

Volume 2
No.7 1997

(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

近未来に向けた試料熱間埋込プレス

顕微鏡観察用サンプル成形にストルアスは斬新なデザインと先進の機能を備えた埋込プレスを皆様にお届けします。

- あらゆる材料の熱間埋込みに最適
- 最新設計による小電力、大量発熱のエネルギー節約型
- 新形埋込シリンダーは交換が容易で6種類（シリンダー径25～50mm）

自動埋込プレス プロントプレス-20

大量の試料、直径が異なる試料には、2基のシリンダーを装備し、プロセス制御とデータベースを装備した本装置が最適です。

自動埋込プレス プロントプレス-10

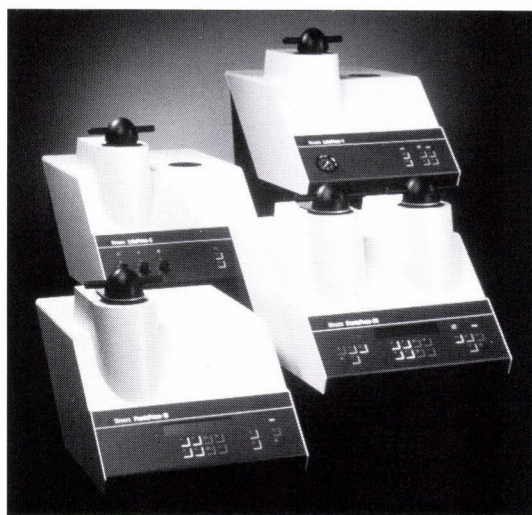
多種の材料を材料を埋込む場合に100件のデータを保存出来、プロセス制御を装備した本装置が最適です。

自動埋込プレス ラボプレス-3

加熱時間、加圧力、冷却時間等の設定が簡単に出来、あとは試料と樹脂を投入し上蓋を閉じて始動ボタンを押すだけの簡単操作です。

半自動埋込プレス ラボプレス-1

電磁油圧式ポンプを装備する安価型の装置です。



熱間埋込プレス 資料請求票

- ☐ 詳細カタログがほしい
☐ 価格が知りたい

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

MARUMOTO

RADIOMETERグループ

丸本工業株式会社

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

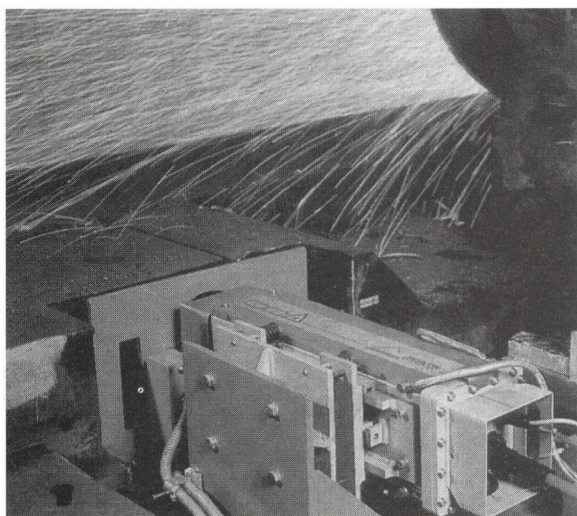
15-0213

ドイツ/メザコン社 高精度レーザー測定器



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

☆レーザー長さ計、速度計 LV503型



主仕様例

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

☆オンラインレーザー形状測定装置 Mesameter P型

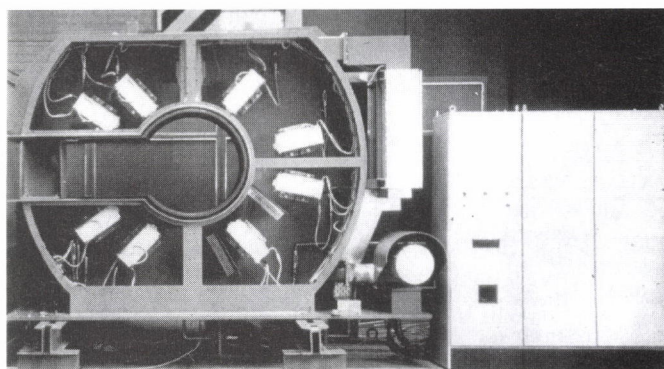
主仕様例 右図装置の場合

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

応用例：型鋼寸法測定

棒鋼寸法測定

スラブ寸法測定(オフライン)



MESAMETER P

(ドイツPreussag社納入のH鋼形状測定装置)

これからも世界の先進技術をご紹介します。

日本総代理店

株式会社 **マツボー** プラント2部

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

国内メンテナンス

株式会社 **タウ技研**

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

高精度、高速応答、高信頼性

人と社会を豊かにするチノの技術

CHINO



新形放射温度計

IRC SERIES

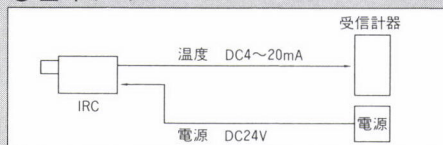
IRCシリーズは、高精度、高速応答の実現と、直視ファインダ、小形化など使いやすさを追求した新しい放射温度計です。

■IRCの特長

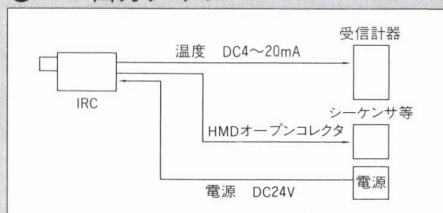
- 単色で10ms、2色で20msの高速応答。
(高速タイプで0.5ms)
- 測定温度範囲の広い単色・ワイド形用意。
- 放射率や視野欠けの影響を受けにくい2色形用意。
- 可動部がないため長期信頼性に優れている。
- 放射率遠隔設定機能や、HMD(熱塊検出器)機能、アイソレート出力など豊富なオプション。
- コストパフォーマンスに優れた価格。

用途に合わせて3タイプ

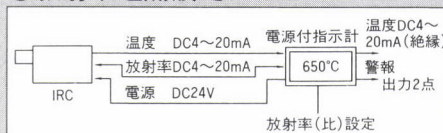
●基本タイプ



●HMD出力タイプ



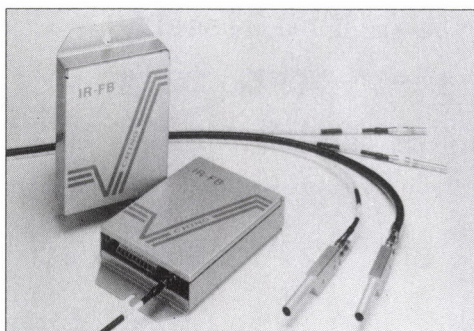
●放射率遠隔設定タイプ



ファイバ式放射温度計

IR-F SERIES

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



計測技術で明日を拓く

株式会社チノ

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

東京支店 03(3956)2205
東京北 03(3956)2401
東京南 03(5434)0791
立川 0425(21)3081
土浦 0298(24)6931
千葉 043(224)8371
川崎 044(200)9300
厚木 0462(27)0551

北部支店(大宮) 048(643)4641
札幌 011(757)9141
仙台 022(227)0581
新潟 025(243)2191
前橋 0272(21)6611
水戸 0292(24)9151

大阪支店 06(385)7031
大津 0775(26)2781
神戸 078(362)2130
岡山 086(223)2651
高松 0878(22)5531
広島 082(261)4231
福岡 092(481)1951
北九州 093(531)2081

名古屋支店 052(581)7595
静岡 054(255)6136
富山 0764(41)2096

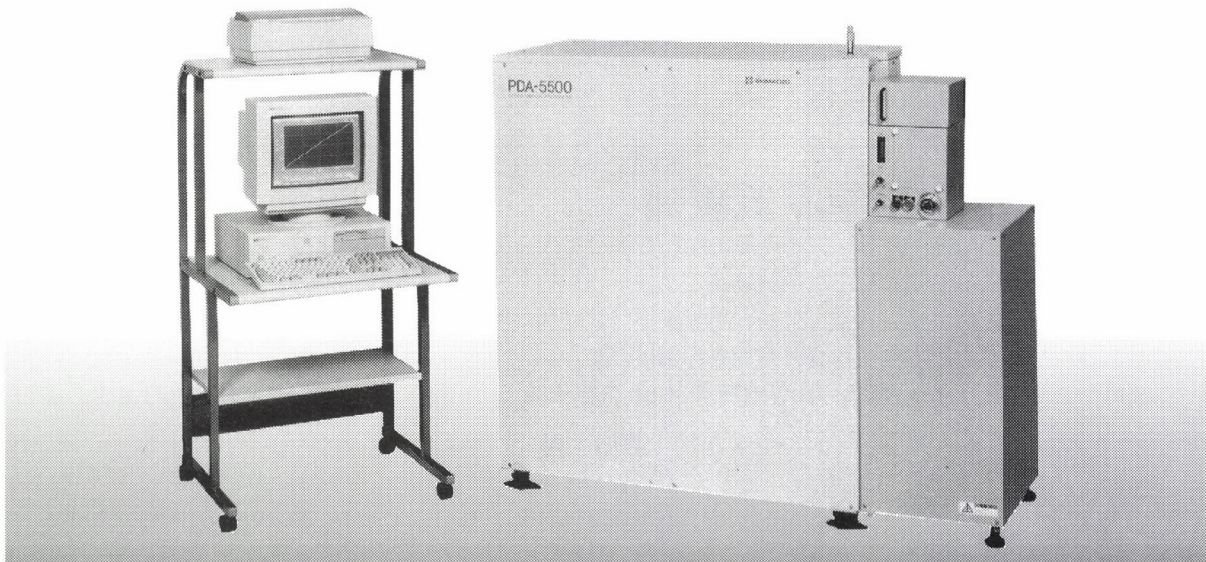
研修・広報部 03(3956)2449

鑄鉄・鑄造の品質管理に

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:鉄鋼,非鉄金属など各種金属の分析に対応するPDAシリーズの中心機種
- PDA-5510:アルミニウム鑄物専用機
- PDA-5520:鑄鉄専用機(添加原料の低合金鋼も分析できます)
を揃えています。



PDA-5500シリーズは、金属中の多元素を同時に、しかも迅速に精度良く分析できる時間分解PDA測光法を採用した(Pulse Distribution Analysis method:パルス分析解析法)光電測光式のパワフルな発光分析装置で、品質管理分析には欠かせない有用な最新鋭機です。

光電測光式発光分析は、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。

●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。

⊕ 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 3219-5685	●大阪 373-6551	●札幌 205-5500
●仙台 221-6231	●郡山 39-3790	●つくば 51-8511
●大宮 646-0081	●横浜 311-4615	●静岡 272-5600
●名古屋 565-7531	●京都 811-8151	●神戸 331-9665
●岡山 221-2511	●高松 34-3031	●広島 248-4312
●福岡 271-0332		

コマツグループの試験計測技術を生かした

摩擦摩耗関連試験機

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

主な試験機

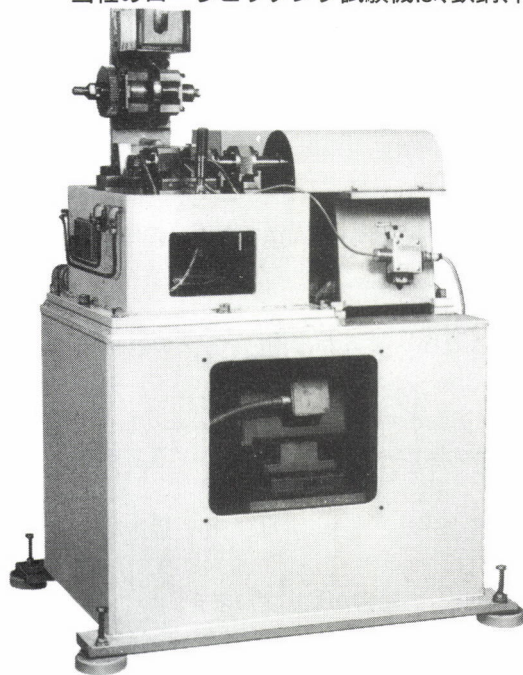
試験項目 試験機名	材 料 試 験					潤滑油試験	
	スパーリング	ピッチング	スコーリング スカッフイング	摩 耗	摩擦特性	高温清浄性	摩擦特性
ローラーピッチング試験機	○	○	○	○	○		
動力循環式歯車試験機	○	○	○	○	○		
摩擦摩耗試験機(回転式 往復動式)			○	○	○		
クラッチブレーキテスト				○	○		
土砂摩耗試験機				○			
ホットチューブテスト						○	
マイクロクラッチテスト							○

ローラーピッチング試験機

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

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

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



■特 長

○高い信頼性

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

○豊富な試験ノウハウを保有

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

○広い試験範囲(オプションを含みます。)

面 圧：最大400kg・f/mm²

回転数：最大2,000rpm

滑り率：最大90%

油 温：最大120℃

○無人連続運転が可能

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

■その他の主な営業品目

○各種試験機・計測器・テストベンチの設計・製作。

○レーザー応用計測・検査器の設計・製作。

KOMATSU コマツエンジニアリング株式会社

本 社 〒210 神奈川県川崎市川崎区中瀬3-20-1 TEL.(044)299-8773 FAX.(044)288-8777
計測エンジニアリング事業部 〒254 神奈川県平塚市四之宮1144-1 TEL.(0463)53-4025 FAX.(0463)53-4427

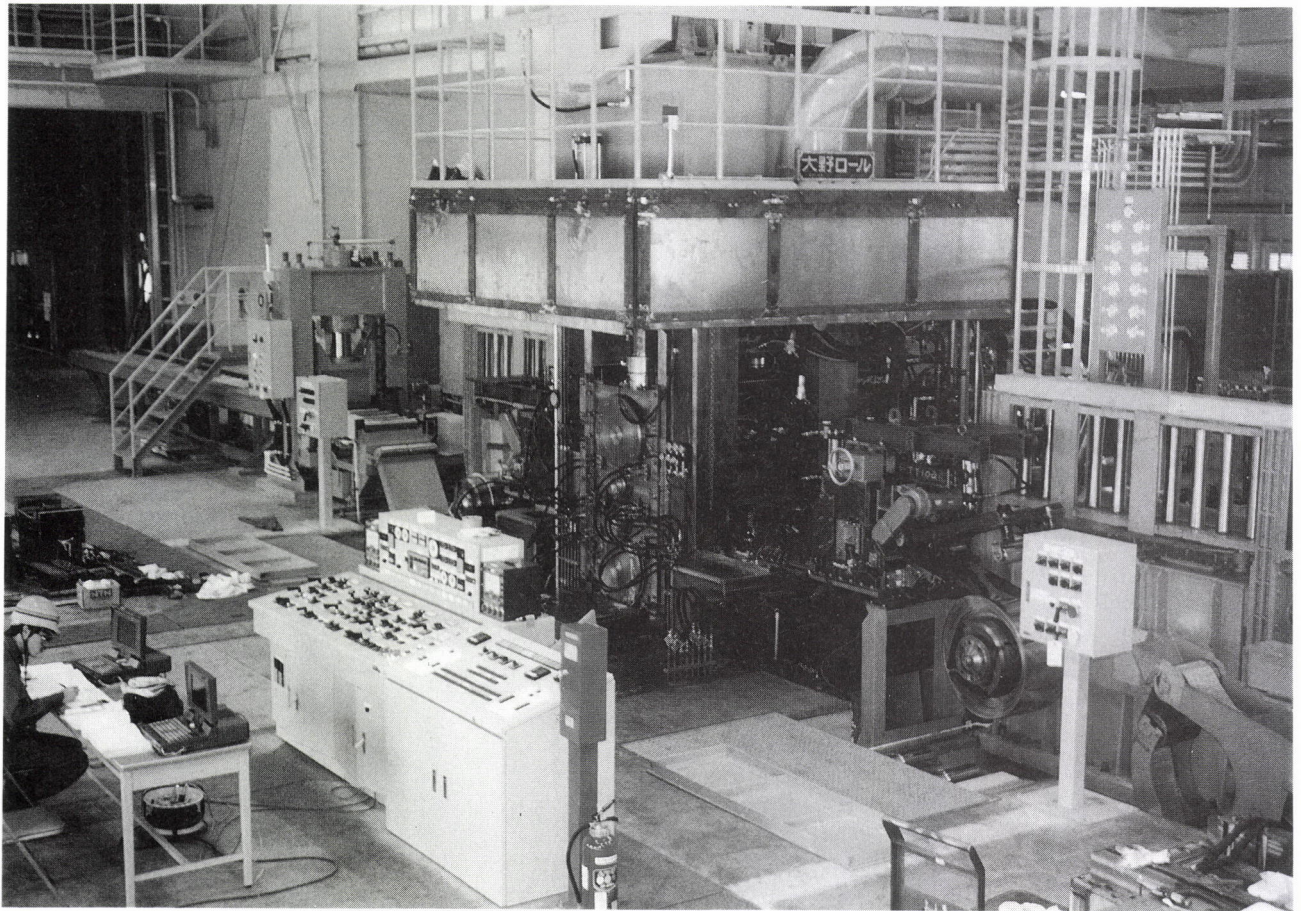
あふれる発想。
広がる可能性。



王子製鉄株式会社

本社：03-5201-7722 群馬工場：0276-56-2111

生産用に、研究用に。 技術と経験が役立ちます。



24型 2/4段 圧延機

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

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

機械の選定・探索テスト
に御利用下さい。

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



大野ロール株式会社

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

ふえらむ

Vol.2 (1997) No.7

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	母なる海へ	2
話題のプロジェクト	マイクロマシン	10
鉄の絶景	集いの鉄 ～東京～	14
名誉会員からのメッセージ	Ideas and Experiences as a Teacher in Process Metallurgy スウェーデン王立工科大学名誉教授 Sven Eketorp	17
展 望	21世紀の日本鉄鋼業 第4回 日本鉄鋼業の将来展望 通商産業省基礎産業局製鉄課長 林明夫	19
	生体材料としてのステンレス鋼とチタン合金 日本医科歯科大学医用器材研究所教授 浜中人士	30
	国立衛生研究所療品部室長 土屋利江	
鉄の歴史	戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 灼骸回顧—コークス技術抄史 1945-1965 新日鐵化学(株)社友 石川泰	37
解 説	マイクロメカニックスの発達史 ノースウェスタン大学土木工学科名誉教授 村外志夫	49
	捕る漁業・育てる漁業 鹿児島大学水産学部教授 今井健彦	56
ガス還元炉について—国際会議「予備還元生産物と欧州」の話題	名古屋工業大学助教授 林昭二	60
会員へのお知らせ		62

ホームページ <http://www.isij.or.jp/>



21世紀のフロンティア

母なる海へ

地球は狭くなったといわれる。
しかし、人間が知っている地球とはおもに、陸地のことである。
3分の2以上を覆う海の下に眠っている空間を
人類はまだ十分に活用できていないといえない。
また地球環境問題が注目を集めている現在、
海についてより深く正確な知識を得ることが、
環境共存型の開発ノウハウを模索するうえでも、急務となってきている。
海洋が宇宙とならんで次なる世紀のフロンティアといわれる所以である。
今回は、そうした海の恵みに関連する技術を、
おもに資源・エネルギーという切り口から追いかけてみた。

写真：一般公開された
「しんかい6500」

国際的な合意の進展とともに、 いよいよ本格化が予想される 深海底資源の開発

海には陸地にある以上の豊かな鉱物資源が眠っているといわれる。現在、海底鉱物資源として有望視されているものとしてマンガン団塊、コバルト・リッチ・クラスト、熱水鉱床などがあり、それぞれに調査が進められている。とくにマンガン団塊に関しては採掘ノウハウも開発が進み、国連の海洋法条例発効にともない、具体的な開発へと移行してゆく気配を見せている。

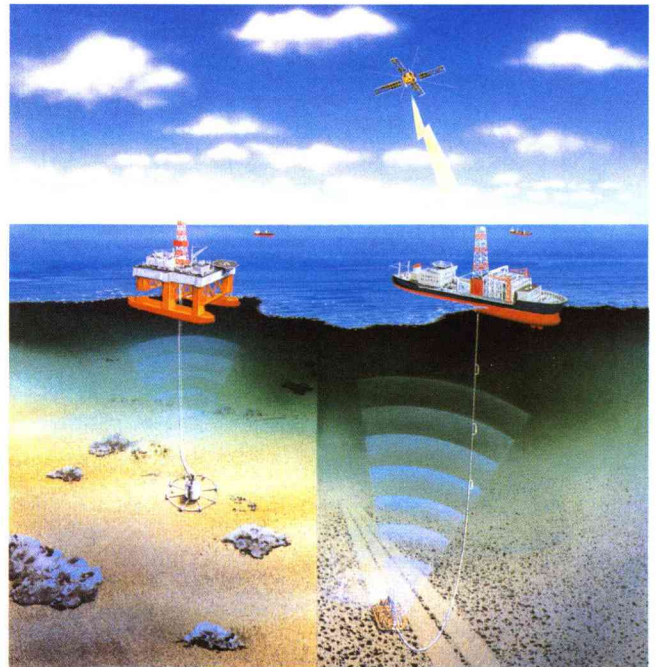
深海資源開発によって拓ける資源国・日本の可能性

水深4000～6000mの深海底に、ごろごろとした黒っぽい礫状の鉱物塊が散らばっていることが発見されたのは、1世紀以上も前の1870年代だった。この球形の塊は、マンガンと鉄を合わせた成分が約40%を占めていたことからマンガン団塊と名付けられた。マンガン団塊については、その後分布の状態などが調べられたものの、本格的な調査が実施されるようになったのは第二次大戦後1950年代になってからだった。この時期の一連の調査によって、マンガン団塊は世界各地の海洋底に広く分布していることが分かった。

さらに1965年には米国の研究者ジョン・メロがその全埋蔵量を約1兆tにものぼると試算し、ニッケル、コバルト、銅（1～0.5%程度含有）などの鉱物資源として有望であることを示唆した。埋蔵量が1兆tもあるとすれば、マンガンだけでも毎年世界で採掘される量の10万年分が海底で粒状になって眠っていることになる。将来にわたって利用できる豊富な資源としての可能性が認識されるにしたがって、先進各国では資源としてのマンガン団塊に熱い視線を向けるようになった。

海底に眠る豊富な鉱物資源というビジョンは、国内資源に乏しい日本にとってもとりわけ魅力的といえる。海底資源を利用する権利はいわゆる200カイリとして知られるEEZ（排他的経済水域）の定義にしたがって決定されるが、島国日本は世界で7番目に広い面積のEEZが認められている。さらにその外の公海にある資源は、すべて国際資源と考えられ、日本もその共同開発に参加できることになる。

過去には深海底にある鉱物資源の利益分配をめぐる、先進国と発展途上国の対立が続いてきた経緯もあった。その後、妥協をめざすべく国連の海洋法会議で協議が続けられ、1994年には国連海洋法条約が発効、実施に関する協定にEUほか41カ国が署名して深海底鉱物資源の開発が本格的に動き出せる情勢が整ってきた。そうした事情からこれからが深海底鉱物



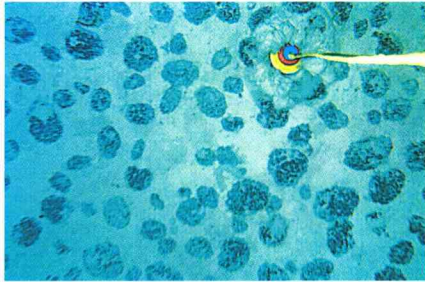
マンガン団塊システム概念図。流体ドレッジ式被曳航型集鉱機（右）と高張力ゴムホースを用いた揚鉱（左）

資源開発の本番と考えられる。

マンガン団塊の調査は、現在通産省の委託を受けた金属鉱業事業団が、ハワイ東南方の通称「マンガン銀座」と呼ばれる海域などで行っている。アメリカもマンガン団塊の開発利用研究には力を入れており、今後は国際協力による海洋鉱物資源開発なども進むと考えられる。

高圧ガスを使って数1000mをリフトアップする技術

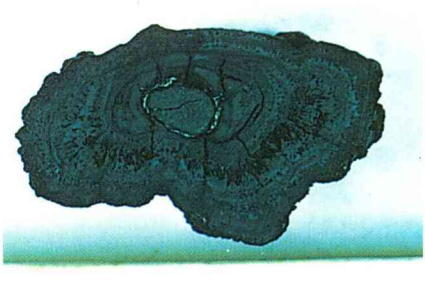
マンガン団塊を実際に鉱物資源として利用していくには、調査だけではなく、具体的な採鉱のノウハウを確立することが必要になってくる。日本では連続バケット方式と呼ばれる独自の採鉱技術を持っていたが、さらに本格的な採掘へ向けて、高圧ガスの上昇流を利用するガスリフトもしくはポンプリフト方



海底に散在するマンガン団塊



引揚げられたマンガン団塊（左）とその断面（右）。年輪のような同心模様で中心から外へと成長したことが分かる。この標本は不明だが、中心部にはサメの歯や鯨の耳石が見つかることが多い



ガスリフト用高圧ガス圧縮機

マンガン団塊採取のための実験船

式による採鉱システムが研究開発されている。被曳航式の集鉱機で塊を集め、パイプを通じて揚鉱するもので、周辺のシステムも含め、海底鉱物資源開発システム研究所が組織的な研究開発を進めている。20社1事業団からなる技術研究組合で、通産省の産業科学技術プロジェクトの一貫としてNEDO（新エネルギー開発機構）からの委託という形で技術開発を行っている。

マンガン団塊採取の基本構想と概念設計が立てられたのは昭和56年度で、以来10年以上にわたって研究開発が続けられてきた。計画では平成9年度に、海洋実験を終了して総合評価が出される予定となっている。つまり今年中にはマンガン団塊採鉱技術の開発にひとつのめどがつけられる見通しとなっている。

資源としてがぜん注目が高まっているマンガン団塊だが、その生成のしくみについては、あまりよく分かっていない。マンガン団塊を切断してみると、木の年輪のような模様が幾条にも重なっている様が観察できる。中心部にはサメの歯や岩のかげらなどが見つかることが多く、どうやらそれらを核にして内から外へ向かって成長したらしいことが分かる。つまり海水中の成分が、長年にわたって核の周囲に析出・沈着してこの不思議な塊に成長したところまでは推察できるのである。

放射性元素による年代測定法の数値をもとにマンガン団塊の成長速度を算出してみると、おおよそ100万年に2mmほど

海底鉱物資源の予想埋蔵量
(海洋開発審議会1次答申より)

石油（深海）	5500億バレル（3180億t） （海陸の究極可採埋蔵量＝2兆バレルの27.5%）
マンガン	4000億t（陸上の67倍）
ニッケル	164億t（陸上の273倍）
コバルト	58億t（陸上の967倍）
銅	88億t（陸上の21倍）

の速度で成長したことが分かるという。しかし深海底での泥の堆積速度はその約1000倍と大きく、なぜマンガン団塊が堆積物に埋もれてしまわずに、海底表面近くに転がっているのかは、謎とされている。

100万年に2mmということは、ごく単純に考えれば直径10cmの塊は約5000万年かかって成長したことになる。5000万年前といえば、地質年代では新世代の始まり頃にあたり、アルプスやヒマラヤなどを形成した大造山運動があった時代である。その頃から今日まで、泥に埋もれることなく、気の遠くなるような年月に渡って成長を続けてきたという推測も成り立つわけで、海の神秘を感じさせられる事象のひとつではある。

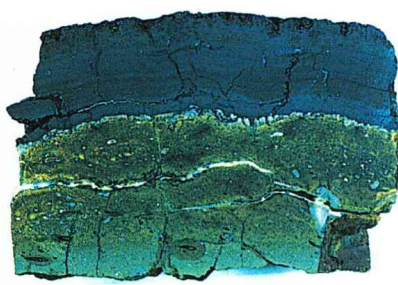
マンガン団塊に続く第2第3の深海底資源

マンガン団塊とほぼ同じ成分をもつ海底資源として、コバルト・リッチ・クラストと呼ばれるものがある。水深800～2000mくらいの海底の山頂から斜面を皮殻状に覆って成長したもので、マンガン団塊よりも浅い場所にあり、同様に深海底資源として有望視されている。マンガン団塊のように球形にはならず、沈着物が海底面を広く亀の甲羅のように覆っている。

その名称からも分かるとおり、コバルトの含有比率がマンガン団塊よりさらに高く、平均的なところではコバルト0.9%、ニッケル0.5%、マンガン25%程度の含有量を示し、白金も含んでいる。マンガン団塊とほぼ同じ頃に発見されているが、成長速度はマンガン団塊の数分の1だと考えられている。コバルトは各種先端技術を支える素材として需要が高まっているが、コバルト・リッチ・クラストのコバルト含有量が0.5%以上であれば既存の精錬技術で採算がとれることから期待が大きい。EEZ海域内にもあるため、開発に成功すれば、有望な国内の



コバルト・リッチ・クラストにおおわれた海底



切り取られたコバルト・リッチ・クラストの断面。玄武岩溶岩の上にクラストが成長しているのが分かる



熱水鉱床に見られる角礫状の褐色沈殿物。



油圧グラブで引揚げられた熱水鉱床の試料



引揚げられた資料の一部。写真のものは黄銅鉱が混ざる塊状黄鉄鉱

鉱物資源となることも予期されるのである。多くの海山で発見されており、日本でも通産省の委託事業として金属鉱業事業団が1987年から10年ごしで西太平洋での調査を行っている。

マンガン団塊、コバルト・リッチ・クラストに続く第三の深海海底鉱物資源として、熱水鉱床といわれるものがある。金属を含んだ熱水が海水に触れて金属硫化物として沈殿したもので、塊状になっている場合、泥状になっている場合などがある。発見は1970年代後半と、比較的新しい資源で、1980年代の後半になってから大規模な熱水鉱床が続けて発見されており、銅、鉛、亜鉛、金、銀などを含むことから新たな海底鉱物資源として有望視されるようになってきた。やはり金属鉱業事業団により東太平洋海嶺での調査が進められている。

熱水鉱床を形成するのは、海嶺中軸谷の周辺に吹き出す数百度の熱水である。吹き出し口は沈着物が筒状に固まり、外見は煙を吹き出す煙突のように見える。この地獄の煙突のように見える沈着物は、チムニーと呼ばれるが、噴出する熱水が黒い煙のように見える場合にブラックスモーカー、白く見える場合にホワイトスモーカーと呼びならわされている。海嶺周辺には大規模な熱水鉱床が広がっていることがあり、1988年の海洋調査船による日独合同調査では約1km²にわたる大規模なものが発見されている。

また1994年には「しんかい6500」が東太平洋海嶺と西大西洋海嶺で熱水チムニーの調査を行っており、西大西洋海嶺に存在していることが確認されていた直径約250m、高さ約70mという巨大な熱水生成物でできたマウンドも直接潜水によって調査されている。

熱水を吹き上げる
ブラックスモーカー

コバルト・リッチ・クラストや熱水鉱床の採掘方法については、現状ではまだ具体的なシステムは登場していない。マンガン団塊のように比較的軟質の堆積物の中に転がっているわけではないこと、鉱床自体にかなりの強度があること、また複雑な地形の中に分布していることなどから、採掘システムを考える場合には、ある種の極限作業ロボットのようなものが必要とされることが予想されている。

こうした深海海底の鉱物資源の他に、海水にはほとんどの金属元素が溶け込んでおり、なかでもストロンチウム、リチウム、ウランなどといった金属は、海水からの資源化が有望だと考えられている。今後コストに見合うノウハウが確立されていけば、資源輸入・製品輸出という戦後の日本経済の根幹を成してきた単調な図式は書き替えられることになるかもしれない。資源なき国・日本は、海へと向かうことで、すべてではないにせよ、豊かな資源に恵まれた国に変貌するかもしれない。金属の多くが、洋上に浮かぶメガフロート採掘基地でロボットによって生産され日本から各地へと輸出される——そんな日が来ない、とは断言できないだろう。

〔取材協力・写真提供：金属鉱業事業団、海底鉱物資源開発システム研究所、海洋科学センター〕

「しんかい6500」、「かいこう」によって加速する深海探査

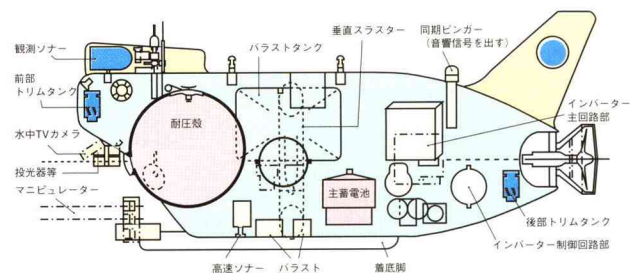
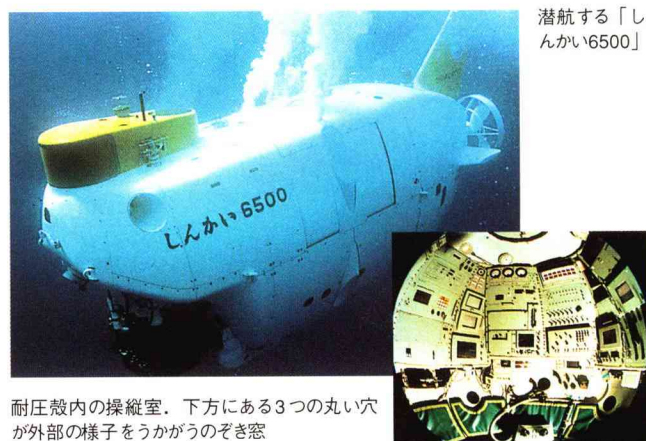
公海下の資源は「国際資源」として国連の海洋法条約のもと共同開発することが国際的な認識となりつつある。そうした状況下、日本が世界でもトップレベルの深海探査船「しんかい6500」「かいこう」を持ったことは、今後の海洋資源開発に際して国際的な発言力を得る重要なファクターになったと考えられる。また資源開発面と同時に、地球環境問題と海との関係を把握していくことが、海洋調査の遠大な目標となっていくことも予期される。

航行可能な有人潜水船・最深記録を可能にした技術

「しんかい6500」がこれまでに到達した最大深度は、6527m（日本海溝）。現存する航行可能な有人潜水調査船の世界記録である（バチスカーフでは約10916mの記録がある）。建造から8年あまりが経過、世界各地の海で年間60回前後のペースで潜水調査を行ってきたが、その間に熱水鉱床生成のおおもととなるブラックスモーカーからの熱水噴出や、その周辺に集まる生物群の調査、三陸沖地震と関係の深い海底断層の発見など、「しんかい6500」は、さまざまなデータとともに話題も提供してくれた。

最大潜航深度6500m——自立航行できる潜水調査艇としては最大級のスペックを誇るしんかい6500のメリットは、小型軽量で機動性に優れている点にある。全長9.5m、幅2.7m、高さ3.2m。通常1ノットで巡航し、最大速度は2.5ノットまで出せる。3名の乗員を収容する球状の耐压殻は内径2mのチタン合金製である。この耐压殻が乗員を650気圧をこえる極限の水圧から守る。フレームやマニピュレーターなどもチタン合金によって軽くて強い構造が与えられている。ボディはスポーツカーなどのボディにもよく使われるFRP（ガラス繊維強化樹脂）で軽量化されている。

さらに小型化に際して重要な要素となった技術として「しんかい2000」（1981年建造）の開発時から採用されたシタクティック・フォームによる浮力材というものがある。シタクティック・フォームとは、中空のガラス小球をエポキシ樹脂で固めたものだ。深海調査船は通常バラスト（おもり）を積んで潜水し、それを切り離すことで自然に浮上するように設計されている。そこで浮力をつけるための浮力材が必要となってくるが、大深度の水圧に耐えるものでなければならない。第二次大戦後の1940年代に10000mまでの潜水を行ったバチスカーフ式の潜水調査船は、ガソリンを浮力材として使用していたため100³もの容量をもつ巨大なガソリンフロートを備えており、全長20m・重量60tという巨体はとても海底を自由に動きまわるものではなかった。その後1960年代にはフランスとアメリカで



しんかい6500の構造

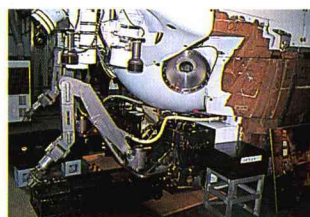
固体式の浮力材を採用した機動力のある深海調査船が登場してきた。固体式浮力材とは、中空のガラス球を樹脂で固めたもので、きわめて微小（ガラス・マイクロバルーン）なため、見た目には白い細かな砂のように見える。これを船体内の空隙に合わせていくつもの樹脂のブロックに成形し、フレームの間に取り付ける。

現在、世界には5隻の6000m級深海調査船が存在している。フランスの「ノチール」（1985年完成）、アメリカの「シークリフ」（1985年改造）、ロシアの「ミールⅠ」と「ミールⅡ」（1987年完成／フィンランド製）、そして日本の「しんかい6500」（1989年完成）である。これらの調査船にもガラスマイクロバルーンによる浮力材が使われている。5隻のうちではもっとも新しい「しんかい6500」が最深記録を持っているのは不思議なことではないが、この技術的達成によって、日本は深海探

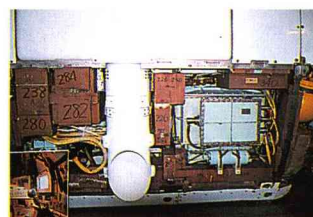


「かいこう」が世界最深部に設置したプレート。

吊り上げられた「かいこう」。ランチャーとビークルが一体化している



「しんかい6500」のチタン合金製マニピュレーター



側面下部のカバーを外した「しんかい6500」。パイプに見えるのは垂直スラスター、れんが色に見えるブロックがガラスマイクロバルーンを固めた浮力材。ボディはFRPで軽量化されており、軽くたたくとボリのパスタのような音がする

整備場に置かれた「かいこう」のビークル。人と比較してみると大きさがよく分かる

査で先進国に互することが可能になったと考えられる。

10000mをこえて世界最深部に到達した「かいこう」

1993年、海洋科学技術センターは、「しんかい6500」よりもさらに深くまで潜ることのできる10000m級無人探査船「かいこう」を完成。1995年3月にはマリアナ海溝・チャレンジャー海淵の世界最深部10911.4m地点への着底に成功している。チャレンジャー海淵へは、パチスカーフ型の潜水調査船トリエスタが1960年に10916mまで到達していたが、その時点では搭乗員が小さな窓から外部の観察を行っただけだった。「かいこう」は搭載したテレビカメラをまわして映像の撮影に成功、マニピュレーターを使って世界最深の海底から泥を採取したことで、1000気圧・水温2℃の世界についてきわめて多くの知見をもたらしてくれた。

「かいこう」の動力システムは「しんかい6500」とは異なり、母船からのケーブルを通じて電力供給する方式をとっている。当然ケーブルの長さは10000m以上となり、自由に活動するには効率が悪いものとなる。そこで水中発着台ともいうべき「ランチャー」を中継して、実際の活動は切り離された「ビークル」と呼ばれる探査ロボットによって行われる。「ランチャー」のロールには250mのケーブルが装備しており、「ビークル」はその範囲で自由に活動できるようになっている。

「しんかい6500」のような深度6000mまで潜れる潜水調査船があれば、世界中の海底の約97%を調査できるといわれる。また、「かいこう」が到達した約11000mという深さは、世界最深の記録である。つまり日本は「しんかい6500」と「かいこう」を組み合わせ、世界中のいかなる海も調査できるようになったと考えられるのである。

今後は、海溝の断面図やプレートの沈み込み口の調査など、これまでは手の届かなかった領域でも新たなデータの収集や発見が期待される。

「しんかい6500」「かいこう」の運用を受け持つ海洋科学技術センターは、昨年からはやはり海底探査では実績をもつ米国ウッズホール海洋研究所と共同でプレートテクトニクスの本格的な解明をめざし、共同研究に乗り出すと発表した。

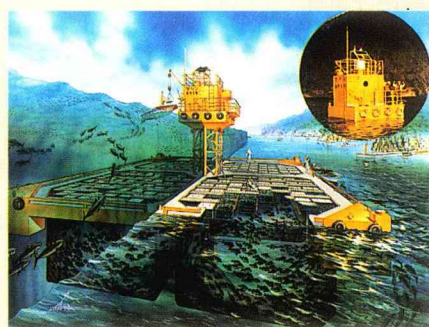
学術研究の立場からばかりではない。前章で取り上げた海底資源の探索・調査にも深海調査船が果たす役割は大きいといえよう。

また現在研究開発が進んでいる次世代型の深海探査ロボットでは、ケーブルを通じての遠隔操作ではなく、慣性航法装置によって自律潜航し、単独で活動ができるようになるという。深海というフロンティアを拓くための技術が着々と整ってきているといえそうだ。

〔取材協力・写真提供：海洋科学技術センター〕

COLUMN ミニ海底牧場のプロトタイプ——？ 人工海底「マリンあや1号」

海中空間の利用方法として、「海底牧場」を建設するというアイデアは、さまざまな方面から提案されてきた。海洋科学技術センターと岩手県が共同で開発した潜降浮上型人工海底「マリンあや1号」は、海中空間を立体的に利用して養殖を行う点で、ミニ海底牧場を思わせる設備である。養殖を行う下部空間は通常海中に沈めてあり、給餌・養殖管理などの時だけ浮上させる。表層の波による動揺が少ないため、デリケートな魚介類の養殖に適し、多種類を多段式に育てることが可能だという。本体は20m×20mの頑丈な鉄鋼製構造物で、太陽電池とディーゼル発電機を備え、潜降・浮上は海水をタンクに注排水して行う。平成3年からアワビとクロソイ（メバルの仲間）の養殖試験が行われている。



クリーンで無尽蔵な 海のもつエネルギーを利用する

—海洋発電の可能性—

陸上では水力を発電に利用することはごく当たり前に行われてきた。しかし、海のもつ莫大なエネルギーを取り出すノウハウは、なかなか実用化が難しかった。今なお海を利用した発電は、ごく初歩の段階にすぎないが、一部では実用化へ向けてのステップも踏み出されている。有望と考えられている波力発電と海洋温度差発電にスポットを当ててみよう。

海の浄化に役立てられる波力発電

日本の主要な海岸線の総延長は約13000km。そのすべてで波力発電を行った場合、得られる電力は14億kwほどになるという。現在の電力総需要の1.7%に相当するエネルギーが海岸線に眠っていることになるわけだ。しかも波力は何らの有害物質も排出することのないクリーンなエネルギー源である。海の波が持つエネルギーを電気に換えることができれば、それはきわめて汎用性の高いエネルギーになりうるわけである。

現状、波力発電は波の上下動により空気室内の空気の流れを利用してタービンを回転させることで電気を得る方式が中心的なものとなっている。波には上昇と下降という逆向きの動きが交互にあるが、ひとつの方法としてはこれを弁を使って整流してタービンを回すものがある。この方式はすでに航路標識用

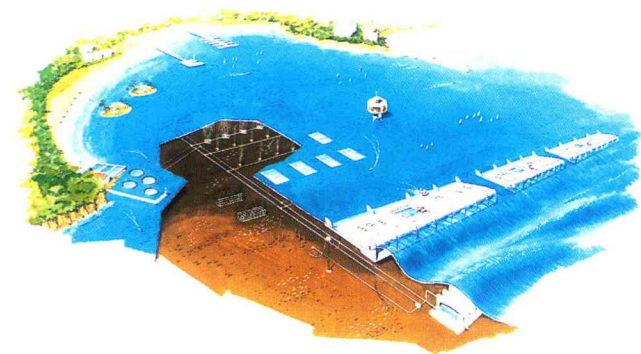
の発電装置として採用され、実績を上げているが、60w程度ときわめて小さいものしか実用されていない。

この方式の欠点は、波の上下動のうち片方のエネルギーしか電気に換えられない点にある。このデメリットを解決したのがウェルズタービンと呼ばれる特殊なタービンである。ウェルズタービンとは、断面が対称型の「ねじり」のない回転翼をもつもので、順逆いずれの方向からの流れにも一定方向に回転する特性をもっている。波の上昇・下降により発生する往復空気流の中で、常に同じ方向に回転することができる。

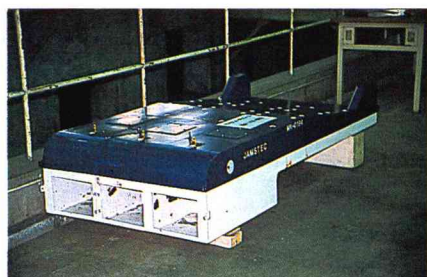
海洋科学技術センターは、1985年3月から86年3月まで先の整流方式（125kw）とウェルズ・タービン（60kw）、さらに順逆両方向の流れを二重反転タービン（125kw）によってとらえるもの、3種の異なる波力発電設備を備えた船型波力発電装置「海明」を建造し、大出力発電の実験を行った。

「海明」の実験を通じ、波力発電の実用化に向けて多くのデータが得られた。たとえば技術的な面では、従来の船型ではエネルギーの吸収効率が十分でないことが分かり、空気室後方に大きなスタビライザー（制振のための平面部分）を設け、波方向に直角に向けてやるのが効果的であるとの結論が出された。また波や風に対向する前面部分は、飛行機の翼前縁のような丸みを与えることがよいと考えられた。

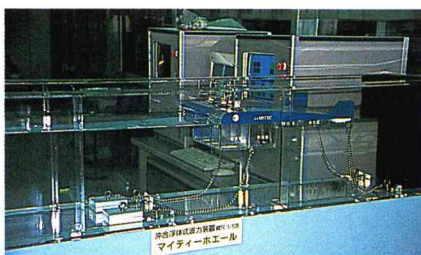
その成果をもとに海洋科学技術センターではウェルズタービンによる新たな波力発電装置を考案・設計し、実海域実験へ



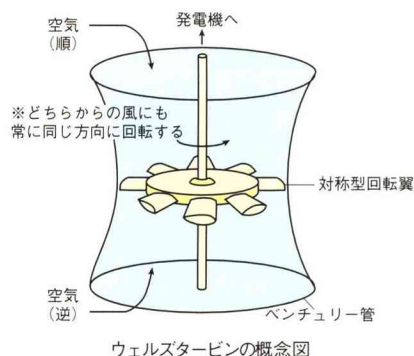
マイティホエールによる波力発電のイメージ。発電とともに消波効果があるため、湾内を静穏化し、レジャーに適した環境づくりなどにも役立つ。得られた電力は湾内の環境浄化に使われる予定



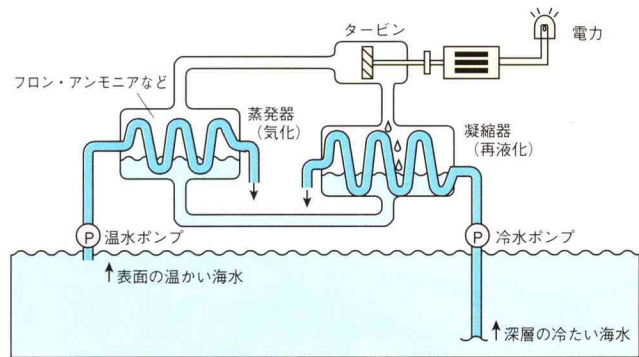
マイティホエールの水槽実験用縮尺模型



さらに小さな縮尺模型によるデモンストレーション。波がくるとタービンが勢いよく回転する



ウェルズタービンの概念図



OTEC（海洋温度差発電）の概念図

向けて準備を進めている。この新たな波力発電装置は、先のような機能上必要とされる形状を設計に反映した結果、鯨を思わせる外見をもつこととなり、「マイティホエール」という名称が与えられた。現在は小型模型などにより水槽実験が行われるとともに、全長50mのプロトタイプモデルの製作が進んでいる。プロトタイプモデルは平成10年7月中旬から三重県度会郡の五カ所湾沖に設置され実験が始められる予定だ。将来実用化にあたって問題になるのが設備なども含めた発電コストだが、「海明」での実験結果をふまえて、30～50円／kwhが目標とされているという。

同センターでは、「マイティホエール」によって得られた電力により圧縮空気を製造し、これを海域の浄化等に用いることを検討している。また「マイティホエール」は波のエネルギーを電気に変換するため、後方の海域を静穏化する効果もあり、レジャーや水産などにも役立つ可能性があると考えられている。

養殖場との複合利用が期待できるOTEC

海が内在する巨大なエネルギーを取り出す方法として、海水のもつ「熱」に着目するものもある。その代表といえるのが、OTEC（ocean thermal energy conversion／海洋温度差発電）である。熱帯地方などで海面の暖かい海水を使ってアンモニアやフロンなど沸点の低い液体を気化させ、それによってタービンを回し発電を行おうというものだ。タービンを回した後のガスは深海から汲み上げた冷水で再び液体にもどすことで発電サイクルがくりかえされる。1970年代のサンシャイン計画

その他の「海を利用した」主な発電方法

潮汐発電	潮位の差を利用し、河口に逆流してくる海水の流れで発電。仏英で実用化
海流発電	黒潮などの海流を利用した発電がアイディアとして提唱されている
塩分濃度差発電	河口付近で真水と塩水の電位差を利用し、電池の要領で電気を得ることが理論上可能と考えられている。
熱水発電	海底で噴出している熱水を用いる方法が可能性として示唆されている

で研究が行われ、1981年には東京電力がナウル共和国に実証プラントを建設し、データの収集が行われた。プラントでは表層の海水（約30℃）と深度530mの海水（約5℃）とを用いて100kwの電力を得ることができた。ただしプラント内部での消費電力を差し引いた送電出力は最大でも31kwとあまり効率のよいものではなかったようだ。OTECの実証実験はこのナウル以外にも国内3カ所で実施されており、規模は小さいながら発電に成功している。

ナウルのプラントは陸上設備だったが、海上浮上式にすれば10000kwクラスの大型発電所が可能との見方もある。しかし30℃未満という小さな温度差を利用した発電であるため、設備コストがかさみやすく、その点がネックとなる。ただし、深海からの海水の汲み上げは、電力を得るだけでなく、きわめて養分に富んだ海水を海面近くまで運ぶという効果ももたらす（湧昇流効果）。これによって海水が富栄養化することから、その付近を海藻や魚介類の養殖場とすれば効果的であると考えられている。また熱帯海域でOTECによる発電を行い、海水から水素と酸素を取り出してタンカーで輸送するなどといった発想もあるようだ。

アメリカはすでにハワイでOTECによる深層水養殖システムを稼働させている。複合的な形で海の力を取り出す装置として考えれば、OTECの実用性は決して低いものではないようである。

水力発電は、これまでに多大な実績を納めてきたが、もし海のエネルギーを低コストで利用できる方法が確立されれば、これはクリーンエネルギーとして、きわめて有望と考えられる。道程は遠いようにも見えるが、将来の可能性に期待したい。

【取材協力・写真提供：海洋科学技術センター、東京電力】

COLUMN レジャー空間としての海
—海中都市・海中観光の可能性—

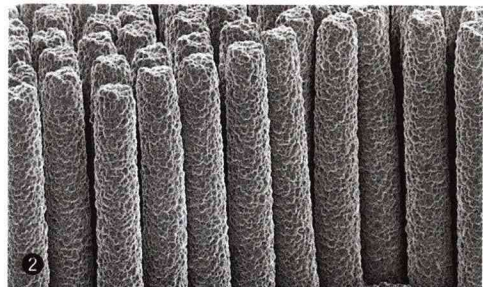
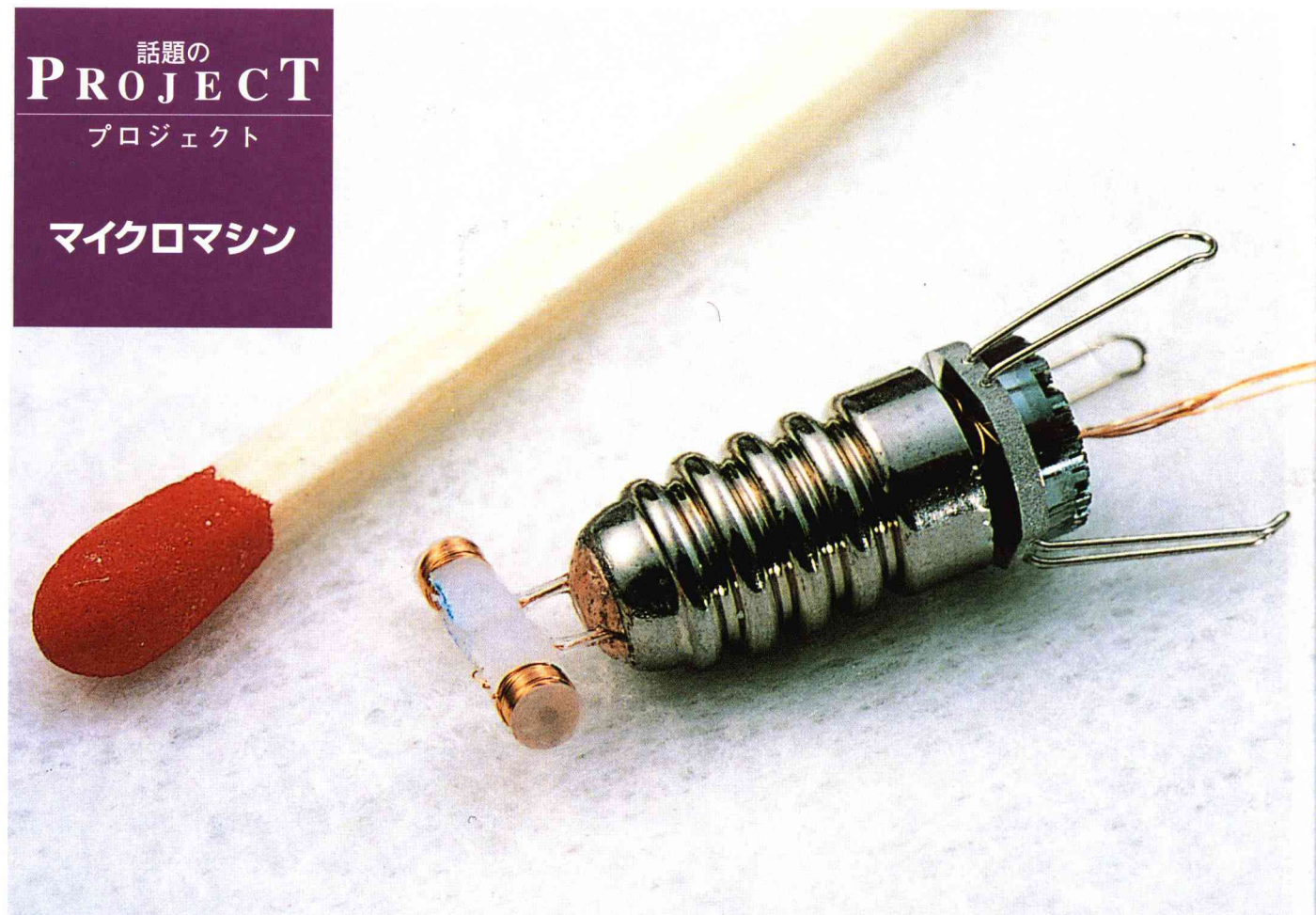
海中空間は、レジャーやリクリエーションの場としても、大きな可能性を秘めている。そこには都市に住む人間にとっては非日常的ともいえる大きな自然の姿があるからだ。現在は、スキューバダイビングなどのマリンスポーツをつうじてのみ触れることのできる海の中の光景も、海中都市や観光潜水船などが実現・普及すれば、さらに多くの人々にとって身近なものとなるはずである。将来的には海中の空間を活用したさまざまなレジャー設備も登場してくる可能性が予想される。海の可能性を1人でも多くの人たちが身近な体験として知ることが、将来さらに深く海と関わってゆくためには案外、重要なことかもしれない。



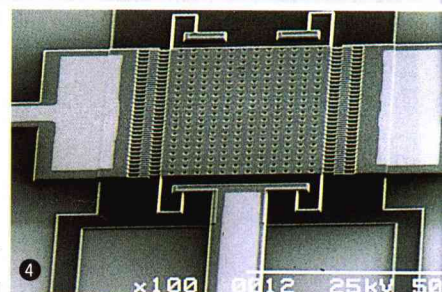
沖縄で就航中の観光用潜水船「もぐりん」
(写真提供：三菱重工株)

話題の
PROJECT
プロジェクト

マイクロマシン



10mm



SFの世界を現実のものにする マイクロマシン

産業から医療まで幅広く利用可能な技術体系

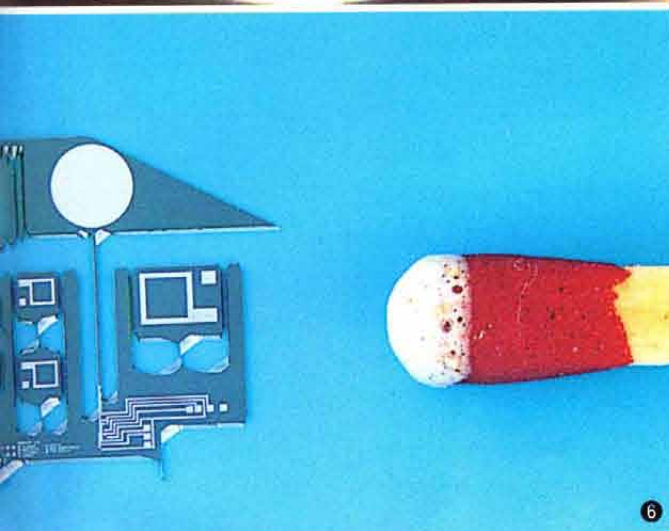
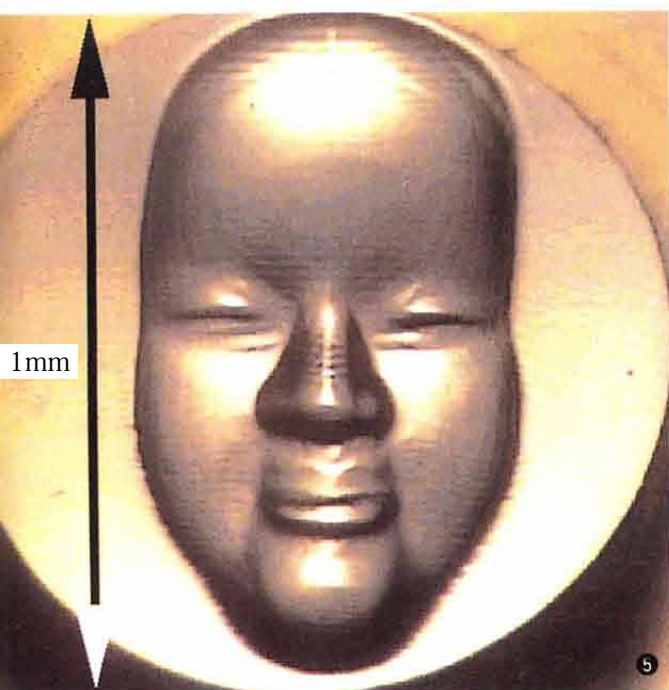
数十年前には夢物語にすぎなかったことが現実のものとなる。

技術開発の驚異をまざまざと見せつけられる瞬間だ。

SFの世界ではお馴染みのミクロの世界への進出も、

基礎的な要素技術の段階では現実のものになってきている。

日本が世界の最先端を走っているというマイクロマシンについて、
現状を報告しよう。



- ① 直径8mmの曲がった配管内を毎秒6mmで移動しながら数 μm の亀裂を検知できるマイクロ検査マシン。直径5.5mm×全長20mm。
- ② セラミックスを直径20 μm 、高さ140 μm の圧電柱列に加工するX線リソグラフィ技術。
- ③ 外径0.2mmのイメージファイバースコープと外径76 μm のSMAコイルバネによる首振り構造体からなる環境認識デバイス。
- ④ 厚さ5 μm のポリシリコンに一体成形された400×800 μm のマイクロジャイロ。
- ⑤ 直径1mmの円柱上に鏡面の肌を持つ能面が浮き彫り加工されている。
- ⑥ 光を2方向に反射するミラー部分と受光素子、位置検知機能の3つを外形10mmのシリコン振動子に集積した小型物体検知センサ。
- ⑦ 半導体製造技術を用いてシリコンウエハー上にモーターや歯車などをつくり込むことに成功した。

半導体製造技術から始まったマイクロマシン

人や機械を縮小してミクロの世界を探検するというシチュエーションが、SF映画でよく使われる。これ自体は夢物語にすぎないが、人間の技術が、ミクロの世界に及んでいるのは、紛れもない事実だ。その最たるものが、MPU（micro processor unit）などの製造工程で使われる集積回路技術だろう。

1987年、アメリカのAT&T研究所において、シリコンウエハー上に、フォトファブリケーション（photofabrication）技術を用いて400 μm の小さな歯車やモーターを作り込み、動作させることに成功した。これ以降、半導体製造技術がマイクロマシーニング（micromachining：微細加工）に急速に利用されることになる。

機械を製造するとき、これまでの技術では、各パーツを別々に製造し、部品を順番に組み立てていくという方法が一般的だった。しかしこの方法では、目的物が小さくなればなるほど、加工精度の誤差の影響が大きくなる。フォトファブリケーション技術を応用することで、部品の製造工程と組立を同時に行うことが可能になった。

こうした研究はMEMS（micro electro mechanical system）と呼ばれ、すでに実用化されている。最近、自動車の安全装置として急速に普及が進んでいるエアバッグを、衝突した瞬間に膨らませるための加速度センサなどがその例だ。

一方、メカトロニクス（mechatronics）の分野からのアプローチも行われている。それがマイクロマシン（micromachine）だ。

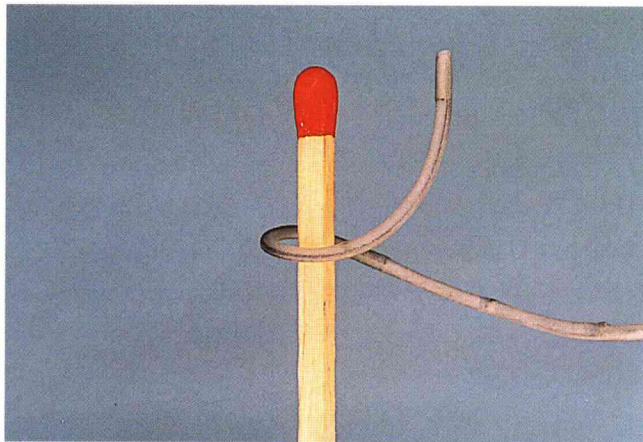
マイクロマシンとは、どのようなものだろうか。この言葉が最初に使われたのは、1988年に発足したマイクロマシン研究会の「小さな機械である」といわれている。財団法人マイクロマシンセンターでは、「マイクロマシンは、微細で複雑な作業を行うために大きさ数mm以下の高度な機能要素から構成された微小な機械」と定義している。

マイクロマシンとして考えられている技術範囲は、微細な世界での物理学から加工技術、材料技術、設計技法、電子回路技術、センサ、アクチュエータ、制御技術、インターフェース技術など多岐にわたっている。このため、具体的な定義がしづらいことは否めない。「高度な機能を持った小さな機械を製造・利用する技術の体系」とでも考えればよいのだろうか。

社会の幅広い分野に应用が可能

では、マイクロマシンの利用分野とはどのようなものなのだろうか。

最近の工業製品はユニット化が進み、熟練者が修理するのではなくユニットごと交換することが多くなった。効率化を考えれば致し方ないことだが、原子力発電所など大型施設とな



SMAを使った管状マイクロマニピュレータ。全体はシリコンゴムチューブで覆われている。

ると、交換されるユニットも大がかりとなり資源の無駄も大きい。また交換時に施設を停止する必要がある、運用上のロスも無視できない。

発電施設の配管内といった狭隘な部分において、高度な検査・補修を自動で行えるマイクロマシンが実用化されれば、安全性の確保と運用の効率化が両立できると考えられる。また光ファイバー網やガス管、電線など、ライフラインの保守・点検といった分野でも大きな効果が期待されている。

また対象物が微細になればなるほど、施設が大型化するというジレンマが指摘されている。工業製品を製造する際に、より精度を高め小型化しようとすればするほど、設備は大型化する傾向にある。当然、コストが飛躍的に増大するため、大量生産を前提としなければコスト対ベネフィットがバランスしなくなる。さらに、少品種大量生産から多品種少量生産へと、工業生産の傾向が移ってきている。

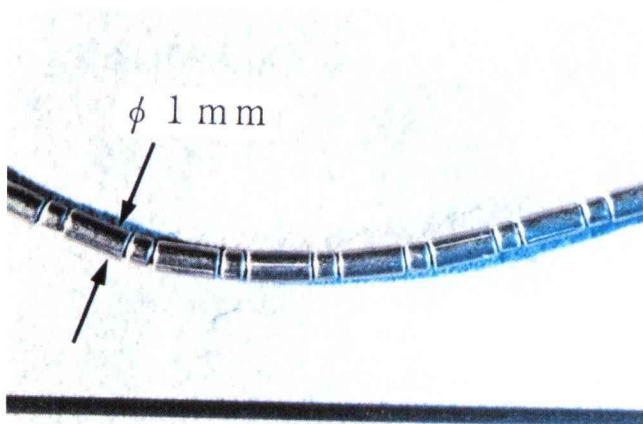
こうしたことを背景に、限られた空間内に加工、組立、搬送、検査といった製造工程にかかわる施設機械類を統合化し、小型工業製品の製造工程を小型化・省エネルギー化しようという試みも行われている。

しかし最も期待されているのは医療分野への応用だろう。

近年、内視鏡やバルーンカテーテルといった検査・治療技術の進歩はめざましいものがある。従来、こうした検査・治療には、患者に入院や手術といった大きな負担を与えていたからだ。さらに小型化が進むことによって、患者負担はより小さくなると期待されている。

またインテリジェント化の期待も大きい。循環器系のカテーテル治療や検査では、操作に熟練を要し、一部の医師・医療機関でしか実施できないという制約がある。触覚センサや自動制御されたマニピュレータ（manipulator）を備えたマイクロマシンによって、特に熟練を要さずにこうした検査・治療が行えるようになることが期待されている。

もう一つの方向として、人工臓器への利用が考えられる。人工臓器には、人工腎臓や人工心臓などの能動的機能を持つ



SMAは単位面積当たりの発生力が大きいので、アクチュエータ素材として有力視されている。

ものと、人工血管、人工骨・関節といった材料的なものが存在する。マイクロマシン技術の応用が期待されるのは、当然前者だ。

能動型の人工臓器といっても、現在開発・利用されているものは、人工透析施設など体外に置かれ、人体とはさまざまなチューブなどを介して接続されるものを中心。体内に埋め込まれるものとしては、心臓ペースメーカーくらいしかない。

最近、臓器移植をめぐる議論がかまびすしいが、現在の人工臓器が生体の機能を一時的に代替する能力しかなく、移植でしか根治の可能性がないことが大きな原因だろう。しかし、体内に埋め込み可能で、長期間にわたって生体機能を代替できる人工心臓などが開発されれば、脳死や移植をめぐる問題も解決される可能性がある。

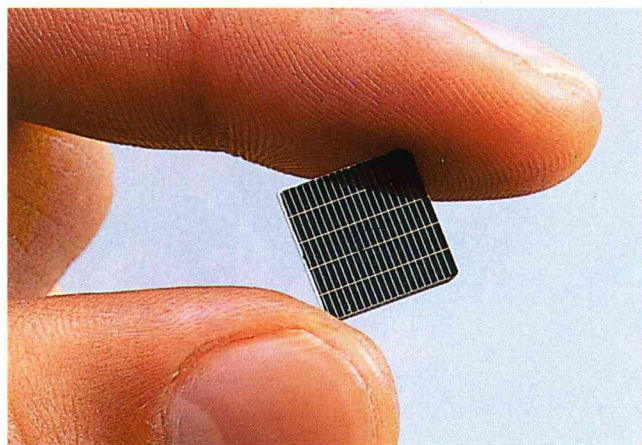
ただ人工臓器に要求される条件は大変ハードルが高く、研究開発は1940年代から始まっているものの、他分野の技術開発と比べて十分な成果があがっていない。生体適合性を解決するための材料分野からのアプローチなどは、これから手が付けられるという段階だ。

個々の技術は実用化段階に

現在マイクロマシンの研究開発は、どこまで進んでいるのだろうか。

マイクロマシンは、1991年に通産省工業技術院の産業科学技術研究開発制度に取り上げられている。10年間に250億円の予算が投入される予定であり、現在はその第1期が終了した段階だ。この5年間はどこまで小さくできるのかといった要素技術の開発に当てられ、現在システム化技術の開発段階に入っている。

このプロジェクトは、通産省の総合管理のもと、計量研究所、機械技術研究所、電子技術総合研究所の3つの国立研究所と新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）からの委託を受けたマイクロマシンセンターによって進められている。



外部からの光で1cm²当たり最大207Vの電圧を発生させる光電変換デバイス。

マイクロマシンセンターでは、発電施設配管内を自走する検査・補修用マイクロマシン、マイクロファクトリー、体腔内診断治療システムのプロトタイプを完成させる予定だ。

またマイクロマシンセンターには、一般企業29社と日本ロボット工業会など7つの団体が賛助会員として参加している。これらの企業では、マイクロマシンに関するさまざまな研究開発を行っており、センターはそれらの調整と調査研究を中心に活動している。

たとえば、形状記憶合金（shape memory alloy：SMA）を利用した管状マイクロマニピュレータが開発されている。SMAは単位面積当たりの発生力が大きく、アクチュエータ（actuator）への開発研究が進められている。開発された管状マイクロマニピュレータは、直径1mm、全長80mm、幅0.5mm、厚さ0.15mmの板状のSMA一対を直交に配置し、駆動制御に必要なヒーター、センサなどを薄膜に集積化したMIF（multi-function integrated film）を接着してある。位置制御精度は±1mmで、5つの湾曲自由度をもち生物のように自由な動きを実現している。

マイクロマシンでは、作動させるためのエネルギー供給方法も問題となる。外部から有線で電気エネルギーを送り込むことが難しいからだ。このため、マイクロマシン自体にエネルギー供給源を組み込む試みがなされている。

光エネルギーを電気エネルギーに変換する光電変換デバイスは、太陽電池などに利用されているが、マイクロマシンへの利用では、実装面や変換効率の面で課題が多かった。現在、小さな表面積を有効利用するためフレキシブル構造とし、高電圧を確保するために直列接続形成された光電変換デバイスが開発されている。このデバイスでは、1cm²当たり207V、最大出力4.65mWと、世界最高電圧を発生している。

このほか、位置検出や姿勢制御に用いられる400×800μmのマイクロジャイロ、検査対象物を認識するためのマイクロスキャナや立体視認識デバイス、直径1mmの円盤状に複雑な3次元形状を加工できる超精密加工技術などが開発されている。



光電変換デバイスを1cm×1.5cmの昆虫型アクチュエータに曲面実装している。

今後、研究開発はシステム化へと進んでいくわけだが、個々の技術そのものにも産業界から注目が集まっているという。たとえばマイクロ超精密加工技術などは、シリコン以外の材料への利用が可能だからだ。

まったく新しい発想が生み出すもの

マイクロマシンの実現には、幅広い技術の集積・統合化が必要になる。たぶん10年といったタイムスパンでは、完成の領域には達しないのではないかと考えられている。実用化という側面から見ると、センサやデバイスの開発ということに目が向きがちなことも事実だ。逆説的にいえば、だからこそ何か非常にユニークなものができるのではないかと期待も大きいことになる。

東京大学の三浦宏文教授や下山勲助教授は、昆虫規範型マイクロロボットを提唱している。従来のロボット研究が人間や動物の動きをメカニカルに再現する方向で進んでいたのに対して、条件反射に基づいて行動する昆虫をベースに考えたほうが、より生命を感じとれるということから始まった。

現在、下山助教授の研究室では、生きた昆虫の組織の一部や生体そのものを使ったハイブリッドロボット（生物とロボットの両方の資質をもったもの）の研究が行われている。

この世で最も効率の高いアクチュエータは、動物の筋肉組織だといわれている。わずか1万分の1cm³の容積で2kgの加重に耐え、数百gの加重に対しては数μm/secのスピードで動かすことができるという。しかし筋肉のメカニズムは、まだ完全には解明されていない。マイクロマシンの開発には、こうした生体組織のメカニズムからの発想が応用される可能性も高い。

現在の小学生の子供たちが大人になり社会の第一線に立つころ、マイクロマシンが日本の産業技術の基盤となっているかもしれない。

[取材協力・写真提供：財団法人マイクロマシンセンター]



Steel Land

弧を描くように天井を左右に渡した鉄骨と一面ガラス張りが印象的な超先端イメージの空間。東京国際フォーラムの顔、「ガラスホール」

集いの鉄 ～東京～

丸の内の旧都庁跡地にこの春、大型国際会議場「東京国際フォーラム」が開館した。丸の内のオフィス街・有楽町・銀座の商業地域の境界線上という立地条件にありながら、その姿は公共の動線を妨げずに悠然と存在する。

鉄骨をふんだんに使用した個性的な形の屋根に、一面ガラス張りの巨大な吹き抜け空間は、都会の洗練された景観にあってとりわけ人の目を引く斬新なデザインだ。

東京の中心地に新たに誕生したランドマーク、東京国際フォーラムにセまった。

鉄の絶景

scape.



斬新なデザインながら、
都会の景観にマッチする外観



ライトアップされ、
夕陽に映える
東京国際フォーラム

美しさと機能性を兼ね備えた コンベンションセンター

東京国際フォーラムはJR東京駅・有楽町駅および地下鉄有楽町駅を最寄り駅とし、東京駅から徒歩5分、有楽町駅からはJR・地下鉄とも徒歩1分という圏内に位置している。JR東京駅・地下鉄有楽町駅とは地下1Fのコ

ンコース（中央広場）でも連絡されており、立地条件やアクセスのよさはいうまでもない。

地上から建物に近づくとまず目に飛び込んでくるのは、東京国際フォーラムのシンボル空間、「ガラスホール」である。1枚の鳥の羽のようなデザインをJR線のカーブに沿って配した、全面ガラス張りの個性あふれる空間だ。周辺に建ち並ぶビル群の隙間からふいに現れる透



座席数、5,012席を誇る多目的ホール、ホールA

明な空間は、一瞬人の目に斬新な驚きを与えるが、実はそのスマートな趣が都会の喧騒に見事にマッチしている。天井には幾重もの層のように数多くの鉄骨が左右に渡され、その鉄骨使用量は3万6千トンに達するという。天気の良い日には、全長207m、高さ約60mのこの巨大な吹き抜け空間に、陽光が燦々と降り注ぐ。

ガラスホール脇にはABCD、4つのブロックにわかれたホール棟が連なっている。なかでもA棟にあるホールAは東京国際フォーラム中最大のホールで、5,000を超えるその座席数は世界でも有数といわれる。8カ国語同時通訳システム、ハイビジョン対応の400インチ大型プロジェクタ、音響設備や舞台機能など、国際会議をはじめコンサートやさまざまな舞台イベントに対応可能な設備を整えている。またB棟には平土間形式のオーブ

ンスペースで、舞台や客席を自由に配置できるホールB、C棟にはコンサートホールシェパードと呼ばれる特殊な音響反射板をはじめ、音楽ホールとしての理想を追求したホールCもある。D棟にあるホールDは引き出し式の座席が設置されるなど、ユーザー側のアイディアひとつでフレキシブルな利用方法が可能な個性的空間だ。

館内にはこのほか、厨房施設を完備したレセプションホール、合計34室ある会議室、16面マルチビジョンなどの諸施設も完備される。地下1～2Fに位置する展示ホールは、5,000m²もの広大な面積を持ち、地下1Fのコンコースからもホール内部が見える作りになっているため、通行する人々すべてに展示内容を自然にアピールできる。またこれらすべての施設はAVセンターを中心に、光伝送およびケーブル伝送で結ばれている。このAVネットワークを活用すれば、ホールをはじめとする諸施設すべてを映像および音声情報で結び、館内全体に一体感をもたせた利用も可能だ。さらに特徴として、ホール全体で2万3千トンにもおよぶ鉄骨構造のインナーボックスを、アウターボックスで覆う形で建物を造る特殊な二重構造＝「ボックス・イン・ボックス」を起用することで、ホール内部は完全な遮音を実現した。

都会に似合うスマートさと機能性をあわせ持つ東京国際フォーラム。国際会議に、展示に、イベントに、コンサートにと、今後の活躍の場は広い。

[取材協力・写真提供／東京国際フォーラム]

～博物館探訪～ (第2回)

釜石市立 鉄の歴史館



岩手県釜石市にある鉄の歴史館は、わが国の近代製鉄業の礎を築いた大島高任の偉業を称え、後世に永く語り継ぐべく建てられた、鉄にまつわる総合資料館である。

かつて水戸藩で反射炉の操業に成功した大島高任はより良質の鉄を求め、南部藩の許可を得て釜石に洋式高炉を築造。安政4年(1857年)12月1日、銑鉄の製造に成功したその功績は「鉄の記念日」として今に伝えられている。

鉄の歴史館は昭和60年7月にオープン。平成5年には展示面積を2倍以上に増築してリニューアルオープンした。展示構成は①時代を翔る鉄②鉄文化の黎明③近代製鉄の発

進④製鉄産業と釜石⑤心の中の鉄⑥鉄と豊かなくらし⑦鉄と遊ぶ、などバラエティに富んでいる。豊富な資料・コンピュータ・レーザー光線による最新の映像設備など、さまざまな方法で鉄産業の歴史や鉄に関する知識に触れることができる。なかでも釜石の橋野三番高炉の1/20模型に、最新の立体映像を組み合わせ高炉操業の様子を紹介する展示物は、そのリアルな映像で訪れる人々に人気を博している。

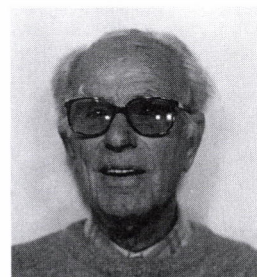
また3・4Fスペースには平成4年7月に釜石市を主会場として開催された「海の博覧会」を機に、フランスのディーニュ市から送られたアンモナイトの壁レプリカ(高さ12m、幅16m)も併設展示されている。これは同市の地層の一部で1億9500万年前に海底に堆積してできたアンモナイトを実際に使用して作られ、世界で初めて公開された貴重なものだ。鉄に関する資料や展示と合わせて、神秘性に満ちたアンモナイトの壁レプリカも一見の価値がある。(JR東日本釜石駅よりバス7分・観音入口下車、徒歩3分)

[取材協力・写真提供／釜石市役所]

名誉会員からのメッセージ

Ideas and Experiences as a Teacher in Process Metallurgy

Sven Eketorp



The Royal institute of Technology in Stockholm has during the last 35 years had an Intimate contact with Japan, mainly due to the fact that 15 Japanese "students"(University graduates) have followed the courses in Process Metallurgy during one complete year. Also several Japanese research specialists have stayed with us at the university for longer periods.

We have been impressed by the energy and enthusiasm that our visitors have shown. Just one example: Our first student, Mr. Goro Yuasa, 1961 wrote the answers in his first examination in Swedish after only 2 months in our country. Mr. Yuasa like the following Japanese students thought it was strange with 4-5 weeks vacation, used to only 3-5 days as they were.

To be frank, in the beginning some Swedish Steelworks were a bit sceptical to visits from our Japanese students. But pretty soon they got eager to receive them-not the least to get new ideas from them. A sign of this confidence is that several Japan-Sweden symposia have been arranged.

Sweden is a small country, but with a long tradition in iron and steel making. We find that an intimate contact with foreign countries is absolutely necessary. Since centuries such an interchange has been going on in technical and scientific matters to the benefit of both sides.

To travel is to learn. Our graduate students have during the years visited the major steel making countries. Furthermore they have during these industrial visits been obliged to present their research work for critical audiences. We have always tried to stimulate the students to question what they have been taught. I remember that my best lecture ever was the one where I had difficulties to go through my subject because the students were so eager to present their questions and ideas.

The Swedish students always finish their studies by spending some weeks at Swedish steelworks, carrying out small research projects. In Stockholm a seminar is held every year where each student presents a paper, normally a literature survey. Another student is then assigned as the opponent. I myself, by the way, have each year since 1961 given a lecture called "How not to give a lecture", when I in one hour try to make all the faults and silly manners a normal (!) lecturer makes, e.g. overloaded OH:s, the back to the audience, different signs of nervousness, too low voice, reading his paper without a break, never looking at the audience etc. There are only a few examples of the very common behaviour of a normal lecturer.

Sorry, but a strong criticism must also be directed towards the organization of most international conferences. Authors read their manuscripts-with the audience following the text in the printed proceedings word for word. The chairman normally has time only to say the normal "Thank you Mr. X for your interesting lecture. Unfortunately we have too little time for a discussion of your paper"

A good relationship between the students and the teachers is founded already the first week at the university, when the newcomers by tradition are very well taken care of by older students. Those have by the way since 26 years been arranging a whole day at my home at the countryside near Stockholm. After information from the teachers we are making steel from ore in a bloomery (Fig.1) while 4 lambs are getting roasted (Fig. 2). The square dance (Fig.3) is one way of getting to know each other, teachers and pupils-130 all together this year. There are 35% girls in the group.

Direct steelmaking from ore in the bloomery results in an analysis of C=0.1% and P=1 ppm, but also with very low Fe yield and 11,000kg charcoal/ton. This should be



Figure 1



Figure 2

a challenge for all of us to reconsider our roundabout process routes! It is unlikely that we in the future first will produce high carbon iron and then an overoxidized metal, from which we remove oxygen by precipitation of stable oxides and finally have a difficult task of removing all the slag inclusions. Can process metallurgists ever carry through the same revolution as the casting-rolling people in their realization of direct and near net shape casting?

I think that we should go back to basic thermodynamic systems like Fe-O-C and try to consider if radically different process routes could be possible. Possibilities like precipitation of metal from an oxide melt, deoxidation of steel using solid electrolyte cells and other revolutionary methods should be discussed.

You may think I am a dreamer and that is exactly what they called me in China, which I was proud of. Of course we must have dreams, and visions is a more dignified name. Visions based on strict application of



Figure 3

fundamentals.

One large scale dream was the project Future Steelworks carried out 1978-83 where we tried to attack problems not only in metallurgy but also regarding the size of the steelplant and its integration in the surrounding community, the human and technical scale, maintenance, environment, working hours etc. Many different groups of people took part in this study; architects, social experts, psychologists, union representatives, market experts, etc. Also during this work we got important impulses from Japan; my 4th Japanese student, Mr.K. Mori from Aichi Steel, went around to Swedish steelworks telling them about QC-circle.

Looking back on my years as professor in Process Metallurgy I must say it was a wonderful time. I cannot imagine anything more stimulating than guiding and organizing motivated and gifted young students and graduates. To do this in a complete freedom how to present the knowledge and the problems. Yes, the most important thing is freedom!

(1996年11月15日受付)

展望

21世紀の日本鉄鋼業 第4回 日本鉄鋼業の将来展望

林 明夫

Akio Hayashi

通商産業省 基礎産業局 製鉄課長

Japanese Iron and Steel Industry in the 21st Century (4)

1 はじめに

第1回、第2回で、日本鉄鋼業を取り巻く4つの変化、即ち、①需要の成熟化、②グローバル化に伴う国際競争の激化、③地球環境問題の顕在化、④技術の進歩について述べ、前回では地球環境問題に対応していくための21世紀の製鉄システム、材料開発の方向について展望した。本号では、4つの変化への日本鉄鋼業の対応、素材産業として新たな発展を迎えるための21世紀の日本鉄鋼業の将来展望について私見を述べることにしたい。

2 4つの変化への日本鉄鋼業の対応

2.1 需要の成熟化への対応：

2.1.1 「受動型」からユーザーニーズ先取りの「提案型」へ

図47は、戦後の日本鉄鋼業の発展の経過である。石油危機以降顕著となった需要の成熟化の中で、日本鉄鋼メーカーは、製品の差別化、収益増を目指し、表13に示すように電気亜鉛メッキ鋼板等の表面処理鋼板やステンレス鋼、高張力鋼等の特殊鋼の生産比率を高めてきた。

ところが、製品の高付加価値化については、図48に示すように収益面で期待した効果が上がらず、単にユーザーの要望に応える多様な商品を開発し提供しているのみでは、十分な収益性を確保することが容易でないことが明らかになった¹⁾。このため、現在ではユーザーのニーズを先取りした「提案型」の材料・製品開発、デザインインのようなユーザーニーズに密着した材料開発、最終需要分野における鋼材の用途開発・普及、社会や時代のニーズに対応した新規需要開発に力点が置かれてきている。



図47 日本鉄鋼業の発展と変換

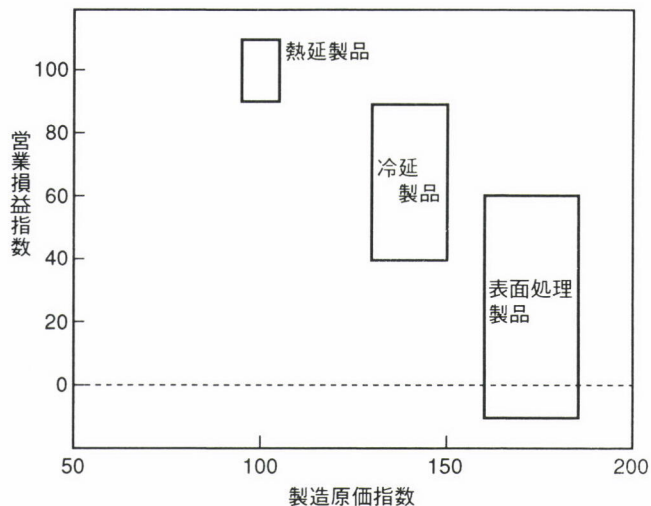
表13 鋼材に占める高級鋼材の割合

(単位：1,000トン、%)

	1975年		1985年		1995年	
	生産量	シェア	生産量	シェア	生産量	シェア
特 殊 鋼	7,826	9.3	15,881	16.5	15,329	16.5
高 張 力 鋼	—	—	4,399	4.6	2,712	2.9
ステンレス鋼	—	—	1,935	2.0	2,916	3.1
そ の 他	—	—	9,547	9.9	9,701	10.5
表面処理鋼板	6,724	8.0	11,782	12.2	14,686	15.8
亜鉛めっき鋼板	4,549	5.4	8,388	8.7	11,045	11.9
そ の 他	2,175	2.6	3,394	3.5	3,641	3.9
電 磁 鋼 板	710	0.8	1,213	1.3	1,939	2.1
高 級 鋼 材 計	15,260	18.1	28,876	30.0	31,954	34.5
一 般 鋼 材 計	69,088	81.9	67,504	70.0	60,738	65.5
全 鋼 材	84,348	100.0	96,380	100.0	92,692	100.0

注：最終鋼材ベース

出所：(社)日本鉄鋼協会調査検討部会、「大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦」1996年8月 (p.10)



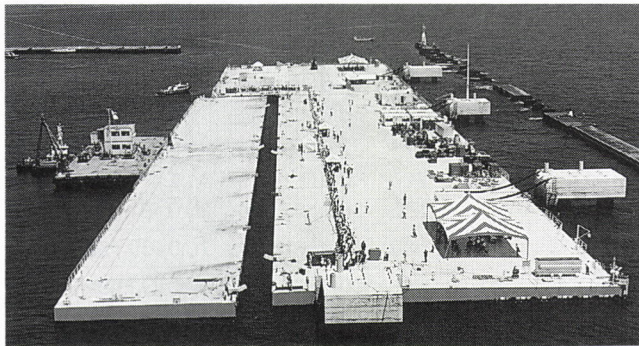
出所：(社)日本鉄鋼連盟 鉄鋼技術政策委員会、
「21世紀へ向けての鉄鋼技術の展望」、
鉄鋼界、1993年4月、(社)日本鉄鋼連盟(p.4)

図48 高付加価値化と収益性の関係一例
(熱延製品 = 100)

2.1.2 「ユーザ」との新しい関係

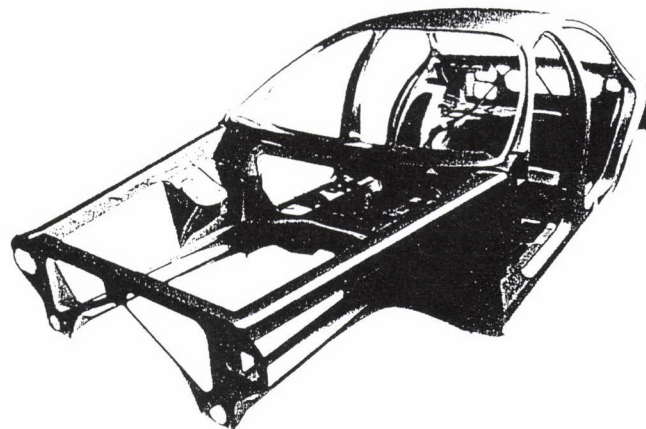
主要需要先である造船、自動車、建築・土木、住宅分野においても鉄鋼業とユーザとの新しい関係が見られ、例えば造船の分野では、造船メーカーと共同で図49に示すような超大型浮体式海洋構造物（メガフロート）の実証研究が行われている²⁾。

(1) 自動車については、日本の鉄鋼メーカーを含む国際鉄鋼協会(IISI)加盟の32社が参加した国際コンソーシアムによって、「超軽量鋼による自動車車体(ULSAB)」プロジェクトが開始されている。欧米では、地球環境問題へ対応して、100キロメートル/リットル や80マイル/ガロンを目標に低燃費車の開発が始まっているが、本プロジェクトは、燃費向上のための車体軽量化を目指すものである。2000年の実車化を目標に、剛性、衝突安全性を確保しつつ、標準的4ドアセダンのホワイトボディの平均重量を270kgから200kg以下に引き下げようとするもので³⁾、既に図50に示



出所：ふえらむ、Vol.2 (1997)5、(社)日本鉄鋼協会 (p.10)

図49 横須賀市沖に設置されたメガフロートの実験モデル



出所：鉄鋼界報 NO1697、1997年1月1日、(社)日本鉄鋼連盟

図50 ULSABのボディ・ジェル・イメージ

すようなボディの組立等を、ポルシェ・エンジニアリング・サービスに委託している。本プロジェクトは、素材メーカー自らがボディを開発しその成果を自動車メーカーに提示しようとしている点で、21世紀に向けた画期的な提案型材料開発方法と考えられる。

(2) 住宅の分野では、スチール・ハウスへの取り組みが

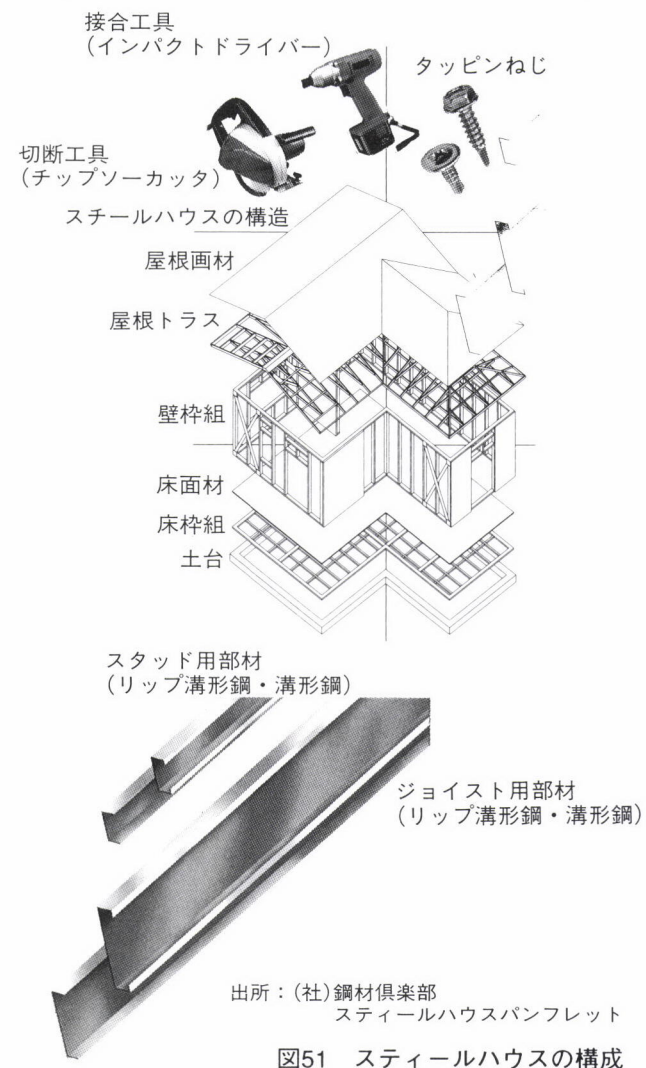


図51 スチールハウスの構成

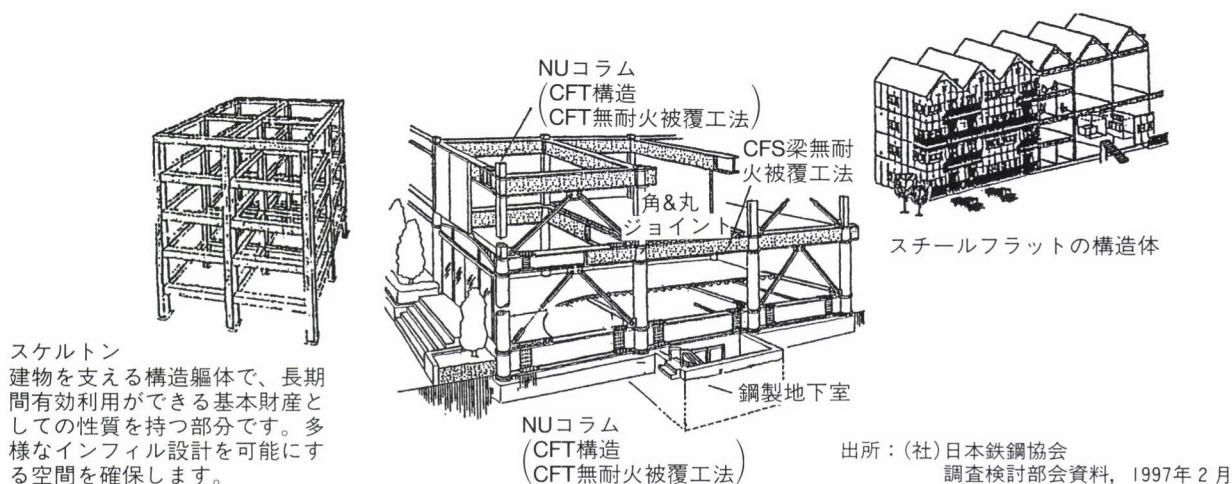


図52 スティールフラットのイメージ図

挙げられる。スティール・ハウスは、図51に示すようにツー・バイ・フォー住宅等の木材を、亜鉛メッキされた溝型鋼で代替した住宅である。従来の厚さ数ミリの形鋼を使用した鉄骨住宅とは異なり、フレーム材が厚さ1ミリ程度の薄板を加工したものであるため、ねじによる接合や簡単な工具による切断が容易で、一般工務店で建設することが可能である。鉄を使うことによって白アリの被害も心配ないため、米国では年間数万戸が建設されている。日本鉄鋼業界では、スティール・ハウスの普及を図るため、(社)鋼材倶楽部自らが標準仕様を作成し、建設省にシステム認定を申請している。これが認められれば、一般の工務店も簡易な法的手続きでスティール・ハウスが建築でき、普及が期待されている⁴⁾。

(3) また、大都市の防災性向上という社会ニーズに応えるため、「鉄」を使った安全で環境に調和した次世代街区づくり構想が、(社)日本鉄鋼協会で検討されている。本構想は、図52に示すような鉄を使った丈夫でメンテナンスが容易な長期耐用型集合住宅（スティール・フラット）を鉄鋼業自身で開発し、木造住宅密集地域に導入しようとするものである。これによって、住宅コストの削減、建築・居住に要するエネルギーの節減、都市の防災性の向上が期待される。本開発は、高炉メーカーが建設省建築研究所と共同で実施する方向で検討が進められている。

今後は、以上のような形態の開発や提案が種々な需要先との間で生まれていくと期待されている。

2.2 グローバル化への対応：

2.2.1 トータルコスト削減

円高とグローバル化の進展による国際競争の激化、輸入品の増加、国内価格の下落に対し、日本鉄鋼業は、リストラにより国際競争力を回復し、内外価格差のない販売価格

の下で収益を確保できる体制作りを目指していると言える。(図53参照)

表14は、日本興業銀行が調査した1992年時点の日本と韓国の高炉メーカーのホットコイルのコスト比較である⁵⁾。これを見ると、製鉄所における製造コストは、1992年当時でも日本高炉メーカーが韓国高炉メーカーを下回っているにもかかわらず、出向者人件費の差額負担を含む日本高炉メーカーの販売管理費の高さが、コスト競争力の差になっていることが解る。この差をなくし競争力を回復するため、製造部門を中心とした労働生産性の一層の向上、本社業務の合理化による販売管理費の削減に努めた結果、為替レートにもよるが、現時点で両者の総コストはほぼ同水準にあるといわれている。

今後は、従前から進めている製造工程の連続化・省力化

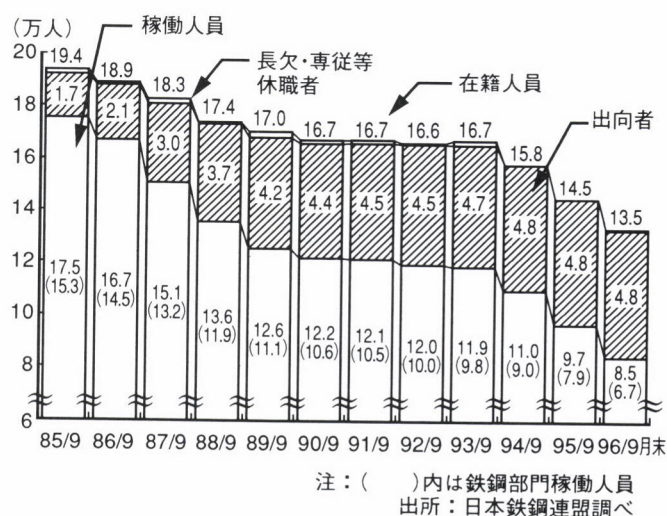


図53 高炉大手5社の従業員推移

表14 日本高炉企業と韓国高炉企業の
ホットコイルのコスト差比較 (92年度)

	日本高炉	韓国高炉
製 銑 コ ス ト (原材料コスト)	40 (29)	36 (29)
製 鋼 コ ス ト	24	18
圧 延 コ ス ト	18	15
償 却 費	17	33
製 造 コ ス ト 計	100	102
金 利	4	5
販 売 管 理 費	43	9
総 コ ス ト	147	115

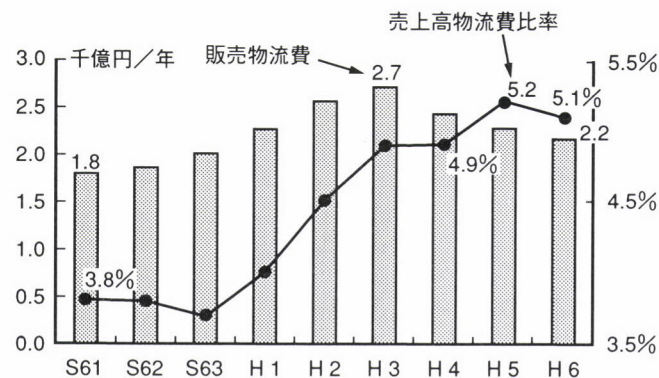
為替レート (\$1=)	125円	788W
1人1時間当り 労働コスト	32ドル	7.4ドル

注1) 日本高炉の製造コストを100とする

注2) 日本高炉の販売管理費には出向人件費、R&Dコストを含む

注3) 償却費、金利、販売管理費については鉄鋼部門の人員比85%で算定

出所：興銀調査265、1994年、
日本興業銀行発行、(p.91)



出所：(社)日本鉄鋼協会 調査検討部会、
「大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦」
1996年8月 (p.101)

図54 売上高に対する物流費の推移

による生産性向上や販売管理部門の合理化努力に加え、図54に示すように改善余地の残されている物流等の周辺部門の経費を削減していくことが必要と考えられる。このような合理化努力、経営努力によって、日本鉄鋼業は、為替変動のもとでも安定した収益を確保できる体制を築くことを目指しているといえる。

表15 アメリカにおける日本鉄鋼業の主な協力事業

	現 地 企 業 名 (設立年)	株 式 (シェア%)	設 備 内 容	製 品 (万ネットt/年)
鉄 鋼 一 貫	ナショナル・スチール (買収1984年)	日本鋼管 議決権利シェア (68) ナショナル・インターグループ等 (27)	鉄鋼一貫	熱延・冷延薄板 表面処理鋼板、ブリキ (合計496)
	アームコ・スチール (1989年)	川崎製鉄 (50) アームコ (50) 1994年春(23)に変更	鉄鋼一貫	熱延・冷延薄板 表面処理鋼板 (合計480)
	USS/コーベ・スチール (1989年)	神戸製鋼所 (50) USX (50)	鉄鋼一貫	棒鋼、鋼管 (合計240)
	インランド・スチール (資参1989年)	新日本製鉄 (13)	鉄鋼一貫	薄板類中心 (合計4,170)
加 工	アイエヌ・テック (I/N Tek) (1987年)	新日本製鉄 (40) インランド・スチール (60)	冷延ミル 連続焼鈍	冷延鋼板 (100)
	アイエヌ・コート (I/N Kote) (1989年)	新日本製鉄 (50) インランド・スチール (50)	メッキ設備	溶融亜鉛メッキ (50) 電気亜鉛メッキ (40)
	カリフォルニア・スチール (買収1984年)	川崎製鉄 (50) CVRD(ブラジル) (50)	熱延ミル、冷延ミル メッキ設備	熱延・冷延薄板 亜鉛メッキ鋼板、鋼管 (合計180)
	L-S エレクトロ・ガルバナライジング (1985年)	住友金属 (40) LTV (60)	メッキ設備	電気亜鉛メッキ (40)
	L-SII エレクトロ・ガルバナライジング (1989年)	住友金属 (50) LTV (50)	メッキ設備 コーティング設備	電気亜鉛メッキ (40)
	ホーリング・ニッシン (1984年)	日新製鋼 (80) ホーリング・ピッツバーグ (20)	メッキ設備	アルミ、亜鉛メッキ (27) 亜鉛メッキ (24)
	PRO・TEC コーティング (1990年)	神戸製鋼所 (50) USX (50)	メッキ設備	溶融亜鉛メッキ (60)
	ヌーコアヤマト (1987年)	大和工業 (49) ヌーコア (51)	電炉一貫設備 形鋼設備	形鋼 (60)

(資料) 各社プレス発表資料および当該会社ヒアリング

出所：(社)日本鉄鋼連盟調査

表16 日本鉄鋼業のアジア進出状況

国名／会社	高炉メーカー					電炉メーカー	
中国(本土)	南通宝鋼新日製鋼有限公司(電炉棒鋼の生産)(94年12月設立)20.0% 広州太平洋馬口鉄有限公司(ブリキの生産)(94年12月設立)25.0% 武漢鋼鉄有限公司(電磁鋼板・技術協力)	渤海能克鋼材有限公司(ドリルパイプ生産)(95年11月)32.6% 福建中日連金属有限公司(ブリキの生産)(95年12月設立)15.0%	江蘇統一糧川馬口鉄有限公司(ブリキの生産)(94年11月設立)4.0% 福建統一糧川馬口鉄有限公司(ブリキの生産)(95年6月設立)4.0%	上海大通鋼結構有限公司(溶接軽量H形鋼の生産)(94年12月設立)14.0% 深圳片倉鋼管件有限公司(冷間引抜鋼管の生産)(93年6月設立)15.0%(関連会社出資) 中山華日鋼管有限公司(スパイラル鋼管の生産)(96年8月設立)5.2%		太原鋼鉄公司(熱延設備の操業指導)(93年～) 天津日華鋼材(電磁鋼板、表面処理鋼板の加工)(96年4月)10.0% 寧波宝甬特鋼冷延有限公司(ステンレス冷延鋼板の生産)(96年9月資本参加)20.0% 長富不銹鋼中心蘇州有限公司(スレンレス主体鋼板加工)(96年9月)35.0%	[東洋製鋼]清陽東洋製鋼有限公司(ピレット生産)(93年7月設立)70%
台 湾			統一実業(ブリキの生産)(85年7月)2.02%		台湾神鋼工具(ドリルの生産)(89年4月設立)54.1%	燁聯鋼鉄(ステンレス冷延・熱延の操業指導)(95年～)	[大同特殊鋼]大特精密模材(TDP)(金型用鋼材の加工)(95年11月)16%
ベ ト ナ ム		マルヴィエナ(亜鉛鉄板の生産)(95年7月設立)5.0%		ベトナム・コーポレーション(継目無鋼管の継ぎ手ネジ切り加工)(95年11月設立)12.6%			[共英製鋼]ヴィナ・キョウエイ・スチール(線材・棒鋼生産)(94年1月設立)45%
タ イ	サイアム・ティンプレート(STP)(ブリキ・ティンフリーの生産)10%(88年8月設立) タイノックス(ステンレス冷延鋼板の生産)(93年2月設立)3.75% サイアム・ニッポン・スチール・パイプ(機械構造用鋼管の生産)(95年5月設立)49.0% サイアム・ユナイテッド・スチール(冷延鋼板の生産)(95年8月設立)24.0%	サイアム・ティンプレート(ブリキの生産)(90年2月設立)4.0% タイ・コートッド・スチール・シート(TCS)(電気亜鉛めっき鋼板の生産)(90年3月設立)26.01% タイ・コールド・ロールド・スチール・シート(TCR)(冷延鋼板の生産)(95年6月設立)11.5% サハピリア・グループ(熱延鋼板技術協力)(96年1月から2年間)	タイ・ティンプレート(TTP)(ブリキ・ティンフリーの生産)(58年設立)8% タイノックス(ステンレス冷延鋼板の生産)(93年2月設立)3.73% サイアム・ユナイテッド・スチール(冷延鋼板の生産)(95年8月設立)7.0%	タイ・スチール・パイプ(構造用管の生産)(64年7月設立)50.0% タイ・スミノックス(電磁鋼板専門サービスセンター)(90年4月設立)40.0% タイノックス(ステンレス冷延鋼板の生産)(93年2月設立)3.73% サイアム・ユナイテッド・スチール(冷延鋼板の生産)(95年8月設立)2.5% タイ・メタル・プロセッシング(高級線材の加工)(96年9月設立)50.0%	タイ・コーベ・ウェルディング(溶接棒の生産)(68年4月設立)36.1% コーベ・ミグ・ワイヤ・タイランド(溶接用ワイヤの生産)(88年9月設立)51%	タイノックス(ステンレス冷延鋼板の生産)(93年2月設立)3.73%	[大同特殊鋼]ダイドールPDMタイランド(金型用鋼の加工)(95年2月設立)10% [山陽特殊製鋼]SKJメタル(ステンレス磨棒鋼の生産)(90年7月設立)33% [大和工業]サイアム・ヤマト・スチール(電炉H形鋼生産)(92年6月設立)33% [日本金属工業]タイノックス(ステンレス冷延鋼板の生産)(93年2月)3.73% [日本冶金工業]タイノックス(ステンレス冷延鋼板の生産)(93年2月)2.33% [合同製鉄]バンコク・スチール・インダストリー(棒鋼・線材生産技術指導)(96年～)
シンガポール					コーベ・ウェルディング・シンガポール(溶接棒の生産)(79年1月設立)62%		
インドネシア	フミラ(亜鉛鉄板、カラー鉄板の生産)(69年8月設立)22.3%	サルマニ・スチール(亜鉛鉄板の生産)(69年10月設立)24.5% イスパット(熱延・操業指導)		ナー・ステンレス・スチールセンター(ステンレス鋼板サービスセンター)(93年7月設立)20.0%			[大同特殊鋼]ディルガムナラ・ヌサドイバ(特殊鋼金型部品) [大同特殊鋼]アストラ・インターナショナル(金型用鋼、金型部品)(92年12月設立)25%
マレーシア	マラヤワタ・スチール(棒鋼・線材の生産)7%		薄板一貫製鉄所FS(年産300万トン)(96年7月～97年3月)				
フィリピン			フィリピン・シンター・コーポレーション(PSC)(焼結鉱の生産)74年12月設立)全額ナショナル・スチール(NSC)(イリガン製鉄所の熱延・冷延鋼板設備技術指導)(96年～) バクノタン・スチール・インダストリーズ(棒鋼の生産)(96年9月設立)13.3%				

出所：(社)日本鉄鋼連盟調査、平成8年12月

2.2.2 アジア鉄鋼業との連携強化

海外投資を含むグローバル化については、海外展開を進めている需要産業が現地で素材調達できるよう、需要産業の進出先の鉄鋼業との関係強化に努める形で進展していった。特に自動車産業の米国への進出に対しては、表15に示すように1980年代半ば以降、米国鉄鋼業への投資、技術提携・技術供与により、日系自動車企業の品質要求に合致した薄板・表面処理鋼板等が現地企業から入手できるよう

対応を図っていった。

1990年代に入ると、本格的アジア進出を始めた家電、自動車、機械産業等の日系企業に対する現地での素材供給や、アジアでの産業発展、鋼材需要増に密着した市場開拓や販売拡大を目指し、表16に示すように中国、台湾、タイ、インドネシア、フィリピン等で、ブリキ、ティンフリー、亜鉛メッキ鋼板、ステンレス冷延鋼板、普通鋼冷延鋼板のような下工程の製品分野で資本参加、技術協力が増加してい

る⁶⁾。

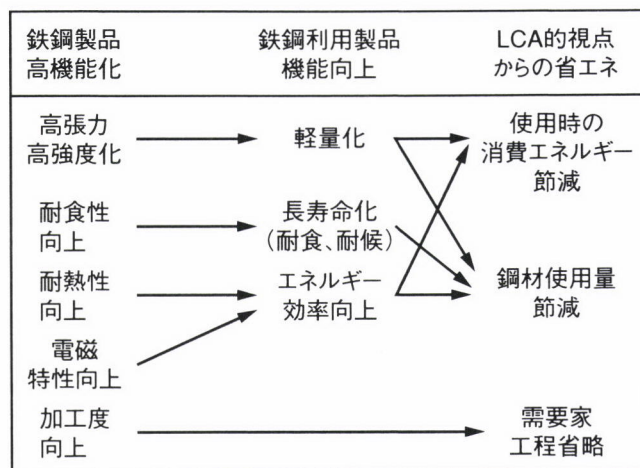
グローバル化が進む中でアジアとの連携は、資本参加、技術協力、素材供給等幅広い分野で進んでいるが、今後は産業基盤の強化につながる品質管理・標準化、設備メンテナンス、人材育成の分野や環境対策の分野でも、連携・協力が拡がり深まっていくと予想される。このような状況の中で長期的視点に立った技術交流・協力のあり方や推進策に関する検討が日本鉄鋼連盟で行われている⁶⁾。

2.3 地球環境問題への対応：環境調和型鋼材による貢献

地球温暖化対策については、本年12月に地球温暖化防止京都会議(COP3)が開催され、2000年以降の排出抑制・削減に関する国際的合意が得られる予定である。第二回で述べたように日本鉄鋼業は、自主行動計画を策定し、炭酸ガスの排出抑制に努力しているが、国際的な枠組み如何では、①グローバルな視野に立った最適原燃料・鉄源供給体制の検討、②新しい製鉄・製鋼プロセスの開発、③鉄鋼利用製品の使用やリサイクルの段階でのエネルギー節約を目指したユーザ産業との連携等による一層の省エネルギー努力が求められる可能性がある。

特に、鉄鋼材料の高機能化は、鉄鋼利用製品の使用段階で、大きな省エネルギー効果をもたらす点で注目されており、前述の自動車のULSABプロジェクトが目指しているような、鋼材の使用、リサイクルの段階での省エネルギー効果を分析・評価し、省エネルギー効果の高い高機能化鋼材を普及させていくことが重要となっている。

このため、鋼材の高機能化による省エネルギー効果の定量的分析が、通商産業省から委託を受けた日本鉄鋼連盟によって行われた。本調査⁷⁾によれば、図55及び図56に示すように製品の軽量化、長寿命化等に資する自動車用・建設用高張力鋼板、ボイラー用耐熱鋼管、飲料缶用薄板等11品種の高機能化鋼材(年間使用量約650万トン)が使用されていることによって、日本鉄鋼業の全消費エネルギーの10%に相当する重油換算で年間500万kl以上の消費エネルギー節約が推定されている。これら高機能化鋼材が最大限普及すれば、更に年間380万klのエネルギー節約が可能となり、強さ、靱性等の品質特性が向上すれば、追加的に年間350万kl以上のエネルギー節約が可能であると分析されている。本分析結果は、高機能化鋼材の普及がもたらす省エネルギーや炭酸ガスの排出抑制効果の大きさを示しており、日本鉄鋼業は、需要産業との連携による経済社会全体を通じた省エネルギーの推進が求められている。



出所：(社)日本鉄鋼連盟
「LCA的視点からみた鉄鋼製品利用の
エネルギー評価」(要約版)、1997年3月

図55 省エネルギーに寄与する鋼材の機能

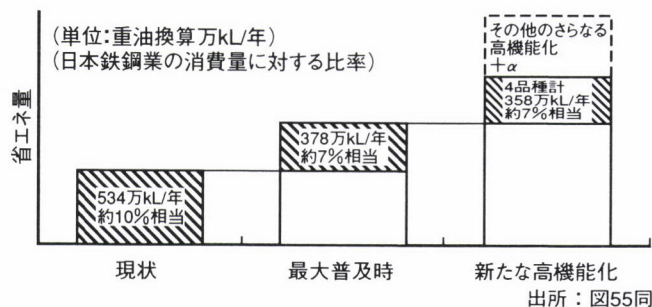


図56 鉄鋼製品の高機能化のエネルギー評価結果

2.4 技術進歩への対応：研究開発・評価における産学官連携強化

技術進歩については、表17に示すように、国際鉄鋼協会(IISI)参加メンバーの中で、日本鉄鋼業は研究開発者の約40%、研究者の約30%を占め、新しいプロセス技術や材料開発に重要な役割を果たしてきている。

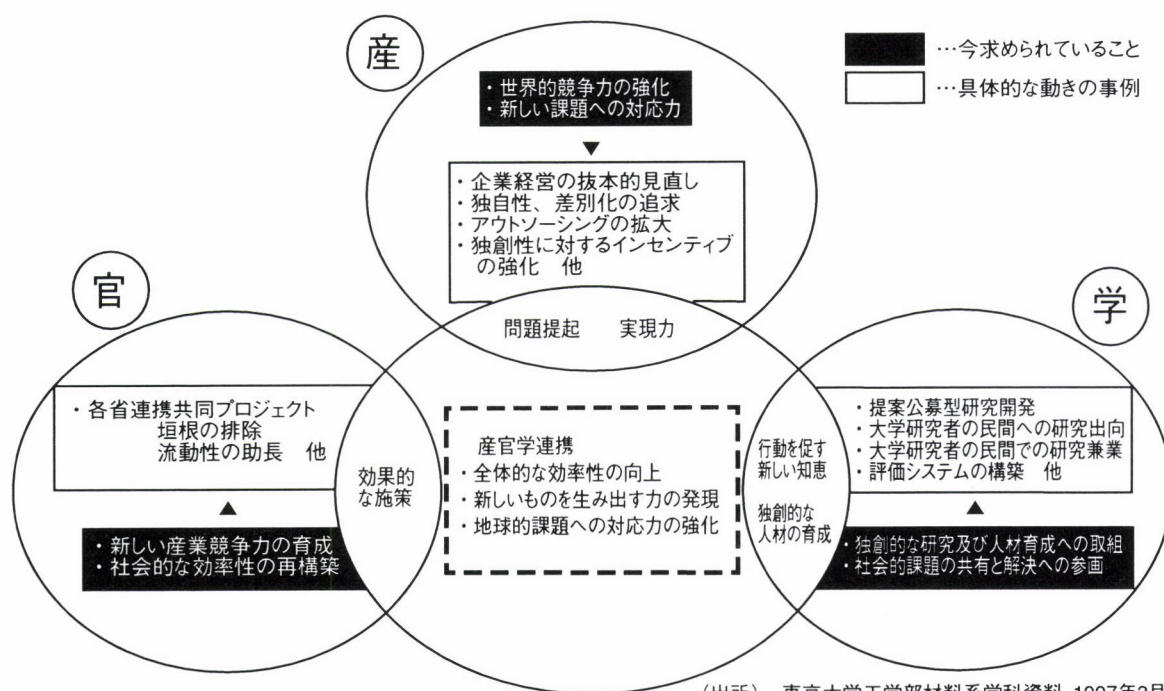
ところで、コスト競争力の回復のためのリストラの推進は、当然のことながら、研究開発部門に対しても組織のスリム化、開発体制の効率化を求めることとなり、過去においては、基盤研究から実用化まですべての開発を自らの研究開発部内で幅広く実施していた日本鉄鋼企業も、大学、国研等の外部の知見を適切に活用することが必要となってきている。

この結果、大学からはアイデアや提案を受けるといった一方的産学の関係から、大学や国研に対し企業の直面している問題点や課題を説明し、問題意識を共有した形で、大学等に基礎的、革新的研究を担ってもらおうという関係へのシフトが生まれており、研究開発分野でもいわゆるアウトソーシングが起りつつあると考えられる(図57参照)。

表17 世界の鉄鋼業における研究開発要員、費用比較（1993年）

国	名	統計 企業数	売上高 (M\$)	粗鋼 (MT)	専任研究者 (人)	研究費 (M\$)	研究費／総売上 (%)	研究者／粗鋼 (人／MT)	研究費／粗鋼 (\$/T)
ドイツ (1992年)	鉄鋼会社 研究機関 合 計	全鉄鋼	28,819	39.70	850	230.0	0.80	21.4	5.79
					270* ¹	250.0* ¹			
					1,120	480.0	1.66	28.2	12.09
イギリス	鉄鋼会社 研究機関 合 計	2	8,295	13.93	518	40.8	0.49	37.3	2.40
					750	193.0	1.45	44.1	11.35
					360* ²	82.0* ³			
フランス	鉄鋼会社 研究機関 合 計	1	13,300	17.00	750	193.0	1.45	44.1	11.35
					360* ²	82.0* ³			
					1,110	275.0	2.06	65.3	16.18
ベネルックス	鉄鋼会社 研究機関 合 計	4	6,239	16.49	352	66.8	1.07	21.3	4.05
					80* ²	27.2* ³			
					432	94.0	1.46	26.2	5.70
スカンジナビア	鉄鋼会社 研究機関 合 計	2	1,986	5.28	152	12.9	0.64	28.8	2.43
					100* ¹	14.0* ¹			
					252	26.9	1.35	47.7	5.09
オーストリア	鉄鋼会社	3	3,114	3.90	87	27.3	0.87	22.3	7.00
イタリア	鉄鋼会社	1	3,814	9.80	203	52.0	1.36	20.7	5.31
米 国	鉄鋼会社	7	21,204	45.75	435	72.3	0.34	9.5	1.58
カナダ	鉄鋼会社	6	5,335	13.24	122	14.2	0.27	9.2	1.07
日 本	鉄鋼会社	7	48,057	66.90	2,244	868.7	1.81	33.5	12.98
韓 国	鉄鋼会社	1	8,619	23.00	446	105.0	1.22	19.4	4.57
台 湾	鉄鋼会社	1	2,349	6.24	95	14.0	0.59	15.2	2.24
イ ン ド	鉄鋼会社	1	1,094	2.48	66	1.8	0.16	26.6	0.93
オーストラリア	鉄鋼会社	1	4,063	7.27	321	32.3	0.79	44.2	4.44
南アフリカ	鉄鋼会社	1	2,523	7.38	107	5.0	0.20	14.4	0.68

出所：(社)日本鉄鋼協会調査検討部会、「大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦」1996年8月(P.155)



新しい社会・経済にふさわしい役割分担とより高次の総合力の発揮

図 57 新しい産官学連携の構築の方向

材料は、当然のことながら開発するだけでなく、利用されることによってその価値が発揮される。新しい材料の利用・普及のためには、試験・評価が不可欠であるが、ユーザの製品に適した試験・評価を行い、開発から利用・普及までのリードタイムを短縮するため、新材料の「開発」と「評価」を需要先と共同で並行して進めていくことが重要となっている。

このため、金属材料の開発・利用・評価に関する情報交換の場として、鉄鋼・アルミ業界、大学、通商産業省、科学技術庁、建設省、運輸省から成る「産学官金属材料フォーラム」がつくられ、本年4月に第1回が開催された。

3 21世紀の日本鉄鋼業の将来展望

本節では、21世紀の日本鉄鋼業の展望として、①グローバル時代の「競争」と「協力」の促進、②アジア鉄鋼業との協力・連携を念頭に置いた人材育成と企業内システムの高度化とグローバル化、③社会ニーズに応じていくための「統合」された素材産業への発展について述べることにしたい。

3.1 グローバル時代の「競争」と「協力」の戦略的展開

21世紀を迎えるとグローバル化が進み、いわゆる「大競争時代」の色彩が一層強まるとともに、地球環境問題がより先鋭化してくると考えられる。従前の「競争」は、一定のビジネス環境下でのコスト競争力、品質・技術開発力、営業販売力を競うものであったが、大競争時代の「競争」は、ビジネス環境の新たな設定や変更を含む、オープンエンドな企業・産業間競争であるといわれている。即ち、将来の企業や産業の発展にとって、必要なビジネス条件を主導的に整え、その条件を先取りした先行者利得を確実なものとする投資、技術開発、標準化、市場開拓、パートナーとの連携を進めていく競争であると言える。

従って、単に需要をフォローしていくのではなく、地球環境問題等の社会ニーズを先取りし、ビジネス環境の整備、企業内システムの高度化、新規需要開拓、優れたパートナーとの連携を進めていくが必要になる。また、ユーザ企業・同業他社との連携をグローバルに進めていくため、「協力」が、「競争」と同様に重要になると考えられる。いわば、「競争(competition)」と「協力(co-operation)」が合体した「協争(co-opetition)」が大切な意味を担うことになる。

大競争時代の下でグローバルな協力を進め、競争力を強化していくためには、日本鉄鋼業の有する人的・技術的ポテンシャルを、最大限に活用していくことが不可欠である。

短期的には近年進めているリストラの成果が現れ、国際競争力が強化されると考えられるが、中長期的には競争力の源泉となっている製造現場の生産性と品質を支えている優秀な人材の退職が進み、老朽化が進む現有設備のリプレースが必要となってくる。このような状況の下で、償却の進んだコンパクトな設備で製造し、コスト競争力を有する後発の製鉄メーカーとの競争に直面することが予想される。

従って、中長期的には、リストラによって得られたコスト競争力がもたらす利益を最大限に活用し、①人材の育成と確保、②効率的で柔軟性に富む企業内システムの導入、③より効率的で競争力の有する環境調和型プロセス・設備の開発、④社会ニーズ・需要産業のニーズを先取りした鉄鋼材料の開発・普及、⑤アジア鉄鋼業との連携・協力の推進を進めていくことが必要である。

3.2 人材及び企業内システムの高度化とグローバル化

このような状況の下で、グローバルな連携を視野に入れた人材と企業内システムの高度化・グローバル化を進めていくことが、日本鉄鋼業にとって必要となろう。

人材活用や企業内システムの高度化については、図58に示すように、①階層型固定組織から柔軟なネットワーク組織へ、②社内外のリソースを効率的かつ機動的に活用でき

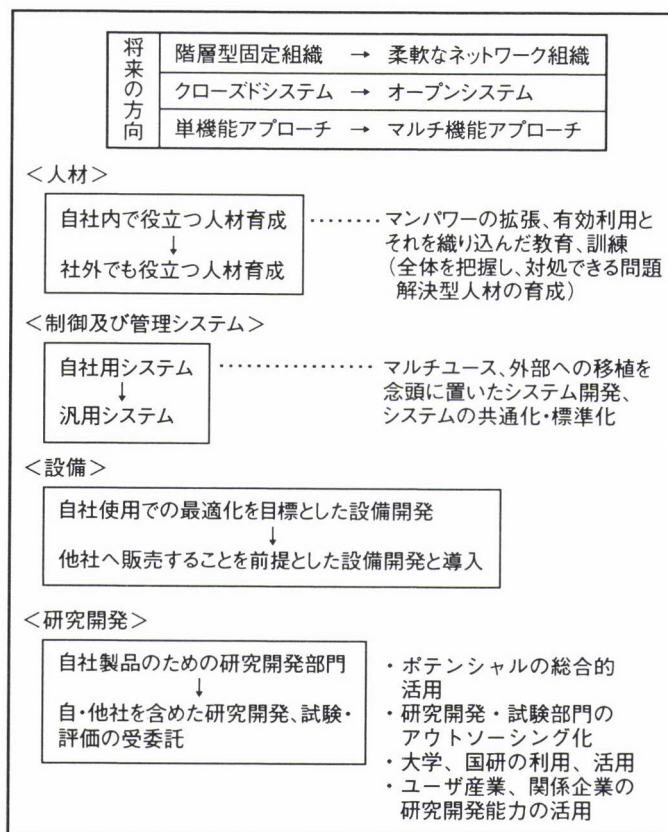


図58 企業内システムの高度化、マルチ化

るオープンシステムへ、③単機能対応型システムからマルチ機能対応型システムへ変化していくと考えられる。

こうした動きの中で、人材育成・活用については、自社内の固有業務に習熟した人材の育成から、多様な複数業務を経験し、幅広い課題に自社外でも対処できる問題解決型人材の育成が重要になると考えられる。現に、一部の製造現場では新人に対し、操業、補修、計測制御部門をキャリアパスとして経験させ、数年後には圧延工程全体を把握し、問題に対処できる人材を育成していくことが進められている。このような人材は、将来における企業のグローバル展開にとっても不可欠であると考えられる。

生産管理、品質管理、環境管理、販売管理、物流・在庫管理等の情報管理システムについては、ISO9000や14000シリーズに見られるような標準化が進み、透明性と外部へのアカウントビリティを確保することによって、業務の一層の効率化が進められると考えられる。これらのシステムについては、経費節減や汎用化のため、開発や保守をアウトソーシング化したり、グローバルパートナーとの連携強化のために、開発成果を活用していくことも考えられる。

また、製造設備、それを稼働させる計測制御システムについても、開発・保守コストを節減するため、自社のみでなく外部への販売や移植を視野に入れたシステムの共通化・標準化が進められると考えられる。これによって、社内の設備導入、更新の際に得られた知見を単に自社の生産性や品質の向上に活かすだけでなく、エンジニアリング部門と連携した技術・ノウハウの供与を通じた収益の向上に結びつけることが考えられる。

ところで、製造プロセスの技術進歩は、新規設備が導入される時に実現され、生産能力の拡大が行われない時期に新しい製造プロセスの開発力を維持することは、容易でないと考えられている。日本鉄鋼業の技術開発ポテンシャルを維持し、有効に活用していく方途として、発展するアジア鉄鋼業とのポジティブ・リンケージを深め、グローバルな人材育成・交流の場として、また、コンパクトで環境に調和した新プロセスの共同実施の場としてアジアとの連携を捉えていくことが考えられる。このようなポジティブ・リンケージは、グローバル化へ対応していく観点からも、またアジアの環境対策を支援していく上からも必要であると考えられる。

鉄鋼材料の開発については、前節に述べた産学官の連携に加え、ユーザとの連携が重要になろう。材料は物質と異なり、使用されることを目的に設計・製造されたものであり、使用と製造に関する情報・ノウハウが重要である。通常、使用に関する情報は需要産業が豊富で、製造・再生に関する情報は供給産業が豊富であるが、使用済製造のリサ

イクル推進が重要になる中で、需要産業にとって、供給側の有するリサイクルに関する知見を最終製品の材料設計に反映させていくことが重要となっている。一方、供給産業にとって需要産業との連携強化は、先進的ユーザニーズを的確に把握する上で大きな意味を有している。このような社会ニーズに応えていくための両産業の研究開発部門間の連携強化は、双方に大きなメリットをもたらすものであり、今後とも更に深めていくことが重要であると考えられる。

3.3 「統合素材産業」としての発展

21世紀における最大の問題の一つである地球環境の保全については、日本鉄鋼業が「統合素材産業（トータル・マテリアル・インダストリー）」を目指すことによって、より大きな社会的貢献を果たすことができると考えられる。この「統合素材産業」とは、かつて提唱された各種素材を製造し、供給するいわゆる素材のデパートとしての総合素材産業とは異なるもので、素材の「ゆりかごから復活・再生まで」のライフサイクルに包括的に関与するという意味で

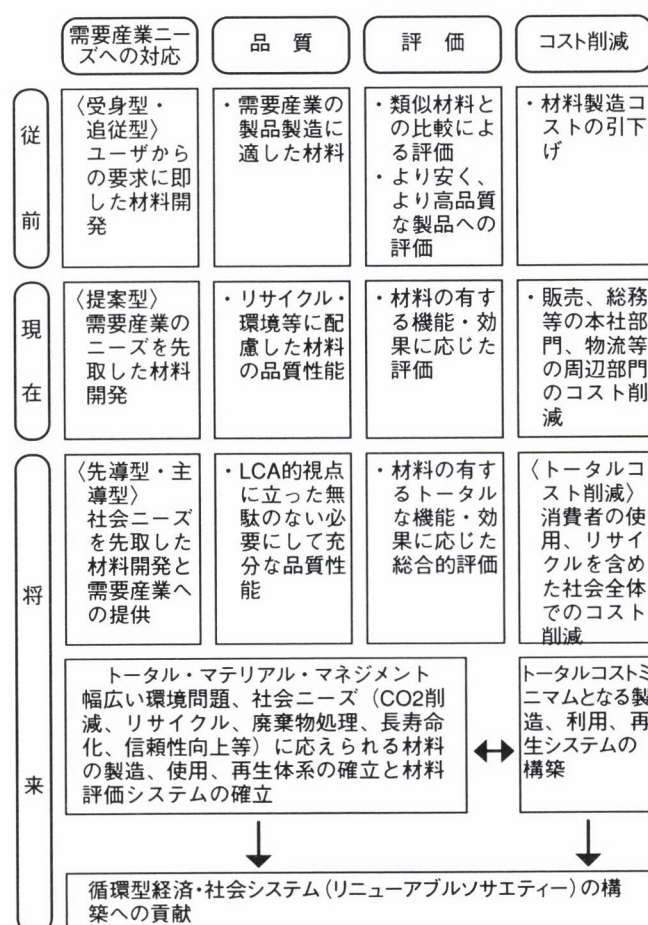


図59 製品提供システムの変化

素材を「統合」する産業である。

経済社会活動に素材は不可欠であり、素材をつくるための、殆どの製造プロセスで炭酸ガスが不可避免的に発生する。従って、素材を効率的に作り、使い、再生する環境調和型システムを構築することが、地球環境問題を解決する有力な対策の一つとなる。素材の消費量の40%を占める鉄鋼材料は、品質特性とリサイクル性によって、環境調和型経済社会システムの中で環境調和型素材として、より重要な位置を占めていく可能性が大きいと思われる。

ところで、素材の環境調和型利用システムの構築は、環境調和型社会を先導できる先進的経済社会で、かつ、これらの経済社会活動に必要な製品を生産できる産業が存在している国や地域でないと困難である。即ち、①環境との調和を志向している消費者・ユーザから成る経済社会、②社会的要請や先進的ニーズに応えられる需要産業と素材産業、③トータルとしての効率性を把握・評価し、環境調和型システムモデルを構築できる学問的ポテンシャルの3つの存在が必要であろう。これらの条件をみると、日本鉄鋼業は素材を通じて地球環境問題の解決に貢献できるポテンシャルと経済社会産業基盤を有しているといえる。

また、地球温暖化に対応して炭酸ガスの発生を抑制していくためには、素材産業と需要産業の密接な連携が不可欠であり、そのためには、ULSABプロジェクトやスチール・ハウスに見られるように、需要産業のユーザニーズを先取りし、いわば、「ユーザのユーザのニーズ」に応える素材を提案していくことが、今後益々重要となろう。その際、リサイクル性や環境保全に配慮した品質性能が重要となり、素材の評価も単に「より良くより安く」という視点ではなく、新しく提案された鉄鋼製品の有する機能や効用に着目した評価やエキストラ体系に重点が置かれていくと考えられる。

そして、図59に示すように、将来はこれらの動きが更に進展し、①素材産業による経済社会ニーズを先取りした材料開発と需要産業への提供、②ライフサイクル的視点に立った、無駄のない品質性能の確保と総合評価体制の確立、③リサイクル、省エネルギーに資する材料の利用・普及に向けて、素材産業と需要産業の連携・協力が進んでいくと考えられる。

その結果として、日本鉄鋼業は、地球温暖化の防止、リサイクルの向上、製品の長寿命化、信頼性の向上といった幅広い社会ニーズに応えられる材料の製造から再生までの過程を包括し、経済性を含め総合的に最適化を推進する「統合素材産業（トータル・マテリアル・インダストリー）」に発展していく可能性を有していると考えられる。

産業の高度化と発展が達成されるためには、①産業自ら

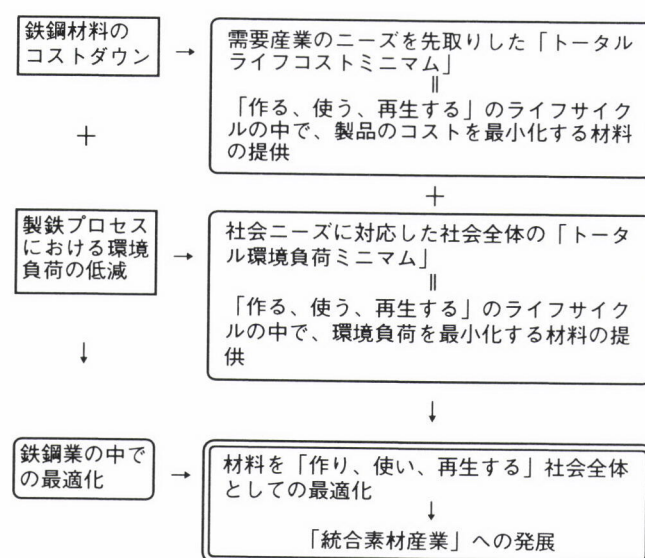


図60 局所最適化から総合的最適化へ

が活性化し、優秀な人材の活用と育成によって、競争力や技術開発力を強化していくこと、②自らの産業活動が社会ニーズに合致し、更に需要を先取りしたものであることの2つの条件を満たすことが必要である。その意味で、生産から再生までを包括した「統合素材産業（トータルマテリアルインダストリー）」への進化という展望は、日本鉄鋼業の発展を具現化する有力な将来像の一つであると考えられる。

高炉メーカーは、事業の多角化の一環として、鉄で培った技術を活かし、新素材産業、総合エンジニアリング事業、都市・住宅関連事業、電力・熱供給等のエネルギー事業、再資源化等の環境関連事業等に進出しているが、これら事業も「統合素材産業」への発展という将来像のもとで、戦略的位置付けと各事業間の連携がより明確になっていくと考えられる。

このような将来像のもとで、図60に示すような日本鉄鋼業の総合的最適化が図られていくと期待される。

「以下 次号に続く」

引用及び参考文献

- 1) (株)日本鉄鋼連盟 鉄鋼技術政策委員会「21世紀へ向けての鉄鋼技術の展望」鉄鋼界、1993年4月
- 2) ふえらむ、Vol.2 (1997) No.5, p.310, (株)日本鉄鋼協会
- 3) 栗山幸久他：「軽量化のための自動車用鋼板」、(株)自動車技術会材料フォーラム「国際競争に勝つ自動車と材料」資料、1996年5月
- 4) 「特集スチールハウス」、鉄鋼界、1997年3月、(株)日本鉄鋼連盟
- 5) 興銀調査、Vol.265「日米鉄鋼業の将来展望」日本興業

- 銀行，1994年 9 月
- 6) (社)日本機械工業連合会，(社)日本鉄鋼連盟：「鉄鋼業における環境産業技術に関する研究報告書」，1997年 5 月
- 7) 通商産業省資源エネルギー庁，(社)日本鉄鋼連盟：「LCA的視点からみた鉄鋼製品利用のエネルギー評価調査」，1997年 3 月
- 8) 調査、第197号，「鉄鋼業の国際競争力を巡る課題について」，日本開発銀行，1995年 3 月
- 9) W. T. ホーガン：「21世紀の鉄鋼業」，(株)日鉄技術情報センター，1996年 9 月
- 10) 通商産業省基礎産業局監修，「次世代の鉄鋼業に向けて」，通産資料調査会発行，1987年10月
- 11) 「鉄鋼業のグローバル戦略」，早稲田大学商学部，(財)経済広報センター編，(社)中央経済社，1994年 4 月
- 12) 十名直喜：「日本型鉄鋼システム」，同文館，1996年 4 月
(1997年 5 月 9 日受付)

展望

生体材料としてのステンレス鋼とチタン合金

浜中 人士 Hitoshi Hamanaka 東京医科歯科大学 医用器材研究所 教授
土屋 利江 Toshie Tsuchiya 国立衛生研究所 療品部 室長

A Review of Stainless Steel and Titanium Alloys as Biomaterials

1 はじめに

医療には多くの材料が使用されているが、体内あるいは生体と接触して使用される材料を生体材料あるいはバイオマテリアルと呼んでいる。さらに、体内に直接埋め込まれる材料は、インプラント材料とも呼ばれている。ステンレス鋼は1920年代には骨折固定用に用いられ、人工材料として本格的に用いられるようになった最初の生体材料であるといえる¹⁾。もっとも当初使用されたステンレス鋼は、いわゆる18-8ステンレス鋼に近いものであったが、長期間体内に埋植するには耐食性が不足したため、幾度か改良が行われた。1960年代には316タイプのものが使用されるようになり、さらに炭素の含有量を低く押さえた316Lタイプが使用されるようになった。316Lステンレス鋼は、現在では骨折固定用の各種金具から人工関節、ワイヤーに至るまで体内のあらゆる部分で使用されており、生体に使用される金属材料としてはもっとも使用量が多い。しかし、316Lステンレス鋼の生体適合性は十分とは言えず、さまざまな改良が続けられている^{2,3)}。とくに問題になっているのは、アレルギー他生体に有害作用があると言われるニッケルイオンの溶出である。そこでニッケル含有量を減らす工

夫がなされているが^{4,5)}、ステンレス鋼の耐食性は基本的にクロムの不動態被膜により保たれており、クロム自体の生体における安全性についても疑問が持たれている。

そのようなことから、生体用金属材料として注目されているのが、チタンあるいはチタン合金である。チタンは1950年代中頃から生体材料として注目されるようになったが、合金化されてないいわゆるCPチタン(Commercial Pure Titanium:商用純チタン)は耐摩耗性が悪く、人工関節に用いると摩耗粉で周囲組織が黒ずむほどになることもあり、一時は生体材料としての評価を落とした時期もあった。しかし、生体に対する安全性という面から、再び注目されるようになってきた⁶⁾。現在生体用金属材料はチタン合金を中心に展開しているが、耐摩耗性を十分に解決できるまでには至っていない。

ここでは、生体材料としてのステンレス鋼とチタンについて、評価および将来を展望してみることとした。

2 ステンレス鋼

表1は、医療に使用されているステンレス鋼についてタイプ別に分類したものである。人体とのかかわり方の違い

表1 ステンレス鋼の種類と医療への主な用途

種 類	代表的組成(重量%)	耐力(MPa)	おもな用途
オーステナイト系			
304	18Cr, 8Ni	205(417*)	医療器具、注射針など
316	18Cr, 12Ni, 2.5Mo, 0.08C	205(414*)	インプラント材料
316L	18Cr, 12Ni, 2.5Mo, 0.03C	175(379*)	インプラント材料
フェライト系			
430	18Cr	333	磁性補綴材料
447J1	30Cr, 2Mo	420	磁性補綴材料
マルテンサイト系			
420J2	13Cr, 0.3C	814	はさみ、メスなど
440B	17Cr, 0.9C	1853	はさみ、メスなど
析出硬化系			
630	17Cr, 4Ni, 4Cu, Nb	1379	クリップなど
631	17Cr, 7Ni, 1Al	1517	クリップなど

*は加工硬化したもの

によって、当然のことながら要求される安全性の基準に違いがある。注射針や治療器具などは、人体と接触する期間が比較的小さいため、衛生面や滅菌に耐えられる必要はあるが、長期間体内に埋植される材料に比べると基準がゆるく、304あるいは304Lが多く使用されている。とくに最近では、感染を防ぐ意味からも使い捨てのディスポーザブル製品が多く用いられており、経済性の点から安価なステンレス鋼が求められている。

体内に使用されるステンレス鋼は、長期間の安全性が要求されるため316あるいは316Lが使用されている。我が国では生体材料に関しての規格はまだないが、ASTM規格⁷⁾では、F139-92のGrade 1とGrade 2がこれらにほぼ相当する。医療関係者の中には、ステンレス鋼といえば磁石につくのとつかないのが2種類があるだけで、磁石につかないステンレス鋼なら耐食性も良く安全であると信じている人が多い。医療関係者からステンレス鋼について問い合わせがあった場合には、体内に使用されるステンレス鋼は台所などで使用されているものとは別で、特別のものであることを忠告していただきたい。

ステンレス鋼がもっとも多く使用されているのは、骨折固定用の金具としてである。骨折の状態によっては、ギブスで外から固める外固定法もあるが、手術により各種の金具を使用して固定する内固定法も行われている。骨髄の中に髄内釘と呼ばれる金属棒を通したり、図1に示すような、プレートと呼ばれる金属板とネジで固定することがある。内固定の場合、手術が終わり傷口が癒えると社会復帰でき、リハビリに要する期間を短くすることができるという利点がある。ステンレス鋼を使用して問題となるのはプレートとネジの頭の接触部分で生じるすきま腐食である⁸⁾。腐食は大部分がプレートとネジの組合わせの部分で起こり、このようにして使用された場合には90%近くが、なんらかの

腐食を生じると言われている⁹⁾。また、長期間使用しているとネジと骨の間にゆるみが生じ、患者が身体を動かすたびにプレートとネジの頭の部分が擦り合わさり、擦過腐食を起こすこともある。腐食が進行すると腐食生成物が周囲の組織に蓄積し、それが原因で線維症や巨細胞反応が起こり疼痛のため取り出したという例は多く報告されている⁹⁾。

すきま腐食は、人工関節においても起こることがありそれが破断につながることもある。図2は10年近く使用している間に人工骨頭と骨セメントの間に剥離がおり、体液が染み込んですきま腐食を起こし、応力集中により亀裂を生じそこから腐食疲労により破断につながった例である。破断面には波状の模様が観察され、腐食疲労による破断の様子がうかがわれる。

フェライト系ステンレス鋼はこれまであまり生体用に使用されていなかったが、最近では耐食性にすぐれたフェライト系ステンレス鋼も開発されており、生体への応用が検討されている。また磁性があるため、磁石を利用した取り外し可能な補綴物に応用できるという利点がある¹⁰⁾。しかし一方では、磁性があるとNMR診断の際にかなり影響が現われることから、使用にあたっては十分注意する必要がある。

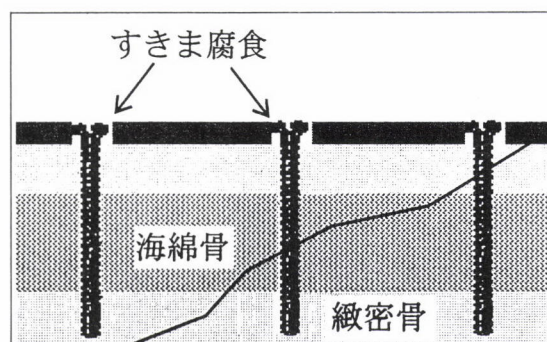


図1 プレートとネジによる骨折の固定の説明図

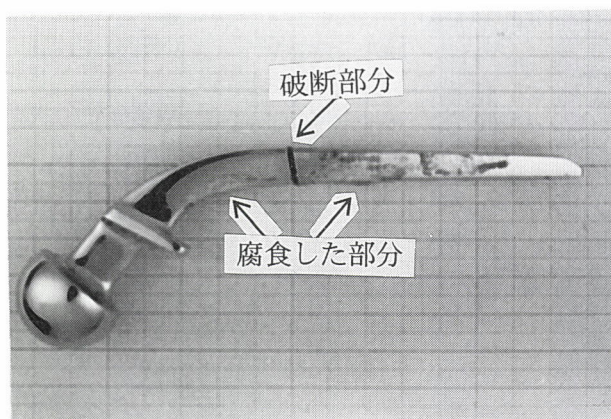


図2 およそ10年間使用し、腐食疲労により破断した人工骨頭と破断面

3 チタン合金

チタンは耐食性および生体適合性に優れ、比重がステンレス鋼のおよそ半分であるなどインプラント用金属材料としての重要性がますます高まっている。チタンはクロムと違って、純金属のままでも延性があり生体材料としての使用が可能である。ASTM規格では表2に示すように、合金化していないCPチタンは1種から4種まで分かれている⁷⁾。現在までのところ、チタン合金の中で生体用としてもっとも使用量が多いのはTi-6Al-4V合金である。表2において、F136-92のTi-6Al-4VELIとF1472-93のTi-6Al-4Vがある。しかし、Alについては骨の成長阻害やアルツハイマー型痴呆の原因になるのではないかという疑いが持たれている^{11,12)}。また、金属バナジウム上で細胞培養すると強い毒性を示すことから、生体に有害作用があるのではないかという疑いが持たれている^{13,14)}。そのようなことから、バナジウムの代わりにニオブを含んだTi-6Al-7Nbが開発され¹⁵⁾、ASTMにはF1295-92として取り上げられている⁷⁾。その他にもTi-13Zr-13Nb¹⁶⁾、Ti-5Al-2.5Fe¹⁷⁾、Ti-15Zr-4Nb-4Ta-0.2Pd、Ti-15Sn-4Nb-2Ta-0.2Pd¹²⁾、Ti-Zr合金¹⁸⁾などが生体用チタン合金として開発が進められている。

チタン合金は耐食性および生体適合性に優れた材料であるが、耐摩耗性があまり良くないのが欠点である⁶⁾。チタンは常温では最密六方格子であるが、この結晶構造は異方性が強いので特定の結晶での剥離が起こり易い。人工関節においては、摺動部分の摩耗が問題になっている¹⁹⁾。現在ではチタン合金製の人工骨頭とHDP (High Density Polyethylene)あるいはUHMWPE (Ultra High Molecular Weight Polyethylene)とよばれるポリエチレンが使用されることが多いが、チタン合金の表面に傷がつくと、それが相手側

に引っ掻き傷を作り、摩耗粉を生じるとそれが研磨材の役割となります。摩耗が進行することになる。骨頭表面を、窒化処理あるいはイオンブレーティングにより硬化させる方法も行われてきたが、表面のごく薄い層だけの改良であり、長期間の摩耗に十分耐えられないということで、チタン合金をあきらめ再びコバルトクロム合金に逆戻りしたメーカーもある。骨頭の球状部分だけセラミックスにする方法も行われているが、今度はセラミックスとチタンの間で摩耗を生じるという問題もある。いずれにしても耐摩耗性の優れたチタン合金の開発が重要な課題である。

4 ステンレス鋼とチタンの安全性

生体材料は長期間生体内に埋植されると、構成元素はイオンとなって体内に溶出し、血液や体液によって運ばれ、一部はふんや尿あるいは毛髪などにより体外に排出されるが、人体のすべての部分に影響を及ぼす。図3は周期率表からみた金属元素の有害作用を示したものである²⁰⁾。金属イオンは臓器毒性、発ガン性、催奇形性、アレルギー性など我々の体に有害作用を引起くことが多い²¹⁾。しかし一方では生命の維持活動に必須の元素も多く、たえず食物から摂取し排出しているものもある。ニッケルイオンはアレルギーを引起く原因となりやすいなど、生体に有害作用のある元素として知られているが、以外に思われるかもしれないが、健康な人の尿中には10~20ppbのニッケルイオンが含まれており、不足するとニッケル欠乏症になる。単純計算すると一日約2~4mgのニッケルを摂取し排出していることになる。しかし、食物から摂取する場合と体内に金属材料が埋植された場合とでは別物であり、体内に埋植した材料からイオンが溶出することは良いことではない。

生体に使用される316Lステンレス鋼をはじめとして、耐

表2 ASTMにおけるインプラント用チタンおよびチタン合金の不純物元素濃度と耐力

種 類	不純物元素濃度(重量%)					耐 力 (MPa)
	N	C	H	Fe	O	
Unalloyed Ti(F67-95)	Flat	Product				
Grade 1	0.03	0.10	0.015	0.20	0.18	170-310
Grade 2	0.03	0.10	0.015	0.30	0.25	275-450
Grade 3	0.05	0.10	0.015	0.30	0.35	380-550
Grade 4	0.05	0.10	0.015	0.50	0.40	483-655
Ti-6Al-4VELI (F136-92)	0.05	0.08	0.012	0.25	0.13	795以上
Ti-6Al-4V (F1472-93加工材)	0.05	0.08	0.015	0.30	0.20	825以上
Ti-6Al-4V (F1108-92鑄造材)	0.05	0.10	0.015	0.30	0.20	758以上
Ti-6Al-7Nb (F1295-92)	0.05	0.08	0.009	0.25	0.20	800以上

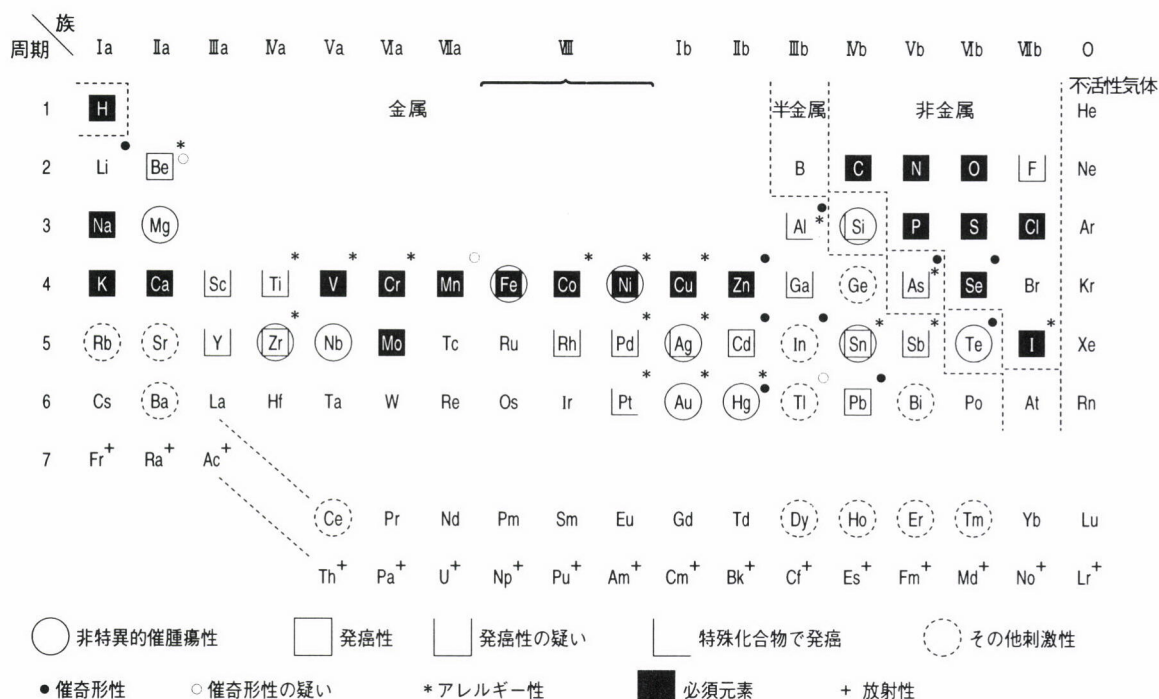


図3 周期率表からみた元素の生体に対する為害性

食性にすぐれ加工性のよいオーステナイト系ステンレス鋼はいずれもアレルギーの原因となりやすいニッケルを含むという欠点がある。そこで生体用に使用されるステンレス鋼には、ニッケルフリーあるいはニッケルの含有量を極端に減らす研究も続けられている^{4,5)}。しかしいくらニッケルを減少させたところで、ステンレス鋼の耐食性は基本的にはCrの不動態化に依存しており、ステンレス鋼を生体用に使用するかぎりFe-Crの二元系における生体適合性の検討が不可欠であると思われる。ところがステンレス鋼の生体為害性については、臨床的な指摘は数多いが基本的な研究はあまり行われていない。我々はステンレス鋼の基本的な組成であるFe-Cr系について、クロム含有量を10%Cr、15%Cr、20%Cr、30%Cr、100%Crと段階的に変化させた鉄-クロム合金の金属板を作製し、ラットの背部皮下に埋植し検討した。10%Crというのはステンレス鋼の範疇に入らないかも知れないが、比較のために作製したものである。100%Crとしてはアルゴンアーク溶解によりクロムの塊を作り、丁寧に切り出し研磨したものである。インプラント材料として実際に使用されている316Lステンレス鋼についても比較検討した。このような実験を行なう場合重要なのは、クロムは必須元素としてもともと生体中に含まれており、金属板を埋植したための変化かどうかを見極めるためきちんとした対照群を準備することである。そこで我々はまったく同じ条件で手術はするが、金属板を埋め込まない対照群を準備し、金属板を埋植した群とまったく同じ条件で手

術を行ない、飼育した。

埋植後は、一般的状態および成長の度合の変化を観察したり、定期的に尿中の金属イオン濃度の測定を行なった。埋植後2-3週間すると金属板からのイオンの溶出により、尿中のイオンの排せつ量が多くなる。とくに低クロム合金群は、高クロム合金群より排せつ量が多い傾向が認められた。Feイオンの尿中への排せつ量は、Cr排せつ量変化とはほぼ同様に推移する。これは低クロム合金は耐食性が劣るため、それだけイオンの溶出量が多いことと関連するものと思われる。4ヶ月飼育後に屠殺し、胸腺、脾臓、肝臓、および腎臓を取り出し、各々の臓器重量の測定や、病理組織学的検索、臓器中のイオン濃度の定量を行った。図4～図6は、それぞれ血液中、腎臓中および肝臓中のクロムイオン濃度を示したものである²²⁾。Feイオンはもともと血液中に多量に含まれているため、金属板からの溶出による影響かどうかほとんど判別できず、各群間での差はほとんど認められなかったためここでは省略した。Crも生体中に含まれており、金属板を埋入しなかったものからも当然のことながら検出されるが、金属板を埋植することによってCrイオン濃度が若干変化する。血液中においてはSUS316L(18%Cr)および20%Cr-Fe合金においてCr濃度が高い値を示した。腎臓中においては15%Crがもっとも高い値を示し、肝臓中においては10%Crがもっとも高くなり、20%CrやSUS316Lにおいても30%Crよりも高い値を示している。

金属板埋植部位の病理学的検索では、Crを含む合金はい

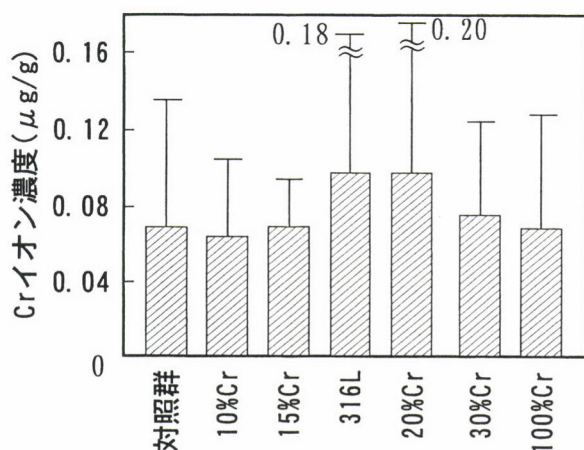


図4 4ヶ月間埋植したラットの血液中のCrイオン濃度

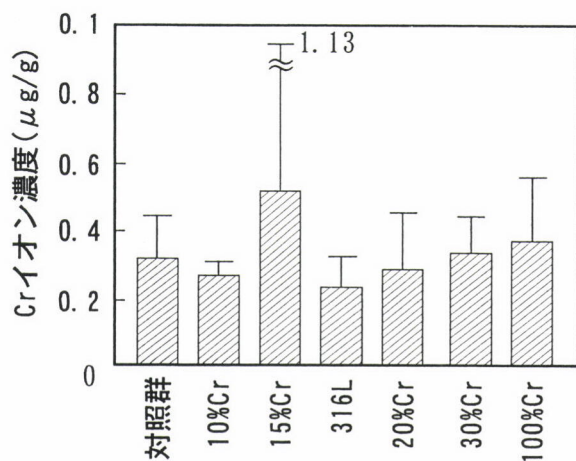


図5 4ヶ月間埋植したラットの腎臓中のCrイオン濃度

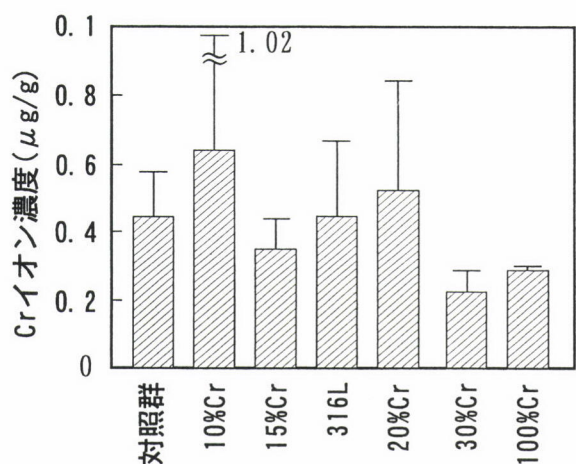


図6 4ヶ月間埋植したラットの肝臓中のCrイオン濃度

いずれも埋植部位の組織反応は強く、周囲に約170μm程度の線維性被膜(註: 医学用語では繊維ではなく線維と書くため、ここではそのまま使用した)が形成され、イオン濃度は他の部分よりも高い値を示す。被膜の厚さは10%Cr群と20%Cr群でやや厚い傾向が見られた。各々の臓器の病理組織学的検索の結果、肝臓、腎臓、脾臓および胸腺において、特に毒性所見は観察されなかった。アレルギー反応が起こるかどうかはパッチテストと称して皮膚の一部にそのイオンを含ませたものを張り付けるが、K₂Cr₂O₇溶液を用いたパッチテストの結果は、100%Cr群およびSUS316L群以外の群では、一部の動物において弱い皮膚反応を示し、クロムに対して感作が成立している可能性が示された²³⁾。すなわちクロムを含む合金を埋入したり触れたりするとアレルギー反応の可能性があるということである。

チタンは耐食性にすぐれた材料であり生体に対する安全性が高い材料であると見なされてきた。実際に、骨にチタンをインプラントすると、骨とチタンとは直接骨癒合が起こるほどの生体親和性を示すことが知られている。しかし、チタンといえども長期間の間にはイオンとして溶出する^{24,25)}。現状ではチタンは生体親和性が良いというだけでそれ以上のことについてはあまり知られていない。

そこで、我々はチタンの生体に対する安全性についても基礎的な研究を行っている。Fe-Crと同様な方法で比較検討を行っているが、チタン板を長期間埋植すると、血液および各種臓器において、チタンイオン濃度が有意に高くなっていることが認められている。またチタン板の周囲の組織反応はクロムよりは弱い周囲にリンパ球の浸潤が認められている。またチタンはイオン化すると為害作用を引き起こす。例えばチタンイオンは細胞毒性を示したり、軟骨分化において障害作用を示すことが判ってきた²⁶⁾。しかし、チタンからのイオンの溶出量が少ないため、チタンの感作性はCrおよびNiよりも弱く²⁷⁾、非常に希である。チタンの生体に対する安全性は、現在生体用に使用されている他の金属材料よりは優れているが、将来にわたってもまったく問題がないとは言い切れない。そのようなことから、さらに安全性に優れた生体用金属材料の開発が求められている。

5 ステンレス鋼とチタン合金の将来展望

以上見てきたように、現在生体用に使用されている金属材料にはいろいろな問題点がある。316Lステンレス鋼は、生体用として重要な役割を果たしているが、生体中に長期間埋植された場合、耐食性および生体適合性が十分とは言えないと思われる。そこで生体用に改良されたステンレス鋼の研究が行われているが、ステンレス鋼の耐食性を改良

するには30%Cr程度のかかなり高Crとなり、加工性がかなり悪く実用上問題があると思われる。また、Crには感作性の疑いがあり、それ以上の高Crステンレス鋼が実用可能になったとしても、ステンレス鋼は基本的にはCrの耐食性に依存しており、Cr感作性の疑いが持たれている。

そのようなことから、現在では生体用金属材料はしだいにチタン合金に移行しつつある。しかし、チタンといえども生体中においては徐々にイオンが溶出する。これがどのように生体に影響するかについては現在のところ判ってなく、恐らく為害性は少ないであろうというのが現在の考え方であるが、安全性は絶対的なものではない。また、現在骨折の固定用には、おもに合金化されていないCPチタンが使用されているが、2種相当のものが使用されているため、臨床家からはチタンは弱すぎるという意見をよく聞くことがある。Ti-6Al-4V合金を使用すれば強度の問題は解決されるが、弾性率についてはチタンあるいはチタン合金はステンレス鋼のおよそ半分であり、骨折の初期固定などのように剛性を必要とする部分では不利になる。また、人工関節においてはTi-6Al-4V合金が多く使用されているが、そのままでは耐摩耗性が不十分である。そこで摺動部分には窒化あるいはイオンプレATINGが行われているが、一度表面に深い傷が付くと、そこを起点に摩耗が急速に進行するという問題が生じている。チタン合金の耐摩耗性についてはまだ十分に解決されてなく、今後の重要な課題となっている。

このように、チタンおよびチタン合金は生体適合性という点ではステンレス鋼より優れているが、臨床家の使い勝手という点ではまだ解決しなければならない問題も多い。これは、現在生体用に使用されているチタン合金は、工業材料から転用したに過ぎず、生体用に開発されたものは少ない。今後は、生体使用を目的としたチタン合金の開発が続くものと考えられ、これらの問題も徐々に解決されるものと思われる。その他にも生体用金属材料にとって重要な課題は、生体と材料の間をいかにうまく力学的に結合させるかということである。骨のミネラル成分であるアパタイトを金属表面にコーティングする方法も盛んに行われているが、金属とアパタイト間の結合が問題になる。そこで、チタンの表面にカルシウムイオンを注入し、生体との親和性を増す研究も行われている^{28,29)}。

6 おわりに

金属材料は、人工材料としてはもっとも古くから医療用に用いられてきたが、ステンレス鋼という優れた材料があったため新しい材料開発が遅れた感がある。文明の進化

に伴い人間の体も変化しており、これまであまり問題にならなかったアレルギーなどがクローズアップされるようになってきた。生体で使用される金属材料についても、その変化に対応せざるを得なくなっており、これまでステンレス鋼で十分間に合っていたものが、より安全性の高いチタン合金が求められる時代になってきた。医用材料はグラム単位で扱われるため、これまで金属系の企業はあまり注目してこなかったが、付加価値の高い分野でもあり積極的な参入が求められている。

参考文献

- 1) D.F. Williams: Implant in surgery, ed. by D.F. Williams and R. Rolf, W.B. Saunders Co. Ltd., (1973), p.1
- 2) E. Smethurst: Biomaterials, 2(1981), p.116
- 3) J. Karov, B. McDougall and I. Hinburg: Transaction of the 5th World Biomaterials Congress, (1996), p.479
- 4) X. Sun, A. Ino, S. Okayama, T. Tateishi and A. Hoshino: Transaction of the 5th World Biomaterials Congress, (1996), p.479
- 5) D. Brune and G. Hultquist: Biomaterials, 6(1985), p.265
- 6) D.F. Williams: Biocompatibility of Clinical Implant Materials ed. by D.F. Williams, CRC Press, 1(1981), p.9
- 7) Annual Book of ASTM Standards, Section 13 Medical Devices and Services, 1995
- 8) B.C. Syrett and E.E. Davis: Corrosion and Degradation of Implant Materials, ed. by Syrett B.C. and Acharya A., ASTM STP 684, (1979) p.229
- 9) E.J. Suttow and S.R. Pollack: Biocompatibility of Clinical Implant Materials ed. By D.F. Williams, CRC Press, 1(1981), p.45
- 10) 田中貴信: 磁性アタッチメント, 医歯薬出版, (1992) p.1
- 11) R.A. Yokel: Toxicol. Appl. Pharmacol., 79 (1985), p.121
- 12) 岡崎義光, 伊藤喜昌, 立石哲也, 伊藤敦夫: 日金属学会誌, 59(1995), p.108
- 13) T. Hamada: Experientia, 50 (1994), p.49
- 14) 伊藤喜昌: 特殊鋼42-11(1993), p.23
- 15) R.M. Streicher, H. Weber, R. Schon and M. Semlitsch.: Biomaterials, 12 (1991), p.125

- 16) S.B. Goodman, J.A. Davidson, V.L. Fornasier and A. K. Mishra: J Applied Biomater, 4(1993), p.331
- 17) U. Zwicke and J. Breme: J Less-Common Metals, 100(1984), p.371
- 18) E. Kobayashi, S. Matsumoto, H. Doi, T. Yoneyama and H. Hamanaka: J Biomed. Mater. Res.,29(1995), p.943
- 19) M.A. Kahn, R.L. Williams and D.F. Williams: Biomater, 17(1996), p.2117
- 20) 佐藤温重: 第10回歯科チタン研究会抄録集, (1997), p.1
- 21) 土屋利江: 細胞培養, 17(1991), p.22
- 22) 土屋利江, 五十嵐良明, 中村晃忠, 内間高夫, 土居 寿, 米山隆之, 浜中人士: 第16回日本バイオマテリアル学会予稿集, (1994), p.86
- 23) Y. Ikarashi, T. Tsuchiya, A. Nakamura, K. Toyoda, M. Takahashi, H. Doi, E. Kobayashi, T. Yoneyama, and H. Hamanaka: Transaction of the 5th World Biomaterials Congress, (1996), p.10
- 24) 米山隆之, 土居 寿, 浜中人士: 生体材料, 11(1993), p.71
- 25) R.J. Solar, S.R. Pollack and E Korostoff: Corrosion and Degradation of Implant Materials, ed. by B.C. Syrett and A.Acharya, ASTM STP 684(1979), p. 161
- 26) T. Tsuchiya, A. Nakamura, E. Kobayash, H. Doi, T. Yoneyama and H. Hamanaka: 1st Meeting of Tissue Engineering Society Abstract, (1996), p.24
- 27) Y. Ikarashi, J. Momma, T. Tsuchiya and A. Nakamura: Biomater., 17(1996), p.2103
- 28) T. Hanawa and M. Ohta: Biomater., 12(1991), p.767
- 29) T. Hanawa, H. Ukai, K. Murakami and K. Asaoka: Met. Trans. JIM, 36(1995), p.438

(1997年4月7日受付)



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 灼骸回顧 —コークス技術抄史 1945-1965

石川 泰

Yasushi Ishikawa

新日鐵化学(株) 社友

Historical Aspects of the Cokemaking in Japan 1945-1965

プロローグ

1945年8月、第2次世界大戦が終結し、日本の経済は壊滅した。極東委員会並びに連合軍の対日占領政策は、既に壊滅的打撃を受けていた日本の重工業に対し、「日本の潜在的戦争能力の完全排除」と「経済の民主化」を主眼として行われた。1946年8月にはGHQ（連合軍総司令部）より鉄鋼13社22工場に対して賠償指定が行われた。財閥解体が命じられ、持株会社整理委員会条例が公布され、さらに過度経済集中排除法により日本製鉄を始め13社が分割が指示された。

8年間にわたる戦争は国内の全ての機能を疲弊させ、国民は食糧難、住宅難、全ての物資の不足に喘ぎ、さらには精神的にも虚脱感を味わった。

この中で、1946年12月、経済安定本部を中心に計画された経済危機突破政策が、いわゆる「傾斜生産方式」であり、鉄鋼、石炭ならびに化学肥料の超重点増産計画である。鋼材を石炭部門に供給し、石炭を鉄鋼部門に重点的に投入し、相互に両者の生産の復興を図ることであった。この間、八幡製鉄所から筑豊炭鉱へ従業員を送り、石炭増産を応援するような努力も行われた。この傾斜生産方式は、戦後の復興に最も効果的な政策であったと評価されている。

戦時の最盛期の全国粗鋼生産は1943年の765万トン、銑鉄生産は1942年の426万トンであり、高炉の稼働基数は37基を数えたが、1945年の終戦当日には高炉12基の稼働、そして1946年秋には、八幡の3基を残すのみとなっていた。因みに、1945年の銑鉄生産は98万トン、粗鋼生産は196万トン、さらに1946年の銑鉄生産は僅か20万トン、粗鋼生産は56万トンに低落していた。

1947年6月、鉄鋼用重油の輸入許可、年末には、EROA資金（占領地復旧資金）による鉄鉱石並びに原料炭の輸入が開始され、傾斜生産方式は顕著な効果を上げた。一年後の1947年の石炭生産は3000万トンに迫り（戦時の最盛期

5000万トン）、粗鋼生産は209万トン、銑鉄生産は35万トン記録し得た。

こうして国民生活の危機的状況を徐々に脱していったが、折しも世界は、東西両陣営の対立が強まり、米国の対日、対独占領政策は、徐々に緩和の方向をたどり、欧州ではMarshal Planが発表されるにいたった（1948年6月）。日本では賠償指定が解除された（1949年5月）。

1950年2月、鉄鋼各社の技術者からなる日本鉄鋼協会の鉄鋼調査団が米国に受け入れられ、戦中、戦後の世界から隔離された10年の先進技術の空白を埋める機会を得ることが出来た。

日本経済は、1948年12月GHQの指示による経済安定9原則により強いデフレ政策を実行中であり、それまでの対日援助は廃止され、また輸入貿易も民間に切り換えられるなど、高い外貨のもとで、不況に呻吟していた。

1950年6月に勃発した朝鮮戦争は、世界の政治・経済関係を大きく変え、日本経済は新たな路線を歩むことになる。

粗鋼生産量は、1949年340万トン、1950年530万トン、1951年672万トン、1952年691万トンと伸び、1953年には803万トンと戦時の最盛期の765万トンを一気に凌駕した。

1951年9月8日の旧連合国48カ国とのSan Francisco講和条約調印により、貿易立国の方向が確立し、鉄鋼業がその基盤となり、世界に鉄鋼新時代を画した千葉、戸畑、和歌山等に始まる新製鉄所建設を進めて行くことになる。

遠隔地の良質の原料炭と鉄鉱石を効率的な輸送により、長期契約による安定供給を図った事が、日本鉄鋼業の発展の第一の根拠である。これにより、大型高炉の高効率生産が可能となり、銑鋼一貫製鉄所の大量生産を可能とした。

戦時中の空白を埋めるため多くの技術を導入し、改良し、大型化、大規模化し、また固有の技術も開発した。

戦後の10年間、20年間のこの時期に、祖国の復興と発展を担って、深く思考し、遮二無二行動した先人の貢献は、貴重であり、畏敬である。

この度、日本鉄鋼協会が、「戦後の復興・発展期（終戦から昭和30年代まで）の鉄鋼製造技術の推移を想起し、先人の貴重な体験と技術の変遷を記録に留めること」を企画したことは意義深い。この時期の鉄鋼製造技術を記述した書物、解説、記録は意外に少ない。

特に高炉用コークスの分野は、鉄鋼会社以外にガス会社、化学会社更には子会社による製造にまで及んでいるので、短期間にかつ、限られた誌面に、波瀾の時期のコークス技術史を記すことは大胆に値する事を知覚しつつ筆を起こした。

焦土のコークス工場

1944年8月20日、八幡製鉄所が第2次空襲に見舞われた。洞岡の第2コークス課区域は500ポンド爆弾35発を被弾し、コークス掛の6名が殉職した。第4コークス炉（黒田式複式炉75門）は炉中央部に被弾した。全面休止したその他のコークス炉は、7日後に生産を再開し、被弾した第4コークス炉の修理は47日間を要して、57窯を復活再開した。

1945年年初、高炉用コークスを生産していたコークス炉は全国で12工場、32炉団、1815門が数えられる。空襲は逐次激化し、主要工業地帯、大都市、更には全国の小都市に到るまで、大量の焼夷弾攻撃により消滅していった。釜石、室蘭など数都市が艦砲射撃を受け破壊された。その結果、8月15日の終戦の日の稼働コークス炉は15炉団に減少していた。その後、さらに原料炭の不足、枯渇、従業員の不足の為、逐次休止してゆき、1946年末の稼働コークス炉は、僅か7炉団となった。

休止した冷えたコークス炉は、炉体保護のため、炉蓋の目張り、浸水可能箇所のセメント・モルタルの塗布、金物類へのグリース塗布、防水対策に努めた。

1947年の傾斜生産方式による経済復興の効果が上がり始めるとともに、各コークス工場で、休止コークス炉の復旧再開が図られた。

突発休止したコークス炉の再開作業は大工事である。八幡洞岡第1コークス炉では、窯内コークスの掘り起こしから始め、炉敷煉瓦の取替え、炉蓋フレームの全面的据替え等、延べ作業人員は5000人に及んだ。炉壁の湾曲した窯は、湾曲の限界を25mmに抑えるため、燃焼室6本即ち12本の炭化室壁の積み替えを実施した。このコークス炉の復旧方法で特記すべきは、冷却の結果、煉瓦の収縮により生じた目地切れ及び亀裂は、再度の昇温によって膨張し、密着することを確認し、実行したことである。1948年7月に加熱再開したこの炉（3.5m炉、75門）は、狙い通り正常な操業状態に復帰し、その後23年間順調に稼働し、戦時の4年間を合

わせて合計27年に及び、製鉄量702万トン記録し、使命を果たし炉命を全うした。

広畑においては、戦争末期には石炭の入手が困難となり、コークス炉2炉団の通常操業が不可能となり、1945年春から分散蒸し込みの軽作業を行い、遂に第一コークス炉はbankingに到った（徐冷期間150日）。第2コークス炉は最低操業後1946年夏休止した。

第1コークス炉は1951年4月、炉体昇温の再火入れを行い、6月操業を再開した。十分な冷却期間を取り休止し、設備保全に相当な配慮を行ったにもかかわらず、4年間の休止は、炉体と機械類に大きな損傷を与えた。炭化室の煉瓦積み替え（75室中15室）、蓄熱室の目地押し（端室より2-3室を全炉）、炉体付属金物の整備全般等8カ月間の大工事であった。再開後操業は安定せず、西半炉団は段階的に休止し、東半炉団は7年間稼働した。戦時の稼働と合わせて13年間の炉命であった。

第2コークス炉は過酷な軽操業と突発停止のため、損傷著しく、再稼働できず、改修に入った。広畑では、第3コークス炉が1940年に完成していたが、火入れは行われず、10年間待機状態にあった。この炉は1950年に炉手当ての上火入れし、13年間稼働した。

日本鋼管では1945年7月、扇町コークス工場が被爆した。第1コークス炉は500ポンド爆弾の直撃を受けた。既に石炭が不足して50%以下の極度の低稼働率になっていた、第2、第3コークス炉もこの空襲により休止に到った。終戦の日に稼働していたのは、大島第4コークス炉のみであった。1949年第2コークス炉（黒田式複式40門）の復旧を行った。湾曲して傾いたバックステーを切り、修正してリベットで止め、端フリーの煉瓦を積み替え、目塗りドアを装着する窯口煉瓦を積み替えた。3窯を埋め窯として擁壁とし、先ず40窯中15窯を復旧、火入れし、数カ月後に更に19窯を復旧した。煉瓦の大亀裂は、モルタル押しをし、小亀裂は加熱再膨張による密着を図った。再開後、水平導溝に貧ガスを入れる時の爆発が恐かったと当時を回顧した証言がある。この炉は12年間順調に稼働した。

第3コークス炉も同様に復旧再開したが、直撃弾を受けた第1コークス炉は再開できなかった。大島のコークス炉は、乏しい石炭を集めて、終戦前後も休止すること無く、既に高炉は総て止まっていたにも拘らず製鉄を続け、鋳物向けにコークスを出荷して苦境を凌いだという。

この様にして、1948年以降、終戦前後に休止したコークス炉の再開が行われた。室蘭仲町、釜石、東京ガス末広等10炉団が逐次修理し、生産を再開した。残りの10数炉団には再開の機会が与えられることは遂に無かった。

炉の復旧に当たり、ソール・フリーにまで人が入り、

丹念に目地押しをした例も見られた。

休止したコークス炉の再開に関する実績は、同じような社会状況におかれたドイツにも多くあるが、休止時の冷却状況と休止中の保守の程度により、復旧の方法は異なるとはいえ、コークス炉は、その状況を正しく判断し、適正な修理を行えば、経済性は別として、正常な状態に復旧されるのである。先年、1990年に、室蘭第5コークス炉半炉団が、3年間の休止後、再開されその技術は高く評価されたが、戦後の過酷な条件下で再開されたこれらの経験と技術が、役立ったのは申すまでもない。

2 原料炭の変遷

1947年末に始まった原料炭の輸入は、GHQの管理下で鉱工品貿易公団により行われ、配炭公団により国内炭と同等価格で製鉄業に配分販売された。輸入先は、樺太、中国、米国、インドであった。1948年度124万トン、1949年度114万トン、1953年度には300万トンに達した。一時期を除き米国炭がその大部分、80%以上を占めている。1953年の原料炭の使用量578万トンの構成は、国内炭286万トン、輸入炭293万トン(内米国炭242万トン)で、一時的ではあったが国内炭を凌駕した。

戦前の輸入炭は、中国炭が過半量を占めていたが(1927-1936年平均65%、1937-1945年平均52%)、1950年以降は、米国炭が日本鉄鋼業のベース・コールになったのである。このことが日本の鉄鋼の大躍進の最大原因の一つであると言っても過言ではない。

米国炭の高品質は、日本のコークス技術者にとって驚嘆であった。灰分、揮発分、水分、特に粘結性の高さは、明治以来常に苦悩の種であったコークス品質の問題を一気に解決の方向へ向けた。

コークスの品質は急激に改善された。灰分は20%前後から10-12%に低下し、潰裂強度は80-90%前後の大きな幅から、91%以上の安定した領域に入った。イオウ分も0.7%以下に低下した。この結果、高炉の操業は安定し、コークス比の著しい低下とともに、出鉄量は増加した。1949年以前の全国平均のコークス比は常に1000kg以上であったが、1950年に初めて901kgを記録し、以降1954年度756kg、1958年度664kg、そしてoil injection開始の前年の1961年度には598kgをマークするに到る。

ベース・コールが米国炭になったこの頃から、コークス技術は大きな変化を必要とした。原料炭配合の基本的な手法の開発であり、石炭事前処理設備の変更である。

既に粗鋼1000万トン台となった1956-1958年には、増大する原料炭需要を満たすため、また遠距離輸送の米国炭価格

の負担を緩和するため、豪州の既存炭(Port Kembla積みとNew Castle積み)が米国中揮発分炭の代替として輸入を開始された。更にカナダ、ソ連Kuznetskからの輸入も開始された。1967年からはポーランド炭も購入された。そして1962年の最初の長期契約である豪州QueenslandのMoura炭、1965年の最初の開発輸入となるBlack Water炭へと展開し、日本のコークスの原料炭配合は多彩に変遷し、原料炭種は更に多様化の一途を辿った。

国内の石炭は、戦後復興のバロメーターとして、一途に増産の道を歩み、1957年には戦後最高の出炭量5225万トン(過去)を記録した(過去)の最高記録は1940年の5631万トン)。Suez動乱終焉後、重油価格の安定により、産業界において高価格の石炭から重油への転換が急速に進むことになる。1962年以降政府と石炭業界は炭鉱のscrap and buildを進めてゆくが、度重なる人身災害を伴う大規模のガス爆発事故により、石炭は価格競争力を回復することはなく、1970年以降急速に衰退の一途を辿っていった。

原料炭としての国内炭の使用量は1960年代に増加して、1967年には1000万トン(過去)を記録した。配合割合は粗鋼規模の拡大により30%に下がっていた。国内炭の使用量のピークは1972年度の1002万トンであった。

1973年度において、わが国の鉄鋼生産はピークに達した。粗鋼生産1億2002万トン、銑鉄生産9093万トン(過去)を記録し、原料炭の使用量は6538万トンに達した。国内炭は976万トンの高水準であったが配合比は既に15%に低下していた。豪州の相次ぐ新規開発炭が輸入され、豪州のQueenslandの良質強粘結炭がベースコールになって行く。

このような1970年前後の急激な鉄鋼生産の増加に対して、炭鉱の新規開発が追従できず、1970年には原料炭の価格の高騰を招いた。それ以前の原料炭平均輸入価格はトン当り15-16US\$であったが、1970年度20US\$、1971年度21US\$に上昇し、更に1974年度以降、oil shockにより100\$以上に及ぶエネルギー高価格時代に入った。

原料炭の輸送は進化した。10000海里もの遠距離の米国炭は従来、C&F契約により、外国船によって輸送されていたが、1960年代にはいり、既に実現していた鉄鉱石同様、邦船の石炭専用船を登場せしめ、1965年以降は豪州の新規炭をはじめ、米国炭に到るまで、その多くをFOB契約とし、船型の大型化により輸送費を逡減する事が出来た。

日本の原料炭の需給並びに配合が最も安定し、且つ品質的にも恵まれた時代は、1960年代であった。1959年から1968年の10年間のコークスの品質は、コークス灰分9-10%、潰裂強度DI₉₀は92%以上、%Sは0.6以下、配合炭の粘結性は高く、揮発分も安定していた。この為、コークス炉を大型化することが出来ると共に、安定した操業を行うことがで

きた。また新しい石炭配合理論が芽生え、多様な炭種に対応したブレンド技術が確立し、石炭事前処理技術も進歩した。高炉は大型化され、年々出銑量、出銑比、燃料比、コークス比の記録を更新した。この様に、high levelの原料炭配合と、高品位の鉄鉱石の供給に恵まれて、10000T/Dの高炉の企画、建設に到ったのであった。

3 石炭事前処理

石炭の事前処理は、コークス炉に装入する原料炭の性状を適正化、効率化することであり、また特別な目的を持った処理でもある。前者は洗炭と粉碎であり、本来炭鉱において、出荷前に十分な洗炭と粉碎(大塊の)が行われるべきであるが、それが不十分であるため、製鉄所のコークス炉前で実施されねばならなかった。後者は、コーライト配合コークス法、配合粉碎、スタンピング法、オイリング法、バインダー配合法、成型炭配合コークス法等であり、原料炭の配合特性を最も効果的にし、コークスの品質を向上せしめ、また劣質炭の利用技術として開発された。

3.1 洗炭

明治の創成期以来、全てのコークス工場に洗炭機が設置された。初期はすべての石炭を洗炭したが、国内の炭鉱に洗炭機が普及するにつれ、中国炭がその主対象となった。戦後は中国炭、インド炭及び初期入荷の米国炭の洗炭を行った。

洗炭機は、Luerich Type, Jicker Type, Humbolt Type, Robinson Typeなどあるが、最盛期はドイツのBaum式洗炭機が多く装備された。

Baum式洗炭機は、石炭を多室式U字管状の洗炭水槽に導き、圧搾空気により網上で上下攪拌を行いつつ石炭とボタを連続的に分離し、灰分を低下させる。

1950年代に入り、洗炭の必要性は低下し、1957年には全国のコークス工場の洗炭機は、殆ど休止した。

3.2 コーライト配合コークス法

1929年、高揮発分弱粘結炭の北海道炭のみによる良質な高炉用コークスの製造法として、下村博士により発明されたX炭法がコーライト配合コークス法である。室蘭において、数次に亘る製造テストと高炉操業テストを経て、1936年、実用化された。

本プロセスは、VM40%前後の殆ど粘結性の無い粉炭を、外熱式ロータリーキルンに於いて、予熱釜(200℃予熱炭)と乾溜釜(450-500℃)の二段の低温乾溜を行いコーライトとする。発生ガスは、冷却後吸収塔を経て、タール、揮発

油、中油、重油等を回収した。コーライトはVM20-25%、灰分17-20%、であった。戦時中は、コーライト配合(10-20%)コークスは潰裂強度が低いため小型高炉(225T/D)のみに使用した。

戦後生産再開後、1949年には、コーライトを0.3mm以下に微粉碎し、15-25%を北海道炭に配合し、潰裂強度80%の良質なコークスを得、700トン高炉に使用することができた。1951年米国炭の輸入が順調になるとともに、本法は品質および価格の点で競争力を失い、1951年8月、休止した。同36年から1951年の間、良質原料炭の供給の困難な時期に、この国産の技術は所期の成果を上げた。コーライトの生産量は合計約60万トン記録している。

3.3 配合粉碎技術

ヤード-ベルト輸送-配合ビン-秤量-混合-粉碎-ベルト輸送-装入炭槽-コークス炉という現代の配合粉碎工程の原型は既に大正時代に行われていた。秤量方式の改善と粉碎機の改良は逐次行われたが、1950年頃までは大きな変化はない。1953年に新設された千葉のコークス工場においても、在来の粉碎・混合の目的のDisintegraterが配合槽後に設置されている。

1955年以降、硬質、難粉碎性多不活性質の原料炭である豪州、ソ連、カナダ炭が輸入されると、これに耐える強力な粉碎機が必要とされた。国内炭は軟質で粉碎が容易であり、また新たにベースコールとなった米国炭も粉碎性は良好であった。1959年戸畑において、impeller breakerを導入し、以後全国各コークス工場で一斉に採用された。100-200T/Hであった粉碎能力は350T/Hに増大し、又同じ頃採用されたhammer crusherも400T/Hの大型機に拡大されてゆく。この様に粉碎機の能力の強化と原料炭の破碎特性、更には粉碎粒度と各銘柄のコークス化特性との関係の解明が進歩した。

粉碎と配合のライン構成は、それまでの配合-粉碎に加えて、一次粉碎機を入れ、炭種毎の粉碎を行うようになった。この一次粉碎-配合-二次粉碎の配列をとった選炭設備が多い。1960年代後半には、石炭の粉碎特性に応じて、炭種のグループ別に粉碎する系統別粉碎方式も現れた(1968年君津)。

1950年代まで、粉碎粒度は-3mm指数で80%台、一部の工場で更に粉碎度を上げた例もあった。1955年以降の硬質炭の入荷とともに、粉碎粒度のコークス化性に及ぼす研究が進み、後述の城理論と呼ばれる原料炭配合の基本概念に基づき、炭種毎の粉碎の目標が、コークス品質と生産性の向上のため設定された。一例として、

1) L米炭は微粉碎する。Bitumen(粘結成分)の均一分散効

果。

2) 国内炭特にhigh VM、高流動性の夕張系は粗粉碎。過粉碎による装入密度の低下の防止。

3) 豪州（当時の）とカナダ炭は粗粒のコークス化が悪いので極力微粉碎する。

粉碎の考え方は全国各工場で多少考え方に差があった。

この頃、わが国の炭種別の粉碎の考え方に大きな影響を与えたのがフランスにおいて開発されたSOVACO法であった事は否めない。選択粉碎である。SOVACO法は、1951年、USINOR社のBurstlaineにより開発され、実機化されたLorraine地方の石炭に適用した選択粉碎法である。Thionville 製鉄所のコークス工場は、90T/Hの6基の電熱篩と粉碎機により原料炭の性状に従い、3mm、2.5mm、1.5mmの3種に粉碎し、配合した。篩の目詰まりを防止するため、原料炭に重油が添加された。

日本で、SOVACO法が採用されたのは、和歌山の湿式SOVACO法(1970年)と、鹿島の乾式SOVACO法であったが、前者はやがて成型炭配合法に変わり、後者は粉塵問題で数年後に休止に到った。

1959年、戸畑のコークス工場の選炭工場(この時、従来の洗炭は選炭にその名を変えた)は、石炭ヤードのスタッカー・ジブローダー方式、ロードセンターによる石炭輸送制御等の斬新な選炭設備であった。

1954年、広畑では、原料炭の入船毎の品質変動と船内変動を減少させるため石炭ヤード内coal beddingを実施し、品質変動の抑制に成果を収めた。1967年、水島は大々的に原料炭のyard blendingを実施した。因みに、広畑、水島付近は降雨量の極めて少ない地域である。

3.4 オイリング技術

原料炭の粉碎粒度を上昇させた結果、コークス炉に於ける装入密度が低下し、コークス生産性の低下が発生した。その対策として、装入炭に重油を添加し、嵩密度を上昇させるオイリング技術の開発（八幡東田）と界面活性剤添加による嵩密度の上昇を図る技術（大阪ガス）が開発、実施された。当時、重油添加0.1%、または界面活性剤0.05%添加により、嵩密度3-5%の上昇、コークス潰裂強度 DI_{10}° で0.3-0.5%の上昇の効果が認識されている。

3.5 成型炭配合法

高価な米国炭を節約し、国内炭の使用を促進するため、コークスの強度を補う手段として、全ての装入炭を成型機にてbriquetteにして、装入密度をあげる方法が考案された。1965年、八幡・洞岡コークス工場において、共同研究（通産省、日本鉄鋼協会、石炭協会、鉄鋼9社）として、装

入炭全量を成型してコークス炉へ装入する実機試験が行われた。コークスの強度の向上と生産性向上が認められたが、binder無しの成型であったためbriquetteの強度が低く、搬送中の破損が多く、実機化へは到らなかった。

成型炭配合法が実機化されたのは、1971年の戸畑であり、装入炭の約30%をpitch等のbinderを添加し、強固なbriquetteとして、配合、装入した。コークス強度は DI_{10}° で1.0%、 DI_{10}° 2.5%の向上が報告され、その後全国8コークス工場に実施され、1980年代に非粘結炭、微粘結炭の使用を強く押し進める原動力となった。

新日本製鐵から特許実施権を得た住友金属は、1975年和歌山において成型炭配合法を実施し、後にASP（Asphalt Pitch）をバインダーとする成型炭配合法（Sumicoal System）を開発し、鹿島でも実施した。

3.6 装入炭乾燥法

今日多くのコークス工場で普及拡大しつつある装入炭乾燥法は1967-1970年の間、新技術開発事業団との共同研究として福山で試験を行った。水分を9-10%から5%に低下させた。この設備を流用し福山では、乾燥炭装入を実炉で継続したが、炉の天井と上昇管基部のカーボン付着が増加し、粉炭のキャリーオーバーの増加によるタール品質劣化の問題があり（当時タールのsuper decanterは未設置）、成型炭装入法の導入とともに中止した。

4 石炭配合理論の展開

1950年代まで、コークスの強度を決定する要素は、粘結成分(Bitumen)であるとした所謂Bitumen説によっていたが、八幡製鉄の城博の石炭配合の基本的概念が、1947年頃に示された。これは石炭の持つ粘結成分と熱的に不活性な繊維質部分の組合せがコークス強度を現出する。更に繊維質の強弱によりコークスの質は変化するとし、各種の石炭を実験してCaking Index、CIにて表現した。即ち石炭のコークス化性をその石炭化度と粘結性によって評価し、具体化したのであった。

石炭の加熱時の挙動、即ち流動性や膨張性を測定して、粘結性を研究したのは1950年代である。そして流動性と揮発分の組み合わせにより、石炭のコークス化性を評価し、また配合を決める方法である。これによりコークスの強度の推定も行われた。

石炭の組織分析が行われ、Vitrinitの反射率を測定し、石炭化度として用い、最高流動度と対比して、石炭の評価法を更に進めた。

1961年に、米国のN. Shapiro等の研究により、石炭の組

織分析によるコークス強度推定法が発表された。石炭の微細組織成分群 (Vitrinit, Exinit, Inertinitの3種) を分析し、石炭の最高流動度との関係図を作り、原料炭としての石炭の評価を行う。更にこれを石炭の加熱性状、即ちコークス強度要素と対比し、配合毎のコークス強度の推定を試行できる。SI-CBI (Strength Index-Composition Balance Index) Diagramである。

粗鋼生産の急速な伸びによる、原料炭の使用量の増大と多様化は、これ等に基づく石炭配合理論の展開により、購買する原料炭の評価と原料炭配合の決定に進展を与えた。

1950年代のコークス工場における、原料炭配合の決定は、各銘柄毎の工業分析と単味炭のコークス化特性(ボタン指数、CI、Gieseler Plastometer, Dilatometer等) から凡その配合案を作り、缶焼きテストを行い配合計画を決定した。更に1/4ton試験炉と電気炉にて各原料炭の単味炭と配合炭のコークス強度特性が研究され、データが蓄積されていた。

5 コークス炉

1950年の日鉄解体に続き、1951年には銑鉄の価格統制、配給統制が撤廃され、高炉4社(八幡、富士、日本鋼管、小倉製鋼)の平炉向け銑鉄はフリーマーケットになった。この為、平炉メーカーは銑鉄の供給を安定させるため、自ら高炉を持ち、銑鋼一貫体制を目指すことになる。川崎製鉄は千葉製鉄所を創設し(1953年)、住友金属は先ず小倉製鋼を併合し(1953年)、更に和歌山製鉄所を建設する(1961年)。神戸製鋼は神戸製鉄所を作り(1958年)、日新製鋼は呉製鉄所を建設した(1962年)。八幡、富士、日本鋼管の3社は高炉を増強した。

1951年から1955年の産業合理化審議会の第1次合理化計画の結果、製鋼能力は16%の増に対し、出銑能力は294万トンから629万トンへと倍増した。1965年には、高炉稼働基数は34基に達し、コークス炉は24炉団が稼働するに到る。

5.1 コークス炉の建設と増強

わが国のコークス炉は、明治中期の釜石、八幡、室蘭に導入された洋式製鉄法に伴い、ドイツ、フランス等から室炉式コークス炉を輸入した。それらは、Beehive式、Haldy式、Solvay式、Coppée式、Koppers式、Otto式等のコークス炉であった。炉容は徐々に大型化され、熱効率も上昇し、また副産物の回収が可能になっていった。

コークス炉の型式は、英国、ドイツ、フランス等、各国、各地域の石炭の性状に適合すべくコークス炉が考案され、改良され、発展してきた事が、その歴史に示されている。

1916年、明治以来の導入と模倣の時代を経て、日本の石

炭に適合する黒田式コークス炉が黒田泰造に依り考案され、1920年、八幡東田第三コークス炉(100門)として操業を開始した。更に1935年、大野宏により大野式コークス炉が考案され、1938年、八幡洞岡第五コークス炉(75門)として火入れされた。これが日鉄式複式コークス炉である。因みにこの炉の寸法は、400W×4,000H×12,400Lであった。排気温度は低く、乾溜熱量は低下し、炉体は堅固で、作業性も改善された。そのため室蘭、釜石、広畑、尼崎、東京ガス、大阪ガス、更に清津と兼二浦にも建設、操業された。

戦争末期に入った1944年末、高炉は30基稼働しており、これに対応するコークス炉は31炉団が数えられた。その炉型式を見ると、日鉄式15炉団902門(49%)、黒田式12炉団750門(41%)、Otto式2炉団140門(8%)、Koppers式44門(2%)であった。

八幡への鉄鋼傾斜生産方式による復興の開始後暫くして、各製鉄所で生産が再開された。休止したコークス炉は逐次再開され、また新コークス炉が建設、火入れされた。

1953年、川崎製鉄・千葉製鉄所が戦後初の銑鋼一貫製鉄所として建設され稼働した。当時の緊迫した資金事情から、コークス炉は建設費の節減を強いられ、たまたま休止していた北海道の滝川化学(株)のコークス炉(Otto単式)並びに移動機械全てをスクラップとして購入し、解体して千葉に再建された。解体に当たり、母材に傷を付けぬようリベットをガスで丁寧に取り、全部品を千葉に輸送したと伝えられている。煉瓦だけは新たに購入し、Otto社の図面によりNew Otto複式炉(55門)として築造、再現された。従業員も多くが滝川から千葉に移り採用され、作業技術、洗炭、配合、タール技術も滝川の技術であったという。又広畑にて、従業員の訓練が行われた。こうした大変な労苦の末、戦後初の新コークス工場は操業を開始した。

この第一コークス炉は、順調に稼働し、1975年まで22年間、窯出11,666本/窯、製骸量606万トンを記録した。

1958年稼働の第二コークス炉(New Otto式60門)は、移動機械に大きな進歩が見られた。押出機はtwin driveの門型とし、levellerを高速化し、炉の表裏の連絡装置に超短波無線を採用した。石炭装入車は鳴崎式cone feederにより給炭時間を短縮し、消火塔は鳴崎式自動消火装置を採用して、無人化した。その他油圧リフター、thrustor brake、集中給油方式、等の新機能が試みられた。

1960年1月稼働の千葉第3高炉対応の第三コークス炉(74門、New Otto式)は、わが国のコークス炉として、初めて炉高4米の壁を破り、4,160mmHとした。僅か煉瓦一枚の積み増しにしか過ぎないが、コークス炉の大型化に対するコークス技術者の意欲を示した。

1959年9月に操業を開始した戸畑は、大型高炉(1603m³)

のコークス需要に対応するため、コークス炉のdimension, 特に炉高は4 米のままで、炉門数を96門に飛躍的に増加させた。即ち窯出し本数は、従来の最大120本/D程度から一気に140本/Dに増加した。コークス炉稼働率は146%である。この頃、日本の戦時中の世界から隔離された技術の遅れが、戦後10年にして追いつき、特に機械、電気、制御、計装の分野で著しく改善されつつあった。戸畑のコークス炉には、これらの技術を取り入れ、炉蓋脱着及び移動機械の高性能化が図られ、特に油圧機器の導入がこの高い窯出し本数を実現したのである。

この第1 コークス炉は、1978年の合理化休止まで19年間稼働し、820万トン製鉄の記録を作った。同型の第2 コークス炉は、1988年の炉寿命を残した合理化休止までに、1190万トン、窯出本数2A炉13491本、2B炉13291本の記録をマークした。

1960年の第2 高炉—第2 コークス炉に続く、第3 高炉—第3 コークス炉（1962年稼働）の企画が、1960年初めに行われ、日鉄式コークス炉の大型化の提案がコークス技術部門から提起された。しかし実現は無かった。

コークス炉のdimensionは、原料炭性状と強い関係があり、特にわが国の原料炭配合は、欧米に比し揮発分が高く、収縮率が高い。これがコークスの品質とコークス炉の熱分布制御に大きく影響することを危惧したからである。

『わが国の原料炭性状から見て、炉幅400mm、炉高4,000mmが品質上最適である。』と言う、戦前からのコークス炉技術指針は余りに強かった。特にこの時は、初の豪州炭の長期契約の準備段階の時期にあたり、原料炭性状の先行きに確信の持てない時期、即ち過渡期にあった為、この逡巡は止むを得なかったのかも知れない。

日鉄式コークス炉の大型化は、1961年室蘭仲町3CO (BFG 単式73門)が4600mmを実行した。burnerのBFGとAirとの会合を遅らせる構造とし炉高方向均一加熱に配慮した。本格的な大型化は、八幡において実験炉(多段燃焼試験炉)の建設、試験を開始し、その実現は1968年の君津の第一コークス炉まで待つことになる。

日本鋼管では1952年、被爆した扇町第1 コークス炉に代わり、新炉を建設した。TN式複式炉74門(東京ガス—NK K式、Koppers type)であった。1960年大島第5 コークス炉(80門)を同じTN式で新設した。

5.2 コークス炉の大型化

1960年代に入り、高炉の大型化と高出鉄比により、建設されるコークス炉は一斉に大型化に向かわねばならなかった。1961年以降に建設された主たるコークス炉のdimensionを火入れ順に列記すると以下の通りである。

1961	室蘭仲町	3CO	日鉄	73門	410×4,600×13,200
1962	水江	1CO	Otto	86	400×4,500×13,770
1963	大ガス塚	1CO	DG-Otto	100	450×4,500×13,700
1964	広畑	4CO	D.K.H	70	450×5,000×13,000
1964	千葉	5CO	C.Still	92	460×5,910×14,850
1965	和歌山	3CO	Koppers	76	450×5,000×14,620
1966	福山	1CO	Wilputte	94	430×5,100×14,540
1966	関熱扇町	1CO	Koppers	40	450×5,000×14,620
1967	水島	1CO	C.Still	78	435×6,456×15,750
1968	名古屋	3CO	C.Still	100	435×5,910×15,750
1968	君津	1CO	新日鉄M	90	450×5,500×15,700
1969	坂出	1CO	N.Otto	100	430×6,000×15,430
1969	和歌山	6CO	Koppers	106	450×6,000×16,500
1969	福山	3CO	Wilputte	104	430×6,500×15,430
1969	水島	3CO	C.Still	86	435×6,706×15,750
1970	名古屋	4CO	新日鉄S	50	435×5,920×15,670
1970	戸畑	5CO	新日鉄M	110	450×6,000×15,700
1970	加古川	1CO	Koppers	60	450×6,500×15,560
1971	鹿島	1CO	S-Koppers	154	460×7,125×16,500
1971	君津	4CO	新日鉄M	92	430×6,500×15,700
1972	大分	1CO	新日鉄S	78	440×5,625×14,930
1973	坂出	2CO	C.Still	100	432×6,915×16,880
1973	三井鉱山	1CO	Koppers	92	430×7,125×16,500
1973	千葉	6CO	C.Still	102	435×6,706×15,750
1976	扇島	1CO	C.Still	124	450×7,550×17,220

上記の中で、1 炉団の装備門数が著しく異なるのは、コークス炉1 炉団の呼称を、1 チームの作業単位としての1 炉団と、或いは炉配置上の構成単位としての1 炉団等、会社ごとに呼称単位が異なるからである。

コークス炉の製鉄量は、次式に依って表される。

$$\begin{aligned} \text{炉団製鉄量 (T/D)} &= \text{一窯当たり製鉄量} \times \text{一日当り窯出本数} \\ \text{一窯当たり製鉄量} &= \text{炉幅} \times \text{炉高} \times \text{炉長} \times \text{装入密度} \times \text{歩留} \\ \text{一日当り窯出本数} &= \text{装備門数} \times \text{稼働率} \end{aligned}$$

$$= \text{装備門数} \times (24 / \text{炭化時間})$$

$$\text{炭化時間} = C \times (\text{炉幅})^n$$

$$n, c: \text{定数}$$

但し炉温限界一定とする

炉高を高くした場合、燃焼室の垂直方向の均一加熱を如何に実現するかである。高い炉高に対してはその分だけ熱を上部に与えねばならず、反面高い炉高では炭柱の全収縮量(焼き減り)が大きく、炭化室頂部空間が乾溜末期に大き

くなり、過熱によるカーボン・トラブルの原因となる。即ち上熱と下熱のdilemmaである。、言わばAntinomie、二律背反とも言える。コークス工場とコークス炉メーカーは、これに対処するため、2段バーナー(Wilputte)、多段燃焼(Otto, C. Still、新日鉄M)、排ガス循環(Koppers)、taper corn(Koppers)、独立型上部加熱焔道(Sumitomo-Koppers)等の新しい方式を貧ガスと富ガスのそれぞれに応じて適用した。コークス炉の燃焼挙動は、極めて経験的な要素が強く、炉の設計も試行錯誤の繰り返しであったと言える。

炉幅が増加すると、炭化時間は炉幅の1.7-2乗に比例すると長い間認識されていた。このexponent, nはフリー温度の限界と炉壁厚みと熱伝導率等によって変化し、今日ではかなり低下している様である。

この炉幅の関係から、コークス炉の一炉団製熱量-設置門数-最高稼働率-押し出し本数の関係が広い解をもつ。一炉団製熱量一定であれば、1チームの窯出し本数の限界に見合う最大稼働率を得る狭い炉幅を選び、設置門数を少なくして投資効率を上げる事が出来る。他方最大製熱量を得るためには、炉幅を大にして稼働率を下げ、設置門数を多くして、窯出し本数の限界に入れることになる。

こうして1963年以降、最大製熱量を得る必要性のために、430-460mmの炉幅が挑戦的に採用された。先に述べた如く、原料炭は既に良質で且つ安定しており、かつて危惧したコークス品質の問題は殆ど起こらなかった。

炉幅の拡大は、押し出し抵抗を緩和し、押出機のラムとレベラーを太く強固に出来(炉長の延長の対策)、巨大化する炭柱を容易に処理した。又、上昇管径が大になり、大量の発生ガスを吸引し得た。

炉長の延長は、各フリーへのガスの適正な分配に更に配慮された。underjet、多層式ソールフリー、バーナー口径配列調整、スライド煉瓦等である。

炉の内容積は、4m炉の21m³から飛躍的に上昇し、15年後には60m³(扇島1CO)に到る。一窯当たりの製熱量は、約10トンから31トンに増加したのである。

日本のコークス炉の大型化の過程は、その型式に見る如く、世界有数のコークス炉メーカーが競合する巨大なマーケットになった。D.K.H, Otto, Koppers, C. Still, Wilputteの各社である。国産技術は日鉄式(後の新日鉄M式)と富士式(後の新日鉄S式)であった。特に黒田泰造、大野宏以来伝統ある日鉄式が戸畑2期計画に於いてその大型化を逡巡し、その結果コークス炉の国産技術に依る大型化に遅れを取ったこと、更に八幡製鉄が日鉄式コークス炉の商品化を計らなかったことを惜しむのは果たして筆者だけであろうか。日鉄式コークス炉は、ブラジルのUsiminas 4炉団(1962-1979)、C.S.N(1976)、更に上海宝山(1985)に建設さ

れた。

日鉄式、特に戸畑以降は、炉の稼働率の動きに対し柔軟性があり、また乾溜熱量が相対的に低いが、高度の操業技術が要求され、メンテナンスの負荷がやや高く、又使用する煉瓦の種類が多いといった長短両面の評価もある。

八幡以外の各社が、外国メーカーのそれぞれの型式を選択した経緯を聞くと、大変興味深い。1964年の千葉第5コークス炉は、C. Stillの多段燃焼に着目し採用し、一気に460mm幅の6m炉にした先見性と大胆さを筆者は感じる。福山は、当時米国で5m炉として最も高生産の実績を上げていたWilputte式を採用したが、第3コークス炉(1969年)の段階では、既にWilputte社の大型化の設計能力に限界を感じ、炉体をOttoに設計させ、付属金物類をWilputteに作らせて、Wilputte-Otto式を構成し、6m炉を完成し、成功した。更に1976年の扇島の7.5m炉には、大型炉の実績の多いC. Stillを採用し、当時世界最大のコークス炉とした。

又、コークス炉の操業結果から積極的に原型の改良を行い、大ガス・オート式(entire underjet化)、住友・コッパース式(hairpin反転部位低下と上部補助加熱焔道の改良)と呼称する炉型式が誕生した。

因みに今日リストラの一段落した状態での、1992年の全国稼働コークス炉のメーカー別型式を見ると、C. Still式1235門(門数比30%)、新日鉄式1295門(32%)、Koppers式(含むSumitomo Koppers式)1119門(27%)、Wilputte式444門(11%)等である。

5.3 コークス炉の耐火物

コークス炉の耐火物は、珪石煉瓦、粘土質煉瓦が大部分で断熱煉瓦と赤煉瓦とモルタルを使用する。この他近年になってコークス炉炉蓋と上昇管基部に溶融石英煉瓦が使用されるようになった。

19世紀末、アメリカで初めて珪石煉瓦のOtto-Hoffmann炉が開発されて以来、耐火度の高いそして熱伝導率の高い珪石煉瓦がドイツで使われ、コークス炉は大型化、高温化して今日に到った。炭化室、燃焼室、蓄熱室壁等高温部に使用する珪石煉瓦と蓄熱室等炉下部に使用する粘土質煉瓦の比率は、コークス炉のメーカー別型式によりかなり異なる。珪石煉瓦は48-64%、粘土質煉瓦は30-48%と見られる。

既に戦前から耐火物工業は製鉄業とともに発達し、特に珪石煉瓦はその原料にわが国の良質な赤白珪石を使用したため、品質は比較的良好であった。

戦後の復興期に、煉瓦の製造方法、成形と焼成が大幅に改善された。煉瓦の成形は大半を手打ち成形で行い、機械成形の比率は低かったが、1955年には機械成形が50%を越え、その後特殊な異形煉瓦を除くすべてを機械成形とした。

成形機は油圧プレスを導入し、成形圧 $500\text{kg}/\text{cm}^2$ 、プレス能力 500トン になり、その後更に大型化する。

珪石煉瓦の焼成は丸窯で行われるが、1950年代に大型化され、炉温制御が進歩して均一加熱が出来るようになった。

珪石煉瓦の物理的性質、見掛比重、嵩比重、見掛気孔率、荷重軟化性(T_1 & T_2)、圧縮強度は徐々に向上したが、特に顕著であったのは、大型油圧成形機による煉瓦毎の品質のばらつきの減少であった。

1959年八幡は洞岡第4コークス炉をKoppersに発注し、敢えて外部の血を入れることを試みた。炉の全ての機材をドイツから搬入したが、珪石煉瓦だけは、ドイツのそれより優位な品質である事がドイツで検査、立証され、国産煉瓦を使用したと伝えられている。

5.4 コークス炉の附帯設備と移動機械

1950年代は欧米の新しい機械、電気、計装が次々に取り入れられ、コークスの附帯設備は年々変貌を遂げてゆく。

装炭車は自然落下式からテーブルフィーダー或いはコンフィーダーに代わり、石炭詰りが無くなり円滑な装炭作業が出来るとともに、炉内への均一装入が可能となり、フィーダーのタイマーにより一定量の装炭が可能になった。更に装入蓋の電磁式蓋取り装置が開発された。

1960年代は装炭車への石炭投入—装入蓋脱着—フード合せ—石炭装入の一連の操作が、装炭車の運転室の操作盤から遠隔操作されることになる。装炭車の走行速度も上がり、窯出し本数は更に向上した。

押出機とコークガイド車についても同様の機能向上がみられたが、特に炉蓋脱着装置に油圧式が開発され、門も自動的に開閉された。炉蓋の着脱の機械化と押出機側の戻りコークスの処理は、コークス炉の高熱重筋作業の負荷を大幅に軽減した。

さらに炉蓋のクリーナー即ちdoor cleanerとseat cleanerが考案され、徐々に改善された。

消火塔による消火作業は、完全な消火とコークス水分の抑制並びに消火蒸気中の粉塵の抑制のため、散水制御とハードル方式が考案された。

これらコークス炉の附帯設備の改善策は、次々新設されるコークス炉に果敢に取り入れられ、欧米の技術と各社の自己開発が混在した。特に国内のコークス炉附帯設備専門メーカーの努力と貢献は特記されなければならない。

1960年代後半から、製鉄所の規模の拡大もあり、環境問題の解決に迫られた。1968年に施行された大気汚染防止法の遵守であった。コークス工場は先ず粉塵対策であった。特に市街地に近いコークス工場では、集塵機の強化、増設であった。装炭車集塵、ガイド車集塵、窯口集塵が装備さ

れ、当初の湿式タイプから始まり、後には電気集塵機(加古川)、バグフィルター(福山)へと強化されてゆく。

無煙装入法の考案、普及はコークス炉炉上作業の熱負荷の軽減に大きく寄与するとともに、環境の改善となった。コークス炉の窯出し—装炭の約7分間、上昇管蓋を開き、装炭と共に盛大に火焰と粉塵を排出していたが、窯出し後、上昇管蓋を閉じ、装炭を行う実験が各地で試みられた。その中で三菱黒崎で開発された無煙装入法(1966年特許)が特に優れているため、短期間のうちに全国に普及した。本法は、従来上昇管蓋のシールに使用していた低圧の安水を高圧安水(約 $20\text{kg}/\text{cm}^2$)として噴射し、aspirationにより、装炭時に炉内で急激に発生するガスをドライメンへ吸引する方法である。簡潔であり、効果的であり経済的であり、独英米、全世界で採用された。この技術は特記に値する。

この他、石炭ヤード粉塵対策、送炭、送炭ラインの集塵が強化された。

この他製鉄所の全体としての、SOX, NOXの規制に対し、幾つかのコークス工場に対策がとられたのは、1970年前後の鉄鋼大拡張時期であった。

6 コークス炉の高稼働率操業

コークス炉の炭化時間は、炉幅の1.7-2乗に比例するため、最高稼働率(24時間/炭化時間 $\times 100$)はフリー温度の上限に対し、炉幅毎にはほぼ決定される。置時間の長短で多少の差があるが、400mmは160%前後、450mmは140%前後と一般的に認識されていた。

高度成長の時代には、しばしばコークスの需給が切迫し、従来の常識を破る高稼働率操業が果敢に行われた。

1967-1969年、広畑では第1コークス炉(400mm)190%、第3コークス炉(410mm)180%、第4コークス炉(450mm)155%の操業を行った。炉温管理に常時火見の6列6点法を考案し、平均フリー温度 1300°C 以上の操業を長期間継続した。

同じ1969-1971年、千葉の第1コークス炉(400mm)185%、第2コークス炉(400mm)174%、第5コークス炉(450mm)141%の高稼働率で増産を行った。燃焼系統の改造(grate brickの一部撤去、jet nozzleの一部撤去、補助空気孔設置等)を行い、平均フリー温度を 1350°C に上昇せしめた。実際には 1400°C を越えるフリーが相当あり、炉温の異常上昇に配慮を要した。カーボントラブルがしばしば発生し、空炉によるカーボン焼却まで実施し、又押詰まり、コークス掻出しの難作業をしばしば経験したと伝えられている。

各社でこの様な果敢な操業を体験したのち、大型コークス炉では、鹿島の第1コークス炉(460mmW, 7125mmH)は常時 1330°C の平均炉温で140%の高稼働率をうるべく設計さ

れ、1971年に稼働し、それを実現している。

コークス炉の最高稼働率を論ずる場合、炭化時間の決定方法と炉温の限界に触れねばならない。前者はコークスの品質と押し出しの負荷であり、後者は炉体保護、後の寿命に影響する問題である。炭化時間の決定は、例えば火落ちの判定と置き時間(soaking time)の概念の整理である(八幡、京浜、福山等)。各社ごとに微妙に表現が異なるが、昨今コークス炉自動燃焼システムが開発、装備され、温度測定が自動化されて、炭化時間の決定は同化の方向にあると思っている。

7 コークスの品質

明治の創世記以来、わが国の高炉用コークスの品質は、良質の原料炭の入手の困難から、高炉は苦難の道を歩んだ。戦後米国炭が輸入され、ベースコールになるに及んで、初めて、欧米の水準に達した。そして1959年から1968年の10年間の原料炭の需給と品質は、コークス品質の黄金時代とも言える状態を作りだした。更に石炭の事前処理と品質管理法の普及、発展によって、品質は一層安定した。

高炉に於けるコークスの評価については、1955年頃高炉休風時の羽口採取試料の調査により高炉炉内でのコークスの変化を測定し、その炉内での挙動を推察する試みが行われていた。またコークスの冷間強度に対し、高炉炉内を想定した熱間強度の研究が始められたのは1960年代である。

高炉の炉内挙動の研究は、1968年秋の東田5高炉解体調査とそれに続く数回の高炉解体調査によって進んだ。コークスのガス、アルカリによる反応が条件ごとに判明し、その後コークスの日常の品質管理に熱間反応強度の指標も現れる事になった。

コークス自身の品質とともに、高炉に装入するコークスのサイズが高炉の大型化に伴い変わった。コークスのアンダーカット、下限粒度である。1960年代から、15mm上が20mm上になり、25mm上になった。高炉の通気性と炉下部の通液性を考えれば、下限粒度は高いほうがよい。高炉の高出鉄比と安定性の為の高炉用塊コークス歩留の低下は、発生する粉コークスの増加が、高炉装入の焼結鉱使用比率の増加の価値で補償され、常に粉塊バランスが保たれて来た。

8 副産物の回収処理

石炭を乾溜してコークスを製造する場合、石炭の30%(重量比)近い副産物が発生する。高カロリーのガス、タール、軽油等であるが、副産物とはいえこれらが果たす役割は大きく、製鉄業のみならず、化学工業にも大きく貢献して来

た。19世紀中葉に副産物回収炉が出現し、わが国では1898年に大阪舎密工業にて初めて稼働し、而後、製鉄業のコークス炉も逐次副産物回収炉に変わってきた。

副産物の生成比率や性状は、原料炭の性質とコークス炉の操業条件により変化するが、通常の高炉用コークスを製造する高温乾溜の場合、一次冷却後に得られる副産物は、ガス、タールと安水である。コークス工場ではこれらをそれぞれの処理工程として、ガス精製、化成品処理、安水処理に系統化している。

ガス精製は、戦後、タール・ミスト、アンモニア、ナフタリン等の不純物の除去のため精製工程が改善されたが、1960代には、環境対策から脱硫装置が導入された。特に1970年の硫酸酸化物の排出規制強化により全てのコークス工場はCOGの脱硫装置を装備した。COG脱硫装置は、既に戦前から東京ガスや大阪ガスにおいて都市ガスの品質上から設置されていたため、これを導入して短期間に対処し得た。

脱硫装置の大型化とともに、硫酸の回収量が増加し、硫酸の生産は増加した。コークスの副産物としての硫酸は戦前戦後、久しきにわたり重要な物資であり、その製造方法も改善された。しかし1965年には急速に台頭した石油化学工業から、合成繊維原料の製造過程で回収される回収硫酸に、品質と価格両面で劣位に立ち窮地に陥った。

化成品処理は軽油とタールの二系統であり、一般的にコークス炉の原料炭の約1%の軽油と約3%のタールが発生回収される。1950年代は回収効率を高めるため新鋭設備が導入された(ファイナルクーラー、ベンゾール・スクラッパー、吸収油再生法等)。粗ベンゾール以後の工程は、化成部門或は製鉄会社の子会社の化学会社で精製分離或いは新化学品が製造される。

安水処理は当時、安水を蒸留してアンモニアを回収し硫酸の原料にした後、廃棄されていた。1960年代に排水量の増加に伴い、安水中の残留アンモニアと石炭酸類による水質汚染の対策を必要とした。生物学的処理としての活性汚泥法を採用し、普及した。

こうしてコークス工場の副産物処理は燃料ガスの精製と価値の高い化成品の回収のため、1950年代に鉄鋼各社は化成部門に力を入れ技術力の向上を図り、また、化成部門を分離し別会社を設立した。その成果は高かったが、1957年頃、わが国に石油化学が誕生し、外国資本との提携などをはかり、石油コンビナートが次々に出現し、急激に台頭した。例えばベンゼンの生産量に占める石炭系と石油系の比率をみると、1957年石炭系100%、1960年89%、1963年67%、1966年には47%で比率は逆転し、1969年28%、1972年15%となり、1975年には13%にまで低下した。先に述べた硫酸等とともに、既に1970年以降、世界的に石炭化学の凋落は

著しく、僅かに多環芳香族化成品とタールからの電極用バインダーピッチ、一部のタール系塗料等のみが石炭化学の占拠するのみとなった。

1970年以降に建設された製鉄所では、ガスから回収したアンモニアを燃焼廃棄したりする例もあった。社会産業構造の変化を背景にして、副産物回収の意義は大きく変わったのであった。

エピローグ

1973年度に粗鋼 1億2002万トン、銑鉄9126万トンを記録しピークとなった。前後2回のオイルショックがあり、高炉は重油吹込みを中止し、オールコークス操業とし、更に石炭吹込みへと移行した。省エネルギーは、エネルギーの節減と廃棄エネルギーの回収であり、前者はコークス炉の乾溜熱量、消費電力の低下として実行され、後者はCDQの導入、普及であった。コークス炉自動燃焼管理システムが開発され、石炭乾燥機による低水分制御が行われている。コークス炉作業は機械化、自動化され操業要員は大幅に減った。国内炭の使用は1995年に遂にゼロとなった。

今日の日本のコークス工場は、原料炭のコストの節減のため一般炭(配合炭としての一般炭は弱粘結炭の低品位炭が多く、非粘結炭は少ない)を多量に使用し、事前処理として乾燥(CMC, DAPS)、加熱(Precarbon)を行い、コークス炉の熱負荷を下げ、高度な燃焼管理システムにより乾溜熱量を低下せしめた。コークス炉に与える負荷から見ると、装入密度は高いが、石炭の膨張性は低下し、高水分による煉瓦へのヒートショックも緩和されている。適正な稼働率のなかで炉温も適度である。コークス炉に与える熱的負荷は下がっていると思う。

数年来、製鉄所の合理化が進み、現存するコークス工場は18工場、50数炉団、となったが、それらは総て1960-1970年代の大型コークス炉であり、平均炉令は約25歳を数えている。コークス炉の寿命の延長と将来の改修の経済負担、更には次世代のコークス炉の姿が今日の命題である。

コークス炉の寿命は、かつては『炉命は20年、窯出10000回/窯』と言われたものだが、煉瓦の品質向上と炉の構造の進化、そして上述の様な炉の熱負荷の適正化により今後、大幅な寿命の延長が期待出来るだろう。戦後に休止、再開を行った多くの炉の例と、近年合理化のため休止した炉の損傷状態から見れば、コークス炉は頑強である。今後、炉体のメンテナンスをより科学的に、より技術の執念を持って一途に行う事である。

次世代のコークス炉の形に、ここ10年間にドイツで建設された超大型炉のほかに、新しい幾つかの動きがあるよう

だ。第一は日本の鉄鋼各社の共同研究の石炭高度転換コークス製造プロセス(SCOPE-21)、第2はドイツを中心としたEUの共同開発のJambo Coking Reactor(JCR)、第3は米国で考案されている副産物非回収型コークス炉である。

SCOPE-21は、石炭の熱的事前処理を極限まで高めて装入し、コークス炉内の乾溜は早期に中止して排出し、CDQにおいて熱的事後処理を行うことにより、コークス炉の総仕事量を大幅に減じ、コークス炉の見掛け生産量を倍増、三倍増させると言う、発想であり、極めて興味深い。両サイドから加熱、乾溜する室炉式コークスの順次炭化の本質を見極めて、研究されて行く事だろう。

JCRは、1000mmW×10000mmH×20000mmL=200m³という巨大な炭化室を独立して作り、Precarbonを導入するという、コークス炉1窯としての極限を狙っている。これを多数組み合わせで1炉団とした場合の構成で評価されるであろう。

副産物非回収型コークス炉はPort Kemblaで既に稼働しており、又米国においても近く建設される予定と報じられている。100年前のBeehive炉の復活を思わせるこのタイプのコークス炉は、石炭化学が石油化学に圧迫された今日、副産物をすべて燃焼し、電力として回収する方向へ向けている。

扱て、今、コークス—高炉間で、送骸ベルトのフードから垣間見るコークスは、鈍色で光沢はなく、角もとれたどちらかと言えば丸いコークスである。品質の数値は高い。かつて、コークワークで見た湯気を立て、朝日に光る銀灰色の、衝れば金属音をたてる角張った見事なコークスは最早ない。この綺麗なコークスを眼近に見て、高炉の炉内を想像したものであった。

1945年からの20年間は、焦土からの復興と驚異の発展に到るダイナミックな時代だった。国内では幾多の困難があったが、世界の政治、経済の大きな流れのなかで、日本は強運に恵まれた。日本鉄鋼業はそれを生かして、予想だになかった粗鋼1億トンに到達した。

この時代に生きた技術者は自分の能力を遙に越える未知の領域の仕事、高い目標を与えられ、それに挑み、また迅速さが要求された。

今回、鉄鋼協会から、突如としてしかも限られた時間で、コークス技術史1945-1965年を書くよう求められた。

『技術史は設備の近代化や大型化の解説と操業成績の羅列では不可ない。その時代に生きた技術者たちの思考に触れねばならぬ。』と思って、私は筆を取ったが、果たせなかった様である。この時期のコークス技術に関する記述は意外に少ないことも知った。又、限られた字数なので、図表と

写真は一切省略した。

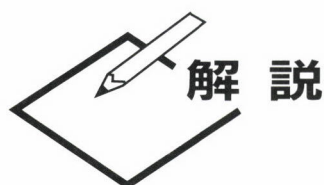
最後に、本稿の執筆に当たり、快くインタビューに応じて下さった方、資料の調査にご協力いただいた下記の諸氏に深く感謝申し上げます。(順不同)

真田貢氏、佐田敏雄氏、森口三昔氏、栗山哲郎氏、野口信雄氏、足立剛氏、田村栄氏、小串嘉弘氏、山本英樹氏、竹村末吉氏、植松宏志氏、長谷部新次氏。

参考文献

- 1) 社団法人日本鉄鋼協会：わが国における製鉄技術の進歩 1977年
- 2) 飯田賢一著：日本鉄鋼技術史 東洋経済新報社 1979年
- 3) 社団法人鋼材倶楽部：鉄鉄需給史 1987年
- 4) 田部三郎著：日本鉄鋼原料史(下巻)
産業新聞社 1982年
- 5) 社団法人燃料協会：日本のコークス炉変遷史 1962年

- 6) 真田貢著：コークス炉辺談話
- 7) 桐谷義男著：自伝的コークス技術史：住友におけるコークス事業 1988年
- 8) 川鉄化学社史
- 9) 八幡製鉄所80年史 1980年
- 10) 室蘭製鉄所50年史 1958年
- 11) 広畑製鉄所30年史 1970年
- 12) 堺製鉄所20年史 1984年
- 13) 株式会社神戸製鋼所70年史 1974年
- 14) 日本鉄鋼連盟：鉄鋼統計要覧
- 15) 燃料協会：コークス・サーキュラー誌 多数
- 16) The Making, Shaping and Treating of Steel, 10th Edition, U. S. Steel, AISE 1985
- 17) 和田亀吉：実際製鉄法 丸善 1949年
(1997年2月28日受付)



マイクロメカニックスの発達史

村外志夫

Toshio Mura

ノースウェスタン大学 土木工学科 名誉教授

Introduction to Micromechanics; an Example and Anecdotes

1 はじめに

ソ連邦が人工衛星をアメリカに先立って打上げた時、アメリカはあわてて理工学の研究と大学の拡張をはじめた。ARPAというアメリカ政府機関から大金がNorthwestern Universityに入り、電気でも機械でも土木でも皆力をあわせて材料科学の研究をしろという。猫の手も借りたいという時だった。そこで、小生も材料の微細構造や原子の配列を考慮した材料力学を土木工学科で教えることにして、講義の名をmicromechanicsとした。

Micromechanics of Defects in Solids¹⁾という本もオランダから出して多少micromechanicsという言葉が世界的に通ずるようになった。小生の友人高橋作太郎君が研究社の新英和大辞典²⁾にmicromechanicsを入れ、小生がその和訳を書いた。話が前後するが東京工業大学金属工学科にいた森勉君とも「マイクロメカニックス」を日本の培風館から出した³⁾。大変好評だった。東京工業大学の金属工学科で森君が教科書にその本を使い学生をかなりしぼったらしい。森君の学生はマイクロメカニックスのことを「毎苦勞迷禍荷苦痛」と書いた。

なお、本誌の編集委員からマイクロメカニックスの応用例やマイクロメカニックスならではの解析効果を書けと言われた。沢山ある。小生の本にそれらをまとめて書いてある¹⁾。Inclusion問題だけでも、数百の論文が出ている。それらを紹介したReviewもある^{4,5)}。これらを読めば、どんなことに応用があるかわかる。しかし、一番よいことは、自分で問題を作ることである。そうすると、マイクロメカニックスの有用性が自ずとわかって来る。

2 基本的問題

具体的な問題を示しそれをマイクロメカニックスの方法でどうして解くかを示そう。これさえわかればよいと思い

ながら書く。

想像力豊かで独創力強靱な学徒がいるとすれば、この具体例の熟慮だけでことが済むかもしれない。

沢山の数式が出て来るが、論理展開をきちっとやるとそうになってしまう。これは仕方がない。しかし、丁寧に読めば、必ずわかるものである。途中をとばして結果だけを書くならば、ハンドブックや公式集を作るのと同じになってしまう。それでは面白くないし、学ぶことも少ない。

Fig. 1の矩形領域に、 y 軸方向に一様外力 σ_{22}^0 が働いたとする。(この領域は十分大きいとする。) この一様外力とは、もしその矩形領域がhomogeneousならば勿論領域のいたるところ応力は一定値 $\sigma_{22}^0 (= \sigma^0)$ でその他の応力成分はないということを意味する。Fig. 1の領域は3次元でも2次元でもよい。領域がhomogeneousということは材料が一樣であるということで弾性係数が一樣でFig. 2に示すようなボイド Ω などないという意味である。 Ω 内の弾性係数が母相 $D-\Omega$ の弾性係数と違っている時 Ω をinhomogeneity(不均一領域)という。 Ω がボイドで扁平な楕円体の形をしていたら、それをクラックという。今は Ω がボイドでその中に水

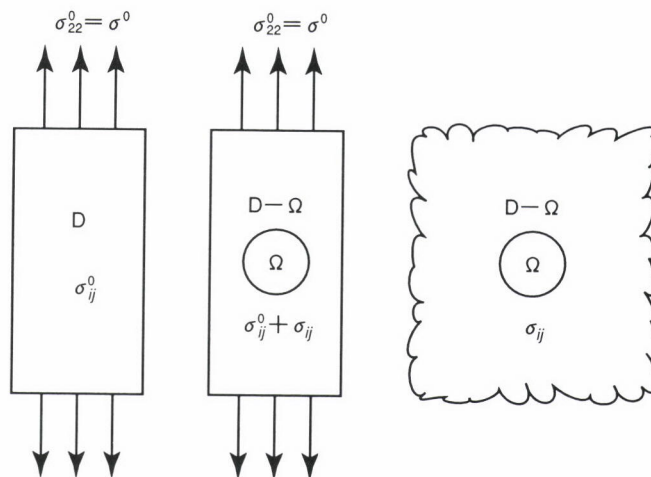


Fig. 1

Fig. 2

Fig. 3

がつまっている場合を考えよう。inhomogeneityが存在するため矩形領域内の応力は当然Fig. 1の応力分布と異なる。今それを $\sigma_{ij}^0 + \sigma_{ij}$ とする。 σ_{ij} は以下に述べるようにして簡単にわかり、それをみつける方法をマイクロメカニクスでequivalent inclusion method(等価介在物法)という。今Fig. 3のような無限に広がった弾性体を考え、弾性係数はFig. 1のそれと同一とする。勿論Fig. 2のmatrix D- Ω のそれとも同一な材料とする。但しFig. 2の Ω と同一な形をしたFig. 3の部分空間 Ω に非弾性歪 ϵ_{ij}^* が一様に分布するとする。Fig. 3の Ω はFig. 2の Ω と同形で弾性係数はmatrix D- Ω と同一とする。そのような Ω のことをinclusion(介在物)といい、そこに考えた ϵ_{ij}^* のことをeigenstrainという。無限領域Dにその部分領域 Ω に分布した ϵ_{ij}^* のために発生する応力をeigenstress或いは内部応力といい σ_{ij} と書く。equivalent inclusion methodとは ϵ_{ij}^* を適当にとると、それによって起こるeigenstress σ_{ij} をFig. 2の応力disturbance(乱れ) σ_{ij} と同一視することができるということである。村¹⁾の本に Ω の形が与えられた時の σ_{ij} を ϵ_{ij}^* の線形結合の形で与えてあるが、ここでは始めから導き出してみよう。一様な弾性係数 C_{ijkl}^0 の無限に広がった弾性体にeigenstrain ϵ_{ij}^* が与えられた時できるeigenstress σ_{ij} はHookeの法則から弾性歪($e_{kl} - \epsilon_{kl}^*$)に比例して

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}^0 (e_{kl} - \epsilon_{kl}^*) \quad \dots\dots\dots (1)$$

と書ける。 e_{kl} は変位 u_i から生ずる歪で

$$e_{kl} = (u_{k,l} + u_{l,k}) / 2 \quad \dots\dots\dots (2)$$

と書ける。 $u_{k,l}$ とは $\partial u_k / \partial x_l$ である。まず、 C_{ijkl}^0 は対称テンソルなので、以下に示すように、 $C_{ijkl}^0 u_{k,l}$ と $C_{ijlk}^0 u_{k,l}$ とは等しい。

$C_{ijkl}^0 u_{k,l}$ とは $C_{ij11}^0 u_{1,1} + C_{ij12}^0 u_{1,2} + C_{ij13}^0 u_{1,3} + C_{ij21}^0 u_{2,1} + C_{ij22}^0 u_{2,2} + C_{ij23}^0 u_{2,3} + C_{ij31}^0 u_{3,1} + C_{ij32}^0 u_{3,2} + C_{ij33}^0 u_{3,3}$ 。ここで C_{ijkl}^0 の kl と $u_{k,l}$ の kl とが重複している。このように重複したindex(指標)については上記のように1から3まで繰り返して書いて和をとるというテンソルの約束がある。又

$C_{ijkl}^0 u_{k,l}$ とは $C_{ij11}^0 u_{1,1} + C_{ij12}^0 u_{2,1} + C_{ij13}^0 u_{3,1} + C_{ij21}^0 u_{1,2} + C_{ij22}^0 u_{2,2} + C_{ij23}^0 u_{3,2} + C_{ij31}^0 u_{1,3} + C_{ij32}^0 u_{2,3} + C_{ij33}^0 u_{3,3}$ であり $C_{ijkl}^0 = C_{ijlk}^0$ であるので $C_{ijkl}^0 u_{k,l} = C_{ijlk}^0 u_{k,l}$ がわかる。従って(1)式は

$$\sigma_{ij} = C_{ijkl}^0 (u_{k,l} - \epsilon_{kl}^*) \quad \dots\dots\dots (3)$$

と書ける。釣合いの式

$$\sigma_{ij,j} = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

に(3)式を代入すると

$$C_{ijkl}^0 (u_{k,l,j} - \epsilon_{k,l,j}^*) = 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

となる。 $-C_{ijkl}^0 \epsilon_{k,l,j}^*$ を X_i と書けば(5)式は

$$C_{ijkl}^0 u_{k,l,j} + X_i = 0 \quad \dots\dots\dots (6)$$

となりBody force(体積力) X_i が働いた時生じる変位 u_k が満足しなければいけない式である。集中力が点 x' に x_i 方向に単位量だけ働いた時の点 x における x_k 方向の変位 u_k をGreen 函数といって、わかっている。それを $G_{ki}(x-x')$ と書けば¹⁾

$$G_{ki}(x-x') = \frac{1}{4\pi\mu} \frac{\delta_{ki}}{|x-x'|} - \frac{1}{16\pi\mu(1-\nu)} \frac{\partial^2}{\partial x_k \partial x_i} |x-x'| \quad \dots\dots\dots (7)$$

ここでは μ は無限体の剛性率、 ν はポアッソン比、 δ_{ki} はKroneckerデルタ(k と i が等しい時のみ値が1でその他の場合は0) $|x-x'| = \{(x_1-x'_1)^2 + (x_2-x'_2)^2 + (x_3-x'_3)^2\}^{1/2}$ 、Body forceが単位の大きさでなく量 X_i の時の u_k は(7)式を X_i 倍すればよく、

$$u_k(x) = \int G_{ki}(x-x') X_i(x') dx' \quad \dots\dots\dots (8)$$

上式の積分領域は X_i が分布する領域で

$$X_i(x') = -C_{ijkl}^0 \epsilon_{k,l,j}^*(x') \quad \dots\dots\dots (9)$$

であるから

$$u_m(x) = - \int_{\Omega} G_{mi}(x-x') C_{ijkl}^0 \epsilon_{k,l,j}^*(x') dx' \quad \dots\dots\dots (10)$$

となる。ここで、同一のindexが3回以上現われないよう、indexを変えた。 Ω 内で ϵ_{kl}^* は一定で $\epsilon_{k,l,j}^*$ は0だが Ω の外で ϵ_{kl}^* は0なので Ω の境界で $\epsilon_{k,l,j}^*$ は無量大になり(10)式は0でない。普通(10)式を部分積分して

$$u_m(x) = - \int_{\Omega} G_{mi,j}(x-x') C_{ijkl}^0 \epsilon_{kl}^*(x') dx' \quad \dots\dots\dots (11)$$

と書く。但し

$$-\frac{\partial G_{mi}(x-x')}{\partial x'_j} = \frac{\partial G_{mi,j}(x-x')}{\partial x_j} = G_{mi,j}(x-x') \quad \dots\dots\dots (12)$$

を用いた。Eshelby⁶⁾は

$$u_{m,n}(x) = - \int_{\Omega} G_{mi,jn}(x-x') C_{ijkl}^0 \epsilon_{kl}^*(x') dx' \quad \dots\dots\dots (13)$$

を解析的に計算して ϵ_{kl}^* が一様で Ω が楕円体の時

$$e_{mn} = - \frac{1}{2} \int \{ G_{mi,jn}(x-x') + G_{ni,jm}(x-x') \} C_{ijkl}^0 \epsilon_{kl}^* dx' \quad \dots\dots\dots (14)$$

をexplicitに積分して

$$e_{mn} = S_{mnkl} \epsilon_{kl}^* \quad \dots\dots\dots (15)$$

をえた。但しこれは、 Ω の中の歪である。 S_{mnkl} をEshelby Tensorといい、小生の本に色々な場合(Ω の形のいろいろ)について明示してある¹⁾。Fig. 3 に示したような Ω が球の時

$$\begin{aligned} S_{1111} &= \frac{3}{8\pi(1-\nu)} \frac{4\pi}{5} + \frac{1-2\nu}{8\pi(1-\nu)} \frac{4\pi}{3} \\ S_{1122} &= \frac{1}{8\pi(1-\nu)} \frac{4\pi}{5} - \frac{1-2\nu}{8\pi(1-\nu)} \frac{4\pi}{3} \\ S_{1133} &= \frac{1}{8\pi(1-\nu)} \frac{4\pi}{5} - \frac{1-2\nu}{8\pi(1-\nu)} \frac{4\pi}{3} \\ S_{1212} &= \frac{1}{8\pi(1-\nu)} \frac{4\pi}{5} + \frac{1-2\nu}{8\pi(1-\nu)} \frac{4\pi}{3} \end{aligned}$$

で

$$S_{1111} = S_{2222} = S_{3333} = \frac{7-5\nu}{15(1-\nu)} \quad \dots\dots\dots (16)$$

$$S_{1122} = S_{2233} = S_{3311} = S_{1133} = S_{2211} = S_{3322} = \frac{5\nu-1}{15(1-\nu)}$$

$$S_{1212} = S_{2323} = S_{3131} = \frac{4-5\nu}{15(1-\nu)}$$

である。eigenstress $\sigma_{ij} = C_{ijkl}(e_{kl} - \epsilon_{kl}^*)$ は

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= -\mu \frac{16}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* \\ &\quad - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* \\ \sigma_{12} &= -2\mu \frac{7-5\nu}{15(1-\nu)} \epsilon_{12}^* \quad \dots\dots\dots (17) \end{aligned}$$

となる。他の応力成分は(1,2,3)の指標を順に交換して上式から求められる。Fig. 2 の Ω の中に圧縮性の液体がつまっているならばそのHookeの法則(応力 σ_{ij}^v と全歪 e_{ij}^v の関係)は、

$$\begin{aligned} \sigma_{11}^v &= K^*(e_{11}^v + e_{22}^v + e_{33}^v) \\ \sigma_{22}^v &= K^*(e_{11}^v + e_{22}^v + e_{33}^v) \\ \sigma_{33}^v &= K^*(e_{11}^v + e_{22}^v + e_{33}^v) \\ \sigma_{12}^v &= \sigma_{23}^v = \sigma_{31}^v = 0 \quad \dots\dots\dots (18) \end{aligned}$$

と書ける。 K^* は体積弾性率、 $e_{kk}^v = e_{11}^v + e_{22}^v + e_{33}^v$ は体積歪である。液体だから、応力は圧力のみであり、 e_{kk}^v が正の時は、 $\sigma_{11}^v = \sigma_{22}^v = \sigma_{33}^v = 0$ となる。つまり、(18)式は $e_{kk}^v \leq 0$ の時成立し、 $e_{kk}^v > 0$ の時は、すべての応力成分をゼロとする。

くどいようだが、equivalent inclusion methodとはFig. 2 の Ω 内の歪と応力はFig. 1 の歪と応力とFig. 3 の歪と応力との和であることを示すことである。Fig. 1 の応力は $\sigma_{22}^0 = \sigma^0$ 他の成分は0なので外力歪 e_{ij}^0 は、

$$\begin{aligned} e_{11}^0 &= -\nu\sigma^0/E \\ e_{22}^0 &= \sigma^0/E \\ e_{33}^0 &= -\nu\sigma^0/E \\ e_{12}^0 &= e_{23}^0 = e_{31}^0 = 0 \quad \dots\dots\dots (19) \end{aligned}$$

である。ここで E, ν はFig. 1, Fig. 3 の一様な材料のヤング率とポアッソン比である。Fig. 1, Fig. 3 のinclusion Ω 内の歪は、

$$\begin{aligned} e_{11} &= S_{1111}\epsilon_{11}^* + S_{1122}\epsilon_{22}^* + S_{1133}\epsilon_{33}^* \\ &= \frac{7-5\nu}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* + \frac{5\nu-1}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* + \frac{5\nu-1}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* \\ e_{22} &= S_{2211}\epsilon_{11}^* + S_{2222}\epsilon_{22}^* + S_{2233}\epsilon_{33}^* \\ &= \frac{5\nu-1}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* + \frac{7-5\nu}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* + \frac{5\nu-1}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* \\ e_{33} &= \frac{5\nu-1}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* + \frac{5\nu-1}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* + \frac{7-5\nu}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* \\ e_{12} &= e_{23} = e_{31} = 0 \quad \dots\dots\dots (20) \end{aligned}$$

である。また、Fig. 3 の Ω 内の応力は、

$$\begin{aligned} \sigma_{11} &= -\mu \frac{16}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* \\ &\quad - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* \\ \sigma_{22} &= -\mu \frac{16}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* \\ &\quad - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* \\ \sigma_{33} &= -\mu \frac{16}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* \\ &\quad - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* \\ \sigma_{12} &= \sigma_{23} = \sigma_{31} = 0 \quad \dots\dots\dots (21) \end{aligned}$$

である。

次の手続きは、equivalent inclusion methodの考えに則り、Fig. 1 の応力とFig. 3 の Ω 内の応力(21)式の和がFig. 2 の Ω 内の応力(18)式に等しくなるように ϵ_{ij}^* を決めることである。そして、 ϵ_{ij}^* を定める式は次のようになる。その前に(20)式から $e_{11} + e_{22} + e_{33}$ を計算しておこう。

$$\begin{aligned} e_{11} + e_{22} + e_{33} &= \frac{1+\nu}{3(1-\nu)} \epsilon_{11}^* + \frac{1+\nu}{3(1-\nu)} \epsilon_{22}^* \\ &\quad + \frac{1+\nu}{3(1-\nu)} \epsilon_{33}^* \quad \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

又、 $e_{11}^0 + e_{22}^0 + e_{33}^0 = (1-2\nu)\sigma^0/E$ 、かつ、 $e_{ij}^v = e_{ij}^0 + e_{ij} = e_{ij}^0 + S_{ijmn}\epsilon_{mn}^*$ である。equivalent inclusion methodはむしろ一般的な式で書いた方がわかりやすい。等価性の必要十分条件は Ω 内で、

$$C_{ijkl}^*(e_{kl}^0 + e_{kl}) = C_{ijkl}(e_{kl}^0 + e_{kl} - \epsilon_{kl}^*) \quad \dots\dots\dots (23)$$

即ち、

$$\begin{aligned} C_{ijkl}^*(e_{kl}^0 + S_{klmn}\epsilon_{mn}^*) &= C_{ijkl}(e_{kl}^0 + S_{klmn}\epsilon_{mn}^* - \epsilon_{kl}^*) \\ &\quad \dots\dots\dots (24) \end{aligned}$$

が成立することである。ここで C_{ijkl}^* はFig. 2 のin-

homogeneity Ω の弾性係数、 C_{ijkl} はFig. 2のmatrix D- Ω 、又はFig. 1又はFig. 3の弾性係数である。Fig. 2のinhomogeneity Ω 内の応力 $\sigma_{ij}^0 + \sigma_{ij}$ は(23)式の左辺であり、それをFig. 3のinclusion Ω 内の応力 σ_{ij} とFig. 1の応力 σ_{ij}^0 の和 $\sigma_{ij}^0 + \sigma_{ij}$ とequivalentになるように(23)式の右辺でかく。Fig. 2で示した例題では C_{ijkl}^* は(18)式にあらわれるように体積弾性率 K^* のみで C_{ijkl} はmatrixが等方性の時は(21)式にあらわれるように剛性率 μ とポアソン比 ν である。それで(24)式は次のようになる。

$$\begin{aligned}\sigma_{11}^0 + \sigma_{11} &= K^* \{e_{11}^0 + e_{22}^0 + e_{33}^0 + e_{11} + e_{22} + e_{33}\} \\ &= K^* \left\{ \frac{1-2\nu}{E} \sigma^0 + \frac{1+\nu}{3(1-\nu)} (\epsilon_{11}^* + \epsilon_{22}^* + \epsilon_{33}^*) \right\} \\ &= -\mu \frac{16}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* \\ &\quad - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* \dots\dots\dots (25-1)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{22}^0 + \sigma_{22} &= K^* \left\{ \frac{1-2\nu}{E} \sigma^0 + \frac{1+\nu}{3(1-\nu)} (\epsilon_{11}^* + \epsilon_{22}^* + \epsilon_{33}^*) \right\} \\ &= \sigma^0 - \mu \frac{16}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* \\ &\quad - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* \dots\dots\dots (25-2)\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\sigma_{33}^0 + \sigma_{33} &= K^* \left\{ \frac{1-2\nu}{E} \sigma^0 + \frac{1+\nu}{3(1-\nu)} (\epsilon_{11}^* + \epsilon_{22}^* + \epsilon_{33}^*) \right\} \\ &= -\mu \frac{16}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* \\ &\quad - 2\mu \frac{5\nu+1}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* \dots\dots\dots (25-3)\end{aligned}$$

(25-1) - (25-2):

$$\mu \frac{10\nu-14}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* + \mu \frac{-10\nu+14}{15(1-\nu)} \epsilon_{22}^* = \sigma^0$$

(25-1) - (25-3):

$$-\mu \frac{14-10\nu}{15(1-\nu)} \epsilon_{11}^* + \mu \frac{-10\nu+14}{15(1-\nu)} \epsilon_{33}^* = 0 \dots\dots\dots (26)$$

又(25-3)は、

$$\begin{aligned}&\left\{ 2K^* \frac{1+\nu}{3(1-\nu)} + 2\mu \frac{5\nu+9}{15(1-\nu)} \right\} \epsilon_{11}^* \\ &+ \left\{ K^* \frac{1+\nu}{3(1-\nu)} + \mu \frac{10\nu+2}{15(1-\nu)} \right\} \epsilon_{22}^* = -K^* \frac{(1-2\nu)}{E} \sigma^0\end{aligned}$$

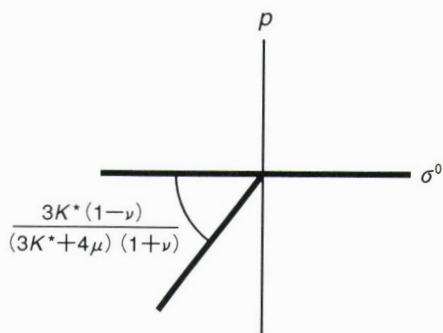


Fig. 4 $p = \sigma_{11}^0 + \sigma_{11} = \sigma_{22}^0 + \sigma_{22} = \sigma_{33}^0 + \sigma_{33}$ と σ^0 の関係

これを解いて、

$$\begin{aligned}\epsilon_{11}^* &= \\ \frac{3(1-\nu)(5EK^*+2E\mu+14K\mu+5EK\nu+10E\mu\nu-38K\mu\nu+20K\mu\nu^2)\sigma^0}{2E\mu(3K^*+4\mu)(1+\nu)(-7+5\nu)} &= \epsilon_{33}^* \\ \epsilon_{22}^* &= \epsilon_{33}^* + \frac{15(1-\nu)}{\mu(14-10\nu)} \sigma^0 \dots\dots\dots (27)\end{aligned}$$

を得る。

上の結果を(21)式に代入すれば応力 disturbance σ_{ij} がわかり(20)式に代入すれば歪の disturbance e_{ij} がわかる。Fig. 2の Ω 内の応力は(25)式に(27)式を代入すればよく、それは静水圧で次のように簡単になる。

$$\begin{aligned}P &= \sigma_{11}^0 + \sigma_{11} = \sigma_{22}^0 + \sigma_{22} = \sigma_{33}^0 + \sigma_{33} \\ &= \frac{3K^*(1-\nu)\sigma^0}{(3K^*+4\mu)(1+\nu)} \dots\dots\dots (28)\end{aligned}$$

Fig. 4に、(28)式を図示した。 $\sigma^0 \leq 0$ の場合は、原点を通る勾配 $3K^*(1-\nu)/\{(3K^*+4\mu)(1+\nu)\}$ の直線である。 $\sigma^0 > 0$ の場合は、 $e_{kk}^0 > 0$ となるので、 $P = 0$ である。ここで、 Ω の中から、物体の外へ水が逃げ得る(負の供給)場合を考える。後述のエネルギーの議論より、この供給(Ω の中の新しいeigenstrainの発生)は、エネルギーの減少をもたらすことがわかる。エネルギーが極小になる時は、 Ω の中の水の圧力はゼロとなる。即ち、時間が十分経つと、力は、Fig. 4の σ^0 軸と一致する直線となる。また後述の平均歪の考えより、水の逃げが生じると、 x_2 軸方向に縮むことになる。つまり水を含む多孔性物質の変形は、時間依存を示す。この問題は、小生の学生林文聖(Wen-Sheng Lin)が現在論文にしている。

3 エネルギー

エネルギーは、globalな量なので、それを用いた議論が好まない人も多い。しかし、明解なGriffithのクラックの成長理論に見られるように、極めて有用なものである。マイクロメカニックスの手法を使えば、種々の機械的エネルギーが、容易に求まり、見通しがよくなる。たとえば、以下に示すように ϵ_{ij}^* に伴う弾性エネルギーは簡単にかける。弾性エネルギー W の定義によれば、

$$W = \frac{1}{2} \int_D \sigma_{ij} (e_{ij} - \epsilon_{ij}^*) dx \dots\dots\dots (29)$$

である。ここで $e_{ij} - \epsilon_{ij}^*$ は応力 σ_{ij} に対応する弾性歪である。 e_{ij} は適合歪であって、 $u_{i,j}$ でおきかえられる。更に、

$$\int_D \sigma_{ij} u_{i,j} dx = \int_{|D|} \sigma_{ij} u_i n_j ds - \int_D \sigma_{i,j} u_i dx = 0 \dots\dots\dots (30)$$

となる。なぜなら、内部応力なので、表面 $|D|$ では面力はゼロ ($\sigma_{ij}n_j$ on $|D|$) であり、また釣合条件 $\sigma_{ij,j} = 0$ (物体Dのあらゆるところで) があるからである。

従って弾性エネルギー(28)式は、

$$W = -\frac{1}{2} \int_{\Omega} \sigma_{ij} \epsilon_{ij}^* dx \quad (31)$$

となり、 σ_{ij} は Ω の中で一定なので更に簡単に、

$$W = -\frac{1}{2} \sigma_{ij} \epsilon_{ij}^* \Omega \quad (32)$$

となる。ここで Ω は領域 Ω の体積である。

又、Fig. 2 の状態のギブスエネルギー F は、

$$F = W - \int_{|D|} \sigma_{ij}^0 n_j u_i ds \quad (33)$$

と定義され、 $\sigma_{ij}^0 = 0$ だから、

$$\begin{aligned} \int_{|D|} \sigma_{ij}^0 n_j u_i ds &= \int_D \sigma_{ij,j}^0 u_i dx + \int_D \sigma_{i,j}^0 u_{i,j} dx \\ &= \int_D \sigma_{ij}^0 u_{i,j} dx = \int_D \sigma_{ij}^0 (u_{i,j} - \epsilon_{ij}^* + \epsilon_{ij}^*) dx \quad (34) \end{aligned}$$

また、 $\sigma_{ij}^0 (u_{i,j} - \epsilon_{ij}^*) = C_{ijkl} u_{k,l}^0 (u_{i,j} - \epsilon_{ij}^*) = \sigma_{kl} u_{k,l}^0$

となり、 $\int_D \sigma_{kl} u_{k,l}^0 dx = \int_{|D|} \sigma_{kl} n_l ds - \int_D \sigma_{kl,l} u_k^0 dx = 0$

となるから

$$\begin{aligned} \int_{|D|} \sigma_{ij} n_j u_i ds &= \int_D \sigma_{ij}^0 \epsilon_{ij}^* dx = \sigma_{ij} \epsilon_{ij}^* \Omega \text{ で、} \\ F &= W - \sigma_{ij}^0 \epsilon_{ij}^* \Omega \\ &= (-\frac{1}{2} \sigma_{ij} \epsilon_{ij}^* - \sigma_{ij}^0 \epsilon_{ij}^*) \Omega \quad (35) \end{aligned}$$

となる。ここで勿論 σ_{ij} は(21)式で与えられ ϵ_{ij}^* は(27)式で与えられる。inclusion又はinhomogeneityを含む相変化(Fracture mechanicsを含む)のたいていの問題は、

$$\delta F = 0 \quad (36)$$

の条件から決まる。上式は考えている現象のcritical pointは F の極値で定まることを示している。

4 平均値

Fig. 2、Fig. 3 で示したeigenstress σ_{ij} を全空間で積分したものは0になる。

$$\int_D \sigma_{ij} dx = 0 \quad (37)$$

それを示すために上式を

$$\int_D \sigma_{ik} \delta_{kj} dx = 0 \quad (38)$$

と書く。 $\delta_{kj} = \partial x_j / \partial x_k$ と書けるから、これを部分積分して

$$\int_D \sigma_{ik} \frac{\partial x_j}{\partial x_k} dx = \int_{|D|} \sigma_{ik} x_j n_k ds - \int_D \sigma_{ik,k} x_j dx \quad (39)$$

とする。これは0となる。なぜなら釣合条件から $\sigma_{ik,k} = 0$ 、又eigenstressは表面 $|D|$ で面力を生じないので $\sigma_{ik} n_k = 0$ を満たす。Fig. 2 の境界条件は σ_{ij}^0 が満足し σ_{ij} はhomogeneousな境界条件 ($\sigma_{ij} n_j = 0$) である。(1)式と(37)式より

$$C_{ijkl} \int_D (e_{kl} - \epsilon_{kl}^*) dx = 0 \quad (40)$$

$$\int_D (e_{kl} - \epsilon_{kl}^*) dx = 0 \quad (41)$$

或いは

$$\int_D e_{kl} dx = \int_{\Omega} \epsilon_{kl}^* dx = \epsilon_{kl}^* \Omega \quad (42)$$

である。なぜなら ϵ_{ij}^* は Ω 内で一定値としているからである。

Fig. 2 の領域Dの体積を D として(41)(42)式より

$$\langle e_{kl} \rangle = f \epsilon_{kl}^* \text{ 或いは } \langle e_{kl} + e_{kl} \rangle = e_{kl}^0 + f \epsilon_{kl}^* \quad (43)$$

が得られる。これは e_{kl} のD内の平均値 $\langle e_{kl} \rangle$ は Ω の体積比 f に比例するという式で簡明で重要な結果である。eigenstressのmatrix D- Ω 内の平均値は(37)式を使って求まる。

$$\int_{D-\Omega} \sigma_{ij} dx + \int_{\Omega} \sigma_{ij} dx = 0 \quad (44)$$

Fig. 3 の Ω が楕円体の時は σ_{ij} は Ω 内で一定値(今それを σ_{ij}^{∞} と書く)になるというEshelby⁶⁾の有名な結果を用いて

$$\int_{D-\Omega} \sigma_{ij} dx = -\sigma_{ij}^{\infty} \Omega \quad (45)$$

が(44)式より求まる。あるいは上式を D でわって

$$\langle \sigma_{ij} \rangle_M = -f \sigma_{ij}^{\infty} \quad (46)$$

$\langle \sigma_{ij} \rangle_M$ は σ_{ij} のmatrix D- Ω 内の平均とみなすことができる。MoriとTanaka⁷⁾はFig. 2において Ω と同形のinclusionがもう一つmatrix D- Ω にある時はその付加されたinclusionにも(46)式なる応力が分布され、それを外からのinclusionの影響又はDがFig. 3でなくFig. 2のように有限物体とした時の境界 $|D|$ の影響と考えた。それで多くのinclusionsがrandomにありその体積比が f の時matrixの平均eigenstressは(46)式で与えられ、inclusionsの平均eigenstressは

$$\langle \sigma_{ij} \rangle_I = \sigma_{ij}^{\infty} - f \sigma_{ij}^{\infty} \quad (47)$$

となる。勿論それらは(37)式を満足しなければならない

$$(1-f) \langle \sigma_{ij} \rangle_M + f \langle \sigma_{ij} \rangle_I = 0 \quad (48)$$

となっている。Fig. 2のように外力 σ_{ij}^0 も付加して考えればmatrixの平均全応力は

$$\langle \sigma_{ij} \rangle_M = \sigma_{ij}^0 - f \sigma_{ij}^\infty \quad \dots\dots\dots (49)$$

でinclusionsの平均全応力は

$$\langle \sigma_{ij} \rangle_I = \sigma_{ij}^0 + (1-f) \sigma_{ij}^\infty \quad \dots\dots\dots (50)$$

である。(27)式を(43)式に代入すればFig. 2で示した複合材料の平均的な歪 $\langle e_{kl}^0 + e_{kl} \rangle$ と、応力 σ^0 の関係が得られる。

5 むすび

「ふえらむ」誌の編集委員の要求に応じ、マイクロメカニクス発展と日本人のかかわりについて書いてみる。その前に断わっておくことがある。それは、いかなる学問もある特定の人達によって急に生まれるものではないということである。Newton力学でさえもHookeが先にやったと言われ、発展史がややこしくなる⁸⁾。それで、以下はマイクロメカニクスの発展史という大げさなものでなく、ただ小生がMicromechanics of Defects in Solids(これはMicromechanicsのBibleだとうれしいことを言ってくれる人がいる)を書いたBackgroundを書くことにする。

東京大学第一工学部の応用数学で卒論をThermal stressesということにして林毅先生を指導教官に選んだ。最初に注目した論文はZ. Angew. Math. にてた古典で、H. Reissner⁹⁾のものである。熱応力が生ずるのは熱歪 $\alpha \Delta T$ が物体内で一様でなくこの空間、ユークリッド空間内で適合しないからだといひ、その不適合度をincompatibility(不適合度)といった。同じ教室の森口繁一先生¹⁰⁾がそのincompatibilityはVolterraのDislocation(転位)であることを示した。その頃東京大学応用数学科では森口先生の論文が火つけ役になり、近藤一夫¹¹⁾先生が塑性歪のincompatibilityがRiemann曲率になるといって、リーマン幾何学の応用としてのEinsteinの一般相対論のようなものを展開した。これは、G.I. Taylor¹²⁾の塑性論よりもっと幾何学的で、学術的に見えた。数年後、Bilby等¹³⁾が、近藤先生と同じことを言いだした。Bilbyが彼の大発見を得意になって、一夕dinnerの時Eshelbyに説明した。さすがEshelbyは同じことをすずにして近藤がやっていることを知っていたので、唯一言先生の理論は日本のオリガミの理論に似ていると言った。これは、Bilbyのdinnerをspoilしないようにと気をつかったためだとEshelbyは小生に話してくれた。Bilby¹¹⁾等は彼等の論文の最初の頁の脚注に

As this manuscript was being completed, Dr J.D. Eshelby drew the author's attention (24 January 1956) to other independent work (Kondo 1953) in which a discus-

sion of the relation between torsion and 'Burgers vector density' is given, but from a slightly different viewpoint. In this the true and local Burgers vectors are, apparently, not distinguished. The relation of this work to the present treatment will be considered in further papers. と書いた。それを読まれた近藤先生は、伊豆での応用幾何学同好会の慰安旅行で浴衣がけでくつろいで、我々若いものに俺はこれで世界的に有名になると上機嫌だった。日本の雑誌¹¹⁾より、いかにLondonのRoyal Societyの雑誌が国際的であることを示すもので、小生は複雑な気持ちで聞きながら熱燗を2、3杯口にした。

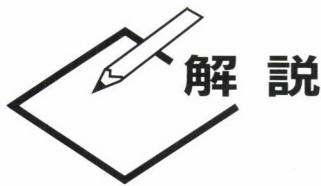
小生も後になってdynamicに動いているdislocationの記述とそれに伴う応力解析を行ったちょっといい論文¹³⁾を書いた。そこで、Proc. Roy. Soc. LondonにR. Peierlsの紹介で発表した。若い助教授だった小生もその時俺もそのうち教授になれるだろうと思い、アメリカ人の同僚に熱心に自分の理論を説明していた。まさにその時、J.F. Kennedyが暗殺されて外はゴツガえしていた。小生の同僚は、Presidentが死んだ死んだと小生の話を半分しか聞いていなかった。小生は大学のpresidentが死んだのだと思って意に介さなかった。話は前後するがRoyal Soc. Londonに論文を載せる時にはSocのFellowの紹介がいる。Peierlsは最近あまり転位論はやっていないので友人のA. H. Cottrellに頼んだと言ったがCottrellが紹介者になり論文はacceptされてProc. Roy. Soc. Londonに印刷された¹⁴⁾。最近になってR. Peierls¹⁵⁾の渡り鳥という自叙伝を感慨をこめて読んだ。彼はその中で、いい問題を提供することが難しく、問題を解くことはそんなに難しいことではないと言っている。これは寺田寅彦¹⁶⁾の「科学者の頭のいいわるいは大変なこと、むしろ悪いのがいいのではないか」という名言とともに小生の大事な人生教訓になっている。

参考文献

- 1) Toshio Mura: Micromechanics of Defects in Solids, Second, revised edition, Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, (1987).
- 2) Kenkyusha's English-Japanese Dictionary for the General Reader; An Encyclopedic Supplement, ed. by T. Matsuda, Kenkyusha, (1994).
- 3) 村 外志夫, 森勉: マイクロメカニクス, 培風館, (1976).
- 4) T. Mura: Inclusion Problems, Appl. mech. Rev., 41 (1988), 15-20.
- 5) T. Mura, H. M. Sodja and Y. Hirose: Inclusion Problem (II), Appl. mech. Rev., 49 (1996), S118-S127.

- 6) J.D.Eshelby:The determination of the elastic field of an ellipsoidal inclusion, and related problems, Proc.Roy.Soc, A241(1957), 376-396.
- 7) T.Mori and K.Tanaka : Average stress in matrix and average elastic energy of materials with misfitting inclusions, Act.Metall, 21(1973), 571-754.
- 8) 島尾永康：ニュートン，岩波新書，(1979)；
中島秀人，ロバート・フック：ニュートンに消された男，朝日新聞社，(1996)。
- 9) H.Reissner:Eigenspannungen und Eigen spannungen. Z. angew, Math., Mech., 11(1931), 1-8.
- 10) S.Moriguti:Fundamental theory of dislocation in an elastic body, 応用数学，力学 1 (1947)，29-36.
- 11) K.Kondo : A proposal of a new theory concerning the yielding of materials based on Riemannian geometry, J. Japan Soc. Appl. Mech., 2(1949), 123-151.
- Proc.2nd Japan National Congress for Applied Mechanics, (1952), 41-47.
- 12) G.I.Taylor:Plastic strain in metals, J.Int. Metals, 62(1938), 307-324.
- 13) B.A.Bilby, R. Bullough and E. Smith: Continuous distributions of dislocations, A new application of the methods of non-Riemannian geometry, Proc. Roy. Soc. London, A231(1955), 263-273.
B.A.Bilby and E. Smith: Continuous distributions of dislocations, Proc. Roy. Soc. London, A236(1956), 481-505.
- 14) T. Mura: Periodic distribution of moving dislocations, Proc. Roy. Soc. London, A280(1964), 528-544.
- 15) R. Peierls: Bird of Passage-Recollections of a physicist, Princeton University Press, (1985).
- 16) 寺田寅彦：科学者とあたま，寺田寅彦全集八巻，岩波書店，(1961)，51-56.

(1997年1月7日受付)



捕る漁業・育てる漁業

今井健彦

鹿児島大学 水産学部 教授

Takehiko Imai

Capture Fisheries and Culture Fisheries

1 釣漁業

古代の釣針は、獣の角や骨で作られた。青銅器時代を経て鉄器時代に推移すると共に、釣針は鉄で作られるようになり、今は、銅鉄製になっている。

数年前、福岡県京都郡豊津町の「川上遺跡」の墳墓から、5本の鉄製の釣針が発掘されたことが報道された。それらの長さは、11.6cmもある大型のもので、寒い地方で好まれる「くき」の長いものであった。副葬品として出土したことから、釣はその当時も動物蛋白食糧を獲得する手段のひとつであり、また、高貴な人々のレジャーであったことが偲ばれる。これらの釣針は、手がかじかむ寒い中国大陸か朝鮮半島で作られたものなのであろう。往時は貴重であった釣針を失わないために、麻などの丈夫な繊維で作られた太い釣糸が、しっかり結ばれていたことであろう。

製鉄技術や工業技術が発達し、釣針は量産されるようになり、安くなった。かつてわが国の津津浦浦に点在した、手造りの釣針製作所は、機械化の波に洗われて閉鎖してしまった。一方、釣漁業そのものも変化し、長さ100kmの縄に、2000本もの釣針をつけて鮪を釣る延縄釣漁業や、数10本の擬餌針を取り付けた釣糸をリールに巻き、ベテラン釣師の釣り糸の操作をコンピュータを介して行う自動釣機を、数10台も同時に稼働するイカ釣漁業なども普及している。それらの釣獲物は、鮮度を尊ぶ魚料理に姿を変えて食卓をにぎわしている。釣漁業は小資本で就業でき、最も値段の高い、いけす料理用的高级魚を狙い取りできる魅力ある産業である。しかし、釣を生業とするには、魚の行動習性や漁場の特性に関する知識が要求され、船を操縦する技術や釣獲した魚を生かす技術が必要である。

2 網漁業

釣漁業は、マグロのような大型魚や、タイのように個体

間隔の大きい高価な魚種を漁獲対象にしているのに対し、網漁業は、イワシ、アジ、サバ、カツオやマグロ(若年魚)などのように群を形成する魚種を漁獲対象にしているものが多い。

海洋法により、距岸200海里の漁業管理水域をそれぞれの国が持つようになり、公海の大陸棚上の底魚資源を漁獲対象にしていたわが国の遠洋底曳網漁業は崩壊してしまった。また、川を遡るサケやマスを沖取る流し刺網に、イシイルカ(寒海に住む小型の歯鯨の一種)やオットセイなどが混獲されることが問題になり、北洋からサケマス流し刺網漁業が撤退させられた。更に、南太平洋中部でビンナガ(小型のマグロ)やカツオを絡ませて捕る流し刺網の禁漁を目指した「公海における刺網の使用禁止」が1994年の国際連合に提案され議決された。この決議は、公海で行われているアカイカ刺網などにも、影響をおよぼしている。

海からの食糧生産に最も貢献しているのは巾着網である。ペルー国が世界第2位、チリ国が同第4位、米国が同第5位の漁獲を挙げているのは、主に巾着網の漁獲に依存している¹⁾(漁獲量の第1位は中国、第3位は日本国)。

巾着網の大規模なものは、浮玉が付けられている浮子網の長さが1800m、鉛玉や銅製の環が取り付けられてある網裾までの深さは、250mもある大きい網である。この網で魚群を囲み、環に通した鋼索を捲締めることにより、魚の逃げ道を塞ぐさまが、あたかも巾着の紐を締めるのに似ていることから、巾着網と名付けられている。巾着網は、米国の北西海岸で生まれ、熱帯マグロ・カツオ巾着網として大成した。この網は、合成繊維の普及、漁労機械や、ぎ装品の開発と共に世界に普及し、それぞれの海域の気象や海況・漁況に適合した漁業システムが開発され、それぞれの海域に定着している。この網の対象魚種は、キハダ、メバチなど熱帯の海に棲むマグロ類の他に、カツオ、サバ、アジ、ニシン、シシャモ、マイワシおよびカタクチイワシなどの浮魚資源である。これらの生物資源量は極めて多く、北半球

の資源は開発されているが、南半球のそれは南米太平洋岸海域を除いて未開発のまま放置されている。

魚群は遊泳能力がほぼ等しいもので形成されていることから、巾着網は他魚種の混獲は少ない。すなわち、巾着網は資源管理に適した漁具である。また、漁労機械の導入により、少ない人数で操作できる高性能の漁業システムでもある。生物資源は、その特性を知り保護・管理することにより、永遠に利用できることから、来るべき「飢えの時代」に備え、それぞれの魚種の資源量と、再生産のメカニズムを解明し、それらの持続生産量を明らかにする研究を今展開しなければならない。

陸地が少ないために、偏西風が吹きすさぶ南半球の漁場には、従来の漁具漁法は通用しない。南半球の浮魚資源を対象にした漁業システムを確立させ、持続生産量を守りながら効率良く食糧確保する基礎研究を行う必要がある。

鹿児島大学水産学部漁業基礎工学講座では、悪天候に強い船型の大型漁船で操作することを目指した「船尾式まき網」の基礎研究を行っている。この網は、まき網の原点に戻った有囊（袋）式のもので、魚群を囲んだ後、両方の網端を船尾にもやい、船を前進させることにより網裾開口部を閉じて漁獲する機構のものである。今は、設計の基本事項について模型実験を行っている段階であるが、数10年後に人類が遭遇する食糧難を解決する一手段として、貢献することになるであろう。

3 いけす養殖漁業

魚の増殖は、サケの人工ふ化放流に端を発しており、海面養殖漁業はブリの稚魚を採捕して、いけすに入れて飼育することに始まった。その手法はカンパチ、マダイ、ヒラメなどに及んでいる。また、サケの放流事業に習い、クルマエビやマダイの幼魚を放流する、いわゆる栽培漁業も行われるようになった。

養殖いけすは、合成繊維網地で作られていたが、大型化した現在は、亜鉛メッキ鋼線製に変わった。そして、いけすが古くなると特定の場所に、折り重ねるように放棄するようになった。亜鉛や鉄イオンが、生物に悪影響を及ぼすことは報告されていないが、海に、いけすの墓場が築かれていることは好ましいことではない。

養殖いけすにチタン線材で編んだ網を用いるための基礎実験を新日鐵（株）鉄鋼研究所の要請を受けて1995年から行っている。劣化することのないチタン製の網地を用いると、いけすの耐用年数は半永久的になり、採算が取れる可能性がある。また、チタンの酸化膜は抗菌性があることが明らかにされているが²⁾、網に付着する動物の幼生や藻類

の遊走子に対しても着生を阻止する効果も期待できる。

「チタンは高価であり、漁具資材に向かない。」と言った先入観に支配され勝ちであるが、かつて「合成繊維は高価なので、漁具には使えない。」と考えられていたことと、同じではなかろうか。いけす資材として、どこまで細くできるのか、どのくらいの耐久性が見込めるのか、どのような生物がどのくらい着生するのかなど、見極めなければならない事柄が、山積されている。

いけすとして用途の終わったチタン網地は、高価であるが故に、地金として回収されることであろう。そして、いけすの廃材投棄問題は自ずと解消されることであろう。

4 浮沈式大型養殖施設

岩手県の綾里湾に、海洋科学技術センターと、岩手県が共同開発した人工海底施設「綾1号」がある。浮沈式の大鋼製筏（人工海底）に養殖籠を取り付けて、エゾアワビを飼育している。この海域で生産されるコンブには、石灰藻が着生するために、商品価値が低い。このようなコンブを刈り取って、エゾアワビ稚貝に餌として与えている。

飼育籠は水深4mに沈設されている人工海底の甲板上に設置されており、週に一回浮上させて餌を与えている。中央部に設けられた浮沈用水槽の水をポンプで汲み揚げることにより、この施設は約一時間で浮上する。一回の浮上に要するエネルギー源は、軽油数リットルであり、水槽底のバルブを開くことにより約20分間で元の深さに沈設できる。制御室は、ペイント塗装されているが、本体は塗装されていない。鋼材を保護するために、アルミ材が数ヵ所に取り付けられているだけであるが、5年間メンテナンス・フリーになっている。

この事業は成功し、さらに大型化した施設が岩手県大槌町の外海に1996年の春設置された。「オーチャン」という愛称のこの施設（図1、図2参照）は、同年8月に襲来した台風12号の風浪にも耐え、その生産性も実証されつつある。一方この施設は、浮魚の人工魚礁としても期待できることから、海洋科学技術センター、東京大学海洋研究所大槌研究センターおよび鹿児島大学の本講座により、この施設の周りの魚群の行動について共同研究を行っている。このような浮沈式大型養殖施設を外海に敷設することは今までになかった発想であるが、これらの施設は、海洋牧場の拠点となって、沿岸漁業を振興することであろう。そして、このような新しい生産システムの成功は、漁業が魅力ある産業へ復活する糸口になることであろう。

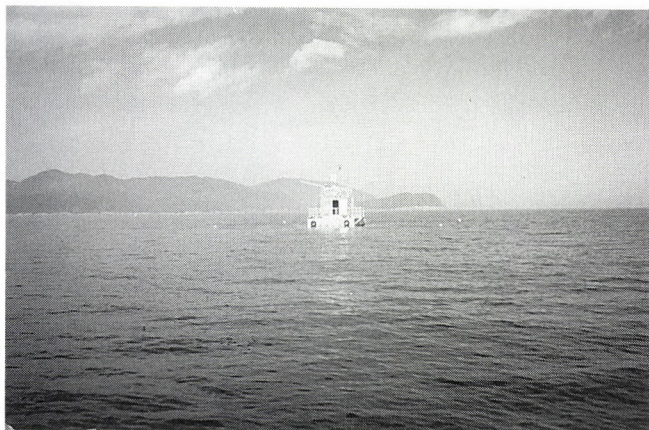


図1 沈設されている人工海底施設

5 海造りと環境浄化

寒い海では表層水が冷却され、密度が大きくなって沈み、栄養塩（肥料成分）たっぷりの中層水（または底層水）が、表層にもたらされる。すなわち、自然の力で海は耕されている。そのため、高緯度の海に注がれる太陽エネルギーは少ないのに、生産力は高い。一方低緯度の海は、注がれる太陽エネルギーにより表層水は暖められ、密度が小さくなったその水塊は海表面付近に留まる。その水塊に生息する生物の排泄物や死殻は、海水より少し重いために沈下してしまうので、栄養塩の補給は殆ど行われぬ。そのため、熱帯の海に育まれる生物量は比較的少ない。しかし、熱帯の海の数100メートル下層には、栄養塩豊かな中層水があり、何らかの理由で、その水が表層に運ばれると、その熱帯の海は、生産性が非常に高い海域に変わることが明らかにされている。ペルー国の沖には、フンボルト海流が湧昇しており、浮魚資源が豊富である。ペルー国はアンチョベータ（カタクチイワシの仲間）などの浮魚資源を生産することにより世界第2の漁業国になっている。

ペルー国沖の漁場に習い、栄養塩の豊かな中層水を人工的に汲み揚げることができれば、生産性の低い熱帯の海を、豊かな海に造り替えることができる。その任を担う、海を耕すブルトーザのエンジンは、「海水の温度差発電装置」が最適である。その装置は、水温約28℃の表層水を減圧蒸留し、その蒸気を約10℃の中層水で冷却したコンデンサーに導き、蒸気を水に戻す過程で蒸気タービンを駆動させて発電するものである。この装置は、発電システムとしては、既に実験済みであり、取り出すことができる電気エネルギーが少ないため、実験プラントに止まっている。しかし、冷却に用いた水深数100mの海水こそ、熱帯の海を緑豊かな海に替える、栄養塩豊かな中層水なのである。すなわち、「海水の温度差発電装置」は、海水の温度差を利用して発電し、



図2 浮上している人工海底施設

生活に不可欠な清水を造りながら海を耕す熱機関なのである。この装置を搭載した海洋構造物を黒潮の源に浮かべて（人工衛星からの信号で測位する装置GPSを用いて定位させる）、その装置を作動させることにより、下流域を極めて生産力の高い豊かな海に変えることができる。

海には数多くの生物が住んでおり、ある生物に適した環境が造られると、その生物は爆発的に増殖することから、油断すると赤潮大発生のような、予期しないことが起こりかねない。まずは、小規模のシステムを短期間稼働させ、その海域の生態系の変化を見守りながら、海造りを進めることを提唱したい。

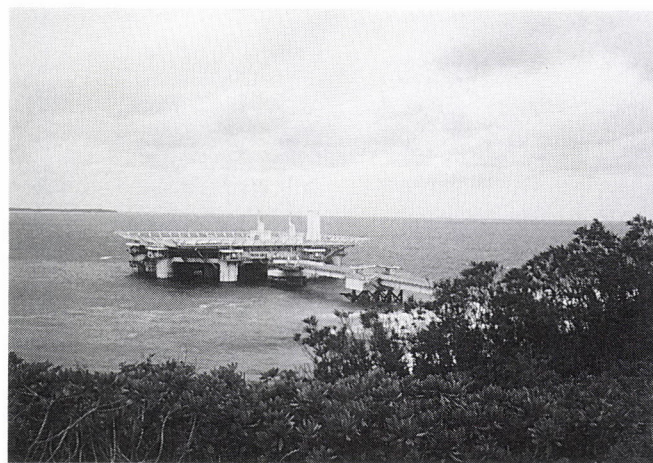


図3 20年前脚光を浴びたアクアポリス

先月沖縄に出張した折、国立沖縄記念公園を訪れる機会を得た。20年前の海洋博覧会で脚光を浴びたアクアポリスは、その用途を果たし終えたのか、遊歩道から切り離されて係留されていた（図3参照）。この遊休施設を譲り受け、漁場造成研究施設に模様替えすることができると、前述の研究を展開する夢を実現することができる。残された人生を、海造りの研究に捧げることができれば、至上の喜びと夢を膨らませながら、帰途についた。

黒潮を緑豊かな海に変える技術が確立すると、海からの食糧が増産されるだけでなく、植物プランクトンの葉緑素

の光合成により海の炭酸ガスは減少し、空気中の炭酸ガスは海に溶解込む、このようにして地球環境は浄化されることになる。21世紀に展開される漁業は地球にも人にも優しい産業でなければならない。

文献

- 1) FAO Year book, Fishery statistics 1995
- 2) 藤嶋 昭：光触媒が活躍する殺菌、防汚、脱臭効果
一水会会報 Vol.37, No.5, pp.21-26

(1997年3月3日受付)

▶ ガス還元炉について—国際会議「予備還元生産物と欧州」の話題 ◀

名古屋工業大学助教授 林 昭二

昨年1996年9月23、24日にイタリアのミラノで表記の国際会議¹⁾が同国金属協会 (AIM) 主催で開催された。製鉄分野においては近年鉄鋼備蓄量の増大による鉄スクラップ (屑鉄) を主原料とした電気炉製鋼の比率 (1995年、全粗鋼に対して約30%、図1参照²⁾) が益々増加の傾向にある。このような状況において、屑鉄代替のPureな鉄源 (これを予備還元生産物と称している) の需要が増す中で、鉄源生産技術、電炉利用技術、これらを取り巻く環境と将来展望に関しての討議の場が、欧州において電炉業が盛んなイタリアの地で開かれることになったと推察される。

屑鉄中には銅や錫等の有害なTramp elementが含まれているが、これらの害を低減するために、現状ではPureな鉄源 (溶鉄、型鉄、還元鉄、炭化鉄等) にて一部を希釈する方策がとられている。また、屑鉄そのものが不足の場合もある。高炉に隣接した電炉工場は溶鉄を利用できるが、それ以外では現状で天然ガスが安価な中南米、東南アジア、中東等が還元鉄の主たる製造地域となっており、消費地への輸送が必要となる。

図1に示すように製鉄プロセスは高級鋼の高炉—転炉方式、低中級鋼の電炉が一般的な枠組みであるが、電炉業界も薄スラブ連铸機を導入するなど高級鋼化を目指しており、屑鉄のリサイクル業務を今後どのようなプロセスが担っていくのかも含め、製鉄分野における各種の競合、開発が激化していく趨勢である。環境、エネルギー、コストなどの問題を解決していく中で、各国、各工場の立地、事情に応じた鉄源確保、製品品質、電炉技術の向上等を目指していくものと考えられる。

著者もこの会議に出席したが、本稿では電炉の装入物である予備還元生産物として期待される還元鉄、炭化鉄を製造するためのガス還元炉の周辺に焦点を当て、会議での発表状況には捕われず最近の製造方式や開発動向を述べることにする。

還元鉄は一般的に鉄鉱石と還元剤 (通常 H_2 と CO の混合ガスや炭剤) とを高温にて接触させ化学反応によって製造する。還元ガスは天然ガスや石炭等から改質して作る。

還元鉄製造法は1)～4)に示す原料、還元剤、還元ガス製造、排ガス処理、反応形態等をローカル条件に合わせた形で構成され、これまで多くの方式が出現したが、稼働中や開発中の主要なプロセスは表1にみることができる³⁾。

- 1) 原料面：鉄鉱石 (粉、塊)、塊成ペレット等、
- 2) 還元剤、エネルギー：天然ガス、石炭等、
- 3) 還元ガス製造、排ガス処理：水蒸気、炭酸ガス、部分酸化によるガス改質、触媒被毒対策等、
- 4) 反応形態：移動層 (シャフト炉)、固定層、流動層、回転炉、回転炉床、

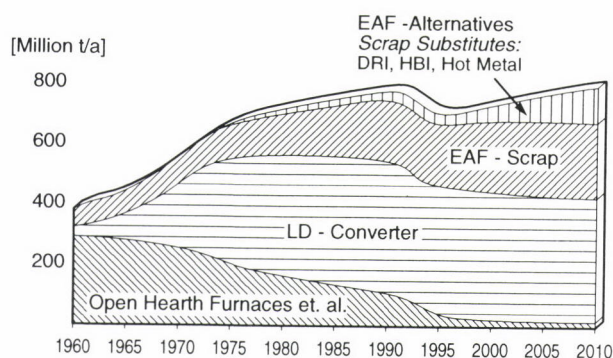


図1 プロセス別世界の粗鋼生産量

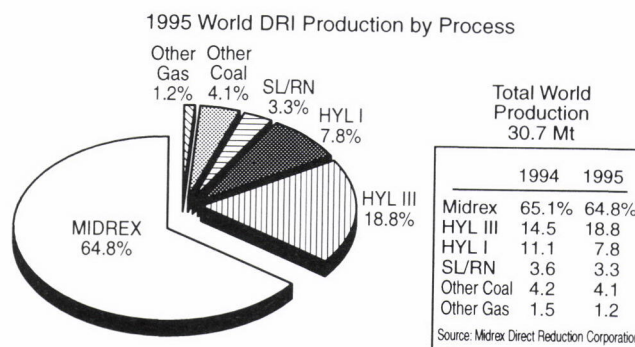


図2 プロセス別世界の直接還元鉄生産量 (1995年)

表1 主要な直接還元鉄製造プロセス

プロセス	MIDREX	HyL III	FIOR	SL/RN	Iron Carbide	FASTMET
現 況	実用化	実用化	実用化	実用化	94年操業開始	95年操業開始
還元炉のタイプ	シャフト炉	シャフト炉	流動床	ロータリキルン	流動床	回転炉床炉
原 料	ペレット塊鉱石	ペレット塊鉱石	粉鉱石	ペレット塊鉱石	粉鉱石	粉鉱石
燃 料	天然ガス	天然ガス	天然ガス	石炭	天然ガス	石炭/LPG
ユーティリティー	—	蒸気	蒸気	蒸気	蒸気	—
付帯設備	改質炉	改質炉 CO ₂ 除去装置	改質炉 CO ₂ 除去装置	—	改質炉	—
設備能力 (1,000Mt/年)	1,000	1,000	400	200	320	450
エネルギー消費量 (Gcal/t)	2.5	2.7	4.0	4.5	3.0	3.0
製 品	DRI/HBI	DRI	HBI	DRI	Fe ₃ C粉	DRI/HBI
金属化率 (%)	>92	>92	>92	>92	Fe ₃ C>90	>92
炭素含有率 (%)	1~2	1~2	0.5	0.3	<6.0	<2.0

出所：永井『鉄鋼界』1994年11月号、P.23

現在では全世界で3千万トン強／年の還元鉄（DRI）生産量があり、エネルギー使用量の少ないMidrex法、HyLIII法が主流であり両者ともシャフト炉方式で合わせて84%を占めている。（図2）⁴⁾ 流動層炉はFior法、Finmet法、Circored法、Circofer法（石炭使用）に代表され、安価な粉鉱石が利用できるため今後増加の方向であり、回転炉に代表されるSL/RN法、回転炉床に代表されるFastmet法は共に石炭を使用、後者は今後の発展が期待できる。

製造されたDRIは活性であるためHBI化（熱間塊成化）することが望まれる。HBIは高密度、高熱伝導度であるので、電炉使用に対する信頼性が高く今後使用量が増加傾向にある。

また、米国ミニミル大手Nucor社による炭素を6%程含有する炭化鉄（Fe₃C組成）製造（Iron Carbide法）も実用化にあり、今後注目に値する。炭化鉄は還元鉄と異なり、耐候性が良く安全輸送でき、含有炭素が熱源として働き、溶鋼に吹き込むとともに脱窒素が相当期待できる。窒素濃度のレベルは転炉鋼に近く、薄板（高級鋼）の製造も可能となる。なお、著者らは最近別の炭化鉄合成法を示した⁵⁾。

他に、高炉よりも資源対応力のあるCorex法、DIOS法等の溶融還元法によって製造される溶銑も電炉用鉄源としても活用でき、今後の進展が注目されることである。

結局、資源や操業柔軟性を持ち、高反応効率、エネルギー原単位そして固定費の少ない経済性のあるプロセスが将来的には発展していくことになると思う。

参考資料：

- 1) AIM：Proc. of Int. Conf., "Pre Reduced Products and Europe", Milan, Italy, 23-24 Sep. 1996,
- 2) W.Bohrn et al.：ibid., p.246
- 3) 竹内美継：鉄鋼界，1995年2月号，p.2
- 4) Direct from Midrex：1st Quarter 1996, Supplement
- 5) S. Hayashi et al.：ISIJ Int., 37(1997)No.1, p.16

(1997年3月18日受付)

ISSとの新協定に関する細目のお知らせ

昨年 9 月に締結された Iron & Steel Society と日本鉄鋼協会の交流協定に基づき、相互の協会の刊行物の購入や主催行事への参加が会員資格でできるようになりました。今回、細目を取り決めましたので、その概要を会員の皆様にご報告いたします。

1. 刊行物関係

・定期刊行物、Proceedingの交換

ISSからは「Iron & Steelmaker」と Ironmaking, Steelmaking, Mechanical Working & Steel Processing, Electric Furnace および Process Technology の 5 部門の Annual Conference の Proceeding が協会へ送付されてきます。また、ISS 主催の国際会議の Proceeding も同様に送られてきます。協会の閲覧コーナーでご覧ください。

・刊行物の情報交換

現在 ISS が販売している刊行物リストが年 1 回送られてきますので、新刊情報を「ふえらむ」に掲載し、会員にお知らせいたします。

・刊行物の購入、Iron & Steelmakerの定期購読予約

ISS の刊行物の発注および定期購読予約方法は、「ふえらむ」'97 年 4 月号の会告をご覧ください。

2. 主催行事関係

・行事情報の交換

ISS が主催する Annual Conference や国際会議に関する最新情報を年 4 回、相互に交換し、「ふえらむ」の会告に掲載しますので、ご覧下さい。

・講演大会、国際会議への参加

本協会会員の皆様は、ISS の 5 部門の Annual Conference、ISS 主催の国際会議に会員資格で参加できます。

・参加申込方法

「ふえらむ」'97 年 3 月号の会告に掲載しておりますのでご覧ください。

3. ホームページ

・ISS と本協会のお互いのホームページにリンクを張り、相互乗り入れを可能にして、本協会会員の皆様が ISS の最新情報を知り易くいたします。

本会情報一覧

記事内容	掲載号
平成 9 年度理事、監事、並びに評議員の選挙結果報告	本号 540 頁
第 5 回鉄鋼工学アドバンストセミナー受講者募集案内	本号 542 頁
ISS との新協定に関する細目のお知らせ	本号 544 頁
第 7 回鉄鋼圧延国際会議アブストラクト募集のご案内	本号 545 頁
出版案内	本号 555 頁
第 34 回白石記念座「東南アジアの発展と鉄鋼業」開催案内	6 号 436 頁
シンポジウム「3 次元形状計測の最新動向」開催案内	6 号 437 頁
「鉄と鋼」[ISIJ International] 投稿規程・執筆要領	6 号 439 頁
平成 8 年度事業報告・収支決算及び平成 9 年度事業計画・収支予算のお知らせ	6 号 450 頁
新名誉会員・一般表彰受賞者のお知らせ	6 号 456 頁
第 5 回日本鉄鋼協会・日本金属学会奨学賞受賞者のお知らせ	6 号 478 頁
第 134 回秋季講演大会 一般講演募集案内	5 号 362 頁
第 134 回秋季講演大会 予告セッションへの講演申込のお誘い	5 号 364 頁
講演大会参加方法のご案内	5 号 364 頁
第 134 回秋季講演大会 学生ポスターセッションでの発表のお誘い	5 号 366 頁
評価・分析・解析部会 自主フォーラム発足のご案内	5 号 370 頁
ISIJ International 特集号「Recrystallization and Related Phenomena」原稿募集案内	5 号 371 頁
日向方斎メモリアル国際会議助成の募集案内	4 号 284 頁

訂正とお詫び

「ふえらむ」No.5、No.6 背表紙記載の通巻総ページ数に誤りがありました。訂正してお詫びいたします。

No.5

× 誤 301-380 → ○ 正 301-382

No.6

× 誤 383-470 → ○ 正 383-478

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
1997 年			
7 月 16～18 日	第 68 回塑性加工学講座「鍛造加工の基礎と応用」（名古屋）		5 号 377 頁
18 日	関西支部 本多光太郎記念講演会（大阪）	1997/7/8	5 号 374 頁
18 日	東海支部 本多光太郎記念講演会（名古屋）		本号 545 頁
23 日	第 34 回白石記念講座「東南アジアの発展と鉄鋼業」（東京）		6 号 436 頁
23～26 日	Dynamics and Design Conference'97（東京）		本号 548 頁
24, 25 日	北海道支部 平成 9 年度第 2 回評議員会・夏委講演大会（室蘭）		本号 545 頁
24, 25 日	第 6 回新素材及びその製品の非破壊評価シンポジウム（名古屋）		本号 548 頁
25 日	シンポジウム「3次元形状計測の最新動向」（東京）		6 号 437 頁
25 日	塑性加工シンポジウム「圧延分野における材料組織予測・制御技術の現状」（東京）		6 号 445 頁
26～ 8 月 1 日	第 23 回鉄鋼工学セミナー（蔵王）	1997/5/9	3 号 205 頁
28～30 日	第 35 回熱測定講習会「初心者のための熱分析の基礎と応用」（大阪）		6 号 445 頁
29, 30 日	第 33 回 X 線材料強度に関するシンポジウム（京都）	1997/4/25	5 号 377 頁
30 日	日本金属学会シンポジウム「高温材料と高温加工の現状と今後」（名古屋）		6 号 445 頁
8 月 4, 5 日	中国四国支部 支部講演大会（徳島）	1997/6/6	5 号 374 頁
8～28 日	産業技術歴史展（横浜）		3 号 219 頁
20～23 日	第 37 回真空夏季大学（静岡）	1997/7/10	本号 548 頁
27 日	SICE セミナー「制御における適応とチューニング」（東京）		6 号 445 頁
27～29 日	第 69 回塑性加工学講座「有限要素法入門セミナー」（横浜）		本号 548 頁
27～29 日	第 8 回電顕サマースクール 1997（広島）	1997/8/17	本号 548 頁
28 日	'97 センシング実習スクール（大阪）	1997/7/25	本号 548 頁
9 月 9 日	第 128 回塑性加工懇談会「塑性加工 FEM 解析はどこまで進歩したか」（東京）		本号 548 頁
16～18 日	The 4th IUMRS International Conference in Asia（千葉）	1997/6/30	6 号 445 頁
18, 19 日	ダイナミカルシステムのモデリングと制御（大阪）		本号 549 頁
24, 25 日	第 9 回破壊力学シンポジウム（滋賀）	1997/6/9	5 号 377 頁
24～26 日	第 134 回秋季講演大会（仙台）	1997/7/9	5 号 362 頁
24～26 日	'97 国際真空産業展（東京）		本号 549 頁
10 月 5～8 日	1997 TMS Fall Extraction and Processing Conference “The Julian Szekely Memorial Symposium on Materials Processing (Cambridge, Massachusetts)”		本号 549 頁
22～24 日	第 18 回日本熱物性シンポジウム（奈良）	1997/6/13	本号 549 頁
23, 24 日	HPI 技術セミナー（大阪）		5 号 376 頁
23, 24 日	第 9 回傾斜機能材料シンポジウム（大阪）	1997/8/29	本号 549 頁
28～31 日	SAMPE 先端材料技術国際会議（東京）	1997/10/28	5 号 377 頁
11 月 1～3 日	第 33 回熱測定討論会（岡山）	1997/6/30	5 号 377 頁
4～7 日	The International Conference on Advanced Automobile Materials'97（北京）	1997/5/31	6 号 445 頁
5～7 日	第 38 回真空に関する連合講演会（東京）	1997/7/25	本号 549 頁
11 日	分子動力学シンポジウム（大阪）	1997/7/31	本号 549 頁
12 日	International Seminar on Molecular Dynamics Simulations（大阪）		本号 549 頁
12～14 日	第 48 回塑性加工連合講演会（山口）	1997/7/18	5 号 377 頁
12～15 日	'97 粉体工業展・大阪	1997/6/30	6 号 445 頁
17～19 日	溶接構造シンポジウム「新世代構造のための高強度鋼」（大阪）	1997/6/20	4 号 294 頁
19～21 日	第 5 回鉄鋼工学アドバンスセミナー	1997/9/1	本号 542 頁
20～22 日	第 40 回自動制御連合講演会（石川）	1997/8/8	5 号 377 頁
12 月 10～12 日	第 23 回固体イオニクス討論会（名古屋）	1997/8/11	本号 549 頁
1998 年			
2 月 14～19 日	International Symposium on Value-Addition Metallurgy (Texas, U.S.A.)	1997/7/1	6 号 445 頁
3 月 22～25 日	第 2 回世界製鉄会議 (ICSTI'98)（トロント）	1997/2/28	1 号 63 頁
5 月 24～28 日	第 5 回高濃度窒素鋼国際会議（フィンランド、他）	1997/9/1	5 号 375 頁
6 月 7～12 日	鑄造・溶接・先進凝固プロセスのモデリング国際会議Ⅷ（サンディエゴ）	1997/6/1	6 号 445 頁
23～25 日	The 5th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites (Colorado, USA)	1997/8/1	本号 549 頁
7 月 12～16 日	Third Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing（ハワイ）	1997/9/1	本号 549 頁
1999 年			
6 月 13～18 日	国際計測連合第 15 回世界大会（大阪）		4 号 294 頁

編集後記

梅雨明けの時期を気にしながら、夏のレジャー計画を立てておられる頃ではないでしょうか。マリンスポーツおよびレジャーは近年盛んで、若者の間では、サーフィンやスキューバダイビングが幅広く、根強いところでは釣りが盛んようです。

水泳が不得意な私も、最近の運動不足を気にして、近くにある公営のプールへと時々出かけます。温水なので一年中泳げますし、ゆったりと全身運動ができて、手軽なリラックス方法として気に入っています。毎年この時期になると学校のプールの

授業の前に少しでも泳げるようにしようとする児童で混雑してきます。近くの小学校のプールから元気な歓声が聞こえて来るのももう少しです。

今月号はグラフ記事と解説に、海の季節にちなんだ話題を採り上げました。趣味としての魚釣りは楽しくても、仕事となると大変な努力とご苦労があるのでしょうか。

今年の夏の計画がまだの方は海の方にお出かけになつては如何ですか。
(T.K.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

副委員長 近藤 隆明 (NKK)

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)
大河内春乃 (東京理科大学)	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 (株日本鉄鋼連盟)	今野 美博 (住友金属工業株)
下川 成海 (株日本鉄鋼協会)	手塚 誠 (株日本鉄鋼協会)	成島 尚之 (東北大学)
古田 修 (愛知製鋼株)	丸山 俊夫 (東京工業大学)	柳 謙一 (三菱重工業株)
山下 孝子 (川崎製鉄株)		

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日第三種郵便物認可 1997年7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 1997 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

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

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

Copyright Clearance Center, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

表紙デザイン 出澤 由野

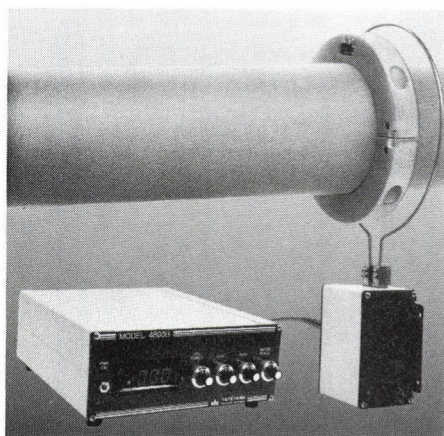
ふらむ Vol.2 No.7 広告目次

表 2	丸本工業(株)	試料準備機器	前 4	コマツエンジニアリング(株)	後 1	本紙広告目次	
前 1	(株)マツボー			摩擦摩耗試験機	(株)立山電子	トルク測定装置	
		高精度レーザー測定器	5	王子製鉄(株)	2	富士電波工機(株)	各種試験機
2	(株)チノー	放射温度計	6	大野ロール(株)	表 3	日本ミンコ(株)	サンプル・サンブラ
3	(株)島津製作所	発光分析システム		各種圧延装置	表 4	日本アナリスト(株)	各種分析装置

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

非接触方式 トルク・振動・温度測定装置

タテヤマテレメーターシステムは、優れた耐環境性能
(高温、水蒸気、油ミスト等)を有し、可動部分を持たない
電波を使った非接触方式の高精度な測定装置です。



アプリケーション

各種回転機：トルク、ひずみ、応力、温度、振動他

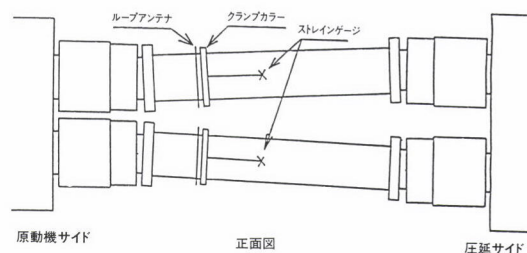
各種移動体：温度、応力、振動計測他

鉄鋼：圧延ミル、ロール、炉、モーター、キルン、設備診断等

その他 アプリケーションお気軽にご相談ください。

28年間の実績多数あります。

例) 圧延ミルのトルク測定
[Model 4800B システム] の場合



- 既存のシャフトに簡単に取付・調整可能
- シャフトが上下動もしくは前後動する場合でも
高精度の安定したデータ測定が可能
- 計測現場での電源不用
- 誘導電源使用により連続運転可能
メンテナンスフリー
- 近接場所において3ch同時測定可能、別タイプでは
最大30スタンド(ch)のトルク同時測定が可能

製造、販売元



株式
会社

立山電子

〒150 東京都渋谷区渋谷3-2-1 電話 03(3400)8834(代表)
FAX 03(3400)8545

INDUCTION HEATING & CONTROL

富士電波工機の試験機シリーズ!!

コンピュータシステムによるデータ処理

☆ **formastor-F** 全自動変態記録測定装置

CCT, TTTの急速自動測定

各種熱処理条件をシミュレートして変態測定

☆ **ThermoFINE** 高精度全自動熱サイクル再現装置

試片をマガジンにセットするだけで無人運転ができる

高周波加熱と通電加熱の併用で急速加熱ができる

自動化により再現精度が向上

☆ **THERMECMASTOR Z** 熱間加工再現試験装置

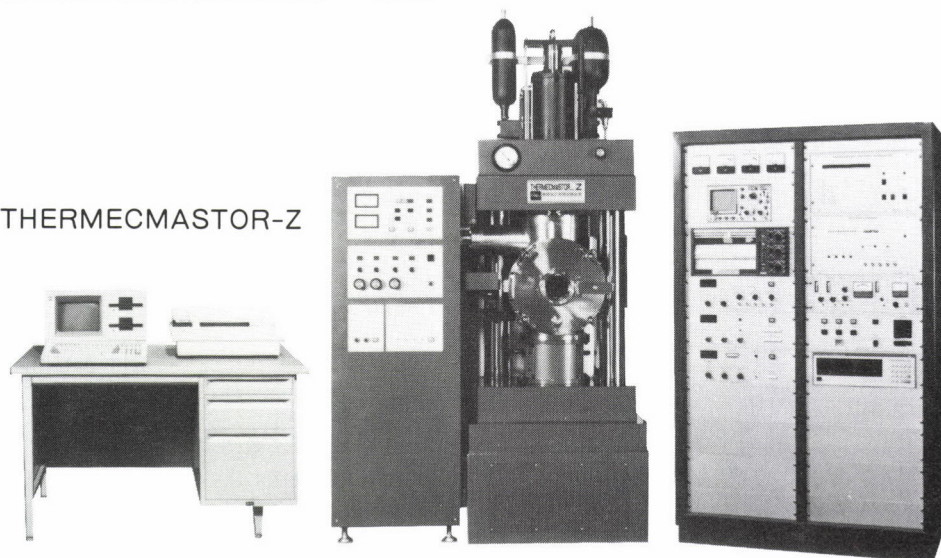
熱間加工試験研究の決定版!

熱間における加工条件を正確に再現

変形抵抗・組織変化及び熱間変形時の延性を的確に測定

加工後の変態測定が可能

THERMECMASTOR-Z



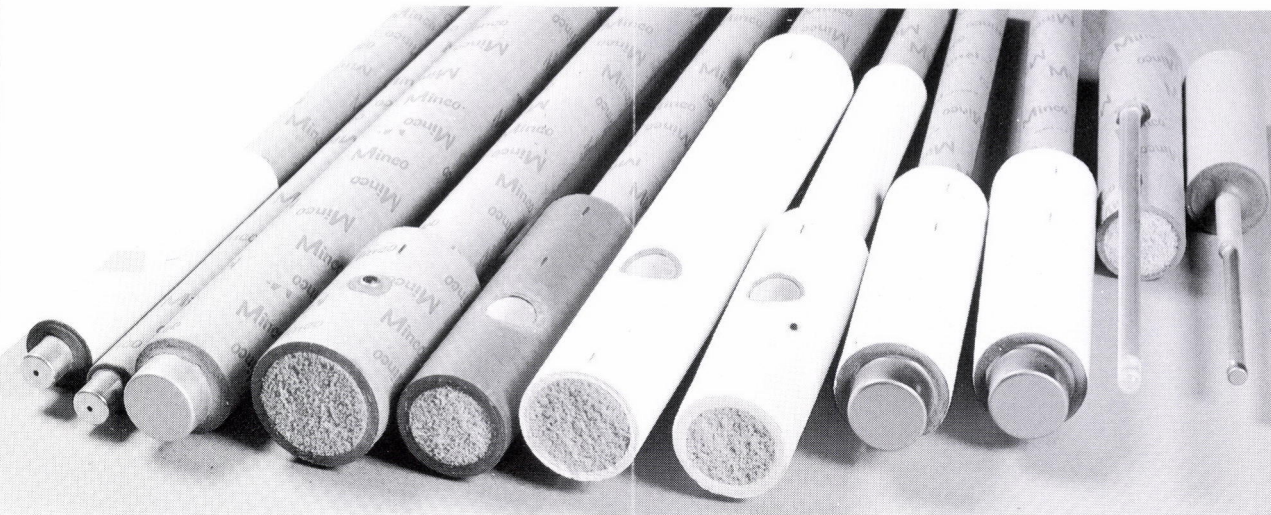
富士電波工機株式会社

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

Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

品質向上のパイオニア

■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)



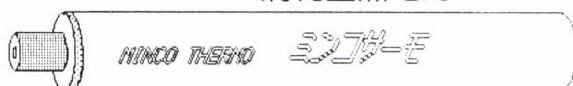
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

PT301型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968

白金・白金ロジウム

■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。

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

日本ミンコ株式会社

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

お問い合わせは

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

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



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
RO-416 O分析

TN-414 N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