

Volume 1
No.7 1996

(社)日本鉄鋼協会会報

ふえらむ

Bulletin of

The Iron and Steel

Institute of Japan



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

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

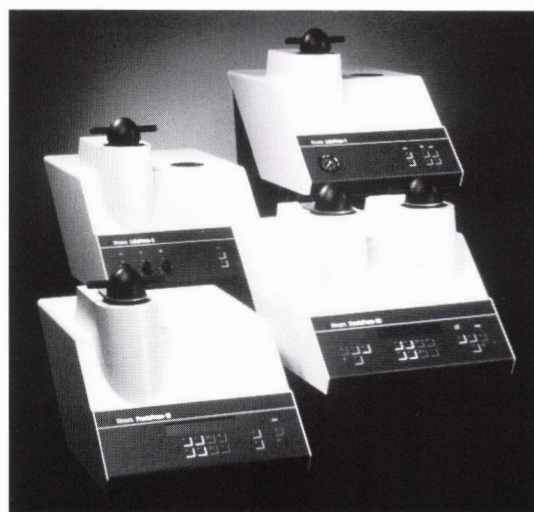
多種の材料を材料を埋込む場合に100件のデータを保存出来、プロセス制御を装備した本装置が最適です。

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

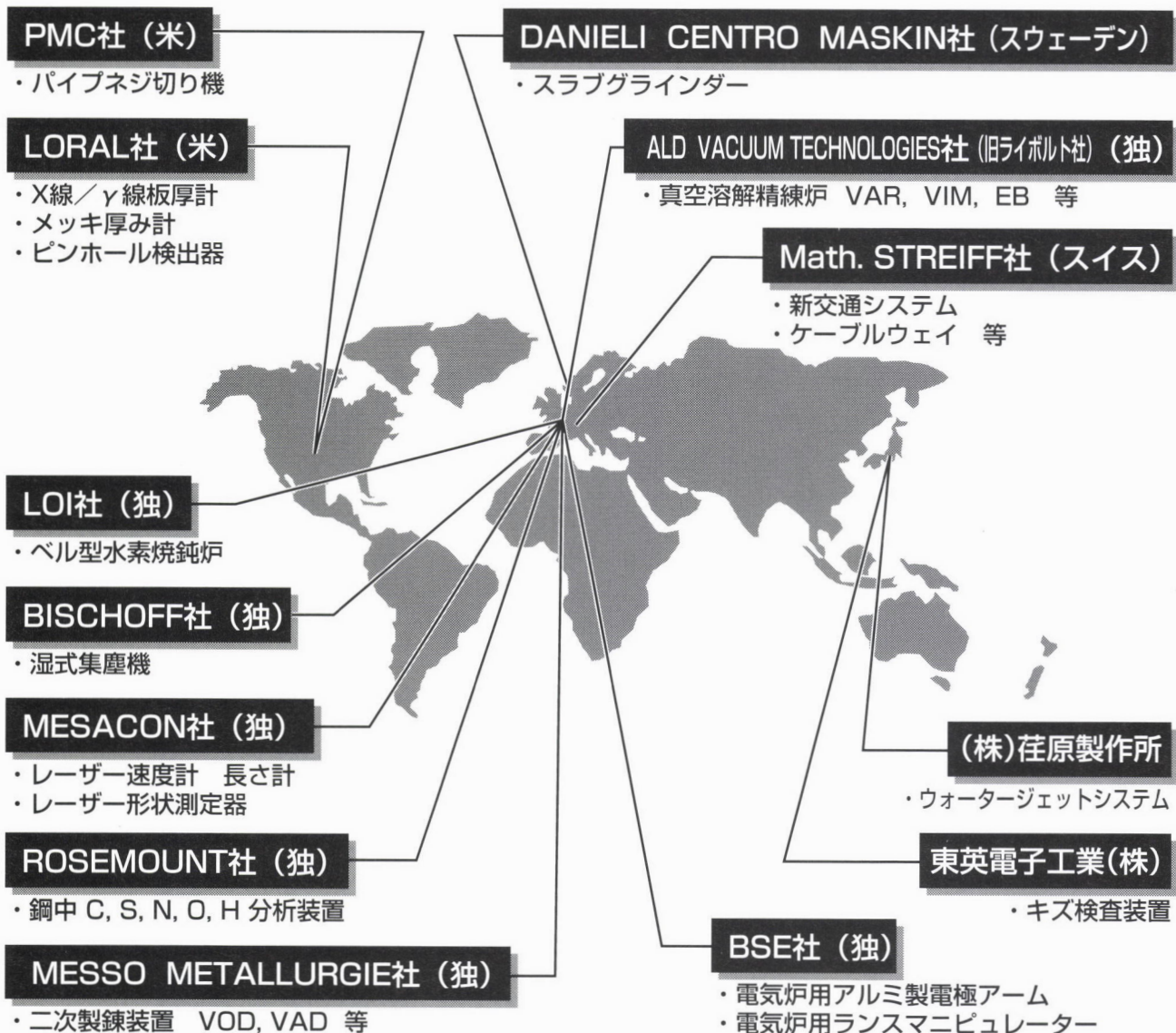
RADIOMETERグループ

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

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

重工業グループ取扱商品



これからも世界の先進技術をご紹介します。

株式会社 **マツボー**

プラント2部

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

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

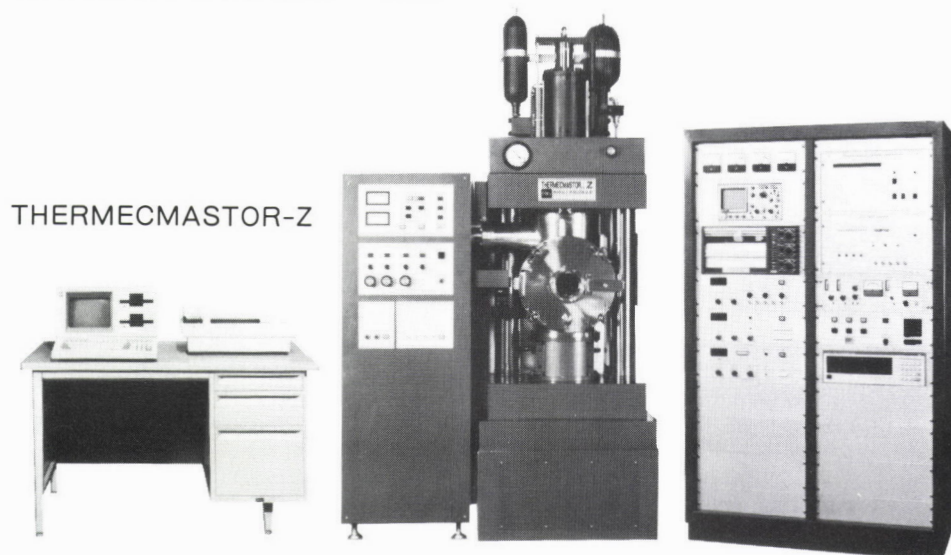
☆ **THERMECMASTOR Z** 熱間加工再現試験装置

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



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

SHIMADZU

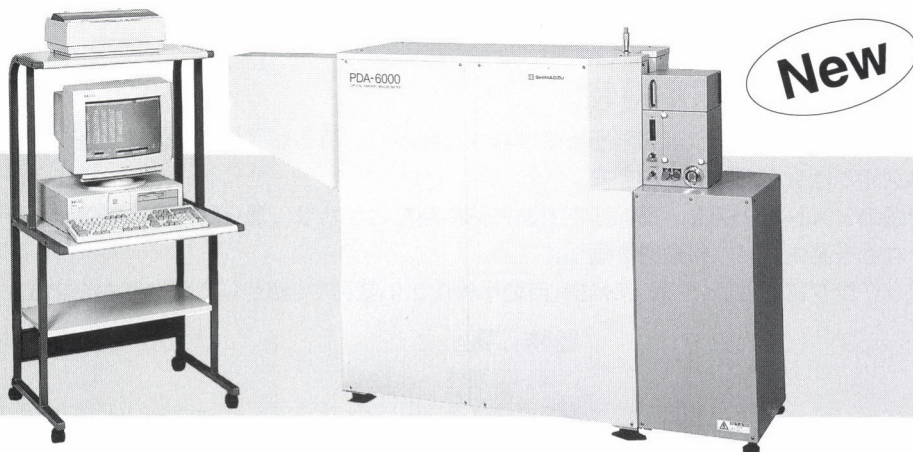
Solutions for Science
since 1875

島津発光分析装置

PDA-6000シリーズ

PDA-6000は、金属中の多元素を同時に、しかも迅速に精度良く分析できるPDA光電測光式発光分析装置です。光電測光式発光分析法は、JIS（日本工業規格）にも制定され、広い分野で公認の分析法として採用されています。品質管理分析には欠かせない有用な最新鋭機です。

- 高分解能分光器 焦点距離1200mmの分光器を採用することにより、高分解能が得られ、微量域の感度が向上しています。
- 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。



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

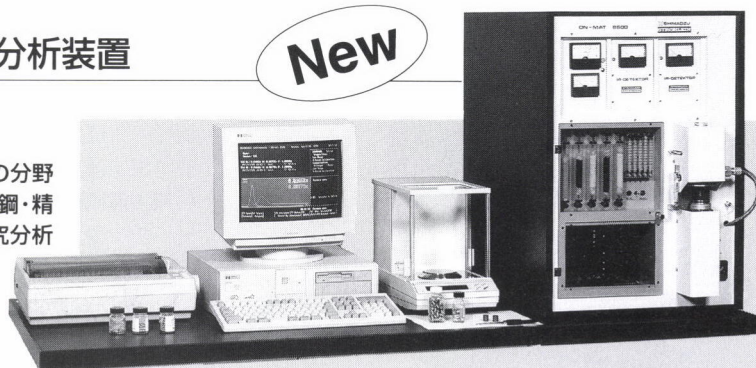
パワーアップ1200mm分光器搭載

铸铁・鋇鉄中C・S・O・N・Hの分析に

島津/STROHLEIN
固体/粉体試料用燃焼式ガス分析装置

MATシリーズ

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



⊕ 島津製作所

本社 京都市中京区西ノ京桑原町1

第二分析事業部 (075) 823-1236
お問合せはもよりの営業所へ

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

コマツグループの試験計測技術を生かした

摩擦摩耗関連試験機

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

主な試験機

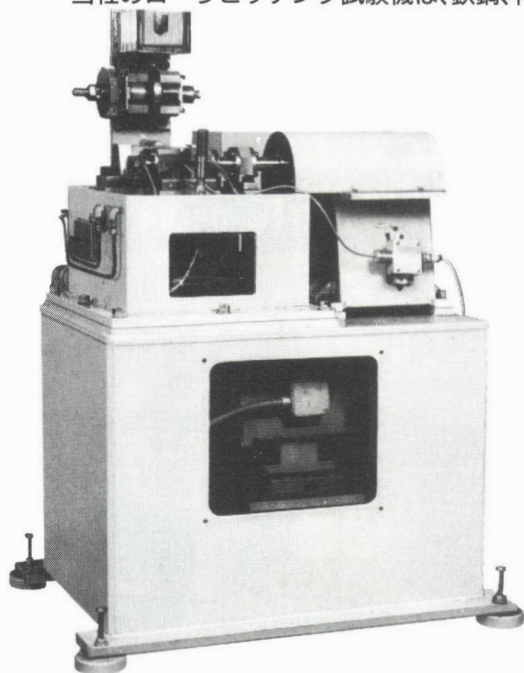
試験機名	材 料 試 験					潤滑油試験	
	スポーリング	ピッチング	スコーリング スカuffing	摩 耗	摩擦特性	高温清浄性	摩擦特性
ローラーピッチング試験機	○	○	○	○	○		
動力循環式歯車試験機	○	○	○	○	○		
摩擦摩耗試験機 (回転式 往復動式)			○	○	○		
クラッチブレーキテスト				○	○		
土砂摩耗試験機				○			
ホットチューブテスト						○	
マイクロクラッチテスト							○

ローラーピッチング試験機

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

ローラー状の2個のテストピースを、高面圧下で連続的に回転させたり、滑らせたりして、ピッチングやスコ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 神奈川県平塚市西之宮1144-1 TEL.(0463)53-4025 FAX.(0463)53-4427

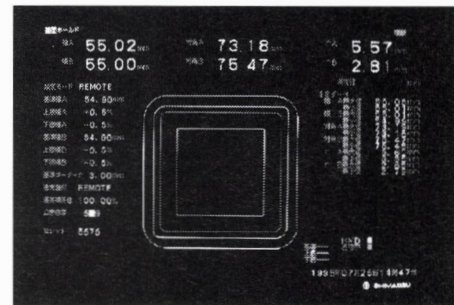
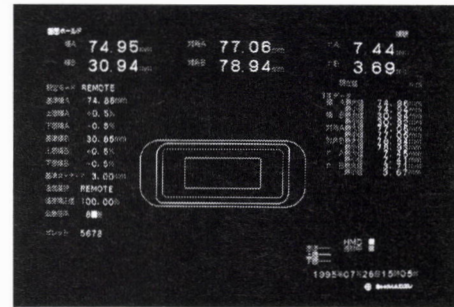
SHIMADZU

角鋼(四角, 六角, 平鋼)の圧延 工程中の省力化

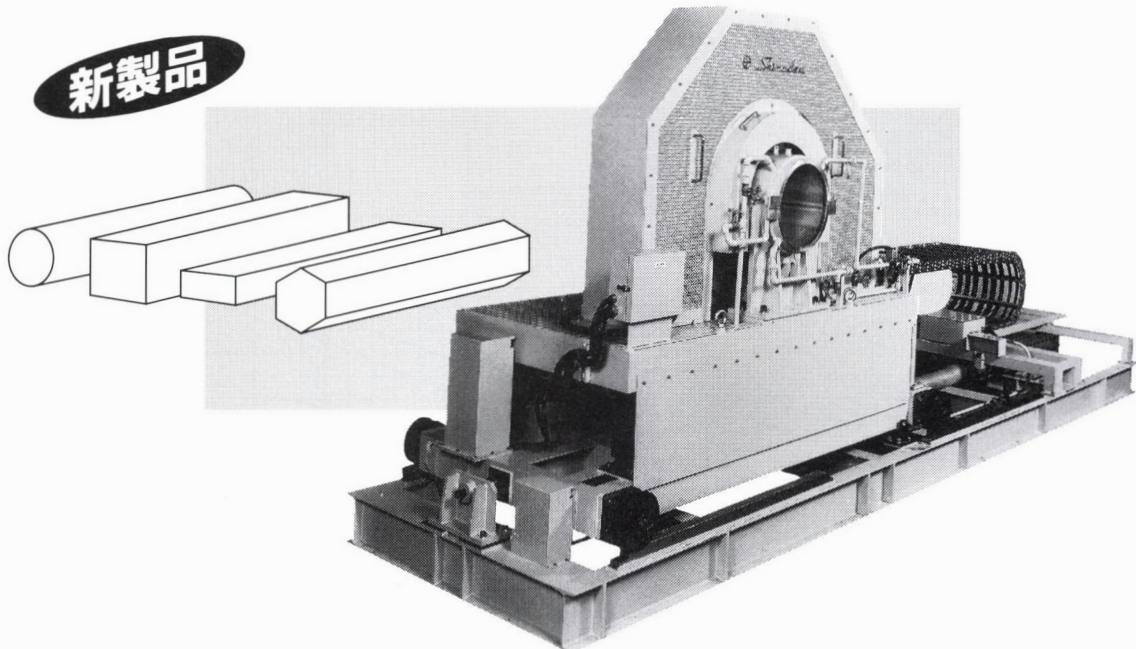
島津回転式寸法測定装置

SMSシリーズ

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



新製品



販売元

⊕ 島津メクテム株式会社

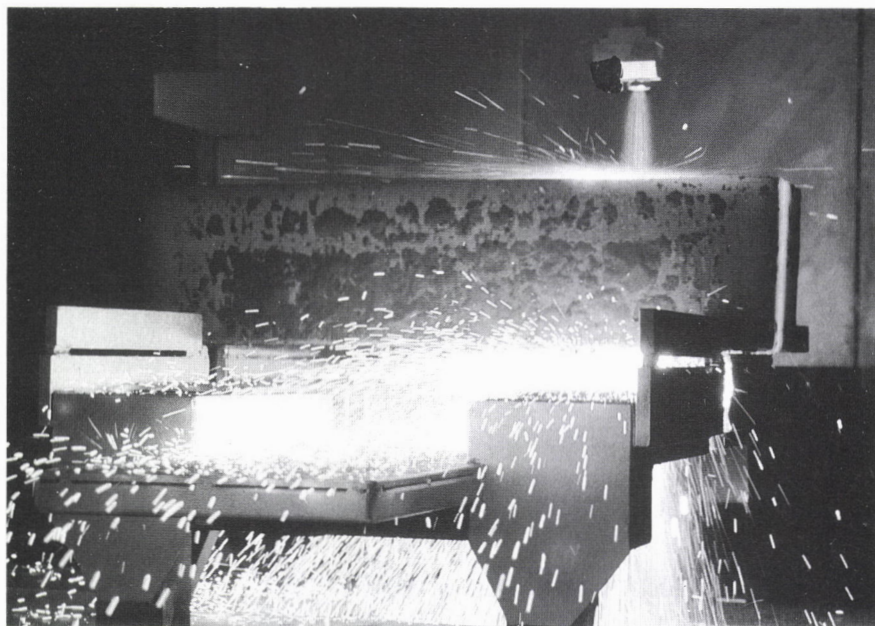
本社 〒520-21 滋賀県大津市月輪一丁目8番1号
東京支店 〒101 東京都千代田区神田錦町二丁目9番地 大新ビル5階
大阪支店 〒532 大阪市淀川区西中島5丁目2番5号 中島第二ビル4階
名古屋営業所 〒468 名古屋市中白区塩釜口二丁目1501番地 フェイム塩釜3階

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

ゲガ社が開発した、 画期的で実用性に優れた酸素切断技術!!

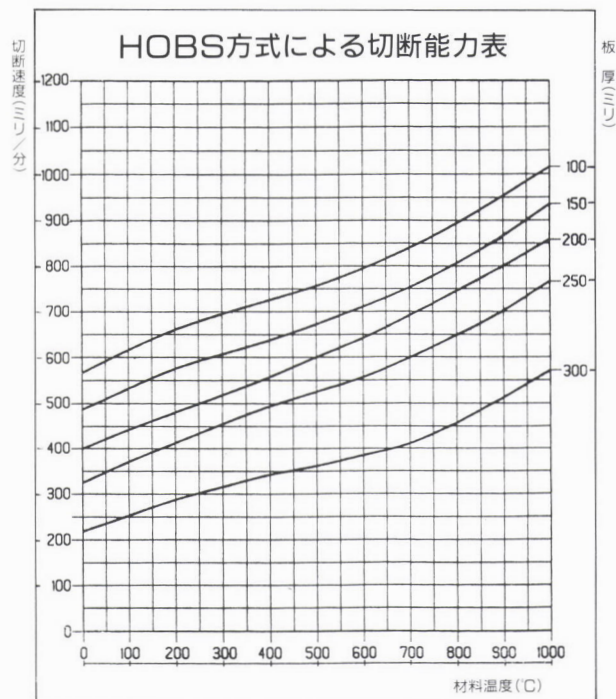
長年の経験と技術により開発されたこの〈高速〉高圧酸素切断方式(HOBS)は、従来の切断速度に比べ、約40～60%以上の高速化を実現することができました。

GeGa



〈適正な設定条件例〉

- 切断酸素圧力 (KG/CM²) : 28.5
- 切断酸素消費量 (NM³/時) : 95～115
- 加熱酸素圧力 (KG/CM²) : 3.2
- 加熱酸素消費量 (NM³/時) : 26
- 燃料ガス圧力 (KG/CM²) : 0.7～1.5
- 燃料ガス消費量 (NM³/時) : 26～28
- 平均切断幅 (MM) : 約5.5～6.5



GeGa製品についてのお問い合わせは：

株式会社 トライメート

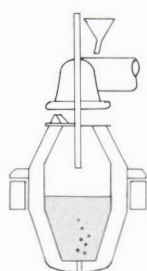
〒194 東京都町田市旭町1-6-11 コスモ・ミツイ
PHONE:0427-27-2813 TELEFAX:0427-23-0803

炉外精錬装置

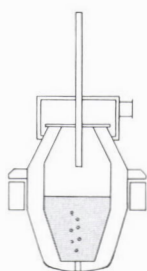
小容量装置(DETEM)から大容量熔鋼処理まで 品質改善と精錬費合理化に役立ちます

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

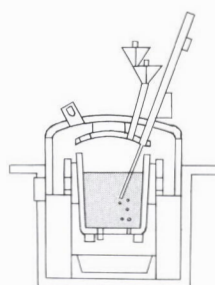
貴社の状況、ご希望等に応じて各種の炉外精錬装置を、お見積もり致します。お気軽にご相談ください。



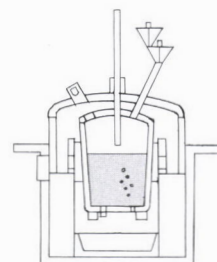
Inertgas Oxygen Converter



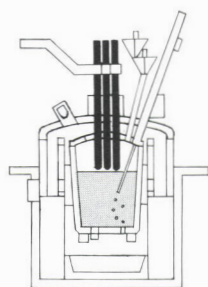
Vacuum Oxygen Decarburization Converter



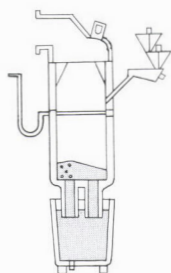
Vacuum Degassing



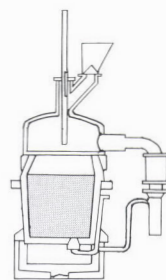
Vacuum Oxygen Decarburization



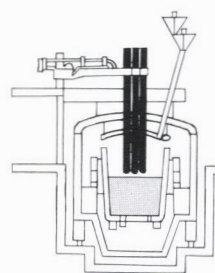
Vacuum Arc Degassing



Vacuum Circulation Process



Detem



Ladle Furnace

総代理店



株式会社 テクノヨコハマ

代表取締役社長 中村 道生

本社 〒225 横浜市青葉区市ヶ尾町1161番地14
アーバンプラザA-2号室
TEL:045-972-1066 FAX:045-972-1065
東京事務所 〒101 東京都千代田区岩本町2-1-16 千代田技研工業株内
TEL:03-3861-3623 FAX:03-3863-3075



TECHNOMETAL

Gesellschaft für Metalltechnologie mbH

Königstrasse 53 Postfach 101319
D-47051 Duisburg 1
Telephone (0203) 30503-0
Telefax (0203) 3050380
Telex 8551369

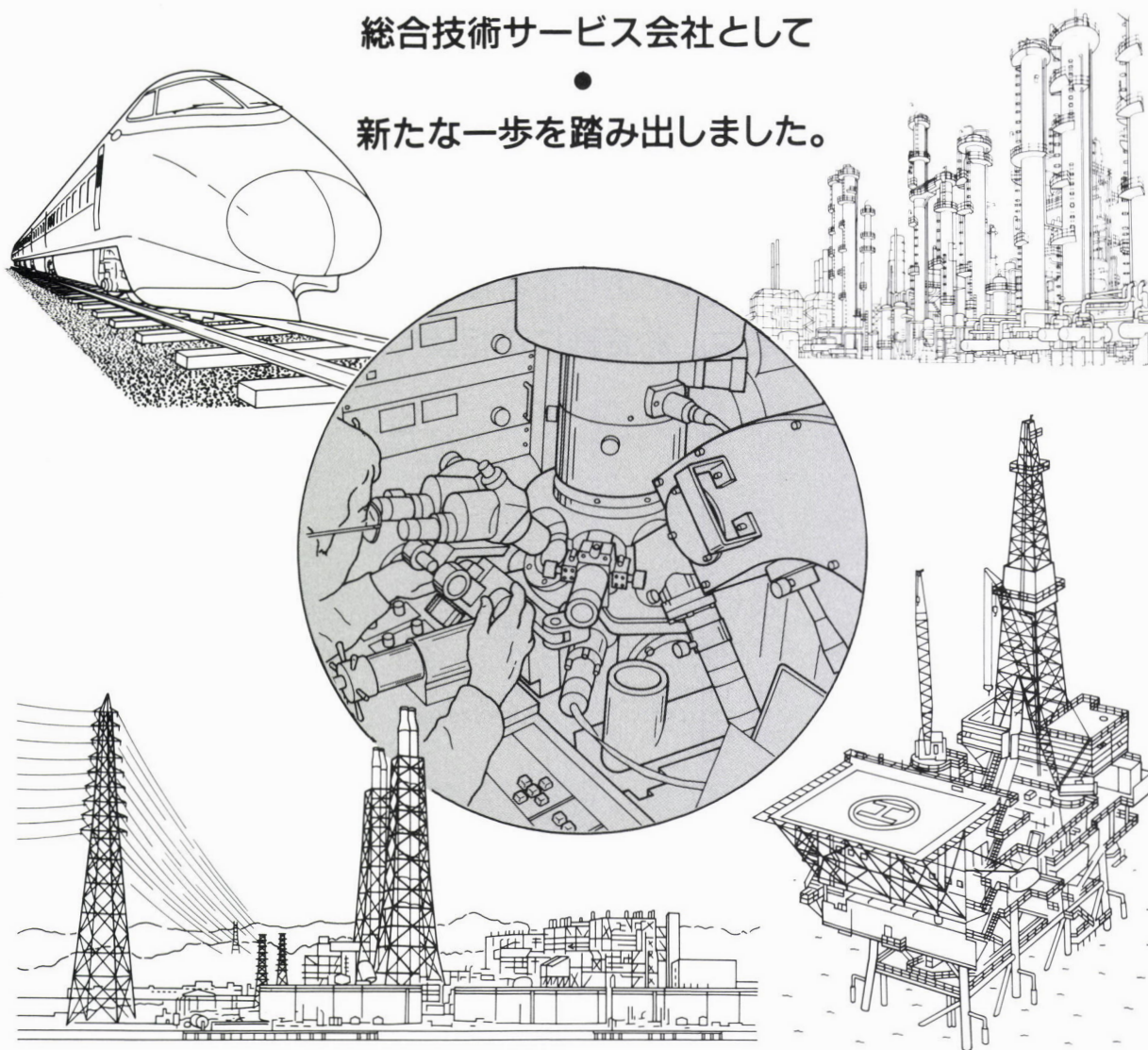
まだまだ拡がる

テクノロジーの未来

住友金属工業株の永年の技術と経験の蓄積をバックにした

●
総合技術サービス会社として

●
新たな一歩を踏み出しました。



住友金属テクノロジー株式会社

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

本社
(尼崎)
(大阪)

〒660 尼崎市扶桑町1番8号 TEL.06-489-5779
〒660 尼崎市東向島西之町1番地 TEL.06-411-7663
〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号 TEL.06-466-6153
〒314 茨城県鹿嶋市光3番地 TEL.0299-84-2557
〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号 TEL.06-466-6176
〒660 尼崎市東海岸町21番地1号 TEL.06-409-1121

ふえらむ

Vol.1 (1996) No.7

C O N T E N T S

目 次

地球環境特集

環境を守る IRON & STEEL

環境保全への取り組みと環境技術	2
人と、都市と共生する製鉄所	6

話題のプロダクツ	環境調和型新製鋼技術研究	10
----------	--------------------	----

鉄の絶景	海峡をわたる鉄ー青森編	14
------	-------------------	----

特集記事

地球温暖化の科学

北海道大学大学院地球環境科学研究科教授 松野太郎	18
--------------------------------	----

環境・エネルギー

三菱重工業（株）技術本部広島研究所所長 柳謙一	25
-------------------------------	----

LCAの現状と課題

金属材料技術研究所エコマテリアルチームリーダー 原田幸明	34
------------------------------------	----

環境調和を考えた材料設計

金属材料技術研究所第3研究グループサブグループリーダー 長井寿	42
---------------------------------------	----

材料リサイクルの現状と今後の課題ー家電製品を例としてー

関西大学工学部土木工学科教授 和田安彦	48
---------------------------	----

会長就任にあたって	（社）日本鉄鋼協会会長 野田忠吉	17
-----------	------------------------	----

特別講演

鉄鋼分析技術の変遷と技術課題

富士物産（株）社長 佐伯正夫	53
----------------------	----

入門講座

鉄鋼プロセス編-5 鉄鋼の表面処理プロセス

大同銅板（株）常務取締役 羽田隆司	57
-------------------------	----

現場技術報告

ホットストリップエッジ部材質制御技術

新日本製鐵（株）大分製鐵所 中本武広・野口浩嗣・土師純治	64
------------------------------------	----

懸賞作文入選作品紹介 ㊦

第1部（中学・高校生の部）3等 「すべてに優しい鉄を！」

宮野寛子	67
------------	----

第2部（大学生・一般の部）特別賞 「夢は『鉄の村』作り」

朝吹美恵子	68
-------------	----

本会情報	73
------------	----

IRON & STEEL

環境を守る

現在、地球上には 140万種の生物があり、そのうち毎年 4万種が絶滅しているといわれている。原因は自然破壊、乱獲、外来種の侵入などと考えられているが、こうなるとたんに自然淘汰の結果としてはかたづけられない。

人間社会が高度に進化する一方で、最近とくに急速に進んできた自然環境破壊。深刻化する地球環境問題は、私たち一人ひとりの問題でもある。これ以上環境を破壊せず、現状を改善していくために、環境技術の果たす役割はますます重要になる。故郷・地球を守るために、人類はこれからも最大限のチャレンジを続けていかなければならない。

世界自然遺産に指定されている青森・白神山地

環境保全への取り組みと環境技術

深刻化する地球環境問題。これを解決するには、自然破壊、環境汚染の原因となるものを一つひとつ取り除く努力が不可欠である。世界でもトップレベルにあるといわれる日本の環境技術が、問題の解決に寄与することを期待する声は大きい。下水道処理の具体例をまじえて、現在の環境技術の概要を紹介する。

循環、共生、参加、国際化を目指す環境基本計画

宇宙に浮かぶ緑のオアシス、地球。これは、地球に大気があり、水があり、生物が息できるからこそ、出てくる表現である。地球の最初の大気は、火山爆発や間欠泉による地殻の割れ目から吹き出した炭酸ガス（CO₂）、水蒸気などの混合気だった。これが植物プランクトンの光合成による酸素におきかわり、現在の大气組成になったのはほぼ6億年前と考えられている。以来、生物は大気の恩恵を受けて進化し、動物が生まれ、人間が生まれた。

この大気の中で温室効果ガス、とくにCO₂の濃度が高まると、太陽の日射エネルギーと地球からの熱放射のバランスが崩れ、地表付近の気温が上昇してしまう。いわゆる温室効果である。これにより海水の膨脹や水の溶解が起こり、2030年には海面が多ければ1m以上上昇するおそれがあるとされている。温室効果に限らず、オゾン層の破壊、酸性雨、海洋汚染、熱帯林減少などの地球環境破壊は急速に進行している。これは大気、水、生物などの多くの環境要素がその破壊にかかわり、広い範囲で多様な被害が生まれる。また、環境を悪化させる大きな要因の1つが、産業革命以後、高度に発達してきた人類の生産活動である。

日本では、昭和30年代から経済の発展とともに公害問題が顕在化した。1967年（昭和42年）に公害対策基本法が制定されたが、これは大気汚染、水質汚濁などに関する環境基準が設定され、さらにこれにともなう排出基準が設けられたものであった。

また最近の世界的な環境保全への取り組みを受け、1993年（平成5年）に成立した環境基本法では「社会経済活動による環境負荷を可能な限り低減し、持続的に発展する社会が構築されることを旨とする」と、大量消費社会からの脱却をうたっている。

さらにこれに基づき、1994年（平成6年）には環境基本計画が閣議決定され、21世紀初頭までの環境行政の基本計画が取り決められた。この中で長期目標としては、「環境への負荷の少ない循環を基調とする経済社会システムの実現」、「自然と人間との共生」、「公平な役割分担の下でのすべての主体の参加の実現」、「国際的取り組みの推進」の4つが挙げられている。このうちの最初のキーワード「循環」では、大気と水環境、土壌環境・地盤環境の保全、廃棄物・リサイクル対策、化学物質の環境リスク対策、技術開発等に際しての環境配慮などの施策が定められた。

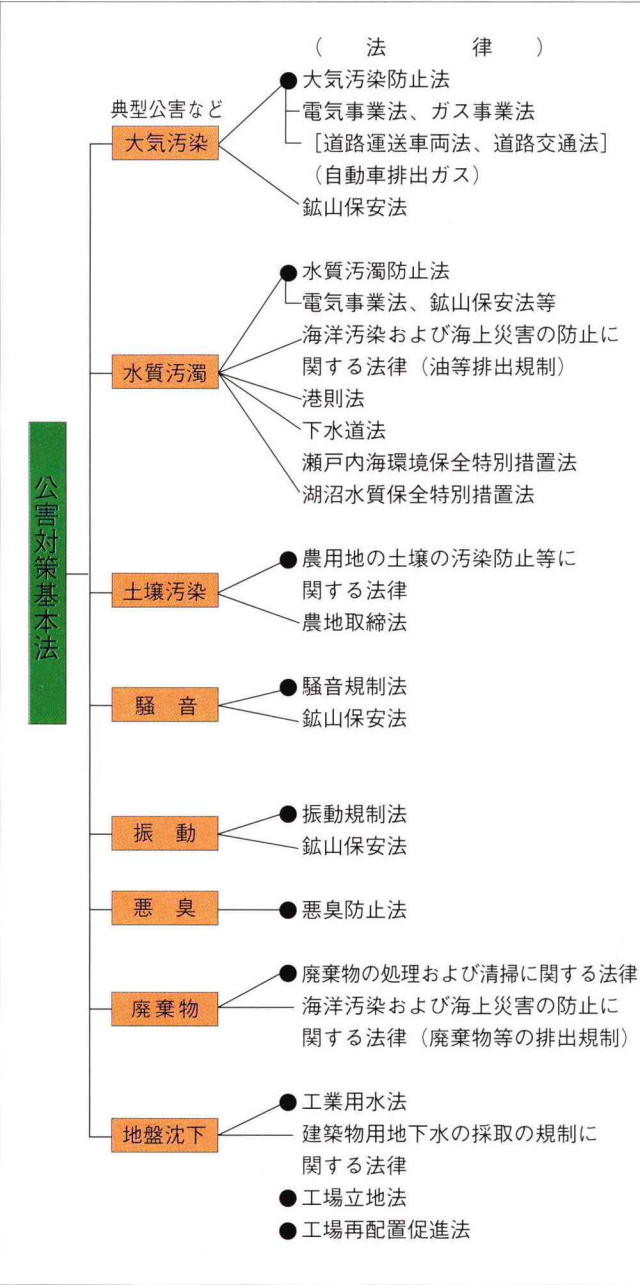
これにこたえる環境保全技術、装置の分野では、日本は国

際的に高い評価を受けている。そして、工場の公害対策だけでなく、さらに広く地球レベルの環境保全に大きな役割を果たすことが期待されている。

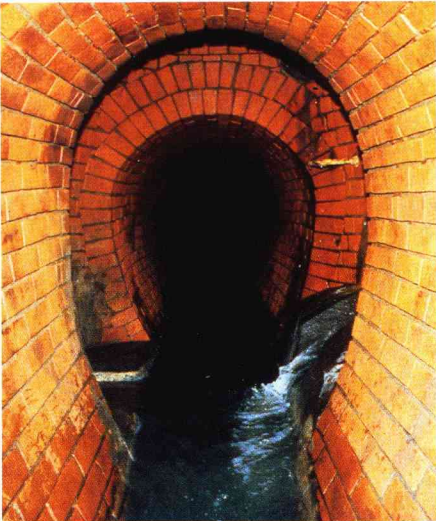
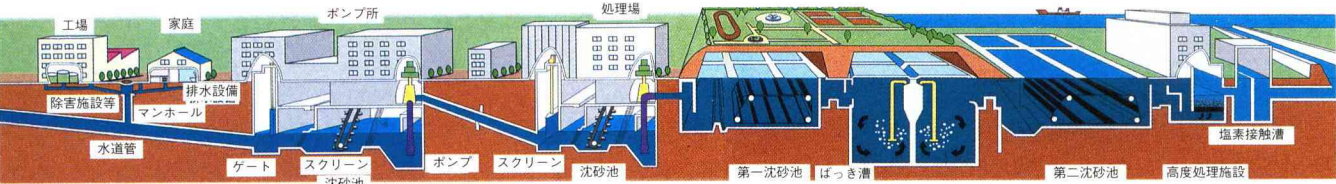
身近な環境技術—下水道処理の現状

私たちの生活に身近な環境技術の例として、下水道処理技

■公害対策基本法の概要



■下水道のしくみ（東京都下水道局資料より）



レンガ積み暗渠の神田下水は日本初の下水道



処理場の上部公園
(小管処理場)



下水道の汚泥から製造した透水性ブロック
(落合処理場せせらぎの里)

術がある。

世界最古の下水道は古代インドで建設され、古代エジプトや古代ローマでも下水道が整備された。産業革命以後、人口が都市に集中するとし尿処理が追いつかなくなり、19世紀、世界的にコレラが流行したのはこのような背景によるものだといわれる。日本で最初の下水道は1884年（明治17年）に建設された神田下水（東京）で、その後、1922年（大正11年）に三河島処理場（東京）が最初の下水処理場として完成した。東京23区、大阪市、名古屋市など日本の大都市の下水道普及率は95%以上に達しているが、日本全国でみると普及率は51%（平成6年度末）にすぎない。

工場や家庭の排水は、下水道から地域の下水処理場に導かれる。以下は、東京都の下水処理場の大まかな処理工程である。まず、沈砂池、第一沈殿池でゴミや砂を沈殿させて取り除く。次にばっ気槽で微生物の入った活性汚泥を加え、空気を吹き込みながら6～8時間攪拌する。微生物は汚れを栄養分として吸収し、また浮いている汚れが微生物に付着して、沈みやすい塊状になる。これを沈殿させ取り除くのが、次の第二沈殿池であり、上澄みの水を塩素消毒した後、川や海へと放流する。第二沈殿池では汚れの約90%を取り除いており、ここで残った小さな汚れについては高度処理施設で再度取り除く。

沈殿地、高度処理施設から排出する汚泥は、汚泥処理施設で水分を除去し、焼却し、埋め立てる。しかし一日に東京23区で処理する汚泥は約12万6千m³と膨大なもので、埋め立て

量を減らすために、資源化が進められている。東京都では、汚泥燃料化（発電に利用）、圧縮焼成ブロック化（焼却灰を焼き固めレンガを作る）、汚泥溶融スラグ化（汚泥を高温溶融し、固めて道路材料等を作る）などに取り組んでいる。このほかの二次利用としては、処理水のトイレ用水などへの利用などが進んでいる。このように、下水道は都市の新しい資源として利用されていることがわかる。

以前、東京の下町を流れる隅田川は、水質汚染がかなり進んでいたが、下水道の普及により水質が改善されたといわれている。実際、隅田川の両国橋付近を流れる水の約7割が下水処理水である。下水道は河川の水質向上の上で重要な役割を果たす。

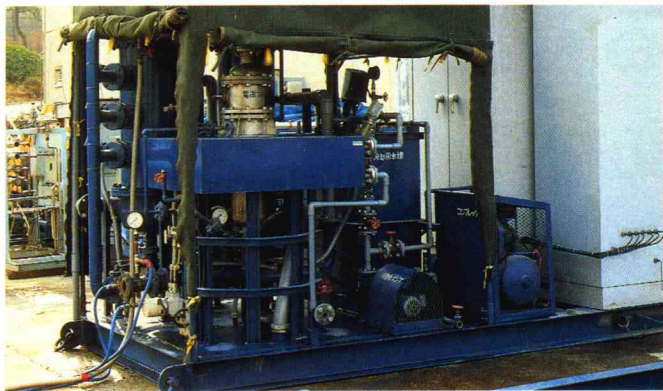
これまで水をふんだんに使い、言い換えれば汚してきた私たちが、環境を守るといふ意思と、それを支える環境技術によって、社会のシステムは少しずつ変化を見せているようだ。

多様化、高度化が進む環境技術

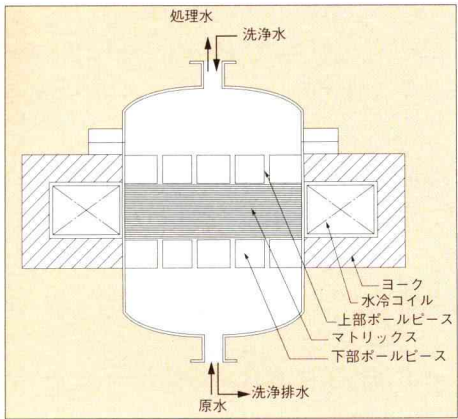
汚水処理の例を見てきたが、それでは「環境装置」と呼ばれるものにはどのような種類があるのだろうか。

環境装置には、大気汚染防止装置、水質汚濁防止装置、廃棄物処理装置、騒音・振動防止装置などの種類がある（公害対策基本法に沿った分類）。

大気汚染防止装置には、集じん、排煙脱硫、排煙脱硝、排ガス処理など、目的に合わせ多くの種類があり、鉄鋼業を初



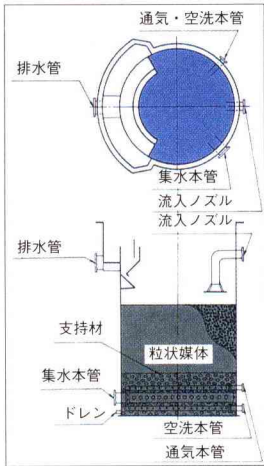
製鉄所などの排水から磁性体を磁力で除去する電磁フィルター



■電磁フィルターの構造
水冷コイルに電流を流すと電磁コイルの回りに強力な磁界が発生し、マトリックスが磁化される。このマトリックスに通水すると排水中の磁性体が捕捉される



微生物を用いた生物膜ろ過装置



■生物膜ろ過装置のはたらき
微生物が粒状媒体の表面に付着し、媒体内を通る排水内の有機物の酸化分解や、アンモニアの硝化を効率よく行う

めとする多くの産業分野で活躍している。このうち集じんでは、高効率のろ過集じん、電気集じんが多く用いられている。また発生源の大型化や排出レベル低減のニーズにこたえ、装置の高性能化、コンパクト化、低コスト化などが進められている。

水質汚濁防止装置には、産業排水処理装置、下水処理装置、し尿処理装置、汚泥処理装置、海洋汚染防止装置などがある。これらには物理的スクリーニングなどを用いる方法のほか、薬品によって汚染物質を処理した後に除去する方法、浮力を利用する方法などがある。また製鉄所などの排水処理技術として注目されるものに、電磁フィルターによる処理がある。これは電磁コイル内のフィルターで、強力な磁気によって鉄などの磁性体を捕捉するものだ。

廃棄物処理装置には、焼却、堆肥化、資源化などの処理方法や、家庭ゴミ、事業所系廃棄物、産業廃棄物など、廃棄物の種類に応じて多くの種類がある。最近では、資源ゴミの分別装置の開発や、焼却エネルギー（熱、電気）の高効率利用技術の開発が進められている。

また処理技術の進歩は、新素材やメカトロニクスなどの先端技術の採用に負うところが大きい。

たとえばファインセラミックス、高分子機能材などの新素材を使用した分離膜は、処理効率向上のほか、有価物の回収による省資源化、循環再利用などの装置の省エネルギー化、コンパクト化などに寄与している。

また水質汚濁防止装置では生物処理は以前から用いられて

いたが、この分野にバイオテクノロジーを導入した技術の開発が進められている。バイオリクターと分離膜による排水の高度処理などがその例である。

さらに、処理技術が高度化し、システム効率向上が求められるようになり、メカトロニクス化が進んでいるのが最近の傾向である。メカトロニクス化による効果としては次のような点が挙げられる。

- 1. 装置の省エネルギー化、自動化、コンパクト化
- 2. 汚濁物質、廃棄物などの処理・処分工程による制御技術
- 3. 集中管理による維持管理の効率化
- 4. 各種センサー利用技術の高度化

これからの時代では、環境装置、技術の開発は、社会資本整備の充実という観点からますます重要度をましてくる。今回は、その一端を紹介したが、社会的なニーズの多様化、高度化に伴って、さらに新しい技術が登場してくることが予想される。

21世紀、私たちを取り巻く自然は、空気は、水はどのようなものになっているのだろうか。

[参考文献：「環境装置ガイドブック」日本産業機械工業会]

[取材協力：東京都下水道局、(社)日本産業機械工業会、栗田工業（株）、荏原インフィルコ（株）]

人と、都市と共生する製鉄所

NKK・京浜製鉄所を訪ねて

一般に、鉄鋼業はエネルギー多消費型産業といわれる。昭和30年代から40年代にかけて、威勢よく煙をはく製鉄所の姿は、わが国の高度経済成長のシンボルだった。その後、公害問題がクローズアップされ、環境保護への関心が高まるとともに、日本の製鉄所は着実に環境への負荷を減らし、人や都市と共生する努力を重ねてきた。日本には全部で18の一貫製鉄所があるが、今回はその中から大都市に隣接するNKK・京浜製鉄所を訪ね、製鉄所の環境対策の現状についてうかがった。

計画当初から環境を意識した「都市型製鉄所」

川崎市の中心部から海に向かって車で約20分。海底トンネルを抜けると550万㎡の広大な人工島、扇島に着く。この扇島は川崎市と横浜市にまたがっており、1971年(昭和46年)から3年間かけて造成された。NKKでは、それまで周辺に分散していた製鉄、製鋼、圧延などの設備を扇島を中心としたこの地域に集約し、京浜製鉄所をリプレイスしたのである。

京浜製鉄所の計画にあたり、基本方針の一つにあげられたのが「環境への配慮」であった。製造設備の集約は、裏を返せば公害の発生源の集約でもある。川崎は東京、横浜に隣接しており、周辺の住宅や都市の環境に悪い影響があることは許されない。しかも計画当初は、日本で工場の公害が社会問題となった時期で、新しい製鉄所はそれまで以上に環境に配慮した「都市型製鉄所」であることが求められた。そこで、

公害の発生源となるような設備を市街地から離し、これらを集中して管理することが必要となり、結果的に人工島が造成された。つまり、扇島への集中ということ自体が一つの環境対策だったといえるだろう。

さらに、排ガス処理、排水処理、省エネルギー対策、ライン合理化、副産物の再利用など、製鉄所内のいたるところに環境保全技術が生かされているという。

それでは、実際に製鉄所内の設備を訪ねてみることにしよう。

SOx、NOxを効率よく除去する技術

京浜製鉄所の敷地内に入り、まず驚くのは緑の多さだ。製鉄所は、工場立地法に基づき敷地面積の一定比率を緑地とすることが定められている。つまり、この製鉄所だけとくに緑地が多い、というわけではないのだが、道路の両側に二重、



川崎市沖の人工島「扇島」にあるNKK京浜製鉄所の全景

三重に植えられた木々を見るかぎり、製鉄所というよりは自然公園という印象を受ける。扇島全体ではおよそ70万本の樹木が植えられたというが、豊かな緑は、働く人や来訪者の心をなごませてくれるにちがいない。

まず最初は、製鉄の原料が置かれた原料ヤードを訪ねた。船から下ろされた鉄鉱石、石炭が山と積まれているが、ここでは貯蔵時の粉じんの飛散を防ぐため、走行式の散水機が導入されている。原料はここから構内に供給されるが、その運搬に利用されるベルトコンベヤ（工程全体では約70km）にはすべてカバーが取り付けられている。これも粉じんを防ぐための工夫の一つである。

次は焼結である。粉状の鉄鉱石を一定の大きさに焼き固める時に排出されるガスには、SOxが含まれている。そこで不可欠なのが脱硫装置である。製鉄所になくはない設備の一つで、大きな脱硫塔が遠くからでも目に入る。焼結工程から出た排出ガスはこの脱硫塔に入り、SOx分が除去される。またコークス炉からはコークスガスが回収されるが、この中に含まれるアンモニアを取り除くのが、脱硫塔の隣に立つアンモニア吸収塔であり、脱硫塔で除去したSOx分もここに送り込まれて中和剤として使われる。一口に脱硫設備といってもいろいろな種類があるが、京浜製鉄所では効率のよい湿式

方式を採用しており、SOx分は処理前の最大200ppmから、最終的には2ppm以下にまで除去できるという。一方、除去したアンモニアは硫安（肥料の原料）として再生される。できるかぎりムダをなくし排出物を減らそうという発想が随所に見えるようだ。

さて、SOx分を除去した焼結ガスは脱硝設備に送られる。ここでは、大気汚染物質となるNOxの排出を防ぐために、窒素と水に分解している。直径が5mもあろうかという大きな曲管が4本あるのが脱硝設備の触媒層だ。聞くところによると、ここで使われる触媒は、鉄鉱石の一種であり、触媒として使用した後



脱硫塔とアンモニア吸収塔。奥にそびえるのは高さ150mの大煙突だ



脱硝装置（触媒層）の大きなパイプの中には触媒となる鉄鉱石が入っている



敷地内は緑にあふれている



粉じんを防ぐ工夫がされた原料ヤード



建屋集じんになっている高炉

に原料の一部に使用されるという。鉄鉱石は、原料としてだけでなく、環境保全設備でも重要な役割を果たすことができるのだ。

焼結鉱、コークスは、いよいよ高炉に運ばれる。京浜製鉄所にそびえる高炉2基は、扇島の中でも最も海側にある設備である。高炉は、建屋全体が大きな集じん設備で、大量の焼結鉱とコークスから出る粉じんを周囲に排出しないように工夫されている。

また、おもに高炉から発生するスラグの再資源化も進んでいる。1か月に約16万トンにもなるスラグは、中間処理後、セメントの原料や路盤材に生まれかわる。京浜製鉄所全体からの副産物（スラグ、汚泥、ダストなど）の再利用率は99%以上にまで達している。

水やガスをムダなく再利用

製鉄所では毎日大量の水を使用しており、京浜製鉄所では一日あたり約180万トンの水を循環使用している。この水の大部分は設備の冷却を目的とした使用水であり、それ以外にコークス炉、湿式集じん機、圧延工場からの酸、アルカリ、また油脂を含んだ排水などの処理水がある。この中でもコークス炉から出る排水は、石炭から出る有機成分を含んだ安水（アンモニアを含んだ水）のため、簡単には処理できない。まず活性汚泥処理設備でバクテリアによる分解処理を行う。凝集沈殿、砂ろ過、活性炭処理の後、ようやく汚染物質が除去できることになる。実際に活性汚泥処理設備を訪ねると、かなり臭気があり、見た目にもかなり汚れているようだが、



毎日大量の水を浄化する水処理設備

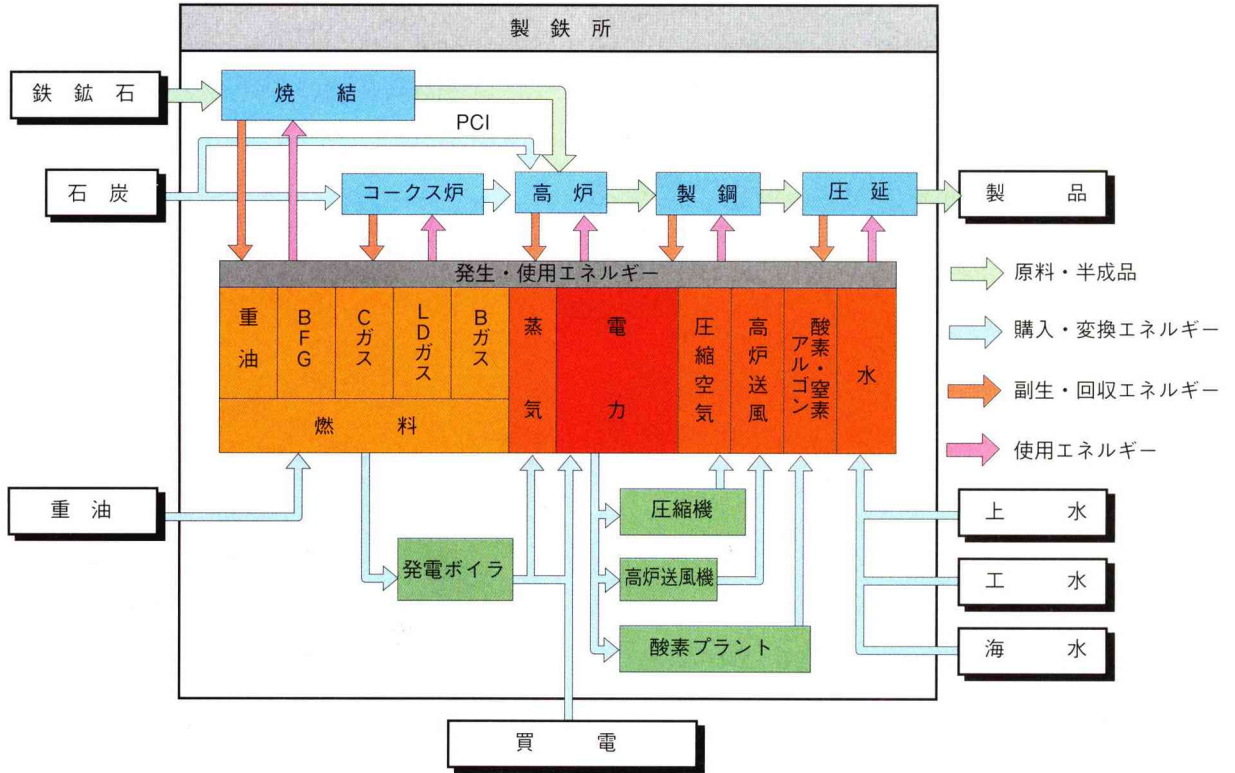


バクテリアによる処理を行う活性汚泥処理槽

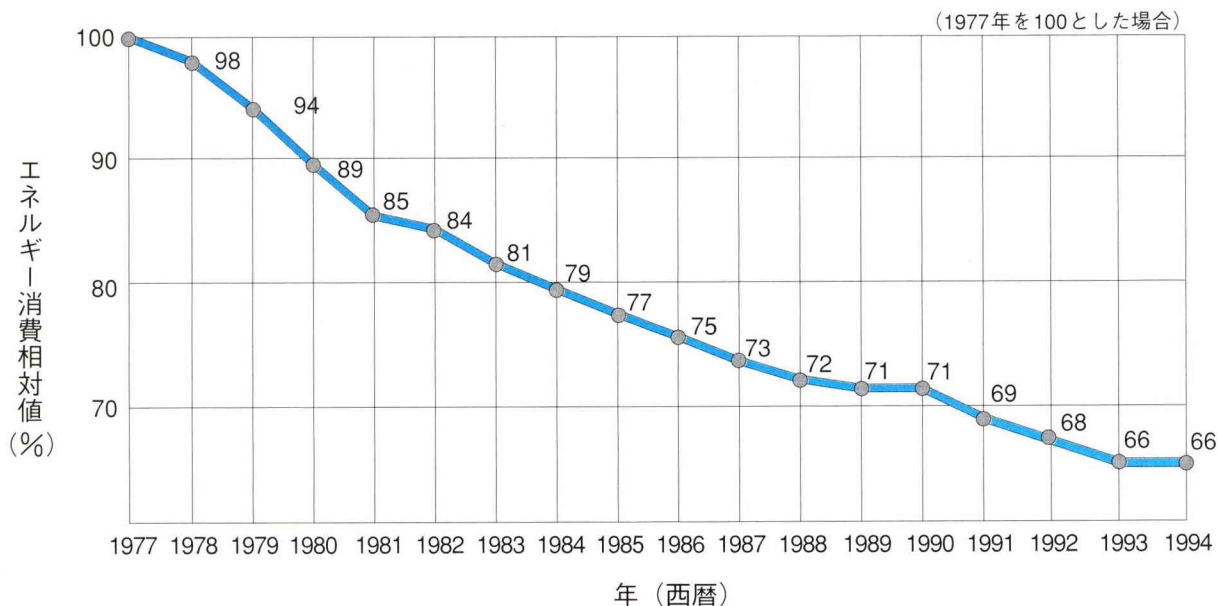
最終段階では、すぐそばの東京湾の海水よりもきれいになったように感じられる。この水はこの後放流されるが、その水質は市中の河川と同程度にまで浄化されているのだそうだ。このほかの排水も必要な処理を施し、製鉄所全体では使用量の97%の水が内部で循環利用されているという。

エネルギーは、設備から出る各種ガスや熱を効率よく利用し、製鉄所にある設備の大部分をまかなっている。その一例がCDQと呼ばれるコークス炉消火設備である。発じんが少なく、水が不要な乾式消火法であり、この時出る廃熱をボイラーで蒸気に変え、発電する。高炉の炉頂では、炉内圧力を利

■製鉄所の材料とエネルギーの流れ



■京浜製鉄所における省エネルギーの成果



用した発電（炉頂圧発電）を行っている。

また設備には、熱エネルギーのロスを防ぐ設計がなされている。たとえば加熱炉では、炉体そのものを断熱設計とし、さらに排出するガスや空気を予熱に再利用するなどの工夫も見られる。

最近の環境対策技術のトピックスとしては、高炉での廃プラスチックの利用があげられる。これは、廃棄されたプラスチックを破碎して粒状とし、高炉内に吹き込んでコークスの代わりとするものだ。廃棄物処理が困難とされているプラスチックの処理が行えるのと同時に、今までに比べコークスが少なくすむという利点がある。しかも原料化したプラスチックはすべてガス化され、工程内でムダなく利用できるという。この技術は鉄鋼業界だけでなく、産業廃棄物処理の関係者からも注目を集めているそうだ。

18年間で30%以上の省エネルギーを達成

京浜製鉄所は、稼働当初から川崎市、横浜市と公害防止協定を結んだ。この協定は公害防止法に比べさらに厳しい規制を設けている。その一例として、排水のCOD（化学的酸素要求量）の規制を見てみよう。CODは、水中の汚濁物質を酸化剤によって酸化する時に消費される酸素量のことで、海域などの水質汚濁の指標として知られており、数値が低いほど汚濁が少ないことになる。水質汚濁防止法では最高 120mg/l までと決められているが、神奈川県条例では60mg/lと低いレベルに抑えることが求められている。ところが京浜製鉄所は川崎、横浜両市との協定では、さらに格段に低い値を設定しているのである。

さらにこれだけでなく、京浜製鉄所内での燃料使用量、NOxやSOxの発生量、排水量など、全部で100項目あまりについて自動計測、分析を行い、川崎、横浜両市の公害監視センターに自動的に伝送する「環境管理データモニタリングシステム」を導

「たくさんの人の努力に支えられてこそ、現在のよう
な成果が上げられたので
す」京浜製鉄所環境・エネ
ルギー部開発室環境技術チ
ームの家本 勅氏



入している。

このような厳しい管理を続けてきたからこそ、都市と共存し、人々に信頼感を与える製鉄所として成り立っているのだと改めて感じられる。

京浜製鉄所の環境・エネルギー部開発室環境技術チームの家本 勅氏に、これまでの環境保全への取り組みについてお話をうかがった。

「設備に関して言えば、たとえば脱硫装置や脱硝装置のような大型の設備の導入は、ほとんど建設当初から決まっていた。それ以降は、毎年設備を見回して、もっと省エネルギーできるものはないか、省資源が図れるものはないかと探し、それに取り組んできました。克服できるテーマをつぶしてきたという感じです。」

そのかいあって、エネルギー効率は高炉が稼働した昭和52年当時と比べて30%以上も減らすことができました。今後は、地球環境問題への対策としての省エネルギーの重要性がますます高まることから、新たな省エネルギー技術の開発を含めて、さらなる取組みが必要となるでしょう」

製鉄所は、今後さらに地球規模の環境問題に対して、どのように踏み込んだ対策を講じていくのだろうか。クリーンな製鉄所の将来に思いを馳せながら、京浜製鉄所を後にした。

[取材協力：NKK 京浜製鉄所]

話題の
PROJECT
プロジェクト

**環境調和型
新製鋼技術研究**



よみがえる鉄鋼スクラップ 社会に注目される省資源、省エネルギー型技術

地球環境問題、その中でも資源の有効利用、CO₂による地球温暖化はその対応が迫られている重要な問題である。

地球から生まれ、社会に役立つ鉄鋼は、この問題に対して一つの回答を見出しつつある。

今回は、環境調和型の技術として、着々とその成果を挙げつつある新製鋼技術にスポットをあててみた。



鉄鋼需要の増加とともに増えるスクラップ

70年代以降の飛躍的な経済成長から、安定成長期に移行し、一方で地球環境問題が深刻化し、限りある資源を大切にリサイクルしようという考え方が広まってきた。そういえば昔は、どこの町にも廃品回収業者がいて、使い古したもの、壊れたものは、捨てる前に必ず引き取ってもらったものである。「捨てるのはもったいない」という、昔から日本人が持っていた美德が、いまリサイクルということばで息を吹き返そうとしているのか、とも思える。

長年にわたって世界のトップを走ってきた日本の鉄鋼業は、70年代以降に問題となった大気汚染、水質汚染などの環境保全技術に積極的に取り組み、高い技術水準を維持している。そして、最近新たにクローズアップされているのが、製品が廃棄されて発生するくず、いわゆる老廃くずの処理である。

世界の粗鋼生産量は、年間ほぼ7.5億トン（1995年度）。言い換えればこの量は、鉄スクラップが大量に発生する可能性を表す指標でもある。

鉄鋼の需要は、建築、自動車、船舶、電機など多岐にわたっている。それぞれが製品寿命を終えた後には、必ずスクラップが発生する。たとえば1990年度には、国内の鉄鋼需要約9,900万トンに対し、6,600万トンが鉄鋼蓄積量に追加された。この6,600万トンに対し廃棄鋼材は2,600万トンであり、この差である4,000万トンがこの年の鉄鋼蓄積量の純粋な増加分である。このままでは20年後の2015年には、鉄鋼蓄積量が約18億トンにまで達する見込みだ。一方、鋼材廃棄量は、鉄鋼蓄積量に対しおおむね毎年2.7%の割合で発生しており、予測では2015年に年間約4,500万トンに達することになる。4,500万トンといえば、現在の鉄鋼年間需要の約45%にあたるほどの量だ。

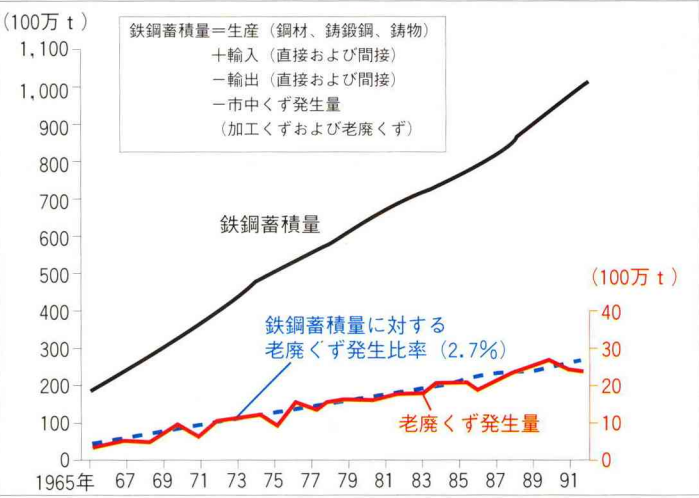
もともと鉄は、使用後に溶解して、再利用しやすい特長を持つ素材として知られている。また、基礎資材としての鉄鋼の果たす役割は大きく、今後も増加する需要にこたえるために、スクラップの再利用はきわめて重要だといえるだろう。

不純物の除去により品質を確保

郊外に行けば、必ずといっていいほど廃車スクラップの山が目に入る。この山の中にある材料の多くは鋼材だが、自動車に使われる鋼材には多くの種類があり、もちろん鉄以外の材料も多く混じっている。

これには、組み立て段階などで他材料が単体で混入しているもの、表面処理により付着しているもの、合金成分として含まれているものなどの種類がある。いずれにせよ、このような成分はスクラップを再生する側から見れば不純物となり、スクラップの品質確保を阻害する要因となる。

鉄鋼蓄積量と老廃くず発生量の関係



■環境調和型新製鋼技術開発のスケジュール

	1991年度	92	93	94	95	96	97	98
(1) 総合基礎調査研究	スクラップ将来動向調査 スクラップ回生・ 溶解技術の評価と探索 総合プロセス評価および課題抽出							
(2) スクラップの 回生プロセスに 関する研究	固相処理によるトランプ・ エレメント除去技術に関する研究 溶解処理によるトランプ・ エレメント除去技術に関する研究							
(3) 予熱・溶解技術に 関する研究								
(4) 総合システム 評価研究								

■新製鋼技術への転換によるCO₂低減効果

電力代替効果 (902Mcal/t→450)	23.1kg-C/粗鋼t
炭材使用料の増加 (244Mcal/t→375)	16.7kg-C/粗鋼t
燃焼用酸素の増加	1.4kg-C/粗鋼t
電気炉から新製鋼技術プロセスへの転換による炭酸ガス削減効果	5.0kg-C/粗鋼t 18.3kg-CO ₂ /粗鋼t

このような不純物を除去する技術が、スクラップのリサイクルを進めるうえできわめて重要な役割を果たす。これが環境調和型新製鋼技術（以下、新製鋼技術）の大きな目的である。

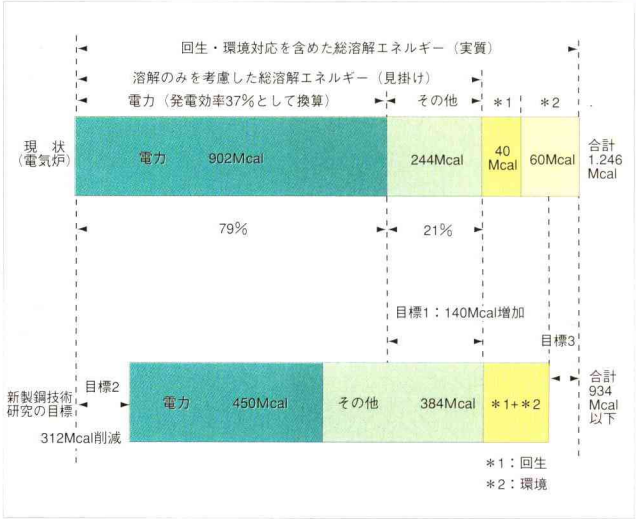
また、環境調和型の技術を目指すことから、電力代替による省エネルギー、CO₂の抑制を果たすことも重要なテーマである。具体的には、従来の電気炉法に比べて、約25%の省エネルギー、粗鋼 1トンあたり18.3kgのCO₂削減を目標とした。

今回のプロジェクトでは、全体を4つのテーマに分けてそれぞれ研究開発が進められている。まず開始当初に、スクラップの将来動向調査などの「総合基礎調査研究」を進めた。さらに「スクラップの回生プロセスに関する研究」「予熱・溶解技術に関する研究」の研究開発が進められ、94年度に中間報告をまとめた。プロジェクトの後半にあたる95年度以降は、それまでの成果を受け、実用段階を見据えた「総合システム評価研究」を進め、98年度末をもって終了する予定としている。

■スクラップ中の不純物混入形態と分離除去技術の展望

不純物の混入形態		具体例（構成金属種）		分離除去技術	
スクラップ				現状工業化技術	研究開発途上技術（○） 新製鋼技術研究対象技術（●）
スクラップ	単体混入物	モーター類（鉄と銅） 配線ケーブル（銅とプラスチック） エンジンブロック（鉄とアルミ） ゴム、プラスチック類		・破砕・識別分離技術 ①シュレッダー処理 ②シャー切断処理 ③磁気、渦流選別 ④風力、重力選別	● 低温破砕技術（脱銅等） ● 色相差識別分離技術（脱銅等） ○ 融体分離法（脱銅） ① 融点差分離法 ② アルミ浸漬法
	付着系不純物	亜鉛メッキ銅板（鉄と亜鉛） 錫メッキ銅板（鉄と錫）		・湿式処理法 ①電気分解法 ②酸、アルカリ処理法	● 融体加熱硫化／酸化法（脱銅）
	合金系不純物	耐候性銅板（鉄と銅） ステンレス銅板（鉄とニッケル、クロム等）		・加熱真空処理法 ①亜鉛蒸発分離法	● 火点蒸発分離法（脱銅） ● 減圧蒸発法（脱銅、銅） ○ 特殊フラックス処理法 ○ 減圧下アンモニア精錬法

■新製鋼技術への転換による省エネルギー効果（粗鋼1tあたりの数値）



成果を挙げつつある要素技術研究

技術的な課題の1つは、スクラップの品質確保を阻害する成分、いわゆる「トランプ・エレメント」の除去であった。

トランプ・エレメントには銅、スズ、亜鉛などがある。これ以外にも鉄鋼スクラップに含まれる成分は多いが、その多くは製鋼工程でスラグとともに除去できるので、品質には影響が小さい。トランプ・エレメントは鋼材中に残るので、現在では良質のくず（工場発生くず、加工くずなど）を混ぜ、その成分を薄めて再生することが多い。しかし、老廃くず中のトランプ・エレメントの含有量は鉄鉄に比べ10倍程度多いことがわかっており、鋼材の高度化、複合化にともないこの量は今後も増加することが見込まれる。

それでは、これらの成分をどのような技術によって除去するのか。これは工程的には、不純物を除去する「スクラップ回生」とスクラップから鋼材を製造する「予熱・溶解」の2つのプロセスに大きく分けられる。いずれも96年度はシステム化研究の段階を迎えている。この中で注目される技術には次のようなものがある。

■シュレッダー処理したスクラップの低温破碎結果



■低温破碎・分離技術

スクラップ回生プロセスで注目される技術に、低温破碎・分離技術がある。これは、スクラップを -100°C 以下の低温に冷却、破碎し、小粒化し、成分ごとに分離する技術であり、内部に銅線が混じった自動車用モーターコアなどのリサイクルに有効な技術として期待される。現在までに鉄鋼と銅、鉄鋼とプラスチックがほぼ完全に除去できることが確認されている。今後、実廃車を用いた実験を実施し、これを生かしトータルなプロセスイメージを構築する予定である。

■予熱炉

予熱炉には堅型予熱炉と移動層型予熱炉があり、どちらの予熱炉でもスズが除去されることが判明している。堅型予熱炉にすると熱効率はよいが、スクラップ同士が融着し生産性を阻害する恐れがあるので、これを防止しなおかつ熱効率のよいプロセスの開発が進められている。これまでに融着は、溶融開始温度や比表面積だけでなく、アルミニウムなどの助燃物質や生石灰などの混合物質の影響もあることがわかっている。

また、移動層型とすることによりスクラップを予熱し、搬送するという、2つの役割を持つことができる。これらを実現するために、最適な予熱方法の研究が進められている。

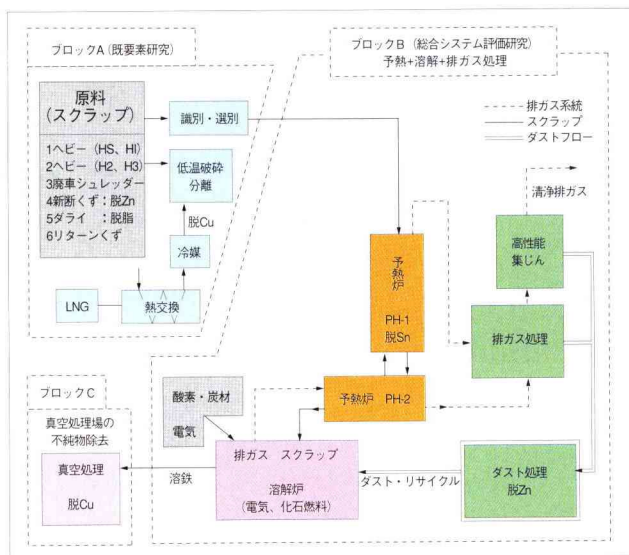
■低エネルギー堅型溶解炉

この溶解炉では、スクラップとコークスの炉内での分布を制御することが可能で、これにより、コークス原単位は通常炉に比べ大幅に低減できることが明らかになった。

■ダスト処理

予熱炉からの排出ガス中のダストは、溶解炉ヘリサイ

■総合システム評価の位置付け



クルできる。ペレット添加、溶銅中への吹き込みなど、最適な方法の検討が進められ、今後はさらに実際の操業条件の影響などを考慮した総合評価を行う予定である。

ここに挙げたものは、プロセスの一部分にすぎないが、このような研究により、当初の目標（トランプ・エレメントの除去率、各成分の回生目標、エネルギー消費・環境負荷の到達目標を含む）は、96年度末の段階では、ほぼ達成できる見込みとされている。

環境調和型技術の普及に向けて

回生プロセス、予熱・溶解プロセス全体としての評価をするために、96年度から開始されたのが「総合システム評価研究」である。ここでは、トランプ・エレメント除去の効率化、消費エネルギーとCO₂排出量の最少化、排ガス抑制化など、さまざまなテーマが同時に目標を達成できるようなシステムを構成する必要がある。現在では、10～15トン／時の生産能力を持つ試験設備の建設が進められている。

大きな成果が期待できる新製銅技術研究だが、この研究で得られた成果が、総合システムとして実現できるか、または既存プロセスの中に部分的に活用できるかは、これからの問題だといえるだろう。本来、リサイクルは社会全体のシステムによってとらえられるべき大きなテーマであり、そのシステムの一翼を担うのが新製銅技術である。言い換えれば、従来になかったこの環境調和型の技術を実用化、普及に結び付けていくことが、今後大いに期待されるところである。

[取材協力：新エネルギー・産業技術総合開発機構、
(財)金属系材料研究開発センター]

鉄の絶景

Steel Landscape.



青森県の龍飛崎から、青函トンネルは北海道の松前半島につづく

海峡をわたる鉄～ 青森

どこまでもつづく鉄道をさえぎる、河、山、そして海。

その先へ鉄路を進めるためには、何らかの方法でとぎれた両端を結ぶしかない……。

海峡をわたる鉄。青森にスポットを当てる。



青森駅付近の市場は市民の台所だが、観光客には
宅配のサービスも行なってくれる

航路で結ばれた本州と北海道の鉄路

青森のイメージをここに浮かべてみる。リンゴ、ねぶた、八甲田……、三方を海に囲まれているから海産物も旨いに違いない。一般に内向的といわれ、またその一方で「じょっぱり」、つまり頑固一徹でもあるといわれる地域柄、人柄にも思いが及ぶ。

しかし、そんな朴訥なイメージは、いったん青森市内に入った瞬間に払拭されてしまう。長い冬を越えて春から夏へと暖気の増す頃を迎えると、この街はひとときわ活気を帯びてくる。が、この活気は季節的なものだけではない、東北を代表するこの都市は、今、街の風景までも大きく変貌させつつある。

もっとも大きな変化は、港の周辺だ。観光でも商用でも、この街を訪れたならば、まず港近辺に建てられた三角形の建物「アスパム」の展望ラウンジから市内の様子を眺めてみるといい。青森港をまたぐ形で「青森ベイブリッジ」が架かっている。夜間であれば、高さ82mの主塔が紫色にライトアップされていて美しく輝く。かつて青函連絡船であった「八甲田丸」が、いまはその使命を終え、メモリアルシップとして海上に浮かぶ。青函連絡鉄道の記念館や展望広場、レストランも設けられている。この八甲田丸とアスパムを結ぶ小さな橋は「ラブブリッジ」と呼ばれ、恋人同士のロマンチックなデートコースとして人気が高いそうだ。

青森港が開港したのは、歴史的にはさほど昔のことではない。津軽藩の開港奉行、守山弥七郎が10年ほどの歳月をかけて、60戸ほどのひなびた漁村を整備した。他の土地から商人を呼び寄せて商業を奨励するなど、尽力の甲斐あって、海上交通の拠点として生まれ変わることになる。1634年というから、江戸時代も初期の頃だ。

以降、この街と海とは、切っても切り離せない関係を持ちつづけてきた。

明治に入って青森―函館を結ぶ不定期な航路が開設され、これがのちの青函連絡航路へと受け継がれていくことになる。明治末期に生まれた青函航路の第一の使命は、時間通りに発着を行なう「定時運行」にあった。客の乗り降りや荷物の積み替え、貨車の入れ替えまでを含めて、すべて55分という短い間に完了させなければならない。これはとりもおさず、この航路が海峡でとぎれた鉄道を結ぶ、つまり鉄道連絡航路だったからに他ならない。

連絡船と岸壁を結ぶ部分に大きな特徴があった。「可動橋」である。

連絡船は、駅から岸壁へと導いた貨車を、船内に敷いたレールに、そのまま積載するシステムとなっていた。船と岸壁の間に特殊な橋を設けて、その上を移動させていく。このとき、船は洋上にあるがゆえに安定を保てない。潮の満干や天候の善し悪しによって、定位置には収まっていなくてはくれない。そこで、この微妙な



メモリアルシップ「八甲田丸」、現役時代は旅客1200名、貨車48両を積んだ



長い冬の間に溜めて置いたエネルギーが一気に爆発する、東北の夏祭りの絢爛豪華さ。「ラッセラッセラッセラー」の掛け声とともに、家一軒ほどの大きさの「ねぶた」が街を練り歩く。8月初旬の風物だ

揺れに対応したのが、可動橋だ。陸上側を支点として、先端の接続部分は上下左右の動きや、よじれにも対応した。

本州側、青森で終着となった列車を北海道へ結ぶ。その役割が終わったのは1988年（昭和63年）。青函トンネルの開通にともなう終航である。

“トンネルで結ぶ”ことの壮大さ

津軽海峡をうたった石川さゆりの歌によって、わたしたちは雪景色をいく哀しげな連絡船の様子をまざまざと想像することができる。しかし、そこに乗り合わせた人々の心境は必ずしも悲しさだけではない。移民、出征、出稼ぎ、旅行。喜怒哀楽のすべてを含んでいる。しかし、それも過去の光景となってしまった。いま、人々の思いは、はるか地下を通して結ばれている。

「青函トンネル」は連絡船終航の年に開業した。新幹線乗り入れをあらかじめ想定して、複線化されている。英仏海峡トンネルよりも長さでいうと3.35km長く(53.85km)、水深は倍以上の深さ(140m)を走る。

海や川の下を通るトンネルの歴史は意外にも古い。バビロニア

の首都、バビロンに建設されたという記録が残っている。ユーフラテス川の底を、長さ 950mにわたって、高さ 4.5mのトンネルが造られていたのだそう。川の流れを暫定的に変えさせ、干上がらせる。そこを上から掘ってトンネルを造り、蓋をするようにして、再び川の流れを呼び戻すという方法を使ったという。それらは記録の上でのみ確認できること、その跡形は残されていない。

現在、世界中でさまざまな海底、河底トンネルが調査、計画、建設されている。これらを繋ぎ合わせると、ほぼ世界が陸路、というより鉄路で結ばれるという。壮大な印象を与える。

かつて、青函連絡船の中に線路があり、それが海峡をわたっていった。いまや線路は海峡の地下に敷かれている。荒れることの多い海峡の下に、安定して物や人を運ぶための線路を敷く……。実現してみれば、当たり前のことのようにも思えてくる。けれど、それは昔から人々の胸に描かれていた、いつ実現するとも知れない、ひとつの壮大な夢だったのだ。

[写真提供：(社) 青森県観光連盟]

会長就任にあたって



会長 野田 忠吉 住友金属工業(株) 代表取締役副社長

このたび、第81回通常総会において新会長に選任されました。これは私にとりまして、身に余る光栄でありますと同時に、責務の重大さに身の引き締まる思いが致します。

本会は、歴代会長の御指導の下に築いてきた伝統に加え、創立80周年を機に、佐野前会長の素晴らしいリーダーシップのもとに、リストラ80を実行に移しております。そして学会部門、生産技術部門が、それぞれ、新しい活発な活動を開始しております。また、予算面でも活動費、管理費を合理化し、新しい事業に投入するという、本当の意味での、リストラも進められています。これらの円滑な推進のための企画機能の充実強化もはかられています。

今後は、いかにこのリストラ80を定着させ、実効をあげていくかが大切であり、そして、本会が鉄に関わる研究者や技術者にとって魅力ある学会であると同時に、鉄鋼業界全体にとって魅力ある存在でなければならないと思っております。

平成7年度の鉄鋼業の企業各社の業績は、前年度に比べ好転する見通しであり、前途に明かりがついたものの、まだまだ予断を許しません。というのは、この収益好転は、製造現場の懸命なコスト合理化努力、徹底した人員の合理化、資産の圧縮、更には設備投資や研究開発投資迄も削減した、必死の経営努力の結果であるからです。そして、これらのことは将来、他の国でもやろうと思えば真似の出来る施策ではないかと思われるからです。

こうした背景を考えると、これからの日本の鉄鋼業は「技術の力」で企業経営の体質を強化しなければなりません。例えば、先進的プロセス開発による工程省略で抜本的なコストダウンをはかる、新しい機能の製品の開発で新しい市場を開拓する、社会鉄鋼工学的なアプローチで環境にやさしい鉄鋼製品が、正しい価格評価を受けるようにするなどであります。そのためには、常に新しい技術が発信され続けなければなりません。

幸い本会では、リストラ80により、学会部門に5つの専門分野別部会が発足し、その下に、60近くのフォーラム、自主フォーラム、研究グループが出来、すでに活動をはじめています。一方、生産技術部門でも22の分野別部会がありますが、これに多数の大学の先生方が参画して戴くようになりました。更に38の技術検討会が、技術課題の抽出と技術創造を目指して活動をはじめており、学会部門と生産技術部門双方の専門家により8つの研究協議会が結成され、研究テーマ検討の場も整い、心強い限りであります。このような部会活動から、新しい技術が生みだされ、発信され、育っていくことを限りなく期待するものであります。

さて我々は、学問の新しい展開に伴い、学術分野の有機的相关のもとに技術開発が進む「テクノロジーミックス」の時代を迎えております。例えば製鋼工場にしても、従来は所謂、冶金学科出身の技術者の独壇場でありましたが最近の技術の高度化に伴い本来の製錬と凝固のほかに機械、熱流体、耐火物、計測、制御、コンピューター等の関連する情報と技術が相まって、先進的な開発に結びつくケースが増えていきます。このため、他の学会との交流も、今後、更に活発にしていかなければなりません。このように、学術分野の新しい相関を理解し、それを技術と結びつけることにより、新製品や新プロセスの開発のみでなく、新たな領域の産業分野への技術の展開も可能となるであります。云うまでもなく本会は、個人活動をベースとする学会機能と維持会員会社の社員の活動をベースとする技術会的機能の両面を併せ持った、大学と企業が一体となって活動できる唯一無二の学会であり、この利点を今後の学術・技術の発展に、大いに活かして行くべきだと思います。

19世紀は「国家の時代」、20世紀は「経済の時代」、そして21世紀は「環境エネルギーと科学技術の時代」と言われています。21世紀にかけて、鉄鋼業界にとって、優秀な技術者の確保は最も重要な課題の一つであります。こうした中、本会でも活発な育成・助成活動、特に「会員増強特別委員会」の活動のお蔭で会員数、特に学生会員の数が増え止まり、若干増加傾向にあるのは誠に喜ばしいことであります。学会部門の専門分野別部会、生産技術部門の分野別部会の活動が更に活発になり実効が上がってくれば、国内外における本会のプレゼンスも向上し、一層の会員増にもつながるに違いありません。更に、社会鉄鋼工学の分野や物流部会などの分野では所謂、事務系の人達の参加も必要になってきます。

会報「ふえらむ」の創刊号の佐野前会長の対談記事の中で、「自分の研究室に鉄の勉強にきた学生が実は鉄道マニアだった、鉄道のレールは鉄でしか作れないので鉄を研究にきた」とありました。私も、企業に入社後、本物の鉄道車両用の車輪や車軸を永らく造っていましたが、当初は「鉄でなければ出来ない」という自覚を持たず、当然の事としてやって参りました。このように、鉄の有難さや面白さを意識せずに、鉄に関与している人達がまだ随分おられるのではないのでしょうか。また、これから先、鉄に関与してくる分野の人達も数多く出てくるのではないのでしょうか。会員として参加して戴く人達はまだまだ広がってくると思います。

リストラ80で作成した中期計画のターゲットは平成9年度です。先ずこれを達成しなければなりません。そして、これと並行して平成10年から実施する新中期計画の策定に臨まなければなりません。その時期が迫ってきています。本会をより魅力あるものにするため、アンケート等により会員の総意を汲み上げ、方向を見定めて行く必要があると思います。また支部活動の更なる活性化、国際交流の更なる活発化等、課題は他にもたくさんあります。

私自身は浅学菲才ではありますが、鉄鋼業を発展させたい、そのためにも本会の発展にいささかでもお役に立ちたい、という強い気持ちがあります。会員の皆様の御支援、御協力を戴いて、微力ながら一生懸命務めるつもりですのでよろしくお願い申し上げます。

地球環境特集 特集記事1

地球温暖化の科学

松野太郎 北海道大学大学院地球環境科学研究科 教授
Taroh Matsuno

Scientific Basis of "Global Warming"

1 はじめに

過去10年ばかりの間に、それまでの東西冷戦と核戦争の脅威の陰にかくれていたさまざまな「地球規模問題」が姿を顕わにして来たが、「地球環境問題」もそのひとつである。1985年南極上空で春季のオゾン量が異常に少なくなる事が日・英の研究者によって見出され、米国の人工衛星データで、考えられない故に誤差として無視されていた値が実は正しいことがわかって、それまで10年間大気化学者によって予測されていた「フロンによる成層圏オゾンの減少」が南極オゾンホールという劇的な形で現実に姿を現した。それまで世界の研究者からの警告に少しずつ動き始めていた国際政治の流れは一挙に加速し、1985年に結ばれたオゾン層保護の枠組み条約の中身として、1987年にフロンの製造を半減することを決めたモントリオール議定書が作られた。

翌1988年は世界的に高温の年であったが、特に北米では猛暑に加え50年ぶりの干魃に見舞われた。その頃既に専門研究者から温室効果ガスによる「地球温暖化」の可能性が社会に向けて警告されていたので、「地球温暖化が始まったのではないか？」という質問が米国議会で発せられ、NASAのHansen博士はこれに肯定的に答えて、地球温暖化は地球科学の研究課題から一挙に社会問題・国際政治の問題となったのである。

地球環境問題の大きな特色は、問題とする被害（悪影響）と原因との関係が直接的でなく、また、時間的にも今の問題でないため、原因と結果の論理的・時間的へだたりを地球科学的知識によって結びつけ、推定せねばならない事であろう。かつての地域的汚染による公害は、被害が現に起こっており、また、原因と結果の関係も分かり易いものであった。これに対して、現在の地球環境問題においては、現在何も困った事が起こっていないにもかかわらず、地球科学者の描く未来像に対して脅威を感じ、それを防ぐため現在行動を起こすことが求められているのである。

しかしながら、自然の地球そのものの変化は、実験室中の現象のように単純でよくコントロールされた変化では

なく、多くの要因が絡み合い、因果の連鎖の結果として起こるものであって、将来予測には大きな不確定を残している。このため、アメリカ共和党の議員の中には、地球温暖化はレベルの低い科学者が作り出した絵空事であると主張する人が少なくないと聞く。生活と経済に重大な影響を与えるCO₂の排出抑制に踏み切るのに、根拠が不確かでは困る、というのはわかるが、かと言って対応策が手遅れになっては取り返しがつかない。この問題についての現在の科学的知識と、含まれている不確かさがどのようなものであるか、少しでも正しく理解して頂きたいと思う。

前述の1988年の北米の猛暑の年に国連によって設けられた「気候変動に関する政府間パネル（Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC）」は、世界中の関連研究者を集結して、この問題に関する科学的知見の総まとめとそれにもとづく将来予測を行い、1990年に報告した（IPCC,1990）。其後、新しい研究結果とその整理に立った部分的報告が1994年に出され（IPCC, 1994）、昨年第2回目の全面的改訂版（IPCC,1995）が出された。これらの報告書に沿って地球温暖化の機構についての現在の理解の概略と、未解明の問題点を以下に説明したい。

2 CO₂の増加と全地球気温の上昇

大気中のCO₂が赤外線遮へい作用によって地球表面を高温に保つ「温室効果」を持っているため、地質時代を通じての地球全体の寒暖の変化は大気中CO₂濃度の変化によってもたらされたのであろうという推論、および人間による化石燃料消費によるCO₂放出のため気温が上昇する可能性の指摘は早く19世紀末からなされていた。第二次大戦後、各国の急速な産業発展によって、この問題が将来の大きな問題になる事が先進的研究者によって予見され、1957・58年の国際地球観測年(IGY)を機に、CO₂濃度の定常観測がハワイ島と南極点において開始され、すぐに増加傾向が明らかにされた。図1は、このような直接観測に加え、近年行われた南極氷床中に閉じ込められていた過去の空気の分析に

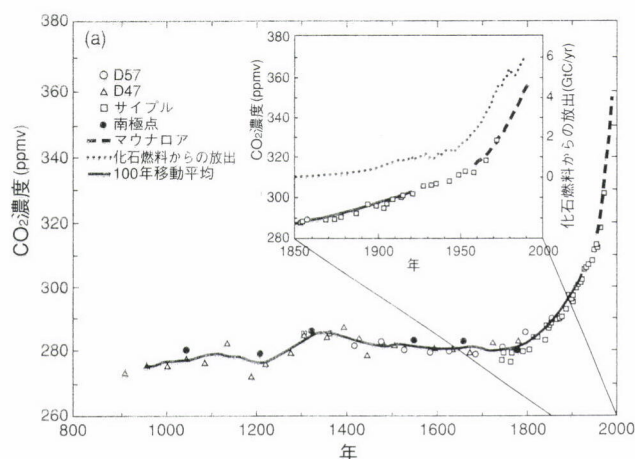


図1 過去1000年間のCO₂濃度の変化。破線はマウナロアにおける直接観測、様々な形の点は南極やグリーンランドの水床中の気泡の分析から得られた値を示す。1850年以降の拡大図に記入されている点線は化石燃料からの放出量で右側のスケールによる。(IPCC 1994より)

よって得られたデータも加えて過去1000年間のCO₂濃度の変化を示したものである。図から読みとれるように、1700年代初めの産業革命以前には280ppm 前後でほぼ一定であったCO₂濃度が次第に増加し、特に近年の増加は指数関数的である。しかし、19世紀中からかなりの増加がみられており、過去の統計資料から、この原因は化石燃料燃焼より開拓のための森林破壊にあると考えられている。1990年には350ppmと自然状態に比べて25%も高濃度になっている事がわかる。

このようにCO₂(およびその他の温室効果ガス)濃度増加が相当のレベルに達しているので、地球温暖化は既に認められているのではないだろうか。地球全体の平均気温を算出するのはそれ程容易ではない。というのは長期にわたる気象観測点は陸上、それも先進国に偏在している。暑夏・冷夏といった自然に起こる気温の変動は幅が大きい上に地域による違いが大きいから本当の全地球平均を出すのが難しい。また、大都市での観測は、人工排熱その他の影響で100年で2℃以上の温暖化を示すが、これはあくまで局地的なものである。このような困難はあるものの、過去100年余りの全地球平均気温の変化が図2のように求められている。図から読みとれるように、年ごとの気温は大きく上下するが前後各2年を加えた5年間の平均は比較的なめらかな変化をしている。これを見ると、19世紀から1930年代にかけて昇温傾向があったものが、1940年代をピークに下降に転じた。このような研究が行われるようになった1960年代には、この事実に驚き、何か未知の自然の変動機構によって気候は寒冷化に向かうとの予測が多く、気象庁により発行される異常気象報告の最初のもの(1974年)には、寒冷化の見通しが述べられている。この頃までに既に温暖化研究の基礎は固まっていたが、自然の変動によって寒冷化に向かうものなら人為的温暖化は、それを緩和するに過ぎないから

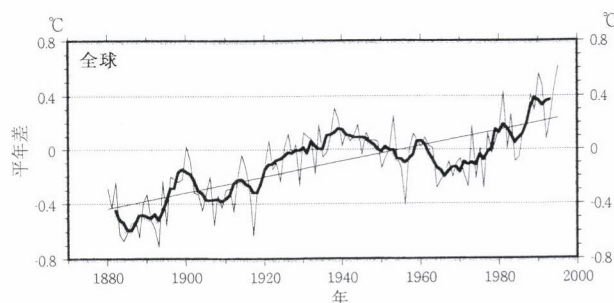


図2 過去110年余りの全地球平均地上気温の変化。細線は年平均気温の1年ごとの変化、太線は前後各2年を合わせた5年間の平均を示す。直線は全期間のトレンドを見やすく示したもの。(気象庁、地球温暖化監視レポート 1995より)

社会への警告はなされなかった。1970年代後半に入ると、原因不明のまま自然の寒冷化はとまり、昇温傾向へと転じた。1980年代に入ってこの傾向は著しくなり、過去100年の記録を塗りかえる高温が次々と現われるようになった。図2を大きな目で眺めて見ると、過去110年間に0.5～0.6℃の昇温があったと考えられる。この大きさは、観測されたCO₂その他の温室効果ガスの増加によるものとして説明可能な範囲にある。

3 温室効果とは

地球大気は温暖効果をもつことが知られている。大気を構成する成分ガスのうちN₂、O₂は赤外吸収を示さないが多原子分子であるH₂O、CO₂、CH₄、N₂Oなどは赤外・遠赤外域に強い吸収帯を持っている。他方、これらのガスは日射の大部分を占める可視光に対しては透明であるから、太陽から入射するエネルギーは大気層を素通りして地表面(海面を含む)に達し、そこで吸収されて熱エネルギーになる。熱せられた地表面は黒体として熱放射をするが、それは5～100 μmの遠赤外領域にあり、したがって大気中の「温室効果ガス」によって強く吸収され、直接宇宙空間へ流出することはできない。大気層中で吸収・放出を繰り返して密度のうすくなった対流圏上端あたりから最終的に空間に向け放散される。地表面から対流圏上端へ向けては赤外放射および対流の形でエネルギーが運ばれるが、それには地表の方が高温で温度傾度がなくてはならない。現実の大気では、対流によるエネルギー輸送が卓越し、温度傾度はそれによって決められている。この有様を模式的に図3に示してある。このように、大気層がない場合に比べて地表気温は33℃も高温になっていると計算される。大気層の役割は温室のガラスに相当し、温室効果と呼ばれる。

大気は、H₂Oを主とした各種のガスの温室効果によって現状の温度構造とエネルギーバランスを保っているが、そこに余分の温室効果ガスが放出されると余分に赤外熱放射が遮られて地球の失うエネルギーが減少し、地球全体の温度が上昇する。温度上昇によって熱放射が増加し、減少分

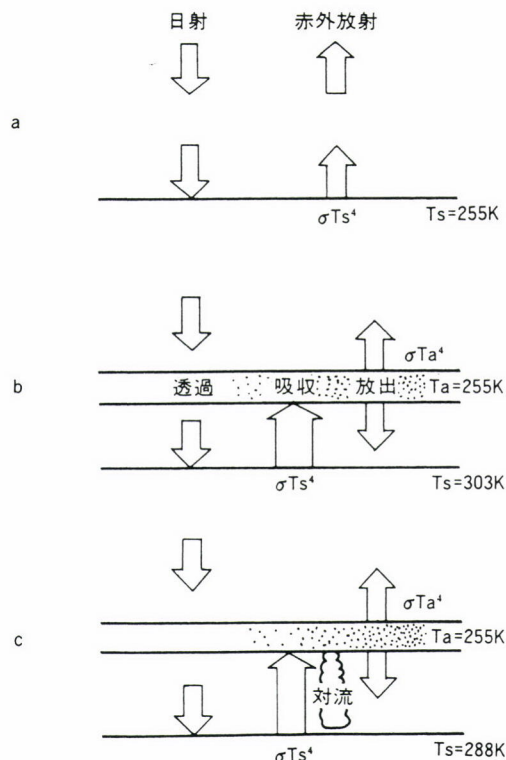


図3 温室効果の模式図。a:大気層がない場合、b:大気層がある場合の放射平衡、c:放射に加え、対流による熱輸送がある場合の平衡。 σT^4 は温度Tでの黒体熱放射。矢印の幅はエネルギー流束に比例するように描いてある。(第24回白石記念講座 (1993年))

を打ち消した所で新しい平衡状態が実現する。温室効果ガスを増加させて放射バランスがくずれた時の非平衡の大きさを「放射強制力」と呼んでいる。例えばCO₂を自然状態から2倍に増加させたときの放射強制力 (ΔQ) は4.4W/m²と見積もられている。現在地球に吸収される日射とそれに平衡する大気上端からの赤外放射は約250W/m²であるから、その2%に近い非平衡が生じるわけである。このような非平衡が生じると、地球全体が昇温し新しい平衡に向かう。その状態での温度を、赤外放射と対流によるエネルギーの鉛直輸送機構を取り入れて計算した最初のもは、日本出身で米国・海洋大気庁の地球流体研究所 (GFDL/NOAA) で研究を続けているCO₂問題のパイオニア、真鍋淑郎博士によってなされた (Manabe and Wetherald, 1967)。図4にそれを示してあるが、CO₂を現状の2倍にすると地表を含め対流圏全体で2.4℃温度が高くなる。ここまでの計算は、対流の効果に経験則を用いているものの、その信頼性は高いと考えてよい。ただし、2.4℃という値は、温暖化に伴い飽和水蒸気量が増加するので、海水からの蒸発によって大気中のH₂Oが増加し、その温室効果によって昇温が拡大することもある。その際、相対湿度不変という仮定をおいているが、これには確たる根拠はない。高温化してもH₂Oの絶対量は現状のまま (相対湿度は低下) という、極端な仮定で計算すると、昇温量は1.3℃となる。H₂Oの増加という間接の効果 (これは一般に気候変化のフィードバックと

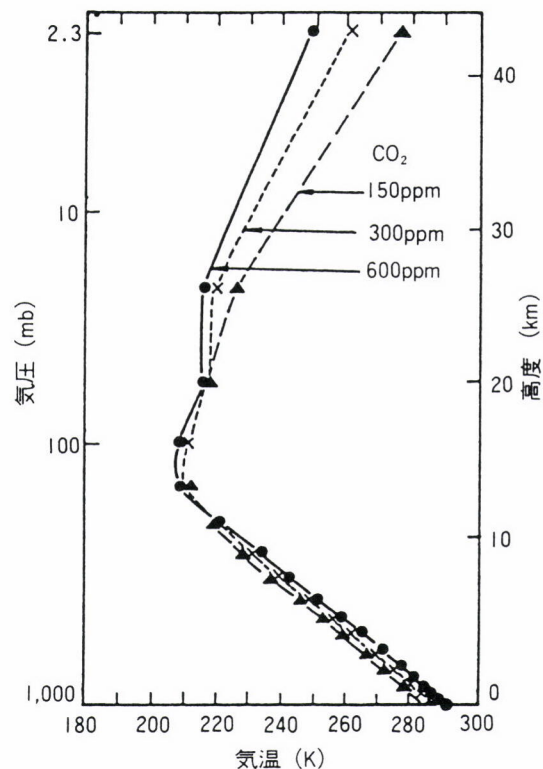


図4 放射・対流平衡にある大気温度の鉛直分布をCO₂濃度が300ppm, 600ppm, 150ppmの場合について理論的に求めた結果 (Manabe and Wetherald, 1967) (第24回白石記念講座 (1993年))

呼ばれるものの一つ) によって温度上昇は1.8倍にも拡大するのである。この部分は不確かさの一つと考えられているが、最近の対流効果を直接扱ったコンピューター実験の結果は、相対湿度不変の仮定は第一近似として適切なものであることを示している。

4 温室効果ガス増加の予測 — 炭素循環の問題点

現在の温暖化問題が19世紀以来の古典的CO₂問題 (1970年代まで) と大きく違うところは、CO₂以外の温室効果ガスが人為起源で増加していること、その効果を積算するとCO₂増加に比肩し得るほどであることが認識されている点である。大気中にはCH₄、N₂Oといった微量ガスが1ppm前後の濃度で存在しているが、それらはCO₂に比べて100分の1以下にもかかわらず赤外吸収能が数十倍も強く、かつ強度が飽和から遠い為、濃度増加による温室効果増加が相対的に大きくCO₂増加の効果に比べて10%のけたの大きさを持つ。また、人工物質であるフロン (クロロフルオロカーボン類、CFCl₃、CF₂Cl₂その他) はオゾン層破壊物質として知られているが、同時に極めて強い赤外吸収を示し、濃度が1ppbとCO₂の10万分の1であるにもかかわらず、やはりCO₂の10%のけたの温室効果増加をもたらす。図5は、産業革命後のこれらガスの増加による放射強制力 (赤外線遮へい量) を成分別に調べ加算したものである。(CH₄、N₂Oは氷床の

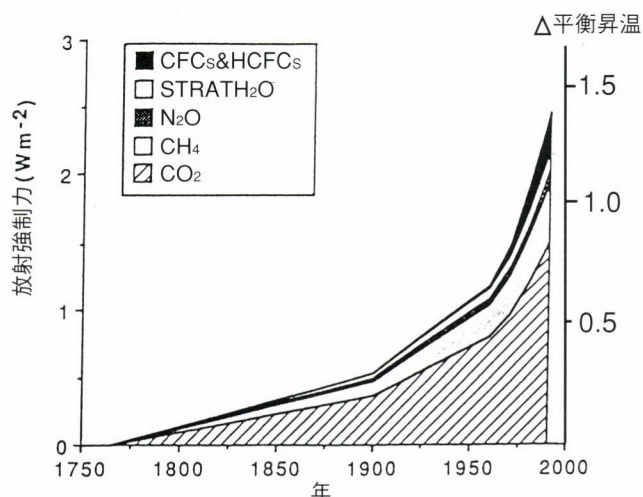


図5 これまでの人間活動起源の各種温室効果ガスによる放射強制力。各ガスの寄与の積算。グラフの各ガス別の大きさは左上の囲み中に上下に記した順に積み上げてある。右側スケールは、CO₂2倍の平衡状態での温度上昇を2.5℃とした場合の各時点での放射強制力に対応する平衡温度上昇。(IPCC 1994より)

気泡の分析、フロンは実測による。) 図から読みとれるように、CO₂以外のガスの効果の合計はCO₂に近く、特にこの30年ほど顕著になっている。CH₄、N₂Oの増加の原因は水田、家畜の増加、窒素肥料などに求められているが、その詳細にはまだ不明な点が残されている。

このようにCO₂以外の温室効果ガスの増加が重要であるとは言え、主役はやはりCO₂であり、将来の温暖化の進行はCO₂濃度の増加のペースにかかっている。そこで、温暖化と気候変化を予測するには将来のCO₂濃度の予測が出発点となる。人工排出源、すなわち化石燃料消費と森林伐採については、もし何も対策を講じなければ経済発展に応じてこうなるであろうという (Business as Usual, BaU) シナリオが作られている。それをもとに大気中濃度の予測を行うのだが、それには大気・海洋・陸上生態系間の炭素循環の機構を明らかにして、それをモデル化しなければならない。この問題は、CO₂の直接観測が始められた頃から研究が続けられ大枠はわかっているものの不明の点も少なくない。その象徴としてCO₂のmissing sinkの問題がある。

1990年のIPCC報告では、1980年代の炭素収支を表1のように算出している。単位は1年当たり炭素量でギガトン (10⁹t) で表わしてある。人間活動により計7Gtが放出されて

表1 1980年代における人間活動により放出されたCO₂の収支。単位は炭素量で1年当たり10億トン (GtC/年)

人間活動による放出		
	化石燃料消費	5.4±0.5
	森林破壊	1.6±1.0
a	計	7.0
b	大気中での蓄積	3.4±0.2
c	海洋への溶けこみ	2.0±0.8
	不均衡(a-b-c)	1.6±1.4

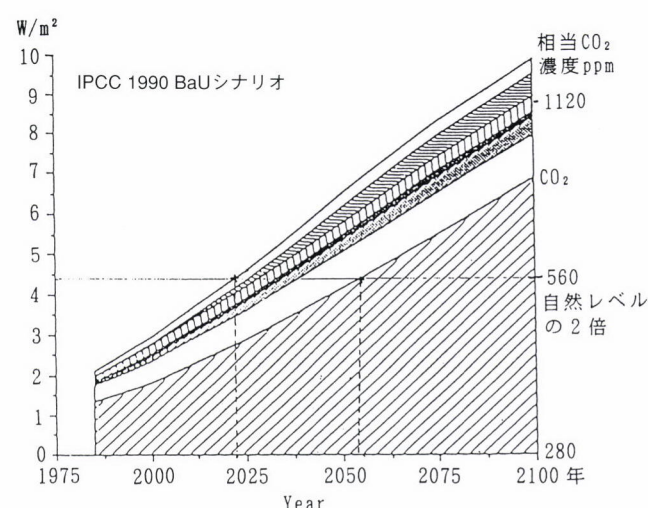


図6 何も対策をしなかった場合(BaUシナリオ)の各種温室効果ガスの増加による赤外線閉じこめ度(IPCC 1990より) (第24回白石記念講座 (1993年))

いるうち、海洋への溶け込みを除いても大気中に残留している分より1.6Gtも多く、その行き先が不明なのである。この不均衡の原因として、当時は必ずしもはっきりしなかったが(それゆえ missing sink と呼ばれた)、その後の研究により、この量はさまざまな形で陸上生態系に吸収されるものとして説明可能の範囲にあると考えられるようになった。その内訳は、第二次大戦後の植林により北半球中高緯度地域では0.5GtC/年の割合で森林のストックが増えつつある。このほかに、CO₂濃度が上昇することによって光合成が促進され既存の森林の炭素保有量が増加する肥沃化 (Fertilization) 効果が考えられ、農場における実験などをもとに0.5～2.0GtC/年の吸収があるとみられている。さらに、人間起源のNO_xが窒素肥料として成長を促進したり、温暖化による成長促進も見込まれるので、先の残差は説明可能というわけである。

ここで注意すべき点は、CO₂濃度の将来予測に当たって、陸上生態系による吸収もモデル化し、それを現状のデータで検定しパラメータを決めている事である。CO₂増加による肥沃化で純生産量がCO₂濃度の上昇率に比例するとして係数を定めるが、現状の収支に幅があるため、ファクター2程度の不確定を生じる。実は、代表的値に合わせたモデルで計算すると200年後CO₂濃度が2倍になったとした場合、陸上生態系の炭素保有量は計500Gtに近い増加となるが、これは現存の植物体の量にほぼ等しく、信じ難い値である。

そのような問題点はあるものの将来予測をした結果は図6に示すようになっている。なお、これはIPCC 1990のもので、前記の陸上生態系の吸収は考えていない。最新のものではないが大筋は変わらない。図からわかるように、CO₂のみなら2060年ごろ自然状態の2倍になるが、他のガスの効果を含めると、2025年頃CO₂ 2倍相当に達し、21世紀末にはCO₂ 4倍相当にまで増加すると予想されている。

5 気候変化の推定

温室効果ガス増加の影響のメカニズムは、地表面からの熱放射の鉛直上方への伝達が妨げられる事にあるから、その大筋は先に記した鉛直次元モデルで調べる事ができる。しかし、温度上昇の大きさは、緯度による日射の差や昇温を拡大する水蒸気量の差によって場所によって異なり、その結果、気圧分布や風、そして降水量の分布も今までと違ったものとなる可能性がある。事実、地質時代の気候変動においては、全地球規模の高温・低温にともなって各地域の気候が変化して来ている。そこで単に地球全体の気温の上昇のみでなく、各地の気候がどう変わるかも興味ある問題である。これは、単に地球科学上の興味ばかりでなく、生活・産業への影響という点においても、地球全体の気温上昇より雨量減少による乾燥化のような各地域の気候変化が重大である。ちなみに1992年リオの地球サミットで採択された条約は、しばしば「温暖化防止条約」と呼ばれるが本当は「気候変動枠組み条約 (Framework Convention for Climate Change)」である。

地球上の気候の変化を推定するには、「気候モデル」を用いてコンピューター実験を行う。気候モデルとは、気候を支配する物理の法則をもとにして、地球上各地の気候がどのようになるかを頭ごなしに計算するものであり、歴史的には天気予報のための大気モデルから発展して来たものである。現在の天気予報は、全世界の気象観測データをもとにし、全地球大気をメッシュに切り、各メッシュ点で気圧、風、温度、湿度の変化を支配する物理の方程式（質量保存則、運動方程式、エネルギー方程式、水蒸気変化の式）を適用して、これらの時間変化を追いかけて、1~7日後までの気圧配置や風、気温、降雨を計算することによって行われている。このためのコンピューターモデルを使って、さらに長く何ヶ月も何年も計算を続けると天気予報としては役立たないが、南北の日射の差や海陸の熱容量の違いが組み込まれていれば、例えば冬季の東アジアではシベリアに寒気がたまって高気圧を作り、それが北西季節風となって日本に吹きつけ日本海側に多雪をもたらす、といった気候状態をシミュレートすることができる。この際、海洋の水温や海水の分布、大陸上の土壌水分なども変数として計算し、それらが気候に与える影響を取り入れるようにする。

このように気候をいわばトップダウンで計算することができるので、同じモデルで大気中のCO₂濃度を2倍にして計算すれば、その状態での気候がわかるというわけである。このようにして得られたCO₂倍増気候と、同じモデルで計算した現在の気候（実際と一致はしないが大筋は再現できる）との差をとって気候の変化を推定する。このようにして推定した気候の変化は、残念ながら今のところ余り信頼

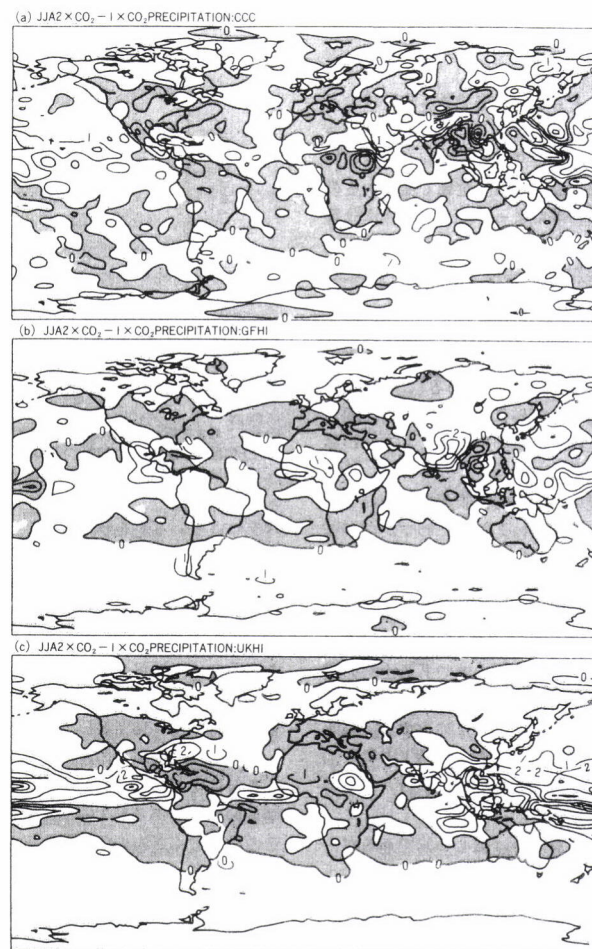


図7 3種類の気候モデルで得られたCO₂倍増平衡気候と標準気候との夏(6,7,8月)の降水量の差。CO₂2倍のほうが降水量が減少する領域に影がついてある。(a)はCCCモデル,(b)はGFDL高分解能モデル,(c)はUMKO高分解能モデル(IPCC報告,1990による) (第24回白石記念講座 (1993年))

できるものではない。というのは、気候モデルの中には複雑でまだ良くわからないプロセスが多くあり、それを少数の観測や物理的考察にもとづいて数式表現しているからである。この方法はモデル作成者の判断によるから沢山のモデルで結果のバラツキを生じる。一例として3つの研究機関のモデルで得られたCO₂2倍気候と現状気候との夏季の雨量の差を示す(図7)。これは一番計算が難しく結果のバラツキの最も大きい部類に属する。

以上のような困難はあるものの多くのモデルの結果や、物理的メカニズムからみて妥当と思われる変化は次の通りである。(CO₂2倍実験)

- (1) 温度上昇は低緯度より高緯度で大きく、また、秋から冬にかけて大きい。極域の冬の温度上昇は10℃近いであろう。
- (2) 降水量は、現在の多雨帯である赤道域と高緯度で増加の傾向にあり、中間の亜熱帯・中緯度では変化が小さいか、やや減少の傾向にある。
- (3) 気温の上昇とともに蒸発量はどこでも増えるので、降

水量との差の結果として亜熱帯から中緯度に乾燥帯が拡大する可能性がある。

- (4) 温度上昇に伴って雨の降り方が熱帯的となり、日本を含む中緯度・亜熱帯では集中して降る対流性降雨が増す。
- (5) 経度方向の違い、大陸スケールの気候変化では信頼できる変化は僅かである。即ち南ヨーロッパ・北アメリカでは、夏季土壌が乾燥する可能性がある。一方、東南アジアのモンスーン域では夏の雨量は増加し湿潤化の傾向にある。

以上の程度なので、関心の深い日本の気候の変化についてはほとんどわからない。間違いない点としては、冬季高緯度の温度上昇が著しいのでシベリア寒気の吹き出しは弱まるであろう。日本海側の雪は、温暖化により雪から雨に変わる地帯のほかは、水蒸気量の増加に応じて積雪が増えるかもしれない。梅雨の時期がどうなるのか、雨量はどう変わるかは夏期の水資源に重大な影響を与えるが、それについては不明な点が多い。台風の発生・強さの変化も予測が難しい。一般に熱帯域の高温化は台風を強める方向になると考えられるが、それとて周囲の海水温との関係で変わるし、また日本近海で発生して十分に発達しないままのものが増えるという考えもある。

最近、気象庁・気象研究所で行われた大気海洋結合モデルでCO₂を徐々に増加させた実験によると、地球上の気温上昇の最大域の一つはオホーツク海周辺にあり、大きさはCO₂2倍時点で4℃にも達する。オホーツク海は北半球における海水の南限となっているので高温化によって海水が減少ないし消滅すると、それが更に昇温を拡大することが考えられる。定性的には納得のできる結果であり、今後詳しく調べる必要がある。

気候モデルを使った実験からは、地域的に異なる温度上昇を平均して先の単純な放射・対流平衡で求めたのとは異なる全地域平均の温度上昇が計算できる。この値は世界中で多数行われた実験によって2℃～5℃という大きな範囲にばらついてしまう。その原因は、放射・対流平衡モデルの際に問題となった昇温に伴う水蒸気増加の昇温拡大効果と同じような間接の効果（気候変化のフィードバック）がモデルによって大きく違うためである。この中で最も大きなばらつきの原因は雲の変化が放射に及ぼす影響（日射を反射する）の違いである。雲は見てわかるように著しく変化に富んだ現象であるが、モデルでは雲の発生や雲量を250km くらいの粗いメッシュでの温度・湿度の情報から計算しなければならない。さまざまな経験則によって計算方程式が作られているが、その妥当性は明らかではない。普通は現在の条件下で観測結果に合うようパラメータを調整（チューニング）するため、CO₂2倍という異なる条件下では大きな差が生まれてしまう。雲の効果を調べてみると、

昇温を拡大するものと縮小するものと両方ありフィードバックの方向も決まっていない。この雲の取り扱いが気候モデルを改良する（真に近づける）上で最大の難点と考えられている。

6 海洋による温暖化の遅れ、エアロゾルの効果

これまでの温度上昇及び気候変化の推定は、すべて平衡状態を仮定していた。「CO₂が2倍になった時の温度上昇は、気候は、・・・」という表現は正しくない。「CO₂が2倍であるもうひとつの地球（惑星）の温度は何度で気候はどのようなか」という質問への答えを求めていたのである。現実にはCO₂濃度は年とともに徐々に増えていき、それに応じて気候も徐々に変わって行く。そのため、CO₂濃度が自然状態の2倍になった時点での温度や気候の変化は、巨大な熱容量を持つ海のために平衡より遅れ、3節・5節のようにはなっていない。実際に必要とされるのは、この遅れの効果も考慮して、例えば30年後の気候はどのようなになっているか、という予測である。このような予測をするには、当然のことながら海洋の熱吸収と海洋内部の循環もとり入れた大気・海洋結合モデルを用いてコンピューター実験を行う。このためには海洋を3次元的にメッシュに切り、海洋循環を駆動する海水の密度差を温度と塩分濃度から求め、運動方程式に従って海水の運動を計算する。温度と塩分濃度は大気との間の熱交換、降水と蒸発によって変わるから、また、風によって海面近くの海水が動かされ黒潮のような海流を生じるから、刻々変わる大気と海洋の状態を相互作用をとり入れて計算しなければならない。このためにはスーパーコンピューターを2,000時間ぐらい使わなければならない。IPCCの1990年の報告の時には、前述の真鍋博士のグループによるものしかなかった。其後、温暖化問題の重要性から日本の気象庁・気象研究所を含め、世界中で数カ所の研究

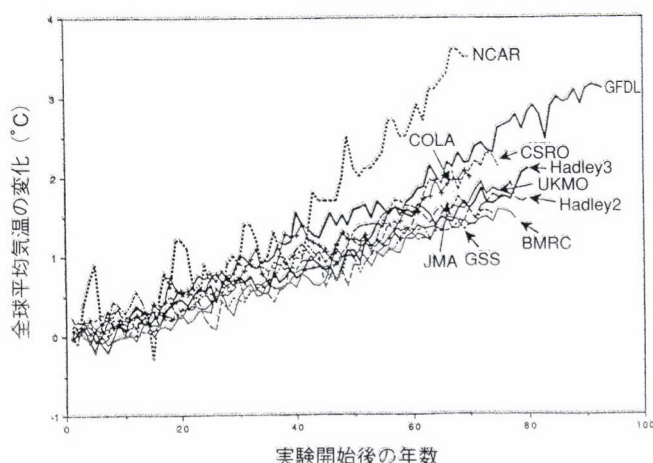


図8 大気海洋結合モデルでCO₂を徐々に(年率1%)増加させたコンピューター実験での全地球平均気温の変化。世界中の研究機関での結果。(IPCC 1995による)

センターで実験が行われた。その結果の全地球平均温度の上昇を図8に示す。この計算では簡単のため、全温暖効果ガスの増加率をCO₂に換算し、年率1%と仮定してある。するとCO₂濃度が2倍になるのは約70年後であるから、その時点での温度上昇は1.8℃程度になり、平衡昇温（多くは2.5℃～3℃）の60～70%のとどまっている。このような研究結果をもとに、IPCC 1990 では、何も対策を講じなかった場合、現在からCO₂2倍となる時点（2025年頃）まで昇温を約1℃と見積もった。

ところで図8は産業革命以後のCO₂増加を簡略化して（年率1%増）扱ったものであるから、この上昇曲線の中で現在に相当する所の昇温がどうなっているかチェックできる。現時点での全温室効果ガスの赤外線遮へい効果（放射強制力で2.5Wm⁻²、図5）は、たまたまCO₂2倍時の半分となっている。そこで、それに相当する所（約35年）の昇温をみると0.8℃となり、これは過去100年余の昇温0.5℃～0.6℃に比べて大き過ぎる。今までの議論から理解されるように、モデルに含まれる多くの不確定要因を考えると、この差は必ずしも問題にすべきものとは言えない。ところが、最近、これまで考えていなかった要因で無視できない大きさのものがみつかった。それは、石油・石炭の燃焼に伴って発生する亜硫酸ガスがもとになって生じる硫酸エアロゾル（0.1 μm程度の微粒子）である。現在はかなり改善されたが1970年頃、工業地帯ではスモッグになやまされた事を記憶されているであろう。このエアロゾルは日射を散乱、反射

し、地球を冷やす効果を持つ。これはCO₂の主要発生源である化石燃料燃焼に結びついているから温室効果と同時に考えられるべきものである。その冷却効果は発生源である北半球の大陸上に限られているが、最も大きいヨーロッパではCO₂の効果と比肩するほど（打消すほど）であり、全地球平均にすると全温室効果ガスの効果を25%ほど減少させる大きさ（放射強制力-0.5～-0.7Wm⁻²）を持つとされている。（まだそれ程確かではないし、筆者も計算根拠に疑問を持っている。）ともかく、この効果を考えると先ほどの現状での計算と観測とのくい違いが解消される。

7 おわりに

以上、地球温暖化予測の科学的根拠とその問題点を記して来た。不確定要因が多く残っていることは確かだし、例えば台風の数や強さはどうなるのか、と言った実際上の問題に答えられてもいない。しかし、基本的には物理法則に立った動かしようのない事実であり、これまでの観測データに照らしても「温暖化は確認されていない」という批判が的外れであることも理解して頂けたと思う。一方、経済活動の必要性から、ある程度の温度上昇と気候の変化は避け得ないと思われるので、自然の気候変動を含めてより確かな気候変化予測を行い、社会が変化に適応できるようにするのが地球科学者に課せられた任務と考えている。

（1996年5月9日受付）

地球環境特集 特集記事2

環境・エネルギー

柳 謙一 三菱重工業(株)技術本部 広島研究所 所長
Ken-ichi Yanagi

Environment and Energy

1 はじめに

20世紀初頭からの電気製品と自動車などの普及に伴い、世界的にエネルギー需要が急増したため、 SO_x 、 NO_x など、発電プラントや自動車からの排ガスなどに含まれる汚染物質の大気放散が増大した。その結果、環境汚染が進み、人体や動・植物への悪影響が指摘され、先進国を中心にいろいろな環境規制が進められてきている。

また、石油、石炭、LNGなど化石燃料を燃やしてエネルギーとして利用する方法では、必然的に CO_2 が発生する。近年では世界で毎年220億トンもの CO_2 を大気中に発生しているため、このために地球が温暖化されているとの説も出ている。また、世界で70億トン(石油換算)もの化石燃料を毎年消費し、今後も消費量が急増し続けることが予測されているために、化石燃料の枯渇が懸念されている。

このようなエネルギー需要の急増とこれに伴う環境の急速な汚染に対しては、

- (1) 地熱発電、風力発電、太陽熱発電など、クリーンな新エネルギー源の開発
- (2) エネルギー利用効率の向上(省エネルギープロセス)など、エネルギー源と利用技術の研究開発に加えて
- (3) 排煙・排ガスの脱硫(SO_x 除去)、脱硝(NO_x 除去)技術
- (4) CO_2 を大気中に放散しない、 CO_2 固定化などが進められている。

以上は、我々の生活の基盤となるエネルギーを得るために直面している地球規模の課題であるが、もう一つの課題は、産業廃棄物や都市ゴミなどの急増に伴う環境汚染であり、工場排水、都市ゴミ、都市排水、建設汚泥、等々大量の廃棄物による種々の問題が過去に多数発生し、「廃棄物処理法」や「リサイクル法」などで規制が進められて来ている。

これらに対しては、

- (1) 排水、廃液など放散型廃棄物の中の環境汚染物質の無害化技術
- (2) フロンなど特定用途、有害物質の無害化技術
- (3) 都市ゴミなど、大量廃棄物の減容化、無害化技術

に加えて、

- (4) 廃棄物のリサイクル利用技術などの研究開発が進められている。

「ふえらむ」の読者の皆さんに関係の深そうなところを概して言えば、

- 1) 化石燃料をエネルギーとして利用しようとする、 CO_2 に加えて SO_x 、 NO_x が発生し、この為に脱硫・脱硝・脱炭技術が必要となる。
- 2) コスト競争力維持のためにも、また、次世代のエネルギー源確保のためにも、物を作るエネルギーをミニマムにする省エネルギープロセスは今後もますます重要となる。
- 3) 寿命が来て捨てられる製品の処理責任がメーカに問われるので、都市ごみ処理に加え廃棄物処理・リサイクル技術が必要になる。

このような観点から、以下に関連する技術を紹介したい。

2 環境保全

2.1 排煙脱硫

事業用火力発電所向け排煙脱硫に20年の運転実績を持つわが国の技術は完成度が高く、世界最高レベルにある。

排煙脱硫装置に望まれる基本的な具備条件としては、(1) 脱硫性能がよい、(2) 装置の信頼性が高い、(3) 運転保守が容易で人手がかからない、(4) 二次公害がない、(5) 吸収剤

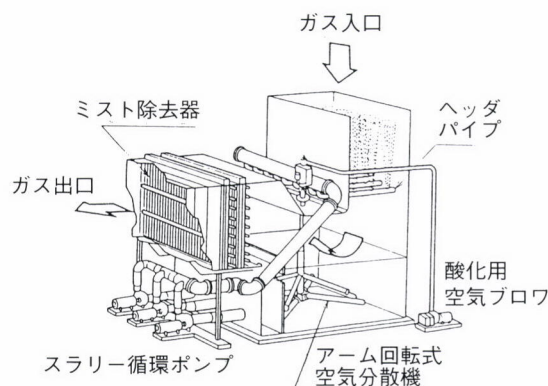


図1 液柱式吸収塔

が入手しやすく副製品の市場性がよい、(6) 建設費と運転費が安い、などが挙げられるが、これら条件に適合した技術として湿式石灰石石膏法が現在広く採用されている。この方法は吸収塔で石灰石スラリーと排ガスを接触させ、液中に溶解した亜硫酸ガスと石灰石を反応させ、更に空気酸化で石膏を生成させる方法である。

図1に最近実用化された液柱式吸収塔を示す²⁾。ノズルから高速で噴き上げた吸収液は、液柱頂部で分散しさらに降下液と噴出液の衝突による微細液滴の発生等によってガス-液接触面積の高い濃密な液滴層が形成される。石炭焚ボイラーの排ガス30万 $\text{m}^3\text{N}/\text{h}$ の実証試験結果を図2、3に示す。液柱高さ10mで97%の高脱硫率及び出口ばいじん濃度

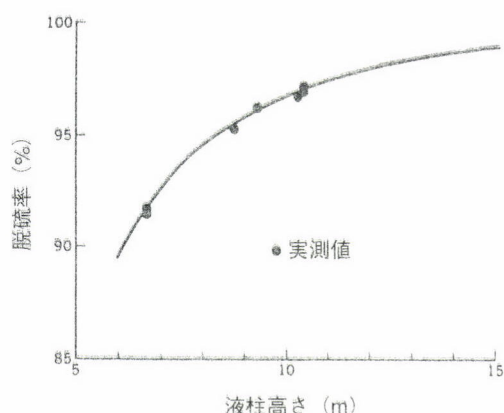


図2 実証試験装置における液柱高さとの脱硫率の相関

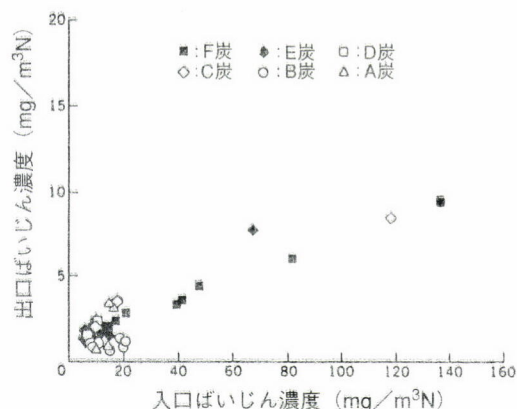


図3 実証試験装置における除じん性能

10 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ が得られている。

硫酸化合物と同様にばいじん排出濃度の低減が求められており、従来の20~30 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ から10 $\text{mg}/\text{m}^3\text{N}$ を求められる都市近郊型石炭火力のケースもある。図4は高除じんシステムを示す²⁾。本システムの特徴は、ガスガスヒータ (GGH) で排ガスを低温化した後、電気集じん器 (EP) を設けることで集じん性能を向上させた点と、吸収塔での除じん性能を上げた点にある。

また、吸収塔からの排水についても電気透析膜を用いた濃縮と蒸発を組み合わせた無排水化システムが開発されている³⁾。

2.2 排煙脱硝

乾式脱硝装置は、1977年にボイラ用脱硝装置の初号機が運転を開始して以来、現在までに事業用及び産業用ボイラ向けとしてあるいはコージェネプラント向けとして350基以上が稼働中とみられ、そのうち事業用火力発電所を中心とした大型プラントは120基以上である。

ボイラ及びガスタービン排ガスの脱硝プロセスを図5に示

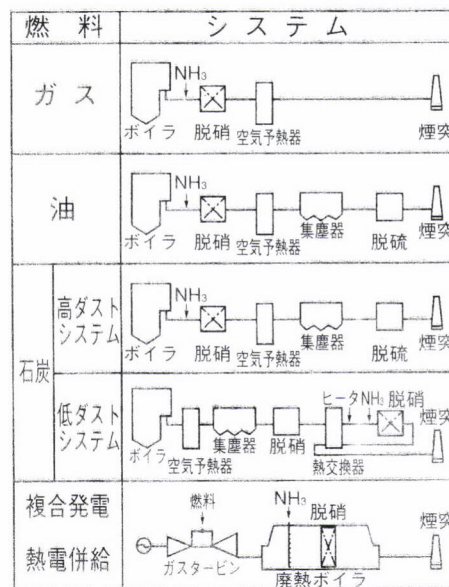


図5 脱硝プロセス

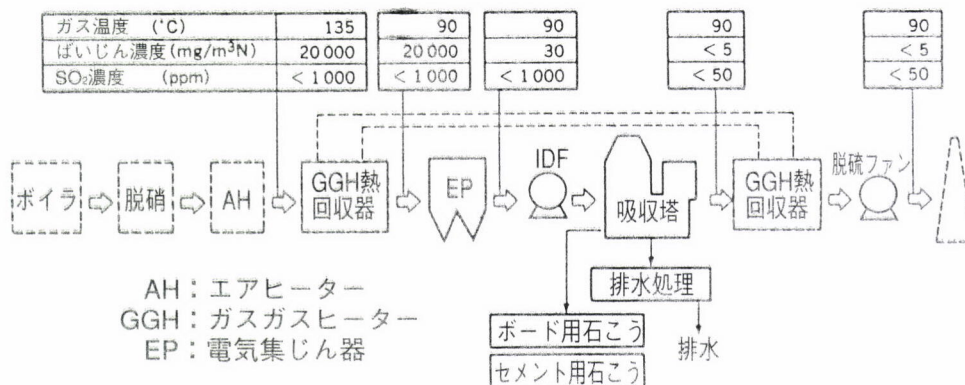


図4 高除じんシステム

した⁹⁾。脱硝装置は一般的に排ガス温度が200～450℃の範囲に入る場所に設置される。石炭焚の低ダストシステムの配置は、排ガス中に触媒被毒物質となる重金属が含まれる場合に採用されている。日本国内ではこのような例はほとんどなく、海外の劣悪な石炭を用いるプラントにみられる。

固定発生源の脱硝はNH₃を添加する選択接触還元法が殆どであり、その反応機構を図6に示す⁵⁾。

触媒劣化の原因としては

- (1) 担体チタニアの熱シタリング
- (2) アルカリ金属等による触媒活性点の被毒
- (3) カルシウム化合物の触媒表面への蓄積による細孔閉塞

であり、ガス焚プラントでは(1)が、重油焚プラントでは(2)が、石炭焚プラントでは(3)が主な劣化要因となっている。触媒の耐久性は、実績から、ガス焚の場合50,000時間、あるいはそれ以上、重油焚の場合30,000～50,000時間、石炭焚の場合20,000～40,000時間程度である。

2.3 CO₂の分離・回収及び隔離

火力発電所など大量のCO₂を集中して発生する施設でCO₂を回収し、長期にわたって安定的に大気から隔離する方策、いわゆるCO₂の回収・隔離策には次のような特徴がある。現在のエネルギー供給体系を大きく改変する必要がない点、排出されるCO₂の大半を大気に排出せず、発生源で処理できる可能性を有する点、技術的実現性の展望が得られやすい点、及びCO₂削減が必要と決断された場合に速やかに対応が可能である点などである。

燃焼排ガスからCO₂を分離・回収する技術については化学吸収法、物理吸着法などの開発が進められている。化学吸収法では図7に示す様にアミン化合物を吸収液とし、CO₂と吸収液を反応させて排ガス中のCO₂を分離した後、吸収液を加熱し再生塔でCO₂を放散させ、回収する。排ガス600m³N/hのパイロットプラント試験でCO₂回収率90%

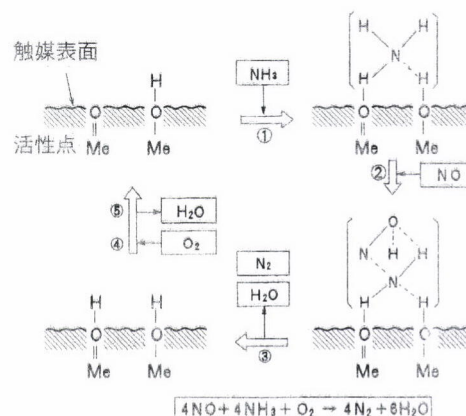


図6 脱硝反応機構

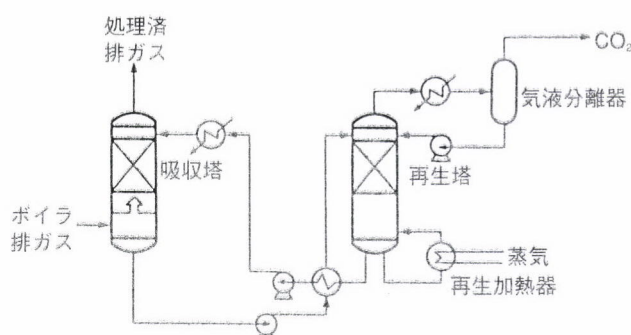


図7 化学吸収法によるCO₂分離・回収プロセス

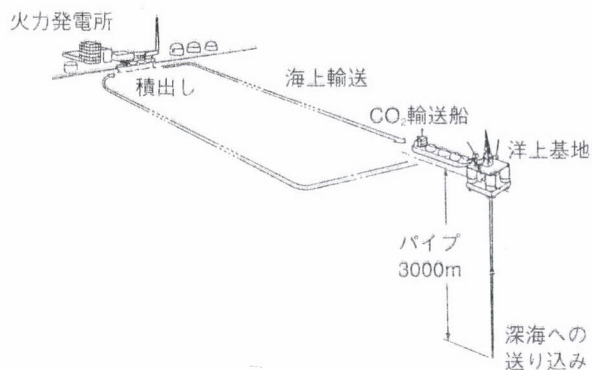


図8 CO₂の深海への送り込みシステムの概念

- ①投入ステージ ②ごみビット ③ごみクレーン ④三菱マルチン型ストーカ
- ⑤灰押出装置 ⑥灰コンベヤ ⑦灰ビット ⑧灰クレーン ⑨排熱ボイラ ⑩減温塔
- ⑪バグフィルタ ⑫触媒脱硝 ⑬IDF ⑭湿式洗煙 ⑮煙突 ⑯低圧蒸気コンデンサ
- ⑰灰処理ヤード ⑱変電室 ⑲配電盤室 ⑳排水処理ヤード

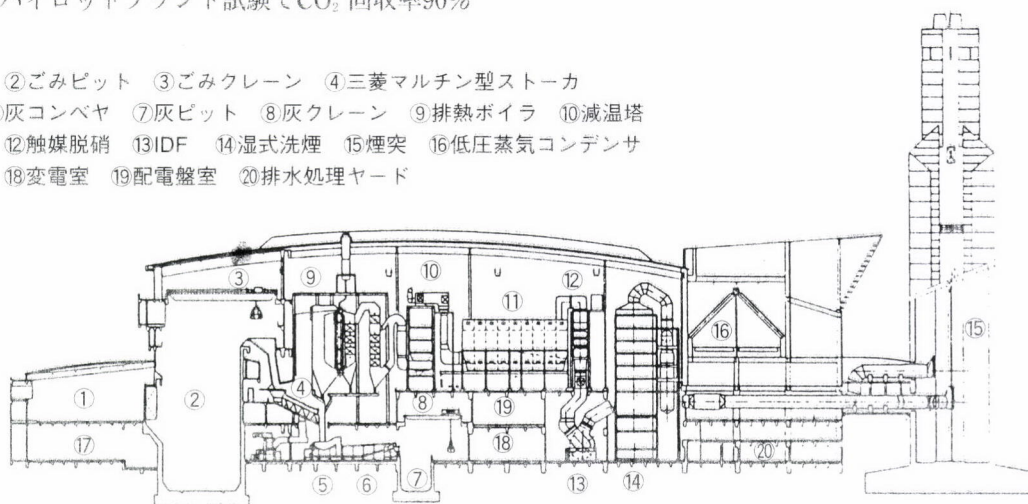


図9 ごみ焼却プラント

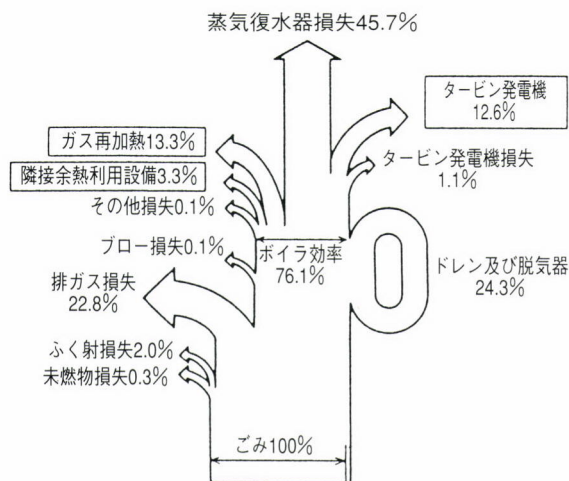


図10 熱収支

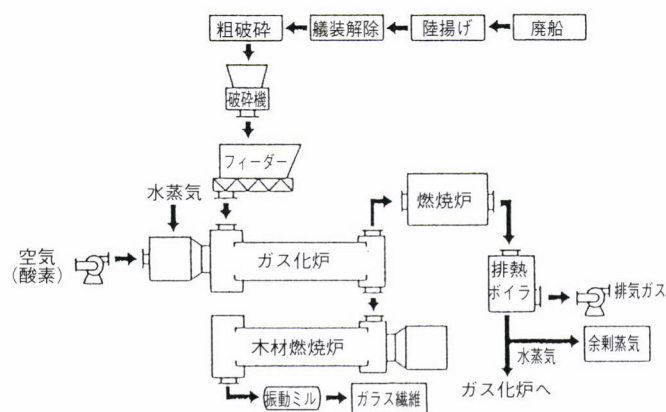


図11 FRP廃船ガス化プロセス

以上の結果が得られている⁹⁾。

CO₂の分離・回収と並行して回収したCO₂を再び大気に戻さないための、大量のCO₂を地中または海洋に隔離する技術の開発が国内外で検討されている。

図8は深海への送り込みシステムの概念であり、送り込み後のCO₂挙動等の研究がなされている⁷⁾。

また、CO₂固定化技術として、微細藻類の光合成機能を利用する方法も研究されている⁸⁾。

2.4 ごみ焼却

都市ごみ焼却プラントに求められる機能は、従来の単にごみを効率良く焼却処理するだけでなく、周辺環境との調和を考慮した建築デザインを有し、ダイオキシンをはじめとする各種有害物質の抑制処理、高効率エネルギー回収を可能とする等、非常に多様化している。図9に横浜市環境事業局向けのごみ焼却プラントを示す。1炉当りのごみ焼却能力が400t/dの3基で構成され、1日最大1200tのごみ焼却処理、並びに22000kWの発電能力を有する⁹⁾。

都市ごみからのエネルギーを排熱ボイラにより蒸気として回収し、隣接する余熱利用設備へ供給するとともに、煙突からの白煙防止のための排ガス再加熱源として使用する。

また、22000kWの発電システムが採用され、場内消費電力を除いた14000kWを東京電力等へ逆送電するなど、外部でも有効利用される。プラント全体の熱利用状況を図10に示す。

また、ごみにCaを添加、ペレット化したRDF(Refuse Derived Fuel)の燃焼発電や従来のごみ焼却炉にガスタービンを付設し発電効率を上げるスーパーごみ発電も開発中である。

2.5 廃プラスチックのガス化

廃プラスチックの処理及びフューエルリサイクルの手段としてガス化がある。図11はFRP廃船を対象とした処理システムで、蒸気とガラス繊維が回収される。長崎県で実証プラントが稼働中である¹⁰⁾。

また、都市ごみ中の廃プラスチックを水蒸気、酸素の共存下でガス化、CO、H₂に転換し、それからメタノールを合成するプロセスが開発中であり、図12に示す2t/dの実証プラントの試験中である¹¹⁾。

3 エネルギー関連設備

3.1 省エネルギー製鉄プロセス

製鉄—製鋼—圧延工程に至る製鉄プロセスにおける省エ

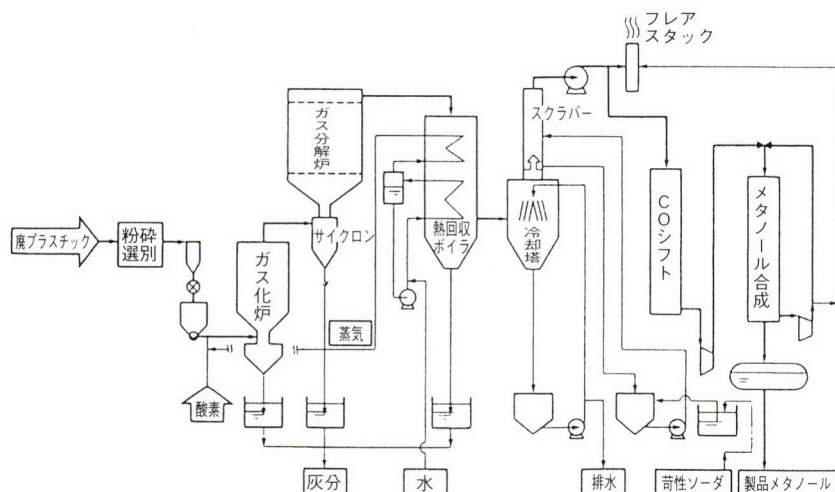


図12 廃プラスチックのガス化メタノール変換プロセスフロー

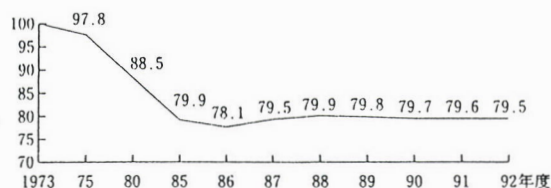


図13 粗鋼トン当りエネルギー消費原単位推移（1973年基準）

表1 高付加価値化による増エネルギー量

	増エネルギー要因	増エネルギー量		
		Mcal/t粗鋼	Mcal/t製品	×10^6Kcal/年
製鋼	高純度化	58.0	58.0	4,470
冷延・ 表面処理	軽量化	9.4	28.4	720
	★表面処理鋼板	93.9	560.0	7,230
厚板	★高張力化鋼	6.6	54.0	510
形鋼	★外形一定H形鋼	0.2	30.0	18
線材	★熱処理比率材	0.5	22.0	40
鋼管	形状高精度化等	9.6	160.0	740
	★継ぎ目無鋼管	8.4	860.0	650
電磁鋼板	★電磁鋼板	21.2	1,108.8	1,630
ステンレス	★オーステナイト・フェライト	4.8	140.0	370

注：★品種構成の変化

エネルギープロセスは熱の有効利用と設備の低減に他ならない。図13¹²⁾に粗鋼トン当りのエネルギー消費原単位の推移を示した。第1次石油危機以降1986年までに操業改善、エネルギー回収等の施策により約20%の省エネルギーを達成できたが、それ以降今日まで、これ以上の省エネルギー化が進んでいないことから大幅なプロセス変革は行われていないのが現状である。

最近の製鉄メーカにおいては鉄鋼材料の高級化、多品種化により表1¹³⁾のようにむしろエネルギー増となる傾向にあり、よりいっそうの省エネルギープロセスの開発が求められてきている。コールドコイルまでの製鉄プロセスを図14に示す。

省エネルギー化は、後述の廃熱回収技術の向上とともに、生産管理技術の向上としての冷間スラブを温間スラブ（①

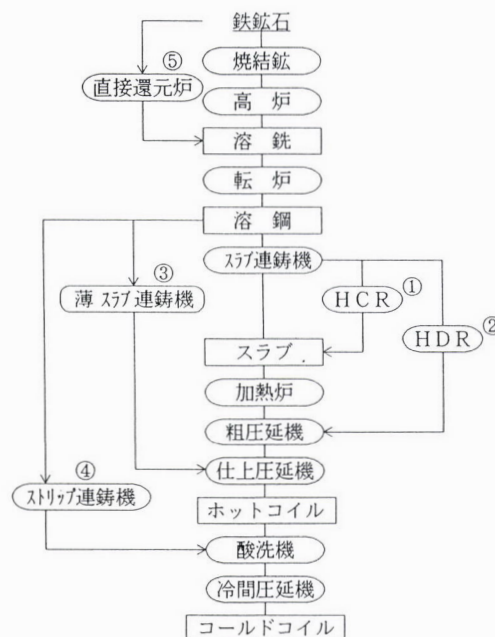


図14 圧延材までのプロセス流れ

HCR : Hot Charge Rolling) へ、さらに熱間スラブ（②HDR : Hot Direct Rolling) へと連続機スラブの熱を有効に利用することから始まった。しかし、よりいっそうの省エネルギー化を図るためには粗圧延工程を省く③薄スラブ連続^{14,15)}や、熱間圧延工程全てを省く④ストリップ連続^{16,17)}の開発が行われ、ストリップ連続^{16,17)}については装置の製作精度や制御性能の向上が図られ1997年実機稼働が予定¹⁸⁾されるまでに至っている。その設備概要を図15¹⁹⁾に示す。この設備を使用すると、連続機のなかで4工程を一挙に消化することとなり、環境改善とともに大幅な工数省略と省エネルギー効果が生まれる。

製鉄プロセスの省エネルギー化は、下流のプロセスの連続化から始まり、製鋼・圧延を一体化するように上流へと

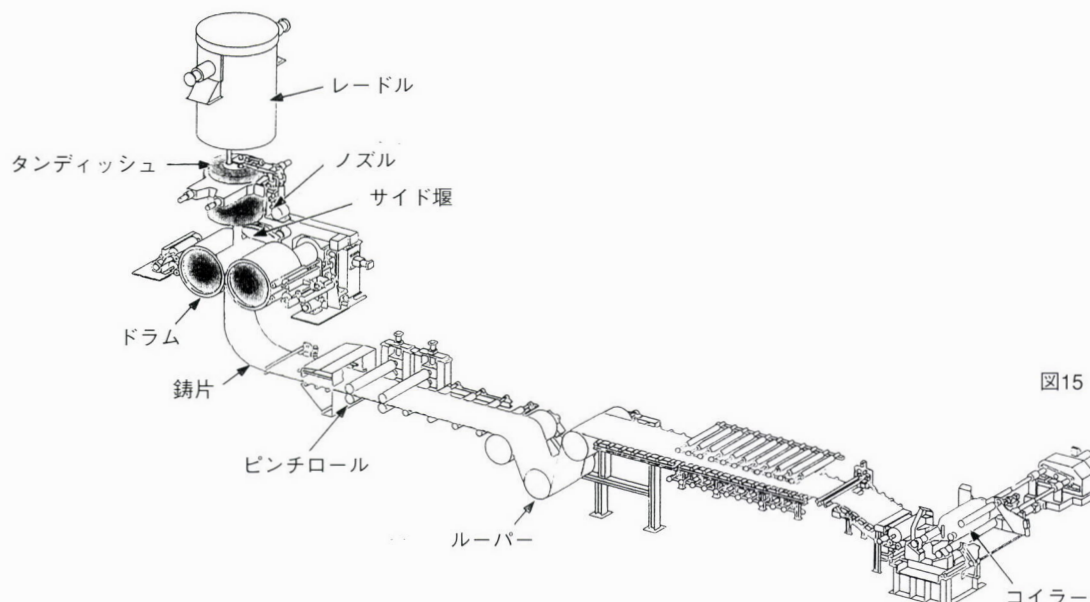


図15 実機化決定のストリップ連続設備鳥瞰図

表2 溶銑を得るまでのエクセルギー解析例

(MJ/thm)

高炉法			溶融還元法				
	流入熱	放出熱	正味熱ロス		流入熱	放出熱	正味熱ロス
高炉	17054	15175	1879 (20.8%)	予備処理	42	0	42 (0.5%)
コークス炉	22657	18580	4077 (45.1%)	生石灰製造	362	172	190 (2.2%)
熱風炉	1983	1276	707 (7.8%)	ロータリーキルン	1945	468	1477 (17.3%)
焼結機	3014	764	2250 (24.9%)	シャフト炉	20393	20092	301 (3.5%)
ロータリーキルン	138	33	105 (1.2%)	酸素製造	2971	632	2339 (27.4%)
非焼成ペレット	190	170	20 (0.2%)	ガス冷却改質	21125	20389	736 (8.6%)
				溶融還元炉	23678	20314	3364 (39.4%)
合計	45036	35998	9038 (100%)	合計	70516	62067	8449 (100%)

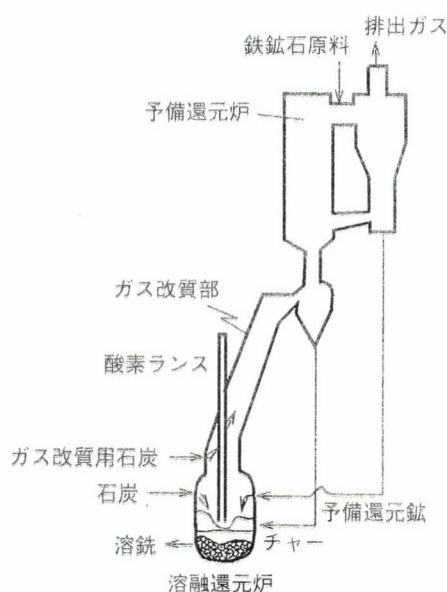


図16 溶融還元製鉄プラント(DIOS:Direct Iron Ore Smelting reduction)の概念図

移ってきている。特に高炉法を基本とする製鉄プロセス全エネルギーの1/2以上²⁰⁾を占める製銑分野は今後の省エネルギー設備開発の対象と言える。このため高炉法では、PCI(Pulverized Cool Injection)技術²¹⁾の導入による省エネルギーと環境改善が図られている。従来の高炉法と直接還元法のエクセルギーロス解析も行われ、表2²²⁾のように高炉法より直接還元法は省エネルギー化が期待されている。このため、国家プロジェクトでも図16²³⁾の環境にも配慮した溶融還元製鉄法の開発が進められている。

製鉄プロセス革新技術設備の開発は、従来設備の削減と同時に省エネルギー化が図られるため、環境順応型製鉄プロセス(エコ製鉄)を念頭に置きながら、今後とも間断なく進められるであろう。

3.2 廃熱回収

48年の第1次石油危機を契機に、各製鉄所では、エネルギー消費の節減と排エネルギーの回収を積極的に推進し、図13に示した様な省エネルギー化を達成している。製鉄所に設置されている生産設備は多岐にわたっており、これら諸設備から排出される排エネルギーは、その温度レベルが

数十度の冷却水から千数百度の高炉、転炉スラグまで非常に広範囲に広がっているうえ、排出の形態も冷却水顕熱、製品半製品顕熱、燃焼排ガス及び副生ガスの顕熱(圧力も含む)、それに高炉、転炉スラグなど高温溶融物体顕熱に及ぶなど多種多様である。したがって、これら排エネルギーを有効に回収するためには、熱源に適した廃熱回収設備が必要となってくる。

その代表例として、コークスの乾式消火設備(CDQ)とその循環ガス熱回収ボイラ、焼結鉄の顕熱回収による熱水タービン発電システム、転炉スラグ風砕及び顕熱回収装置、あるいは溶融塩による熱延鋼材顕熱回収装置などがある。製鉄所主要設備から排出される廃熱の状態と、それに適用される熱回収技術を表3に示す。

表に示す設備のうち代表的なものについて、以下に述べる。

3.2.1 焼結設備

第1次石油危機以来、エネルギー価格の高騰により焼結工程においても省エネルギー技術の開発に力が注がれた。焼結機クーラの廃熱を低圧の熱水として回収し、熱水タービンにより発電する廃熱回収技術が実用化されている。また焼結機本体の排ガス中の顕熱を回収する技術も開発されている。更にグレートバー及びパレットフレームの加熱に費やされた熱はリターン側で大気に散逸していたが、この熱を回収し、焼結反応に利用することを目的とした通風切替式焼結機²⁴⁾が開発されている。焼結終期に通風方向を下向きから上向きに切替え、パレットフレーム及びグレートバーの熱によって

表3 製鉄所における生産設備と廃熱の種類及び熱回収設備

熱設備	製品または固体(C°)	溶融物体(C°)	排ガス(C°)	熱回収適用技術
焼結機	500~600	-	300~350	排熱ボイラ
焼結機クーラ	-	-	200~450	排熱ボイラ 排熱回収熱水タービン発電装置 有機媒体発電システム(ORC)
コークス製造炉及び冷却装置	900~1200	-	800~950	CDQ循環ガス熱回収ボイラ
高炉	-	銑鉄1300	120~140	炉頂圧回収タービン
高炉用熱風炉	-	溶さい1300	200~250	高炉ガスタービンコンバインドプラント
転炉	-	溶鋼1300	1000~1300	スラグ顕熱回収ボイラ 空気予熱装置 転炉ガス排熱ボイラ
加熱炉	1100~1200	溶さい1300	550~700	OG冷却水熱回収発電装置(ORC)
均熱炉	-	-	-	スラグ顕熱回収ボイラ 熱延鋼材(線材)顕熱回収ボイラ 排熱ボイラ

冷風を予熱し、この予熱空気を焼結前半部に導き焼結反応に寄与する方法である。図17にその概要を示す。

3.2.2 コークス乾式消火設備 (CDQ)

製鉄は多エネルギー消費型反応の代表的産業である。廃熱回収を考える場合、廃熱の温度レベルが高くしかも熱量が多ければ、より経済的な回収利用が可能である。コークス炉から排出される消火後約200℃まで冷却されたコークスは排鉱部でグレート上から排出される。

本CDQの特徴は移動グレート上でコークスとガスの熱交換を行わせる固定床プロセスにある。グレート面積が自由に取れる利点から、コークス層厚を薄くでき、冷却むらが少なくなる。固定床ではコークス自身は全く動かないので、粉化が少なく、歩溜りが向上する。また、鋳物用コークスのように、多銘柄のコークスを処理する場合、各銘柄の混合を防止できる利点がある。サーキュラグレート式CDQシステム³⁰⁾を図18に示す。

本CDQに利用されているサーキュラグレートは、コークスの冷却のみならず、固体一般の反応及び熱交換装置として幅広く活用可能な装置である。

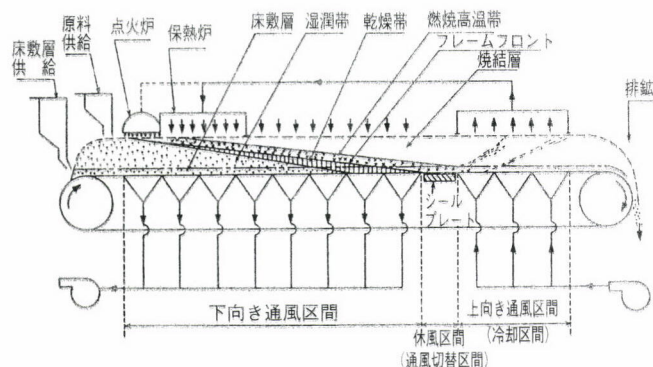


図17 通風切替式焼結法の概要

3.2.3 発電設備

高効率化ニーズに対する一つの動きとして、高炉ガス焚ガスタービン発電設備がある。高炉ガスは低カロリーであるため、標準形ガスタービンをそのまま適用できず我が国では余り顧みられなかったが、低カロリー燃料の有効利用の観点から、33年に我が国初の高炉ガス焚800kWガスタービンが実用化された。更に40年には本格的実用機として17000kWガスタービンが完成した。その後、57年には高効率高炉ガス焚ガスタービン (16MW) が完成した。この設備は、世界でも初めてのタービン入口温度1000℃を超える高炉ガス焚きガスタービンとして注目を集めたものである。図19にコンバインド発電設備新設による効果の一例²⁵⁾を示す。

3.2.4 転炉スラグ風碎システム

製鉄所で発生するスラグの代表的なものとして、製鉄工程から排出される高炉スラグ、製鋼工程から排出される転炉スラグがある。いずれのスラグも1400～1600℃と高温で、その顕熱の回収は製鋼業の省エネルギー対策の中で残された最大のテーマとなっているが、再資源化との両立が難しかったこともあり、従来は専ら、スラグの再資源化が優先されていた。特に転炉スラグは、風化崩壊しやすい性質の

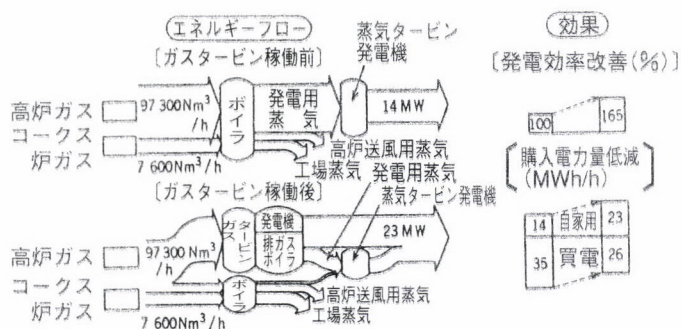


図19 コンバインド発電設備新設による効果

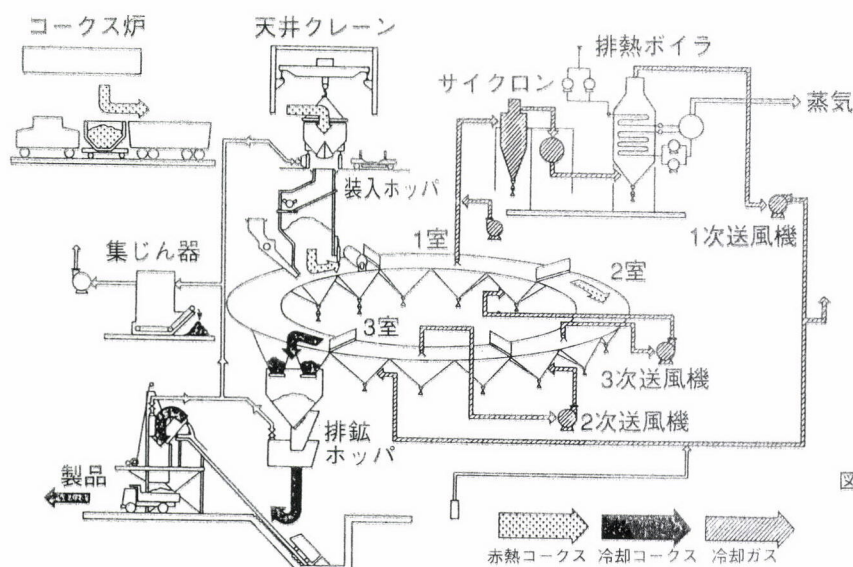


図18 サーキュラグレート式CDQシステムの構成

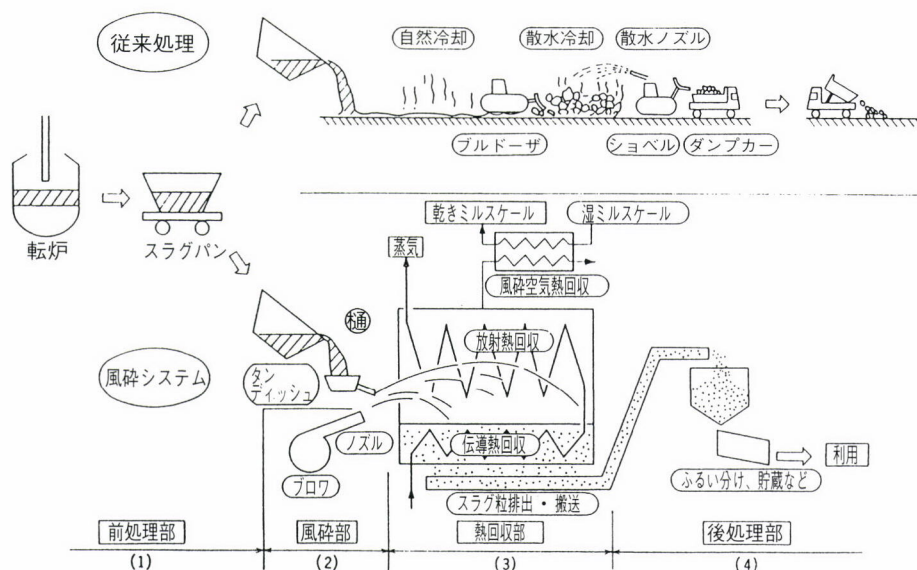


図20 転炉スラグの従来处理方法と風砕システムの流れ

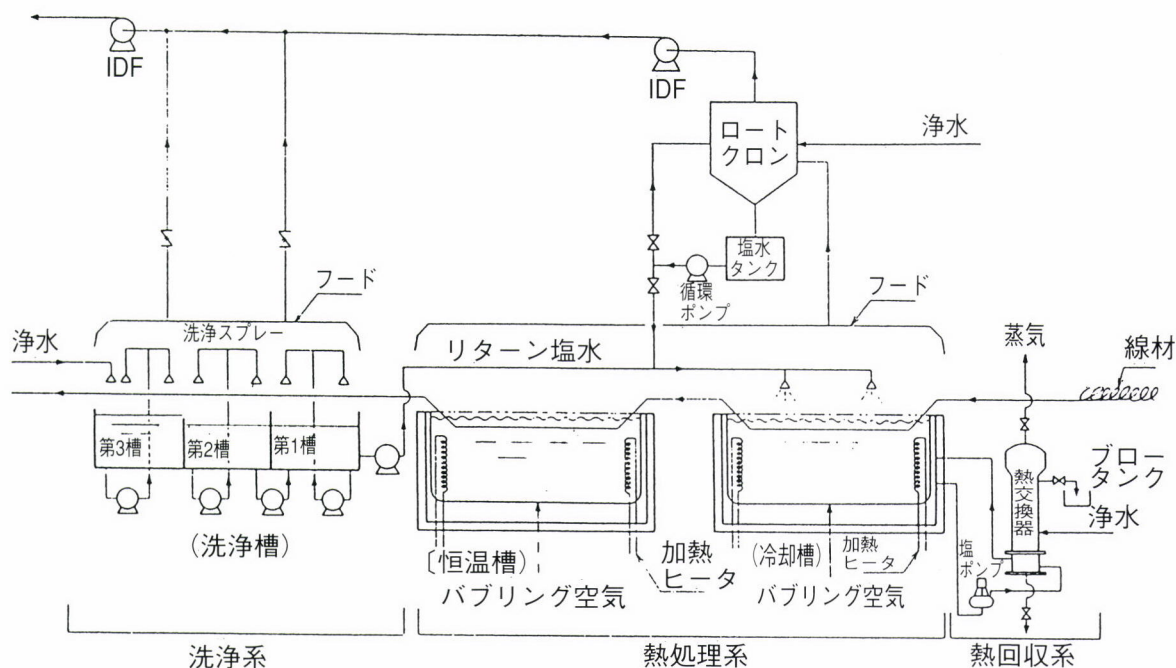


図21 線材オンラインパテンティング装置フロー

ために再資源化が阻害され、そのほとんどは徐冷固化し、ブルドーザ等で破碎されたのち埋立て投棄されていた。このような背景の下に、転炉スラグを風砕し、熱回収する新処理技術の開発が進められ、56年に月間スラグ処理能力20,000トンのプラントが完成した。

このプラントのシステムフローは図20に示すとおりで、風砕されたスラグ粒を回収するフードをボイラチューブで構成し、飛しょう中のスラグ粒からの放射熱回収を行い、その下部に飛しょう後のスラグを滞留させる部分を設け、ここにフィン付きチューブを配置し、高温スラグ粒との直接接触により伝導熱回収を行わせる方式としたのが、熱回収用ボイラの大きな特徴である²⁴⁾。

3.2.5 高炭素鋼線材のオンラインパテンティング

高炭素鋼線材のオンラインパテンティング装置のフローを図21に示す。従来は、オフラインでいったん冷却された線材を再加熱して鉛浴中で急冷、保持するが一般的方法であった。図21の方法は、熱間圧延直後の赤熱線材の保有熱を利用して、オンラインでのパテンティングするものである。

熱間圧延直後の線材を保持炉でいったん温度保持し、冷却槽で所定の温度まで急冷後、この温度とほぼ等しい恒温槽で温度保持し、熱処理の終わった線材を洗浄槽で水洗し、塩除去するものである。恒温槽における保持温度が高い場合には、恒温槽と洗浄槽の間に第2の熱回収槽を入れることも可能である。本装置²⁶⁾は処理量が60t/hと小規模であ

るため、熱回収効率が若干低いものの、800℃から550℃までの鋼材保有熱 $4 \times 10^6 \text{kcal/h}$ の78%を回収し、プロセス蒸気として実用に供している。

この装置の熱回収系は、蒸気発生器が別置となっており、冷却槽との間に溶融塩ポンプを置き、溶融塩を90t/h程度循環している。また、冷却槽及び恒温槽は溶融塩と線材の熱伝達率を高めるため、前述の空気気泡による攪拌を行っており、1200～1400kcal/m²・h・℃程度の熱伝達率を得ている。

4 おわりに

2010年までに日本を除く東アジア7ヶ国（中国、インドネシア、マレーシア、フィリッピン、韓国、台湾、タイ）だけで約2兆7000億kWhの電力エネルギー需要増が予測されている。

現在、日本国内のエネルギー需要は約7500億kWhであり、東アジアだけで日本の約3倍強の需要増となる。

また、セメント、鉄鋼、化学製品など基盤材料の生産増強が進み、日本と同様の環境問題が顕在化することが懸念される。

幸い、日本では戦後の急成長期にエネルギー需要増と産業廃棄物増に伴う環境問題を経験し、世界に先駆けて排煙、排ガス、排水処理など、いろいろな環境維持のための技術や設備を研究開発してきた。

また、第1次、第2次石油ショックの経験により、省エネルギーと省エネルギー製造プロセスの大切さを実感し、これらの技術を開発実用化して来た経験をもっている。

さらに、現在、膨大な都市ゴミ処理の問題やCO₂対策、フロン対策などにも取組んでいる。

これらの経験を通して得られた貴重な知識と、蓄積された独自の技術は、日本固有の特色技術として今後世界各国のエネルギーと環境問題に対して役立て得るものと考ええる。

引用文献

- 1) 鶴川直彦, 高品徹, 沖野進, 木村和明, 岩下浩一郎:
三菱重工技報, Vol.32, No.5(1995), p.318
- 2) 藤島英勝, 清水拓, 土屋喜重, 西田定二, 田中雅: 同上,
Vol.31, No.4(1994), p.247
- 3) 鶴川直彦, 中村積, 小竹進一郎, 山本文明, 坪内貞夫,
三輪田達典: 同上, Vol.30, No.3(1993), p.264
- 4) 飯田耕三: 触媒, Vol.35, No.5(1993), p.273

- 5) 縄田秀夫, 飯嶋正樹, 泉順, 松本曠世, 光岡薫明:
三菱重工技報, Vol.29, No.4(1992), p.296
- 6) 尾崎雅彦, 藤岡祐一, 竹内和久, 園田圭介, Gilbert R. Stegen:
同上, Vol.31, No.4(1994), p.262
- 7) 根来正明, 塩地則夫, 金子雅人, 生田義明, 福田義則,
牧田武紀, 平山孝平, 松崎裕之: 同上, Vol.29, No.4(1992), p.304
- 8) 吉良雅治, 高橋和義, 石井清治, 魚屋和夫: 同上, Vol.31,
No.4(1994), p.255
- 9) 魚屋和夫, 西川進, 川原雄三, 徳田君代, 高塚汎, 伊部治重:
同上, Vol.32, No.5(1995), p.300
- 10) KAZI, No.10, p.122 (1995)
- 11) 橋本律夫, 金子雅人, 福島丈雄, 伊藤義文, 坂井正康,
河野眞司, 島田裕: 三菱重工技報, Vol.32, No.5(1995),
p.306
- 12) 大関彰一郎: 鉄鋼界, 9(1995), p.9
- 13) 篠原慶章: 同上, p.40
- 14) 樫尾茂樹, 岡田力美, 片平圭一, 大野剛正, 山本利樹,
長田修次, 米田順吉, 平田耕一: 材料とプロセス, 7(1994),
p.1187
- 15) G.Flemming, F.Hofmann, W.Rohde, D.Rosenthal:
Stahl u. Eisen, 113(1993), p.37
- 16) K.Yanagi, K.Yamamoto, H.Takatani, K.Sasaki,
Y.Wakiyama, H.Takeuchi, H.Nakashima, S.Tanaka,
M.Yamada, Y.Yamakami: 2nd European Continuous
Casting Conference Proceedings, (1994), p.423
- 17) 佐々木均, 中谷孝司, 天野景博, 峠竹弥, 丸山哲男,
松井正之: 材料とプロセス, 6(1993), p.1139
- 18) たとえば日本経済新聞, 1/24/1996
- 19) 新日鐵(株)私信
- 20) Yin RuiYu: 鉄鋼界, 3(1994), p.43
- 21) 小指軍夫: 鉄と鋼, 4(1995), p.271
- 22) 八木順一郎: 第146・147回西山記念技術講座, 日本鉄鋼協
会, (1993), p.289
- 23) 徳田昌則: 金属, 1(1991), p.8
- 24) 古屋慎一: 三菱重工技報, Vol.21, No.6(1984), p.5
- 25) 森義孝, 皆沢勝司, 三賢憲治, 沖汐正悦, 室野光男,
福江一郎: 同上, Vol.21, No.6(1984), p.34
- 26) 柳 謙一, 三原一正, 瀬々新二, 花咲幹: 同上, Vol.21,
No.3(1984), p.1

(1996年4月24日受付)

地球環境特集 特集記事3

LCAの現状と課題

原田幸明

Kohmei Halada

金属材料技術研究所 エコマテリアルチームリーダー

Current Stage of Life Cycle Assessment

1 はじめに

製品や材料の環境負荷を評価する適切な方法としてLCAが注目されている。LCAはエネルギー分析を技術的背景に持ちながら1960年代の末期に飲料容器の環境影響評価方法として誕生したが、現在は広範な製品などの環境負荷を科学的に評価する方法として定着してきつつあり、ISO14000番台として国際標準化の作業が進められている。ISOでの検討の詳細は他にゆずるとして、ここでは、LCAの概略、方法論上の課題と到達点を述べ、さらに材料への適用の可能性について言及してみたい。

2 LCAの概要

LCAとは、一口で言えば、ある製品について、そのライフサイクルの始めから終わりまで（原料の取得から製造、加工、運搬、使用、再生、廃棄、処理・処分にいたる一生）の間に発生する環境への負荷（資源・エネルギー消費量、固形廃棄物発生量、大気汚染物質排出量、水質汚濁物質排出量など）を定量的に調査・分析し評価する方法である。従来の環境負荷分析では、ある製品の使用時なら使用時、廃棄時なら廃棄時のみと限定した条件での負荷が議論されていたのに対し、ある製品なら製品の係っている総ての負荷を考慮して評価しようとするものであり、まさに、現在の広範に広がった環境問題に対応しうる評価方法である。LCAを概念的に示したものが図1であり、その目的と対象を設定するgoal definitionと、インベントリー(Inventory)、インパクト分析(Impact Analysis)、解釈(Interpretation)の3つのフェイズにより構成される。

2.1 Inventory

Inventoryでは、製品が原料から製造・加工され輸送・頒布されて使用・メンテ・再使用され、リサイクルもしくは廃棄されるまでのシステムのフローを明らかにし、それぞれの要素工程での、エネルギー・資源消費量、大気汚染物

質排出量、水質汚濁物質排出量、固形廃棄物発生量などの環境負荷を調査する。図2にアルミニウム缶のInventoryの例¹⁾を示した。アルミニウムの直接的な原料であるアルミナやボーキサイトのみならず、岩塩や石灰石などもシステムの流れに入ってくるため調査の対象となる。もちろん製品や廃棄物の輸送も調査対象となっている。このInventory Dataは全ライフサイクルにわたって積算される。図3は図2のデータをもとにアルミニウム缶をリサイクルしないですべて処分した場合と75%がリサイクルされた場合のそれぞれの環境排出物の積算である。積算に当たっては、Inventoryでi工程でのj要素の環境負荷値を x_{ij} 、i工程の生産物が次工程に引き渡される量を m_i とすると、j要素の総環境負荷 X_j は、 $X_j = \sum x_{ij} \times m_i$ (1) で表される。図4のようにリサイクル等のループのある場合も同様であり、点線の中で

$$X_j = X_{j,A} \times m_A + X_{j,B} \times m_B + X_{j,C} \times m_C + X_{j,D} \times m_D + X_{j,E} \times m_E + X_{j,F} \times m_F + X_{j,H} \times m_H \text{ (2)}$$

のようになる。

2.2 Impact分析

こうして得られた値は各負荷要素毎に持っている数字の意味や重みが異なり、それだけでは比較や判断することはできない。Impact分析ではこれらの数値を解釈しやすいよ

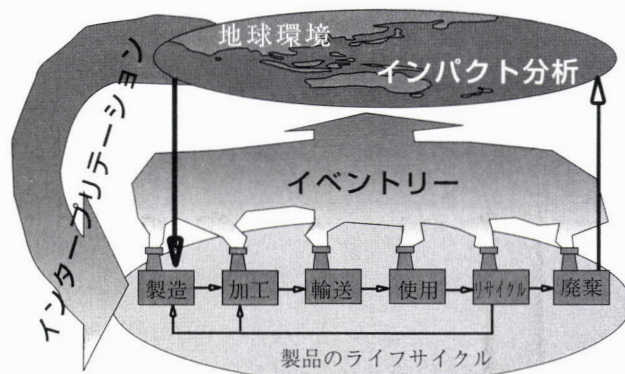


図1 LCAの3つのフェイズの概念図

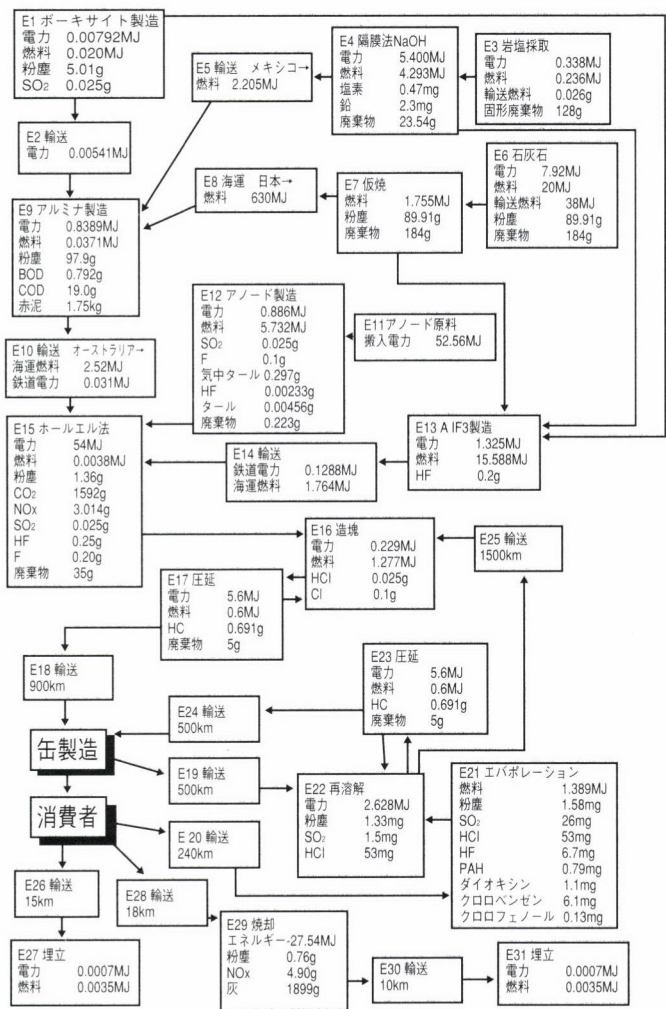


図2 アルミニウム缶のインベントリーツリーの例²⁰⁾

うに整理し、その影響を評価する。Impact分析の方法に関しては現在の時点では定式化されたものはなく、さまざまな評価方法が目的に応じて採用されている。

代表的な方法には、以下の3つがある。

- Classification (分類)：環境影響のカテゴリー毎に分類
- Characterization (特性分析)：物理学、化学、生物学、毒性学などの知見を活用してカテゴリー全体の影響を評価
- Normalization (重要度分析)：対象システムのもたらす影響が実際環境においてどの程度重要度を有するのかを分析

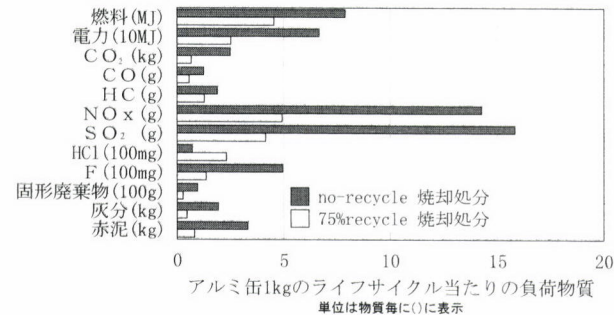


図3 アルミニウム缶のインベントリー積算の例

その中でもよく行われている方法がClassificationとCharacterizationの組み合わせである²⁾。この場合、環境負荷要素 X_k は「地球温暖化」「酸性雨」「オゾン層破壊」等のように影響項目 k 毎に分類され、それぞれの項目 k について各負荷要素毎に与えられた影響因子 $f_{k,j}$ を用いて、

$$k\text{項目の環境影響} = \sum X_j \times f_{k,j}$$

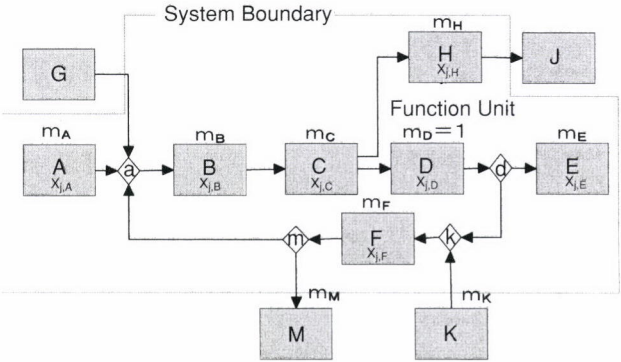


図4 インベントリーツリーの基本例
A,E,G,J,K,M : material, B,C,D,H,F : process, a,d,k,m : select, 点線で囲んだ部分：システム境界、Dの単位操作を規準値(=1)とすると、Dの単位操作(消費・使用も含む)の機能がFunction Unitになる。

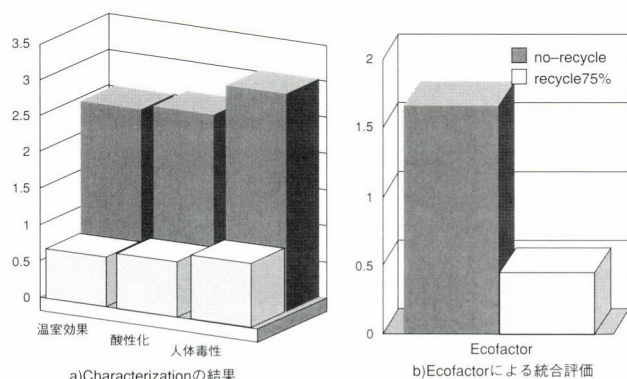


図5 環境影響評価・解釈の例
縦軸の数値は比較のための相対値

としてあらわされる。ここで、影響因子 f_{kj} があらかじめ定義されていなければならずガイドも検討されているが³⁾、現在では、国や研究者によっての任意性が大きい。

図5のa)は先の結果をCharacterizationして示したものである。Inventoryテーブルの段階(図3)ではリサイクルによりHClの増加が認められたが、Characterizationによって、温室効果、酸性化、人体毒性という点では共通に負荷要素全体での削減の影響が大きくHClの増加は無視できることがわかる。Normalizationは最近登場した概念であり、対象とする製品の生産や消費に伴う環境負荷がその地域での全排出量や環境容量に対してどのくらい影響するかを表現しようとするものである。手法的にはまだ未確立であるが、例えばアリゾナの砂漠でのSOxと新宿でのSOxをどのようにして比較するかなど工場立地による違い等を加味できる手法として期待できる。

2.3 Interpretation (解釈)

Interpretationでは、その名のとおりImpact分析の結果を解釈する。以前には、この段階はImprovement分析と呼ばれ、これらの結果を用い材料の選択や設計、運用の方法、輸送、廃棄の方法などの変更による環境負荷改善の方向を分析するとされていたが、システム境界以外の価値判断の領域が入ってくることを排除し、Inventory分析のみの結果も対象として、客観的な分析の解釈の方法を確立していく方向に変わってきている。具体的な方法はむしろこれからの課題となっているが、その方法として、Valuation(統合数値評価：各影響カテゴリーや負荷をランク付けもしくは加重付けすることによって影響全体を評価)がある。その中でも地理的境界内部(地球全体、地域、国など)の環境容量を用いて加重付けをするEcofactor法がしばしば用いられる。例えば、オランダ全土ならオランダ全土のj項目の環境容量を G_j 、現時点での対象領域の負荷量を g_j とすると、 $Ecofactor = \sum x_j \times (1/G_j) \times (g_j/G_j)$

となる。図5b)は、先の結果をオランダの環境容量データ⁴⁾をもとにEcofactorとして算定したものである。この場合一目で

リサイクルの効果が見て取れるようにEcofactorはLCAの結果を簡単に解りやすく表示するが、そのもととなる環境容量が日本や地球規模に対して求められていない等の問題が残っている。また、ValuationをImpact分析の一部ととらえる議論もあり、まだLCAの基本的枠組みに関する議論は山積している。

2.4 システム境界とGoal Definition

これらの3フェーズを実行する前提としてLCAの内容を決める最も重要な過程がGoal Definitionである。ここでは、評価・解析の対象を決め、比較する際の機能単位Function Unitと解析の対象とする領域の範囲System Boundaryを定める。Function Unitは、例えば飲料容器なら、「〇〇mlの××飲料を入れておく」機能というように定めるもので、比較対象の同一性を規定する。System Boundaryは比較の対象となるプロセスの領域や環境負荷項目の範囲である。LCAでは、これらは解析・評価の目的の違いで適当に設定することを許しているのが大きな特徴である。すなわち、LCAは手続きが存在しそれに従っていくことで解が得られる手順型の評価手法ではなく、目的に従属して手続きも変化するgoal-orientedの評価システムなのである。

3 環境パフォーマンス・ツールとしてのLCA

LCAは様々な環境負荷評価のなかでも製品の流れという動的な視点からの関連付けを行い、かつライフサイクル全体を範疇に置く、対象物指向の包括性の強い分析である。それゆえ、LCAは製品の製造・販売・消費を中心に動いている現代社会においては様々な利用方法が存在する。表1にLCAの用途を列挙した。

複数製品の比較は、包装材料の選択など古典的に用いられてきた⁵⁾用途であり、同一機能の製品をLCAで比較してより環境負荷の少ないものを選択しようというものである。使用・処理条件の比較は、製品や設備・システムの使用方法や、使用後のリサイクル方法などを比較する。先に紹介したアルミ缶の例は、リサイクルシステムの有無を比較した好例である。プロセス改善点の抽出は同一機能の複数対象の比較ではなく、ある製品に対する単一のプロセスをLCAで解析し環境負荷の比重の大きい部門を抽出する使い方である。これは、LCAのひとつの応用型といえる。製品改良効果の比較は、同一対象の改良前、改良後を比較するやり方であり、製品やプロセスの改良効果を定量的に把

表1 LCAの用途

・複数製品・プロセスの比較
・使用・処理条件の比較
・プロセス改善点の抽出
・製品改良効果の比較
・エコラベリング、グリーン調達の指標

握・表現する際に用いる。今後の活用の方向として注目されるのは、エコラベリングやグリーン調達への利用である。エコラベリングもISO14000シリーズの対象とされており、幾通りかの方法が検討されている⁶⁾が、そのなかのタイプⅢ（第三者認定による定量的ラベリング）ではLCAを用いる事も検討されている。また、製品やサービスの購入時に環境への負荷の少ないものを優先購入しようとするグリーン購入⁷⁾においても自発的なLCAの結果の表示が求められる方向に向かっている。

LCAは一見客観的な比較や絶対的規準を与える評価方法のように捉えられることが多い。しかし、先述したように、LCAはgoal-orientedな評価方法であり、絶対的な規準や指標を与えうる性格のものではない点に注意しておく必要がある。すなわち、LCAでは目的によってシステム境界も規準の取り方も異なっているため異なるLCA間の結果は比較不能であり、科学的に比較が可能となるのは同一の目的にそったLCAの手続きの中でしかありえないことを留意しておくべきである。このような限界性を持ちながらなぜLCAが広く使われるようになったのかという点が重要であり、それは、従来「環境にやさしい」と主観的にしか表現できなかった環境負荷低減の努力を定量的に表現できる手法だからである。

このようなLCAの性格を現時点で最も生かしている使い方は、「製品改良効果の比較」をより目的を鮮明にさせた「環境負荷低減努力の表現ツール」として用いることである。即ち、LCAによる比較や評価結果に基づき選択するのではなく、あらかじめ「環境負荷低減に貢献できる」と期待した製品の改善やプロセスの選択、システムの提案を、LCAによって定量的に裏付けするという使い方がそれである。例えば、白紙の状態で車のバンパーについて複合材料と亜鉛メッキ鋼板を比較するのではなく、それなりに選択の方向があり、それをLCAで環境負荷の面からバックアップするというやり方である。この場合には何をどこで比較するかが明確でありgoal-orientedのLCAの性格と合致している。今や、この方法は、製品や部品の選択のみでなく、廃棄物処理プラントの提案や電気自動車開発への国家的資金補助に対する議論などの政策規模でも見られるようになっており、サービスやマネジメントにLCAを拡張しようとの動きとあいまって、今後ますます多用されるようになってくるものと思われる。

もちろんこの場合には「LCAで評価したから正しい」ということは許されず、LCAの内容が他の選択に基づくLCAと競われてその適切さを問うかたちで議論が深化され、それによって初めて選択の正当性が認められることになる。日本ではまだこのような競合関係のLCAは行われていないが、欧米でLCAが多用されている背景には、このようなパフォーマンス性に富むツールであることがあることに注意

を払っておく必要がある。

4 LCA methodologyの未解決点

ISOで国際標準化の検討が進んでいるが、それはあくまで手続論的な標準化であり、評価手法としてのLCAにはまだ発展途上の課題が残っている。そのなかの大きなものは、1)Impact分析方法、2)Inventory tree表記法、3)リサイクルの取り扱い、4)Allocation、5)Data Qualityの各問題である。Impact分析については、前に簡単に触れたので、ここでは、主としてInventoryに係る後の4者について述べる。

4.1 Inventory Treeの表記法

Inventory Treeの表記法の問題とは、図4のようなInventoryの記述において基本となる共通の表現様式が無いことである。この問題はあまり明確に意識されず単に統一表記のない不便さとして扱われていることが多い。しかし、実はシステム境界や後に述べるAllocation問題などを適確に表記すべき手続きであり、システムの捉え方の本質に係る。一般に、化学プロセス工学的手法がこれまでInventory分析の中心となっていたため、類似した表現方法が採られることが多い。節点をProcess、Material、Select、Branchの要素に類別しこれら要素の操作量とマテリアルバランスでフロー量とシステムを記述する提案⁸⁾も基本的にはこの枠内である。

しかし、LCAで対象とするシステムの場合は、このような量の引渡しよりも質の引渡しがサブプロセス間で行われることが多い。例えば、1tの溶銑が粗鋼となり圧延され薄板となってメッキ鋼板へと処理されていく場合、分留りなどの量的な変化よりも材質や形状などの質的転換が問題である。この質的転換に注目した新たなプロセス記述手法の確立が望まれる。

4.2 リサイクルの問題

LCAではよくリサイクル性を評価することが期待される。しかし、現在のLCAでは同一製品にリサイクルシステムを導入することのメリット、もしくは、同一機能の製品をリサイクル型に転換することのメリットは表現しうるが、ある材料や製品がリサイクル性に富むか否かを判定することはできない。

このことは、LCAの分野で「Closed-loop Recycleは容易に取り扱えるがOpen-loop RecycleではAllocationの問題が生じる」と表現されていることと同一である。ここでclosed-loopとは図4でM,Kを除外しFのみで総てシステム境界内部で循環する場合であり、Open-loopとはMのようにシステム外部に取り出されてカスケード利用や転用のある場合を指す。システム内部に総て含まれるclosedの場合問

題無いことは自明であるが、openの場合は系外との量的および質的なやり取りが問題となる。リサイクル性はこのリサイクルに伴い系外部に持ち出さるもの(M)、および系外部から補給せざるを得ないもの(K)のフローをこそ問題とするのであり、そこをAllocation問題等として解析者が自己定義するのでは自己撞着に陥ってしまう。リサイクルを議論する場合には、あくまでカスケードリサイクルがある場合も含めてシステム境界内部に解析対象を入れる必要がある。具体的には、先述したリサイクル型の転換の解析等では、リサイクルを行わない場合にリサイクル時と同等の二次製品をバージンプロセスで作出すシステムも境界内部に置いて比較を行う⁹⁾等の手法が取られている。一方で、LCAにたよらずリサイクル性を二次地金等の製造で与えられる属性として定義しようとする試み^{10,11)}もある。リサイクル性の考え方は、今後、材料工学の技術者や研究者の積極的な参入が期待されている分野でもある。

リサイクルに関してはもう一つ、“再生アルミのパラドックス”とでも呼ぶべき問題がある。水力を電力源として製錬したアルミニウムを使い捨てて埋め立てる場合と再溶解して使用する場合を比較すると、現在のLCAではリサイクルすればするほど環境負荷は増加してしまう結果になる。これは、水力発電の場合の環境負荷および埋め立ての環境負荷を見積もり評価する方法が確立しておらず、一方で再溶解プロセスの環境負荷は容易に見積もられること、すなわち負荷の数値化の難易度に起因している。リサイクルは、製造や廃棄にともなうある種の環境負荷を別種の環境負荷に変えるシステムとも言えるから、異種の負荷要因間の統合評価が組み込まれていく必要がある。

4.3 Allocation(負荷の配分)の問題

Allocation問題とは図4のCのようにあるプロセスが二つ以上の生産物を提供する場合に負荷をいかに割り振るかということである。このAllocation問題は特に工学系の技術者がLCAの科学性に疑問を呈する部分でもある。LCAでは一般的に負荷のAllocationは、

- 1)生産物間の価値が大きく異なる場合には、価格で比例配分…ダイヤモンドと土砂etc.
- 2)類似した価値の場合は、生産量で比例配分…原油の分留etc.
- 3)一方が発生物等の二次利用の場合は、主産物に総て配分…牛乳と糞etc.

などの方法がとられている。経済変動の影響を受ける1)は言うまでもなく、2),3)の考え方でも方法やプロセスの分割の方法で大きく異なり、場合によっては環境負荷の値が100倍も異なるケースも試算されている¹²⁾。分配そのものの問題の中には、a)要素プロセスの理解が不十分で分割可能

表2 定性的DQI (Data Quality Indicator)

● Applicability/Suitability/Compatibility :	データタイプ、取得時期、使用されている技術に関するクオリティ
● Accessibility :	秘密保護方法、保管方法
● Consistency :	LCAの方法との一致性、プロセス構成との一致
● Comparability :	異種ソースからのデータとの共用性
● Representativeness :	データの代表性
● Reproducibility :	他研究者による再現性
● Stability :	首尾一貫性、時間的再現性
● Transparency :	オリジナルへの遡及可能

なものやデータを一つで扱ったことに起因するものも多いが、b)道路や運河、集中廃水処理のような共用の施設・プロセスの建設や運用にかかわる負荷、c)電気分解の両極での生成物などの分離プロセスなど、アプリオリに分配基準を定義せざるを得ないものも存在しており、LCAの実行に当たっては各プロセスでのAllocationの方法を明確に提示しておくことが、現時点では科学性を保証する唯一の方法である。

4.4 Data Qualityの問題

最近注目されている問題にData Qualityの問題がある。かつてはLCAの基となるInventoryデータは解析者が聞き取り調査などで集めていたが、現在のようにLCAが普及し対象も多様かつ複雑になるにつれて、手工業的なデータの取得では間に合わず、データベースなど様々なかたちで散在している精度やレベルの異なるデータを用いざるを得なくなったことにより、問題意識が強くもたれるようになってきた。データの信頼区間や分散などの定量的な指標はもちろん、表2に例示したような定性的な指標(Data Quality Indicator)が提案されている。しかし、これらをどのように表現してLCAの解析自体の信頼性を表現するかに関しては検討が始まったばかりであり、Inventoryデータの標準的な表記方法にDQIの項を設けて第三者の判断のための情報として整理する¹³⁾という段階であり、方法論として組み込まれるに至っていない。

定量的なData Qualityの例として、図6に伸銅の工程からの水質汚濁物質としてCuおよびZnの生産当たりの排出量の例¹⁴⁾を示した。表だけからは数値的に大きなひらきがあ

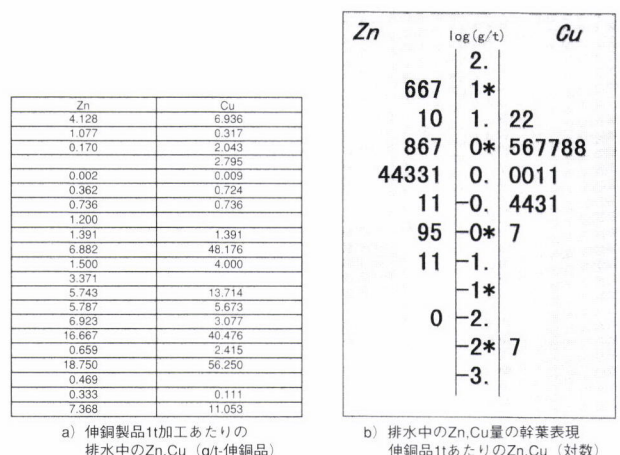


図6 工場の違いによる水質データの分布例

り代表値の取り方に困る。これを対数で表現しさらに幹葉表現¹⁵⁾を用いる事により図のように表され、こうして得られるならかな分布から近似的に対数正規分布の平均値(Zn:2.58g/t, Cu:1.42g/t)を代表値とすることができる。また、その分布の標準偏差を用いれば、信頼性区間も表現可能となり、例えば対数正規分布で85%の信頼区間の値を「上方推定値」としてZn:21.9g/t, Cu:10.7g/tのように併記することにより定量的なData Quality表現にすることもできる。

5 データベースとLCAの改良

LCAは以上のような方法論上の問題に加えて、LCAの実施の際に、1)全領域に渡るプロセスの全体に関する総合的知識の必要性、2)システム全体を貫くデータの扱いや負荷項目に関する一貫性、3)集約し積算する手続きの煩雑さ、4)プロセスの欠落や材料などの識別性の問題など、多くの実施上の問題点が存在している。それらに対して、方法の改良やデータベースの整備が進んできている。

方法的アプローチのひとつは、産業連関表（産業構造の関係をとり引き統計で数値的に表した表）を用いる方法である¹⁶⁾。しかし、現在の産業連関表は、金銭の流れに基づくものであり、これをLCAに用いられるような物流に基づく資源連関表へとする提案もある。問題をInventoryの積み上げを優先した演繹型の方法論の問題に原因をもとめ、逆に環境影響評価を優先させようとする試みもある。Impact指向Inventory¹⁷⁾とでも呼ばれるべきもので、環境影響評価の視点のリストアップ、環境Impact項目の抽出、Inventory分析のフレームの検討、特性分析のフレームの検討、評価フレームの検討という手順ですすめInventoryのデータ収集を環境影響評価に意味のあるものを集中的に行なおうとするものであり、効率的なLCAの実施方法として注目される。

データベースはそのData Qualityを考慮して、Foreground DataとBackground Dataに使い分けて整備されつつある。表3にその違いを示したが、従来からデータベースと言われていたものが後者で、公開されたデータである。一方でForeground Dataは解析対象に即したInventoryデータであり、LCAの主体となるが、重要でなくかつ直接的情報の得られない部分を補うデータとしてBackground Dataを使用しようというものである。

この考え方をさらに進めるとpreliminary LCAの考え方になる。これは、産業連関表や生産統計などから得られたData Qualityの低いデータを先述した上方推定値とともに

表3 データの種類

Foreground Data	Background Data
● 主要対象のデータ	● 未知部分のデータ
● 事業所・ライン毎のデータ	● 業界平均等
● 計測データ	● 産業連関表等も使用

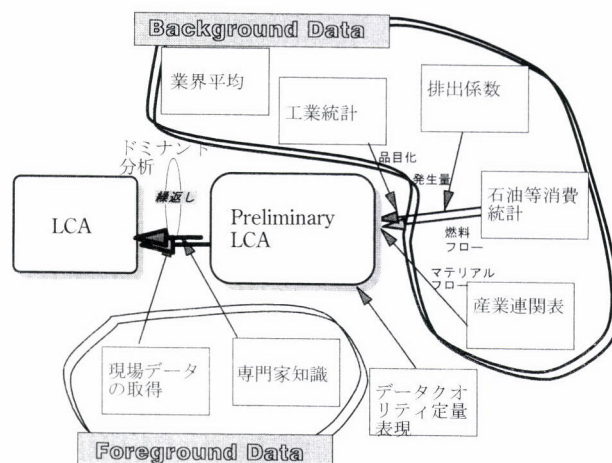


図7 データベースを使い分けたPreliminary LCAの概念図

用いて粗いLCAを行い、ドミナント分析、即ち負荷の大きいプロセスの抽出、を行い、そのプロセスに対してはよりData Qualityの高いデータ収集や計測を行なっていくという手順で、順次精度の高いLCAに接近していく方法である。簡単な概念図を図7に示した。

現在は、LCAが普及していく上での問題点が洗い出され様々な側面から検討が始められようとしている段階である。今年の11月に行われる第二回エコバランス国際会議には、そのような様々な取り組みが報告され議論される予定であり、4月末の時点で2年前の初回の倍を超える120件近くの発表申し込みがなされており、今後の展開が期待される。

6 素材・プロセス分野でのLCAの展開

材料は直接単独で消費者の前に現れることはなく、加工・アセンブルの過程を経てそれぞれに固有の使用機能をもつ製品として現れる。その性格ゆえに、素材・材料技術分野でLCAを適用する場合、LCAの解析・改善対象をどこにしているのかで大きく方法が異なってくる。ひとつは、使用目的となる製品やシステムの設計にポイントを置いたLCAであり、いまひとつは、個々の構成要素としての材料の開発・設計・製造プロセスにポイントを置いたものである。包装材料の選択や車のバンパー材料の選択など材料をターゲットとしたように見えるものでも基本的には製品設計の一部としての材料選択であり、これまで殆どのLCAは前者に属している。この場合、材料は製品のライフサイクルの一部として捉えられ、その結果、材料部門はInventoryデータ提供としての側面が強調される。いくつかの先進的取り組みもあるが素材分野のLCAがわが国で飛躍的に展開していない背景には、アセンブラー等にデータを提供したあげく比較選択を委ねてしまうことに対する警戒もひとつの要因であろう。

この問題は、LCAの持つ本来的な特徴ではなく、LCAを製

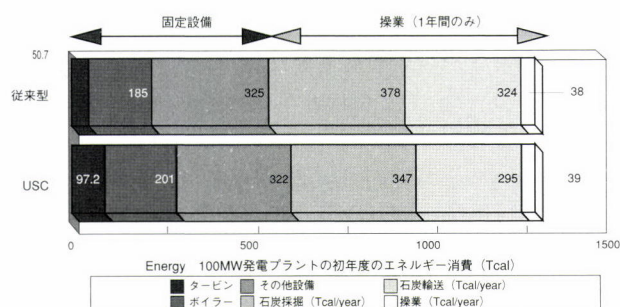
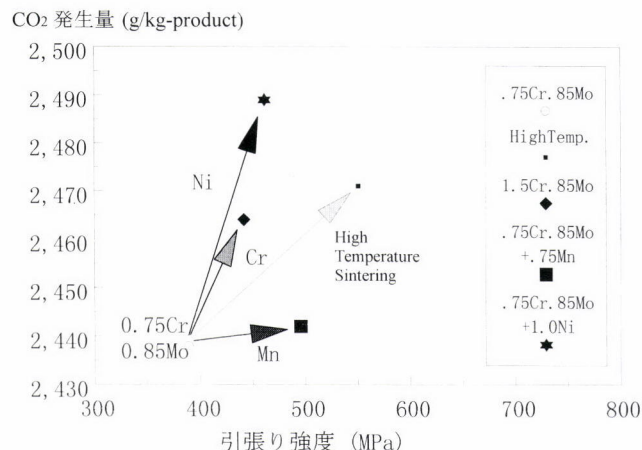
表4 LCAにおける材料と製品の相違

	材料	製品
Life Cycle	recycle可能	one-cycle
Process Tree	枝型(distribute)	根型(gather)
Function Unit	材料特性(property)	使用目的(object)

品を中心としたLCA(Product Life Cycle Assessment:PLCA)として狭く適用しているところに問題がある。材料開発者が、PLCAを通じて環境負荷の低減に貢献することはそれはそれで重要な役割であるか、材料の開発・設計・製造プロセスでの環境負荷低減の努力を評価し、表現する努力が必要である。筆者らは、そのためのLCAをMLCA(Materials Life Cycle Analysis /Assessment)と呼んでいる。

材料を対象とした場合と製品を対象とした場合の相違点を表4に示した。ライフサイクルの相違は明瞭であろう。製品は、その使用目的が終了した場合、廃棄過程で解体され製品自体としての特質を失い一つのライフサイクルで考える事ができる。他方で材料の場合には、製品解体後も要素材としての特性を保持して再使用が可能であり、リサイクルを含めると最終廃棄まで複数の製品の中でその生命を保ち続けることができる。次いで異なる点は、プロセスツリーの構造である。製品の場合は、上流部門がそれぞれの原料に応じて細かく分岐し、製品に向かって集合していく、「根」型の構造となるが、材料では、若干の原料の合流の後、様々な用途の製品に向かって拡散的に広がっていく「枝」型の構造をとる。この問題はFunction Unitの問題と関連する。製品ではFunction Unitは使用目的に対応するが、材料では使用目的を実現するための材料特性がFunction Unitであり、それが満たす用途に対して材料は拡散的かつ繰り返して使用される。すなわち、MLCAでは、解析の主軸になるFunction Unitを、使用目的ではなく、材料の特性で考えていくことが最も重要である。

材料の特性で考えると、代替型、対応型、向上型の3つのアプローチが考えられる。代替型のアプローチは同一特性をより低い環境負荷で製造・処分できる材料やプロセスの評価である。対応型は、高効率操業等で高度化する材料特性の要求に応じた材料の開発でトータルの環境負荷の視


図8 材料開発を加味したUSCと従来型火力発電の環境負荷の比較
設備建設および1年間の操業に限定、エネルギー消費で環境負荷を代表した例

図9 鉄系焼結材料の組成・プロセスの相違に対する、強度とCO₂発生量の関連

点からの評価である。いまひとつの向上型は、材料特性と環境負荷の双方を考慮した材料の開発方向を探索していくガイドである。対応型のアプローチの例として、超々臨界圧発電(USC)に対応する材料の転換の環境負荷評価の例と、向上型アプローチの例として、鉄系焼結材料の開発方向の探索への適用例を示す。

USCにより、発電自体の効率は4%ほど増加するが、そのために必要な操業温度の上昇に伴い従来の火力発電の条件で使用できた鋼種は、オーステナイト系ステンレス鋼などのように、より製造時の環境負荷の大きい鋼種へと転換していかなければならない。材料開発が効率改善分をキャンセルしたのでは、トータルとしての環境負荷軽減の意味が失われてしまう。それを比較してみた¹⁸⁾のが図8であり、ここでは、環境負荷としてエネルギー消費量をとっている。材料の製造に伴う負荷は図のボイラー、タービンの部分に示すようにUSCで増大しているが、この負荷の増大は一年間の運転による効率の改善で取り戻す事ができる。実際の火力発電プラントの寿命は、20~30年であるから、USC用に開発された材料は、高効率化による環境負荷低減の要請に全体として貢献していると主張することができる。

図9は、各種の組成や焼結温度を変えて開発されている

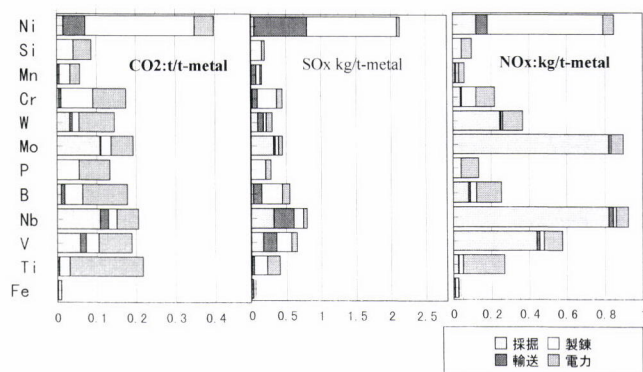

図10 添加合金成分1%当たりの環境負荷(鉄1t)
採掘、輸送、製錬、間接電力(日本を仮定)毎に積み上げ

表5 LCAの適用の可能性のある材料プロセス分野

LCAを適用する改善事項	主な影響部分
材料開発への適用	
・材料特性の改善	必要量、使用効率
・リサイクル適合材料	循環量、リサイクル
・廃棄後の管理	処分プロセス
プロセス改善への適用	
・操業原単位軽減	原料・燃料製造
・排出負荷低下	当該プロセス
・発生物の副産物化	廃棄物処理
・原料の転換	原料採取、輸送
材料設計への適用	全体

粉末冶金合金を強度とCO₂発生量でプロットしたものである¹⁹⁾。この場合、組成や処理条件をどのように変えれば環境負荷を抑えて特性を向上できるかを明らかにして今後の開発の方向を探索することができる。そのような試みのために必要となるデータが整えられつつあり、図10には、その一部として合金添加元素1%に相当するCO₂、SO_x、NO_xの発生量を示した。これらは、インターネット (<http://www.nrim.go.jp:8080/ecomat/Welcome.html>) を介してアクセスできるように整備されつつある。

MLCAによる解析の可能性はこれらの例に留まらない。部分的な環境負荷軽減の努力を評価する場合においても全体システムとの関わりでチェックすることが必要であり、また、それにより定量的な表現として負荷低減の有効性を示す事ができる。その適用の可能性の例を表5に示した。今後、多くの技術者研究者がLCAをエネルギー分析やコスト分析と同じように使うようになれば、これ以外にもますます適用対象が広がってくるであろう。

ここまで見てきたように、LCAは新しい視点を提供し、さまざまな可能性を持っている評価方法であるが、まだ発展途上のツールである。LCAの難しさは解析に着手する者の責任ではなくLCAの方法としての未成熟さに起因している場合が多い。そのため躊躇せず、まず解析者が現在理解できる範囲で実行してみる事が重要である。あらゆる生産や消費の局面で環境負荷低減の努力を行なった場合は、積極的にLCAで表現していくことにより、それらの努力もそしてLCA自体もより有効なものへと深まっていくに違いない。

引用文献

- 1) “Packaging and the Environment”, Chalmers Industriteknik(1991)
- 2) “Environmental life cycle assessment of Products, Guide”, National Reuse Waste Research Program Report9266,(1992)
- 3) 「環境への負荷の評価に関する予備的検討」日本エコライフセンター,(1993)
- 4) SimaPro Ver.2 manual, Pre consultant (1992)
- 5) 「容器包材の環境評価に関する中間報告」, 日本生活共同組合連合会(1993)
- 6) 山田国廣: リサイクル文化, 46(1994), 36
- 7) 日本環境協会: グリーン購入ネットワーク設立趣意書 (1996)
- 8) 原田幸明, 井島清, 八木晃一: 材料とプロセス, 8(1995), 1142
- 9) 和田安彦, 中野加都子ら: 環境負荷評価システム構築のための基礎調査報告, 未踏科学技術協会, (1995)
- 10) 原田幸明, 井島清, 八木晃一: 材料とプロセス, 8(1995), 1143
- 11) 原田幸明: エネルギー資源, 17(1996), 165
- 12) 原田幸明: 安全工学, 34(1995), 78
- 13) A.Singhofen, “Introduction into a Common Format for Life-Cycle Inventory data”, SPOLD, (1996)
- 14) 原田幸明, 井島清, 八木晃一, 材料とプロセス, 9(1996), 254
- 15) 渡辺洋, 鈴木規夫, 山田文康, 大塚雄作: “探索的データ解析入門”, 朝倉書店(1985)
- 16) 吉岡完次, 早見均: 日本の科学と技術, 35(1994), 38
- 17) 乙間末広, private communication
- 18) 内山洋司: エコマテリアルプロジェクト成果報告会資料, (1995), 11
- 19) 原田幸明, 皆川和己, 八木晃一: 粉体および粉末冶金 41(1994), 1383
- 20) 原田幸明: 日本の科学と技術, 35(1994), 50

(1996年5月7日受付)

地球環境特集 特集記事4

環境調和を考えた材料設計

長井 寿

Kotobu Nagai

金属材料技術研究所第3研究グループ サブグループリーダー

Materials Design for Environment Consciousness

1 はじめに

実用金属材料の95%は鉄であるが、鉄の用途は建築、自動車、機械などを中心に極めて多岐にわたる。鉄筋コンクリート、自動車用外板・足回り部品からステンレス流し台、医療用メス、洗濯機の脱水槽・外板、オーディオ製品内ピンチローラーまで、生活の豊かさのために身の回りで鉄は多方面に使われている。

一方、最高強度の鉄ワイヤーなしには作れない長大橋、自重に耐え荒海の中でも安全性を保証する全高400m以上の鉄骨構造石油掘削プラットフォーム、極寒地から数千キロメートルにわたって原油を運ぶ低温用石油ラインパイプ、高温で数10年間電力を供給し続ける発電機など、過酷な条件に耐えなければならないところでも鉄が活躍している。

だが、私達が享受している現在の豊かさと安心に対する重大な懸念が顕在化してきている。これ以上の生産規模の拡大は二酸化炭素排出量を増大させ、地球温暖化を加速するのではないかという心配がある。また、化石資源、地下資源は無尽蔵にあるわけではなく、貴重な資源の余寿命が限られているという推定が「発展の限界」を広範な人々に実感させるようになっている。

鉄鋼の生産は世界で年間約7億トンと言われているほど既に膨大である。そのうち、日本、中国共に約1億トン生産している。しかし、ひとり当たりの鉄鋼年間消費量で比べると、中国は日本のほぼ1/10の水準である。急速に成長しつつある中国経済が現在の日本の水準に到達し、鉄鋼生産が10倍になるとすると、世界生産量は現在の倍以上となる。さらにインドや東アジアの国々が経済成長を同様に遂げるとすると2倍では済まない。現状の技術体系のままでの生産量の拡大は、資源の枯渇危機を加速することになるだろうし、二酸化炭素排出量の地球規模での総量規制を危うくする問題もはらんでいる。

日本の鉄鋼産業は、省力、省エネルギー、環境汚染物質排出低減などの技術でこれまでも世界をリードしてきた。しかし、このような国際的な状況を鑑みても、技術開発の

歩みを止めることは許されず、21世紀に向けて高い経済成長を遂げると推測されている東アジア圏に位置する先進工業国として、果たすべき国際的責任は大きい。

限られた資源の中では後述するように、鉄生産の原料となる鉄鉱石、石炭は比較的資源的に恵まれている。鉄の持つ可能性をいっそう引き出し、いっそう有効に利用しているかどうか、21世紀以降も人類が持続的に成長を遂げられるかどうかを決定するといつて過言でない。長期的な展望としては、資源の有効な利用、節約、リサイクル、およびいっそうの省エネルギー化プロセスの開発などの総合的な対策を講じることが求められている。ところが、材料問題は幅広く、部分的な対応で解決策を得たと思ってもトータルではかえって改善にならないということも起こりやすい性質を持っている。いかに統合的な視点を持ち得るかで、技術的対応の方向性が決まってくる。

2 材料工学と総合的視点

ところが、日本人は総合的な視点を持つことが苦手だと言われている。ある単一の特定目標を達成するスタイルに慣れ親しんできた材料研究者には、なおさら取っつきにくい面があるようである。材料の「ゆりかごから墓場まで」を見通す視点はどこから生まれるのだろうか。

2.1 「死の医学（サナトロジー）」

医学は人間の健康を保持し、疾病から開放するのが使命と単純に思われてきた。しかし、最近、死期が迫った患者を対象に、死までの時間をより良く生き、精神的肉体的に安らかな死を迎えられるように援助する、人間らしく死なせるための医学（サナトロジー）が生まれている。死後の世界と精神的に結びつけることが目的ではないので、宗教ではない。

助産婦ならぬ助死者が必要と言うわけである。助死者と言っても、武士道を全うするための殉死、切腹の時の介錯人とは、全く反対の視点である。「生きているものの命を大事にする」ことが基本であるので、「命を絶ちきるため」の幫助

と異なるのはいうまでもない。ひとりひとりのライフサイクルを最初から最期まで充実させようという観点は興味深い。

人は大事にするが、ものは大事にしない。ペットなどの生き物であれば、供養してくれ、お墓も作って惜しんでくれるかもしれない。「もの」を代金を払って買い、壊れたり、飽きたり、用がなくなれば、狭い家空間の中に保管もできず、捨てる。「整理の美学＝捨てる美学」という考え方も一時広まったように思われる。「もの」には人に対して主張する術がないから、喜んで捨てられていったのか、断末魔の叫びを上げながらゴミ収集車に吞み込まれていったのかは分からない。人は助死者だったのか、介錯人だったのか。いや死刑執行人そのものではなかったのか。

だが、死刑執行はいやだと言っても、ウサギ小屋を解決できるはずもないので、やはり捨てる。だが、新聞紙、段ボール、ビンなどの廃品・分別回収への協力、バザーやフリーマーケットに出すなどの再生・再利用プロセスに積極的に参加することができる。「捨てる美学」から「捨てる方の美学」へ市民の意識と行動は確実に変化している。

では、最終的に捨てられた「もの」の最期はどうか。「もの」の最期を大事にする「もののサナトロジー」はないのだろうか。「もの」を使う立場の市民には、「もの」を成仏させる術がない。「もののサナトロジー」は学問であり、実践技術でなくてはならない。すなわち、つとめて「ものの専門家」＝材料研究者の課題である。「もの」を産むだけでなく、成仏まで責任を通すことが求められている¹⁾。

2.2 鉄の循環は人間の使命

人の寿命も、ものの製品としての寿命も有限である。いのちは閉じても、人間を構成する物質や捨てられた製品を構成する物質は不滅である。

物質は不滅であるが、有限の容量を持つ地球の中で循環する。しかし、循環するといっても、自明な自然機能として循環するというわけでない。「鉄は酸化物である鉄鉱石を還元して抽出し、捨てれば酸素と化合してもとの鉄酸化物に戻り、しかも、生命、環境に有害な面はないので、鉄は地球にやさしい物質である。」という意見をよく聞く。間違っていないかもしれないが、説得力はない。宇宙から偶然飛来した隕鉄を集めて鉄を作っているわけではない。鉄の酸化物には自己凝集作用が備わっており、捨てても必ず地球上に鉄濃度の高い場所ができるのが自明な自然現象であると主張しているのなら、自然科学の初歩的知識に乏しい専門家と言われても反論はできまい。自然界で酸化物に還った鉄は一体どれくらいの期間がたったら、確実に鉄鉱床を形成してくれるのだろうか。今度、鉄を捨てる時に教えてもらおう。

地球から抽出した鉄の物質循環は、地球の仕事ではなく

人間の仕事である。

2.3 ふたつのスパイラルダイナミズム

研究者は単視眼的になりやすい。その背景となっている事情を考察していくと、材料工学などが本来持っている総合的視点の身に付け方が意外と弱いのではないかと疑うようになる。

2.3.1 材料工学の持つスパイラルダイナミズム (図1)

材料工学は、物質の持つ様々な有用な性質を最終製品で利用するために材料化し、なおかつ材料の使用段階での特性の保証のために改良を加えたり、いっそうの特性改善を図るための総合的な学問体系を持つ。すなわち、基礎研究で得られたシーズと実ニーズを結びつけるために、様々なフィードバック機構を持ちながら、対象となる物質を材料として螺旋階段状に発展させていくダイナミズムを持つ。材料工学を構成する各研究領域のバランスが崩れることは、新しい機能物質の実用化、開発材料の改善、実用材料の問題点の克服などによる材料体系の発展を放棄することになりかねない。

個々の研究者が専門領域を持っているのは当然として、関連する他の研究領域について全く関心を持たない状況が許されるのは決して好ましいものではない。教育、研究システムの脆弱性を疑ってみなくてはならない。

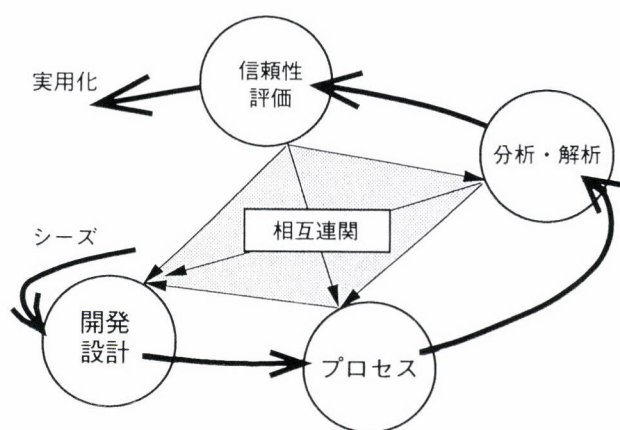


図1 材料工学のスパイラルダイナミズム

2.3.2 物質循環のスパイラルダイナミズム (図2)

前記のアナロジーで、人間が地球から抽出した物質の人間による物質循環を見てみると、製造－使用－廃棄（回収）－再生でぐるっと回る。一般人は、最初に製造したところ＝再生するところであり、回収して戻せば元と同じものができると理解しがちである。したがって、社会学者は合理的な回収方法すなわち社会システム面からの解析こそが重要であるとする。これは一理も二理もあるが、材料研究者から見れば、いくら集めても役に立たないものは役にた

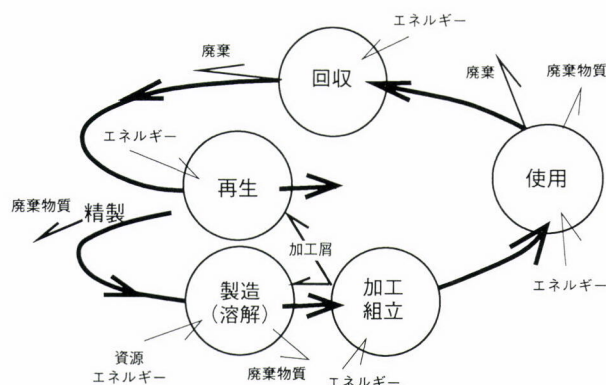


図2 物質循環のスパイラルダイナミズム

たないという事実の方が重大問題である。

ところが、再生＝製造を達成して、物質循環の時間軸を含めたスパイラルダイナミズムを実現できる技術基盤を作ることができるのは材料工学でしかない。再生を前提とすれば、作ったものの再生技術を新しく開発するか、同じ製造技術で再生できるように、製造技術を改善するか、もしくは材料を再生容易化設計するかを選択しかない。回収してもどうしようもないものを作った材料研究者のセンスが疑われている。

3 金属材料の環境調和型設計

本稿の主題である環境調和型設計は、資源、エネルギー、地球環境問題への積極的な対応によって、21世紀以降も人類が持続的に成長を遂げていくための挑戦といってよい。それを具現化していくためには、ものの一生に責任を負い、材料工学のすべてを動員する総合的な視点が必要であることが痛感される。

金属はいったん抽出してしまえば、その本来の性質から言えば、再生しやすいものであることは明らかである。しかし、材料として果たすべき性能を備えるために、単体で使用することはほとんどない。なにかを混ぜる、なにかとくっつけることが行われる。そのことが再生のしにくさの原因となる矛盾を内在している。この点を再度、整理し直すところから、本格的な検討を始めるべきである（図3）。

3.1 構成元素の選択

地殻の中にわずかしかないうものを大量に使うことは得策ではない。また、生態系に悪影響を及ぼす元素の使用も慎重にすべきである。

3.1.1 資源的要素

金属資源は生物資源と異なり地殻賦存量は有限であり、採掘を続ける限り枯渇時代は必ず来る。ところが、金属元素ごとに状況は異なっており、大事にすべきものはどれで、比較的に量的に使用できるものはどれかを常々判断する必

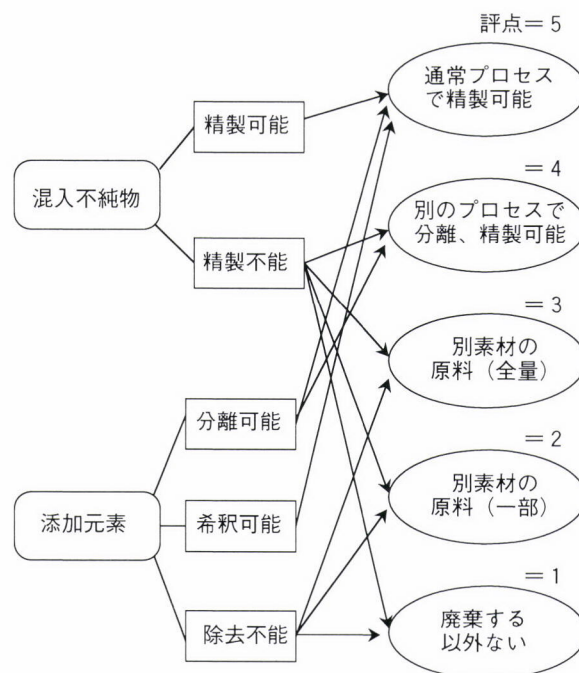


図3 リサイクル容易性チェックリスト

要がある²⁾。

(1) クラーク数

地殻中の各元素の推測存在総量を定量化したものがクラーク数である。金属元素ではアルミニウム8.13%、鉄5.00%、マグネシウム2.09%の三元素のみが1%以上で、チタンが0.44%は別として、鉄への貴重な添加元素であるクロムが0.01%、ニッケルが0.0075%などその存在量は極めて少ない。

(2) 可採資源量

地殻中の存在量と採掘可能な資源量は一致しない。しかも、今までの歴史の中で既にかかなり掘り進んだものもある。今のペースで掘り進めば何年持つかという数値が可採年数である。新鉱山の発見、新精錬法の開発によって、統計値は変化する性格を持っているが、残存量の一定の目安となる。例えば、アルミニウム192年、鉄67年、チタン27年、クロム16年、ニッケル56年などの数値がある。

(3) ペシミスティック元素³⁾

金属元素が単体で存在することはほとんどなく、酸化物、硫化物などの多様な化合物として存在している。構成比は勿論のこと、品位も鉱山によって異なり、その世界的統計もある。その分析によると高品位鉱石から低品位鉱石まで平均品位を中心に度数分布がほぼ対称になる元素と、高品位側と低品位側に分布が分かれる元素がある。前者は採掘、精錬技術の漸進的な開発によって比較的容易に資源確保ができる可能性のあるのに対して、後者では高品位鉱を掘り尽くした後、生産効率の著しい低下を迎えざるを得ない。前者をオプティミスティック元素、後者をペシミスティック元素と呼ぶ所以である。

オブティミスティック元素は12元素あり、金属元素ではアルミニウム、鉄、マグネシウム、チタン、マンガンなどである。ニッケルはどちらにも属さないが、ほとんどの元素はペシミスティック元素である。

(4) 副産物

酸化物鉱石か、塩化物、硫化物の鉱石か、またそれらの構成比によって、採掘、精錬過程における副産物、廃棄物も異なってくる。

塩化物、硫化物では塩素、イオウの発生は避けられない。また、それぞれの鉱石には副産物元素がある。それらが有価物である場合もあるが、低価値のものや生態系に悪影響を及ぼす恐れのあるものは困り者である。例えば、亜鉛では金、銀も伴うが、カドミウム、ヒ素などが副産物である。

3.1.2 再生除去困難元素

それぞれの金属の再生において不純物を取り除くために精製を必ず行うが、通常精製プロセスですべての混入元素を除去できない。つまり、再生過程で除去できず残留する元素がでてくることがある。

素材設計において、ある特性を発揮するために添加した元素が往々にしてこの落とし穴に陥ることがある。添加量がたとえ微量であっても、再生材の純度を確実に低下させるために、本来付加価値の高かった再生材が一瞬に無用物に転化する例も多い。

鉄の場合には、酸素との親和力の違いを利用して精製するため、銅、スズ、ニッケルやモリブデンなどは鉄中にほぼ100%残存する（トランブエレメント、循環性元素）。

3.1.3 毒性

金属元素が単体そのもので毒性があるものもあるが、多くはイオン化状態や他の物質と結合した状態で毒性を持つことが多い⁴⁾。したがって、表面を保護して腐食、溶解を防いだり、不要な投棄を止め、リサイクルしたりして、毒性状態への変化を防止することが求められる。大気中の水分などで状態変化し、皮膚、細胞組織などへ影響を危惧される場合の使用はできる限り避けるべきである。

OECDでは、ニッケル、鉛、カドミウムなどの使用規制を検討している⁵⁾。ニッケルは接触性皮膚アレルギーのため、直接接触危険のある製品、素材が対象となるという。今春、ドイツでの投宿先ホテルの特産物コーナーで、ステンレス製食器に「ニッケルフリー」という手書きの但し書きが付いて、既に市民の反応が始まっていることが確認された。鉛はケーブル被覆などの単体使用が規制される。鉛蓄電池の代替は難しいらしいが、半田合金の無鉛化は欧州のみならず米国でも盛んに研究が進められている。快削鋼への鉛添加も問題視されている。カドミウム含有合金も規制される。

3.2 リサイクル性と製造プロセス

金属は、精製、溶解、凝固、合金化、複合化、加工、熱処理、接合、表面処理などの幾多の製造プロセスを経て使用に供される。これらの製造プロセスは使用形状へ変形、成形するだけでなく、金属材料の性質を調整、制御することにも重要な役割を果たしている。種々の製造プロセスについて、多少強引ではあるが、金属の本来持つリサイクル性を損なわないものと損なう恐れのあるものに分類してみる。

3.2.1 素材の性質制御プロセス

リサイクル性を損なわないもの

—凝固、加工、熱処理など

リサイクル性を損なう恐れのあるもの

—合金化、複合化、積層化など

3.2.2 金属の強化機構

リサイクル性を損なわないもの

—転位密度、微細化、変態組織

リサイクル性を損なう恐れのあるもの

—固溶、析出、複合

以上からすると、凝固、加工、熱処理でもって、金属組織を調整して諸特性を発揮できないかということになる。

3.2.3 表面処理

金属のさび発生、金属イオン化を避けることが一般には要求される。表面処理にも多彩な手段があるが、分類を試みると、

リサイクル性を損なう恐れのないもの

—打ち込む、叩く

リサイクル性を損なう恐れのあるもの

—塗る、くっつける

すなわち、表面に別物質を持ってくる方法ではなく、部分的に表面だけを改質できる方法が望まれる。もちろん再生上問題のない別物質による被覆には問題はない。

3.2.4 接合

金属の溶接が主流になったのは戦後である。溶接構造では解体分解はなんらかの切断作業を伴う。大型構造物では溶断が主な方法のようである。したがって、製造、分解ともに比較的多くのマンパワーを必要とする。プレス+シュレッダーで切断できる程度のものであればこの問題はないのかもしれない。

また、溶接構造は、一般に複数の異なった構成材料を持つ場合、それらへの完全な分離が困難なこと、溶接金属に母材とは異なった組成の材料を使う場合があることなどの

問題も抱える。

今後、高強度が要求される場合では、母材の高強度を維持して溶接することはますます困難になってくる。それに対して、旧来のボルト、ネジ、鋲などによる接合は組立・解体容易性などで合理性を再認識される可能性がある。それにはボルトなどの高強度化が背景に要求されることは言うまでもないが、今後は新しい溶接法の開発も含めて、複眼的な接合技術の研究開発が求められている。

3.3 大量使用基盤材料において考慮すべき生産・技術体系

一つの素材について生産史を概観すれば、生産量の初期低迷期を脱した後、飛躍的拡大期を迎え、成熟、安定期となる。基盤材料であれば安定期の生産量は人口に基づきほぼ一定となる。鉄鋼の先進国における内需は一人当たり年間約500kgであるというが、日本では既にこれをはるかに超えた水準で総生産量は1億トン前後を近年推移している。

素材の平均使用年数（平均寿命）によって到来時期は変動するが、年間に内需に匹敵するスクラップ量が毎年発生する時期が必ず来る。しかし、生産、すなわち一次供給側が最初からスクラップリターンを前提とした生産システムをとって生産を開始することはなく、発生するスクラップを対象にした別の生産システムの産業（二次供給側）が発生する場合が多い。しかし、より長期的には生産、再生が同期化することが不可避なので、一定の過渡期を経て、一次、二次供給の区別のない、再生を前提とする循環システムを形成して行かざるを得ない。

金属における代表的な基盤材料である鉄鋼、アルミニウムは日本においてほぼ安定期に入り、まさに一次供給と二次供給の比が逆転する時期にさしかかりつつある⁶⁾。そのような背景から、スクラップリサイクルを前提とする生産システムの構築のために、本格的な研究開発の推進が開始されている。

その技術開発の方向は、

- (1) 不純物による悪影響を最小限化する（短期的課題）
- (2) スクラップ中の不純物を有効に除去する（中期的課題）
- (3) 再生を前提とした材料設計と材料体系を創出する（中長期的課題）

があげられる。

最も根本的な対策技術となる再生を前提とした材料技術体系は、

- (1) 枯渇性のなるべく小さい元素を利用する
- (2) 再生過程で除去困難な元素の使用を制限する
- (3) 生態系に悪影響を及ぼす恐れのある元素を使用しない
- (4) 再生過程で分離等の困難さの原因を作り出すような製造プロセスに依らない

ことが前提条件となる。

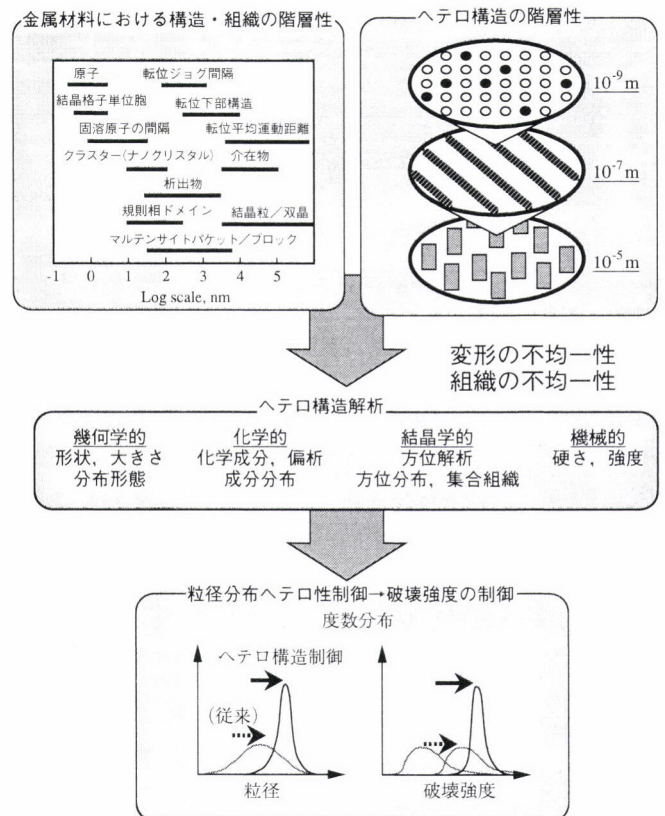


図4 ヘテロ構造概念による材料特性の改善

4 事例

金属材料において、リサイクルを前提としてかつ複数の性質をバランス良く実現する方法のひとつとして注目を浴びているのが、複数の組織や部分的変化の利用である（ヘテロ構造⁷⁾、図4）。鉄鋼材料では変態等を利用して複相組織を出したり、部分的に組織を変化させることができる。強度－延性バランスの改善は、複相組織の種類、構造を制御することによって改善することができる⁷⁾。ここでは、むしろ合金元素の役割は間接的なものとなる。他の金属でも合金系を選択すれば、ヘテロ構造を前提とした検討が可能である。

ヘテロ構造の基本は、複合材料と同じである。しかし、ヘテロ構造はある単一の合金組成から作り込むことができるという点で、従来の複合材料と全く異なっている。再生上問題のない元素だけで構成されていれば、ヘテロ構造金属は「電気炉で再溶解する」だけで十分で、「溶鋳炉にもどす」必要もない。

- (1) 部分的に結晶粒を微細化し、ニッケルフリーに

大型構造物では、脆性破壊による損害を最少限化することが求められるが、鉄鋼材料においては従来ニッケルの添加が鉄鋼の性質を改善する元素として知られている。しかし、金属組織の面から言えば、結晶粒を微細化すれば同じ効果があることも分かっている。

ある条件下で使用される銅板では表層部がその脆性破壊の進展に抵抗があれば十分である。そこで、加熱中の変態現象を利用すれば組織が微細化する現象をうまく利用して、表層部5mm程度だけが、内部の5分の一以下の細かい結晶粒にできるプロセスが最近開発された⁸⁾。

これは、鉄鋼の再生にとって邪魔なニッケルを含まない素材を用い、ニッケル含有合金と同等の性質をヘテロ構造を作り込むことによって達成した一例である。

(2) 難加工性アルミ鋳造合金の可塑性⁹⁾

今後の材料開発において、従来の枠の中で可能性を探すだけでなく、全く新しい分野、領域を探索、開拓していく必要がある。

アルミ合金は、時効析出を利用した材料として金属組織の可変性に乏しく、開発飽和感のある材料となっている。しかし、資源量などから考えても、鉄と共に将来さらに有効利用が求められているもののひとつである。

著者等は、既に実用化されているAl-Si系合金が鋳造合金として使用されるだけで、展伸合金としては考えられていないが、その組織がシリコン晶とアルミニウム母相の複数の組織から成っていることに着目した。共晶合金と呼ばれるAl-12%Si（シルミン）を室温で加工すると、変形の与え方によるが、変形量で20%から40%程度の加工で割れてしまう難加工性を示す。検討の結果、その割れはシリコン晶の割れに起因していることが分かった。そこで、ある加工熱処理法を用いてシリコン晶を1/5程度に微細化したところ、90%以上の室温加工が可能になり、線材やフォイルへの加工も可能になった（図5）。しかも、強さが元の2倍以上となるなど、従来の常識を破る結果が得られている。

このような例は、過去にもそして現在も多く行われてきたもののほんの一部に過ぎないだろう。要するに、開発目標に適合したシーズを探し求め、それを実用化していく、オーソドックスな材料工学手法の一例に過ぎない。本稿では、地球環境への対応が材料に求めるスペックを大まかにまとめたつもりである。シーズの掘り起こし、実用化のた

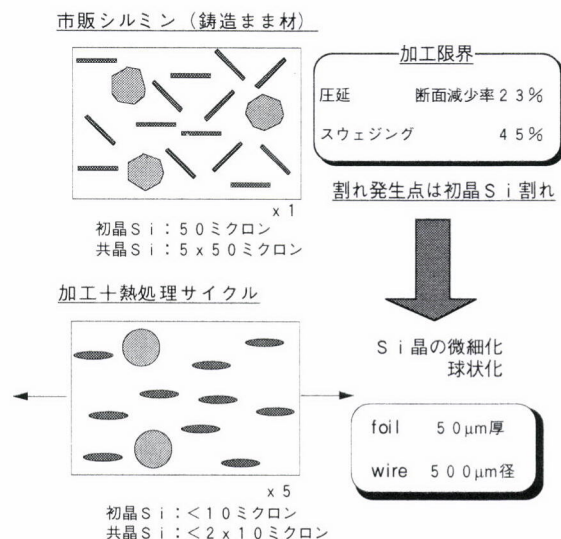


図5 アルミーシリコン共晶合金の可塑性

めのブレークスルーポイントの絞り込みがなされ、地球環境対応型の幾多の新しい技術、研究開発が日本からこそ発展、成長することを期待する。本誌の読者こそがそのフロントランナーとなれる素質と実力を備えた専門家集団であることを確信している。

参考文献

- 1) 長井寿：BOUNDARY, (1996.1), p.32
- 2) 長井寿：機能材料, 16(1996), p.111
- 3) 西山孝：資源経済学のすすめ (1993), 中公新書
- 4) 川原春幸ら：化学総説, 13(1978), p.21
- 5) 長井寿編著：持続可能リサイクル設計入門 (1995), 未踏科学技術協会エコマテリアル研究会, 化学工業日報社
- 6) 長井寿：金属, No.10, (1993), p.65
- 7) 平成6年度池谷科学技術振興財団「材料の不均一性」研究会報告書 (1995.9)
- 8) 石川忠, 野見山祐治, 萩原行人, 栗飯原周二：日本造船学会論文集, No.177, (1995), p.259
- 9) 長井寿, 梅澤修, 由利哲美：1996年日本金属学会春期講演大会にて発表

(1996年4月30日受付)

地球環境特集 特集記事5

材料リサイクルの現状と今後の課題
—家電製品を例として—

和田安彦 関西大学工学部土木工学科 教授
Yasuhiko Wada

Present Status of the Material Recycling and Its Problems — A Case of Electric Home Appliances

1 はじめに

平成7年6月の容器包装リサイクル法の可決・成立に続いて11月には家電製品、自動車についても平成12年度をめどに製造・販売業者等に製品の回収、再利用の義務づけを目指す方針が示され、わが国でも本格的なりサイクル時代を迎えるに至った。しかし、これまでの生産→使用→廃棄の一方のシステムに都合よく整備されてきた社会システムを循環型に変更していくことは容易なことではない。また、リサイクルを行う場合の経済性をいかに確保するかといった大きな問題もある。さらに、地球環境問題に対応していくためには単に回収、再資源化を図るという問題ばかりでなく、できるだけ環境負荷の少ないリサイクルを目指す必要がある。

このような環境負荷を低減化しつつリサイクルを促進するという困難な目標に対応するためには、これまでとは違った観点に基づく材料開発や材料選択、製品設計、社会システムの整備が求められている。

ここでは家電製品を対象として材料リサイクルの現状について述べるとともに、環境負荷低減化を目指したりサイクルを実施するための今後の課題を明らかにしたい。

2 廃家電品処理の問題点とリサイクル状況

2.1 廃家電品処理の問題点¹⁾

主な家電製品であるカラーテレビ、電気冷蔵庫、電気洗濯機、ルームエアコンの4品目の廃棄台数は表1の通りであり、平成4年では約1,453万台の廃家電品が排出されたと推定されている。

表1 主要家電製品4品目の廃棄台数¹⁾

	家電製品廃棄台数（推定）（万台）				
	昭和63年	平成元年	平成2年	平成3年	平成4年
カラーテレビ	495	501	509	521	538
電気冷蔵庫	332	336	339	342	345
電気洗濯機	358	360	362	366	370
ルームエアコン	171	179	185	192	201
4品目計	1,357	1,375	1,395	1,421	1,453

廃家電品は図1に示すように、約18%が自治体によって回収され、約82%が販売店によって回収されている。これらのうち、販売店からの持ち込みを含めて約34%が自治体で処理され、約66%が処理業者で処理されている。

また、シュレッダーダストは、その約93%が安定型処分場で埋立され、約8%が管理型で埋立処分されている。

廃家電のうちリサイクルされているのは約20万t／年（廃家電総重量の約32%）であり、そのほとんどがくず鉄である。原型・圧縮埋め立ては約25万t／年（同40%）、シュレッダーダストとして埋め立て処分されているのは約17万t／年（同28%）である。

廃家電品処理ルートは図2の通りであり、地方自治体、販売店で回収される以外に、回収業者から金属問屋を経てシュレッダー業者に流れるルートがある。

わが国では近年、廃棄物量の増大に伴うごみ処理能力及び最終処分場容量の限界、複雑・多様な構造を持つリサイクル困難な製品の増大、地球規模の環境問題（オゾン層保護、地球温暖化の防止等）の顕在化等の諸問題に直面し、その対応に迫られている。これらに対して家電各メーカーでも積極的な対応が図られているが、廃家電処理の問題点を列記すると、

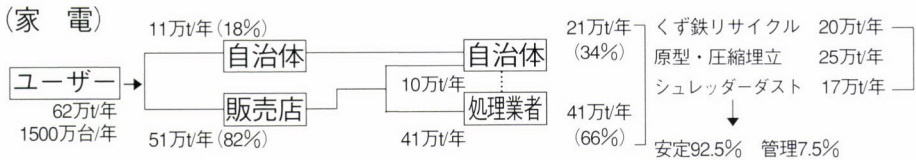


図1 廃家電品の処理フロー¹⁾

図2 廃家電品処理ルート¹⁾

- ## 2.2 廃家電品のリサイクル状況

モーター、コンプレッサー等の金属複合材の部品は、そのまま部品として回収されることが多い。これらの中から

中古部品、中古製品については、鉄くず価格の低迷、シュレッダーダストの処分コストの上昇等を背景に海外（主として中国、東南アジア向け）に輸出しているケースもあるが、実態は明らかでない。

3 廃家電品リサイクルの 環境負荷低減化対策

以下にLCA手法を適用して廃冷蔵庫についてこのような定量化を試みたケーススタディを示す²⁾。

3.1 前提条件

(1) 評価対象製品

このクラスの冷蔵庫の家電メーカー各社の材料構成の平均値をもとめ、これを再資源化が可能な材料と廃棄される材料に分けて表2に示す。なお、再資源化可能な材料でも中間処理（シュレッダーによる破碎）を受けたすべての材料が回収できるわけではなく、微細な破片となったものや

表2 対象冷蔵庫（本体）の材料構成

材 料		材料別重量 (kg)	回収率 (%)	回収重量 (kg)	廃棄重量 (kg)
再資源化可能材料	鉄鋼	39.44	97.4	38.41	1.03
	銅	3.00	36.4	1.09	1.91
	アルミ	1.12	36.4	0.41	0.71
	小 計	43.56		39.91	3.65
廃棄材料	金属類	0.01	0.0	0.00	0.01
	熱可塑性樹脂	28.07	0.0	0.00	28.07
	熱硬化性樹脂	8.27	0.0	0.00	8.27
	冷媒（代替フロン）	0.17	0.0	0.00	0.17
	発泡剤（代替フロン）	0.74	0.0	0.00	0.74
	冷凍機油	0.29	0.0	0.00	0.29
	紙	0.06	0.0	0.00	0.06
	その他	2.86	0.0	0.00	2.86
	小 計	40.47		0.00	40.47
	計	84.03		39.91	44.12

なお、再資源化可能材料のうち銅は海外で再資源化が実施されているとみられており、そのフローが不明確であるため、本試算では銅の再資源化による環境負荷は除外している。

＜リサイクルする場合＞
廃棄→中間処理→再生→再生材料（CASEⅠ）
＜廃棄物として処理・処分する場合＞
廃棄→中間処理→最終処分 資源採掘→製造→完成材料（CASEⅡ）

図3 各CASEの評価範囲

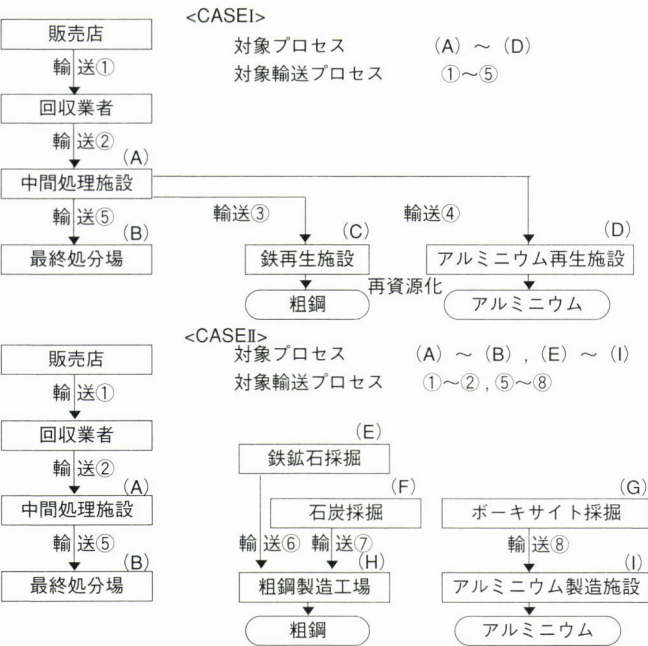


図4 各CASEのフロー

プラスチック等と複合しているために回収できないロスがある。これについては、ここでは破碎処理実験結果からもとめた回収率から、実際に回収できる重量とロス分（廃棄重量）をもとめた。

(2) リサイクル効果定量化の考え方

ここでは廃冷蔵庫1台を中間処理後リサイクルする場合（CASEⅠ）と最終処分する場合（CASEⅡ）の環境負荷を比

較する。リサイクルする場合に再資源化する材料は鉄とアルミとする。

ここで、CASEⅠ、CASEⅡとも製品製造から廃棄（消費者が捨てるまで）の環境負荷は同等であるため、この間のプロセスの環境負荷の比較は省略し、販売店に回収されてから以降のプロセスを比較する。

なお、この場合、再資源化を二次材料の製造工程と考えると、廃棄物として処理処分された場合には同量の材料を得るためには新たな資源から製造しなければならない（再生材料と新たな資源からの材料は等価とし、質の差はないと考える）。このため、廃棄物として処理処分する場合には新たな資源からの製造プロセスを追加し、CASEⅠとCASEⅡの評価範囲を図3のように設定して環境負荷の差をもとめる。

CASEⅠとCASEⅡのフローは図4に示すとおりであり、中間処理（他の製品との混合破碎）に関する環境負荷原単位、各プロセス間の輸送距離及び輸送にかかわる原単位は、（財）家電製品協会が主体となって東京都内で行われている廃家電回収支援システムの実態調査によって得られたデータを用いた。

また、最終処分に関するデータは、ある大都市における最終処分に関わるデータをヒヤリング調査により収集して用いた。

(3) 評価項目

評価項目は表3に示した各項目である。

表3 環境負荷評価項目

材料資源消費量	原料炭、鉄鉱石、ボーキサイト、石灰石、水 等
エネルギー消費量	電力、軽油、重油、石炭 等
エネルギー消費量	
CO ₂ 排出量	
大気汚染物質排出量	SO _x 、NO _x 、SO ₂ 、CO 等
水質汚濁物質排出量	BOD、COD、SS
固形廃棄物排出量	汚泥、ダスト 等

※エネルギー資源消費量は、エネルギー源として消費した資源量を示すものであり、エネルギー消費量は消費したエネルギーを熱量換算したものを示す。

3.2 評価結果

(1) リサイクル効果

CASEⅠ、CASEⅡの評価範囲の全フローにおける環境負荷、及び「リサイクル効果」を定量化した結果は表4に示したとおりである。ここで「リサイクル効果」は（CASEⅠ）－（CASEⅡ）の結果であり、7項目以外ですべて（－）となっている。これは、CASEⅡ（廃棄物として処理処分＋バージン資源からの製造）の方が相対的に環境負荷が高く、リサイクルした方が環境負荷が少ないことを示している。

また、エネルギー消費量、CO₂排出量の項目について

表4 再資源化による環境負荷低減化の効果

	単位	CASE I	CASE II	リサイクル効果
原料炭	kg/台	1.9E+00	2.6E+01	-2.4E+01
粉鉱石	kg/台		4.6E+01	-4.6E+01
鉄鉱石	kg/台		9.4E+00	-9.4E+00
鉄くず	kg/台	3.8E+01	2.1E+00	3.6E+01
ボーキサイト	kg/台		1.7E+00	-1.7E+00
石灰石	kg/台		3.1E-02	-3.1E-02
苛性ソーダ	kg/台		1.5E-01	-1.5E-01
陽極カーボン	kg/台		1.5E-01	-1.5E-01
陽極ビッチ	kg/台		4.0E-02	-4.0E-02
フッ化アルミ	kg/台		6.5E-03	-6.5E-03
水晶石	kg/台		2.4E-02	-2.4E-02
水	kg/台		2.9E+00	-2.9E+00
エネルギー消費量	kcal/台	5.3E+04	1.8E+05	-1.3E+05
電力	kwh/台	1.8E+01	7.5E+00	1.1E+01
軽油	kg/台	6.3E-01	9.6E-01	-3.3E-01
コークス	kg/台	7.3E-02		7.3E-02
コークス炉ガス	Nm ³ /台	2.6E-02		2.6E-02
蒸気	kg/台	9.9E-01		9.9E-01
A重油	kg/台	2.7E-02	1.4E-01	-1.1E-01
C重油	kg/台		4.0E-01	-4.0E-01
液化石油ガス	kg/kg	3.6E-03		-3.6E-03
ガソリン	kg/kg		2.2E-04	-2.2E-04
灯油	kg/kg		4.0E-02	-4.0E-02
液化水素油	kg/kg		6.1E-02	-6.1E-02
液化水素ガス	kg/kg		3.6E-03	-3.6E-03
石油コークス	kg/kg		5.8E-02	-5.8E-02
石炭	kg/kg		2.1E-02	-2.1E-02
天然ガス	m ³ /台		7.2E-03	-7.2E-03
その他	kcal/台	1.6E+03		1.6E+03
FeCl ₂	kg/台	5.8E-03	1.1E-02	-5.2E-03
高分子	kg/台	1.2E-04	2.2E-04	-1.0E-04
メタノール (50%)	kg/台	3.8E-03	7.1E-03	-3.3E-03
活性炭	kg/台	7.1E-03	1.3E-02	-5.9E-03
CO ₂	kg-C/台	3.6E+00	1.6E+01	-1.3E+01
NO _x	kg/台	4.9E-03	5.8E-02	-5.3E-02
SO _x	kg/台	1.9E-03	9.7E-02	-9.5E-02
SO ₂	kg/台	1.1E-04	1.5E-04	-4.3E-05
N ₂ O	kg/台	5.3E-05	7.5E-05	-2.2E-05
CO	kg/台	5.3E-05	7.4E-05	-2.1E-05
C ₂ H ₄	kg/台	3.5E-05	4.9E-05	-1.4E-05
Particle	kg/台	1.7E-06	2.4E-06	-7.4E-07
BOD	kg/台	1.2E-03	2.3E-03	-1.1E-03
COD	kg/台	3.0E-03	5.7E-03	-2.7E-03
SS	kg/台	2.7E-03	5.0E-03	-2.3E-03
集塵ダスト	kg/台	7.7E-05	7.7E-05	
ダスト	kg/台	4.4E+01	8.4E+01	-4.0E+01
汚泥	kg/台	7.1E-02	1.3E-01	-5.9E-02

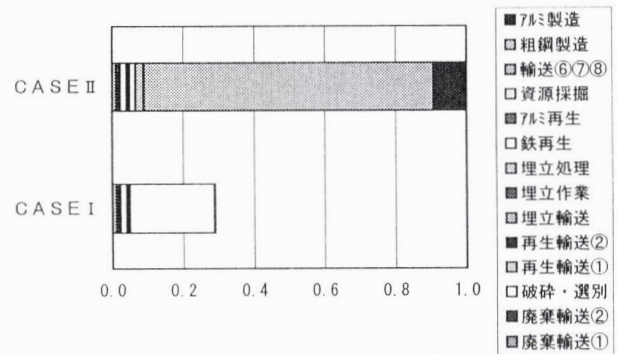


図5 エネルギー消費相対比較

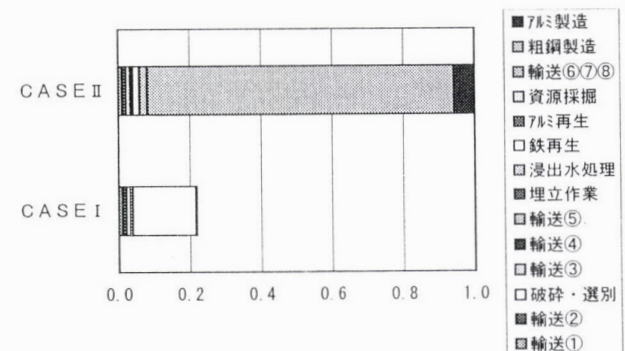
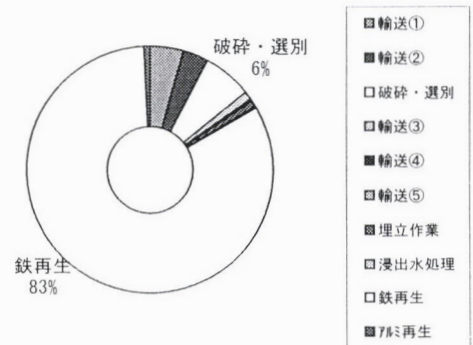
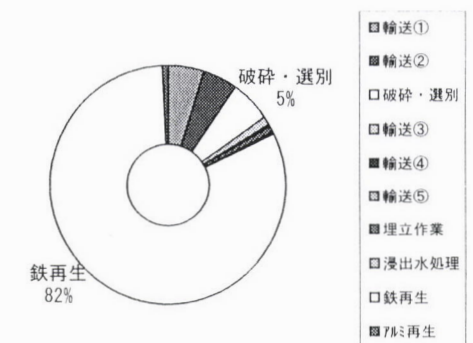
図6 CO₂排出相対比較

図7 リサイクルする場合の工程別エネルギー消費量

図8 リサイクルする場合の工程別CO₂排出量

CASE I、CASE IIを相対的に比較した結果は図5、6のとおりである。これによると、エネルギー消費量ではCASE IはCASE IIの約1/3程度であり、CO₂排出量では1/5程度である。

(2) リサイクルする場合の環境負荷の高いプロセス

エネルギー消費量、CO₂排出量の項目についてCASE I (リサイクルする場合) の工程別環境負荷の割合を示したものが図7、8である。これによると、エネルギー消費量、CO₂排出量とも、約8割が鉄再生工程で占められており、破碎・選別工程は5～6%にすぎない。

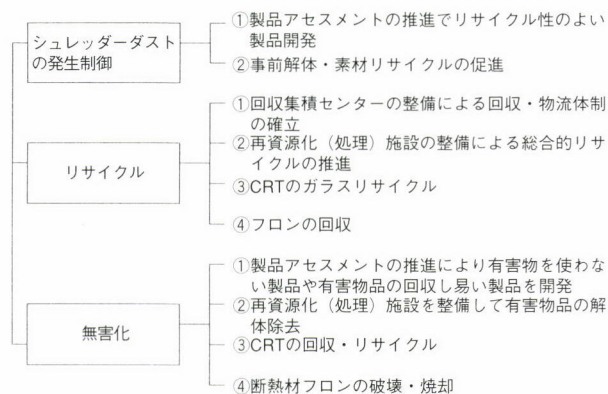
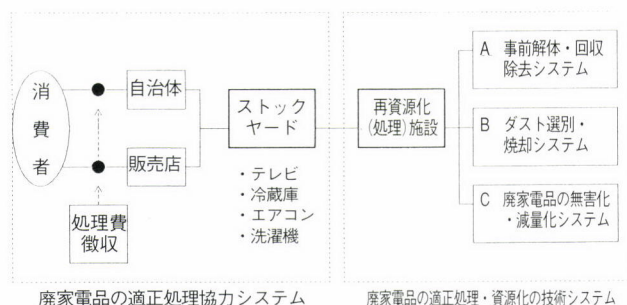
(3) 考察

本ケーススタディでは、リサイクルした方が、廃棄物として処理処分 (リサイクルで得られるのと同量の材料を新たな資源から製造するプロセスを含む) するより環境負荷がほとんどの項目で少ないという結果が得られた。

同時に、リサイクルする場合に最も環境負荷の高いプロセスは「鉄再生工程」であり、今後リサイクルを促進しな

がら環境負荷を低減化していくためには、このプロセスの環境負荷を低減化しなければならないということになる。

これらは一つのケーススタディとしての結果であり、またLCAも発展途上の手法であることから、ここで得られた結論を一般化することはできない。しかし、今後このようなケーススタディを積み上げることによって、次のような

図9 廃家電品の適正処理・資源化に向けた施策体系¹⁾図10 廃家電品のリサイクルシステム¹⁾

課題に取り組む必要がある。

- ①リサイクルの環境負荷の高いプロセスをより詳細に明らかにし、リサイクルの環境負荷を低減化するための目標を具体化すること。
- ②特定された環境負荷の高いプロセスにおける環境負荷低減化技術を開発すること。
- ③環境負荷の少ないリサイクルを行うために、製品及び材料設計に求められる要素を明らかにすること。
- ④環境負荷低減化のための各プロセスごとの対策を組み合わせ

わせた全ライフサイクルにおける環境負荷を定量化、比較検討し、最も環境負荷低減化効果の大きいリサイクルシステムを選択する。

4 リサイクルの促進に向けて

（財）家電製品協会では将来の家電品の適正処理・資源化システムを検討するに当たり、①シュレッダーダストの発生抑制、②リサイクル、③無害化を柱に図9に示す施策体系を示している。また、減量化、再資源化、処理の容易化という原則にたち、21世紀の循環型社会の形成と廃家電品のあるべき処理システムを考慮したリサイクルシステムを図10のように示している。

リサイクルについては、現状でリサイクルされている材料が少ないのはリサイクルのしやすさを製品開発段階から考慮した製品が少ないことにも原因が求められ、今後、製品アセスメントによる材料の選択、製品設計がより重要性を増すことになる。

当面の間は現状のリサイクル、処理処分プロセスといった下流での問題点、及びリサイクルシステムでの環境負荷の低減化に対応しながら、最も上流である材料分野において、リサイクルのしやすさの要請に応えた開発を推進することが求められている。

引用文献

- 1) 家電リサイクルプラントの基礎調査報告書、（財）家電製品協会、1995.3
- 2) エネルギー使用合理化手法国際調査、新エネルギー・産業技術総合開発機構・（社）産業環境管理協会、1995.3
（1995年12月14日受付）

特別講演

鉄鋼分析技術の変遷と技術課題

佐伯正夫
Masao Saeki

富士物産(株)社長
(株)日鉄テクノロジーサーチ技術顧問

View of Analytical Technology Development in Japan

この度は栄えある浅田賞を戴き、まことに身に余る名誉なことと厚くお礼申し上げます。これは私一個人のことでなく、永年にわたる日本の鉄鋼分析技術者全体の成果による表彰であると考え、関係の方々のご指導ご支援の賜物と深く感謝申し上げます。日本の鉄鋼分析技術の変遷がその時代での鉄鋼業の技術課題や周辺技術の進歩とどのような関係にあったのか、さらに21世紀への将来展望について述べさせていただきます。

1 はじめに

「鉄は文明の尺度である」はフランス革命時代のフルクローア(化学者で文部大臣)の言葉¹⁾ですが、これにならうと「鉄鋼分析は製鉄技術の尺度である」と言えると思います。

製鉄技術の課題解決のために鉄鋼分析が必要とされて分析技術が前進し、逆にその進歩が製鉄技術の進歩をもたらしてきました。したがって、鉄鋼分析技術はその時代、その国における製鉄技術を映す鏡、あるいはその技術レベルを示す尺度でもありました。しかし、鉄鋼分析技術の進歩

は製鉄技術からのニーズだけでなく、周辺の科学技術(例えば、化学や物理などの基礎科学、分光器やコンピューターなどの周辺技術)の進歩とそれを活用する人材との組合せも必須でした。これらの関係を過去の具体例で説明し、さらに21世紀への展望にもふれたいと思います。

2 日本の鉄鋼分析技術の変遷

戦後50年ですが、1950年代からの約40年を各々の時代の特徴から表1のように4期に分けて流れを概観してみます²⁾。

1950年代は第二次大戦で壊滅状態となった日本鉄鋼業の復興の時代であり、平炉の操業度を高めるために人海戦術で化学分析を行い、そのための迅速化学分析法として吸光光度法の研究を学振製鋼19委員会第1分科会を中心にして推進した。この時代は「化学分析の時代」であり、人材の育成に役立ったことも見逃がせない事実です。

1960年代は高度成長の中核を担って鉄鋼業の急成長が始まり、鉄鋼先進国から技術導入しながら彼らを次々に追い越していきました。この時期を象徴する転炉操業では当時

表1 技術的課題と分析技術の変遷

	1950 (S25)	1960 (S35)	1970 (S45)	1980 (S55)	1990
研究の流れ	— プロセス研究 —	製品研究	プロセス研究	製品研究	
日本鉄鋼業の技術課題 () は分析分野の技術課題	導入技術の消化、吸収 (介在物分析、機器分析) 操業の安定 (迅速化学分析)	新製品開発 (析出物分析) 生産性向上、合理化 (迅速機器分析、精度向上)	環境問題 (環境分析) 省エネルギー (CC中心偏析、組織制御)	高級化、多様化 (微細析出相分析、表面分析 および微細構造解析) 弾力的生産(分析システム、 オンライン分析) 新規分野 (対象拡大、極微量分析、 社外分析)	
周辺技術の発展、普及	真空管 トランジスター 光電管 分光器 RI	IC コンピューター 分光結晶 電子(イオン)ビーム プラズマ	LSI マイクロコンピューター 高真空 電子分光 EDX	画像処理 光ファイバー ロボット SOR	
分光・解析技術の流れ	— 化学分析の確立 —	← 機器分析の導入 →	化学分析の迅速、高精度、高感度 ← 機器分析の高性能、システム化 → ← 高度解析機器の導入、活用 →	← 対象の拡大 →	

最新の真空型スパーク放電発光分光分析装置や蛍光X線分析装置を米国から導入したり国産化にも努め、試料採取法での工夫も重ねて実用化して10数元素同時定量を数分間で行えるようにしました。少し遅れて原子吸光分析法も導入され、簡便で精度が良いため吸光光度法に代わって普及し、またX線マイクロアナライザーの導入は鉄鋼材料の微小領域解析の嚆矢です。この時代はエレクトロニクス発展に裏づけられた「機器分析の時代」であり、鉄鋼各社の分析技術者が共同研究会分析部会に集い、協力しながら切磋琢磨していった時代です。

1970年代には日本は自由世界第一の鉄鋼製造国となりましたが、環境やエネルギー問題から成熟期に入ります。

分析分野でも環境分析に力を注ぎ、誘導結合プラズマ発光分光分析法を導入し、化学分析の合理化に役立てました。連続鋳造比率の拡大や鋼材の高品質化が進展する中で、スパーク発光分光分析法におけるパルス強度分布解析法など日本独自の開発成果も現れました（後述）。鉄鋼材料の表面や結晶粒界での微小領域の化学組成や構造を解析するための物理的解析技術が導入され、成果をあげ始めます。この時代の特徴は分析機器にコンピューターがつけられ、自動化や情報処理に威力を発揮し、全体としてシステム化を推進した「分析システム化の時代」で分析技術者の数が最も多い時代でした。

1980年代後半から日本鉄鋼業も将来の姿を模索して、既存の鉄事業の抜本的合理化、新しい鋼材の研究開発、新規事業への進出を積極的に行いました。分析分野もこの3方向に対応した新技術を導入し多様化していった時代です。合理化では製鉄所における分析室の自動化による人員削減に力を入れ、さらに無人化やオンライン分析化でも世界の最先端を走っています（後述）。新しい鋼材では高機能自動車用鋼板の開発などが進められ、極微量分析法や材料解析のための新手法の研究開発によって貢献しました。新規事業、例えばシリコンウエファ製造事業、ファインセラミックスや炭素繊維などの新素材事業では材料の表面分析、不純物の超微量分析、ナノ領域での結晶構造解析などで新しい解析技術に積極的に取り組み、これらの事業の定着に大いに貢献しています。また、分析分野自身でも社外からの受託事業を始め、これまでに培った技術を活用し研究支援産業の一端を担うようになりました。現在の分析技術は多様化した対象に多様な手法を駆使し、材料科学を構成する「解析科学の時代」にあります。分析技術者は大学、研究機関、他産業と共同研究や交流を積極的に行う時代となり、また国際化では1981年にISO TC17/SC1（鉄鋼分析）の事務局を日本が引き受けるなど指導的役割を果たすようにもなりました。

3 技術開発の具体例

これ迄に私が関係した技術開発の例でもう少し具体的に説明したいと思います。

3.1 発光分光分析におけるPDA法の開発

1970年代、転炉—連铸の高稼働率の確保や析出強化型高張力鋼の開発のために分析精度の大幅な向上やsol Al定量の迅速化が強く要請されましたが、従来の発光分光分析法では対応できなかったため抜本的な技術開発が必要となりました。鋼試料中化学成分の存在状態（例えば、固溶や酸化物の状態で存在するAl）とスパーク放電の発光挙動との関係を基本的に解明し、一方ではミリ秒での測定技術とコンピューターによるデータ処理技術との組合せによって、まったく新しいPDA法（パルス強度分布解析法）による発光分光分析技術を確立して目的を達成することができました³⁾。

この成功の原因には、強いニーズ、製鉄所と装置メーカーとの組合せ、冶金と分光学的知結の結合、発展途上にあったコンピューターの活用、数年間にわたる根気などが考えられます。

3.2 溶鋼中Mnの直接分析法の開発

製鋼でのコスト低減策の一つとして、1980年代後半からMnの添加を合金鉄でなくマンガニ石を利用するようになり、転炉操業管理に迅速なMn定量値が必要となりました。この頃製鋼研究分野で火点の観察に光ファイバーを使用する試みがあり、これを分析にも利用できないかとの提案があり実験が始まりました。実験室のテストで分析応用への目途がたち、実際の転炉に図1の装置を設置し現場実験を行いました。火点からの発光を吹錬用ランスに内蔵した光ファイバーで分光器に送り、MnとFeの発光強度をデータ処理して溶鋼中Mn含有率を15秒間隔で連続測定する技術を世界で初めて開発できました^{4), 5)}。この事例では、溶鋼の直接分析法の研究で永年の経験、製鋼側の提案に半

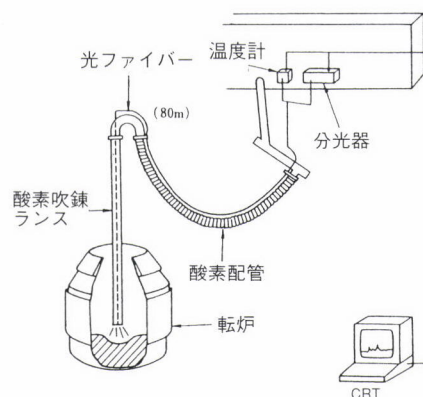


図1 火点スペクトル測定による溶鋼中Mn直接分析法

信半疑ながらも対応した、実炉での多くの実験と分析技術の理論的裏づけ、などが成功の原因のように思います。

3.3 分析の省力化技術の開発

分析分野におけるコスト低減では化学分析の機器分析化や自動化による省力化、無人化に各所とも力を入れ、共同研究会分析部会での情報交換や見学を参考にしながら自所に最適の技術開発をしてきました。1980年代の生産性の向上は表2に示すように相当大きいものです⁶⁾。

表2 事業所における分析部門の労働生産性の推移（注）

	1982年	1992年
一貫製鉄所（高炉）		
分析負荷〔粗鋼100t当たり試料数〕	14	12
分析部門の人数	80	53
労働生産性	537	818
〔一人・1月当たり試料数〕		
	(100%)	(152%)
製鋼所（電炉）		
分析負荷〔粗鋼100t当たり試料数〕	91	70
分析部門の人数	23	18
労働生産性	560	820
〔一人・1月当たりの試料数〕		
	(100%)	(152%)

（注）日本鉄鋼協会鉄鋼分析部会の調査結果をもとに算出

4 日本の鉄鋼分析技術の特徴

日本の製鉄技術は世界一ですが分析技術はどうでしょうか。鉄鋼分析に関して発表された技術論文の数量と内容について日本の特徴を調べますと、表3に示すように日本の寄与が最近では約34%に増加していることが分かります⁶⁾。論文の内容では、発光分光分析法の高度化や炭素、酸素定量法の高感度化およびICP質量分析など極微量分析法の改善が多く、最も特徴的なものは起電力法や分光法による溶銅直接分析法の研究開発とその実用化で日本の論文が全体の2/3を占めています。一方で、元素分析技術の基幹をなす化学分析法や原子吸光法での論文が少なくなり、日本も欧米の鉄鋼先進国の仲間入りをしたようで今後の懸念材料でもあります。

日本の分析研究組織が元素・状態分析法の研究だけでなく、表面分析法、ナノ領域構造解析法、有機分析法の研究や材料の総合的キャラクタリゼーションを行える体制を持っていることも特徴です。鉄鋼分析の研究開発活動は、日本では各社の研究部門や製鉄所を中心に一部の大学や国立研究機関でも行われ、その上に本会や日本学術振興会などの共同研究もあり活発ですが、欧州では各社単独での研究は減りEC委員会からの援助による研究や共同研究が多く、米国や旧ソ連からの研究発表が激減しアジアに中心が移る予感があります。

表3 鉄鋼分析に関する技術論文で日本の寄与（1990-1991年）

分析方法		論文数		寄与 ^(注)
		世界	日本	
原子吸光分析		31	5	—
発光分光分析	スパーク放電	14	6	◎
	ICP発光	28	9	○
	グロー放電	28	9	○
蛍光X線分析		32	9	—
質量分析		18	8	◎
加熱抽出分析 (C、S、O、N、H)		12	5	◎
化学分析		13	2	—
介在物・析出物分析		15	3	—
表面分析		24	8	○
溶銅直接分析	分光分析	14	11	◎
	ガス抽出	6	3	◎
	電気化学	24	16	◎
その他		59	14	—
合 計		318	108 (34%)	○

注) ◎：40%以上 ○：30～40%

5 おわりに——21世紀にむけて

あと数年で21世紀です。これ迄とは異なった視点、即ち「生活者・生命の重視」「国際化と地域主義の相克」「精神と近代合理主義の融和」などが重要になると思われます。鉄鋼業はアジアで活況を呈する時代で、技術も従来の欧米先行型とは一味違ったものになるでしょう。

鉄鋼分析における技術課題は(1)一層の高性能化——極微量と迅速化、(2)材料科学への接近——材料の本質と特性値との関係明確化、(3)分析値の信頼性向上——地球規模での普遍化と透明化、であろうと考えますが、ここでは(2)と(3)に少しふれてみます。

21世紀はアジアを中心として社会資本の充実が課題となります。都市では1,000m級超高層ビル、地方ではメンテナンスフリーの長大橋など、高強度、高剛性、高耐食性の鋼材開発のためにはメゾスコピックレベルでの構造制御が必要となり、分析は原子・分子レベルの要素還元解析技術だけでなく、原子・分子が数千から数百万個のレベルの要素集成的解析技術をも発展させることが課題となります。

社会が安心して使える鋼材の供給、生活における数値情報の多様化、機器分析の増加とブラックボックス化、分析データの国際的流通、などから分析値の信頼性を第三者に分かる形で保証する体制の確立が必要です。このためには分析方法の標準化だけでは不十分で、図2に示すように標準物質の認証や分析所の認定の体制も必要となり現在国際的に検討されていますが、日本の積極的な貢献が期待されています。

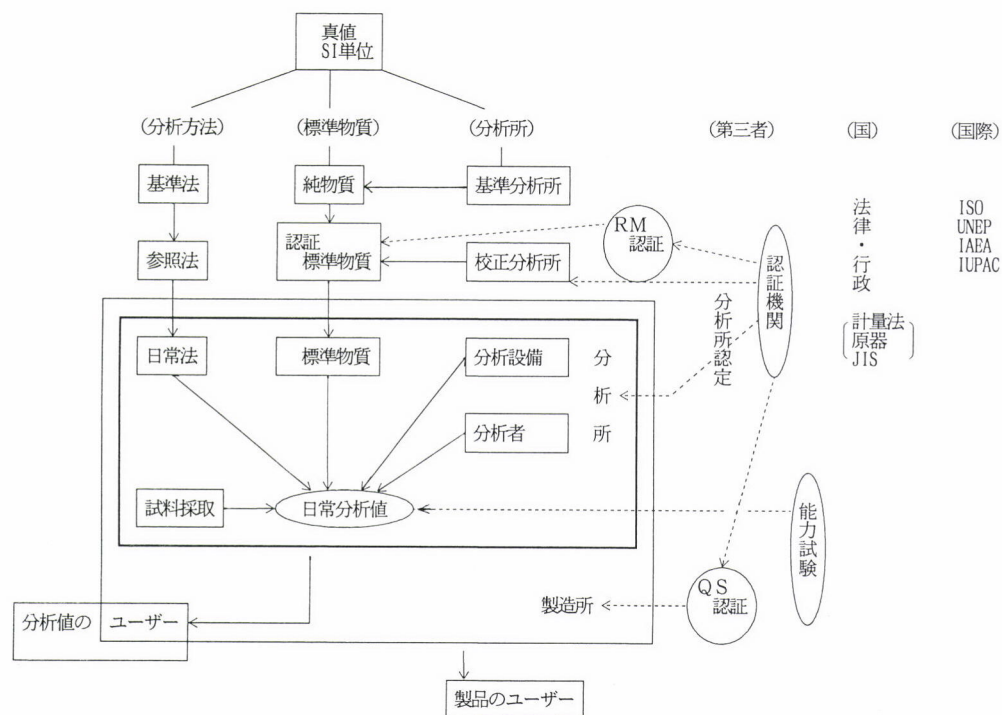


図2 分析値の信頼性確保のための仕組み

鉄鋼分析分野は今後も多くの課題を抱え、少ない技術者で対応するためには大学・研究機関、他産業との共同活動や外国との連携を従来より強固に進め、新しい鉄の世紀を拓く先鋒としての役割を果たすことを期待します。

引用文献

- 1) ルードウィヒ・ベック著, 中澤護人訳: 「鉄の歴史」第4巻第1分冊, p.5, たたら書房
- 2) 佐伯正夫: 鉄と銅, 77 (1991), p.1734
- 3) 小野寺政昭, 佐伯正夫, 西坂孝一, 坂田忠義, 小野準一, 福井勲, 今村直樹: 鉄と銅, 60 (1974), p.2002
- 4) 千葉光一, 小野昭紘, 佐伯正夫, 大野剛正: 分析化学, 37 (1988), p.365
- 5) 大野剛正, 千葉光一, 小野昭紘, 佐伯正夫, 山内雅夫, 金本通隆: 鉄と銅, 77 (1991), p.805
- 6) 佐伯正夫: 鉄と銅, 81 (1995), p.424
(本原稿は、1995年度浅田賞受賞記念講演, 1996年3月26日受付)

大同鋼板(株) 常務取締役

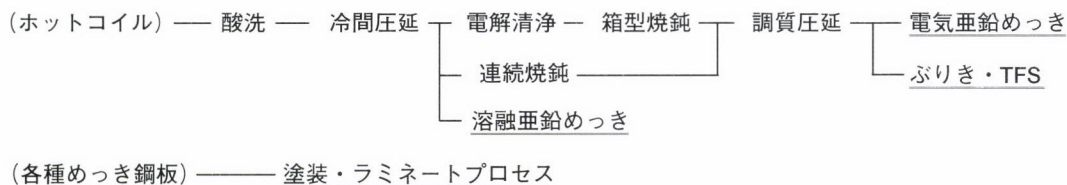
Takashi Hada

1 はじめに

2 製造工程とプロセスの共通事項

図2¹⁾に新鋭の溶融亜鉛めっきラインを示す。高速度で、連続的に銅板を処理する機能を持っているが、これらの連続ラインで共通な構成要素としては入側設備、出側設備、ストリップ駆動設備およびプロセス管理システムなどが揚げられる。

品 種	主 な 用 途	製 造 方 法
亜鉛めっき鋼板	建築、自動車、家電	溶融、電気、蒸着
合金化溶融亜鉛めっき鋼板	自動車、家電、建築	溶融
亜鉛系合金電気めっき鋼板	自動車	電気
Al-Zn合金溶融めっき鋼板	建築	溶融
アルミめっき鋼板	自動車、建築	溶融
ターン合金めっき鋼板	自動車	溶融、(電気)
コイル塗装鋼板	建築、家電	塗装
樹脂ラミネート鋼板	建築、家電、容器	ラミネート
ぶりき	容器 (缶詰)	電気、(溶融)
ティンフリースティール	容器	電気



543

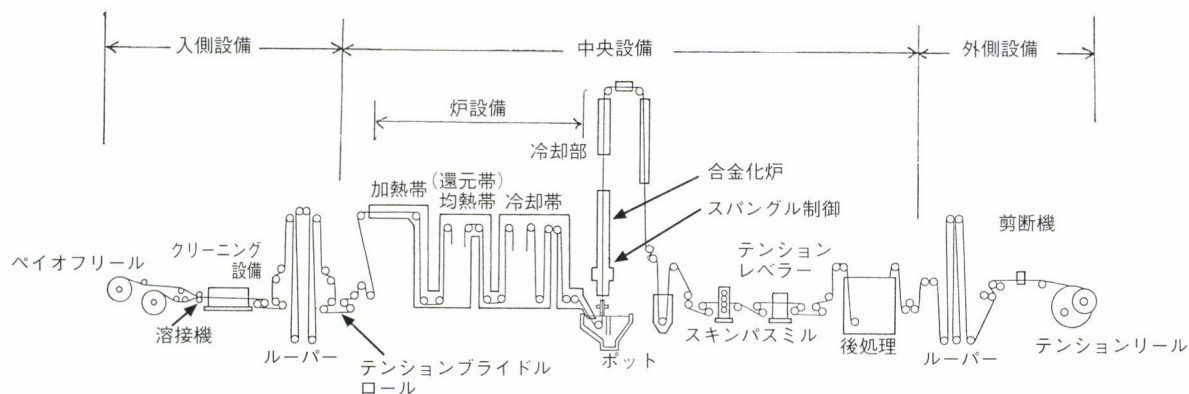


図2 溶融亜鉛めっきライン

入側設備は、中央の処理設備にストリップを供給するために必要な設備で、一對のペイオフリール、接続用の溶接機、ストリップを一時的に蓄えるルーパー設備などで構成される。一本のコイルの処理が終わり、次のコイルの処理に入るとき、ラインを停止して新しいコイル挿入しなければならないが、これら一連の設備は中央の処理設備を停止することなく、またスピードを変えることなく、次々とコイルを供給し、ストリップを送り続けるために、工夫されたものである。

出側設備は、入側設備と同じく、中央の処理設備を止めることなく、処理の終わったストリップを必要な大きさのコイルに巻取るためのもので、ルーパー設備、剪断機、一對のテンションリールで構成されるのが普通である。品質保証のための外観検査、各種の特性を測定するためのサンプル鋼板採取もこのセクションで行われる。最新鋭のラインでは、入側設備はコイルの挿入から溶接後の再スタートまで、出側設備は出側停止から製品コイルおよびサンプルの採取まで全自動化されたものが多い。

3 溶融亜鉛めっきプロセス

わが国は勿論、全世界でも一番多く設置されているのが溶融亜鉛めっきラインである。近代的なラインの原形は、1931年ポーランドのT.Sendzimirがガスクリーニングと焼鈍をインラインで行う画期的な連続溶融亜鉛めっき法を考案し²⁾ 1936年Armco社が実用化したArmco-Sendzimir法と呼ばれるものである。

日本では1953年八幡製鐵所で稼働したのが最初の設備で、現在、日本で稼働しているのはおよそ50ライン位である。需要の増加にともなってライン数は増加してきたが、1989年頃から爆発的に新しい高性能のラインが、主に自動車産業の需要に応えるため建設され、現在の姿になった。ラインの規模は様々であるが、月産能力8千トン位から多いものでは4万トンに及ぶものがある。

溶融亜鉛めっきラインで処理する鋼板の厚みは0.27～

1.6mm位が標準的であるが、6mm位まで処理可能なラインもある。板幅は通常最大1250mm位であるが、自動車向けには1800mmを超えるものもある。ライン速度は溶融めっきの場合、実用上180m/min.が最大といわれている。

図2の中央設備が溶融亜鉛めっきラインの主要部分で、クリーニング設備、加熱帯、均熱帯および冷却帯からなる炉設備、溶融亜鉛浴（ポット）を含むめっき設備、スパンゲルを制御する冷却部、合金化処理炉、後処理設備などで構成される。

一般に金属をめっきするには金属原子が互いに近づき金属接触を得るまで、被めっき金属の表面を清浄にすることが必要である。溶融めっきでは、前述のように、冷間圧延後の、鉄粉や圧延油が多量に付着した鋼板を直接使用するため、これらを除去するとともに、鋼板表面の薄い酸化物も除去しなければならない。

従来の典型的なラインでは、炉設備の前半部に設置された無酸化炉と呼ばれる炉内で急速にストリップを600℃位迄加熱して、圧延油などの油分を分解除去し、その後炉設備中央部の還元帯で鋼板表面や鉄粉の酸化物を、720℃前後の温度で、炉内の雰囲気として送られている水素／窒素の混合気体によって還元し、めっきに適した清浄な表面を得ている。その後、ストリップは冷却帯に入り、溶融亜鉛の温度近傍まで冷却される。前述の通り、亜鉛めっきの場合、このセクションは焼鈍設備としての機能も兼ねているため、焼鈍に必要な温度と時間をとる必要がある。

亜鉛めっき鋼板に要求される品質の高度化にともなって、炉設備に入る前にアルカリ洗浄設備を設置したり、無酸化炉に替わって、ダイレクトフレーム加熱炉、ラジアントチューブ加熱炉など完全な無酸化雰囲気で加熱出来る炉の設置も行われてきた。炉の形式も、水平式から図2に示すような、張力の制御が容易な垂直式に変化してきた。

冷却帯から出てきたストリップは約460℃の溶融した亜鉛を入れたポットに導かれめっきされる。図3はポット周りの機器を示したものである。付着量の制御は、通常スリットノズルから気体ジェットを吹き付ける気体絞り法と呼ばれる

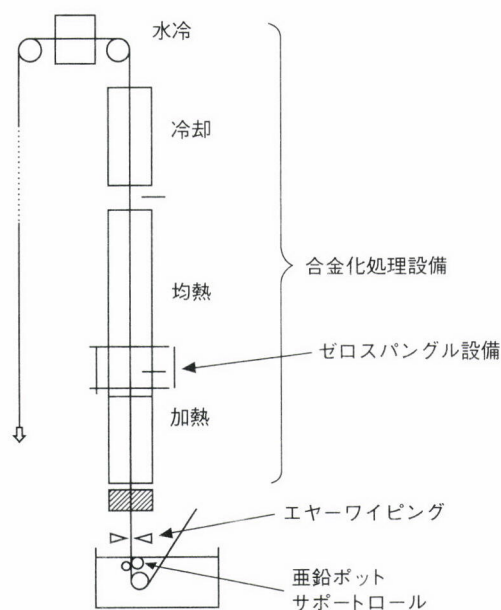


図3 ポット周辺機器

方法で行われる。即ち、気体の圧力を変化させることで、目的の付着量を得る。付着量は通常片面45～150g/m²である。

均一な付着量の分布を得るためには、ノズル部でのストリップの振動や板の反りを防ぐことが重要であり、様々な工夫が成されているが、図3中のサポートロールもその一つである。いま一つ、ポット部分で大切なことは、熔融垂鉛中のアルミの含有量で、加工性の良い垂鉛めっきを得るためには0.2%程度が必要である。

ポットから出たストリップをそのまま空気中で冷却すると表面の垂鉛は花が咲いたような、いわゆるスバングル模様の付いた状態で凝固する。この外観は従来から垂鉛鉄板を代表するものであったが、表面の平滑さを要求する塗装鋼板の用途には不向きである。このため、垂鉛が凝固をし始める直前で、凝固の核となるTiコロイド水溶液などを表面にスプレーし凝固する垂鉛の結晶粒を肉眼では見えない位に微小化するゼロスバングル技術が開発された。

充分冷却されたストリップは次の工程のスキンプスミルとテンションレベラーに入る。目的は表面の外観調整、調質および鋼板の平坦度の確保である。近年のラインでは、伸び率制御の可能な4－ハイスキンプスミルと大きな張力が与えられ、平坦度矯正機能の優れたテンションレベラーが標準的に装備されている。

家電・建材用途には、後処理としてクロメート処理が施される。裸で使用されるときに結露による白錆発生を防止する効果と、塗装したときの耐食性を高める効果がある。基本的にはクロム酸を主体とした水溶液に浸漬し、クロメート皮膜を形成させる。この反応は垂鉛の溶解とともにCr⁶⁺イオンが還元されてCr³⁺を主体とする皮膜が析出することが基本であるが、皮膜の耐食性を補強するためにシリ

カコロイドや水溶性樹脂を添加する場合がある。また垂鉛の溶解反応に依らずストリップを陰極に電解でこの反応を起こさせる方法もとられる。最近、被膜の付着量制御の容易なロールコート法による塗布型クロメートの適用が増加してきた。なお電解処理法、ロールコート法については後の項で説明する。

合金化熔融垂鉛めっき鋼板はめっき直後、470℃程度に鋼板を加熱し、素地鋼板からFeをめっき表面まで拡散させ、めっき層中のFeを10%程度に合金化させたもので、塗装後の耐食性や溶接性の良いことから、急速に伸びてきた製品である。

合金化処理を行うには、垂鉛浴から出た直上に設置された縦型の合金化処理炉で加熱する。(図3参照) 従来はガス焚きの直火バーナー炉が用いられていたが、温度制御性の優れた高周波加熱炉を装備するラインも多く見られる。

自動車の外板用にも適用できる深絞り性などの加工に耐えるめっき層を得るために、浴中アルミ量の制御、合金化の程度を測定するセンサーの設置、冷却法の改善など、様々な設備上の工夫がみられる。

耐食性の良い5%Al-Zn、55%Al-Znなどの垂鉛－アルミ系合金めっきが、1980年代半ば頃から急速に伸びてきた。これらの製品は、基本的には熔融垂鉛めっきラインのポットに各々の溶融合金を投入して製造される。

5%Al-Znめっきは、この合金に少量のMgやミッシュメタルが添加されているが、融点も純垂鉛とさほど変わらないため、溶融合金を入れ替える操作で製造が可能であり、現実にも多くのラインが1つのポットで両品種を製造している。55%Al-Zn-1.6%Siは1965年、Bethlehem Steelによって開発された。合金自身の融点が560℃と高く、1つのラインの中に、各々専用のポットを備えることが必要である。またポット上での冷却速度を早くするなど、垂鉛めっきの製造技術と異なる点もあるが、基本的な製造技術は熔融垂鉛めっきと同じである。

熔融アルミめっきは、耐熱性、耐食性が良いため、広く使用されている。基本技術は熔融垂鉛めっきと同様であるが、55%Al-Zn合金より、更に融点が高く、鋼板との合金化反応が速いため、約10%のSiを添加しためっきのみが、日本では製造されている。55%Al-Znと同様、1つのラインに2つのポットを設置するか、あるいは専用ラインで製造される。

現在、日本の鉄鋼業において真空蒸着めっきが実用化されているのは、日新製鋼での垂鉛めっきのみである³⁾。この技術は、熔融垂鉛めっきラインの前処理を、そのまま活用し、真空蒸着部分を新たに設置したユニークなものである。0.1Torr.程度の真空室中で、抵抗加熱で蒸発させた垂鉛をストリップに蒸着するもので、装置前後に真空シールロールを配置し、真空を確保している。真空技術、垂鉛の収率向上技術など高度な技術が採用されている。

4 電気亜鉛めっきライン

電気亜鉛めっきの製造は1940年頃、欧米で始まり、日本では1953年八幡製鐵所のボンデラインに設置されたのが最初である。1980年代までは、 $20\text{g}/\text{m}^2$ 程度の薄いめっき量の純亜鉛めっきの製造が主であったが、亜鉛-ニッケル、亜鉛-鉄などの合金めっきが開発され、自動車用の需要が急速に伸びたため、数多くの生産性の高いラインが建設された。現在、稼働しているのは25ライン程度で、生産能力は様々であるが、最大のものは4万トン/月に及ぶ。電気めっきの場合、板厚範囲は $0.4\sim 1.6\text{mm}$ が普通で、ライン速度は最大 $200\text{m}/\text{min}$ 程度である。

電気めっきの中央部は、電解クリーニングと酸洗のための前処理部から始まる。溶融亜鉛めっきの場合と異なり、処理は全て水溶液を用いて行われるが、表面の汚れを除去し、酸化膜を取り除くことは同様である。

電解クリーニング溶液は、通常、苛性ソーダ、りん酸アルカリ、珪酸塩と界面活性材とからなり、その濃度は苛性ソーダ換算で5%程度である。この溶液中で、電解で生じる気泡の発生を利用し、効果的に表面の油分や汚れを取り除く。酸洗は通常 $25\sim 40^\circ\text{C}$ に保たれた5~10%硫酸中で銅板を陽極または陰極とし、 $5\sim 30\text{A}/\text{dm}^2$ の電流密度のもとで行われ、表面の酸化物を除去する。

前処理の終わったストリップには、陰極電解により、めっき金属の析出が行われる。金属の析出はファラデーの法則に従う。従って、めっきの付着量は単位面積当たりの電流（電流密度）とストリップが電解されている時間との積で決まる。現在のわが国における亜鉛めっきでは、付着量が $20\sim 40\text{g}/\text{m}^2$ が標準であり、電流密度が $100\text{A}/\text{dm}^2$ 程度であるため、電解時間は6~12秒程度必要となる。

図4に電解処理に必要な基本構成を模式的に示した。電解液を満たした電解槽、ストリップに電流を供給する通電ロール、対極となる陽極（アノード）、電解槽に電解液を供給し、濃度、温度を均一に保つための循環系である。一つの電解槽で供給しうる電流は、通電ロールによって制約されるため、標準的なめっき量を得るためには、多数の電解槽を直列に並べることになる。

一つの電解槽で出来る限り多くの電流を流し、槽内での電流密度を均一に、且つ高く取れるよう、各種の電解槽が開発されて来た。詳細な説明は避けるが、図5に、わが国で採用されている代表的な電解槽を示した。(a)は水平にストリップを走らせ、その上下に陽極を配置し、中央から電解液を注入するもので、横型セルとも呼ばれる。(b)は縦型セルと呼ばれるタイプで、陽極が垂直に配置されている。(c)は大きな通電ロールにストリップを沿わせ、円弧状の陽極を配置し、その間に電解液を注入するもので、ラ

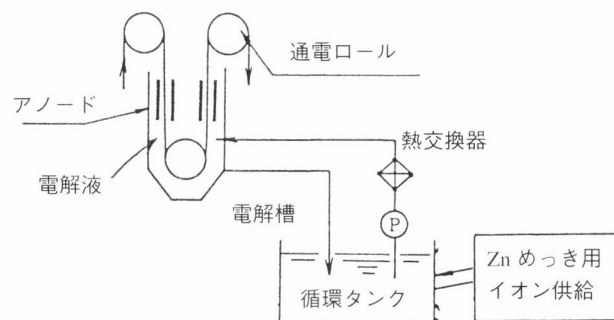


図4 電解セルと循環系

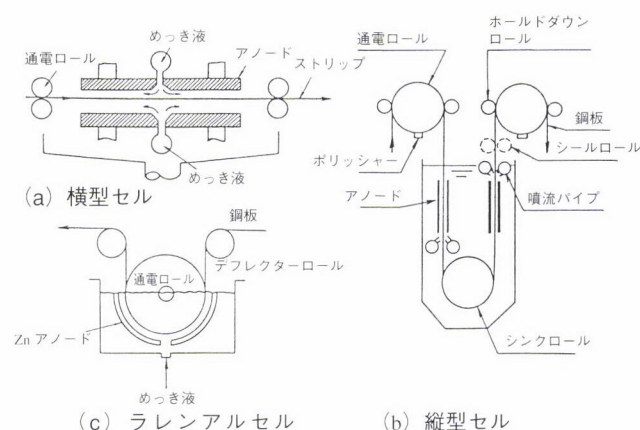


図5 各種のめっきセル

表2 電気亜鉛めっきの操業条件

	硫酸浴		塩化物浴	
溶液	$\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$	380g/l	ZnCl_2	200g/l
	Na_2SO_4	70g/l	NH_4Cl	70g/l
	その他添加物			
pH	3.0~4.0		2.0~5.0	
温度 ($^\circ\text{C}$)	55		25~65	
電流密度 (A/dm^2)	100		150	

ジアルセルとよばれる。前2者と異なり、この場合はストリップ片面のみがめっきされる。

亜鉛めっきに使用される電解液は何れも酸性浴で、アニオンに硫酸を使用した硫酸浴と塩化物浴がある。代表的な組成と電解条件を表2に示す⁹⁾。

電解が継続されると、電解液中から亜鉛イオンが持ち去られるため、これを補う必要がある。従来は、陽極に金属亜鉛を用い、陽極溶解を電解槽中で行い、亜鉛イオンの補給をしていたが、陽極挿入作業の負荷が大きいことと、消耗するに従ってストリップとの間隔が変化するなどの理由で図4に示したように、硫酸浴では別の電解液循環系を設け、ここで金属亜鉛を電解液によって溶解する方式が主流となった。後者の場合、陽極は電解で溶解しないものが必要で、鉛合金や貴金属酸化物系が使用される。

電機・建材の用途には、めっき工程の後、化成処理を行うことが多い。設備や方法は溶融亜鉛めっきと同様である。

表3 合金めっきの電解条件

	亜鉛—ニッケル系	亜鉛—鉄系
溶液	ZnSO ₄ ·7H ₂ O 300g/l NiSO ₄ ·6H ₂ O 200g/l その他添加物	ZnCl ₂ 200g/l NH ₄ Cl 240g/l
pH	3.0~4.0	2.0~5.0
温度 (°C)	55	25~65
電流密度 (A/dm ²)	100	150

わが国においては、自動車用途には純亜鉛めっき鋼板は殆ど使用されず、亜鉛—ニッケルあるいは亜鉛—鉄合金めっき鋼板が使用される。これら合金めっき鋼板の製造は、上述の電気亜鉛めっきラインで、電解液と電解条件を変更することによって行う。このため、合金めっきを製造するラインは、ラインの電解槽は共用とし、電解液の循環系を複数個装備しているのが普通である。

安定した合金組成、所定のめっき量を得る電解技術は、鉄鋼各社の機密事項のため、真の姿は捕え得ないが、公表された資料から電解液・電解条件を示すと表3の様である³⁾。電解条件をストリップ全面積について確保するため、前述のめっきセルの開発が行われ、また複数種の金属イオンをコントロールするイオン供給設備、各種のオンライン濃度計、コンピューターによる予測制御なども開発された。

5 ぶりき・ティンフリースティールライン

ぶりきは錫を鋼板にめっきしたもので、亜鉛めっきと同じく溶融めっき法と、電気めっき法で製造する方法があったが、現在では電気めっき法のみとなった。電気ぶりきの製造は1934年ドイツのRusselstein社がフェノールスルホン酸系錫めっき液を用いた連続ラインを建設したのが始まりである。

現在、電気ぶりきラインは、使用する電解液やラインの形式からアルカリラインと酸性ラインに大別され、酸性ラインはさらにフェロスタンラインとハロゲンラインに分けられる。アルカリラインでは酸性浴の2倍の電気量が必要

で、世界的にライン数は少ない。

フェロスタンラインはU.S.Steel社によって開発され、フェノールスルホン酸錫を用い、世界の電気ぶりきの半数以上を占める。ハロゲンラインはdu Pont社とWeirton Steel社とによって共同開発され、ハロゲン化錫を用い、高電流密度操業が可能で、パスラインが水平であること等から高速ラインが多い。

わが国ではアルカリラインはなく、図6に示す酸性系のラインのみが稼働している。フェロスタンラインは縦型の、ハロゲンラインは横型のセル形式を採用している。

わが国で稼働しているラインは13連で、設備諸元は亜鉛めっきの場合と異なり、板厚範囲は0.15~0.4mmと薄く、板幅は最大1000mm程度と狭いのが普通である。めっき量が平均して5g/m²程度と薄いために、高速度のラインが多く、最大は600m/min.を超えるものがある。

いずれの形式も、入側設備のルーパから出たストリップは、電解クリーニングと酸洗のための前処理部に入るのは電気亜鉛めっきと同様である。

めっき設備はフェロスタンラインでは、電解槽は図5 (b)に近い形式であり、ハロゲンラインでは図6に示すような片面のみをめっきする横型の電解槽を用いる。両ラインの典型的な電解液組成と作業条件を表4⁴⁾に示す。電気亜鉛めっきに比べて、電流密度の低いことが解る。

通常、陽極には金属錫が用いられるが、フェロスタンラインでは電気亜鉛めっきと同様に、不溶解性の白金めっきを施したチタンを陽極とし、錫イオンの供給を別系統で行うラインも一般的になってきた。

電気めっき後の錫層は、加熱溶融（リフロー）され光沢表面となり、同時に鉄—錫界面に合金層が形成され、耐食性が向上する。このリフロー処理は、縦型の炉で行われ、加熱は抵抗加熱か、高周波誘導加熱で行われる。抵抗加熱では2本の通電ロールを通じて、ストリップに100~200Vの交流を流して加熱する。誘導加熱では、垂直に配置され

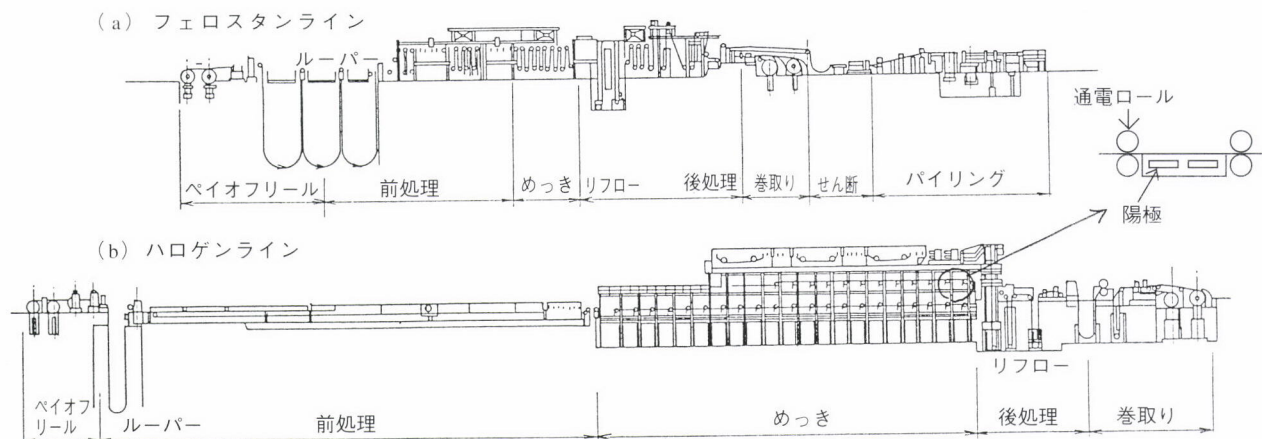


図6 フェロスタンラインとハロゲンライン

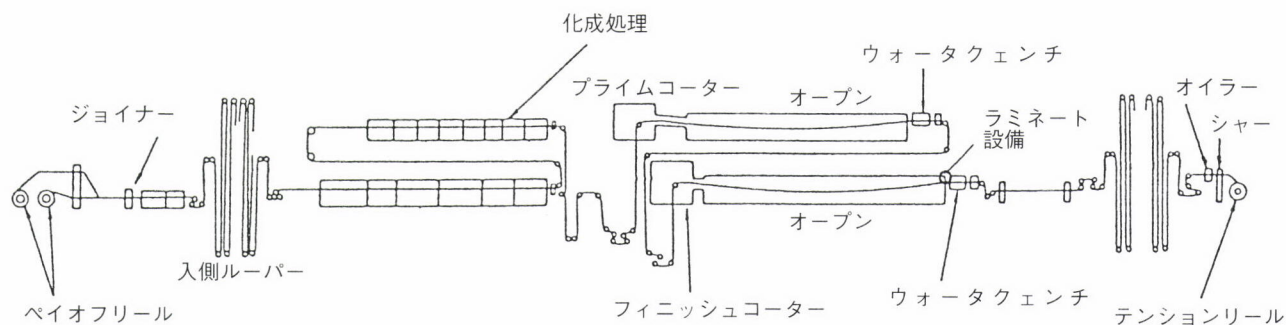


図7 塗装ライン全体図

た高周波コイルの間にストリップを通し、100～200kHzの高周波を送り加熱する。

リフローされたぶりのき表面には錫酸化物層が、形成されているが、これは長期保存時の黄色変色や、塗料の密着不良の原因となる。このため、後処理として、重クロム酸ソーダやクロム酸の水溶液に浸漬するか、または電解処理をし、表面の錫酸化物を除去し水和酸化クロム層を形成させる。一般には、pH3～5の30g/lの重クロム酸溶液中で4c/dm²の電解を行う。その後、表面に片面当たり2.5～5mg/m²のDOS (dioctyl sebacate) などの潤滑油を静電塗油し、ぶりは完成する。

TFSは1950年代後半、わが国で開発された容器用材料であり、被膜は金属クロム層と水和クロム酸化物層からなる。塗料との密着性に優れ、広く使用されてきたが、近年後に述べるストレッチドロー缶用の素材として、再びその真価を発揮してきた。

TFS製造ラインの構成は、ぶりのフェロスタンラインとほぼ同じで、アルカリ洗浄、硫酸酸洗、めっき処理、乾燥、塗油の装置からなっており、リフロー処理部はない。

ぶりと異なるところはめっき処理部のみで、他の設備は全く同じである。めっき処理部は1液法と2液法と呼ばれる2つの方法があるが、形成される被膜は、浴組成、浴濃度、温度、電流密度、処理時間などによって変化するので、これらの因子を組み合わせて被膜を制御しているが、出来た製品の品質は同等である。

1液法では金属クロムの析出と水和クロム酸化物の析出を同一のめっきタンクの中で、行わせるのに対して、2液法では、各々の析出を水洗を挟んだ処理タンクの中で行っている点異なる。何れの方法でもフェロスタン型の縦型の電解槽が使用されている。

表4 ぶりのき電解条件

	フェロスタン	ハロゲン
溶液	フェノール	15g/l
	スルホン酸	75g/l
	サルフォン	25g/l
	Sn ²⁺	50g/l
	その他添加物	45g/l
温度 (°C)	40～50	55
電流密度 (A/dm ²)	30～35	45～50

6 塗装・樹脂ラミネートライン

本項では、建材・家電用の塗装ラインと最近になって開発された容器用の樹脂ラミネートラインを紹介する。建材用のラミネート鋼板を製造する装置は前者の塗装ラインに併設されていることが多く、樹脂ラミネート専用のラインは少ない。

建材系の塗装鋼板は、1954年に、わが国で始めて切板方式で着色亜鉛鉄板が生産されたが、本格的な連続式で塗装されるようになったのは1964年のことであり、現在では50基が稼働している。母材の鋼板としては、溶融亜鉛めっき鋼板、亜鉛-アルミ系合金めっき鋼板、合金化溶融亜鉛めっき鋼板、電気亜鉛めっき鋼板などが主として用いられ、塗料の密着性を確保するための化成処理、下地塗装後仕上げ塗装されるのが一般的である。

典型的な塗装プロセスを図7に示す。ラインの入出側設備は、他の表面処理ラインと殆ど変わらず、中央設備で上記の順に処理されていく。脱脂されたストリップは、塗膜の密着性と耐食性を付与する目的で、化成処理が施される。通常、化成処理としてりん酸亜鉛処理かクロメート処理が行われるが、近年、亜鉛-アルミ系合金めっき鋼板の増加に伴って、ロールコート法によるクロメート処理が主流になりつつある。りん酸亜鉛処理は浸漬法あるいはスプレー法で、クロメート処理は浸漬法、スプレー法、ロールコート法で処理される。

次いで、ストリップは塗装工程に入る。多くは2コート2ベークと称される下塗（プライマー）後、焼付けを行い、更に、上塗（トップコート）し、焼付けを行う。高級な塗装鋼板の場合は、更にもう一層塗装、焼付けを行う3コート3ベークの工程が採られる。

塗料の塗布は以下に述べるような各種の方法がある。最も多用されているのは、ロールコート法であり、150m/min程度までの高速塗装、表裏同時塗装が可能で、かつ膜厚調節が容易である。図8に示すように2ロール方式と3ロール方式があり、何れもバックアップロールに巻付いたストリップにアPLICエーターロールで塗料を塗付する。アPLICエ

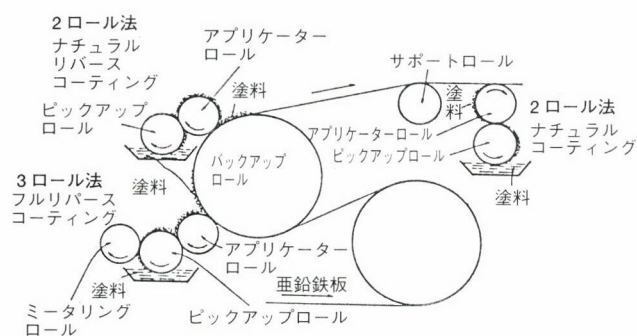


図8 ロールコーター概略図

ーターロールへの塗料の供給は塗料の入れたパンに直接接触しているピックアップロールから行う。アプリケーターロールがストリップの運動方向と同一の方向に回転するナチュラコート方式と反対方向に回転するリバーコート方式に分けられる。塗装面のロール目をなくして平滑な塗膜を得るには、3ロールのリバーコート方式が良く、また一般的である。

他の塗装法として、塗料をスリットから薄いフィルム状に落とし、その下を被塗物が一定速度で移動することによって塗装される方法がある。カーテンフローコート法と呼ばれる方法で、スリットの幅、塗料の粘度、被塗物の速度によって膜厚を調整する。ロールコート法のようにロール目を生じることなく、平滑な塗装面が得られるので、意匠性塗装鋼板の製造に切板方式で採用されている。この方法を連続プロセスに適用できるように開発されたのがローラーカーテンフローコート法で、わが国では家電向け専用の塗装鋼板ラインに一基採用されているのみである。

塗装された塗料は乾燥・硬化される。塗装鋼板の製造プロセスでは、主に熱硬化法が、また一部には電子線硬化法が採用されている。

最も一般的な熱硬化法は、建材・家電用途に使用されるポリエステル樹脂、ふっ素樹脂を始めとする塗料に適用されている。設備としては、両面に塗料が塗られているため、硬化途中でストリップを支えることが出来ないため、図7に示すように炉の両端でストリップを支え、熱風を吹き付けるカタナリーオープンが多く使われている。このため、スパンの限界は85m位である。塗料によって、硬化の時間や温度は異なるが、ストリップ温度で200～250℃、15秒～2分が一般的である。高速ラインでは空気圧でストリップを支える、硬化時間の短縮が可能なフロターオープンも採用されている。

高周波誘導加熱を利用してストリップを加熱し、塗料を硬化する方法も採用されたが、例は少ない。いずれの加熱法でも炉の出側でストリップの温度は最高に達し、その後、水冷されて、塗装は終了する。

塗料は、適当な粘度を有する液体であり、塗装することによって樹脂被膜を得る方法であるが、塗料化の困難な樹脂を

あらかじめフィルム状にしたものを貼合するのがラミネートである。ポリ塩化ビニル、アクリル樹脂、あるいはこれらを2層にしたフィルムなどが利用され、塗装では得られない厚膜にし、意匠性の確保や耐食性の向上のために行われる。

いずれも熱可塑性の樹脂であり、図7に示した箇所、即ちオープン出側で、予め接着剤を塗布し、炉で余熱されたストリップ上にロールで圧着され、水中にて急冷される。一般的には、接着性を良くするため、塗装工程前半で、アクリル系やエポキシ系のプライマーが塗布される。この方法は熱接着法と呼ばれて、多く採用されている。

1993年、東洋製罐と東洋銅板によってTFSにポリエチレンテレフタレート樹脂（PET）フィルムをラミネートした銅板を使用したストレッチドロー缶が共同開発された。この素材を専用に製造する設備は建材用のラミネート設備と全く異なり、両面を同時に約20 μ mの樹脂を垂直パスでラミネートするもので、現在4基が稼働している。

ラインの詳細については公表されていないが、特許あるいは発表された資料⁸⁾によると、強度の加工に耐える2軸配向PETフィルムを接着剤なしにラミネートすることが、特徴である。PETの融点以上に加熱したTFSに樹脂フィルムをラミネートし、急冷することによって、界面近傍のみ接着性の優れた無定形のPET層としたもので、2層構造を作り出している。高速度で精密な温度、入熱制御を行うためには、従来にない高度な技術が駆使されていると想像される。

7 おわりに

表面処理のプロセスは、時代の要請に従って発展し、鉄鋼業の中でも重要な位置を占めるに至った。ここでは、いわゆる表面処理鋼板の製造技術の基本的なプロセスについてのみ紹介するに留まった。この他にも数多くの処理技術があり、また需要の多用化によって更に新しいプロセスも発展しようとしている。多岐にわたる分野の知識が盛り込まれている表面処理プロセスを理解する一助になれば幸である。

参考文献

- 1) 広野忠夫, 他: 鉄と鋼, 72(1986), S439
- 2) T.Sendzimir: U.S.Patent 2,110,893, (1938)
- 3) 前田正恭, 他: 鉄と鋼, 73(1987), S445
- 4) 鋼材製造法, 第2巻, 日本鉄鋼協会編, p.284
- 5) 三吉康彦, 他: 表面技術, 第4巻, (1993), p.114
- 6) 鉄鋼便覧Ⅳ, 日本鉄鋼協会編, p.408
- 7) 鋼材製造法, 第2巻, 日本鉄鋼協会編, p.288
- 8) 乾恒夫, 他: 鉄と鋼, 72(1986), p.1189

(1996年4月30日受付)

現場技術報告

ホットストリップエッジ部材質制御技術

Control Technology for Duplex Grain Structure at Edge of Hot Strip

新日本製鐵 (株) 大分製鐵所

中本武広・野口浩嗣*

大分技術研究部 土師純治

1. 緒言

熱延仕上圧延においてストリップ・エッジ部はセンター部より低い温度で圧延される為、フェライト粗大粒と整粒との2層からなる混粒組織が発生しやすく、これは鋼板の延性を低下させ冷延工程での形状悪化及び機械加工時の耳割れを引き起こす原因となっている。

大分製鐵所連熱工場では他の国内熱延ミルと同様、混粒対策としてエッジヒーターを設置しているが、大分の特徴として高加速圧延を実施している為、コイル内での仕上出側温度履歴は大きく異なっており、これに伴いフェライト変態点もコイル内で変動しコイル内一定の温度基準設定では不十分であった。この対応策としてコイル全長に亘りフェライト変態を考慮した混粒発生予測モデルを開発しオンライン制御への適用を試みた。

2. 設備概要

Table 1、Fig.1 にエッジヒーターの設備仕様及び概略図を示す。インダクターは周辺設備保護の観点(漏れ磁束による周辺設備の加熱防止)から4脚鉄芯補極付を採用した。

3. 混粒発生予測モデル

3.1 混粒発生予測モデルの基本的な考え方

混粒組織表層部の粗大粒は圧延温度が低い場合、仕上圧延中にフェライト変態が開始し加工されたフェライトが冷却・巻取の過程で異常粒成長を起こし粗大化したものと考えられており、混粒発生の予測にはフェライト変態を精度良く計算出来ることが重要である。Fig.2 は変態潜伏期消費の考え方を示しており、一般的に炭素鋼は A_{e3} 以下の温度に急冷してその温度で保持するとある潜伏期を経過したあと α 変態を開始する。一定温度の場合は一定時間(変態潜伏期)を経過することで変態するが、図中のように材料の冷却が進行する場合は冷却曲線に沿って変態潜伏期消費率を求め、総和が1になった温度(A_{r3})により変態開始とする。

混粒発生予測モデルにおいても上記考え方にに基づき計算を行うが、変態潜伏期は成分・温度等のファクターにより算出され、変態潜伏期消費率 R_F は(1)式により算出する。

$$R_F = \Delta t_1 / \tau_{F1} \quad (1)$$

Δt_1 : A_{e3} 以下での微小時間(sec)

τ_{F1} : α 変態潜伏期(sec)

Fig.3 は混粒発生予測モデルの計算フローを示しており、材料の温度が A_{e3} 以下になると α 変態の潜伏期の消費が開始され、消費

Table1. Specification.

Item	Specification
Inverter-Power	2500KW × 2 set - 500Hz
Inducter-Power	1100KW × 4 set
Inducter-Type	Transverse flux type
Inducter-Size	L 730 × W 265 × H 600mm
Accept Bar-Size	Gauge 20 ~ 50mm Width 600 ~ 2150mm
Control System	Main : PC200 *1 Sub : MELSEC *2

*1 Programmable Controller, *2 Sequencer

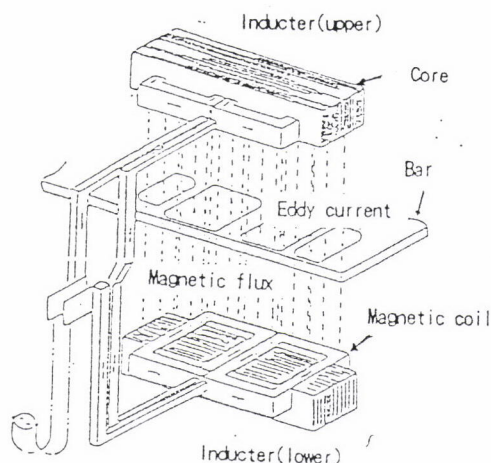


Fig.1. Partial figure of the Edge-Heater.

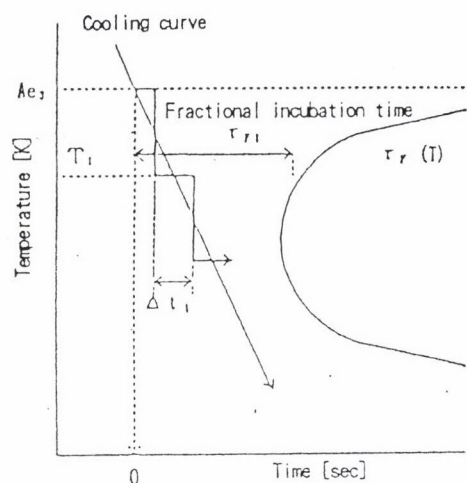


Fig.2. Consumption of fractional incubation time.

率が1になると α 変態を開始して変態率を計算する。変態率計算には γ 粒再結晶、粒成長の計算を行い、圧延温度履歴設定については仕上前面より仕上圧延完了迄の温度計算を行う。

混粒発生予測は α 潜伏期の消費率が仕上圧延完了までに1を越えない温度履歴が否かで判断する。

3.2 混粒発生予測モデルの精度検証

Fig.4 は板厚 2.0mm材と1.2mm 材について圧延した場合のストリップ・エッジ10mm点での混粒率を当該部の計算温度で整理したものである。(混粒率：粗大粒が発生した領域の厚みの全厚に対する割合。)

モデルは精度よく混粒発生を予測出来ているといえる。

4. オンライン制御への適用

4.1 オンライン制御の基本的な考え方

以上の結果より混粒組織の発生有無は熱履歴に沿って潜伏期の消費率を計算し、仕上圧延中に消費率が1になるかどうかでその発生を予測出来るが、このモデルをそのままオンラインに組み込むことは計算機負荷上厳しいので簡易化してエッジヒーター・オンライン制御に適用することを検討する。

前述のモデルにより一定の操業条件(板厚、速度パターン、成分等)を与えれば予測された熱履歴に基づきコイル全長に亘り混粒発生を防止する為の限界仕上温度(FTe)を求めることが出来る。エッジヒーターは仕上入側時点での温度実績からこのFTeを確保する為の必要最小限の昇熱を行えばよい。

$$FTe = a_1 + a_2[C] + a_3[Mn] + a_4t + a_5(V - V_{min})/V_{min} \cdots (2)$$

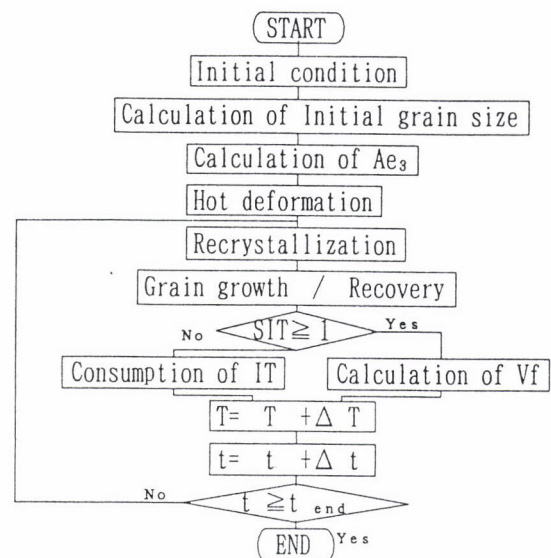
$a_1 \sim a_5$: 係数

[C],[Mn] : カーボン、マンガン 成分量

V, V_{min} : 仕上出側速度 (V_{min} はその最小値)

t : 板厚

Fig.5 にエッジヒーター・オンライン制御フローを示す。



IT : Incubation Time

SIT : Sum of the Consumption of fractional IT

Vf : Fraction Volume

Fig.3. Calculation flow.

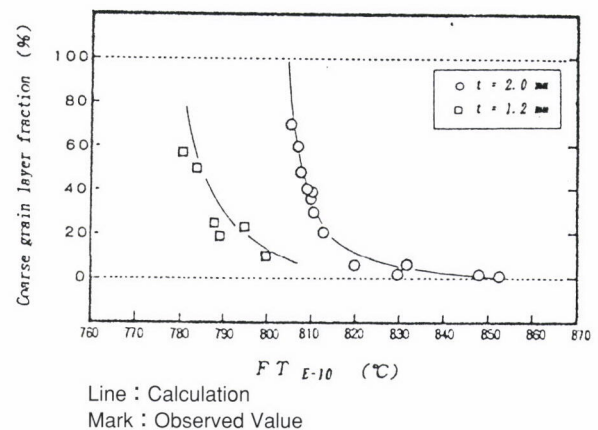


Fig.4. Coarse grain layer fraction and finish rolling temperature.

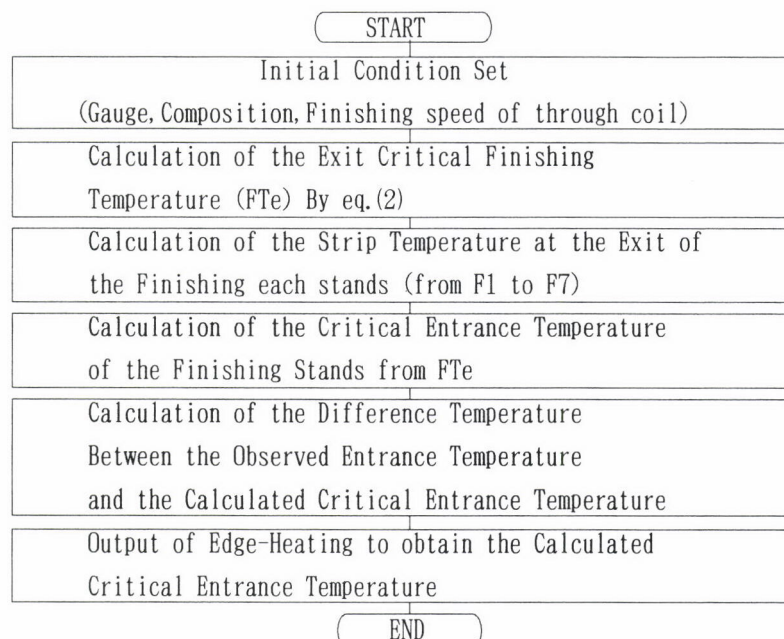


Fig.5. ON-LINE Control flow of Edge-Heater.

4.2 オンライン制御実施結果

Fig.6,7 に制御実施例を示す。Fig.6 ではインコイルでの出力例を示しており、モデル値の温度パターン通り過不足なく昇温出来ていることがわかる。Fig.7 はある仕上出側温度・速度条件での混粒率を示しており実線が (2) 式による限界仕上温度 (F_{Te})でありこの限界温度を確保する限り混粒は皆無であり、この線以下になった時初めて混粒が発生することがわかる。

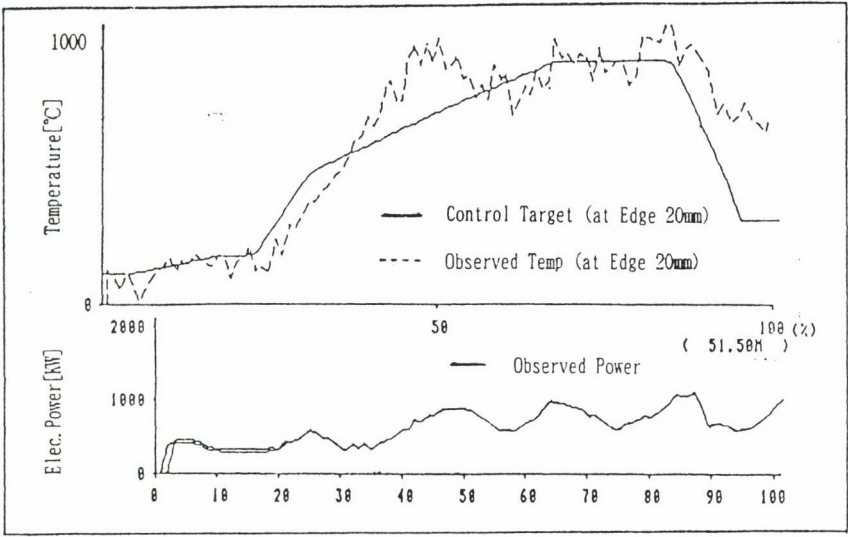


Fig.6. Example of ON-LINE Control OUTPUT.

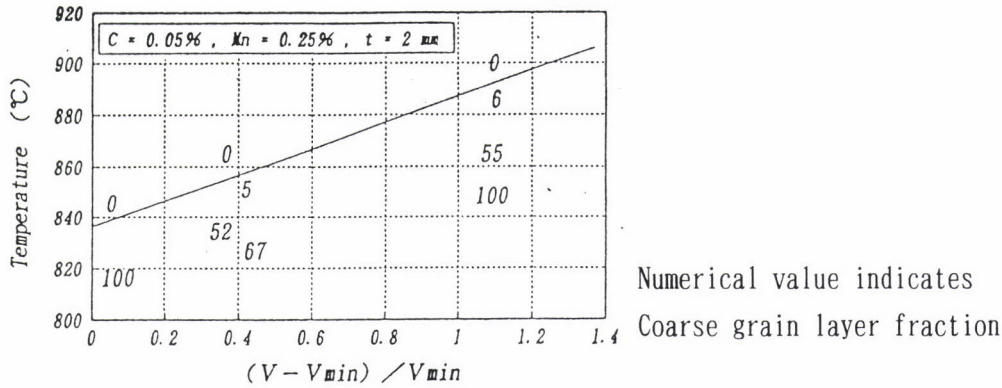


Fig.7. Observed Coarse grain layer fraction.

Table.2 は前記オンライン制御を適用する前後の冷間時の形状波高さ分布および機械加工時の耳割れ発生率を示す。本制御により下工程における形状・耳割れの品質向上効果を得ることが出来た。

Table 2. Effects to Strip quality.

	Before	After
Maxmum Wavy Shape	$\bar{x} = 1.50 \text{ mm}$	$\bar{x} = 0.95 \text{ mm}$
Height of strip	$\sigma = 0.17 \text{ mm}$	$\sigma = 0.17 \text{ mm}$
Edge Crack	3 %	0 %
Breaking out		

5. 結言

混粒発生予測モデルを開発し、その結果をもとにエッジヒーターのパワーを圧延中にリアルタイムで変更していく制御システムを構築した。これにより動的に変態点の予測を可能にしそれを制御することにより品質的にもコスト的にも優れたホットストリップ製品を提供することが出来た。

鉄-21世紀への夢

創立80周年記念懸賞作文入賞作品紹介 ⑥

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

第1部 3等賞

すべてに優しい鉄を！

福山暁の星女子中学校1年

宮野 寛子

あなたは、「公害」というものを知っていますか。もちろん知っていると思いますが、公害とは、私やあなた、そう、多くの人々の生活や衛生にあたえる害です。その公害は、私の住んでいる広島県の福山市にもあります。「公害」なんて大きな声で言えない、本当にささいな、私だけ気にしている様な事かもしれませんが——。この福山市には、NKKという大きな製鉄所があります。天災地災もほとんどなく、海陸両面の輸送条件ができていて、芦田川という工業用水も多くあるこの福山に、NKKは30年前に建てられました。NKKは、この小さな町福山に、大きな希望を運んできました。それは「発展」という希望です。工業の発展は都市の発展です。NKKは人々の望み通り、福山をみごとに発展させました。工場に働く人が多く必要となるために人口が増え、それにしたがって、大きな道路がいくつもできたり、家やマンションが建ったり、商店が建ち並んだり、どんどん都市化が進んでいきました。

しかし、常に良い事ばかりがおこるものではありません。発展の見返りは、汚水・騒音・ばい煙。そう、「公害」です。工場のうるさい音、もくもくと空に上がる煙、そして、工業用水のための芦田川のせき止めです。「芦田川をせき止める」ということは、流れを止めるという事・そして水を川からくみ上げるという事です。流れが止まると、魚も少なくなり、土砂や小石が河口近くにたまり川が浅くなります。水をくみ上げると、どうしてもその後に、使い終わっていらなくなってしまう水が出てきて、川にまた汚れた水をもどす様になります。すると、その時、少しの水の汚れでも川や海に流れる事になるのです。

「鉄」は私達にとって、とても重要で大切な物です。家庭の電気製品、冷蔵庫や洗たく機などは、ほとんどと言ってよいほど、鉄が使われていますし、交通に便利な、車や自転車やバスなども走る鉄です。だから「重要で、私もよく利用している鉄なのだから、公害なんてしかたがないだろう」と私は考えていました。

もし、あなたの目の前に、自分の利益のあるとても素晴らしい物があったらどうしますか。「こんなに素晴らしい物があるのだな。私もほしいなあ。」誰もがそう感じると思いま

す。しかし、その素晴らしい物の内部の见えない影の所に、危険でよくない物があったらどうしますか。「まあ、見えなからいいや」「どうせ、なんとかなるんでしょ」とか、ひどい場合には、気付かないという事だってありえるのではないのでしょうか。それに、もし目を向けたとしても、誰がこの危険物を、どの様にしたらよいのでしょうか。

公害とは、この話にピッタリ当てはまると思います。危険物には、自分の身になにかあってから目を向ける。それではおそいのです。しかし、分かっているながら、私の場合はこの危険物に対して、見て見ぬふりをしていました。

「昔の芦田川は、そりゃあもう、きれいだったぞ。夏には、毎日の様に泳いでいたもんだ。」

父はよく、昔の芦田川の話をしします。家が芦田川の近くだったせいか、父は、芦田川でよく遊んだ様でした。NKKができて間もない、いや、NKKができる以前の、父の子供の頃の話です。

「木でいかだなんか作って、友達と魚釣りなんかもやったっけなあ。そうだ、あさりなんかも取れてたぞ。」

父の昔話を聞いていると、美しい流れ、澄んだ水、そんな芦田川が目に見えられます。しかし、今ではどうでしょう。よごれきった水で、魚なんて一ぴきもいそうにない。こんな芦田川に一番大きなショックを受けたのは、小学生の高学年ぐらいの時でした。

父と私と弟の三人で、休日、芦田川にそってドライブをしていました。下流の方へ下流の方へと行き、ふと父が、川をすぎてもう海になった所の海岸ぞいへ、車を止めました。砂はまには、小さなカニが穴から穴へサササッとす速く動いています。私は海岸におり、ハッと気付きました。遠くではよく見えませんが、近くへ来てみると、海の色が変な色になっているのがはっきりと分かりました。よごれた海に混って、青や緑の油みみたいな液体がプカプカと浮いていたのです。

「この、青や緑色をした物は何なの？」

私が海を指さして父に聞くと

「工場の何かの液体かなあ」

と父は答えました。そしてポツリと、

「この海もずいぶんよごれたな」

と言いました。ああ、この海はこんなに汚れているんだ。なぜだろう。やっぱり工場のせいだろうか。私は何もできないのだから。私は海を見ながら、様々な事を頭の中でぐちゃぐちゃにしていました。

「おーい、帰るぞー。」

父が呼びかけました。そして車へ――。

私はその時、車に乗って帰ったのです。車は鉄でできた乗り物です。あの時はあまり深く考えませんでした。もしかしたら、私の乗っていた車は、NKKで造った鉄でできていたかもしれないのです。本当は、この海をよごしたのは私かもしれないのです。

「鉄は大切なもの」と私は最初の方で書きましたが、今でもその考えは変わっていません。私の体の中にも4～5グラムぐらいの鉄があるのですから、鉄は人の命にとって、大切な働きをしていると言えるのです。しかし、鉄を造るのと同じ様に、いやそれ以上に、地球の環境は大切なのです。

私は、この作文を書くにあたって、製鉄所が、環境を守るためにどんな対応をしているのかを知っておかなくてはいけないと思い、少し、自分自身で調べてみました。そして、ど

この製鉄所も、よくよく環境の事について考え、接しているのが分かりました。鉄をひやしたりするのに使った水は、できるだけ再利用したり、工場の周りに花や木を植えたり、煙も、有害な物をできるだけ取りのぞいて空気中に出したり、環境に対する努力はすごいなあと感じました。どんなものでも、完璧なんてとてもむずかしい事です。そんなに簡単にできる物ではないと思います。でも、そのむずかしい事に少しずつでも近づいていこうとしている。私には、それがとてもすばらしく思えます。

私は、鉄にたすけてもらっている人間の一人ですから、そんなにえらそうな事は言えないと思います。しかし「鉄には夢がある」「鉄には未来がある」のだったら、より良い夢や未来の方がずっとずっといいと思います。経済性にも、機能性にも、信頼性にも、そして環境にもよりよい「鉄」。むずかしいからこそやりがいがあり、鉄だからこそこんな大きな夢ができるのだと思います。

私達は、「鉄」というすばらしい物を造ってきたのだから、今度は、よりよい鉄の大きな夢を現実に行っていければ……すべてに優しい鉄を！

第2部 特別賞

夢は「鉄の村」作り

東京都田無市

朝吹 美恵子

市民グループ「黒鉄会」、ただいまメンバー10人なり

私は東京の片隅で小さな「黒鉄会」という市民グループのメンバーだ。実はこの会は去年、砂鉄から鉄を作ってみる「たたら製鉄1日体験教室」を行うために、たった2人で始めたものだった。それがきっかけとなり、とびっきり好奇心の強い物好きな人間が集まって、今では10人の会になっている。会員の中には、拾ってきた砂鉄で鉄ができないかと考えて、アルミの鍋に砂鉄を入れ、家庭のコンロの上に乗せてみたら鍋に穴があいてしまったという奇人もいる。しかし、これがきっかけで鉄に関する本を読みだしたそうだ。

今、私たちにはたくさんの計画がある。鉄に関することなら何でもやってみよう、勉強してみようと皆意気込んでいる。ここでは、私が「鉄」に興味を持ったきっかけ、一般参加者を集めてやった「たたら製鉄」のこと、それから今後の計画と夢を話したいと思う。

一冊の本との出会いが招いた鉄の世界

だいたい私は中学、高校の時には物理とか化学とかが大の苦手、化学記号を見ると頭痛がする種類の人間だった。と

ころがある日、新素材の鋳鉄で製品を作る鋳物の会社のパンフレット制作の仕事が舞い込んできた。実は私はグラフィック・デザインの仕事をしており、こういう印刷物の企画を立てたり制作をしたりする。仕事きたときは、頭痛を乗り越えて頭の中は空白状態になった。これは困った。しかし、何とかしなければならぬ。そこでとにかく本屋に行った。そして書店の本棚からやっと見つけて買った1冊の本、これが後に私の世界を大きく変えてくれることになる。それは中澤護氏の「鉄のメルヘン」(アグネ社)だった。

もちろんずぶの素人には何が書いてあるのやら、肝心な内容はその時にはトントわからない。しかしそこには科学の発達の裏に、1人1人の科学者の精神の軌跡があった。これが私の心にドンと飛び込んできた。失敗しても失敗しても試み続ける実験、生活苦と戦いながら夢の実現に熱意を失わない研究者、そしてそこにはあえなくも不遇の生涯を終えた科学者の姿もあった。

現在の私たちの生活には普段、気が付かないくらい鉄の製品があふれている。今やあたりまえすぎて、空気を意識しないように鉄の存在も取り立てて感じなくなっている。しかし

こういう世界になるために、こんなにも多くの研究者の失敗と成功、努力の積み重ねがあったということがひしひしと感じられた。

こんな小さな炉で鉄ができる

パンフレット制作の方は写真撮影も終わり、最終間近になった頃、ちょっとしたことがわからずとうとう出版社に問い合わせた。すると著者に直接尋ねるようにと言う。恐る恐る電話をかけると大変丁寧に答えてくれ、さらに他の研究者まで紹介してくれた。私は偉い鉄の研究者が何だかとても親切なことに驚いた。それでパンフレットが完成したのでご報告がてらにお送りすると、すぐさま返事が返ってきた。「鉄に興味を持っているならこのパンフレットをこの人たちに送きなさい。」と。

その中に、砂鉄と炭から還元鉄を得る日本古来の「たたら製鉄」で10年も鉄を作っているという、当時、東京工業大学博士課程在籍の元気な人がいた。「幻の玉鋼」の話は聞いてはいたが、そんな簡単に鉄が作れるのか？ テレビなんかでドデカイ溶鉱炉から真っ赤な鉄が流れ出しているのを見ることがあるが、そんな大学の片隅で鉄を作ることができるのか？ とにかく彼女の誘いを受けて…よし、出かけてみることにしよう！

行ってみるとそこにはお粗末としか言いようがない小さな炉がある。かつてのたたら製鉄で、全ての行程を指揮監督する人を「村下」と言ったが、ここの村下は「鉄遊び」のとりこになっているこの大学の教授、永田先生だった。自ら「ナイフクラブ」という集まりを作って、自分たちの作った鉄でいろんな物を作っている。そのナイフクラブの学生たちが真っ黒になって、ワイワイ話をしながらも実に自由に楽しく作業をしている。やがて夕方近く、炉の中から鉄の塊「ケラ」が取り出された。なあんだ、こんなに簡単に鉄って作れるのかと私は思った。実はこれが結構大変だということは、徐々に後でわかってくる。しかしこの時から、古代の鉄作りの話しがにわかに身近に感じられるようになった。

鉄の歴史に呑み込まれる

そのうちいつのまにか私も、鍛冶屋さんに行き行って切り出しナイフや包丁を作らせてもらったりするようになっていた。とにかく顔を炭で汚して、汗をかくて物を作るのはおもしろい。それにしても今時の鍛冶さんは勉強熱心で、何やら私の理解できない科学の専門用語がどんどんでてくる。しかし何よりも驚き感動したのは、やはりその「技」であった。理屈でも、理論でもなく、経験と感性と知識が一体となった「結果」がその「技」だ。そしてこんなにも大変な鍛冶仕事で作られる道具が、古代社会以来、いかに重要だったかが強烈に感じられてくる。石器しかなかった縄文時代に突然鉄の道具がもたらされ、初めてそれを見た人の驚きと感動を、私もまたその時に感じた。

今までは本を読んで知識として頭に入っていた鉄の歴史が、今度は本に書いてある歴史の中に私自身が入っていったしまったかのような感覚。古代トルコの地で製鉄技術が生まれたこと、その時の鉄の値段が金よりもはるかに高かったこと、そのヒットタイトが減びて東西に製鉄技術が広がったこと、やがて日本列島に伝わったことなど、言ってみれば映画館で「鉄の歴史映画」をまさに今見ているような興奮を覚えた。これが鉄のおもしろさなんだ！ 学校で習った静かで冷たい歴史が、一挙に熱く動きのある歴史に変わった。

なぜおもしろい？鉄の人

それにしても鉄で出会った人は、これまた多種多彩。しかも一癖も二癖もあるようでありながら何だか皆親切で、ド素人の質問に丁寧に指導、返答をくれる。私の会った研究者、鍛冶屋さん、鋳物屋さん、そして若い学生さんたち、皆なのだ。これは何か理由があるはずだと考えた。これは鉄だからなのだ。金やダイヤモンドではこうはいかなかっただろう。時代の流行に徒らに乗るタイプの人間なら、この軽薄短小の時代にあって重厚長大の鉄に関心を持つ人はあまりいないだろう。どこかで薄っぺらな流行に棹さしたり懐疑的な視点を持つからこそ、あえて熱くて汚れて疲れる仕事を積極的に取り組んで楽しむ、「鉄の人」にそんな人間像を私は見た。まして大量生産の嵐の中を生き抜いてきた鍛冶屋さん、鋳物さんは、食うや食わずの時代を耐えながらも新しい知識や感性を身に付け、技を磨いてきた人が多い。

このプライドの高い職人さんにも「鉄のメルヘン」に書かれていた多くの研究者たちと、何か似かよったものを感じた。研究が華々しい結果として実を結ぶかどうかで、インサイダーとアウトサイダーの境目に立った人と、高い技を身に付けながら職人として生きるか止めるかの選択を何度も迫られてきた人は、ボーダーラインに立たざるを得なかったという点において共通する部分がある。私が鉄との付き合いのきっかけとなった新素材の鋳鉄も、岩手大学の堀江教授がたまたま学生が失敗した実験が気に入り10年も追いつけた結果だった。もちろん成果として実を結ばないこともあるし、またせっかくの優れた研究も人知れず歴史に埋没することもあるのだろう。しかしここには尽きることのないロマンがある。

こういうおもしろい人たちと付き合っていくうちに、私も知らず知らずのうちに、焼き入れをしたり焼き戻したりすると組織が変わること、これらの変化には炭素が大きな働きをすることなどが少しずつわかってきた。今では化学記号を見ても頭痛がしなくなってきた。

鉄の学習、百変化

この私と鉄の出会いは、私に新たな歴史への視点をもたらしてくれたばかりではなく、こうして化学への拒否反応を解消してくれた。さらには人類が始めに使った鉄素材は空から

降ってきた隕鉄ということから、星のことをあまりにも知らないと反省して地元の星の会にも入った。こうなるとだんだんいろんなことが気になる。なぜ地球に鉄がある？ 他の星にも鉄がある？ 地球はどうやってできた？ 古代から世界中どこでも鉄を作っていたか？ 中国ではどうしてあんなに早く鉄ができたか？ 日本で鉄を初めて作ったのはいつか、どんな人か？ 多くの人が鉄の道具を手にするのができたのはいつ頃か、それはどんな物？ ヤマトノオロチ神話は本当に製鉄神話か？ 西洋と違って日本では製鉄と鍛冶屋の作業場に昔、女性が入れなかったのはどうして？ なぜ日本では鉄と鋼を鍛接する技法が発達したのか？ 現代の日本でなぜこんなに製鉄業が盛んになったか？ 日米経済摩擦でどうしていつも鉄鋼が出てくるの？ これからはどうなるか？

こんな風に私の疑問、興味はきりが無い。私が学校に通っていた頃に授業も鉄をテーマにしてくれたら良かったのにと残念に思った。いや待て！ この無念さを今に生かすことはできないか。もしも「鉄」という視点を学習に導入することができれば生き生きとした広がりを持つものになるのと思うのだが。例えば、鉄作りには炭が必要だから森林資源や木のことを考えるきっかけになる。もちろん砂鉄が必要だから、鉱物とか地質学に興味を持つかもしれない。鉄で何か作る方に興味を持つ子供もいるだろうし、それも美術的な分野だったり、職人技かもしれないし、あるいは近代的な自動車や鉄道や船かもしれない。なぜ炭を使って鉄ができるか化学反応に引っかかる子もいるだろう。とにかく鉄には幅がある。宇宙創成から神話、そして包丁や鍋と、非日常から日常、縦と横の連がり、時空を越えた広がりがある。

たたら製鉄体験教室をやってみよう

しだいに私は地元でたたら製鉄をやってみたらおもしろいと考えようになっていた。理科離れとか何とか世間では問題にしているが、要はおもしろければ興味を持つのだ。しかし大人が上から子供に教えるのではなく、大人が夢中になってやっている姿を見れば子供も引きずられる、そういう一緒に汚れる体験学習ができたらと思った。そうしたところある日、地元の公民館の職員にこんな話しをしていると、公民館の講師派遣制度を利用して一日講習でやってみないかと言う。

ようし、それならいっちょやってみるか！ さっそく友達とたった二人で「黒鉄会」を結成した。ところが気軽に思い立った計画だったがここには大きな問題が二つあった。一つは資金、もう一つは許可の問題だ。都会ではわずかの隙間もなく、たたら製鉄ができそうな場所は学校しかない。この許可申請は社会教育委員会に出す。前例がないとさんざん許可を渋られたが、これももっともな話で、こんな申請を出した人は初めてに決まっている。それを説得するのはなかなかの苦勞だった。

もう一つの難問は資金調達。どこからも出所がない。一人

千円の手料費で参加者を募る方法しかなく、ビラを作り、近所の公民館、図書館などにこまめに置いたり、市報、公民館便りに掲載するなどして募集をした。実は、情報誌の「ぴあ」にも掲載してもらおうと申し込んだが相手にされなかった。これだって立派なイベントなのに！ さあ、いったいこれでどのくらいの人が申し込んでくるのか不安だった。人が集まらなと高い材料代、自腹を切らなければならない……。

ところがしばらくたって、実施の日の2週間前になっても7人しか申し込みがない。やはり鉄作りになんか皆興味を持たないのか、私の独りよがりだったのか、はたまたこういうことには目もくれない社会に本当になってしまっているのか、などと思いは頭を駆けめぐる。

と、どういうわけか間際になってバタバタと参加申し込みが相次いだ。予想の30人をあっと言う間に越えてしまい、とうとう94年12月18日当日は60人を越える賑やかな体験学習となった。

砂鉄採取

これに先立つ94年11月23日に今回たたら製鉄で実験的に使ってみようと、千葉県の犬吠崎の浜、飯岡漁港の近くに浜砂鉄の採取に出かけた。それぞれスコップ、バケツ、ビニール袋を片手に集まる。この砂鉄集めには体験学習参加者の他に、なんと中澤護人氏までいらしたのには驚いた。この好奇心の若々しさに頭が下がる。

この付近の浜には表面が真っ黒になっている部分があり、明らかに砂鉄ということがわかるのだが、掘ってみると厚さ1mm～5mmぐらいしかなく、スコップで掘れるようなものではない。そっとかき集めるように採取。ちゃんと強力な磁石は準備していったのだが、強すぎて砂やゴミまでみんなくっついてしまい使い物にならない。かえって移植べらや拾った板切れなどが役に立つ。この砂鉄はたぶん利根川上流から川によって運び込まれたものが海にたどり着き、波の満ち引きによって層状になった物と思われる。その時乗ったタクシーの運転手さんの話によると、この地では20年前ぐらいまでは砂鉄を製鉄会社に売っていたとのこと。その会社は今でもあると言うので今度は皆でその会社の前まで行って見たが、残念なことに休日だった。その後の調べで、その砂鉄の会社は現在、ニュージーランド砂鉄の輸入会社として存続していることがわかった。そして、その日の参加者は“鉄の偉大なロマンチスト”中澤氏が一緒に砂鉄集めをしたことに感動し、その後の学習意欲に大いに結びつくこととなった。人、1人の力は大きいのだ。

そしてこの砂鉄はその後水洗いをして塩分を洗い流した。少量ずつ桶に入れ何度もかき混ぜては洗い、かき混ぜては洗うのだが、塩分が抜けたかどうかを確かめるのは、なめてみて塩辛くなければ良いという極めて単純な方法。その後自然乾燥。

私たちの自主学習会

今回のたたら製鉄では、鉄作りそのものの面白さを体験してもらうことの他に、製鉄の歴史や鉄にまつわる神話や民族学なども含めた、鉄に関する様々な学問、文化に対する興味の窓口となればとの思いがあったので事前に学習会を開いた。ところが開けてみるとかなり小さな女の子から主婦、そしてご年輩まで様々だ。時々には子供向けに簡単におもしろく話しかけるというアドリブ導入だったが、主な内容は以下の通り。

鉄と鋼と銑鉄の区別とその特徴／地球のコアは鉄・ニッケル合金、地殻にある5%の鉄資源、そして隕鉄／製鉄とは酸化鉄を還元すること／古代製鉄の起こりと東西の鉄の道／日本への鉄の伝播と古代の盛んな海の交易／古代の農業、土木工事における鉄の重要性／江戸時代の大たたらと江戸幕末における近代製鉄の必要性／リサイクル可能な鉄／現在の金属生産の内、鉄は95%。

そして東工大での操業の様子のスライドを見ながら実際の作業の手順と、たたら操業で使う用語を大まかに説明。よく不純物のノロが赤く溶け出すのを見て鉄と勘違いする人が多いので、近代製鋼と違って、たたら鉄は塊でできることを強調。

炉作りかそれともモルタル遊び？

炉作りの作業は黒鉄会と田無小学校児童の双方の希望者で行った。まず地面にトタン板を置き水平を出し、その上にブロック6個を横にして並べる。次にその上に耐火レンガを重ね、モルタルできっちり接着していく。正面にはノロ出し口、側面には初期段階の送風口の羽口と、その後の操業羽口、温度測定のためのセンサーの熱電対のための小さな穴などを前もって作っておく。子供たちにとってモルタルはほとんど泥んこ遊びのようなもので、子供は汚れて遊ぶのが本当は好きなんだと思った。その後、炉内に炭を入れ1時間程空炊きして乾燥させた。

さあ皆さん真っ黒になって下さい

たたら操業当日までに準備する物は意外に多い。炭の搬入や他にも当日に行う炭切りの台にする木枠とか金網、大工道具、それにナタ、モルタル、記録用紙や参加者記入用紙やら当日参加費の千円の大事な料金徴収箱。それに前もって届けを出したとおりの防火対策の細々とした物。最後に全員の昼食の分の豚汁、鍋、お玉と準備は大忙し。何しろこれらを二人で用意するので何か忘れそうだったのだが、鉄の神様「金屋子様」を見立ててお供えする御神酒と餅まで買い揃えた。

さあ、12月18日の朝は、天気も上々。参加者の出足も快調。何と盛岡の南部鉄瓶を制作している藤技工房の元気な奥様が、息子さんを連れて夜行に乗って来て参加されたのにはびっくり。そして東京、新宿のノミ作りで名高い鍛冶屋さんの

市弘さんご兄弟、工学院大学の西澤先生、民俗学者の香月さん、大連理工大の客員教授の川口氏と同大学金俊澤教授のお嬢様、さらには早稲田大学名誉教授の草川先生まで見学にいらして下さった。何回かたたらに挑戦したがいつも失敗に終わっているという東京大学の学生さんも、この日でコツをつかもうと参加。小学2年生の女の子から上は70歳半ばとお見受けするお方まで、まさに年齢、職業、地域を越えた総勢60名の集まりとなった。しかし肝心の今回指導に当たられる“村下”の永田先生の到着が遅くて少々心配した。

いよいよ作業開始。参加者は全員、帽子、作業着、軍手、マスクの出で立ちで指図を待っている。そこでまず、3つのグループに分けた。①炭切りグループ、②記録と吹い子グループ、③砂鉄の磁選、計量、炉への投入グループの3つで、これらはローテーションとする。燃料の炭は盛岡の森林組合の太い松炭。ほとんどの人がナタを持った経験がなく、手伝いに来てくれたナイフクラブのメンバーの若い学生さんたちが手とり足とり指導をしてくれる。中には長髪やピアスをしているお兄さまもいて、参加者にとっては今時のエリート学生の風俗のお勉強になったようだ。そしてまたたく間に皆の顔には黒い汚れやヒゲがはえたりしてくる。

さて、たたら製鉄に必要な材料は砂鉄と炭と風だ。酸化鉄の状態の砂鉄を炭を燃焼させて還元し、さらに砂鉄に含まれている不純物をノロとして出して鉄を得る。この反応を起こすにはある一定の温度が必要で、風を送らないと温度は上がらない。送風はナイフクラブではいつも掃除機の排気口から送風するのだが、さらにこの日は田無小学校の岩内先生の手作り吹い子を併用した。これは鍛冶屋さんが使っているような長方形の吹い子で大きさは20×60×40cm。有り合わせの材料で作られた苦心の作なので、あまり滑りが良いとは言えず、結構な労働となる。しかしこれがかえって子供たちには「昔の鉄作りは大変だったんだ」という感慨に結びついたようだ。

砂鉄はここで弱い磁石で一応の磁選を行った。さてこれに必要な砂鉄と炭と風がそろそろ。ところでナイフクラブでは通常この大きさの炉で、良質の砂鉄を20kg投入して、約5～7kgのケラを得ているのだが、今回は浜砂鉄、収量はその半分と予想。これを60人の参加者に分配することを考えると、もう少し砂鉄の量を増やした方が良いのではないかと考えた。そこで永田先生と相談すると以前に30kgでの経験があるとのことなので、思い切って今回は30kg投入を決めたが、結果は思わぬこととなった。

たたらに火を入れる

まずは10時15分に火入れ。炭を約4kg入れて炉底温度を上げる。30分後に1,200℃に上がったことを確認し、砂鉄の投入開始。その後大体10分に1回の割合で砂鉄と炭を入れ、最終合計で砂鉄30.5kg、炭51.5kgを投入。炉の上部の温度は大体

1,400℃に調整。1回目のノロだしは12時36分。続いて2回目は13時36分。3回目15時16分で送風を止めた時間と重なる。途中で3つの班の内、炭切りが完了してしまい仕事が無くなって困っていたら、不純物のノロが新たな仕事を作ってくれ、おまけに宝探しというごほうびも与えてくれた。あちらこちらでノロ割りに夢中で、中から小さな銀色の鉄の玉を探し出した喜びに、まるで金かダイヤモンドを見つけたような感動の声をあげている。

送風を止めてから約40分後、いよいよケラ出し。正面のレンガをはずし始める。しかし、炉内はどうもノロでくっついていようでなかなかレンガがはずれない。小さな炉の回りをぐるりと人が囲みシーンと緊張に静まり返る。その時、校庭で遊んでいたのにいつの間にか見学しにやって来た小5の男の子の一声「けどよー、何で鉄作ってんだ?」。これにはみんなで大爆笑。けどねー、このおもしろさは真っ黒になってやってみなくっちゃわからないのだよ、君!

しかしこの一声で緊張が破れた後、レンガも少しゆるみ、やっとはずすことができた。ところがこんなときになってまたノロが流れ出し一瞬不安がよぎる。炉内を鉄の棒でガンガン突っついて何とかケラらしき物をやっと取り出したのは16時を過ぎていた。見守っていた参加者らは一斉に拍手がわき起こる。用意してあった、水を張った金だらいに入れると、ボン!と大きな音を立てて水蒸気が上がる。なかなかの迫力だ。

冷却後、いよいよ大事なケラをたらいから引き上げて金槌でたたく。ちゃんとできていたら金槌なんかでは壊れない大きな固い鉄の塊があるはずだ。ところが、バラッと……何と幾つかの固まりに崩れてしまった。しかし、大きなまとまったケラができなかったのは残念だったが、それでも合計2.8kgの鉄ができた。ケラができた後で刀鍛冶の所へ持って行って割ってもらい、その後みんなに分配する段取りだったが、その日の内に参加者はでき立ての鉄を持ち帰ることができて大喜びだった。まあ、まんざら失敗とはいえないかな。

うまくケラができなかったことの理由として、砂鉄の乾燥が足りなかったこと、ノロができすぎていたためもっと頻繁にノロ出しが必要だったことが考えられる。砂鉄の種類が違ふことにより微妙な調整が必要だということが身を持って体験できた。それにしてもこんなに大人も子供も真剣に楽しんでくれるとは予想以上だった。

今後の計画

この体験学習がきっかけで黒鉄会は2人から10人に増えた。今回様々な面で協力してくれた小学校の教師も二人いる。彼らは今までも学校の授業で様々な試みをしてきているが、これからも積極的に鉄の学習を取り入れるつもりだ。

さらにうれしいことに、私たちの今回の活動を知ったある神奈川の山林所有者の知人が、炭を買う資金と場所に困っているなら自分の山を使って良いと申し出てくれた。木を切って炭焼きから始めたらよいというのである。これはおもしろくなってきた。

また今度は地質学者の案内で山に砂鉄を見に出かけようとか、川原に土を取りに行つて耐火レンガではなく土の炉を作ってみよう、砂鉄ではなく鉄鉱石でやってみよう、製鉄所に見学に行こう、あちらこちらの鍛冶屋さんを訪ねようと、計画はたくさんある。同時に本やビデオで学習会も開いていく。

都会にだって「鉄の村」は夢ではない

現在の私たちの生活はあまりにも高度になりすぎていて、誰が何のどこを考へたり、作っているのかまるで世界が掴めなくなっている。世界やそこに住んでいる人の関係性が見えにくいのだ。関係性が理解できない社会では自分自身も見失いかねない。

もっと単純でシンプルな視点を持つと、実はそこには膨大な世界があることに気が付くことがある。これが私には「鉄」だったのだ。私の住んでいる地球、私の祖先である人間社会の歴史、そして今私の生きている社会が鉄という視点から少しずつ明らかになってきた。まさにこれは、地球の住人である私の自己発見の過程に連がるものとなった。

しかし、だれでもいつでも鉄を作ったりナイフを作ったりできるわけではない。しかし、あの日のたたら体験学習にたくさんの方が集まったように、もしかしてこんな場所と機会があったら、私たちの黒鉄会のメンバーのように多くの人にとって、この社会がもっと生き生きとしたものになるかもしれない。こんな都会の中にも「鉄の村」が作れたらというのが私の夢だ。そんなに広い場所はない。小さなたたら炉を作る場所と小さな鍛冶屋さんの工房ぐらいの広さがあれば十分なのだ。昔はよくトンテンカントンテンカンという鍛冶の音がしたものだが、これも聞こえなくなって久しい。大人も子供も本当は汗をかいて何か作ることが好きなのだ。ただ機会がないだけなのだ。皆で鉄を作って槌をふるい、時には鋳物で何かを作るのも良い。きっとその中から自然科学や社会科学の学者が育つに違いない。

最後に中澤護人氏の本の中から一節を引用させて頂いて終わりにする。「技術にたいするアンビヴァレンス(愛憎)、否定と肯定の両側面の共存をどう止揚してゆくかが、現代の課題であろう。自然に還れと叫ぶことによって解決されることなく、技術と人間とのかわりをさまざまの側面から省察することが我々に要求されている。」

(グラフィックデザイナー)

次号目次案内

ふえらむ Vol.1 (1996) No.8掲載記事

新エネルギーを拓く IRON & STEEL

話題のプロダクト

マウンテンバイク

鉄の絶景―北海道編

展望

戦後日本における鉄鋼業の発展とその制度的基礎
家電製品とこれからの生産技術

岡崎哲二（東京大学）
村上碩哉（（株）日立製作所）

入門講座

鉄鋼材料編―7 次代を創造するステンレス鋼―ステンレス鋼の特殊な機能―
鉄鋼プロセス編―6 耐火物の科学

植松美博（日新製鋼（株））
山口明良（名古屋工業大学）

解説

TQCからTQMへ―管理部門スタッフおよび技術者の役割
鉄鋼流通情報システム

山田雄愛（名古屋商科大学）
徳永修一（住友金属工業（株））

現場技術報告

製鋼工場におけるスライドゲートプレート再生技術の開発
コークス炉新制御技術の開発
溶融亜鉛めっきライン入側洗浄設備の改善

小木曾勇三、他（住友金属工業（株））
杉岡真吾、他（NKK）
中村徹、他（（株）神戸製鋼所）

懸賞作文入賞作品紹介⑧

1部（中学・高校生の部）3等 「ぼくの周りの鉄に思う」
「鉄の博覧会へようこそ」

天田輔
渡辺歩

* 掲載記事及び題目は変更になる場合があります。

本会情報一覧

記事内容	掲載号
平成8年度理事、監事、並びに評議員の選挙結果報告	本号 559頁
第2回次世代鉄鋼奨励学助成受給者のお知らせ	本号 562頁
創形創質工学会 切削・切断フォーラム 討論会と見学会のお知らせ	本号 563頁
遅れ破壊に関する質問公募「高強度鋼の遅れ破壊は解決が可能か？」	本号 563頁
第4回鉄鋼工学アドバンスセミナー受講者募集案内	本号 564頁
ノーベルプロセッシングフォーラムWWWホームページ公開のお知らせ	6号 439頁
刊行物特別頒布のご案内	6号 440頁
「鉄と鋼」「ISIJ International」投稿規程	6号 442頁
平成7年度事業報告・収支決算及び平成8年度事業計画・収支予算のお知らせ	6号 453頁
新名誉会員・一般表彰受賞者のお知らせ	6号 459頁
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 486頁
第132回秋季講演大会 一般講演募集案内	5号 382頁
講演大会参加方法のご案内	5号 383頁
第132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 384頁
第132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 386頁
第1回（1995年度）遊休研究設備紹介事業のご案内	5号 387頁
会員名簿代金自動振替のお知らせ	4号 299頁
創形創質工学会 鋼構造物工学フォーラムへのお誘い	4号 302頁
学術雑誌目次速報データベースご利用のお知らせ	4号 302頁
入会案内	1号 73頁

編 集 後 記

会報「ふえらむ」7月号では、創刊以来初めての特集号「地球環境」を企画編集してみました。

「地球環境」という言葉は、既に世間一般に広く認識されてきているようですが、実際のところきわめて重いテーマです。はたして、地球環境を守るために、地球規模でどれほどの実効ある対策が実施されているのでしょうか。問題の現象は、人類社会の発展のスピードに大自然の修復が間に合わなくなりつつあるという、地球規模の環境のアンバランスの兆候ですが、人類にとって難しいのは「南北問題」に象徴されるよ

うに、文化と社会発展の地域アンバランスの是正にあるのではないのでしょうか。例えば、アジア諸国をはじめとする発展途上国では、今後急速な二酸化炭素排出量の増加が見込まれていますが、隣の中国一国のみでOECD諸国全体に匹敵する二酸化炭素排出量の増加が予想されているそうです。どこの国にも他国の社会の発展に干渉する権利はないわけですが、見方を変えて、より良い方向へと援助協力することが今求められています。いずれにせよ、宇宙船地球号の将来は、若い人々の英知と実行力に大きな期待がかかります。(S.S.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 阿部 光延 (新日本製鐵 (株))

副委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

委員 石井 邦宜 (北海道大学)	石井 満男 (新日本製鐵 (株))	梅本 実 (豊橋技術科学大学)
川田 豊 ((株) 神戸製鋼所)	北村 高士 ((株) ニューマーケット)	小林 正人 ((社) 日本鉄鋼連盟)
近藤 隆明 (NKK)	佐藤 駿 (住友金属工業 (株))	手塚 誠 ((社) 日本鉄鋼協会)
友田 陽 (茨城大学)	中村小夜子 ((社) 日本鉄鋼協会)	久松 定興 (いすゞ自動車 (株))
古田 修 (愛知製鋼 (株))	三宅 苞 (川崎製鉄 (株))	柳 謙一 (三菱重工業 (株))
山口 周 (名古屋工業大学)		

連 絡 先

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

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000円 (消費税本会負担)

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

1996年5月10日 第3種郵便物認可 1996年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 1996 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

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

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

Copyright Clearance Center, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

行事等予定

太字は本会主催の行事

開催期日	行事(開催地)	締切	掲載号及び頁
1996年			
7月 9日	第73回塑性加工講習会「チューブフォーミングの基礎と実際」(大阪)		5号 392頁
9～11日	第65回塑性加工学講座「鍛造加工の基礎と応用」(千葉)		5号 392頁
10日	軽構造接合加工技術シンポジウム「アルミニウム合金板とアルミ鋳物の接合技術」(東京)		5号 392頁
12日	第170回塑性加工シンポジウム「冷間圧延における品質・作業環境と圧延潤滑油」(東京)		5号 392頁
12日	日本金属学会分科会シンポジウム「スーパーアロイの極限使用へのアプローチ」(東京)		6号 450頁
15～17日	平成8年度溶接工学夏季大学「溶接プロセスの基礎とその関連技術」(大阪)		6号 450頁
17日	第125回塑性加工懇談会「材料の微視組織の成長と巨視的応答の予知」(大阪)		5号 392頁
17,18日	システム制御情報学会セミナー'96「実務者のためのスケジューリング技術」(大阪、東京同時開催)		5号 392頁
19日	本多光太郎記念行事講演会(大阪)		6号 450頁
25,26日	第32回X線材料強度に関するシンポジウム(京都)	1996/4/24	4号 310頁
26～28日	第7回電顕サマースクール「極微構造のダイナミック解析技術」(大阪)		5号 392頁
27～8月2日	第22回鉄鋼工学セミナー(蔵王)	1996/5/10	3号 217頁
30日	日本金属学会分科会シンポジウム「熱電変換材料の現状と展望」(東京)		本号 570頁
30,31日	北海道支部 平成8年度支部夏季講演大会(札幌)		本号 570頁
30～8月1日	第27回結晶成長国内会議(滋賀)	1996/4/30	4号 310頁
31日～8月2日	第66回塑性加工学講座「有限要素法入門セミナー」(横浜)	1996/7/15	6号 450頁
8月 1日	'96センシング実習スクール「パソコンを用いた計測・信号処理」(大阪)	1996/7/19	本号 570頁
2,3日	中国四国支部 支部講演大会(広島)	1996/6/28	6号 450頁
21日～24日	第36回真空夏季大学(静岡)	1996/7/10	本号 570頁
27日	第163回西山記念技術講座 「地震と鋼材－阪神・淡路大震災をふまえて」(東京)		
9月 9～11日	材料の微細組織と機能性国際会議(東京)		6号 450頁
18日	創形創質工学会 切削・切断フォーラム 討論会・見学会(埼玉)	1996/9/4	本号 563頁
18～20日	'96国際真空産業展(東京)		本号 570頁
19,20日	第40回日本学術会議材料研究連合講演会(京都)	1996/6/20	6号 450頁
27日	第164回西山記念技術講座 「地震と鋼材－阪神・淡路大震災をふまえて」(神戸)		
28～30日	第132回秋季講演大会(札幌)	1996/7/11	5号 382頁
10月 8,9日	第9回日本・ドイツセミナー(デュッセルドルフ)		
13日	平成8年度技術士第1次試験「技術士補になるための試験」(全国9都市)	1996/5/17	4号 309頁
16～18日	第39回自動制御連合講演会(奈良)	1996/7/5	6号 450頁
16～18日	第43回腐食防食討論会(大阪)		本号 570頁
17,18日	HPI技術セミナー「圧力設備の材料、設計、施工、維持管理」(大阪)		本号 570頁
21～24日	第4回傾斜機能材料国際シンポジウム(FGM'96)(つくば)		2号 160頁
21～24日	第9回国際超電導シンポジウム(札幌)	1996/9/30	本号 570頁
22～24日	7th International Symposium on Physical Simulation(つくば)	1996/4/1	1号 68頁
29,30日	第6回日中溶融塩化学・技術シンポジウム(甲府)		本号 570頁
30,31日	センシングフォーラム「センシング技術の新たな展開と融合」(東京)		本号 570頁
31,11月1日	第28回溶融塩化学討論会(甲府)	1996/7/26	本号 570頁
31,11月1日	第21回複合材料シンポジウム(富山)	1996/8/2	本号 570頁
11月 2～4日	第47回塑性加工連合講演会(石川)	1996/7/19	6号 450頁
13～15日	第4回鉄鋼工学アドバンストセミナー(神戸)	1996/9/2	本号 564頁
18～20日	第37回高圧討論会(仙台)		本号 570頁
25,26日	第23回疲労シンポジウム(京都)	1996/7/5	6号 450頁
12月 5～7日	International Welding Conference 1996, IWC-96 (Bombay, India)	1996/4/30	4号 310頁
1997年			
3月 27～29日	第133回春季講演大会(東京)		
7月 7～11日	International Conference on Thermomechanical Processing of Steels and Other Materials(Wollongong, Australia)	1996/10/14	1号 71頁
14～17日	Australasia-Pacific Forum on Intelligent Processing and Manufacturing of Materials(Sydney, Australia)	1996/10/20	2号 160頁

ふえらむ Vol.1 No.7 広告目次

表2 丸本工業(株)	試料埋込プレス	前5 島津メクテム(株)	寸法測定装置	後1 本誌広告目次	
前1 (株)マツボー		6 (株)トライメート	高圧酸素切断方式	(株)協会通信社	広告案内
	重工業グループ取扱商品一覧	7 (株)テクノヨコハマ	炉外精錬装置	2 三菱重工業(株)	企業PR
2 富士電波工機(株)	各種試験機	8 住友金属テクノロジー(株)		3 大野ロール(株)	各種圧延装置
3 (株)島津製作所	発光分析装置		試験分析サービス	4 (財)日本規格協会	書籍
4 コマツエンジニアリング(株)				表3 日本ミンコ(株)	サンプル・サンプル
	摩擦摩耗試験機			表4 (株)堀場製作所	炭素硫黄分析装置

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

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

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANÉ

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

日本鉄鋼協会講演文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

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

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

*For more Information,
Write or Facsimile.*

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

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

鉄への気持ちが、響き合う。

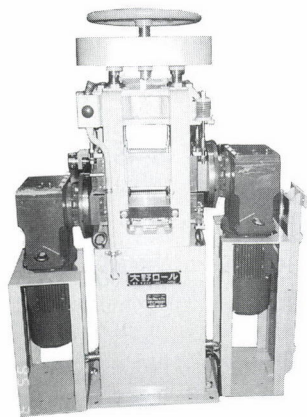
より豊かな未来をみつめて
技術と情熱を惜しみなく注ぎ込む、鉄づくりのプロたち。
三菱重工もまた、豊富な経験と最新技術を駆使し
製鉄、製鋼、圧延、プロセス設備など
優れた製鉄機械を多彩に提供してきました。
優れた技と強い意志が、あたかも共鳴しあうようにして
理想の素材が誕生する。
そんな絶妙のコンビネーションが、私たちの願いです。



新素材の研究・開発に

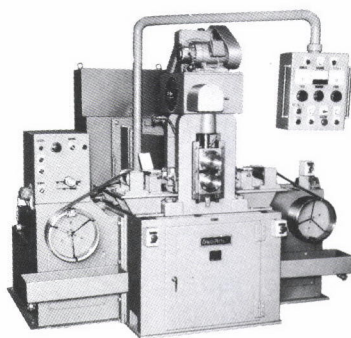
(学校・研究所に最適)
小規模生産用

直接駆動圧延機



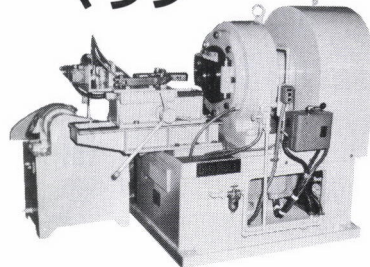
- ▲ ロールーと減速機を直結しました、機床スペースが少なくツイン駆動もすぐ出来ます
- $\phi 63, 100, 125, 150, 250$ 等色々なサイズがあります
- 主に小規模な生産、荒伸し、中間圧延用
- 4段アタッチメントを、ロードセルの取付を、ローラを組替えればミゾ圧延を、フープ材の圧延には巻取装置をご使用ください

5型可逆2段/4段圧延機



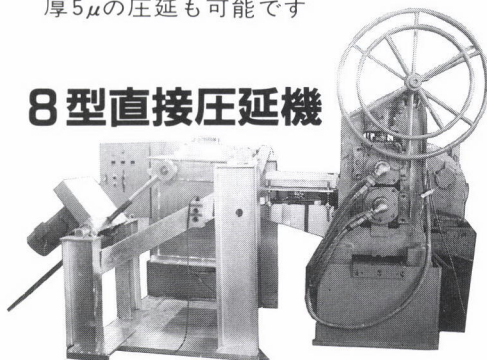
- ▲ 巻取機を取付け高精度圧延ユニットを組込めば $\pm 1.5\mu$ の圧延も可能です
- 多段ロールユニットを組込めば最小板厚 5μ の圧延も可能です

スエーピングマシン



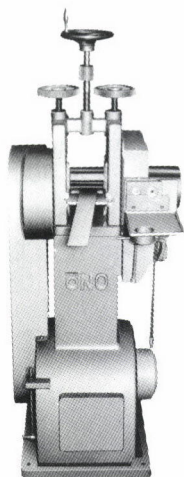
- ▲ 冷間および熱間で鍛造します
- 丸、角の形で加工出来ます

8型直接圧延機



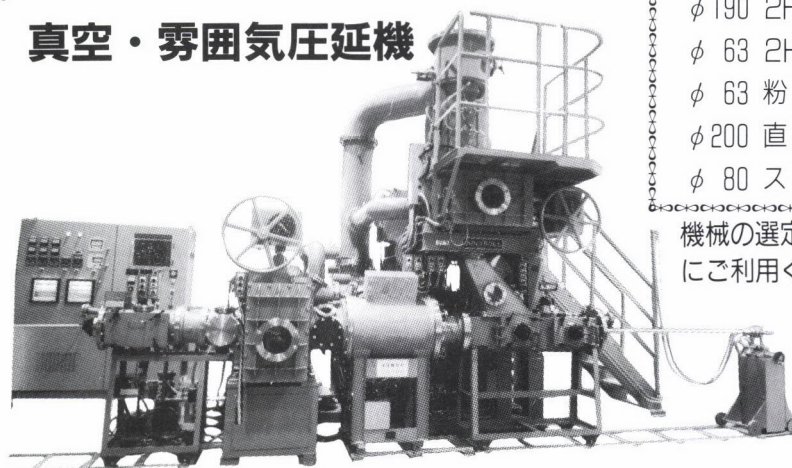
- ▲ アルミの溶湯より直接板を作ります
- $2t \times 200W, 7t \times 200W$, 等色々出来ます
- アップコイラー付シャーリング付

63mm 2段圧延機



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

真空・雰囲気圧延機



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

テスト機もあります

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

機械の選定・探索テストにご利用ください

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

大野 口 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

JIS '96年版41冊 全61冊

ハンドブック

《1996年版の特色》

- ★ 鉱工業の各業態別JISを厳選・収録。
- ★ 新規制定規格と改正規格を網羅した最新のJIS規格集として一層充実。
- ★ 情報処理〔OSI編・データ通信編・プログラム言語編・追補版〕を新たに刊行。
- ★ ISO 9000 (品質システム審査登録制度) 関連JISを当該ハンドブックに収録。
- ★ 利用の便を配慮した“参考・付録”がさらに充実。

0 JIS 総目録 ¥ 3,900	10 環境測定 ¥ 9,200	21 安 全 ¥ 6,100	30 工作機械 ¥ 9,600	40 金属分析 (鉄鋼編) ¥ 8,000	54 織 維 ¥ 5,700
1-1 ** 鉄 鋼 I 〔用語・検査・試験・特殊用〕 〔途鋼・鋳鍛造品・その他〕 ¥ 3,900	11 * プラスチック ¥ 9,100	22 油 圧 空 気 圧 ¥ 6,500	31 化学分析-95 ¥ 5,500	41 金属分析 (非鉄編) ¥ 8,700	55 情報処理 〔ハードウェア編〕 ¥ 9,000
1-2 ** 鉄 鋼 II 〔棒・形・板・帯・鋼管・線・二次製品〕 ¥ 4,100	12 石油-95 ¥ 6,500	23 放射線 (能) ¥ 6,600	32 ポンプ-94 ¥ 6,200	42 ** 電気計測 ¥ 7,400	56 情報処理 〔ソフトウェア編〕 ¥ 7,000
2 ** 非 鉄 ¥ 6,000	13 試 薬 〔7月刊〕 ¥ 8,400	24-1 建築-95 〔材料編〕 ¥ 6,600	33 色 彩 ¥ 5,000	43 熱処理 ¥ 7,800	57 情報処理-95 〔データ通信・OSI下位〕 〔層・テキスト変換編〕 ¥ 8,800
3 ** ね じ ¥ 6,000	14 * 品質管理 ¥ 5,500	24-2 建築-95 〔試験・設備編〕 ¥ 6,600	34 ** 金属処理 ¥ 6,200	44 ガラス-93 ¥ 4,900	58 情報処理 〔用語・符号編・データコード編〕 ¥ 6,400
4 * 工 具 ¥ 7,600	15 製 図 ¥ 5,800	25 シ ン ク ¥ 4,100	35 標準化 ¥ 7,100	45 耐火物-93 ¥ 4,900	59 情報処理-94 〔プログラム言語編〕 ¥ 8,900
5 * 機械要素 ¥ 6,600	16 * 溶 接 ¥ 6,500	26 土木-95 ¥ 7,300	36 * セラミックス-94 ¥ 6,800	46 計測標準-95 ¥ 4,300	60 情報処理-95 〔OSI上位層編〕 ¥ 8,800
6 ** 配 管 ¥ 7,700	17 物流・包装-95 ¥ 8,200	27 * 自動車-95 ¥ 9,500	37 ロボット・FAシステム-94 ¥ 6,500	47 ボイラ・圧力容器 〔試験/検査/法規編〕 ¥ 8,200	61 非 破 壊 検 査 ¥ 5,500
7 ** 電 気 ¥ 9,000	18 図記号 ¥ 6,100	28 ** 機械計測 ¥ 5,800	38 紙・パルプ-94 ¥ 4,700	48 ボイラ・圧力容器 〔構造/部品編〕 ¥ 8,800	62 コンクリート製品 〔土木関係〕-95 ¥ 5,600
8 * 電 子 〔試験方法/オプトエレクトロニクス編〕 ¥ 8,900	19 ゴ ム ¥ 8,300	29 ** 塗 料 ¥ 6,700	39 光学-94 ¥ 6,600	53 クリーンルーム-95 ¥ 4,400	63 情報処理 〔追補版〕 ¥ 4,400
9 * 電 子 (部品編) ¥ 7,700	20 接 着 ¥ 6,000	* □ (アミ) のかかった既刊本は1996年版が出ませんので、続刊として発売中です。 * 価格には消費税が含まれております。 * ★★印は英訳版('96年版)刊行予定 ★印は英訳版発売中 * No.49、50、51、52は欠番です。 ※ 価格は税込です。 カタログ進呈			

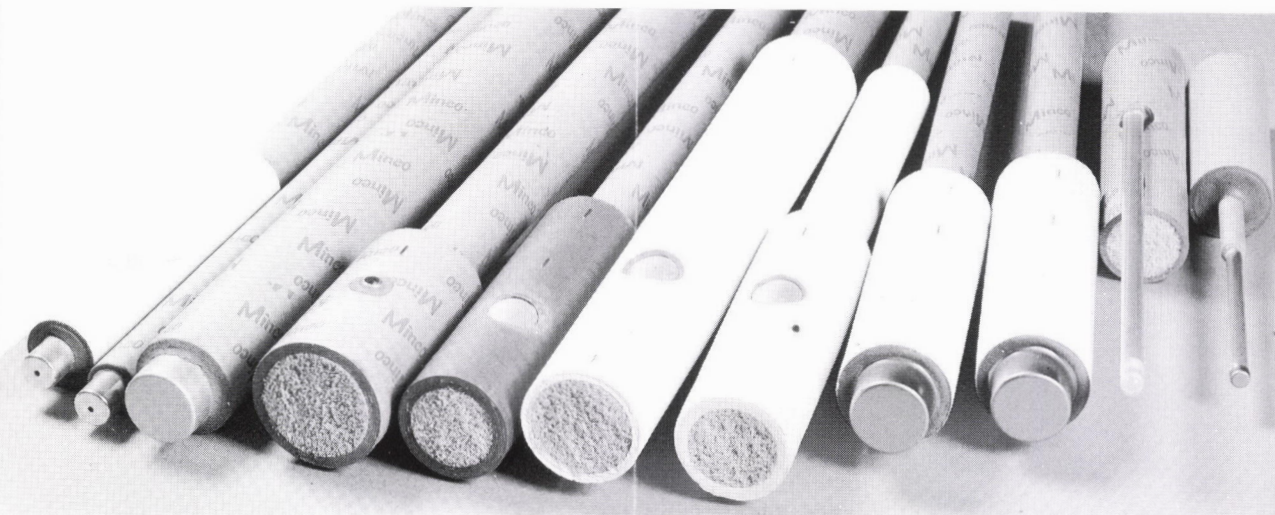
財団法人 日本規格協会

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

Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

品質向上のパイオニア

■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)



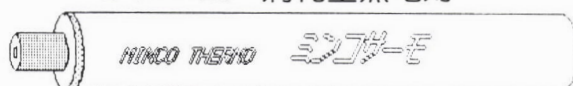
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

PT301型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968

白金・白金ロジウム

■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。

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

日本ミンコ株式会社

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

お問い合わせは

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

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

HORIBA

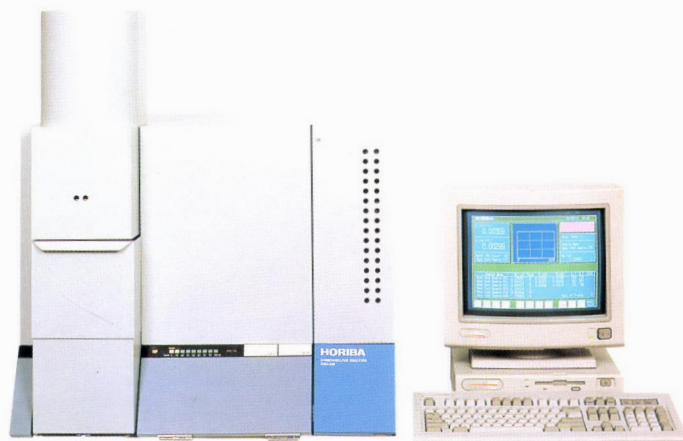
温度を制するものは、
炭素・硫黄分析を制す。

&

炭素・硫黄の正しい分析には、
「燃焼コントロール」は欠かせません。

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

私たちが待ち望んでいた微量炭素・硫黄の高精度
分析、この1台が解決します。



鉄鋼・非鉄金属・新素材・セラミックスなどの品質チェックに。研究開発に。

炭素・硫黄分析装置

NEW

EMIA-820 シリーズ

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

製品についてのお問い合わせは[ホリバCSセンター]まで
(祝祭日を除く月～金/9:00～12:00、13:00～17:00)



0120-37-6045

詳しい資料をご希望の方は、郵送またはFAXで(株)堀場製作所
広報室までご請求ください FAX (075)321-6621

EMIA-820
資料請求券
ふえらむ'96-07

株式会社堀場製作所 本社 〒601 京都市南区吉祥院宮の東町2 TEL(075)313-8121 ●東京 TEL(03)3861-8231 ●名古屋 TEL(052)936-5781 ●大阪 TEL(06)390-8011 ●福岡 TEL(092)472-5041
日製産業株式会社 ●東京 (03)3504-7211 ●札幌 (011)221-7241 ●仙台 (022)264-2219 ●埼玉 (048)653-2341 ●茨城 (0298)23-7391 ●千葉 (043)247-4151 ●八王子 (0426)43-0080 ●横浜 (045)451-5151 ●厚木 (0462)96-6831 ●新潟 (025)241-3011
●富山 (0764)24-3386 ●豊田 (0565)28-5191 ●名古屋 (052)583-5854 ●京都 (075)241-1591 ●大阪 (06)366-2551 ●岡山 (086)425-1316 ●広島 (082)221-4514 ●高松 (0878)62-3391 ●福岡 (092)721-3501 ●沖縄 (098)878-1311