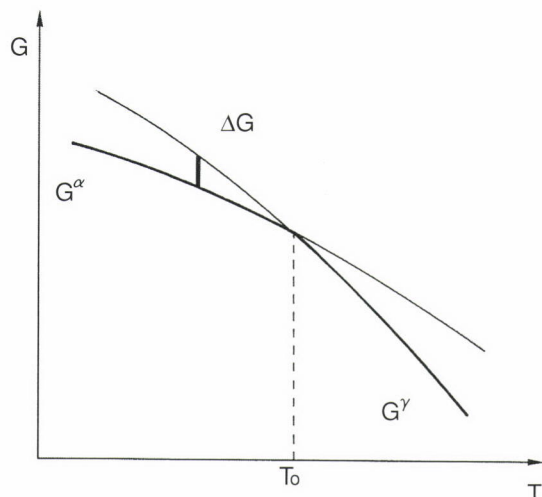


図1 単体金属のギブスの自由エネルギーの温度変化

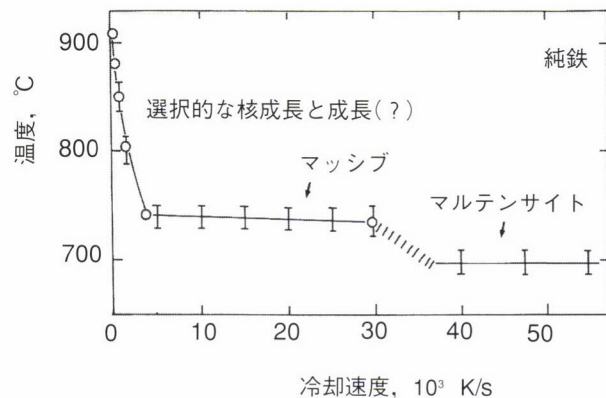
た¹⁾。 $\gamma \rightarrow \alpha$ と $\delta \rightarrow \gamma$ 変態は1890年前後に、当時発明されたばかりの白金—白金ロジウム熱電対を使った銅や鉄の加熱、冷却実験で温度変化に異常があることをきっかけとして発見された。歴史的な経緯により、それぞれ、 A_3 および A_1 変態と命名されている。これらの変態のHやSの変化は凝固に比べるとかなり小さい。 ΔS は金属ではよく似た値を示し、わずかながら結晶構造により系統的な違いがある。

純鉄の $\gamma \rightarrow \alpha$ や $\delta \rightarrow \gamma$ のような構造相変態を同素変態 (allotropic transformation) という。同素変態に伴う体積変化 ΔV (平衡温度における) はほとんどの金属で1%程度か、あるいはそれ以下である²⁾。従って、 ΔV も凝固に比べればかなり小さい。ただし、冷却速度や合金の組成によって変態温度が変わると ΔV の値も異なる。たとえば、 γ 鉄の高温における熱膨張係数を使って、純鉄のマルテンサイト変態開始 (M_s) 温度550℃ (鉄—炭素合金の M_s 点を炭素濃度ゼロに外挿したもの) における体積変化を概算すると $\Delta V \sim 0.13 \text{ cm}^3/\text{mol}$ となり、変化率は $\sim 2.0\%$ である。炭素鋼では炭素量によって格子定数が変化するので、 $\gamma \rightarrow \alpha$ もしくは $\gamma \rightarrow \alpha'$ (マルテンサイト) 変態に伴う体積変化量は最大4~5%にも達することがある。

表2 純鉄の $\gamma \rightarrow \alpha$ 、 $\delta \rightarrow \gamma$ および凝固に伴うエンタルピー、エントロピーおよび体積の変化¹⁾ (V_m は母相のモル体積)

	温度 ℃	ΔH , kJ/mol	ΔS , J/K·mol	ΔV , cm ³ /mol	$\Delta V/V_m$, %
L $\rightarrow$ δ	1538	-15.2	-8.41	-0.275	-3.6
$\delta \rightarrow \gamma$	1394	-0.85	-0.51	-0.031	-0.4
$\gamma \rightarrow \alpha$	912	-0.82	-0.69	0.074	1.0

*1 これに対し、2次の相変態とはギブスの自由エネルギーの2次の微係数が不連続になる変態、もしくは転移をさす。 α 鉄の常磁性 $\leftrightarrow$ 強磁性転移はその例の1つで、キュリー (Curie) 点で比熱が λ 型のピークを示す。

図2 純鉄の変態温度と冷却速度の関係³⁾

同素変態は温度が十分高ければ、機構的にはマッシブ変態 (massive transformation) に属する。変態温度が低くなると、マルテンサイト的に構造変化を起こす。たとえば、図2に示すように、純鉄を γ 域から急冷すると、冷却速度が $5 \times 10^3 \text{ }^\circ\text{C/s}$ を越えるあたりから変態温度が一定になる ($\sim 740^\circ\text{C}$)³⁾。さらに冷却速度をあげ、 $3.5 \times 10^4 \text{ }^\circ\text{C/s}$ を越えると、再び $\sim 690^\circ\text{C}$ で一定になる。最初のプラトー (plateau) はマッシブ変態によるものであるが、後者のプラトーはマルテンサイト変態によると考えられている⁴⁾。

マッシブ変態は合金でも起こる。端的に言えば、マッシブ変態は組成変化をもたらさない拡散変態である。界面付近で原子がランダムにジャンプし、新しい相に取り込まれることによって界面が移動する。従って、転位や格子欠陥を消滅させながら成長する再結晶の粒界移動とよく似ている。ただし、マッシブ変態界面の移動速度は変態の駆動力が大きい、再結晶よりも大きい。マッシブという用語は初め塊状の結晶粒からなる組織に使われていたが、塊状の粒子を生じ、組成変化を伴わない相変態に対して使われるようになった⁴⁾。

3.2 合金における変態の駆動力

次に析出に伴う自由エネルギー変化を考察してみる。合金では隣に来る原子の種類によって原子間の結合エネルギーが異なる。これによる系のエンタルピー変化を ΔH^{mix} で表す。これを混合のエンタルピーという。さらに、成分原子の配置の仕方 (巨視的に同じ性質をもたらす微視的状態の数) によるエントロピーの増加 ΔS^{mix} (混合のエントロピー) が生ずる。よって、 x_A モルのA原子と、 x_B モルのB原子からなる合金 (α 相とする) の自由エネルギーは、

$$G_m = x_A G_A^\circ + x_B G_B^\circ + \Delta H^{\text{mix}} - T \Delta S^{\text{mix}} \quad \dots\dots\dots (1)$$

と書き表される。ここに、 $x_A + x_B = 1$ 、 G_A° と G_B° はそれぞれA、B原子の標準状態の自由エネルギーである。標準状態とはA、

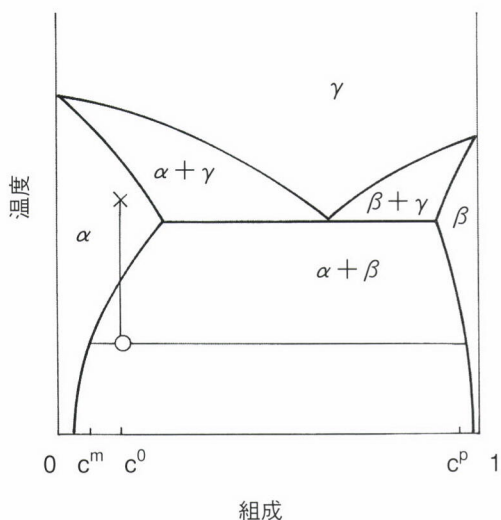


図3 析出を起こす合金系の状態図

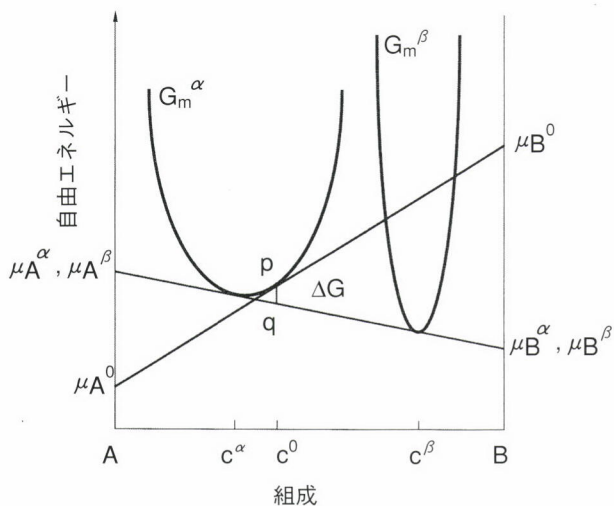


図4 析出に伴う自由エネルギー変化

B原子が単体で α 相の結晶構造を有している状態をさす。 ΔS^{mix} が常に正であるのに対し、 ΔH^{mix} は合金系によって正または負になる。

図3のような状態図を有する合金系で組成 c^0 の合金を α 単相域から $(\alpha + \beta)$ 2相域へ冷却すると、 β 相の析出が起こる。このときの α 相と β 相の G_m を図示すると図4のようになる。合金の析出開始前の自由エネルギーは図のp点である。析出が完了した後の合金の自由エネルギーは図のq点で表される。よって、析出による自由エネルギー変化 ΔG は線分pqに相当する。このような図は合金の相平衡や変態に伴う自由エネルギー変化を考えるのに好都合である。これを自由エネルギーダイアグラム (molar free energy diagram) という。

生成相が微細であれば析出、逆に大きく塊状であれば拡散変態という感じを抱く人が多いと思われるが、これらは単に核生成と成長速度の比や変態率の相違であって、本来、同じ現象である。共析変態は2つの相が同時に層状構造をなして

生成する。セル状析出は母相と析出相が1つのセル内で層状構造をなして成長する。このように合金系、組成及び過冷度によっていろいろな析出の形態がある。

4 拡散変態の進行

4.1 核生成

拡散変態の核生成は組成と構造のゆらぎが起こることが必要である。ここでいう“ゆらぎ”とは組成や構造が周囲と異なった領域といった程度の意味である。剪断、拡散変態とも核生成に関しては不明のことが多い。通常、核発生は結晶粒界や転位などの欠陥 (defect) に起こり易いことはよく知られている。これを不均一 (inhomogeneous) 核生成という。

これに対し、欠陥に関係なく母相粒内のあらゆる原子サイトで起こる核生成を均一 (homogeneous) 核生成という。均一核発生のように見えても実際には何らかの欠陥が関与していることが多い。析出の中間段階である遷移相 (transition phase) を除くと均一核生成の可能性があるのは極めて少数の合金系に限られている。従って、拡散変態の核発生制御は欠陥の種類と密度の制御が重要となる。

4.2 合金における析出物の成長

析出物の成長でも結晶格子と組成の両方が変化しなければならないことは同じである。組成の変化が起こるためには溶質原子を母相からかき集めるか、排除しなければならないので長距離拡散が必要である。拡散によって界面に到達した原子は新しい格子に組み入れられる。図5に成長界面における溶質原子の濃度と化学ポテンシャルの変化を模式的に描いた。

母相中の界面濃度 c^m は図6に示すような位置にある。析出の駆動力のうち、 c^m にひいた接線より上の部分 ΔG^D は拡散によって消費される自由エネルギー、下の部分 ΔG^I は格子の組

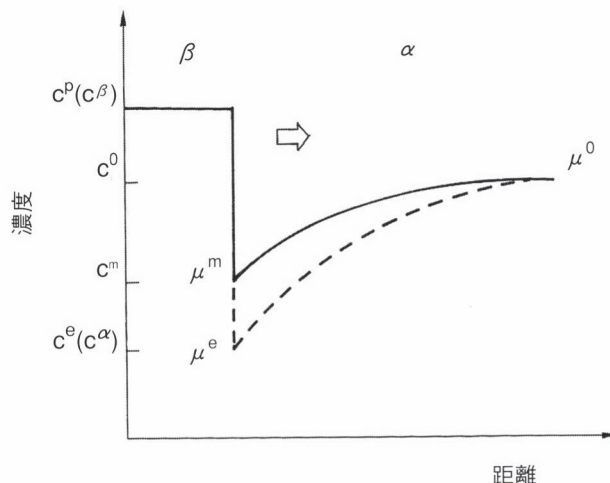


図5 成長界面付近の溶質原子の濃度と化学ポテンシャル

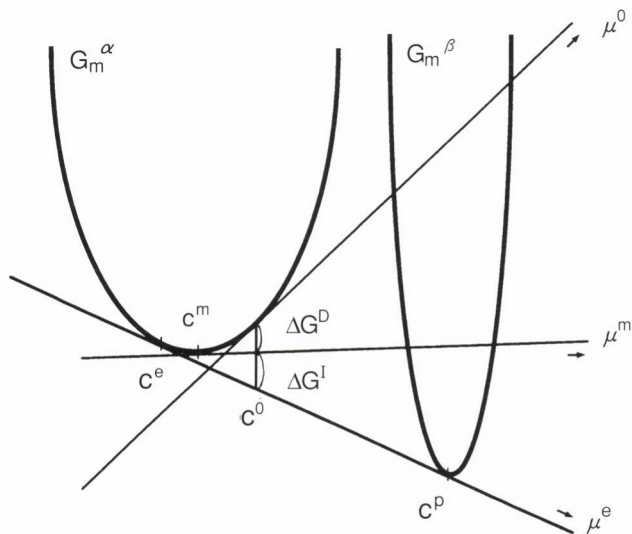


図6 拡散と界面反応（格子の組み換え）に消費される自由エネルギー

み換え（interfacial reaction）によって消費される自由エネルギーである。格子の組み換えが容易であればこれに消費される自由エネルギーは小さくなり、 $\Delta G^I \ll \Delta G^D$ である。図からわかるようにこのときは、 $c^m \sim c^e$ 、すなわち界面の溶質原子濃度がバルクの平衡濃度に等しくなる。このような状態を**局所平衡**（local equilibrium）が達成されているという。

局所平衡が達成されていれば、界面の移動速度 v は拡散によって溶質原子が運ばれる速さによって決まる。これを式で表すと、

$$(c^p - c^m) v = -D \left(\frac{\partial c}{\partial x} \right)_\xi \quad (2)$$

のようになる。ただし、 ξ は界面の位置を表す。これを**流束釣合の条件**（flux balance condition）という（図7）。

析出物には結晶粒界や転位に核生成し、ほぼ等軸的に成長するものと、粒界や粒内に生成して特定の方向に成長するものがある。後者のような析出物をウィドマンステットプレート（Widmanstätten plate）という。鉄合金のフェライト変

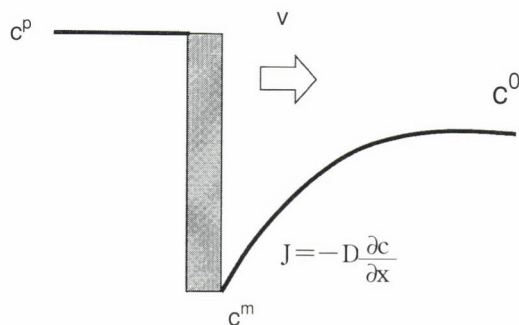


図7 界面移動に伴う流束の釣合い

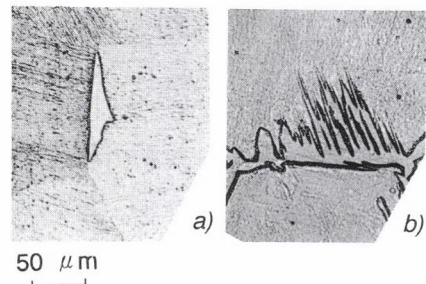


図8 鉄合金のa) 粒界フェライトアロトリオモルフと、b) サイドプレート

態^{*2}では過冷度や母相の結晶粒径が小さいと前者の形態になり、逆の場合には後者が生成しやすくなる。それらの光学顕微鏡写真を図8に示す。

局所平衡の成立を仮定して拡散方程式を解くと、等軸状の析出物に対しては粒子の大きさが時間の1/2乗に比例して増加し、比例係数（成長速度定数）は溶質原子の拡散係数の平方根 $\sqrt{D}$ に比例する。これとは対照的にウィドマンステットプレートは拡散がプレート先端に限られているため、成長（lengthening）は時間の1乗に比例する。また、成長速度は拡散係数に比例する。

局所平衡が成立しているかどうかの基準となるのは、拡散場の広がり（拡散スパイクの幅）である。図9に示すように、スパイクの幅があまりに小さく、たとえば、母相の格子面間隔程度になると平衡を保つのに必要な拡散が十分に起こるとは言えなくなる。スパイクの幅（ ℓ ）～濃度勾配の逆数とすると、(2) 式より、

$$\ell \sim \frac{D}{v} \quad (3)$$

となる。

成長速度が大きく、十分な厚さの拡散スパイクが発達しな

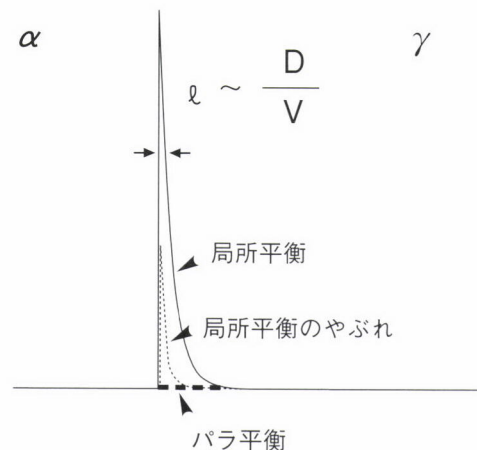


図9 界面における拡散スパイク

*2 フェライト変態とは $\gamma \rightarrow \alpha$ 変態のことである。鉄の同素変態の発見後、 α 鉄固溶体はハウ（H.M.Howe）によって、フェライト（ferrite）と命名され、 γ 鉄固溶体はオスモン（F.Osmond）によって、オーステナイト（austenite）と命名された。

いような条件では、自由エネルギーは格子の組み換えに消費され、組成変化は起こらない。このときの界面の移動速度は、

$$v = M \frac{\Delta G}{V_m} \dots\dots\dots (4)$$

と書き表される。ここに、 M は界面の易動度 (mobility)、 ΔG ($=\Delta G^I$) は母相と生成相の自由エネルギー差 (図1)、 V_m はモル体積である。

変態の過冷度が大きくなるほど局所平衡は成立しにくくなる。ベイナイト変態では炭素の拡散スパイクの幅を [3] 式により計算すると、炭素原子の局所平衡は成立するという結果になる⁵⁾。

4.3 Fe-C-X合金のフェライト変態

鉄鋼の変態挙動はマンガン、モリブデン、シリコンなどの合金元素によって大きく変化する。このことは裏を返せば、合金元素添加によって広範囲の組織と材質の制御が可能であることを意味している。

合金元素が変態の機構やカインेटクス (kinetics) にどのような影響を及ぼすかについては明らかになっていないところが多い。その中で一通り体系的な説明がなされているのはFe-C-X合金におけるフェライトの析出である。

鉄中の炭素と合金元素の拡散係数は5～6桁も異なっている。もし、フェライトの成長が合金元素の拡散で律速されるならば、合金元素添加によって変態速度は $\sqrt{D}$ 、すなわち3桁程度遅くなるはずである。

(2) 式を考慮して、拡散方程式を解いていくと、Fe-C-X合金におけるフェライトの成長には2つのモードがあることが導かれる⁶⁾。1つは過冷度が小さい場合に現れるもので、合金元素がフェライトとオーステナイトの間で分配され、合金元素の拡散によって成長が律速される**分配局所平衡 (PLE)**モードである。これに対し、後者は合金元素が分配されず、炭素の拡散によって律速される**不分配局所平衡 (NPLE)**モードである。

図10はFe-0.5mass% C-Mn合金におけるPLEとNPLEの起こる温度範囲を計算によって求めたものである。これはMn量が4～5%の領域を除くと、実験とも合っている。通常の鋼に含まれるMn量ではPLEモードの働く温度範囲は A_{e3} 点以下50～60℃であることがわかる。この温度範囲ではフェライトの成長は非常に遅いが、フェライトはオーステナイト粒界に生成し、Mn原子は粒界に沿って拡散するので、体拡散を使って計算した値よりも、実際の成長速度は大きい⁷⁾。

PLEモードの働く温度範囲は、MnとNiが最も大きく、その他の合金元素は実用的には問題にならないような大きさである。ただし、セメンタイトの成長では様子が異なり、たとえば、Siの分配が成長速度に大きな影響を及ぼす可能性が

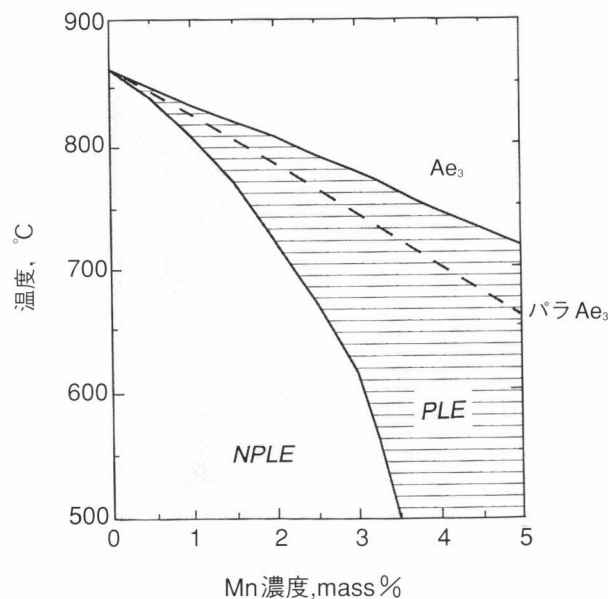


図10 Fe-0.1mass% C-Mn合金におけるPLE、NPLEモード、およびパラ平衡による成長の可能な温度範囲

ある。

NPLEモードではMn原子の拡散スパイクの幅は非常に小さくなる。これは温度の低下とともにMnの拡散が急速に遅くなるためである。Mnの拡散スパイクが全く生成しないとしたときの界面の平衡状態を**パラ平衡 (paraequilibrium)**という⁸⁾ (図9)。

パラ平衡ではMnの化学ポテンシャルは界面で不連続に変化する。炭素原子はそれに対応して平衡を達成するが、界面の濃度はMnのスパイクが存在するときの濃度とは異なってくる。パラ平衡条件で α/γ 相境界を計算すると、図11の破線で示すようになる。これと区別するために通常の相平衡を**オルソ平衡 (ortho-equilibrium)**という。言うまでもなくパラ平衡におけるフェライトの成長は炭素の拡散で律速される。

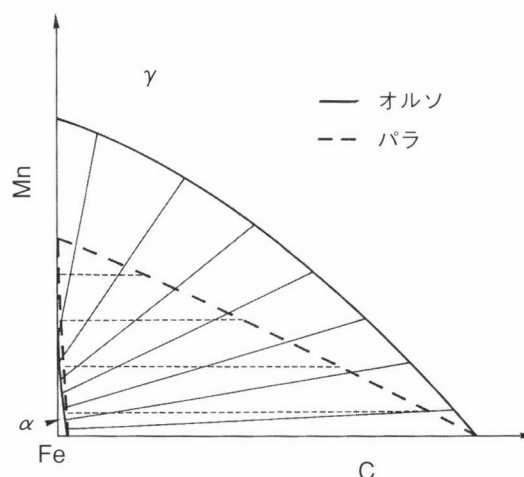


図11 Fe-C-Mn合金のオルソとパラ平衡の700℃における α/γ 相境界

オーステナイト母相と同じ合金元素の濃度を有するフェライトをパラフェライト (paraferrite) ということがある。パラフェライトがパラ平衡とNPLEモードのどちらの平衡条件で生成したかは、成長速度やスパイク幅の計算や界面の組成分析などを行って、総合的に検討する必要がある。局所平衡の破れという点から、パラ平衡はマッシブ変態とも関連している。

5 おわりに

鉄の変態現象が認識されたのは100年ほど前のことであった。今世紀の前半にかけて、量子力学の形成と並んで、固体中の拡散やX線、電子線回折が発見され、転位の概念が確立されるなど、今日の材料科学の基礎が築かれた。相変態の分野は今世紀の後半にも大きな進歩を遂げたことはよく知られている。鉄鋼の相変態で使われる局所平衡やパラ平衡といった用語は特殊なもののように思うかも知れないが、このような考え方は他の材料でもあてはまると思われるので、是非使ってみて頂きたい。

最後に、本校を執筆する機会を与えて下さった編集委員の方に謝意を表します。

引用文献

- 1) "Phase Diagrams of Binary Iron Alloys", ed. by H.Okamoto, ASM International, Materials Park, Ohio, (1993)
- 2) H.W.King : J. Mater.Sci., 1 (1966) , 79
- 3) M.J.Bibby and J.G.Parr: JISI,202 (1964) , 100
- 4) T.B.Massalski : in "Phase Transformations", ed. by H.I.Aaronson, 433, ASM, Ohio, (1970)
- 5) M.Hillert : Metall.Mater. Trans.A, 25A (1994) , 1957
- 6) D.E.Coates: Metall.Trans.,3 (1972) , 1203 ; 4 (1973) , 1077
- 7) M.Enomoto and H.I.Aaronson : Metall. Trans.A, 18A (1987) , 1547
- 8) J.B.Gilmour, G.R.Purdy and J.S.Kirkaldy: Metall. Trans., 3 (1972) , 1455
- 9) J.W.Christian : in "Phase Transformations", Vol.1, p.1, Institute of Metallurgists, (1979)

(1996年9月19日受付)



鉄の歴史 ⑧

たたら製鉄法の技術史的・冶金学的考察

館 充 東京大学名誉教授
Mitsuru Tate

Some Historical and Metallurgical Considerations on Iron and Steel Making Technology in Premodern Japan

1 本稿の目的

本稿はたたら製鉄法、すなわちわが国古来の製鉄法に関するこれまでの諸研究に基づいて、その起源と近世にいたるまでの発展の技術史的・冶金学的考察を試み、いくつかの問題について私見を提示して読者諸賢の批判を仰ごうとするものである。考察は穴澤による次のような総括^①に沿って進めることとする。

①日本における製鉄は古墳時代後期に、岡山、北九州を中心として始まった。原料は当初は鉱石、炉の形式は箱形であった。

②奈良—平安時代、すなわち律令制の中央集権国家の時代には、国の指導のもとに、全国的に製鉄が行われるようになった。原料としては主に砂鉄が用いられ、箱形炉とならんで豎形炉も出現した。奈良時代末以降には（銑）鉄の鑄造が行われるようになった。

③中世に入ると製鉄は中国地方を中心として行われるようになり、この動きは近世にはますます強まった。

したがってわが国の製鉄は砂鉄だけを原料として行われたのではないが、ここではその広がりや継続性に注目して、砂鉄を原料とする製鉄だけを取り上げることとする。

さらに朝鮮—韓国を介する間接的なものであるにせよ、あるいは直接的なものであるにせよ、わが国製鉄技術の源流と考えられる中国の製鉄技術の発展^②との関連に注目する。また同時に西欧製鉄技術との対比を念頭に置くこととする。

2 日本における製鉄の起源

わが国における鉄器の使用と（鉄素材の加工によるその）製造は弥生時代に遡ることが知られている。またこの時代の後期における鉄器の使用と製造の普及、さらには鉄素材としての鉄錠の供給元とされる朝鮮—韓国における製鉄の発展状況からみて、鉄素材の製造すなわち製鉄もこの時代に始まったのではないかとする見解^③もあるが、遺跡・遺物などの考

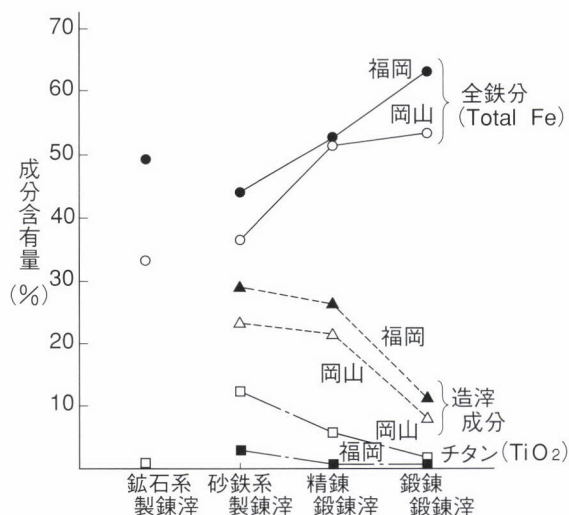


図1 製鉄滓、精錬滓及び鍛錬滓の組成の差異^④

古学的調査の裏付けをもって遡り得る製鉄開始時期は古墳時代、確実には6世紀というのが定説のようである⁴⁻⁶⁾。とくに大澤は被葬者への供献物として古墳に埋納され、副葬品によって年代を判定できる鉄滓（供献鉄滓）の調査によってこの問題を検討した。すなわち福岡・岡山など西日本各県を主とする5～8世紀の出土試料約150を、その組成の特徴によって製鉄滓、精錬滓、鍛錬滓に分類することによって、6世紀中頃を境としてそれ以前の鉄滓はすべて鍛錬滓であるのに対して、それ以後のものは過半数が製鉄滓であるという結果を得たのであった^⑥（図1）。またそのさい製鉄滓のTiO₂およびVの含有量から、岡山県の3試料を除いて、すべてが低TiO₂含有量の砂鉄を原料とするものと推定された。なお6～7世紀の製鉄遺構と推定されている岡山県（大蔵池南）、広島県（金クロ谷）などの遺跡の調査によって、この時期の製鉄炉が箱形炉と総称される水平断面が長方形または楕円形の低炉であったことが知られている。

3 古代の製鉄法

穴澤の総括^②は生まれたばかりのわが国の製鉄技術が坦々



図2 小鉄塊（流山市富士見台Ⅱ遺跡出土）（図は同一磁着度の鉄塊群を示す）（流山市教育委員会提供）

たる発展の道を歩んだことを意味するものではなかった。以下に述べるようにそれはむしろ苦難の道であった。

3.1 「小鉄塊」法

わが国の古代の製鉄人は奈良時代にいたるまで、炉床残留滓を破碎してそのなかに分散していた小鉄塊（径 $\sim 0.007\text{m}$ 、重さ $\sim 0.005\text{kg}$ ）を取り出し、それを精錬・鍛接して鉄材または鉄器をつくっていたという事実が知られており^{7,8)}（図2）、これを実験的に確認するため、小鉄塊の製造・分離・鍛接・加工の全体系を再現する試みも行われている⁹⁾。またこれに関連する現象として、スラグの流動性を良好に保つことができない場合には、生成した鉄塊（または鉄粒）がスラグ中に分散した状態になることが、実験たたらでの作業でしばしば認められている。排滓できることが鋳塊の生成の条件であるというたたら関係者の指摘もある。さらに古代ヨーロッパ（ローマ時代以前）でも、自然通風炉、強制通風炉を問わず、slag tapping不能の場合がしばしばあり、そうした場合には生成鉄が分散状態となるので、その鍛接のさい酸化防止の対策が講ぜられたとされている¹⁰⁾。すなわち「小鉄塊」法はスラグの分離不能のため余儀なく行われたプロセスであったとみられる。

3.2 砂鉄製錬滓の性状と「小鉄塊」法

スラグの分離不能（＝流動性不良）の原因は何であったろうか。それは偏に砂鉄製錬滓の特異性によるものであったのだろうか。

大澤は上述の供献鉄滓の研究⁶⁾で低 TiO_2 砂鉄製錬滓はファヤライトと酸化鉄（ウスタイトまたはマグネタイト）を主成分とすると述べているが、同じ趣旨の報告は早くからなされ

ている。すなわち TiO_2 含有量が1%程度の砂鉄製錬滓はウスタイト・ファヤライトが主成分で、融点は $1170\sim 1200^\circ\text{C}$ という報告¹¹⁾や、 TiO_2 5%程度のスラグのX線回折で TiO_2 化合物は認められず、 FeO はすべてファヤライトとして存在したという報告¹²⁾がそれである。スラグのこのような鉱物組成はヨーロッパの可鍛鉄製造炉とも共通なものであった。すなわちTylecote¹³⁾はブルーム炉（Bloomery）のスラグについて、その組成は一般にファヤライトを主成分とするもので、融点は 1200°C 程度であったと述べている。またOelsenとSchürmann¹⁴⁾はドイツのレン炉（Rennfeuer）のスラグの調査結果に基づいて、組成は高 Fe 含有量の鉄シリケート（ファヤライトより高 FeO 側の組成）を基本とするものであり、融点は $1100\sim 1200^\circ\text{C}$ と述べている。

しかし高 TiO_2 砂鉄を使用してスラグの TiO_2 含有量が10%程度ないしそれ以上になると、酸化鉄に比べてスラグ化されたチタン鉱物が多くなるという報告¹¹⁾や、ファヤライトとウルボスピネル（Ulvospinel $2\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ 、融点 1395°C ）を認めたという報告¹⁵⁾があり、さらに20%をこえる TiO_2 を含有するスラグ試料についてイルメナイト（Ilmenite $\text{FeO} \cdot \text{TiO}_2$ 、融点 1415°C ）とシュードブルーカイト（Pseudobrookite $\text{FeO} \cdot 2\text{TiO}_2$ 、融点 1494°C ）が観察されている¹⁶⁾。これらの TiO_2 鉱物の出現する TiO_2 含有量の閾値は必ずしも一定ではないが、 TiO_2 含有量の上昇につれて FeO/TiO_2 比の小さい鉱物が現れるようになる傾向は普遍的なものである。いずれにしてもこれらチタン鉱物の融点はファヤライト（融点 1205°C ）に比して格段に高いので、これらを含むスラグの処理にはより高い温度を必要とすると考えられている。

こうして低 TiO_2 砂鉄製錬の段階でスラグの流動性不良＝分離不良を招いた原因はスラグの性状の特異性ではなく、単な

る炉温不足それも1200℃程度の炉床温度を実現しえなかったという技術の未熟にあったと考えられる。製鉄遺跡の出土品にしばしば鉄塊系遺物や鉄滓とならんで、「小鉄塊」とは両立しないはずの流出滓がみられることは、炉内でのプロセスの不均一な進行が炉温不足と重なっていた可能性を示唆している。一方高TiO₂砂鉄製錬の場合は高融点のTiO₂化合物を含むスラグの特異性に由来するより高い炉温の要求を満たすことが容易でなかったという事情にあったと考えられる。

3.3 古代製鉄技術の改良

奈良時代まで「小鉄塊」法の実施を余儀なくされていた古代製鉄技術が、同じ奈良時代の末に鑄鉄鑄物の生産、そしておそらく銑鉄の製造を行い得るにいたるまでになされた改良はどんなものであったろうか。

(1) 低TiO₂砂鉄製錬の場合

砂鉄精錬に複数羽口を備えた箱形低炉が選ばれたのは、それが所与の鑄能力のもとで粉状原料である砂鉄の処理に適合すると考えられたためであろうが、それは同時に水平断面方向のプロセスの不均一な進行の克服を、炉温の上昇とならぶ課題としていたと思われる。これらの課題の解決策の一つは、この型の炉のその後の発展の歴史が示しているように、排水・防湿のための地下構造の構築による炉底からの放熱の減少であったことは明らかであるが⁵⁾ (図3)、これとともに増風と送風の分配の調節 (例えば片側送風から両側送風への移行⁵⁾) などの処置が多面的になされたと推察される。いずれ

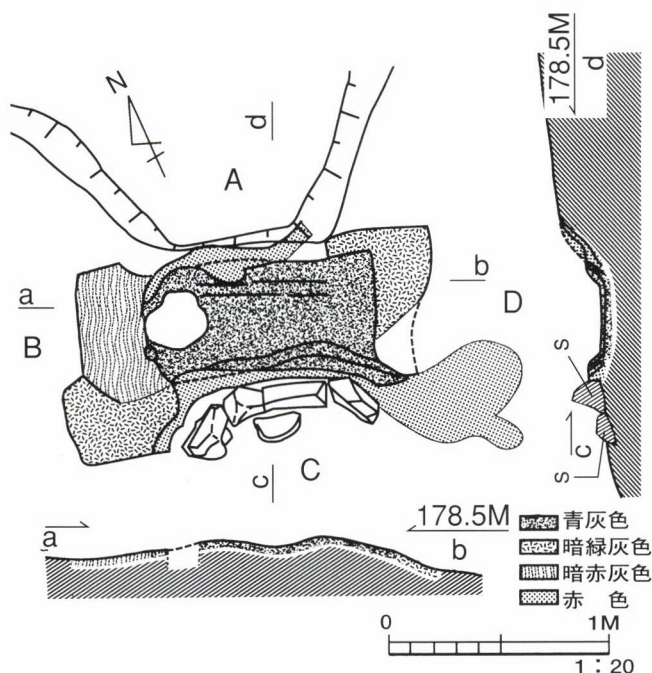


図3 大蔵池南遺跡4号炉 (6世紀末～7世紀始) 址の平・断面図 (単純な炉底構造をもつ初期の箱形炉の1例) (『糠山遺跡群久米開発事業に伴う調査委員会報告書』)

にしてもこの場合の炉床温度の目標は1200℃の程度であり、したがってそれが達成された段階でも生産されたのは主として固体の鉄塊 (低炭素鉄) で、その大きさは後続の精錬・鍛錬工程の処理能力に見合うものであったと思われる。他方1200℃はFe-C系状態図の共晶点温度をこえる温度であることから、少なくとも部分的には銑鉄が生成された可能性があり、さらに原料砂鉄種によってはその生成量が相対的に多い場合もあったと思われる。ただし鑄鉄そのものの製造についていえば、低炭素鉄の再溶解という別法もありえたことを考慮する必要があるだろう。

(2) 高TiO₂砂鉄製錬の場合

TiO₂含有量19.08%の柄実 (スラグ) で銑押しを行った明治期の佃谷 (島根県) の例¹⁷⁾ に鑑みれば、TiO₂ 20%程度のスラグを熔融状態に保つのに1400℃をこえる炉床温度が必要とは考えにくい、低TiO₂砂鉄製錬の場合に比べて相対的に高い炉温が必要であり、関東地方などに踏鞴によって送風を行う竪形炉が導入されたのはこの要求を満たすためであったと考えられている。群馬県の菅の沢遺跡はその例で水平断面がほぼ円形 (径約0.6m) で羽口1本をもつ半地下式竪形炉3基を備えて銑鉄がつくられたとされている¹⁸⁾ (図4)。しかし竪炉による粉状の砂鉄の製錬には通気・荷下がりに係わる本質的な

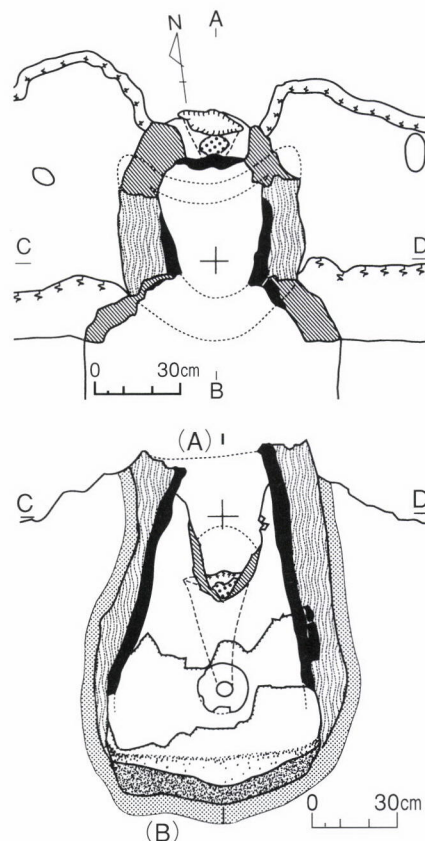


図4 菅ノ沢遺跡1号炉 (10世紀前半) の図¹⁸⁾ ((A) は平面図、(B) 鉛直断面図、点線は傾斜羽口を示す)

困難が避けられなかったのではないかとと思われる。古代竪炉を模擬した房総風土記の丘の竪形炉での実験は羽口の大径化、大傾斜化によって操業を大きく改善できることを示したが、同時に TiO_2 12.06%を含有する砂鉄を使用し、 TiO_2 11%のスラグを流出させる一方、排出不能の残留滓を生成してスラグ組成の不均一性を示している^{19, 20)}。竪炉で生成したとみられる鉄塊が鼠鉄や白鉄の組織を示す場合もあれば、低炭素鉄の組織を示す場合もあって多様であること²¹⁾も炉内でのプロセスの不均一な進行を示唆している。

なお箱形、竪形いずれの炉でも鉄鉄がつくれ、それが鋳鉄として利用されるにいたったことは、古代日本の製鉄技術が大局的には中国のその影響下にあったことを示すものであろう。

4 中・近世の製鉄技術

穴澤による総括③は直接には中国地方の鉄が全国的に流通して、各地方の小規模製鉄を圧倒するにいたったことを示すものであるが、同時に竪形炉による高 TiO_2 砂鉄製錬が衰退の道をたどり、箱形の「たたら」法が主流となったことを意味する。ただし関東地方とならんで竪形炉製錬法が盛んであった東北地方では、北上山地などに中国地方の箱形炉製錬技術が導入され、近世まで独自の製鉄圏が存続した。

4.1 竪形炉製錬法衰退の原因と鉄鉄精錬法の開発

竪形炉による高 TiO_2 砂鉄製錬法の衰退の理由の一つはこのプロセスそのものの上述の困難のため安定な操業が難しかったことにあったであろうが、それに加えてこのプロセスの経済性に係わる問題があったと考えられる。すなわち高 TiO_2 砂鉄製錬に必要な高温を実現すれば、主製品は汎用の鉄（低炭素可鍛鉄）ではない鉄鉄となって、その精錬工程が不可欠となり、造滓材を加え TiO_2 を希釈するなどの方法で低温操業を行えば、製品を低炭素可鍛鉄とすることは可能であるが、鉄歩留の低下と木炭消費量の増加が避けられないということであった。こうしていずれにしても低 TiO_2 砂鉄という有利な原料を用いる中国地方の箱形炉製錬法に経済的に太刀打ちできなかったのではなかろうか。それはまた能率的な鉄鉄精錬法の開発がこのプロセスの存立の前提となっていたことを意味するものであろう。

鉄鋼主産地である中国地方で鉄鉄精錬の課題意識が成熟した時期は不明であるが、「中世には鋳物師が恒常的かつ広範囲の遍歴を行いながら、『鍋・釜』などの鋳鉄製品だけでなく、『鋤・鍬』などの錬鉄製品、さらには『打鉄・熟鉄』などの鍛冶材料の売買にも携わった」²²⁾とされていることから、鉄鉄精錬がおこなわれた可能性が推察される。

4.2 近世たたら製鉄法の前駆形態としての「野だたら」製鉄法

本床とよばれる大規模な地下構造を備え、高殿とよばれる上屋のなかに構築される永代たたらは、箱形炉製錬法の長い歴史と1600年代に行われた鉄穴流し（慶長15—1610年）や天秤鞆（元禄4—1691年）などの技術革新を背景として、安永年間（1772—1780年）に定形化をみたとされており²³⁾、その前駆形態が「野だたら」とよばれるプロセスであった。それはとりまなおさず中世の箱形砂鉄製錬炉であった。

「野だたら」について鉄山必要記事は次のように述べている²⁴⁾。「鐵山ノハシマリハ、フミフキト申テ今ノ鑄物師ノ高殿ヲ用ヒテ鐵涌セシナリ、フムフキ多多良ト云ヒシハ、重ネ言葉ナルベシ。刃鐵ヲ第一ニ吹シナリ、鉄ハ僅ニ涌程涌セテ、始終皆刃鐵計ヲ押タルヨシ」。また土井²⁵⁾は野だたらの実態を述べた次のような文書を引用している。「当時鍛冶屋ニ用ひ候ふいご様のものにて、一夜に付鉄四五駄、弐拾駄も吹き候事、（中略）、察するに所々壺々年程づつも吹き場所替いたし候もの」。さらに土井は箱形の野だたらのなかには「内法縦0.7m、横1.7m、高さ0.9m」という規模に達したものもあることを示し、操業について次のように述べている。「使用された炉、ふいご、砂鉄等を考慮すれば、温度が十分上がらないので、銅ないし鋳を生産するのにむいていたといえるが、山陽で赤目系、山陰で川砂鉄などが用いられた関係から、かなりの溶鉄もつくられ、生成量からすれば鋳、鉄あい半ばした」。すなわち原料砂鉄の選択によって鉄鉄もつくられるようになってはいたが、鞆の能力が不十分であったため炉温が十分には上がらず、依然として低炭素鉄をも生成する状態にあったと見ることができる。

4.3 近世企業たたらの出現

高橋は奥出雲地方のたたら師達の家々に伝わる文書の研究に基づいて次のことを明らかにした²⁶⁾。

①「近世企業たたら」、すなわち鞆の技術革新を背景として18世紀始めに奥出雲に現れた大規模永代たたら経営では、この地方が鉄鉄の製造には不向きとされる真砂砂鉄の産出地帯であるにもかかわらず、専ら鉄押しを行い、製出鉄鉄を系列下の大鍛冶業者のもとで精錬して、割鉄（＝包丁鉄すなわち錬鉄、低炭素可鍛鉄）として出荷する一貫体制をとっていた。

②鉄押しのさい副産する鋳は、当初これを破碎する手段がなかったため放棄されたが、1760年代以降はこれを碎いて銅（約1/3）を選別し、残りの歩鋳（約2/3）すなわち粗鋼は鉄鉄とともに精錬して割鉄とした。したがって近世企業たたらの収入源は8割が割鉄、2割が銅という構成になっていた。

「近世企業たたら」の出現は間接製鉄法体系の確立という

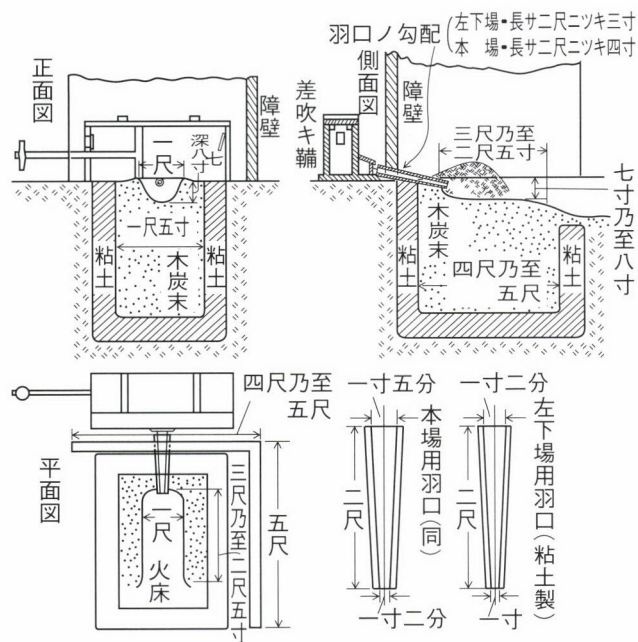


図5 大鍛冶炉の図
(山田賀一：鉄と鋼，4（1918），p. 348）

歴史的課題が企業レベルで達成されたことを意味するが、併せて次のことを示している。

第一は天秤竈という送風技術の革新によって溶銑主産の操業すなわち銑押しが可能となったということである。それは炉床温度の上昇を意味するが、そのことはまた副産される粗鋼の炭素含有量の上昇をもたらし、それをかつての低炭素鉄から鋳に変え、それによって鋳押し法の開発を可能にしたと考えられる。

第二は専ら行われる銑押しの製品である銑鉄の精錬工程が整ったということである。ただしこの工程である大鍛冶法は左下場・本場のいずれも、浅い炉床での横吹であって、銑鉄の精錬法として開発されたというよりは、1段階法として行われてきた組成不均一の鉄塊の精錬・鍛錬法の改良—銑鉄の予備精錬段階の追加による2段階化—によって成立したものであるという印象が強い²⁷⁾ (図5)。

5 鋳押し法と日本式間接製鉄法の評価

5.1 鋳押し法

高橋は少なくとも奥出雲では鋳押し法が行われるのは1850年代（安政3年以降）と述べており²⁸⁾、その独特の操業法としての形成の時期は遠く遡るものではないようであるが、高品質の鋼を生成する直接製鋼法として国際的に知られている。

ヨーロッパの直接製鋼法は方法としては直接製鉄法（低炭素可鍛鉄製造法）と同じもので、高炭素鉄としての鋼はその生成に都合のよい条件のもとで、偶然の所産として得られるとされていた²⁹⁾。その条件の一つは鉾石で、鋼をつくるのに

有利な鉾石として有名だったのがジーゲルランド地方の高Mnの菱鉄鉾および褐鉄鉾であった。この鉾石が直接製鋼法に有利な理由については定説はないが、Körberら³¹⁾、Heynert³²⁾ による注目すべき研究がある。彼らはFeO-MnO固溶体の900℃における還元と生成還元鉄への浸炭の実験を行い、MnO濃度の上昇とともに平衡CO₂分圧が低下し、これに対応して鉄中炭素濃度が上昇することを認めたのである³²⁾。この結果を直ちに実系（FeO-MnO-SiO₂を主成分とする融体）に適用することはできないが、もしその場合にもMnOの共存によって、CO₂分圧が下がれば、相対的に低い温度で浸炭が進むので、銑鉄を生成するおそれのない温度で高炭素鋼をつくることも可能と推測される。

砂鉄に含有されるTiO₂にもFeOと化合物をつくって、その還元を妨げる働きがあるという説³³⁾がある。するとMnと同様な効果が期待できることになるが確かではない。いずれにしても真砂砂鉄および木炭という不純物含有量の少ない原料・燃料を使用し、こもり、上り、下りとしだいにスラグのFeO濃度を低くして³⁴⁾、浸炭を促進する条件をつくりだす一方、炉壁浸食による羽口の後退とともに高温域を後退させて、銑鉄の生成を抑制しつつ高炭素濃度の固体鉄の生成を計るのが鋳押しの基本ということではなかろうか。もちろんプロセスは不均一に進行するから生成する鋳の組成も不均一であり、したがってその破碎と選別の工程が不可欠である。さらに多少とも同時に生成する溶銑以外の鉄部分は溶融過程を経ないため、砂鉄中の脈石や未還元酸化鉄を巻き込んでおり³⁵⁾、加熱・鍛錬による清浄化と均一化も不可欠である。日本の鋼の高品質はこのような複合的な工程の所産であったと考えるべきではなかろうか。

5.2 日本式間接製鉄法の評価

永代たたら製鉄—大鍛冶精錬の日本式間接製鉄法は砂鉄という分散のかつ低品位の国内資源を活用し、技術者・労働者の技術と技能に依拠して、高品質の鉄鋼を生産する独自の体系であった。それはこの体系の周辺にあった諸技術・技能とともに製鉄技術の伝統を形成し、幕末・明治期における近代製鉄技術の自主的受容の基盤となったものであった。しかしその第一段階である製鉄プロセスには低い鉄歩留（～50％）、高い木炭消費量（～3.5kg/kg製品）、短い炉寿命（3～4日）＝低い稼働率、低い労働生産性など、経済性にかかわる重大な弱点があって、ヨーロッパの高炉のように後続工程に刺激を与えてその変革を促すことができなかった。また後続工程である精錬プロセス＝大鍛冶法はその重要性にふさわしい独自性と内発的な発展の要素を備えていなかった。こうして日本式間接法は間接製鋼法へと発展せず、最終的には汎用鉄材の生産法としての役割を失うこととなった。鋳押し法は

このような日本式間接法がその退路を直接法への回帰に求めたものであった。しかしこのプロセスは間接法の製錬プロセスの抱えていた弱点のすべてを継承したうえ、非溶解法であるが故の製品鋼の不均一性の克服のための処理工程を必要とし、間接法と同じく労働集約的といわれる日本の製鉄技術の性格³⁵⁾を脱することができなかった。それは砂鉄という原料、木炭という燃料とともに鎖国下の日本製鉄業の著しく制約された生産規模に相応するものにほかならなかった。

6 終わりに

本稿ではわが国の製鉄の主流が古代から近世にいたるまで、砂鉄を原料とするものであったという認識のもとに、砂鉄製・精錬技術の歴史の巨視的な把握を試み、事実に基づいて検証されるべき多くの仮説を提出した。鉍石製・精錬技術や地方・地域による製鉄事情の差異などをほとんど無視する結果となったことを遺憾とする。

本稿の記述にあたり穴澤義功氏から受けた多面的な協力に深謝を捧げる。

文献

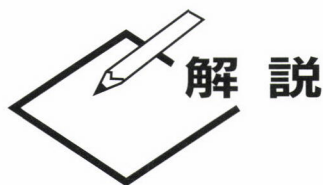
- 1) 穴澤義功：第14回横田たたら研究会における講演、(1995年8月)
- 2) 中国冶金簡史，北京鋼鉄学院《中国冶金簡史》編写小組編，科学出版社，(1978)，第4章，p. 148
中国では、早く春秋戦国時代に銑鉄・可鍛鉄および塊煉鉄・塊煉浸炭鋼という2系列の鉄素材製造技術が発展して、独特の生産体系が形成されていた。漢代にはこれに炒鋼法、百煉鋼、銑鉄脱炭鋼、灌鋼法などの製鋼技術が加わって空前の開花期を迎えたが、その後これらの技術のすべてが一様に発展したのではなく、隋・唐・宋・元の時代を通じて、溶鉍（高）炉製銑法と炒鋼法が大きく発展して間接製鉄法の技術体系が中国製鉄技術の骨格をなすにいたった。汎用の鉄が銑鉄ではなく可鍛鉄—鋼であったことから、間接製鉄法は製銑法の発展の当然の帰結であった。なお河南省鞏県鉄生溝など漢代の製鉄遺跡では水平断面が円形だけでなく、長方形や楕円形などの製錬炉（溶鉍炉）も見出されている。また炒鋼法は発掘された遺構の調査と1950年代の「大躍進期」に行われた土法製鉄運動のなかで得られた知見を総合して、土中に構築された偏楕円体状の炉に燃料と銑鉄片を投入し、攪拌しながら、上から空気を吹きつけて精錬を行う方法であったと推定されている。
- 3) 潮見 浩：東アジアの初期鉄器文化，吉川弘文館，(1982)，第3章，p. 260
- 4) 森 浩一・炭田友子：考古学から見た鉄（森 浩一編「日

本古代文化の探究 鉄」），社会思想社，(1974)，p. 9

- 5) 河瀬正利：前近代日本の鉄生産（国際金属歴史フォーラムしまね〔BUMA—IV〕における講演、1996, 1月、松江）
- 6) 大澤正巳：古墳出土鉄滓からみた古代製鉄（たたら研究会編「日本製鉄史論集」），(1983)，p. 85
大澤による鉄滓の組成による分類法（図1）は合理的なものではあるが、図からも推察されるように製錬滓と精錬滓との差が必ずしも明瞭でないという問題がある。これは一方では初期の製錬プロセスがファヤライト組成ないしそれより高FeO含有量のスラグを生成するのを常態としていたという事実、また他方では精錬用の粗鉄がしばしば多量の造滓成分、端的にいつて製錬滓を含有していたという事情を反映するものであろう。ただし鍛錬滓には梔形滓という別名もあり、このことを含めて判定は様々な状況証拠を総合して行われたと思われる。
- 7) 穴澤義功：シンポジウム「古代の鉄生産—中世を見通して」資料，たたら研究会，(1987)，p. 45
- 8) 穴澤義功：千葉県立房総風土記の丘年報15，(1992)，p. 113
- 9) 山口直樹：千葉県立房総風土記の丘年報14，(1991)，p. 114
山口直樹：千葉県立房総風土記の丘年報15，(1992)，p. 52
- 10) R.F.Tylecote：JISI, April (1962)，p. 340
- 11) 湊 秀雄・佐々木 稔：たたら研究，14 (1968)，p. 90～102
- 12) たたら製鉄復元計画委員会報告：たたら製鉄の復元とその鉤について，日本鉄鋼協会，(1971)，p. 89
- 13) R.F.Tylecote：JISI, January (1962)，p. 19
- 14) W.Oelsen und E.Schürmann：Arch. f.d.Eisenhüttenw., 25 (1954)，s. 507
ブルーム炉やレン炉はいずれも低炭素可鍛鉄をつくるものであったが、スラグのFeO含有量が高いことは生成鉄の炭素濃度を低位に保つのに寄与したと考えられている。この点は初期のたたら製鉄法でも同様であろう。ただしFeOの影響の評価にあたってはその活量係数の値の評価が必要であることはいうまでもない。
- 15) 高橋恒夫：古代製鉄鉄滓の金属組織（「古代日本の鉄と社会」），平凡社選書78，(1978)，p. 241
- 16) 田口 勇：仙台藩製鉄遺物の分析化学的研究（「みちのくの鉄」），アグネ，(1994)，p. 311
- 17) 俵 国一：古来の砂鉄製錬法，丸善，(1933)，p. 94～106
- 18) 飯島武次・穴澤義功：考古学雑誌，55 (1969) 2, p. 123
- 19) N.Yamaguchi, Y.Anazawa, M.Tate and M.Sasabe：ISIJ International, 37 (1997) 2掲載予定
- 20) 国立歴史民俗博物館研究報告，第58集，(1994)，p. 209
- 21) 大澤正巳：第8回横田たたら勉強会資料（1989, 7月）
- 22) 網野善彦：中世の鉄器生産と流通（講座「日本技術の社

- 会史」第五巻 採鉱と冶金) 日本評論社, (1983年), p. 29
- 23) 飯田賢一: 鉄の語る日本の歴史 (上), そしえて (株), (1976), p. 79~84
- 24) 下原重伸: 鉄山必要記事 (日本科学古典全書 第十巻), 朝日新聞社, (1944), p. 106
- 25) 土井作治: 近世たたら製鉄の技術 ((22) と同じ), p. 69
土井は銑鉄とともに鋳すなわち高炭素の鋼部分をも含有する粗鋼がつくられたと述べているが、この段階では永く箱形炉の製品であった低炭素鉄が生成していたと考えべきではないか。
- 26) 高橋一郎: 金属博物館紀要, No.11, (1987), p. 76
- 27) 俵 国一: (17) と同じ, p. 107
俵は中国地方の左下場、本場から成る大鍛冶法 (鍊鉄製造法) についての叙述に続けて「奥州に於ける鍊鉄製造法」についての叙述を付記している。岩手県気仙郡で行われていたもので、底部に水を貯めて使用されるところから水炎土とよばれる粘土製の瓶 (径0.3m、深さ0.3m) を用いることに特徴があり、天保年間 (1830~42) に常陸国の人によって発明されたとされているが、俵はこれを「著しく近代製鉄技術の影響を受け改良せられたる観あり」と評している。
- 28) 高橋一郎: 古文書からみた山陰地方のたたら (黒岩俊郎編「金属の文化史」), アグネ (1991), p. 65
- 29) L.Beck (中澤護人訳): 鉄の歴史II (2), たたら書房, (1978), p. 45~67
- 30) F.Körber und W.Oelsen: Zeitsch. f. Elektrochem., 46 (1940), s. 188-194
- 31) G.Heynert, E.Schürmann und J.Willem: St. u. E., 78 (1958), s. 1496-98
- 32) ドイツ鉄鋼協会編 (盛 利貞・藤村侯夫・小島 康訳): 高炉製鉄法の基礎理論, アグネ (1979), p. 75
本書によれば還元鉄への浸炭量は次式によって与えられる。
$$[C]_r / [C]_e = (P_{CO}/P_{CO_2})_r / (P_{CO}/P_{CO_2})_e$$

ここで $[C]_r$ 、 $[C]_e$ はそれぞれ実および飽和炭素濃度を表す。また P_{CO} 、 P_{CO_2} はそれぞれ気相の CO 、 CO_2 の分圧、添字 r 、 e は実ガス組成およびブーダール平衡組成を表す。これによれば Mn の効果は CO_2 の分圧を下げることによって右辺の値を大きくし、実炭素濃度を上げることにある。ただし上の式によって与えられる $[C]_r$ の値は実ガス組成のもとで到達可能な上限値であり、実際の炭素濃度はさらに温度に強く依存する浸炭速度によって左右される。
- 33) ドイツ鉄鋼協会編 (盛 利貞・藤村侯夫・小島 康訳): 高炉製鉄法の基礎理論, アグネ (1979), p. 111
 TiO_2 - FeO 化合物の形成が浸炭を促進するとすると、この化合物が生成しにくい低 TiO_2 の真砂砂鉄が鋳押しに用いられるのはなぜかという疑問が生じる。同じ理由で高 TiO_2 砂鉄に比べて浸炭しにくく、したがって銑鉄を生成しにくいという解釈も可能であるが、現段階ではいずれも仮説の域を脱しない。
- 34) 小塚寿吉: 鉄と鋼, 52 (1966), p. 1763~78
- 35) (12) と同じ, p. 102~103
- 36) 奥村正二: 小判・生糸・和鉄, 岩波新書, (1973), p. 125
(1996年9月27日受付)



自動車用冷延鋼板向け鋼種の変遷

薄鋼板製造技術と車体製造技術の共鳴の歴史

荒木健治
Kenji Araki

NKK総合材料技術研究所 主席

A History of Steel Applied to Cold Rolled Sheet for Automobile Body

1 はじめに

自動車用冷延鋼板向け鋼種の主力は、今はIF鋼である。しかし1965年に、著者が薄板の材質に関する研究に従事し始めた頃は、それはキャップド鋼だった。それが1970年代後半にはアルミキルド鋼に替わった。大量に使われる鋼製品で、主力鋼種がこのような替わったのは自動車用冷延鋼板のみである。

自動車用冷延鋼板は、生産量がきわめて多い上に、品質要求も非常に高いので、薄板分野全体の技術開発の牽引車となってきた。またそれは製鋼分野の技術にも多大な影響を及ぼしてきた。自動車用鋼板向け鋼種の交替の影響は大きい。

鋼種の交代は鉄鋼側の事情でのみ行われたのではない。図1に、鉄鋼側と自動車側における諸動向の変遷を示すが、両者の変化はよく対応している。即ち両者が影響し合ったことが伺える。この一種の共鳴現象の歴史を振り返ることは、自動車用冷延鋼板向けの鋼種の今後を考えるための糧になると考える。

2 オープンリムド鋼（～1960年頃）

製鋼炉での精錬終点時には、溶鋼には約0.05%のCと約0.05%のOが含まれている。溶鋼をこのまま底のある鋳型に注入し、固めるとオープンリムド鋼になる。鋳型内で溶鋼が凝固する際、CとOが反応し、多量のCOガスが発生する。COガスは気泡となって上昇するので、鋳型内はあたかも沸騰しているような状態を示す。この現象はリムド鋼特有のものでリングアクションと呼ばれる。この現象をおこしながら生成された鋼塊表層（リム層、ふち層）は純度が高く、肌もきわめてきれいである（図2）。車体は外観がきれいなことが要求されるので、リム層のあるこの鋼種は車体用に最適だった。

1950年代中頃までの車体製造技術は、戦前の技術を受け継いだままの状態であった。鋼板の成形にはプレス機械も用いられた。しかし成形後、打ち出し板金や手修正を加えることを前提とした。プレス機械の役割は板金の型打ちであったともいえる（図3）。鋼板材質に対する要求は、板金し易いこと、

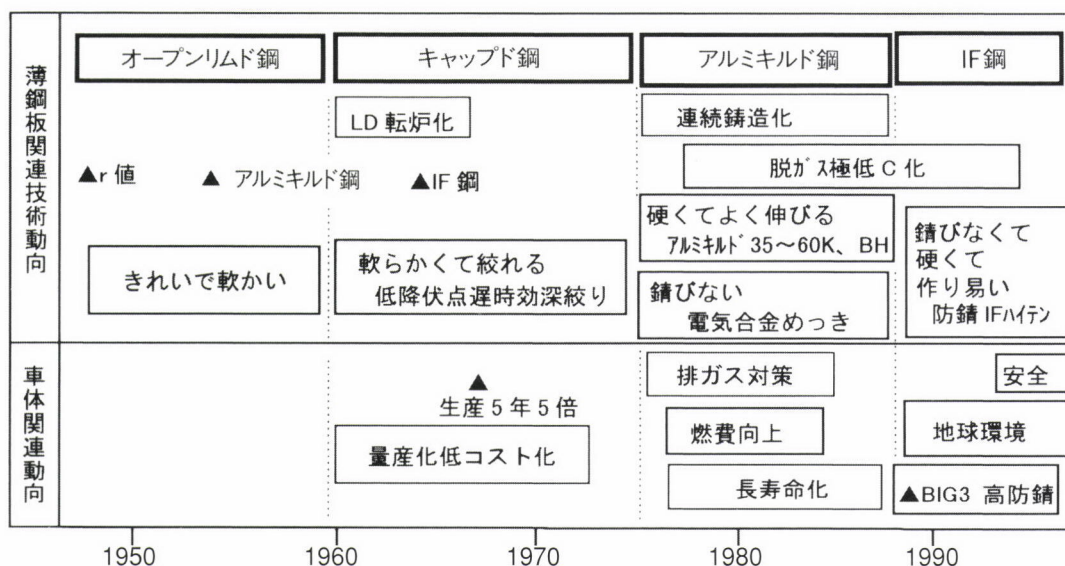
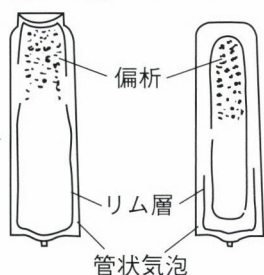
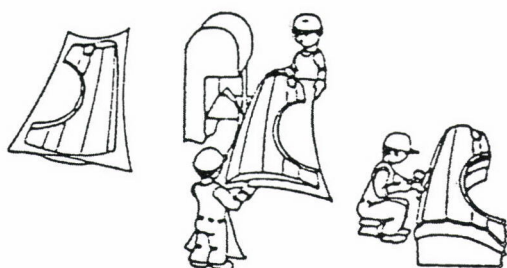


図1 薄鋼板関連技術と車体関連動向の推移

キャップド鋼 オープンリムド鋼

図2 リムド鋼塊の内部性状¹⁾図3 戦後のプレス部品の成形模様（日産自動車）²⁾

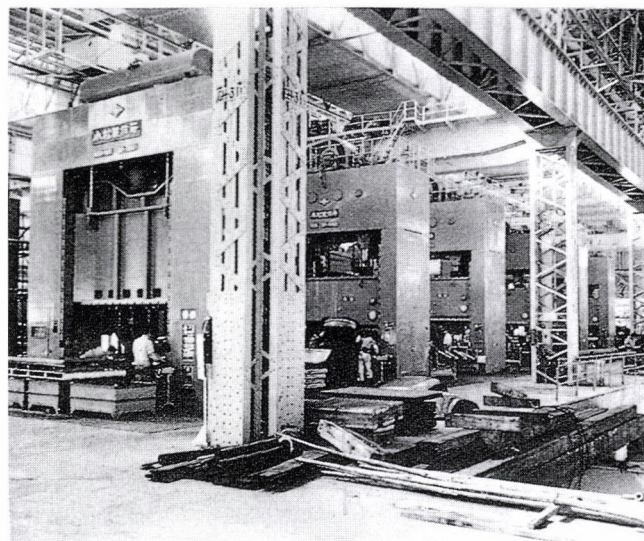
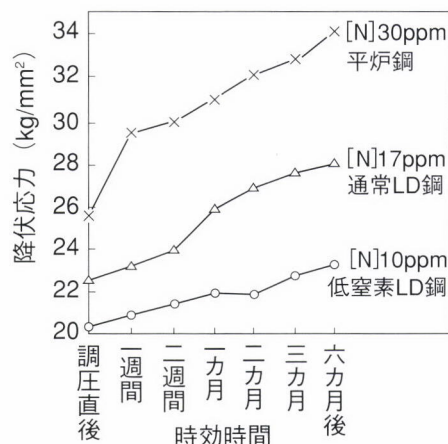
すなわち軟らかいことであった。オープンリムド鋼はこの要求にもミートした。

3 キャップド鋼（1960年頃～1975年頃）

1960年代になると、平炉から転炉への移行が急速に進行した。これと同時に進行形で、キャップドリムド鋼（キャップド鋼と呼ばれた）が採用され始めた。オープンリムド鋼は、鋼塊内部に純度の高い部分と不純物含有量の多い部分（偏析）を生じ、これが材質の不均一を招いた。キャップド鋼は、偏析を抑えるため、リミングアクションを凝固途中で止めたものである（図2）。注入終了後、鑄型に蓋（Cap）をかけ、それによって鑄型内のCOガスの圧力を高め、COガスの発生を抑えれば、リミングアクションは止る。

1960年頃になると世の中は神武景気にわき、自動車の普及が急拡大し始めた。プレス工場では、近代化の掛け声とともに、大容量プレスが数台一列に並ぶ、現在でもみられるライン構成となった（図4）。またプレス成形のための車体分割、すなわちプレス部品はヨーロッパの影響を受けて大きくなった。車体の組立もコンベア上で連続的に行われるようになった。

このような諸変化は、プレス成形に対し、「割れ」だけでなく、「しわ」「ひけ」などの面不良対策、車体組立での作業性をよくするための寸法精度の向上をも要求するようになった。

図4 プレスライン（1960年）³⁾図5 転炉鋼と平炉鋼の時効挙動⁴⁾

面不良対策、寸法精度向上策として、鋼板には降伏点が高く時効しにくいこと、材質が均一なことが望まれた。転炉法は鋼中N量を、平炉の20～40PPMから10～20PPMへと低下できた。低N化は時効を遅らせ、降伏点を下げる（図5）。転炉製キャップド鋼による低降伏点遅時効鋼板が自動車用鋼板のベースとなった。

1960年代に入ると、オープンコイル焼鈍法（OCA）が始まった。OCAはストリップをルーズなコイルにして焼鈍を行う方法である。鋼板表面に雰囲気ガスを接触させるので、雰囲気ガスと鋼中のCを反応させ、鋼中からCを除去することができた（脱炭焼鈍）。さらに焼鈍中に鋼板同士の焼き付きが発生しないので、焼鈍温度をより高くすることができた。脱炭高温焼鈍は結晶粒成長を促すので、一層の低降伏点化と高r値*化を計れた。キャップド鋼のOCA焼鈍鋼板の成形性はアルミキルド鋼に比肩するものであった。

*r値 = ϵ_w / ϵ_t

ϵ_w ；引張試験片を引張った場合の、その巾の縮み歪み ϵ_t ；引張試験片を引張った場合の、その板厚の薄肉化歪み

1960年代後半は昭和元禄といわれた。5年間で乗用車の生産台数が5倍になり、大衆車といわれる車種が生まれるなど車種も大幅に増加した。このことは新モデル発表後の生産の急拡大を必須としたので、OCA焼鈍銅板に恰好の活躍の場を与えた。

4 アルミキルド鋼（1970年頃～1990年頃）

アルミキルド鋼は、鋳造前に溶鋼中にAlを添加し、溶鋼中Oを Al_2O_3 として浮上除去したものである。Oがないのでリミングアクションはおきない。この鋼は、コイル状態のまま焼きなますと（バッチ焼鈍）、等軸結晶粒のキャップド鋼やIF鋼とは異なる、結晶粒が圧延方向に伸びた特色ある組織（展伸粒組織）を呈し（図6）、非時効性に加え、高r値と低降伏点を有するようになる。展伸粒組織が得られる製造技術が確

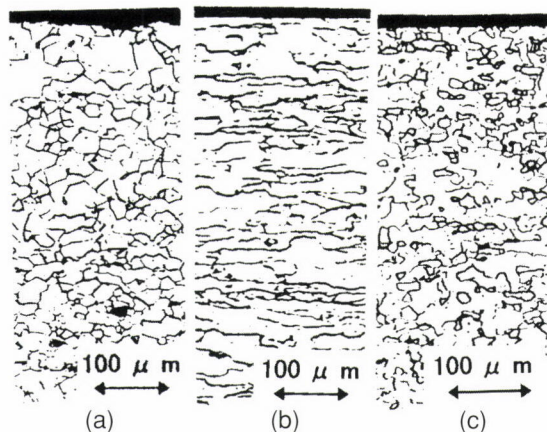


図6 冷延銅板の結晶粒組織
(a) キャップド鋼 (b) アルミキルド鋼 (c) IF鋼

NEW CRITERIA FOR PREDICTING THE PRESS PERFORMANCE OF DEEP DRAWING SHEETS

By W. T. LANKFORD, S. C. SNYDER AND J. A. BAUSCHER

Abstract

In the past it has been generally believed that an isotropic material is more suitable for all types of sheet metal forming operations than an anisotropic material. Evidence has been developed in the present investigation, however, which refutes this general belief. Although it is still believed that an isotropic material is best suited for symmetrical formations, it has been demonstrated that, for certain unsymmetrical formations, material having a considerable degree of plastic anisotropy of a favorable nature results in the best press performance. By considering favorable plastic anisotropy together with favorable strain hardening characteristics as requisites for good press performance, it is possible to discriminate very successfully between materials having quite similar ordinary mechanical properties but which exhibited wide differences in press performance in unsymmetrical fender draws. A good correlation has been found between plastic anisotropy and magnetic anisotropy, indicating that the plastic anisotropy arises from preferred crystallographic orientations. These new findings suggest that for optimum press performance the plastic anisotropy characteristics of the material must be suited to the symmetry of the forming operation.

図7 ランクフォードらの歴史的論文の表題とAbstract⁶⁾

立されたのは1950年代中頃である。その技術の要点は、熱間圧延後のストリップの水冷を強くし、熱延コイルでは鋼中のAlとNが AlN として析出するのを防ぐことである⁵⁾。アルミキルド銅板とは、一般的には展伸粒結晶組織の銅板を指すので、この銅板の出発は実質的にはこの頃と言えよう。

アルミキルド銅板の技術開発の牽引力は、W.T.Lankfordら⁶⁾による深絞り性の評価尺度としてのr値の提案と、Alを添加したキルド銅板での高r値材の混在の発見であった（図7）。W.T.Lankfordらは、46ロットのキルド銅板につき、実車フロントフェンダーでのプレス成績と各種の材料特性値との関係を調査した。Alを添加したキルド銅板を選んだのは、この銅板が実車プレス成績でバラツキが大きかったからである。実車プレス成績と相関の強い特性値はr値であった（図8）。当時、塑性異方性のあることは、深絞り性にとり好ましくないとされていただけに⁶⁾、この発見は材料開発の方向を大転換した。高r値化は現在でも成形性向上の一大指針である。W.T.Lankfordらの業績は、自動車用銅板の開発史上、最高の偉業であると言っても過言ではあるまい。

1960年代に入ると、アルミキルド銅板は、 Al_2O_3 系介在物による表面疵問題も解決され、低降伏点、高r値、非時効性を兼ね備えた、品質的には理想的な銅板として重宝がられた。1960年代の、乗用車の生産台数、モデル数の急増期には、キャップド銅板を補完する銅板として活躍した。しかし低歩留まりからくる高コストのため、「補完する銅板」の域を出ることができなかった。

1950年代の終わり頃、条銅などに向けられる小断面鋳片で連続鋳造が実用化された。アルミキルド鋼の低歩留まりは、鋳造が造塊法であることに起因していたため、この新しい鋳造法をアルミキルド鋼に適用する試みが、1960年代後半になると行われはじめた。品質的には完璧のアルミキルド鋼を、

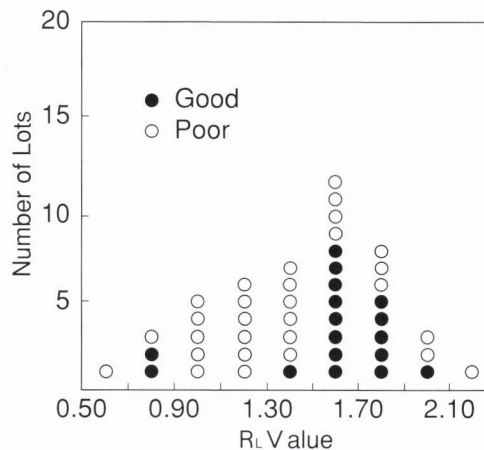
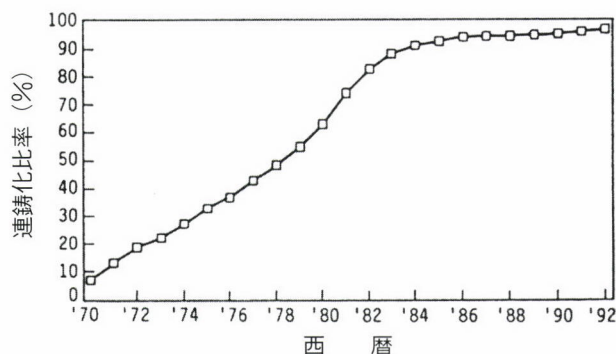
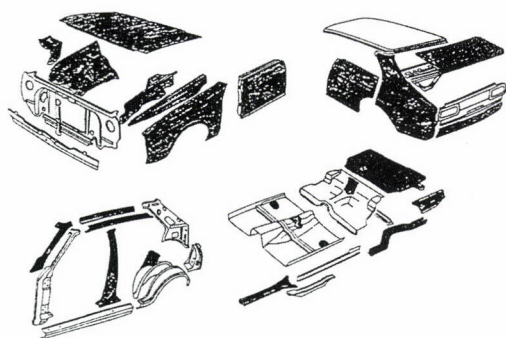
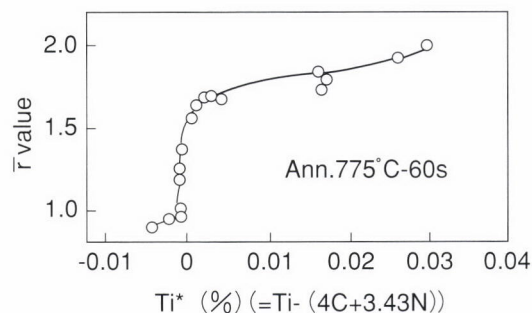
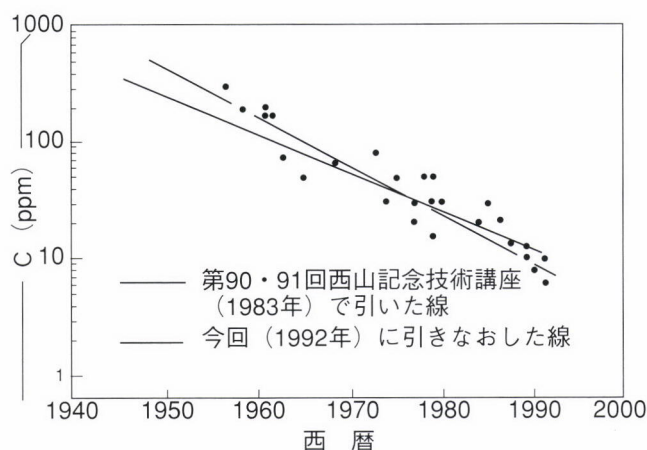


図8 ランクフォードらの論文でのr値と実車プレス成績の関係⁶⁾

図9 わが国における連続鋳造比率の推移⁹⁾図10 車体での高張力銅板適用例⁹⁾
(着色部分が高張力銅板)

キャップド鋼の歩留まりで鋳造できれば画期的なことであった。しかしキャップド鋼なみの表面性状を得ることは至難であり、アルミキルド鋼の連続鋳造化は量産銅種の中では最後の方だった。それでも、鋳造中の大気の遮断などいくつかの技術開発を経て^{7, 8)}、1975年頃にはこの鋼も連続鋳造できるようになった。難関突破後は、キャップド鋼からアルミキルド鋼への変換は堰を切ったように進展し、図9の連鋳比率の推移からも読みとれるように、1980年代に入ると自動車用銅板向けキャップド鋼は姿を消した。

1970年代に入ると日米の両国で光化学スモッグが発生し、これがきっかけとなり、1975年に排ガス規制が制定された。1971年に始まった米国のESV（実験安全車）計画後、安全規制強化の動きが早まった。1972年秋の石油危機がきっかけとなり、米国ではCAFE（企業平均燃費）が成立した。これに基づいて、わが国でも1979年に省エネ法が制定された。これら三つの規制は、今日に至るまで年々厳しくなっている。安全、排ガス関係の規制は、車体の重量増をとまう。燃費関係の規制は、その軽減を必要とする。両者は加工性の良い高張力銅板に対する強いニーズを生んだ（図10）。銅の高強度化には、P、Si、Mn、Ti、Nbなどの強化元素の添加が必須である。キャップド鋼では、これらの添加を十分にはできない。Pでは偏析が大きくなり、その他の元素は酸化物となるからである。高張力銅板のための銅は、アルミキルド鋼でな

図11 Ti量とr値の関係¹¹⁾図12 炭素の精錬限界の推移¹⁴⁾

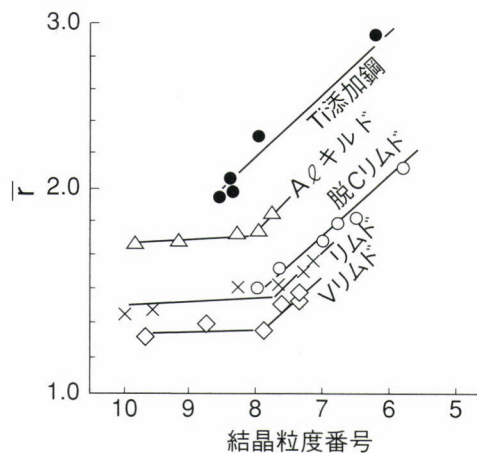
ければならない。アルミキルド鋼の連続鋳造化は、高張力銅板の開発にとり、まことにタイムリーだったことになる。1970年代後半における高張力銅板に対するニーズの高まりは、キャップド鋼からアルミキルド鋼への変換に拍車をかけた。

5 IF鋼（1985年頃～）

IF鋼とは、固溶C、N（Interstitial atom）がない（Free）鋼という意味である。CやNと化合物を作り易い元素、例えばTiをCとNの合計量より多く添加すればこのような状態になる。IF状態になると、極低炭素鋼は非常に高いr値（図11）、低い降伏点、非時効性を兼備するようになる。

IF鋼は1964年にわが国で生まれた¹²⁾。発明者のひとりである清水によると、発明のきっかけは次のようである¹³⁾。「厚板の研究グループでTiやNbを添加し、銅を強化する研究を行っていた。そのグループより、C量を0.04%程度まで下げ、Tiを多めに添加すると、不思議なことに降伏点が低くなる、なぜだろう、との相談を受けた。当時、薄板では低降伏点鋼ばかりだったので、これを薄板に応用できないか、と考えた。」ということである。

1970年頃は、工業的に到達できるC量は50～100ppmであった（図12）。それでもIF鋼は、非常な細粒にもかかわらず、

図13 結晶粒度と r 値¹⁵⁾

アルミキルド鋼よりも高い r 値を示した。これがIF鋼の金属組織上の最大の特徴である(図6、図13)。成形性に関してはオールマイティな鋼であったが、製造コストが非常に高く、表面性状も悪かったため、量産鋼種にはならなかった。

1980年代になるとIF鋼も連続製造できるようになった。最量産鋼種は連続製造されたアルミキルド鋼であったので、最量産鋼種とのコスト差は、1960年代に比べ大幅に縮まった。IF鋼は、焼鈍時に急速加熱、急速冷却を行っても、材質上の魅力を失うことはない。連続焼鈍設備の設置があいついだが、この設備で超深絞り用鋼板をつくるための鋼種として魅力的であった。このことが牽引力となり、真空脱ガス処理技術が進歩し、一層の極低炭素化を、生産性を上げながら実現できるようになった(図12)。1980年代前半の乗用車のモデル数の増加は超深絞り用高張力鋼板に対するニーズを高めた。以上の諸状況が重なり、1980年代に入るとIF鋼の生産量は着実に増加した。

1976年のカナダCCAコードは、車体への防錆鋼板適用のきっかけをつくった。防錆力強化の動きは年々強まり、この傾向は1983年のノルディックコード「6年孔あき無、3年表面錆無」、その約2年後の米国BIG3の「10年孔あき無、5年表面錆無」まで続いた。高防錆は自動車の重要な性能として、また車の商品力の強力な宣伝手段として定着した。1980年代後半

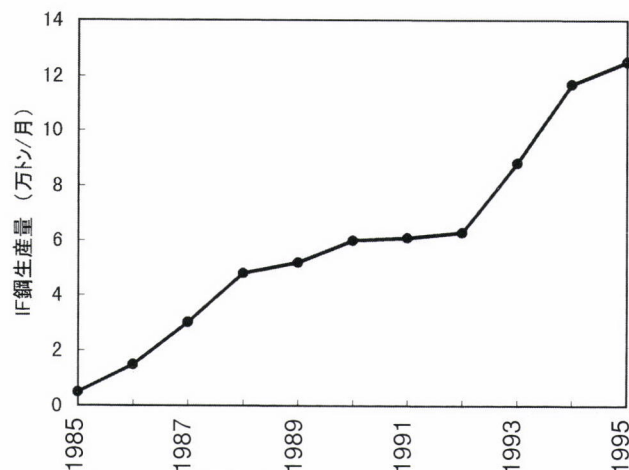
図14 車体での防錆鋼板の適用例¹⁶⁾(着色部分が防錆鋼板)

図15 NKK福山製鉄所でのIF鋼の生産量推移

は、国内はバブル景気に沸いた。国内向け車もBIG3なみの防錆性能を目指すようになった。このような背景のもと、多くの自動車会社において、「防錆鋼板は溶融亜鉛めっき鋼板にする」という決定が下された。車体用鋼板の大半が防錆鋼板であったので(図14)、この判断は鋼種にも決定的な影響をおよぼした。溶融亜鉛めっき設備では、連続焼鈍設備のような過時効処理熱サイクルをとれないので、車体用鋼板を焼鈍するにはIF鋼を用いざるをえない。上記の決定を機に、IF鋼の生産量が急増し、IF鋼が自動車用冷延鋼板の主役の座を占めるようになった(図15)。

溶融亜鉛めっき鋼板採用の判断を誘起した要因のうち、大きなのは次の二つであった。一つめは、IF鋼のコストが、1980年以降、大幅に低下したことである。二つめは、防錆性能を確実にするには、亜鉛の付着量として $60\text{g}/\text{m}^2$ 程度の厚めっきが必要なることが明らかになってきたことである¹⁷⁾。

IF鋼の低コスト化に寄与したのは、合金元素すなわちTiやNbコストの大幅な低減と、脱ガス処理費の低減である。合金元素コストの大幅な低減の要因は、合金元素価格の低下(図16)、一層の低C化による添加量の低減(図12)、合金鉄製造

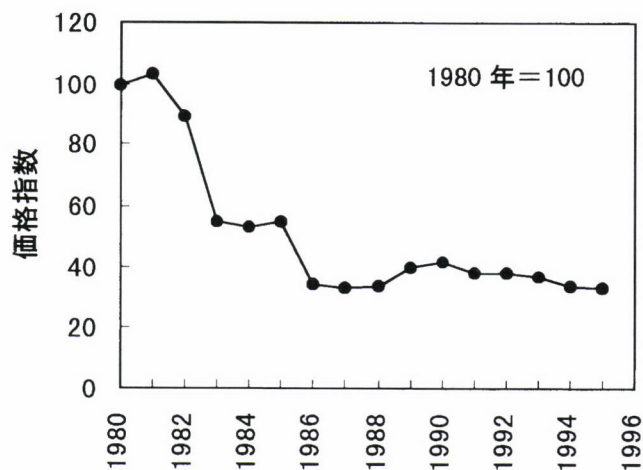
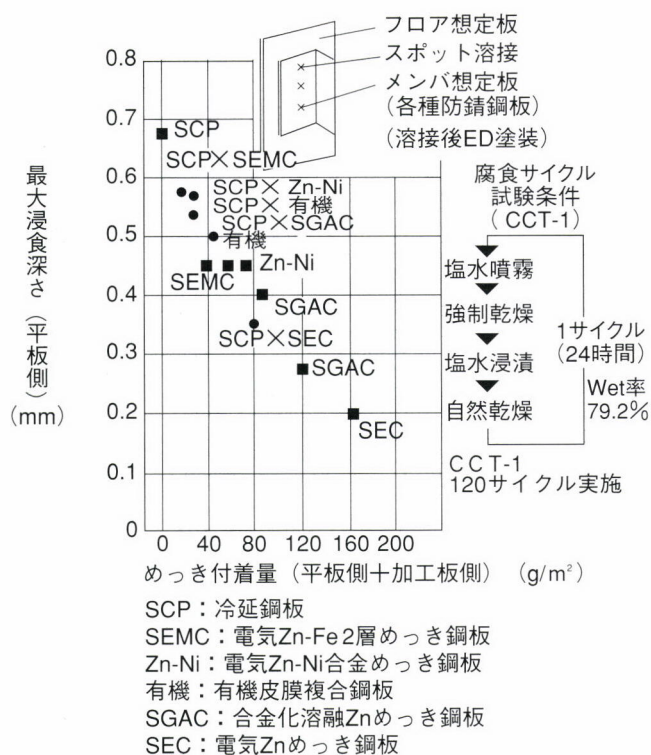


図16 スポンジ鉄の市中価格推移

図17 合わせ部腐食試験結果¹⁷⁾

方法の改良などである。

1980年頃をはさみ、電気Zn-Ni合金めっき鋼板、電気Zn-Fe2層めっき鋼板など各種の防錆鋼板が開発された。別所ら¹⁷⁾は、より現実に即した腐食試験方法を考案し、それにより各種の防錆鋼板の耐食性能を評価し、耐食性はめっきの種類によらず、単純に亜鉛の付着量により決まることを明らかにした(図17)。Zn付着量に関する前記の判断はこの調査結果に基づいたものである。めっき法には溶融めっき法と電気めっき法があるが、60g/m²という厚目付の場合には、コスト上、溶融めっきの方が相当有利である。電気めっきでは処理速度を極端に落さざるをえない。一方溶融めっき法は、ストリップが亜鉛浴から出てきたところで、亜鉛融液をガスワイピングする方法であるので、付着量が増えても処理速度を落す必要がない。

IF鋼は、低コスト化したとしても脱ガス処理費や合金元素代がかかるため、めっき原板でのコストはそれらの必要のないアルミキルド鋼よりは安くなりようがない。厚目付化の要望がなければ、電気めっき法で対処でき、この場合には焼鈍は連続焼鈍法かバッチ焼鈍法になり、大部分の用途では鋼種はアルミキルド鋼で十分である。すなわちIF鋼が低コスト化したとしても、厚目付化の要望がなかったらIF鋼の今のポジションはなかったと思われる。逆に厚目付化の要望があったとしても、IF鋼のコストが非常に高ければ、生産性の低下による電気めっきでの大幅なコスト上昇があったとしても、やはりIF鋼は使われなかったと思われる。すなわちIF鋼の今

の姿は、めっき原板でのIF鋼とアルミキルド鋼のコスト差の大幅縮小という薄鋼板製造技術と、亜鉛の厚目付け化を必要とした車体製造技術の完璧なまでの共鳴現象の産物である。

6 おわりに

自動車用冷延鋼板向けの主力鋼種が、他の鋼材には見られないような大きな転換をおこなってきたのは、鉄鋼側の変化と同時に、自動車側も大きく変化したからであると思える。自動車用鋼板は、自動車側の車体製造技術などの変化と、強弱はあるが共鳴しながら、それ向けの鋼種を変えてきた。

鉄鋼、自動車を取りまく環境が、過去になかったほど変化している昨今である。両者とも、地球環境問題、グローバル化・大競争の渦中にある。鉄鋼単独では、ミニミル関連技術の進歩と鉄源問題である。自動車単独では安全性能である。これらはIF鋼をいつまでも今の座に置かない、と思った方がよさそうである。

引用文献

- 1) 薄板マニュアル冷延鋼板編, 日本鉄鋼協会編 (1965), p.10
- 2) 吉田清太: 日本機械学会誌, 84-748 (1980), p.49
- 3) 日刊工業新聞社: 創刊30周年記念「プレス技術」'92/6月別冊, (1992), p.13
- 4) LD委員会10周年記念論文集, 日本鉄鋼協会LD委員会編, (1969), p.297
- 5) R.L.Ricket, S.H.Kalin and J.T.Mackenzie: Metals Transactions, AIME, 185 (1949), p.242
- 6) W.T.Lankford, S.C.Snyder and J.A.Bauscher: Trans. ASM, 42 (1950), p.1197
- 7) 新日鉄: 私信, (1975)
- 8) 住金: 私信, (1975)
- 9) 王寺睦満: 第153・154回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編, (1994), p.3
- 10) 佐藤満: 第74・75回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会編, (1981), p.177
- 11) 早川浩, 古野嘉邦, 柴田政明, 高橋延幸: 鉄と鋼, 69 (1983), S594
- 12) 清水峯男, 河原田実, 柴田政明: 特許公報, 特公42-12348
- 13) 清水峯男: 私信, 1996年9月
- 14) 雀部実: 第143・144回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協会, (1993), p.19
- 15) 福田宣雄, 清水峯男, 高橋延幸: 鉄と鋼, 59 (1973), S193
- 16) 鋼材倶楽部編: 自動車と鋼材 (改定版), (1992), p.64
- 17) 別所毅, 近田滋, 深田新: トヨタ技術, 40 (1990), p.254

(1996年10月15日受付)

次号目次案内

ふえらむ Vol.2 (1997) No.1 掲載記事

新春鼎談 日本鉄鋼協会 '97の展望と話題

野田忠吉 (本会会長・住友金属工業 (株))
安部光延 (会報編集委員長・新日本製鐵 (株))
雀部 実 (会報編集副委員長・千葉工業大学)

Techno-Scope 新素材の夢と現実

話題のプロジェクト 本格化する遺伝子応用

鉄の絶景—東京湾横断道路

1996年鉄鋼生産技術の歩み—革新的製造プロセスへの挑戦

藤原俊朗 (生産技術部門長・新日本製鐵 (株))

名誉会員からのメッセージ

The Iron and Steel Institute of Japan - World Renowned Institute. A Tribute and A Challenge
日本海軍の装甲鋳物語B.R.NIJHAWAN(UNIDO)
堀川一男 (NKK社友)

入門講座

制御技術編—1 制御技術の歴史と制御理論の発展

藤井克彦 ((株) 神戸製鋼所)

鉄の歴史

“みちのく”の地から中世の鉄をみる

赤沼英男 (岩手県立博物館)

解説

伸び続ける電磁鋼板

岡見雄二 (NKK)

*掲載記事及び題目は変更になる場合があります。

本会情報一覧

記事内容	掲載号
米国鉄鋼協会 (Iron & Steel Society of AIME) との交流協定改訂のお知らせ	本号 950頁
第3回次世代鉄鋼奨学助成の募集案内	本号 950頁
計測・制御・システム工学部会新規フォーラムの発足と参加へのご案内	本号 951頁
シンポジウム「トランプエレメントの鉄鋼材料科学—スクラップ起因不純物元素との上手なつき合い方」開催案内	本号 951頁
シンポジウム「遅れ破壊解明の新展開 遅れ破壊は解決が可能か？」開催案内	本号 952頁
「鉄と鋼」小特集号「鉄鋼製精錬プロセスにおける界面物理化学の基礎と応用—平衡論の基礎と応用」原稿募集案内	本号 953頁
学生会員向け '97年北欧の大学・研究所・製鉄所めぐり参加者募集案内	本号 954頁
理事選挙結果報告	11号 876頁
会費等納入についてのお願い	11号 876頁
専門分野別部会 (分析関連分野) 新設のお知らせ	11号 876頁
第133回春季講演大会 一般講演募集案内	11号 877頁
第133回春季講演大会 予告セッションへの講演申込のお誘い	11号 879頁
講演大会参加方法のご案内	11号 879頁
第133回春季講演大会 討論会講演募集案内	11号 880頁
第133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 881頁
鉄鋼技術用語辞書 Ver.2.0発売のお知らせ	11号 882頁
平成9年度 俵・澤村論文賞候補論文推薦に関するお知らせ	11号 884頁
第12回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会および学生セミナーのお知らせ	11号 885頁
ISIJ International 特集号「Fatigue, Cyclic Deformation and Microstructure」原稿募集のご案内	10号 794頁
「鉄と鋼」「ISIJ International」投稿規程・執筆要領	6号 442頁
入会案内	1号 73頁

編集後記

「ふえらむ」の編集に携わって思ったこと。一つは、読者の興味は何か？やはり気になる。「週刊誌的な感覚で、絵や写真を眺めて楽しむ。それで知識がひとつでも増えれば結構」という人も居よう。また「難しい現象を出来るだけ判りやすい理屈で。出来れば、まんが的に解説を」という人も居るだろう。逆に専門用語での表現を好む玄人衆も多いかもしれない。

技術の好きな人、歴史の好きな人、外国が気になる人、…多種多様であろう。アンケート調査の結果もまとまるとのことで楽しみであるが、恐い気もしている。

もう一つは、読者に何を訴えるか？製造業の空洞化がいわれ

て久しいが、「ふえらむ」の編集に携わる一人としても、鉄鋼業が元気いっぱいでない、ちょっと具合が悪い。

国の基盤としての鉄鋼業を維持するためには、古来の歴史をみても、単純に、技術革新しかない。

鉄に画期的な新しい機能を与えとか、超安価な製造技術を編み出すなど、従来とうてい出来なかったことを出来るようにする技術づくりが必要である。

小手先だけの技や、技術抜きのごまかしが通用しないことは歴史が証明している。「ふえらむ」がこれらのテーマについて共に考える場を少しでも提供できれば幸いと思う。(K.Y.)

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))	梅本 実 (豊橋技術科学大学)
上村 正 (いすゞ自動車 (株))	川田 豊 ((株) 神戸製鋼所)	北村 高士 ((株) ニューマーケット)
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))
手塚 誠 ((社) 日本鉄鋼協会)	友田 陽 (茨城大学)	中村小夜子 ((社) 日本鉄鋼協会)
古田 修 (愛知製鋼 (株))	三宅 苞 (川崎製鉄 (株))	柳 謙一 (三菱重工業 (株))
山口 周 (名古屋工業大学)		

連絡先

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

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000 円 (消費税本会負担)

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

1996年5月10日 第3種郵便物認可 1996年12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 TEL03-3475-4621 FAX03-3403-1738

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

Copyright Clearance Center, Inc.

222 Rosewood Drive, Danvers, MA01923 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

開催期日	行事（開催地）	締切	掲載号及び頁
1996年			
12月 6日	創形創質工学会メゾスコピックアプローチ研究フォーラムシンポジウム（東京）		11号 883頁
10,11日	東海支部 講習会「エネルギーと環境をささえる材料技術」（名古屋）		11号 891頁
11,12日	大学と科学公開シンポジウム「高温超伝導とフラレーンの科学」（東京）		11号 893頁
13日	第2回分子動力学シンポジウム（大阪）	1996/8/19	8号 660頁
13日	東海支部 メカニカルアロイングのメカニズムと材料開発への応用（名古屋）		本号 963頁
14,15日	たたらサミット「講演会・たたら操業実習など」（東京）		10号 805頁
20日	基礎研究の振興と科学技術教育シンポジウム 「21世紀へ向かっての人材育成」（東京）	1996/12/10	本号 963頁
20日	金材技研ワークショップ 「21世紀に向けての鉄鋼材料技術のブレークスルーポイント」（つくば）		本号 963頁
1997年			
1月 5～8日	5th International Conference on Molten Slags, Fluxes and Salts '97 (Sydney)		本号 964頁
16,17日	シンポジウム「画像技術の表面探傷への応用」（東京）	1996/10/31	11号 893頁
20～24日	7th International Symposium on Physical Simulation（つくば）	1996/4/1	8号 651頁
21,22日	第12回環境工学連合講演会 「21世紀に向けての環境創造技術—地域環境から地球環境まで」（東京）		本号 963頁
27,28日	シンポジウム「遅れ破壊解明の新展開 遅れ破壊は解決が可能か？」	1996/12/27	本号 952頁
29日	第20回ウィンターセミナー「レーザならでできる！プロセッシング」（東京）		本号 963頁
30,31日	第4回超音波による非破壊評価シンポジウム（東京）	1996/11/18	11号 893頁
2月 2,3日	SICEセミナー「ロバスト制御入門」（東京）		本号 963頁
6,7日	第2回ASPシンポジウム（兵庫）		11号 893頁
下旬	第33回白石記念講座 「発電事業とビジネスチャンス—わが国の電力事業の現状と将来」（東京）		
3月 11～12日	学生セミナー「鉄鋼の最先端技術」（鹿嶋）	1997/1/20	11号 886頁
11～13日	第12回理工系学生のための研究所・製鉄所見学会（全国15会場）	1997/1/20	11号 885頁
18,19日	ダイアー記念シンポジウム（東京）		10号 805頁
18,19日	トランプエレメントの鉄鋼材料科学—スクラップ起因不純物元素との 上手なつき合い方（東京）		本号 951頁
中旬～下旬	学生会員向け'97北欧の大学・研究所・製鉄所めぐり（ストックホルム、他）	1997/1/17	本号 954頁
27～29日	第133回春季講演大会（東京）	1997/1/9	11号 877頁
4月 22～24日	第31回空気調和・冷凍連合講演会（東京）	1997/1/10	10号 805頁
5月 7～9日	第6回複合材料界面シンポジウム（大阪）	1997/1/10	本号 963頁
15～17日	非破壊検査協会春季大会・非破壊検査総合展（東京）		11号 893頁
7月 8～11日	第2回PIV国際会議（福井）		本号 963頁
8月 25～29日	第16回高圧力科学と技術に関する国際会議（京都）		10号 805頁
9月 24～26日	第134回秋季講演大会（仙台）		
10月 26～31日	第8回核融合炉材料国際会議（仙台）	1997/2/28	11号 893頁
29～31日	先端材料国際会議（豊橋）	1997/3/15	本号 963頁
1998年			
3月 22～25日	第2回世界製鉄会議（ICSTI'98）（トロント、カナダ）	1997/2/28	

ふえらむ Vol.1 (1996) 年間索引

I. 著者別索引……967頁

著者別索引は、特別講演・名誉会員からのメッセージ・特集記事・鉄鋼生産技術の歩み・展望・入門講座・鉄の歴史・解説の著者名。

I. 著者別索引

【あ】

- 朝日 均・為広：解説 ラインパイプ用銅管製造におけるプロセスメタラジー ……(10) 777
- 荒木 健治：解説 自動車用冷延銅板向け銅種の変遷—薄銅板製造技術と車体製造技術の共鳴の歴史 ……(12) 944
- 飯田 賢一：鉄の歴史 現代との対話としての古代製鉄技術 ……(1) 54
- 井垣 謙三：鉄の歴史 朽ち果てぬ鉄に魅せられて、古代鉄を探る ……(5) 343
- 池島 俊雄：名誉会員からのメッセージ 共同研究について思うこと ……(12) 913
- 池田 隆果：解説 銅はどのように造られるか—製銅プロセスの紹介— ……(4) 272
- 市田 敏郎：解説 表面処理銅板—最も身近な鉄鋼製品 ……(11) 868
- 井上 正明：展望 21世紀に向けて、電気事業の未来技術—トリレンマ解決への挑戦— ……(4) 243
- 岩田 英夫：解説 鉄のハイテク化に貢献する分析 ……(3) 197
- 植松 美博：入門講座 鉄鋼材料編—7 次代を創造するステンレス鋼—ステンレス鋼の特殊な機能 ……(8) 602
- 榎本 正人：入門講座 専門用語—鉄鋼材料編—2 拡散変態 ……(12) 931
- 江見 俊彦：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 ……(1) 47
- 遠藤 正利：展望 活力ある中小企業に向かって ……(12) 917
- 大河内春乃：特別講演 化学計測技術の高度化に関する研究 ……(10) 753
- 大谷 正康：名誉会員からのメッセージ 53年ぶりの老受験生 ……(12) 915
- 岡崎 哲二：展望 戦後日本における鉄鋼業の発展とその制度的基礎 ……(8) 589
- 岡田 廣吉：鉄の歴史 幕末の高炉技術の展開 ……(9) 699
- 岡村 秀夫：展望 浮体式海上空港の実現を目指して ……(1) 28
- 奥野 嘉雄：入門講座 鉄鋼プロセス編—7 鉄鉱石が鉄に変わるまで—溶銑製造は酸素を取り除くドラマ ……(10) 770

【か】

- 加藤 健三：名誉会員からのメッセージ ダマスカス・スチールについて ……(11) 827
- 唐津 恵一：展望 製造物責任法とこれに対する企業の対策 ……(2) 93

II. 原稿種類別索引……968頁

- 北浜 正法：解説 形鋼圧延技術の現状 ……(11) 861
- 木原 和之：展望 海上高速輸送の現状と将来 ……(3) 179
- 小橋 秀俊：展望 科学技術系人材の確保について—平成6年12月内閣総理大臣決定「科学技術系人材の確保に関する基本指針」を中心に— ……(9) 686
- 古牧 育男・今野・出野：解説 戦後半世紀の製鉄技術のあゆみと将来展望 ……(2) 120
- 今野 乃光・出野・古牧：解説 戦後半世紀の製鉄技術のあゆみと将来展望 ……(2) 120

【さ】

- 佐伯 正夫：特別講演 鉄鋼分析技術の変遷と技術課題 ……(7) 539
- 佐々木 稔：鉄の歴史 遺物が語る古代日本の鉄 ……(4) 264
- 佐野 信雄：入門講座 専門用語—鉄鋼プロセス編—1 エリンガム図と化学ポテンシャル状態図 ……(11) 847
- 沢出 稔：展望 21世紀はメンテナンスの時代 ……(10) 765
- 諏訪 秀策：展望 最近の科学技術情報分野における情報検索の動向と今後 ……(10) 758

【た】

- 高橋 一郎：鉄の歴史 出雲の近世企業たたら歴史—錬鉄が主要製品であった ……(11) 854
- 高橋 忠義：入門講座 鉄鋼プロセス編—3 鋼の育ちがきまる—凝固—結晶の生まれと成長過程— ……(4) 257
- 館 充：たたら製鉄法の技術史的・冶金学的考察 ……(12) 937
- 田中 淳夫：展望 これからの自動車車体用材料 ……(2) 101
- 田中 光三：展望 パソコン市場動向と開発戦略 ……(6) 411
- 谷野 満：入門講座 鉄鋼材料編—1 天の恵みの「鉄」 ……(1) 41
- 為広 博・朝日：解説 ラインパイプ用銅管製造におけるプロセスメタラジー ……(10) 777
- 津崎 兼彰：入門講座 専門用語—鉄鋼材料編—1 マルテンサイト変態とマルテンサイト ……(11) 842
- 出野 正・今野・古牧：解説 戦後半世紀の製鉄技術のあゆみと将来展望 ……(2) 120
- 徳永 修一：解説 鉄鋼流通情報システム ……(8) 618
- 戸澤 康壽：入門講座 鉄鋼プロセス編—4 一度は通る狭き門—鉄鋼圧延プロセス入門 ……(6) 423

【な】

- 長井 寿：特集記事 環境調和を考えた材料設計 ……(7) 528
- 中川 一：特別講演 これからの日本の鉄鋼技術者に期待するもの—40年の歩みをふりかえって ……(9) 681
- 中島 洋：展望 いよいよ浮上するリニアモーターカー ……(1) 36

成合 靖正：展望 マルチメディア時代の知的財産管理	(11)	829
西沢 泰二：入門講座 鉄鋼材料編-2 鋼の組織制御学・入門	(2)	108
野崎 雅稔：展望 これからの科学技術行政-科学技術基本法の目指すところ	(5)	331

【は】

羽田 隆司：入門講座 鉄鋼プロセス編-5 鉄鋼の表面処理プロセス	(7)	543
服部 正志：解説 鉄鋼生産における計測制御システムのあゆみ	(2)	125
原田 幸明：特集記事 LCAの現状と課題	(7)	520
平部 謙二：解説 厚鋼板(厚板)はどのようにつくられるか-厚板と厚板圧延の操業プロセスの紹介	(9)	705
藤田 英一：入門講座 鉄鋼材料編-5 鉄の物性と機能-物理的性質	(5)	337
藤田 文夫：解説 薄鋼板圧延の歴史と技術の現状	(5)	358
藤原 俊朗：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	(1)	17
古林 英一：入門講座 鉄鋼材料編-6 やさしい転位論	(6)	417

【ま】

前田 重義：展望 接着技術の新しい視点-その量子化学	(11)	834
松居 正夫：解説 薄鋼板の新しいプレス成形技術	(10)	784
松下 幸雄：名誉会員からのメッセージ 研究題目の選定	(11)	825
松島 巖：入門講座 鉄鋼材料編-4 鉄はなぜさびるのか-鉄の腐食化学入門	(4)	250
松野 太郎：特集記事 地球温暖化の科学	(7)	504
丸山 正明：展望 最近の製品開発における材料開発者の仕事	(12)	925
三宅 俊也：解説 製鋼プロセスへの数値解析技術の適用	(5)	350
村上英之助：鉄の歴史 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	(2)	114
村上 碩哉：展望 家電製品とこれからの生産技術	(8)	596
森 克巳：入門講座 鉄鋼プロセス編-2 きれいな鋼をつくる-精錬反応の熱力学入門(基礎)	(3)	191

【や】

矢田 浩：入門講座 鉄鋼材料編-3 鉄器時代はまだ終わらない-力学的性質から見た鉄と鋼	(3)	185
柳 謙一：特集記事 環境・エネルギー	(7)	511
山口 明良：入門講座 鉄鋼プロセス編-6 耐火物の科学	(8)	607
山口 紘：展望 大型航空機用の高圧タービン翼とその修理のこれから	(9)	693
山田 雄愛：解説 TQCからTQMへ-管理部門スタッフおよび技術者の役割	(8)	612
山内登貴夫：鉄の歴史 大地に刻まれた製鉄・鍛冶神		

の偶像	(6)	429
-----	-----	-----

【わ】

和田 安彦：特集記事 材料リサイクルの現状と今後の課題-家電製品を例として	(7)	534
---------------------------------------	-----	-----

II. 原稿種類別索引

【グラフ記事】

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	(1)	2
---------------------	-----	---

創刊特集

「宇宙の創生と鉄」	(1)	4
-----------	-----	---

Iron & Steel

景観をつくる	(2)	78
自動車の未来を拓く	(3)	164
長大橋に挑む	(4)	228
情報を記録する	(5)	316
海を駆ける	(6)	396
環境を守る	(7)	488
クリーンエネルギーに挑む	(8)	574
地震に耐える	(9)	666
リサイクルを進める	(10)	738
健康を守る	(11)	810
宇宙に挑む	(12)	898

話題のプロジェクト・プロダクツ

超電導浮上式リニアモーターカー	(2)	86
チタンドライバー	(3)	172
スチールハウス	(4)	236
移動体通信システム	(5)	324
燃料電池	(6)	404
環境調和型新製鋼技術研究	(7)	496
マウンテンバイク	(8)	582
大画面・薄型ディスプレイTV	(9)	674
スチール缶のリサイクル	(10)	746
SPring-8	(11)	818
高度道路交通システム	(12)	906

鉄の絶景-Steel Landscape

魂としての鉄-島根	(1)	14
縦横に伸びる鉄-東京	(2)	90
歓声を見守る鉄-福岡	(3)	176
静寂の中の鉄-京都	(4)	240
旅景色の鉄-静岡	(5)	328
洋上の鉄-鹿児島	(6)	408
海峡をわたる鉄-青森	(7)	500
大地を駆ける鉄-北海道	(8)	586
峡谷に架かる鉄-富山	(9)	678
捕える鉄-高知	(10)	750
湧きだす鉄-大分	(11)	822
鉄都の鉄-岩手	(12)	910

【特別講演】

鉄鋼分析技術の変遷と技術課題/佐伯正夫	(7)	539
これからの日本の鉄鋼技術者に期待するもの-40年の歩みをふりかえって/中川一	(9)	681
化学計測技術の高度化に関する研究/大河内春乃	(10)	753

【名誉会員からのメッセージ】

研究題目の選定／松下幸雄	(11)	825
ダマスカス・スチールについて／加藤健三	(11)	827
共同研究について思うこと／池島俊雄	(12)	913
53年ぶりの老受験生／大谷正康	(12)	915

【「地球環境特集」特集記事】

地球温暖化の科学／松野太郎	(7)	504
環境・エネルギー／柳謙一	(7)	511
LCAの現状と課題／原田幸明	(7)	520
環境調和を考えた材料設計／長井寿	(7)	528
材料リサイクルの現状と今後の課題—家電製品を例として／和田安彦	(7)	534

【鉄鋼生産技術の歩み】

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	(1)	17
---------------------------------	-----	----

【展 望】

浮体式海上空港の実現を目指して／岡村秀夫	(1)	28
いよいよ浮上するリニアモーターカー／中島洋	(1)	36
製造物責任法とこれに対する企業の対策／唐津恵一	(2)	93
これからの自動車車体用材料／田中淳夫	(2)	101
海上高速輸送の現状と将来／木原和之	(3)	179
21世紀に向けて、電気事業の未来技術—トリレンマ解決への挑戦—／井上正明	(4)	243
これからの科学技術行政—科学技術基本法の目指すところ—／野崎雅稔	(5)	331
パソコン市場動向と開発戦略／田中光三	(6)	411
戦後日本における鉄鋼業の発展とその制度的基礎／岡崎哲二	(8)	589
家電製品とこれからの生産技術／村上碩哉	(8)	596
科学技術系人材の確保について—平成6年12月内閣総理大臣決定「科学技術系人材の確保に関する基本指針」を中心に—／小橋秀俊	(9)	686
大型航空機用の高圧タービン翼とその修理のこれから／山口紘	(9)	693
最近の科学技術情報分野における情報検索の動向と今後／諏訪秀策	(10)	758
21世紀はメンテナンスの時代／沢出稔	(10)	765
マルチメディア時代の知的財産管理／成合靖正	(11)	829
接着技術の新しい視点—その量子化学／前田重義	(11)	834
活力ある中小企業に向かって／遠藤正利	(12)	917
最近の製品開発における材料開発者の仕事／丸山正明	(12)	925

【入門講座—鉄鋼材料編】

1 天の恵みの「鉄」／谷野満	(1)	41
2 鋼の組織制御学—入門／西沢泰二	(2)	108
3 鉄器時代はまだ終わらない—力学的性質から見た鉄と鋼—／矢田浩	(3)	185
4 鉄はなぜさびるのか—鉄の腐食化学入門／松島巖	(4)	250
5 鉄の物性と機能—物理的性質／藤田英一	(5)	337

6 やさしい転位論／古林英一	(6)	417
7 次代を創造するステンレス鋼—ステンレス鋼の特殊な機能／植松美博	(8)	602

【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	(1)	47
2 きれいな鋼をつくる—精錬反応の熱力学入門(基礎)／森克巳	(3)	191
3 鋼の育ちがきまる—凝固—結晶の生まれと成長過程—／高橋忠義	(4)	257
4 一度は通る狭き門—鉄鋼圧延プロセス入門—／戸澤康壽	(6)	423
5 鉄鋼の表面処理プロセス／羽田隆司	(7)	543
6 耐火物の科学／山口明良	(8)	607
7 鉄鉱石が鉄に変わるまで—溶鉄製造は酸素を取り除くドラマ／奥野嘉雄	(10)	770

【入門講座 専門用語—鉄鋼材料編】

1 マルテンサイト変態とマルテンサイト／津崎兼彰	(11)	842
2 拡散変態／榎本正人	(12)	931

【入門講座 専門用語—鉄鋼プロセス編】

1 エリンガム図と化学ポテンシャル状態図／佐野信雄	(11)	847
---------------------------	------	-----

【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	(1)	54
2 古代製鉄史における東と西—ある講演会でのスピーチより／村上英之助	(2)	114
3 遺物が語る古代日本の鉄／佐々木稔	(4)	264
4 朽ち果てぬ鉄に魅せられて、古代鉄を探る／井垣謙三	(5)	343
5 大地に刻まれた製鉄・鍛冶神の偶像／山内登貴夫	(6)	429
6 幕末の高炉技術の展開／岡田廣吉	(9)	699
7 出雲の近世企業たたら歴史—鍊鉄が主要製品であった／高橋一郎	(11)	854
8 たたら製鉄法の技術史的・冶金学的考察／館 充	(12)	937

【解 説】

戦後半世紀の製鉄技術のあゆみと将来展望／今野乃光・出野正・古牧育男	(2)	120
鉄鋼生産における計測制御システムのあゆみ／服部正志	(2)	125
鉄のハイテク化に貢献する分析／岩田英夫	(3)	197
鋼はどのように造られるか—製鋼プロセスの紹介—／池田隆果	(4)	272
製鋼プロセスへの数値解析技術の適用／三宅俊也	(5)	350
薄鋼板圧延の歴史と技術の現状／藤田文夫	(5)	358
TQCからTQMへ—管理部門スタッフおよび技術者の役割／山田雄愛	(8)	612
鉄鋼流通情報システム／徳永修一	(8)	618
厚鋼板(厚板)はどのようにつくられるか—厚板と厚板圧延の操業プロセスの紹介／平部謙二	(9)	705

ラインパイプ用鋼管製造におけるプロセスメタラジー／ 為広博・朝日均……………(10)	777
薄鋼板の新しいプレス成形技術／松居正夫……………(10)	784
形鋼圧延技術の現状／北浜正法……………(11)	861
表面処理鋼板—最も身近な鉄鋼製品／市田敏郎 ……(11)	868
自動車用冷延鋼板向け鋼種の変遷—薄鋼板製造技術 と車体製造技術の共鳴の歴史／荒木健治……………(12)	944

【現場技術報告】

熱風制御弁を用いた新高炉操業／脇元一政・中村博巳 ・石井邦彦・大河内巖・築地秀明・下御領伸一 ……………(2)	132
名古屋製鐵所熱延ミル粗圧延機再配置／麻生賀法・ 神田俊之・松田俊作・松井健一・大場善次郎・ 永島秀雄……………(2)	136
CCにおける溶鋼温度一定化、モールド内流動制御技術 ／木村秀明・岡崎照夫・上原彰夫・石井孝宣・ 後藤 修・坂本康裕……………(4)	281
100%水素高対流バル型焼鈍炉(HCA)の操業と品質／ 村上寛・赤見大樹・相原博行……………(4)	285
熱延仕上ミルロールバンディングモニタ(RBM)の開発 ／東洵・福田誠・寺井克浩・吉武邦彦・石丸誠・ 岩井隆房……………(4)	288
コークス炉ガス液の高度処理技術／山口彰一・ 菊池勇人・嵯峨弘・東忠幸……………(5)	365
製鋼使用済耐火物リサイクル技術の開発／中坪修一・ 天野肇・立石亨・新貝元……………(5)	367
鉄鋼における物流共同化／池田俊典……………(6)	435
ホットストリップエッジ部材質制御技術／中本武広・ 野口浩嗣・土師純治……………(7)	550
製鋼工場におけるスライドゲートプレート再生技術の 開発／布袋屋道則・三木隆・小木曾勇三・ 川村俊夫・伏見哲郎・木島正彦……………(8)	626

コークス炉新制御技術の開発／杉岡真吾・宮原弘明 ・山本修一・松村進・石黒宏樹・福島康博 ……(8)	630
溶融亜鉛めっきライン入側洗浄設備の改善／中村徹・ 入江広司・徳重啓司・清水正文……………(8)	634
コークス炉作業機械の無人化／小柳寛太郎・松田和清 ……………(9)	711
製鐵所における溶射技術の応用／龍田昭一・佐藤信治 ・津村康浩・澤雅明・大堀潤二……………(9)	715
千葉 原料ヤード制御システムリフレッシュ／富永太志・ 柴田知典・稲山晶弘・増田康男・山下昇・ 佐久間義朗……………(10)	791

【鉄—21世紀への夢】

創立80周年記念懸賞作文入賞作品

レンジで鉄をクッキング／村山武一郎……………(1)	61
人々の夢とともに歩むこと／柴垣顕郎……………(1)	62
鉄は人と地球の芸術品／竹山梓……………(2)	139
アイアン・ドリーム／比留間幸子……………(2)	141
鉄—二十一世紀への夢／南川聡子……………(3)	203
鉄は新文化材／岡本久人……………(3)	203
鉄—21世紀への夢／石田沙織……………(4)	292
ニューメタルの勝利—愛染鋼太郎の研究記録より／ 河村瞭司……………(4)	294
カイロにみる鉄の未来／水野亜紀……………(5)	371
鉄への夢／森宏文……………(5)	372
西暦2045年秋—夢のあとさき／遠山晃……………(5)	373
日本鉄鋼業の行方／簗手徹……………(5)	377
すべてに優しい鉄を！／宮野寛子……………(7)	553
夢は「鉄の村」作り／朝吹美恵子……………(7)	554
ぼくの周りの鉄に思う／天田輔……………(8)	638
鉄の博覧会へようこそ／渡辺歩……………(8)	639

ふらむ Vol.1 No.12 広告目次

表2 株島津製作所	発光分析装置他	前2 株トライメート	マーキング装置他	後2 財日本規格協会	書籍
前1 住友金属テクノロジー(株)		後1 本誌広告目次		表3 島津メクテム(株)	寸法測定装置
	試験分析サービス	坂井化学工業(株)	フラックス	表4 日本アナリスト(株)	各種分析装置

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

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



各国の対応規格と、その規格値を瞬時に検索!!

金属材料データブック

Metals Data Book

JISと主要海外規格対照

ASTM・BS・DIN・NF・EN・ISO

改訂
4版

● 定価 4,120円/A5判・608頁

世界各国との貿易が急進する今日、鉄鋼・非鉄材料の選択や使用に際し、見積、仕様、契約などにおいて、取引相手国との材料関係規格データを相互に比較・対照する機会がますます多様かつ重要になってきました。

一方、各種材料関係規格を体系的に整理し、比較・対照できるようなデータを維持・管理するには、多くの労力が必要とされます。

本書は各金属材料ごとに、対応する規格番号・記号、化学成分や引張強さ、降伏点等の当該数値を収録。一つの材料記号から各国の対応材料とその規格値を瞬時に調べることが可能です。

■主な特色

●クイックリーな検索性

材料記号別索引や収録規格番号一覧表からJISに相当する各国の材料記号、規格番号、当該数値データ(化学成分・機械的性質)をすばやく検索できます。また、対JISだけでなく、各国規格相互のクロス検索も可能です。

●欧州規格(EN)を新たに収録

欧州市場統合を機に生まれた欧州規格(EN)を新たに収録しました。欧州市場との関係も強力にバックアップ。

●全内容にわたって英文を併記

●高い信頼性を誇る収録データ

鋼材メーカー、関連団体の第一線で活躍されている実務者の方々のご協力、当協会の海外規格原本の維持・管理、各種レファレンスの実務経験により収録データの信頼性を確保。

■目次 (利用の手引)

【鉄鋼】

棒鋼・形鋼・鋼板・鋼帯
一般構造用鋼
圧力容器用鋼

鋼管

配管用鋼管
熱伝達用鋼管
構造用鋼管
機械構造用炭素鋼・合金鋼

特殊用途鋼

ステンレス鋼・耐熱鋼
工具鋼
ばね鋼
快削鋼
軸受鋼

鍛造品

鍛鋼品
鍛鉄品
鍛鉄品

【非鉄金属】

伸銅品

アルミニウム及びその合金の展伸材

鋳物

銅合金
アルミニウム合金鋳物
アルミニウム合金ダイカスト

収録規格番号一覧表

付録

鉄鋼記号・非鉄金属記号の見方
計量単位換算率表

記号別索引

財団法人 日本規格協会

〒107 東京都港区赤坂4丁目1-24
TEL.03(3583)8002 FAX.03(3583)0462

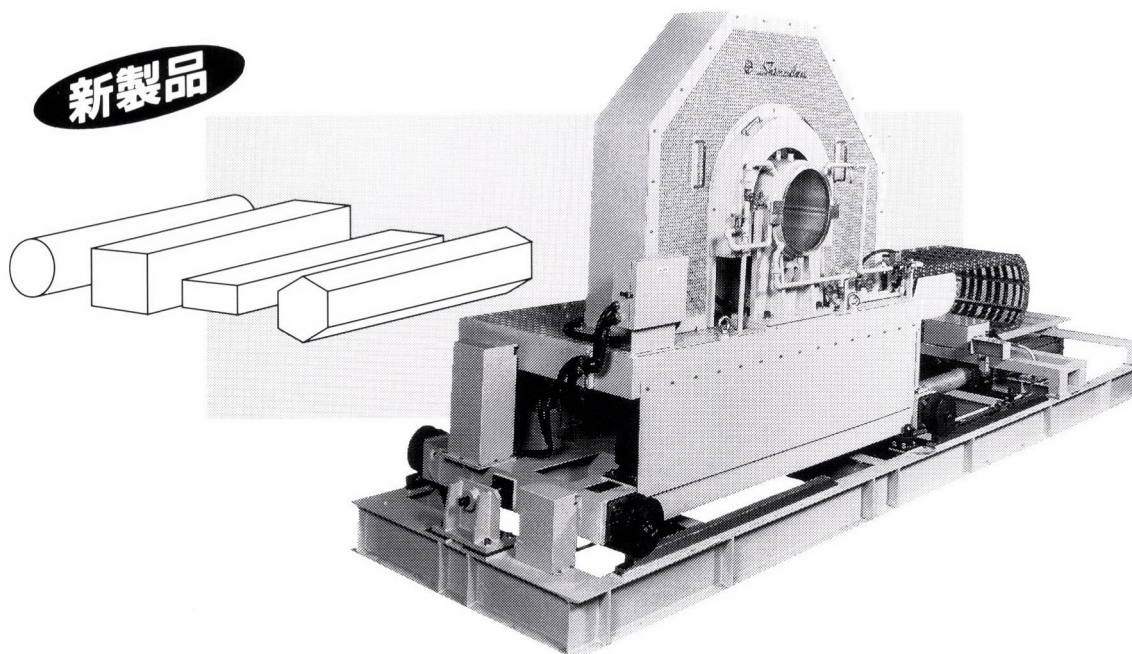
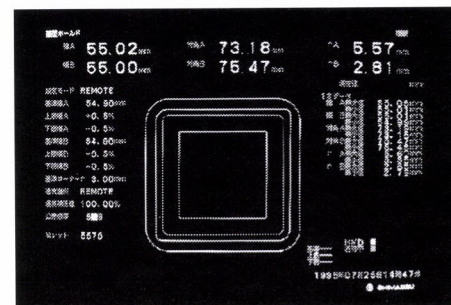
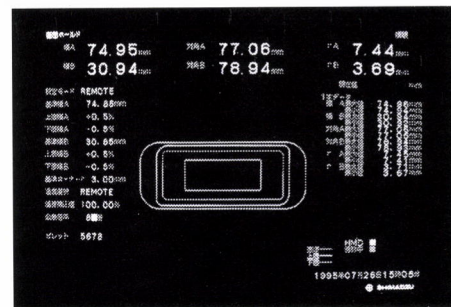
SHIMADZU

角鋼(四角, 六角, 平鋼)の圧延 工程中の省力化

島津回転式寸法測定装置

SMSシリーズ

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



販売元

⊕ 島津メクテム株式会社

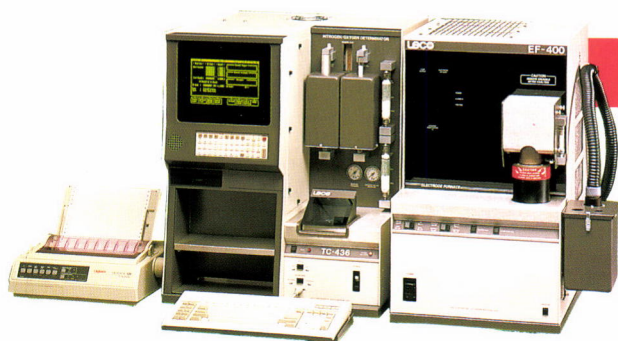
本社 〒520-21 滋賀県大津市月輪一丁目8番1号
 東京支店 〒101 東京都千代田区神田錦町二丁目9番地 大新ビル5階
 大阪支店 〒532 大阪市淀川区西中島5丁目2番5号 中島第二ビル4階
 名古屋営業所 〒468 名古屋市天白区塩釜口二丁目1501番地 フェイム塩釜3階

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

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



金属・鉱石・無機物・セラミック中 C・S・O・N・H 分析装置各種



TC-436

酸素窒素同時分析装置

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

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

電子天秤: プリンター内蔵
オプション: 昇温抽出プログラム

姉妹機

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

CS-444

炭素硫黄同時分析装置

(鉄鋼, 非鉄金属, 特殊合金, 鉱石等)

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

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

姉妹機

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



RH-404

水素分析装置

(鉄鋼, 銅, チタン等)

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

姉妹機

RH-402 水素分析
DH-103 水素分析



常設展示中 分析方法その他
御相談承ります。



日本総代理店

LECO CORPORATION
U.S.A.

日本アナリスト株式会社



ISO-9002
No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

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