

ふえらむ

Vol.2 No.8 1997

(社)日本鉄鋼協会会報

B u l l e t i n o f

T h e I r o n a n d S t e e l

I n s t i t u t e o f J a p a n



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

ホームページ <http://www.isij.or.jp>

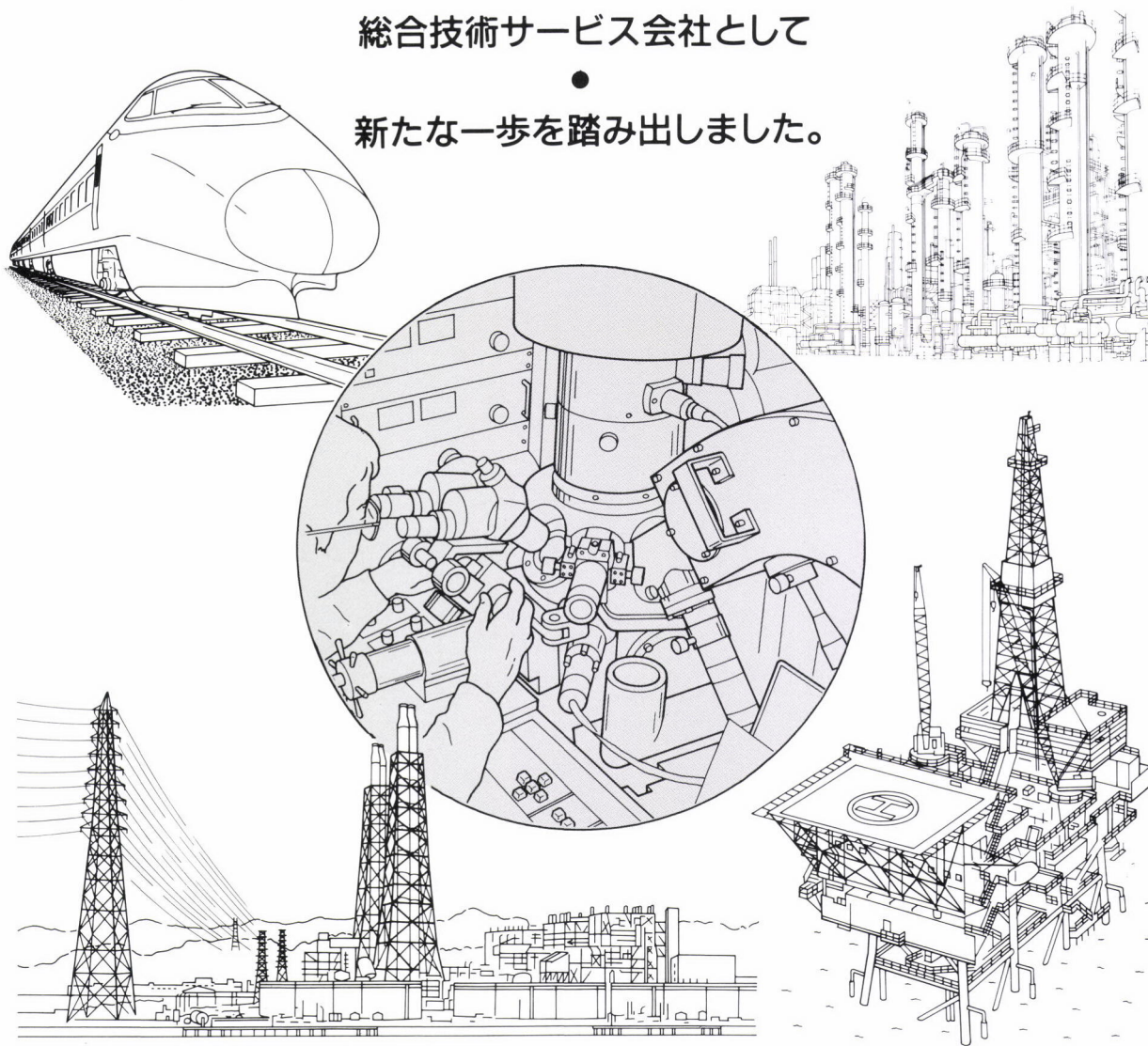
まだまだ広がる

テクノロジーの未来

住友金属工業株の永年の技術と経験の蓄積をバックにした

●
総合技術サービス会社として

●
新たな一歩を踏み出しました。



住友金属テクノロジー株式会社

(本社)

(受託研究事業部)

(関西事業部) (尼崎)

(大阪)

(和歌山事業部)

(小倉事業部)

(鹿島事業部)

(鉄道産機事業部)

(OCTG事業部)

〒660 尼崎市扶桑町1番8号 TEL.06-489-5778

〒660 尼崎市扶桑町1番8号 TEL.06-489-5779

〒660 尼崎市東向島西之町1番地 TEL.06-411-7663

〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号 TEL.06-466-6153

〒640 和歌山市湊1850番地 TEL.0734-51-2407

〒803 北九州市小倉北区許斐町1番地 TEL.093-581-3289

〒314 茨城県鹿嶋市大字光3番地 TEL.0299-84-2557

〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号 TEL.06-466-6176

〒660 尼崎市東海岸町21番地1号 TEL.06-409-1121

本誌広告取扱 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

ふえらむ

Vol.2 (1997) No.8

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	抗菌のテクノロジー	2
特報	産業技術歴史展テクノフェスタ21開く	10
鉄の絶景	人の暮らしを支える鉄 ～全国～	14
特別講演	組織制御学の進展 住友金属工業（株）総合技術研究所顧問 西沢泰二	17
名誉会員からのメッセージ	Fruitful Culture Mixing and New IRSID 元IRSID Michel Olette	22
展 望	21世紀の日本鉄鋼業 第5回 鉄鋼技術政策の現状と展望 通商産業省環境立地局環境指導課長 林明夫	24
入門講座	計測技術編 — 3 設備診断のための計測技術 九州工業大学情報工学部教授 豊田利夫	36
	専門用語 — 鉄鋼材料編 2 相変態と熱力学・入門 東京工業大学大学院総合理工学研究科材料物理科学専攻助教授 梶原正憲	41
鉄の歴史	戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史 — 技術編 溶融亜鉛めっき鋼板の発展を促進した技術開発 三晃金属工業（株）専務取締役 久保田正郎	47
北欧鉄鋼業事情（平成9年度日本鉄鋼協会若手会員北欧研修旅行報告）	豊橋技術科学大学生産システム工学系教授 川上正博	60
第33回白石記念講座報告	育成委員会技術講座分科会委員（新日本製鐵（株）） 西野誠	62
会員へのお知らせ		63



抗菌のテクノロジー

目に見えない脅威と闘う技術

抗生物質の発見は、人と細菌との闘いという場面で華々しい成果をもたらしてきた。

それは現代の科学技術が獲得した勝利の一側面でもあったはずだった。

ところが昨年日本を震撼させたO-157ショックをはじめ、

さまざまな菌の逆襲ともいえるべき現象が、

ここへきて鮮明になってきている。

中世欧州のペスト流行が都市化と関連していたように、

新たな菌の脅威も、現代の生活様式と関連している。

さまざまな工業製品に適用可能な抗菌技術は、

都市環境への適材適所な導入により、

快適で安心な生活環境づくりに役立つ技術であると考えられるだろう。

写真：O-157の菌体
(イメージ加工)

生活空間全般に広がる抗菌化の波、 リスク軽減に 食品関連産業なども積極化

新たな細菌による感染症や、すでに克服したはずの病原菌のリバイバルなど、細菌に対する脅威が、ここへきて強く意識されるようになってきた。脅威は経済的な実態をともなった現象へと結びついてもある。そんな中、あらゆる生活関連品の抗菌化が進んでいるという。抗菌技術とはどんなものなのか。また抗菌技術をどうとらえていくべきなのだろうか。その全体像を抽出してみる。

相次ぐ細菌の逆襲に、抗菌ブームが本格化

O-157という名称が強烈なインパクトとともに知れ渡ったのは昨年春から夏にかけてのことだった。従来の菌種であればさほど問題にならないほど少量の菌数で激烈な毒素を出す未知の大腸菌は、大阪府堺市、岡山県邑久町をはじめとする全国45都道府県で1万人に迫る中毒患者を出し、子供を中心に11人の命を奪った。その後今年に入ってからもうすでに被害が続出している。

感染元のわからない伝染性の細菌は、「O-157パニック」ともいうべき混乱をもたらした。感染への不安から寿司屋や焼き肉屋などから人々の足が遠のくなど、外食は大打撃を受け、カイワレをはじめとする生野菜の売り上げも激減した。外食産業の売上減少率は阪神大震災による影響を上回る規模だというから、この「目に見えない敵」の脅威は半端なものではない。

レジオネラ菌による肺炎患者頻出という事件も昨年来のトピックスとなった。耳慣れない名前の菌だが、24時間風呂やビルの空調ダクトなどで繁殖し、水蒸気とともに人の肺に入り込むという。菌種そのものは以前から土中などに生存してきたが、密閉度の高い住宅様式の普及によって、より人の体内に入りやすい場所で繁殖するようになったということらしい。

衛生のお手本であるはずの病院という場所で起こった院内感染というニュースも、大きな衝撃となった。おもに主役となったのは、抗生物質に対する抵抗力を獲得したメチシリン耐性黄色ブドウ球菌（MRSA）である。黄色ブドウ球菌そのものは人の鼻孔などに日常的に住み着いている菌だが病院などの抗生物質を大量に扱う環境内では、まれに突然変異によって耐性を獲得してしまう。メチシリンとはペニシリン耐性を獲得したぶどう球菌を駆逐するために開発された抗生物質だが、使用するうちにメチシリンとともにその他のさまざまな抗生物質に強い（多剤耐性）ぶどう球菌が生まれてしまった。MRSA自体の感染力は弱く、健康な者では発病することはめったにないが、

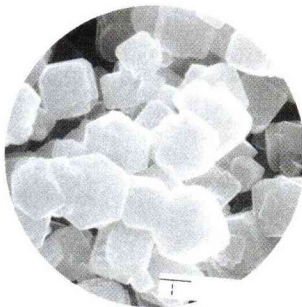
乳幼児、高齢者、術後患者、抗癌剤や免疫抑制剤などの投与者が多い病院という場所では感染が起こりやすくなるというわけだ。従来の抗生物質が効かないため致死率が高くなる。

食品流通網に乗って波及するO-157、空調に住み着くレジオネラ、現代医療の中核で活力を得ているMRSAなど、いずれも文明に対する菌の逆襲というか、何かの皮肉のような現象となっている点が興味深い。これら「新興」の感染症に加え、すでに人類が克服したと信じていたコレラ、マラリアなども、その復活がWHOによって告げられた。また英国の狂牛病や台湾などで大流行した口蹄疫（豚）など、家畜の疫病のニュースも絶えない。

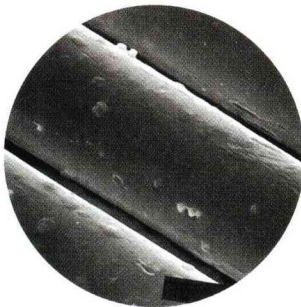
O-157騒ぎをはじめとする菌の恐怖は、産業の分野では抗菌製品のブームという形で現れるようになった。以前から消費者の衛生意識の高まりとともにというか、潔癖症ニーズに応えてというべきか、さまざまな「抗菌グッズ」が登場していたが、とりわけO-157という、きわめて少ない菌数で激烈な食中毒を引き起こす菌の登場は、食品関連メーカーなどに大きな危機意識を呼び、抗菌製品への期待が一気に高まったと考えられそう。ごく身近なところを見渡しただけでも、コンビニのテイクアウト用食品容器が抗菌化されたり、ファーストフードのレタス流通用包装材にワサビエキス系天然抗菌剤が混入されるなど、抗菌への具体的な動きを目にすることができる。

身のまわり品に多用されている無機系抗菌剤

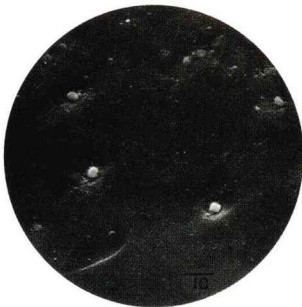
製品を抗菌仕様にするための、いわゆる抗菌剤には大きく分けて無機系と有機系がある。無機系は、銀、銅、亜鉛などの金属イオンの殺菌力を利用するもので、特徴としては揮発性がなく生体への毒性もほぼゼロということ。対する有機系は揮発性の高いものが多く、強力に速効性があり比較的安価だが、毒性が高いものもある。とくに細菌だけでなくカビを抑制したい場合には有機系が多く使われるようだ。ワサビやヒノキチオールなどの天然系のもも後者に入る。身近な有機系剤とし



銀系抗菌剤



繊維加工品



樹脂成型品

※粒に見えているのが練り込まれた抗菌剤

銀系抗菌剤が使われている抗菌製品の数々（写真提供シナネン）
安全性が高いことから多用されている銀、銅系・無機系抗菌剤が菌を破壊するメカニズムは、はっきりと解明されているわけではないが、1) 金属の触媒作用で空気や水の中にある酸素が活性酸素に変わり、菌の表面に損傷を与える 2) 微量の金属イオンが菌の体内で酵素障害を起こさせる——などによって考えられている。

ではシャンプーなどに使われるジंकピリチオンや、クレゾールなどといったものがあげられるが、その他にもかなりの多種が用途に応じて使い分けられている。

身のまわりの抗菌製品には、安全性や効果の持続性などのメリットから無機系の抗菌剤がおもに使われている。現状、抗菌剤の約80%が無機系ともいわれているから、以下は無機系を中心に話を進めたい。

無機系抗菌剤の主流になっているのは銀系のもので、担持

体となる無機酸化物（リン酸カルシウム、シリカゲル、ゼオライトなど）の孔や結晶格子の中に銀をイオンや化合物の形で閉じ込め粉末状に加工してある。こうした銀系抗菌剤は現在10社以上が製造しており、担持体の種類や銀の形態などに各社オリジナリティがあるようだ。

この種の銀系抗菌剤は樹脂との相性もよいため、ありとあらゆる生活用品に使われるようになってきた。キッチン用品、家電部品、文具などにはじまり、衣類やカーペットなどの繊維製

銀系抗菌剤（抗菌性銀ゼオライト）が適用されている分野と製品例

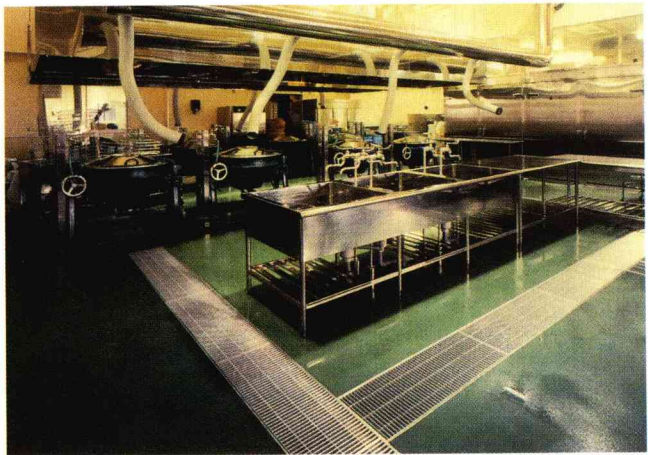
家庭電気製品他	食品関係	日用品他	建材	繊維製品	文房具その他
冷蔵庫 （自動製水器 内箱 野菜室） 冷蔵ショーケース 食器乾燥機 電気ポット 浄水器 自動販売機 温水便座	フィルム包装材料 ホース まな板 しゃもじ	風呂・台所用品（桶・洗面器） （三角コーナー） スポンジ類 歯ブラシ・ヘアブラシ シェーバー・体重計 旅行カバン	床材 （塩ビ 木質系 壁紙 木質系） 壁材 塗料 銅板 パーテーション 塗り床 天井	衣類（看護服） （診察衣） タオル・フキン カーテン カーペット ナイロン ポリエステル	筆記用具 紙 ノート 下敷・定規・消しゴム おもちゃ 抗菌砂 電卓 自動車 吊り輪 カラオケマイク 切り花保存材

院内の抗菌化（東京医科大）
で対象とされた製品の例

衣類	スリッパ 予防衣
家具類	ストレッチャーガード 手摺 洗浄式便座 便座カバー 陶器・大小便器
	塗料 焼付
	スライディングドア パーテーション ファンコイルカバー
天井	塗料
壁	塗料 クロス
床	巾木
	タイル
	長尺シート タイル カーペット



抗菌仕様を徹底的に盛り込んだ業務用冷蔵庫
庫（松下冷機）



コーティング式抗菌床材の給食センターへの施工例（住友ゴム工業）

品、床材や壁紙などの建材にも採用されている。

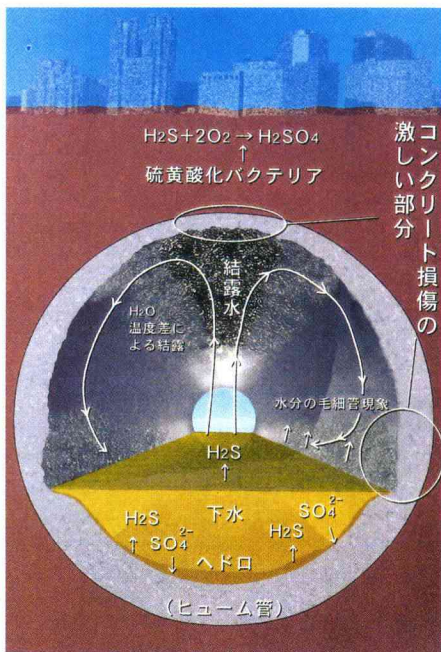
東京医科大学（東京都新宿区）ではこうした銀系抗菌剤を中心に、床、壁をはじめ内装すべてを抗菌仕様とした抗菌病棟をつくった（上表参照）。先にふれたMRSAによる院内感染の新たな予防法を模索する試みである。

住友ゴム工業は銀系抗菌剤を、食品工場や給食センター向けのコーティング式床材に添加した抗菌床材を開発し、この春から販売を始めた。エポキシ樹脂や樹脂モルタルに銀系抗菌剤を練り込んだものだ。外食産業が「弁当や外食は危ない」という消費者の不審感から打撃を受けたことは述べたが、コーティング式抗菌床材は信頼を回復したい食品施設のニーズに応えたものといえるだろう。その他さまざまな食品メーカーの生産ラインに銀系抗菌剤で抗菌処理された設備が導入されているようだ。

期を同じくして松下冷機は銀系抗菌材で徹底的に抗菌処理をほどこした業務用の冷蔵庫を発売した。ドア、手すり、内箱はもちろん、棚網や機械室のグリルなどのステンレスにも樹脂に混ぜた抗菌剤をコーティングしてある。家庭向け冷蔵庫の自動製水器部分を抗菌仕様としたものなどはあったが、ほとんどまるごと抗菌仕様としたのは、やはりO-157騒ぎを意識したもののだろう。

過大な期待は禁物、正しい認識が重要な抗菌性能

銀系抗菌剤を世界で始めて開発し、現在もシェアの60%をもつシナネンでは、こうした抗菌ブームが抗菌剤の新たな需要増につながることを肯定しながらも、抗菌剤に対する「過大な期待」は禁物であり正しい認識を持つことが不可欠であることを指摘する。「抗菌剤は殺菌剤ではありません。銀イオンが菌を抑制することができるのは分子レベルでの表面部分だけです。表面に汚れがついてしまえば、汚れそのものに厚みがありますから抗菌性能は働きません」（シナネン ゼオミック事業部長 吉成彪氏）という。例えば銀系抗菌剤を用いた抗菌仕様のまな板でも刃跡に汚れがたまった状態では、十分な効果が期待できない。わずかにコンマ数ミリのヨゴレが細菌たちには広大な豪邸になってしまうからだ。床材などにしても、油などの有機物が表面に付着してしまえば、有機物の被膜の中で菌は増殖してしまう。無機系抗菌剤の抗菌機能を発揮させるためには、常に表面をきれいにしておかなければならないのである。いずれにせよ、人の手で十分に清掃をし、清潔を保ったうえでの抗菌ということになる。製造メーカーとしてはPL問題を意識すればそのあたりは十分にアピールしておきたいポイントなのかもしれない。

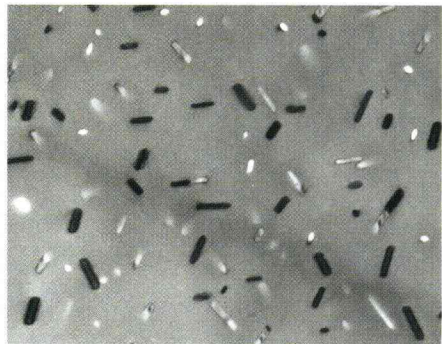


細菌によるコンクリート腐食のメカニズム

菌の抑制技術で、腐食や汚れをコントロール

細菌の人体への感染予防という使い道以外にも、無機系抗菌剤の用途は広がっている。シナネンが開発したコンクリート用抗菌剤などもこれにあたる。コンクリート用抗菌剤の目的は大口径の下水道管の腐食を防止し、寿命を延ばすことにある。下水には硫化水素ガスが日常的に発生するが、硫黄酸化細菌（チオパチルス菌）がこれを硫酸に変えてしまう。この硫酸によって下水管の内側が腐食し崩壊へと向かう。従来からの対策として内側に耐酸性の樹脂コーティングを施す方法が考案されていたが、コスト負担が大きすぎるという欠点があった。そこでシナネンではコンクリートに1%ほどの抗菌剤を混入し、チオパチルス菌を抑制することでコンクリートの浸蝕を防ぐ方法を考案し、この5月からコンクリート用の抗菌剤を販売開始した。従来からの銀系抗菌剤の技術を活かした製品だが土木用という大量使用を前提とした分野で使われることからコストを抑えるために銀の比率を減らし代わりに銅を多用したという。

「水まわりまるごと抗菌計画」を全社キャンペーンで実施したINAXの場合も、便器をはじめとする衛生陶器の汚れ対策として抗菌仕様に取り組んだ。昨年6月にトイレから抗菌化に取組みはじめ、洗面、キッチンと進めてきた。この6月に浴槽をはじめとする浴室空間の抗菌化が終了し、INAXの商品は一部を除き抗菌が標準仕様になった。価格は従来そのままである。「たしかにO-157騒ぎで抗菌に注目が集まっていますが、当社の場合菌の増殖を防ぐことで汚れや臭いを減らしメンテナンスを楽にすることが元来の目的でした。抗菌製品は菌の増殖を抑えますが、それで感染症がパーフェクトに予防できるという



抗菌ステンレス鋼の微視組織。（黒白の粒子はε-Cu相）

うものではありませんね」（INAX基礎研究所素材工学研究室チーフ今井茂雄氏）。すでに述べたように揮発性がない無機系抗菌剤では材料と菌が触れていなくては効果が出ない。「菌が増殖するには水と栄養と温度の3つの要素が揃えばいいわけです。例えば感染者の便の小さな飛沫が飛んだというような場合、そこにその要素が成立してしまう。抗菌の効果がとどくのは抗菌材料と付着物の境目だけです」

無機系抗菌剤の場合、菌数が減るまでに比較的長い時間を必要とすることも留意しておくべき点だ。その抗菌効果の発現する時間は3～6時間程度。試験は24時間を標準として行われることが多い。それだけ時間がかかると頻繁に人の手が触れるような場所では、あっという間に菌に感染してしまう。O-157はきわめて少ない菌数で中毒症状が出るのがひとつの特徴となっているから、抗菌仕様への過信は禁物といえよう。

そういういつも菌の怖さはやはりその増殖力にある。大腸菌では条件が揃えば20分に1回の割合で分裂を続ける。1個の菌が9時間で1億になってしまう計算だ。長時間にわたって効力を発揮し、菌を除いていく抗菌は、人為によって清潔を維持することを前提としてはいるものの、やはり意味がないわけではない。けっきょく、あらゆる複合的な防衛手段のひとつとして抗菌は有効であると考えるべきなのだろう。

「安全性を重視したものを抗菌剤、速効性を重視したものを殺菌剤というようにはっきりとわけて考えるべき」（前出・吉成事業部長）という意見もある。

銅の殺菌力を活かした抗菌ステンレス

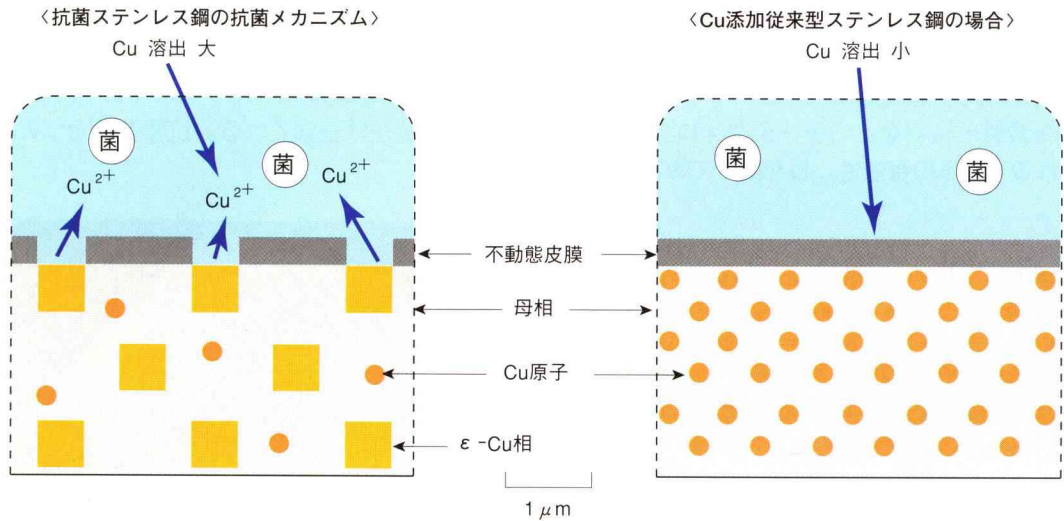
抗菌志向の波は鉄鋼分野にも波及している。日新製鋼が商品化した抗菌ステンレス鋼が代表格といえるだろうか。抗菌のメカニズムは無機系抗菌剤でも使われている銅イオンの殺菌力を利用する。銅を添加したステンレス鋼は高耐食用、高加工用などとして用いられてきたが、従来型のものはステンレス鋼表面に形成される不動態被膜が銅の溶出を抑制してしまうため銅の抗菌効果は充分に発揮されていなかった。

抗菌ステンレス鋼では、製造過程での特殊な熱処理によって、銅を微小な粒子（ε-Cu層）に変化させて析出させている。

抗菌ステンレスと一般ステンレスの比較（減菌率は黄色ぶどう球菌を用い抗菌ステンレスを100％として比較）

鋼種	区分・材料名	Cu量（％）	試験開始時生菌量	24時間後生菌量	減菌率（％）
フェライト系 （一般耐食、加工用途）	抗菌ステンレス（Fe/17％Cr）	1.5	4.8×10^5	10未満	100
	比較鋼（SUS430J1L相当）	0.5	3.1×10^5	1.9×10^5	39
オーステナイト系 （高耐食、高加工用途） （刃物用途）	抗菌ステンレス（Fe/18％Cr/9.5％Ni）	3.7	2.3×10^5	10未満	100
	比較鋼（SUS304J1相当）	2.0	1.5×10^5	1.4×10^4	91
	（SUSXM7相当）	3.2	1.5×10^5	1.2×10^4	92
マルテンサイト系	抗菌ステンレス（Fe/0.3％C/13％Cr）	3.0	4.2×10^5	10未満	100

試験依頼先：（財）日本食品分析センター



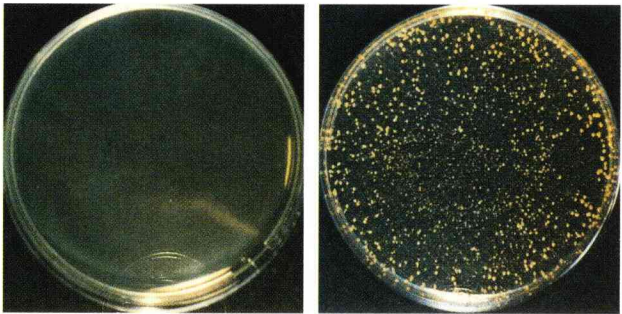
この微小粒子となった銅の上には不動態被膜が形成されず、銅が直接外面に露出する形になる。それによって銅溶出量が多くなり、銅イオンによって表面の菌が抑制されるというわけだ。1mlの菌液を付着させ24℃で、24時間放置する試験では、従来のステンレス鋼と比較して数1000～10000倍の減菌効果が得られたという（上表参照）。

すでに、家庭用品では洗濯機やシステムキッチン、台所用用品、包丁などに使われはじめており、さらに今後、医療器具や食品加工用製造設備への使用が期待されている。

細菌との共存という思想

中世ヨーロッパでのペスト大流行による死者の数は、今日でいえば、都市に核爆弾が落ちたのに匹敵するインパクトがあったと分析する歴史研究家がいる。菌との闘いは、人類にとってきわめて古くから続いてきたサバイバルゲームだったのである。近年では米国でHIV（エイズ）による死者数がベトナム戦争による死者数をこえたといった例もある。伝染病は時として戦争以上の破壊力を発揮するということだ。

しかし微生物を単純に「敵」とみなしてしまうことはあまりに性急にすぎるという見方もある。人間の体にはひとまとめにとするとハンドボール1個分の大きさに相当するほどの微生物がいるといわれるが、そのうちあるものは、腸内有用細菌のように人にとってなくてはならない機能を担っている。微生物を毛嫌いするだけでは、人は生存していけない。森林を育てる土



菌を付着させ保存24時間後の生菌数を測定したもの（培養平板）。抗菌ステンレス（左）と従来のステンレス（右）ではっきりと差が出た

壤の生産力も微生物に負うところは大きい。どうやって微生物と共存していくかという視点が、ポスト現代の発想として必要なのではないだろうか。

その意味で抗菌のテクノロジーは、潔癖症の都会人のためというよりは、こうした微生物との好適な共存関係を結んでいくために使われるべきなのかもしれない。健康な人の気管支には繊毛運動によって外部から結核菌が落ち込まないようにしくみがあたえられている。住居まわりに大量の殺菌・消毒剤をまくのではなく、さまざまな抗菌技術を適材適所で使いわけて、住環境内の菌をやわらかくコントロールし、その中で最低限必要な消毒剤や抗生物質を使うなど、微生物との共存を図っていく——という選択が求められているのかもしれない。

取材協力・写真提供：INAX、シナネン、住友ゴム工業、日新製鋼、松下冷機

抗菌から環境浄化へ 二酸化チタンの画期的な 光クリーニング効果

従来からの無機系抗菌剤とは一線を画する光触媒による抗菌技術が実用化されつつある。その効果は超抗菌といえるほど高い。しかもこの光触媒技術は抗菌というくくりにとどまらず、大気や水の浄化という環境浄化や汚れをセルフクリーニングできる素材・塗料などのキーテクノロジーとして大きな期待がかけられている。抗菌をひとつの足がかりに、画期的といわれる光触媒の可能性に目を向けてみる。

光触媒機能で菌を分解、ヨゴレ・ニオイも抑制

昨年8月、衛生陶器メーカーであるTOTOは、光触媒薄膜（二酸化チタン）と抗菌金属（銅）をタイル表面に焼成・固定化することで超抗菌・防汚・防臭などの機能をもたせた「多機能タイル『スコルト』」を発売した。世界初の技術だという。

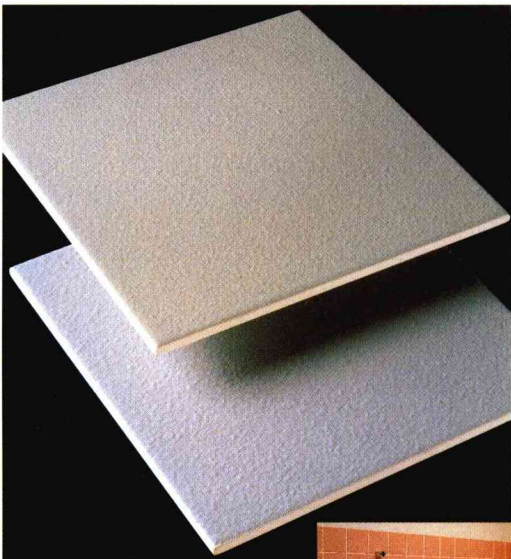
二酸化チタン光触媒は、太陽光や照明などの紫外線を受けると表面に活性酸素（ $\cdot\text{OH}$ 、 O_2^- ）を生じる。その酸化作用で菌が分解され死滅するというのがその抗菌メカニズムである。従来の無機系抗菌剤などと比較してめざましいのは、その速効性だ。約1000ルクスという机の上程度の光を当てた実験では1時間で99.9%の菌が死滅したという。

病院の手術室に光触媒タイルを施工して行った実験では、手術室の壁面の雑菌がほぼゼロになったうえ、空中浮遊菌も減少した。手術室では通常大量の殺菌剤をまいて滅菌をするが、菌がゼロになることはないという。

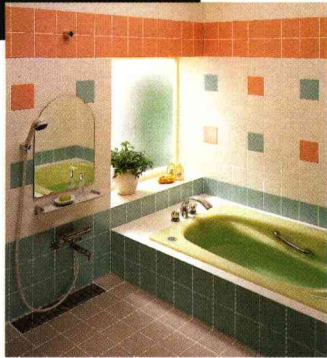
さらに二酸化チタン光触媒は菌を殺すだけでなく、その死骸も分解してしまう。活性酸素が有機物に作用し水や炭酸ガスに変えてしまうからだ。同様に細菌が出す毒素も分解する。従来の無機系抗菌剤では細菌が死んだ後にしばらく菌の死骸と毒素が残される。また脂肪の付着などがあると金属イオンが表面に出にくくなって効果が落ちてしまうという欠点があったが、光触媒タイルでは表面に付着した脂肪そのものも分解できる。

表面付着物を分解してしまう酸化チタンは菌を殺すにとどまらず、自然に付着する汚れをどんどん分解していく性質がある。つまり汚れをセルフクリーニングしてしまうのである。光触媒タイルをトイレに使えば、菌による臭いが発生しにくくなり、清掃も楽になるという。浴室やキッチンなどでは付着面の油脂分を分解するため、汚れが簡単に落とせるようになる。

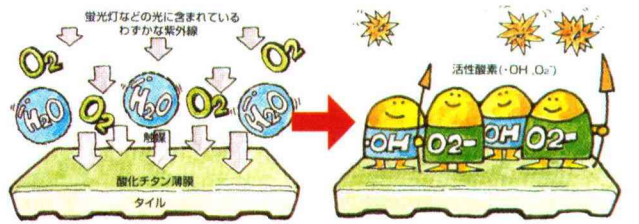
画期的といえる光触媒技術だが、欠点は光が当たらない場合にある。光触媒作用が期待できないと菌や有機物を分解する機能も当然低下するからだ。TOTOのタイルでは暗室状態



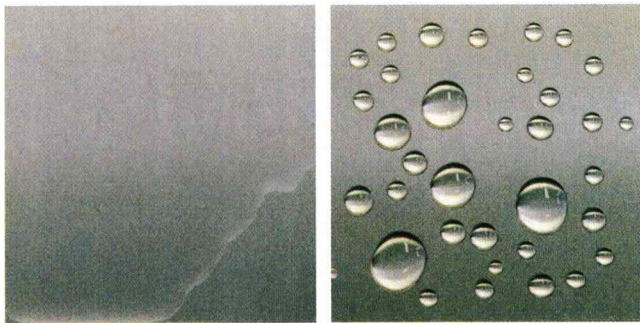
製品化された光触媒タイルとその施工適用例



光触媒タイルの抗菌メカニズム



でも抗菌効果が得られるように、二酸化チタン膜の上から金属イオン（銅）をスプレーし、その殺菌作用と併用することでこの問題をクリアーした。これにより光が当たった場合の約3倍の時間がかかるものの、暗室でも同様に菌が駆除できるという。



シリコン樹脂のぬれ方比較実験。光触媒超親水薄膜コーティングをほどこしたものの（左）とコーティングなしのもの（右）。超親水では水滴ができない



超親水コーティングをほどこした面（右半分）では、鏡が曇らない

TOTOのほかにも何社かの企業がこの光触媒技術の実用化にのり出している。いすゞはこの光触媒技術を冷蔵トラックに応用し、抗菌・防臭トラックを発売した。また神戸製鋼所と竹中工務店はチタン材そのものの表面を光触媒化した抗菌チタン材を開発し、販売を始めた。

曇らない鏡、ワックスがけのいらぬ車が可能に？

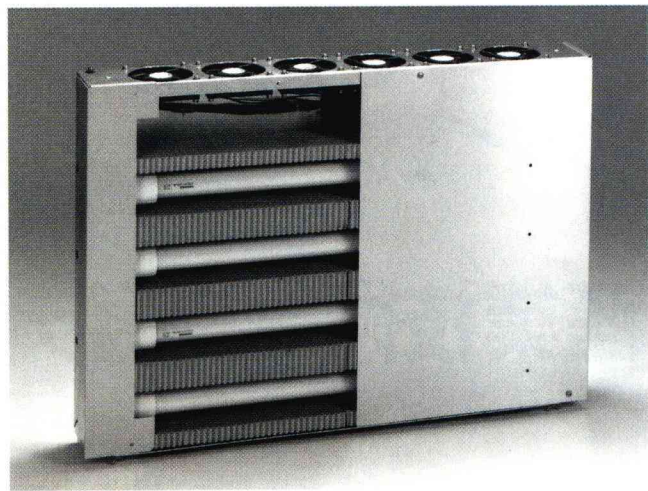
酸化チタン光触媒は、接触面だけとはいえずきわめて強力な分解作用を発揮するため、従来は陶器やガラスなどにしか適用しにくいという欠点があった。ところがTOTOでは、酸化チタンを蓄水性のシリコン系材料（シリカ）に組み込むことで、樹脂などの材料にも適用できるようにした。

蓄水性物質と酸化チタンを組み合わせたことは、光触媒のもうひとつの可能性「超親水性」という効果を引き出した。この素材表面の水酸基に結びついている疎水物質が光触媒作用で分解されると、その後に空気中の水が結びつくが、その一部が蓄水性物質に取り込まれ完全に水になじんだ状態ができるという。こうなると全く水を弾かないし、水が表面になじんでいるため、よごれが付着できなくなるという。

それは「超親水性」が曇ることのない鏡を可能にし、ワックスがけのいらぬ車を実現できるかもしれないということを意味している。ガラスの表面に付着させれば、「窓ふき」が不要な窓ができるという。また太陽電池を広大な面積で設置する場



一定期間雨にさらしておいた光触媒タイルと通常タイル。ヨゴレに歴然とした差が出ていることが分かる



いすゞと日本発条の共同開発による光触媒反応を利用したトラック冷蔵庫用装置。脱臭効果によって、臭い移りを防止することができる。

合、ガラス面のメンテナンスは大きな問題だったが、この技術を用いればメンテナンスフリーにできる可能性も出てきたわけだ。高層ビルの窓清掃もほとんど不要にできるだろう。

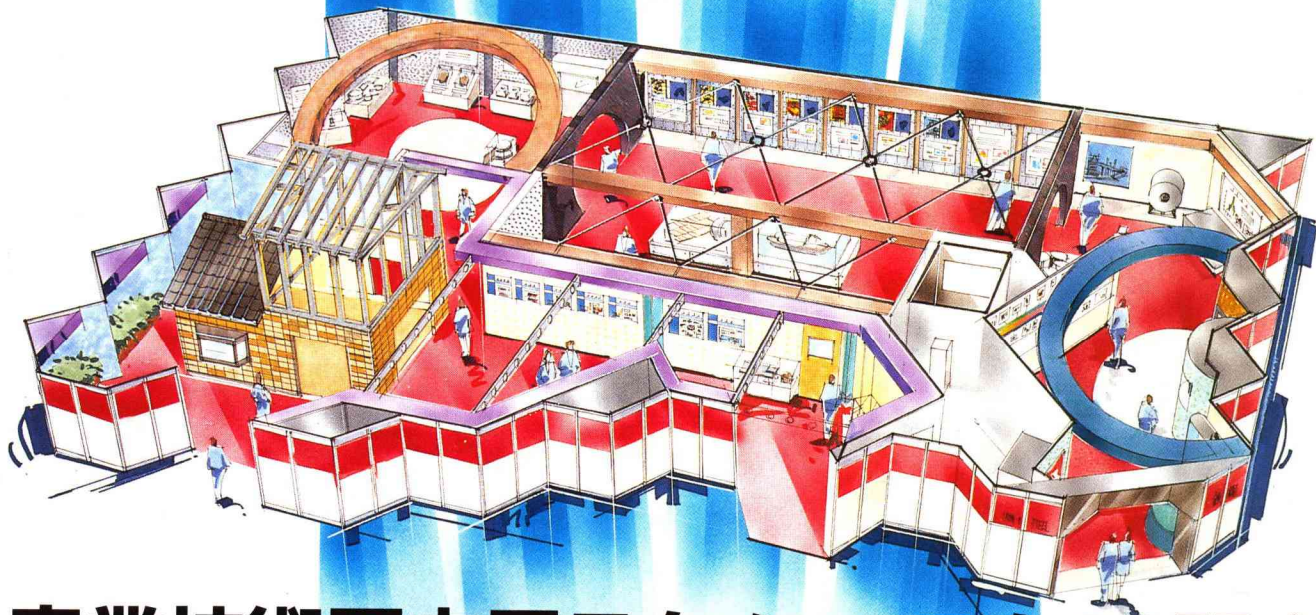
大気や水の浄化にも有望な光触媒技術

抗菌、超親水性にめざましい性能を見せる光触媒技術だが、その可能性はさらに広がる。たとえば光触媒反応は、大気から窒素酸化物（ NO_x ）や二酸化硫黄（ SO_2 ）を除くこともできるという。光触媒作用を受けた窒素酸化物はいくつもの段階を経て最終的に硝酸として触媒表面に固定される。固定された硝酸は雨で徐々に洗い流されるため、エネルギーも清掃コストも使わず大気浄化が行える。大阪府では光触媒を使った窒素酸化物削減の実験を開始しており、すでに実用化への道が模索され始めているといえよう。同様に有機廃水の処理にも光触媒技術は適用され始めている。光触媒技術は抗菌を皮切りに、空気や水の浄化という技術へとつながる気配をみせている。

[取材協力・写真提供：TOTO、いすゞ自動車]



真夏のビッグ・ショーへのお誘い



産業技術歴史展テクノフェスタ21開く

(イラストは鉄の展示コーナーのイメージ図)

夏休みの真っ盛り、産業界、学界、国が一体となつての催し、「産業技術歴史展テクノフェスタ 21」が開催されます。鉄鋼関連では、各メーカーをはじめ、私ども日本鉄鋼協会や日本鉄鋼連盟等の団体も含め、業界をこぞってこれに参画しています。

いろいろな面で壁に突き当たっている今の日本。活路はどこにあるのでしょうか。鍵となるのは、過去がそうであったように、やはりさらなる技術の開発であろうとの視点から、テクノフェスタ 21に戦後半世紀、豊かな社会と暮らしの構築に寄与してきた産業技術の足跡を集大成し、多くの方々にもう一度見つめ直していただこうというものです。

テクノフェスタ 21には、特に次代を拓く若い世代、学生の皆さんへのメッセージが込められています。その成長環境を支えるご両親や先生ぐみで数多くご来場いただき、技術への興味と志向を啓発し、ひいては将来の産業技術を担う独創的な人材づくりへの一助となれば、と願っています。

夏休みの一日を割いて、ぜひ足をお運びください。眺めるだけでなく、いろいろなおもしろい体験もできます。

21 世紀への大いなる遺産

何はともあれ、まず、誌上で現地にご案内して、展示のあ

らまし、見どころ、関連情報などをお伝えしましょう。

会場は横浜新名所「みなとみらい 21」の中にある、パシフィコ横浜。世界最大級の複合コンベンションセンターで、最新のシステムを備えた素晴らしい施設です。この会場だけでも一見の価値があります。あたりは、大規模なショッピング・モール、ホテルやレストラン、プロムナードゾーンをはじめ、さまざまな新機軸の施設が連なる未来感覚ゾーン。そぞろ歩けば、夏休みのいい思い出の一コマとなることでしょう。そしてテクノフェスタ 21を見れば、楽しみながら勉強になり、小中学生の皆さんなら、夏休みの宿題のよいテーマになるかも知れません（アクセスや関連情報は、後掲の「情報メモ」参照）。

さて、会場に入ると、展示は次のようにテーマ展示1から3までと産業別展示の四つのセクションに大きく分かれています。

- テーマ展示1：日本と地球の半世紀——産業技術と社会**
戦後50年、日本の産業技術が果たした役割と地球全体に与えた影響を見つめ直します。
- テーマ展示2：21 世紀のフロンティア——これからの技術の課題**
地球と産業技術の共存共栄、多様な地球社会にどう生きるかという視点から次代への課題を問います。

テーマ展示3：産業技術博物館をつくろう——世界と日本の産業技術継承活動

20世紀の成果を受け継ぎ、歴史から学ぶ。21世紀のフロンティア開拓がテーマです。

産業別展示：イノベーションと産業のダイナミズム

主に戦後の代表的な技術の進歩を産業分野別に紹介するメインの展示です。

メインの産業別展示は、3,620 m²の広いフロアに鉄、自動車、生活、機械、航空宇宙・鉄道、国土・エネルギー、化学・セラミックス、電子・情報・通信の各グループに分かれて展開しています。

それでは、鉄鋼の展示エリアへどうぞ。鉄の展示は、ホール入り口に入って、奥の左側一帯、480 m²のスペースを占め、さまざまな趣向を凝らし、バラエティー豊かに構成されています。

他業界の展示と異なる点がひとつ目につきます。「古代から現代へ」というコーナーが設けられていることです。総体としては、戦後50年の歴史として設定されているのですが、長い歴史をもつ鉄鋼だけは例外として、とくに古代の歴史から説き起こしてあります。

鉄の展示の基本コンセプトを示すタイトルは、「鉄：世界を変える日本の革新技术」、サブタイトルとして、「あなたの生活を支える鉄のヒミツ」というもの。対象としては、主に大学生、高専生、先生方、さらには中高生とその両親などを想定してありますので、わかりやすい展示を心掛けてはありますが、専門家、業界関係の方々にとっても、知識の整理、補完に役立ち、興味深くご覧いただけることと思います。

はるか古代から遠い未来まで——鉄の足跡と夢

展示内容のあらましと個々の見どころをピックアップしてみましょう。

古代から現代へ（前史）

- 大型年表による、古代から現代（1950年）までの我が国の鉄鋼業とその技術発展の歴史

日本の製鉄技術革新

- 「高品質・高効率・量産化」を狙った製造技術の革新
- 高炉、転炉、電気炉、連続 casting、圧延、連続焼鈍、表面処理等の製造プロセスと革新技术を紹介

体験コーナー

- 鉄と磁性、鉄の観察、砂鉄、振動をおさえる鉄、カイロを作る、形状記憶合金の6コーナー

社会を支える鉄

- 鉄の性質を7つに分類して、各種製品を展示

- 強い鉄、硬い鉄、のびる鉄、磁性をもつ鉄、過酷環境に耐える鉄、錆を防ぐ鉄、美しく化粧する鉄の分類での製品展示

地球との共生（快適で豊かな社会を支える鉄）

- 鉄鋼生産プロセスにおける環境負荷削減
- 環境リサイクル：スチール缶リサイクル
- 鉄鋼技術の利用：灰溶融技術

鉄の夢

- 次世代コークス、溶融還元製鉄法（DIOS）、電磁 casting、ニアネットシェイプ
- スーパーメタル
- メガフロート、大深度地下空間、リニア新幹線

憩いのコーナー

- スチールハウス

Q & A コーナー

- パソコン使用によるQ & A コーナー

パンフレット

- 鉄ができるまで（Making of Iron & Steel）

こんな内容ですが、見どころをいくつかみつめてみると、まず、「古代から現代へ（前史）」では、古代製鉄法からたたら吹きを経て近代製鉄技術に至るまで、文明を支えてきた最も古くて新しい材料、鉄と人の長いかわりが展開されます。日本の



パシフィック横浜外観（上）と展示ホール（下）

話題にもなっています耐震住宅システム・スチールハウスでできています。Q & Aコーナーでは、クイズにご参加いただきますよう。

さて、これだけ網羅的、体系的に鉄を集大成した催しは、めったにありません。見逃せないチャンスと申せましょう。

この夏はテクノフェスタ 21 で！

最後に、この夏、なぜ産業技術歴史展なのか、このような、産・学・官を挙げてのイベントが開かれるに至った背景に触れてみましょう。

20世紀も末になって、世界的に科学技術の重要性を再認識し、新たな振興策を講じなければならないという機運が高まってまいりました。これには、およそ三つほどの要因が考えられるようです。

第一には、応用技術の開発は依然として多岐にわたって盛んだが、独創的な新しい技術の発現に停滞傾向がみられること、第二には、たとえば地球環境問題のような技術の発達の副産物としての弊害が表面化していること、そして第三に、若者の科学技術への興味の喪失、いわゆる「理数離れ」が世界的な傾向として問題視されるようになったことです。第三の点はとくに由々しい問題で、技術はこれを継承し発展させてゆく人材なしには次代への飛躍は望めません。

日本では、一昨年、科学技術基本法が制定されてこの問題に取り組む国の姿勢を定めていますが、こうした背景の下、通産省では産業技術の発展を歴史的に捉え継承していくことの重要性を踏まえ、産業技術における独創性、創造性啓発の場として産業技術歴史展の開催を企画、広く業界、学界に呼びかけて、ここに実現のはこびとなったのです。

テクノフェスタ 21 全体の基調をなすコンセプトは、

1. 21世紀の新しい社会を切り拓く産業技術の役割の探求と発見
2. 産業技術のイノベーションを支える創造性のありか
3. 技術が生活と社会をかえる原動力を有していることの実感

いつしか世界のフロントランナーの一員となりながら、ここへきてさまざまな問題が表面化し、反省や改革を迫られている現在の日本。不透明な先行きを前に、やや、自信喪失の気味もある私たち日本人。しかしながら、20世紀後半に日本が開発してきた産業技術の数々は、疑いもなく真に世界に誇ることでできる素晴らしいものでした。テクノフェスタ 21 がこのことを再認識し、自信回復と次代への再スタートへの起爆剤となれば、と関係者こぞって熱い期待をかけています。

真夏のビッグショー「産業技術歴史展テクノフェスタ 21」へぜひどうぞ！

横浜情報えとせとら

みなとみらい 21 が出現する以前から、その周辺はたくさんの人出でにぎわう行楽地帯でした。

京浜東北線・東横線を隔ててすぐの山の手側には、今、中国からの珍客「こうのとり」の公開で話題の野毛山動物園や伊勢山皇大神宮があり、県立音楽堂、図書館、プラネタリウムなどが集う紅葉坂など、市民の憩いのスポットが散在。みなとみらい 21 に新しくできた公園や観光施設と合わせ、緑のプロムナードネットワークが形成されました。

海沿いに少し足を伸ばせば、山下公園界限から、中華街、元町、山手の外人墓地へと、おなじみのミナト横浜名所が続きます。

今、横浜は新旧をとりまぜて、見どころ、楽しみどころがいっぱい！テクノフェスタ 21 がオープンするこの夏、横浜が旬です。



横浜ランドマークタワー



帆船「日本丸」



■景観に配慮した護岸用鋼矢板

■鋼製えん堤



人の暮らしを支える鉄～全国～

日本の人々は古くから、灌漑に便利な河川周辺の低地に水田を開き、集落をつくって生活してきた。

河川周辺地域に暮らす人々は、昭和30年代後半以降の社会・経済の発展に伴って急激に増加し、現在では日本の全人口の半数近くにあたるといわれる。そこには全国の約70%に当たる資産および公共施設が集中しているため、これらの地域で洪水が起こり河川が氾濫すれば、その被害が甚大なものになることは容易に予測できる。

そこで水害を防ぐと同時に、ひいては国土発展のために水を有効利用する治水の技術が必要不可欠なものとして進歩したのである。今回は人の暮らしを支える鉄、治水用鋼材にせまった。

■銅製スリットダム



Steel Landscape.

鉄の絶景



かつて日本では、
水を治めるものが国をも治めた

記録に残る上での日本におけるもっとも古い治水事業は、4世紀に仁徳天皇が行ったとされる堤の工事である。

また戦国時代になると、大名たちが自身の領地の農業生産率を高める目的で、新田開発と並行して水害を防ぐための治水工事を積極的に行うようになった。これらの治水用工事のなかでも、武田信玄、加藤清正らによる堤などに見られる技術は今日においても学ぶべき点の多い非常に優れたものであるといわれ、現代の治水工事の基礎として位置づけられている。

江戸時代に入って大河川下流部の開発が盛んに進められたものの、洪水による被害は激しさをますます増やしていった。水害を防ぐと同時に舟運の便をはかるため、利根川の本流を東京湾から銚子に移した付け替え工事もこの頃行われたものである。さらに明治18年～26年にかけて全国各地で洪水による災害が多発すると、これを機に明治29年には河川法が制定され、ついに治水工事が国家的事業として近代土木技術の力を駆使して推進されることとなったのである。

しかし昭和30年代後半以降、河川近くの洪水の氾濫源となる地域にとくに膨大な人口および資産が集まったことと、第2次世界大戦による治水工事の停滞の影響とがあいまって、いくつもの大水害を被った。こうした経験はさらなる反省を呼び起こし、河川の流れをスムーズにして平常時を越える水量をすみやかに海に放流するために、川幅を広げる、川底を深く掘り下げる、流路を直線に整形する、兩岸に堤防を築くといった改修工事がほとんどの河川で行われるようになった。ま



■護岸用セル打設

た大河川の平野部では放水路によって河水を分水したり、遊水池を作って洪水の一部をいったん吸収し、下流に流れる水量を減少させる工事などがいくつも行われたのである。

この他、明治中期からの水力発電の発展、大都市への人口集中・産業活動の進展に伴う都市用水需要の増加から、灌漑および漁業とのあいだにおける深刻な水問題に対応する必要性が生じてきた。このためダム建設によって洪水の制御および河川全体の総合的管理を行い、もっとも合理的な水利用をはかろうとする思想が大正末期から各地の河川で検討されはじめ、戦後にはその建設が本格化する至った。

さまざまな治水現場に役立つ治水用鋼材の登場

さまざまな治水現場においてそれまで主流を占めていたコンクリート構造物に続き、本格的に鋼材が使用されるようになったのは昭和40年代頃からと見られている。可撓性、土砂や水の透過性、工期の短縮度、品質の均一化、運搬施設・運搬費などの経費の節減、積雪寒冷期における施工性など、鋼製構造物の数多いメリットが認められるようになったのである。

たとえば梅雨や台風による豪雨の際、河岸や堤防を流水による浸食から保護するための鋼矢板は非常に高い水密性で護岸の役割を果たす。この鋼矢板のなかには景観に配慮し、製品の上に美しい石垣を模した模様シートを添付したものなどもある。また、山中におけ



■地震による地盤の液状化を防ぐための鋼管杭埋設工事

る川などの利水機能に効果を発揮するものとして鋼製のえん堤などがあり、強固なパットレス材（支え材）と水平に取り付けた鋼材で、透水させながらも有害な土砂や石礫、流木などをカットする。これに近いタイプのものとして、えん堤に比べて空隙の大きい鋼製スリットダムもあり、通常の中小出水に含まれる比較的粒径の細かい掃流土砂は積極的に透過させて下流に流し、土石流発生までのダム上流の貯砂容量を確保。土石流発生時には巨礫や多量の土砂を捕捉して河川下流への流出による災害を未然に防ぐ。これらは火山の噴火などの際にとくに大きな役割を果たすものだ。この他、工業用水・都市用水・農業用水などの貯水池の浸出遮断や海水などの侵入防止に、継手を減らすことによって水密性をより向上させた鋼製シートウォール、また地震による液状化などで起こる地盤沈下を防止するための、排水機能を持った鋼管杭・鋼矢板などもある。さらに、大水深・軟弱地盤における海上空港・廃棄物処理場・人工島などの港湾構造物の岸壁、護岸などには地盤中に直接打ち込んで止水する鋼板セルがあり、すでに関西国際空港や名古屋港のポートアイランドなどに実用化されている。多種多様な場面で、治水用鋼材はわれわれの生活を支えているのだ。

治水用鋼材は、今後もますますその活躍の場を広げ、人々の生活および国土の発展に貢献していくことだろう。

取材協力／写真・資料提供：日鐵建材工業(株)、住友金属工業(株)、(社)土木学会

特別講演

組織制御学の進展

西沢泰二 住友金属工業(株) 総合技術研究所 顧問
Taiji Nishizawa

Progress in Microstructure Control of Materials

1 はじめに(物質と材料)

物質と材料の区別はあいまいで、その定義はおそらく十人十色だろう。私はかなり乱暴ではあるが、「マイクロ組織」というコンセプトの有無で両者を区別することを提唱する。

“もの”の本質を理学的に追究する立場からみると、「マイクロ組織」は邪魔物であって、完全無欠な単結晶が望ましい。この場合の“もの”が物質である。一方、工業的に製造されている材料では、「マイクロ組織」が必ず内蔵されていて、特性の発現に重要な役割を果している。図1に示したように、同じ炭素でも、結晶構造や原子間結合の様式をキーワードとするダイヤモンドやフラーレンは物質であり、「マイクロ組織」を調整して高強度としたカーボンファイバーは材料である¹⁾。強さ以外の特性が要求される機能材料、たとえば超伝導材料でも、磁束線をピン止めするための第2相粒子の分布が臨界電流値の決め手となる²⁾。「マイクロ組織」を無視した材料学はあり得ないと私は思う。

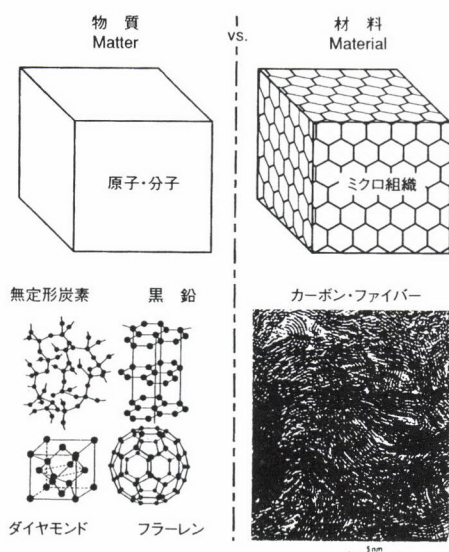


図1 物質と材料 (材料にはマイクロ組織がある)

2 材料組織学の成立

材料のマイクロ組織学は19世紀末に出芽し、20世紀に開花した。種を蒔いた産みの親はソルビー(H. C. Sorby)とギブス(J. W. Gibbs)である。

2.1 鉄鋼のマイクロ組織の発見

動物や植物が細胞によって構成されていることはフック(R. Hooke)の著書：ミクログラフィア(1665)によって周知され、19世紀の中頃には、顕微鏡観察を主力とする生体組織学や細菌学が着実な歩みを開始していた。一方、無生物の顕微鏡観察は、雪の結晶などの特殊なものを例外として、あまり興味をひかなかった。

英国の鉄の街、シェフィールドに生れ育ったソルビーは、岩石の組織観察法に独自の工夫を加えて、一連の操作(研磨→エッチング→反射型顕微鏡観察)を創案し、鉄鋼のマイクロ組織を1863年に発見した。しかし、ノッペラボーに見える鉄鋼の中にマイクロの世界があるとは容易には信じられず、20年後の1885年ようやく鉄鋼協会誌(J. I. S. I.)に掲載された。

「百聞は一見に如かず：Seeing is believing」は研究者が座右の銘とすべき名言であるが、ソルビーの鉄鋼組織観察はまさに、その典型であろう。

2.2 観察から科学へ

ソルビー以後、マイクロ組織についての知見は飛躍的に拡大し、今日では原子・分子の姿さえも手に取るように眺められるようになった。しかし、観察結果を単に集積するだけでは科学とはいえない。材料組織学の成立にはマイクロ組織の生成を理論づけたギブスの「マイクロ組織の熱力学」が不可欠だった³⁾⁴⁾。

米国エール大学で生涯を学究に捧げたギブスは1873~1878年に「不均一物質系の平衡について」と題する

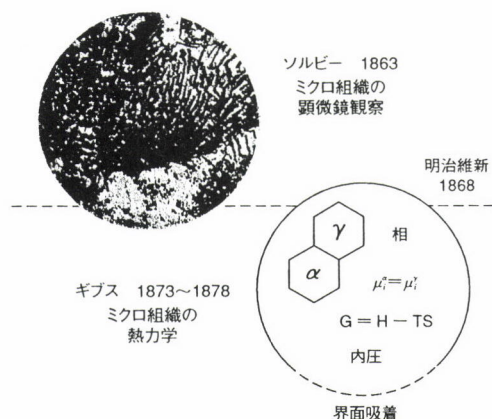


図2 材料組織学の開祖

(組織写真はシェフィールド大学に保管されているソルビーの顕微鏡試片を、手を加えずにカバーガラスを通して1951年に撮影したもので、パーライト組織が見える³⁾)

一連の論文を発表し、「相」、「相平衡」、「自由エネルギー」、「化学ポテンシャル」、「界面吸着」などの概念を提示して、工業熱力学や化学熱力学とは異なるジャンルの熱力学を開拓した(図2)。

このギブスの「ミクロ組織の熱力学」は大変に難解で、普及するのに長年月を要した。しかし、相平衡のみならず、核生成・成長や相変態、粒界のピン止めなど、ミクロ組織の多様な変遷を解析する際の基本理念として、不滅の役割を果たしている。

数年前の某社のカレンダーに「See beyond seeing」という素朴な標語をみつけた。私達は今日、あまりにも高度な機器に囲まれて、うっかりするとデータの集積に終始し、真実の究明がなおざりになる。「観察を超えた洞察力」を磨くことがますます重要となるだろう。

3 鉄鋼状態図100年

3.1 オーステンのFe-C系状態図

ソルビーとギブスを開祖とする材料組織学の第一の金字塔は、ちょうど100年前(1897年)にオーステン(W. Roberts-Austen)が発表したFe-C系状態図である³⁾。彼はル・シャトリエ(H. Le Chatelier)が考案した白金・ロジウム熱電対を用いてFe-C系の共晶点(4.3mass% C)や共析点(0.8 mass% C)を正確に測定し、さらに、後年にオーステナイトと称されるようになった γ -Fe-C系固溶体の存在域を状態図上に明示した。

今日では常識だが、“鉄”に“炭”が固溶するという奇抜な発想は、ウェストグレン(A. Westgren)の高温X線解析によって24年後の1921年により確認された。

3.2 実験状態図と計算状態図

オーステン以後、各種の合金状態図がつぎつぎに作成されて、「組織制御の地図」の役割を果たしてきた。しかし、“実験”だけで作成した状態図にはつぎのような限界がある。

(1) 3元系以上の状態図は実験が困難、(2)融点 T_m の1/2(Feの場合は900K)以下の温度では拡散が極度に遅いので平衡実験が不可能。このために、ハンゼン(M. Hansen)の2元系状態図集・第2版(1958年)の刊行以後は、実験状態図の作成が著しく鈍化した。

この閉塞的な状況は1973年にカウフマン(L. Kaufman)、ヒラート(M. Hillert)らが開始したCALPHAD(Calculation of Phase Diagrams)の活動によって打開された⁵⁾。

CALPHADにはいろいろの流派があるが、図3に示したように、実験データをインプットして、熱力学的な解析と計算によって実用的な状態図をアウトプットするのが本来のCALPHADである。その利点は、(1)2元・3元系の解析から多元系(10元系でも)の平衡状態図を導出できる、(2)BやNなどのppmオーダのマクロアロイングの領域でも計算可能、(3)準安定系(たとえば A_1 点以下の $\gamma/\alpha/\text{Fe}_3\text{C}$ 平衡)や、900K以下の低温域での平衡関係の計算が可能、などである。

近年、Thermo-Calc(スウェーデン)、Chem Sage(ドイツ)、MALT II(日本)などの状態図計算ソフトが普及して、実用材料の組織制御に効力を発揮しはじめた。応用面での今後の進展が期待される。

4 分散粒子による結晶粒の制御

4.1 電球フィラメントからHSLA鋼へ

第2相粒子の分散によって結晶粒を微細化する技術の先駆者は1917年にトリヤ・タングステンを発明したジェフリース(Z. Jeffries)である⁶⁾(図4)。

エジソン(T. Edison)が1879年に実用化した炭素フィラメント電球は、クーリッジ(W. Coolidge)のタングステンフィラメントの発明(1910年)によって著しく改良された。

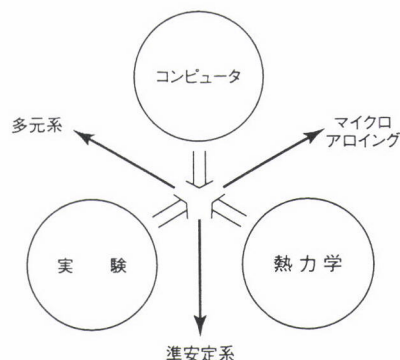


図3 計算状態図(CALPHAD)の3要素と効用

しかし、融点直下の高温に加熱されたフィラメントの結晶粒は急速に成長して、棒状単結晶を数珠つなぎにした竹状構造となり、竹の節すなわち粒界の部分が蒸発あるいは粒界迂りによって切断し易い。ジェフリースは ThO_2 粒子の分散によって結晶粒界をピン止めし、フィラメントの寿命を格段に延ばすことに成功した。

一方、Alキルドした鋼はリムド鋼よりもオーステナイト結晶粒が細いことは、かなり古くから知られていたが、結晶粒界をピン止める粒子は脱酸生成物の Al_2O_3 であると思われていた。この Al_2O_3 説に対抗してAlN説が1930年代から唱えられたが、証拠不十分で決着せず、1950年代になってダーケン(L. S. Darken)らがAlNの固溶度積を測定し、さらにAlN粒子の電顕による確認⁷⁾が各所で行われて、ようやく終止符が打たれた。

以上の Al_2O_3 説とAlN説との長期に渉る角逐は無駄ではなかった。やがてNbCやTiCによる結晶粒微細化の技術が確立し、HSLA鋼が規格化され、1975年にワシントンで開催された国際会議Microalloying'75へと発展した。

4.2 ジーナー・スミスのピン止め理論

分散粒子による粒界のピン止めは、ジーナー(C. Zener)とスミス(C. S. Smith)の論文(1948年)によって解析の糸口が明らかにされた⁸⁾。

結晶粒半径Rは、分散粒子が存在しないと図5のように、

	鉄鋼材料	その他
1920	Al脱酸による微細化 (Al_2O_3 説)	トリヤ・タングステン (ジェフリース)
1930		方向性珪素鋼板 (ゴス)
1940	(AlN説)	粒界ピン止め理論 (ジーナー・スミス)
1950	AlNの固溶度測定 (ダーケン)	ホール・ペッチの関係
1960	NbCによる微細化 (モリソン)	透明アルミナ (コーブル)
1970	HSLA鋼規格化	
1980	Microalloying'75	

図4 分散粒子による結晶粒制御の技術史

加熱時間 t の $1/2$ 乗に比例して成長する。しかし、粒子が粒界にひっかかると、粒界の移動と逆方向にピン止め力が生じるので、結晶粒成長は特定の粒径 R_p で停滞する。この R_p の値をジーナー・スミスは次式で表わした。

$$R_p = \frac{4}{3} \frac{r}{f} \dots\dots\dots (1)$$

ここで r は粒子の平均半径、 f は体積分率である。

上式によると、結晶粒径を小さくするには、なるべく細かな粒子を、なるべく多数分散させればよい。しかし例えば図6(a)のように、むやみに微細分散させても、結晶粒は小さくならない。(1)式はあくまでも再結晶一粒成長過程について成立するのであり、図6(b)の加工－熱処理によってはじめて結晶粒の微細化が達成される。さらに図6(c)のように、酸化物、窒化物、炭化物など異種析出物をつぎつぎに生成させながらの制御圧延は、微細結晶粒組織を得るのに有効であろう。

なお、ジーナー・スミスの式について多くの検討が試みられてきたが、修正のほとんどは(1)式の係数 $4/3$ についてであった。しかし最近、私達は $1/f$ を $1/f^{2/3}$ と修正すべきことを提唱した⁹⁾。分散粒子の体積分率 f は通常 10^{-3} 程度であるから、 $1/f$ と $1/f^{2/3}$ との相違はかなり大きい。今後のさらなる検討が期待される。

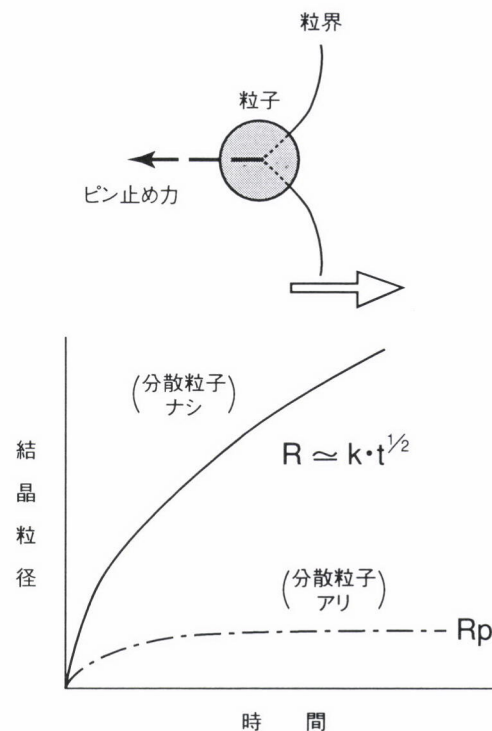


図5 ジーナー・スミスの粒界ピン止め理論

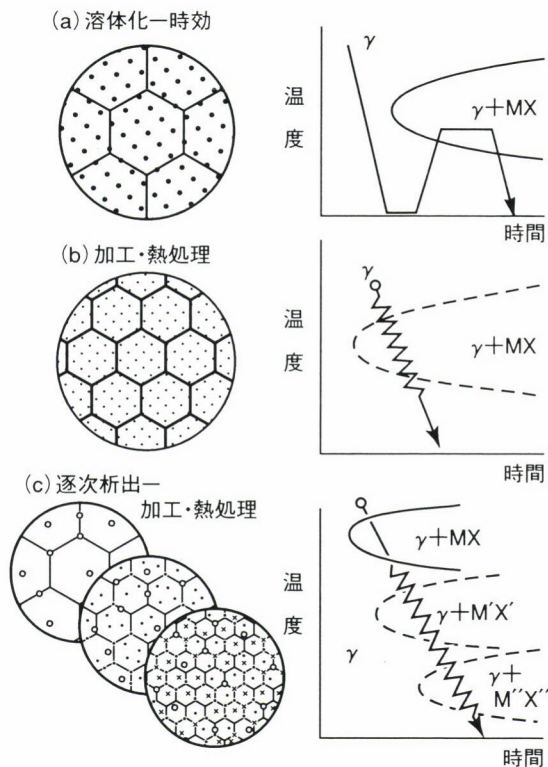


図6 分散粒子による結晶粒微細化のプロセス

5 新しい潮流——複相化——

幾つかの素材を適宜に合体した“複合材料”の初代チャンピオンは、1942年に製品化されたガラス繊維強化プラスチック(GFRP)であろう。ガラス繊維の強さと、プラスチックの柔軟性を組合わせたGFRP製のポールは、棒高跳びの世界記録を飛躍させて“魔法のつえ”と称された。この複合材料の理念をマイクロ組織に体現させた“複相材料”が、近年、材料強靱化の新しい潮流となりつつある(図7)。

図8に示したように、2相鋼が製造されはじめた1970年代に、セラミックスの領域では部分安定化ジルコニア(PSZ)が“セラミック・スチール”の名のもとに華々しく登場し¹⁰⁾、また高分子の領域では、スーパータフ・ナイロンをはじめとする各種のポリマーアロイ¹¹⁾が生産されて、自動車部品など各方面に進出しつつある。

複相組織中の各相の結晶粒は、拡散を律速過程としてオストワルド成長する⁸⁾。このために、拡散を必要としない単相組織と比較すると、組織の粗大化が格段に遅い。したがって、複相組織は一般に微細であり、前記のPSZでもポリマーアロイでも、各相のサイズは1ミクロン以下である。

複相組織($\alpha+\gamma$)の両相の平均半径 $R\alpha$ と $R\gamma$ の間には、ジナー・スミスの関係式によく似た次式が成立する¹²⁾。

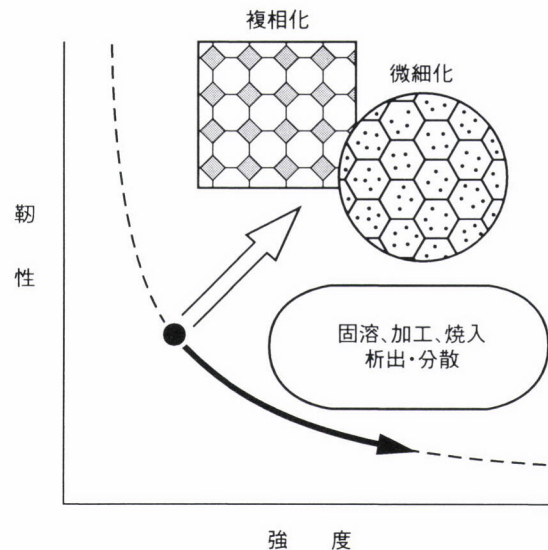


図7 組織制御の2大潮流：微細化と複相化

	複相強化 (マイクロ複合)	複合強化 (マクロ複合)
1940		ガラス繊維強化 プラスチック
1950	超耐熱合金 (Nimonic 80A)	
1960	結晶化ガラス (Pyroceram)	
1970	2相鋼	カーボン繊維強化 プラスチック
1980	PSジルコニアポ リマーアロイ	
1990	残留 γ 鋼	

図8 複相強化と複合強化の代表例

$$\frac{R\alpha}{\sqrt{f\alpha}} = \frac{R\gamma}{\sqrt{f\gamma}} \dots\dots\dots (2)$$

ここで $f\alpha$ と $f\gamma$ は α 、 γ の体積分率である。

2次元断面の単位面積あたりの各相の個数は $n=f/\pi R^2$ であるから、(2)式は α 、 γ の結晶粒の数が等しいことを意味する。つまり、各相が対等に混合していることが複相組織の特徴の一つといえよう。

なお、最近あいついで発表されたナノ(10^{-9}m)レベルの超微細組織¹³⁾は、ほとんどがアモルファス相を低温加熱し

て複相化したもので、1950年代に製品化された結晶化ガラス(パイロセラム)の系譜に属する複相材料と考えることができる。

6 おわりに

私が大学を卒業した1952年(昭27)頃に、その後の日本製鉄業の規範となった川崎製鉄の新鋭千葉工場が稼働を開始した。この歴史的偉業のリーダーとして活躍された西山弥太郎社長を記念する西山賞を戴き、身に余る光栄である。お世話になった諸先輩、同僚、後輩の皆様に心からの感謝を捧げる。

引用文献

- 1) 山田恵彦：カーボンファイバの科学，内田老鶴圃（1995）
- 2) 村上雅人，坂井直道：高温超伝導体の微細構造制御，日本金属学会会報 34（1995），1374
- 3) 中沢護人：鉄のメルヘン，アグネ（1975），129，234
- 4) 衛藤基邦：金属学の先人たち(7)，日本金属学会会報，17（1978），690
- 5) 西沢泰二：CALPHAD（計算状態図）の進展，日本金属学会会報，31（1992），389
- 6) J. W. Martin：History of Metallurgy，ed. by C. S. Smith，AIME（1965）
- 7) 長谷部茂雄：鋼中の窒化アルミの挙動，日本金属学会会報，1（1962），527
- 8) 西沢泰二：単相鋼と二相鋼における結晶粒成長，鉄と鋼，70（1984），1984
- 9) 西沢泰二，大沼郁雄，石田清仁：分散組織に関するジナーの関係式の再検討，日本金属学会講演大会（1996年4月）に発表，Trans. JIMに掲載予定
- 10) 堀 三郎：強靱ジルコニア，内田老鶴圃（1990）
- 11) 高分子学会編：目でみる高分子，培風館（1986）
- 12) 三田尾真司：2相鋼の結晶粒成長に対する微細炭化物粒子の効果，東北大学修士論文（1985）
- 13) 日本金属学会：特集「メゾスコピック材料」，まてりあ，34（1995），933—994

（1997年4月11日受付）

名誉会員からのメッセージ

Fruitful culture mixing and new IRSID

Michel Olette



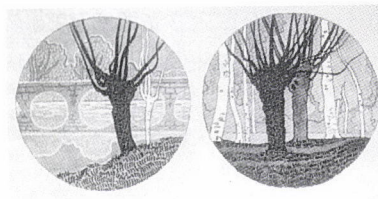
I have always been impressed by important possibilities of the exchange of cultures, particularly between Japan and France, through my own professional experiences at IRSID and floral art activities of my wife Solange. In fact the comparison of different traditions and experiences can create and accelerate the thought process.

Culture exchanges in the field of arts

Taking his place in time, the artist can only observe how nature also follows the course of time. Such was the great innovation of Impressionism. The discovery of Japanese wood cut prints Ukiyoe in Western Europe and particularly in France, combined its influence with the feeling of universal gradual change. Ukiyoe expresses the painting of a changing world, approaching very different subjects, but it is landscape that gave it the opportunity to develop on a larger scale. The perspective of Hokusai, for example, differs singularly from Western habits and inspired impressionists and philosophers (J. Cassou, for ex.).

It is worth-while to mention the important collection of Ukiyoe prints left by Claude Monet in his Giverny house as well as the fact that some Utamaro prints are visibles in the background of Zola's portrait by Edouard Manet. Another good illustration of Japanese art influence is also given by series of Monet's paintings of Rouen cathedral (more than 20) or hayricks views, differing with seasons and hours of the day. Ukiyoe art caused a real interest among French impressionists.

In return, an example of cultural exchange backward should be referred to: in 1900, several Japanese painters stayed in Grez-sur-Loing near Fontainebleau. One of them, Chû Asai, sent by Japanese government, prepared Japanese artistic participations at Paris World Exhibition of 1900. Later, back in Japan, his influence was really sensitive on Japanese paintings, and he is there-



Decoration project
by CHU ASAI :
"The old bridge and willows"

after considered as one of the precursors of Japanese modern painting.

Floral art is a phenomenon not only artistic but also historical, that is connected closely to civilization and culture. The first traces of floral traditions were found in the Nile valley in Egyptian royal tombs. Persian, Greek and Roman civilizations also left proofs of the same interest. But between the decline of the Roman Empire and the High Middle Ages, floral decoration was abandoned. It is only around the tenth century that flowers as an artistic element of interest reappeared, while in the East, especially in China and in Japan, the floral art got considered as an essential and sacred part of their life scheme. Effectively, Ikebana, born from flower offerings in Buddhist temples in the 6th century, was introduced in private houses in the 15th century.

In the 20th century, new artistic tendencies like cubism, functional architecture, simple and modern style of life, have revolutionized floral art. European artists in flower arrangement looked again with great interest into Ikebana.

The influence of Ikebana on European floral art is typical: use of fewer flowers and integration of leaves and boughs. On the contrary, it is observed, in some Japanese reception halls or banquet rooms, the use of numerous flowers in Floral arrangements, like in Europe and USA !

New IRSID regrouping different cultural elements

IRSID, created in 1943, is now one of the essential elements of the USINOR SACILOR Research and Development organisation. The research center of St



HANA MAI Style, by Suzy VALLEE and Marcel VRIGNAUD. IKEBANA OHARA

Germain-en-Laye was inaugurated in 1952 in the outskirts of this town, at 20km west of Paris with such research units as Physics, High Temperature Physical Chemistry, Analytical Chemistry, Mechanical Testing. The construction having started in 1947, at the end of 1952, nearly 150 papers were already published. Research activities were largely developing and soon a pilot station was created in the east of France, at Maizières-les-Metz, which was officially opened in April 1958 for such research purposes as 1) Iron and Steelmaking processes; 2) Rolling problems; 3) Control of Energy and Raw Materials consumption; 4) Improving Productivity. UNIREC Research Center focused on speciality steels and alloys, formerly belonging to USINOR and located then in Unieux, near St Etienne, joined IRSID in 1987.

In 1993, USINOR SACILOR decided to regroup in Maizières all IRSID research facilities in order to improve the efficiency of research. IRSID, today, is an impressive large unit of competencies and technical and scientific means brought together in Maizières-les-Metz: 500 people in different buildings of 34 000m², of which 14000m² entirely new, on a site of 24 hectares. One of the main characteristics of this new IRSID is the variety and complementary aspects of these competencies and implements thus put together. Most of the problems under investigation are calling on various scientific and technical specialities. It is clear that IRSID's strength consists in its capacity of having work together several departments of different culture and tradition in order to benefit from exchange of a variety of experiences.

The large delta-shaped building, (see photo) expresses a marked will to realize a real continuity between several scopes of research, for exemple:

- Surfaces studies, Organic Chemistry, Physical Chemistry of Iron and Steelmaking.

- Physical Metallurgy, Mechanical Behaviour and Forming

Thus regrouped, engineers, technicians, office staff and workers are the heirs and holders of traditions and cultures of the three former centers which constituted the actual IRSID. This diversity with multiple potentialities is now creating a new culture, multiplying effects and efficiency.

Furthermore, through IRSID, a constant and living dialogue is maintained between scientists of the university and engineers on the shop floors, particularly in 3 fields of competency: 1) Competencies linked to processes: Iron and Steelmaking, Rolling, Coatings; 2) Scientific competencies supporting industrial teams (Physical chemistry) or playing a part in the fundamental approach of research on products (Physical Metallurgy, Mechanics, Surface Chemistry). 3) Transverse competencies in Measurement/Analysis, Non-destructive Testing, Simulation, Advanced Computer Science, etc...

IRSID/USINOR SACILOR is involved in international exchanges:

- Research groups of European Community working on subjects of mutual interest of iron and steel industries, or between users and steel producers.

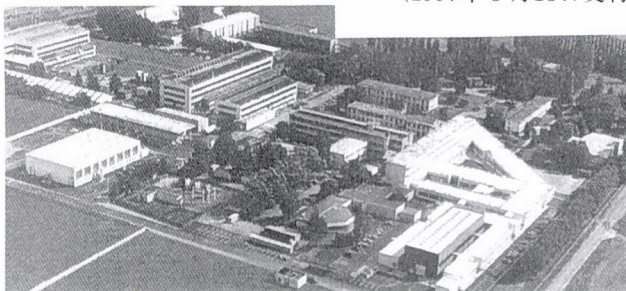
- Myosotis: German-French project on strip casting technology, involving THYSSEN STAHL and USINOR. The industrial pilot plant is in operation since June 1991 at Isbergues.

- Shinseiko Project, in order to design the hot end of a new steel production route based 100% on scrap, with high quality and friendly way to the environment.

- EMC or Electromagnetic Casting Project to replace the conventional caster.

(With heartfelt thanks to: Mr A. Van Honacker, Directeur Général of IRSID, Mrs. Yoko SIM, Manager of Japan Bureau, as well as Mr. J.P. Birat, Mr. R. Nicolle, Mr. and Mrs. H.Gaye.)

(1997年 3月13日 受付)



Aerial view of the "new" IRSID

展望

21世紀の日本鉄鋼業

第5回 鉄鋼技術政策の現状と展望

林 明夫
Akio Hayashi

通商産業省 環境立地局 環境指導課長

Japanese Iron and Steel Industry in the 21st Century (5)

1 はじめに

前回の「日本鉄鋼業の将来展望」では、日本鉄鋼が現在取り組んでいる課題として、①ユーザーニーズを先取りした新規需要の創設・開拓、②グローバル化に対応したコスト削減とアジア鉄鋼業との連携強化、③地球環境問題に対応した省エネルギー製造プロセスや環境調和型鋼材の開発、④独創的、効率的な多角的技術開発を目指した産学官の連携強化を挙げ、日本鉄鋼業の今後の方向として、次の3点を挙げた。

- ①グローバル時代の「競争」と「協力」の戦略的展開
- ②国際競争力を維持・強化していくための「人材及び企業内システムの高度化と技術開発力の強化」
- ③素材のライフサイクルを通じた「トータル・コストミニマム」と「トータル・環境負荷ミニマム」を目指した「統合素材産業」としての発展

本シリーズの最終回である今回は、21世紀の日本鉄鋼業の新しい発展に向けて、どのような技術関連施策が実施され、どのように産業社会基盤が整備されようとしているか述べることにしたい。

2 「新規産業の創出」と 「魅力ある事業環境の創出」

：経済構造の変革と創造のための行動計画の策定

グローバル化が進展する中で、日本鉄鋼業は厳しい国際競争に直面することとなったが、「企業が国を選ぶ時代」といわれる中で、日本自身も産業立地を巡る厳しい国家・地域間競争に曝されている。産業の空洞化を防止し、将来の発展を確かなものとしていくため、日本の経済社会基盤を諸外国に較べ魅力的なものとしていくことが日本政府に求められている。

その方策として、「経済構造の変革と創造のためのプログラム」が昨年12月に決定され、本プログラムを具現化する

ための「行動計画」が本年5月に決定された。本行動計画の目標の第一は「新規産業の創出」であり、第二は、「魅力ある事業環境の創出」である。

第一の「新規産業創出」は、①規制緩和によるオープンで魅力的な市場のもとでの「競争」の推進、②産学官連携、知的基盤の整備による人材育成・技術開発の推進、③商取引、物流等を効率化するための情報通信の高度化によって、その実現を図ろうとしている。「新規産業創出」分野として、住宅関連、都市環境、海洋開発、新製造技術等の15分野が挙げられているが、その中で日本鉄鋼業が新規需要開拓を進めているスチールハウス、長期耐用型集合住宅、メガフロートや革新的鉄鋼材料の開発を目指したスーパーメタル等が位置付けられ、その実現に向けて総合的計画がつくられている。(参考資料1参照)

行動計画の第二の目標である「国際的に魅力のある事業環境の創出」は、日本に立地する産業がグローバルな競争に対応できるよう、物流、エネルギー、金融等の分野の高コスト構造の是正、企業税制等企業関連制度の改革によって、その実現を図ろうとしている。高コスト構造の是正を目指す規制緩和の中で、鉄鋼メーカーは、独立電気事業者として発電事業への参入が可能となり、広大な原料ヤード、岸壁、敷地を活かしたエネルギー産業への展開が可能になりつつある。

このように経済構造改革プログラムは、限られた領域の中で経済的安定と社会的秩序の維持を図るシステムから、オープンな市場における「競争」、「連携協力」、「マーケットメカニズム」によって、広い領域の効率化と発展を図っていくシステムへの方向転換を目指しているといえる。これは「極所最適化」から「社会全体としての最適化」への移行を目指した、経済社会制度の枠組みの変革であると考えられる。

3 「開かれた研究環境の構築」と「産学官の連携強化」

3.1 科学技術基本計画の策定

グローバル化が進む中での新規需要創出や産業立地環境の整備に関するマクロ政策の方向は上述のとおりであるが、日本鉄鋼業が目指している独創的、効率的技術開発の分野についても、マクロ政策を方向付ける「科学技術基本計画」が昨年策定されている。

本基本計画は、地球環境問題等内外の諸課題の解決に向けて、科学技術が果たすべき役割が益々重要になる中で、①科学技術を巡る環境を柔軟かつ競争的で開かれたものに改善し、②産学官全体の研究開発能力の引き上げと最大限の発揮を目指し、③研究成果を円滑に国民や社会、経済に還元することを目標に、平成8年度から12年度までの科学技術政策を策定したものである。

科学技術基本計画の概要は、参考資料2のとおりであるが、我が国の有する技術開発ポテンシャルを100%発揮させるため、①産学官の連携強化、②技術開発基盤の整備、③開発成果の普及と利用、④技術開発成果に対する評価の徹底に重点が置かれている。

第一の産官学連携の強化については、①従前の国立大学構内に限定されていた国立大学と企業の共同研究を、企業内においても可能とし、企業の有する大型の試験設備、研究施設がより有効に活用しやすくとともに、②週当たり兼業時間制限をなくすことにより、国立大学、国立研究所の研究者が研究・指導等のための時間外兼業を行いやすくなった。

第二の技術開発基盤の整備については、任期付き任用制度の導入による研究者の流動化を図るとともに、計量標準・試験評価情報等の知的基盤を国が整備し、内外の研究者に提供することとしている。

第三の研究成果の移転による経済・社会への貢献については、研究者の特許出願のインセンティブを高め成果の普及を促進するため、特許等の知的財産権の一部を研究者個人に付与できるよう規定を整備することとしている。

第四の研究に対する厳正な評価の実施と競争原理の導入については、国立研究所、国家プロジェクトについて外部評価を導入するとともに、評価結果と研究費に反映させることとしている。

3.2 科学技術関連予算の概要

本計画が反映された平成9年度の科学技術関連予算の概要は参考資料3のとおりで、政府全体で3兆円を超え、厳しい財政状況にも拘わらず前年比6.8%の高い伸びとなっ

ている。主な予算をみると、競争的資金の拡充として、文部省の科学研究費補助金（1,100億円）、科学技術庁の科学技術振興調整費（250億円）、特殊法人への出資金を活用した基礎研究（570億円）を合わせて1,900億円近い予算が充当されている。また、産学からの幅広い研究開発テーマの提案に応えるため、「提案公募型研究開発」として、新規産業創造技術開発支援制度（43億円）の拡充、地域コンソーシアム研究開発（20億円）の新設が図られている。フェローシップの大幅拡充、いわゆるポストドクター等への支援については、平成9年度で350億円、7,800人分の予算が手当てされ、目標の平成12年度を待たずに1万人支援計画が達成できる見通しとなっている。

4 鉄鋼業に係る技術関連施策

我が国の経済構造改革と科学技術政策の基本的方向は上述のとおりであるが、このようなマクロ政策の下で21世紀における日本鉄鋼業の発展に係る①新規需要の創出、開拓支援、②発展のための産業基盤の整備、③アジア鉄鋼業に対する技術協力の推進、④地球温暖化に対応した省エネルギー型製鉄プロセスの開発、⑤強靱でリサイクル性に優れた鋼材の開発といった分野で、どのような具体的施策が進められているか述べることにしたい。（参考資料4参照）

4.1 「新規需要創出」の支援：ユーザ官庁との連携強化

新規需要の創出に関しては、建設省、鉄鋼メーカーが参加している通商産業省主催のアーバンスティール研究会でスティールハウスの普及についての意見交換が行われており、メガフロートの利用については、メガフロート技術研究組合による実証試験に加え、海上飛行場や発電プラントを搭載した防災基地としての利用等が検討されている。また、長期耐用型集合住宅については、防災性に優れ、環境に優しい21世紀の街づくりのための「次世代街区構想」が、鉄鋼メーカー、建設・住宅メーカー、建築設計事務所、住都公団、建設省、通産省の参加を得て、日本鉄鋼協会で検討されている。

これらの研究会に共通していることは、利用に関する安全基準や技術基準を所掌している建設省や運輸省が参加しており、ユーザーの視点に立った新規需要の創出や開拓が進められようとしている点である。このような省庁間の連携は、生活・社会ニーズに対応し、雇用を生み出す新規産業を創出していく上で極めて重要であり、「経済構造の変革と創造のための行動計画」でもこの点が強調されている。

4.2 グローバル化に対応したアジア鉄鋼業との連携支援

アジア鉄鋼業との連携強化については、環境、省エネルギー、標準化、メンテナンス技術を中心とした技術協力・交流のあり方についての検討が通商産業省の協力のもと日本鉄鋼連盟で行われた。

本研究会では、アジア鉄鋼業がかかえる問題として、公害防止・省エネルギー対策の遅れ、メンテナンス・築炉等の基盤技術分野の人材不足が挙げられるとともに、アジア鉄鋼業の発展と国際マーケットへの参入を容易にする国際品質管理規格 ISO9000や国際環境規格14000シリーズの普及をはじめとする国際的標準化推進の必要性が指摘されている。これらの課題の解決のためには、アジア鉄鋼業のニーズに応えた技術協力・交流が不可欠であるとの認識に立ち、①新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の実施しているグリーンエイドプランを活用した環境保全技術や省エネルギー技術のアジア諸国への移転促進、②アジア鉄鋼協会と連携した標準化の推進、③安全対策やメンテナンス技術を効率的に多くのワーカーに研修・訓練させるための設備運転シュミレーターの開発等が提言されている。通産省としては、これら提言を踏まえつつ、環境問題を中心に途上国への協力に関する施策の拡充を検討しているところである。

4.3 産業発展に必要な基盤の整備

：情報システム、知的基盤、産学官の連携強化

産業の発展に必要な基盤の整備については、CALS、EC等、情報化の推進、標準化を含む知的基盤の整備、産学官の連携強化等が挙げられるが、鉄鋼業に関連するプロジェクトは次のようなものがある。

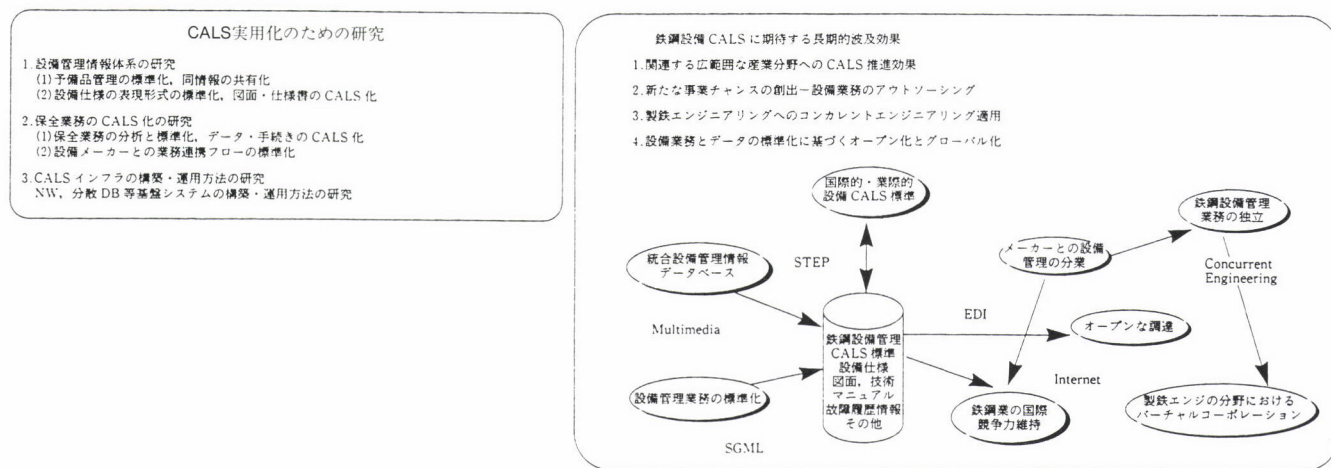
4.3.1 情報化と知的基盤の整備

(1)情報化の分野では、製鉄所の設備管理・保全をコンピュータによって効率的に行うための図61に示す鉄鋼設備 CALS（Computer-aided Acquisition and Logistics Support）や企業間取引の電子化を進めるための鉄鋼 EC（Electric Commerce）の実用化研究が情報処理振興協会からの委託によって実施されている。

(2)標準化の分野では、世界共通の公共財ともいえる国際規格原案作りを目指し、亜鉛メッキのメッキ量の定量分析に関する試験方法に関する調査研究が日本鉄鋼連盟標準化センターに委託されている。新しい発見・発明や利用・普及の基礎となる知的基盤の整備については、科学技術振興調整費を活用して、標準物質や試験・検査データの整備が進められようとしている。

4.3.2 産学官の連携強化と共通基盤技術開発の推進

産学官の連携強化については、「産学官金属材料フォーラム」が本年4月に編成されている。本フォーラムは、鉄鋼業界、アルミ業界、大学、科学技術庁、通産省、建設省、運輸省、金属材料研究所、融合技術研究所等の国立試験所が参加し、関係者が進めている金属関係技術開発プロジェクトや試験・評価研究に関する意見、情報交換を行うことを目的としたものである。新鉄鋼材料の開発については、鉄鋼材料の使用に係る安全基準や技術基準を所掌している建設省、運輸省との連携が深まり、新しい鉄鋼材料の開発から実用化、規格化、普及までのリードタイムが短縮されることが期待されている。公共事業の実施官庁である建設省、運輸省も、品質性能に優れ、事業費の削減にも資する可能性のある鉄鋼材料の開発プロジェクトに当初から参画



出所：(社)日本鉄鋼協会調査検討部会

「大競争時代に向けた鉄鋼業の新たな挑戦」1996年8月（p.166）

図61 鉄鋼設備CALSの概念図

し、ユーザとしての意見を反映できる機会が広がっていくと考えられる。新しい鉄鋼材料が経済社会に役立つためには、社会ニーズに応える鋼材の開発は不可欠であるが、それと同様、又はそれ以上に実用化され普及することが重要である。その意味でユーザ官庁との連携は益々重要になっているといえる。

日本のシステムは、従前からの縦の繋がりが重視され、ユーザ業界との関係も個々の企業間では緊密な関係があっても、学界間、産業界間といった開かれた場では組織的な連携が必ずしも充分でない面が見られる。グローバル化、ネットワーク化、アウトソーシング化が世界的に進行し、よりオープンな対応がビジネスチャンスを生み、チャンスが多い場所に企業や産業の集積が進むという傾向が、米国のシリコンバレー等に生まれている。日本には、優秀な人材に加え、大学、国立研究所の有する高い学問的知見、産業界の有する高度な技術・製造能力、商品に対し厳正な評価眼を持つ消費者が存在しており、産業界、学界間、省庁間の連携及びそれぞれの内部での連携が進めば、21世紀の発展につながる有効な場を形成すると考えられる。具体的には、大学や国立研究所の研究者が、企業内の設備や施設を使って企業共同研究を行うことが可能になっており、その研究のための費用もNEDOの提案公募型委託費、地域コンソーシアム研究開発事業等によって、手当できる仕組みが実現されている。このような制度が適切に活用されていけば、全国に広がる製鉄所、工場と地元の大学、国公立試験所等の密接な連携が生まれることが期待される。また、これらの活動の中で生まれたアイデアや制度上の改革案が、新たな施策に反映されていくと考えられる。国の技術開発施策も個別分野の研究開発から、業際・学際的、または共通基盤的技術開発にその重点が移されていくと考えられる。

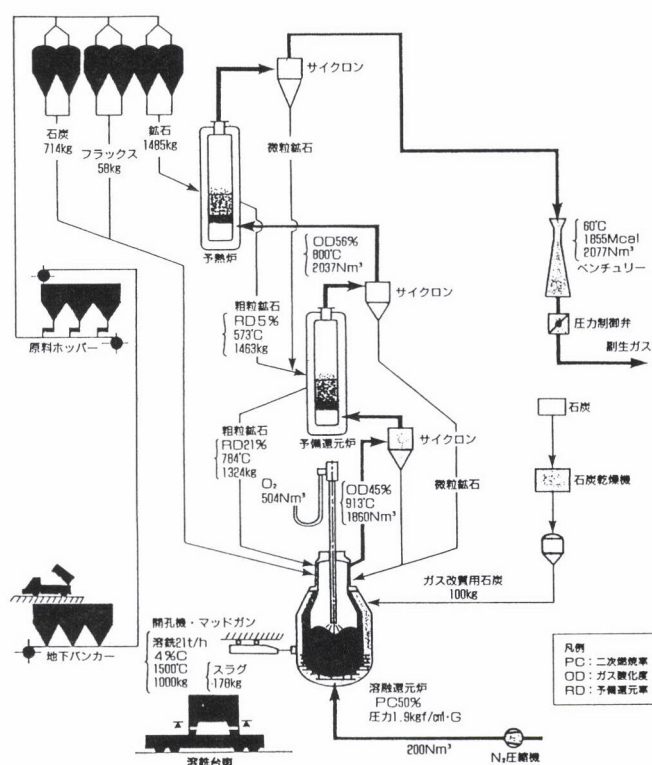
4.4 地球温暖化に対応した新技術開発の支援

地球環境問題は、21世紀において解決を迫られている最大の課題の一つであるが、そのためには我々の生活に不可欠な素材を如何に環境負荷を少なく製造・使用・再生するかが重要な鍵となる。次世代の「環境調和型」鉄鋼業を担う技術を目指して、各企業、大学、研究所等で研究開発が進められているが、省エネルギー、環境保全の分野で、開発リスクが高い先導的テーマや素材に関する共通基盤的テーマについては、官民が共同または連携してプロジェクトを推進していくことが効率的であり成果も普及しやすい。

このような観点から、地球温暖化対策に資する鉄鋼分野の主な技術開発として、次のようなプロジェクトが、通産省の支援を得て開発が進められている。

4.4.1 溶融還元製鉄法（DIOS）の開発

鉄鋼の大量生産を支えてきた高炉は、コークス炉、焼結機といった設備によって、高炉操業に適した形に高品位の原料を処理することで成立っている。第2回で述べた溶融還元法は、一般炭、粉鉱石といった幅広い原料を予備処理なしに利用し、溶鉄を製造するコンパクトな新規鉄プロセスであり、炭酸ガスの全発生量も高炉に較べ数パーセント削減できると考えられている。本製鉄プロセスは、通産産業省の支援のもと昭和63年から平成7年までの8年間かけて日本鉄鋼連盟によって開発され、本年5月に耐火物の寿命を調査するための再実験が行われている。（図62参照）



出所：図61同（p.159）

図62 溶融還元製鉄法の設備基本構造

4.4.2 次世代コークス炉の開発

溶融還元法によればコークス炉は不要となるが、競争力のある既存の高炉設備を有効に活かしていくためには、コークスが不可欠である。21世紀初頭には、既存のコークス炉が老朽化する中で、コークス不足が発生すると予想され、環境調和型コークス製造プロセスが開発中である。本プロセスは石炭を急速加熱すると粘結性が増すという性質を利用したもので一般炭を50%程度配合することが可能となるとともに、20%以上の使用エネルギーの削減が期待されている。（図63参照）

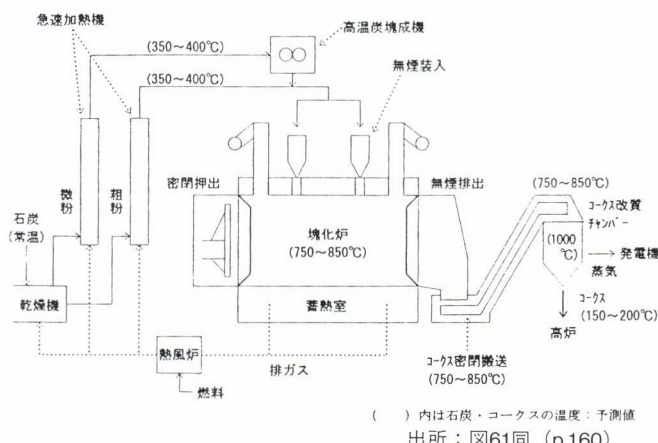
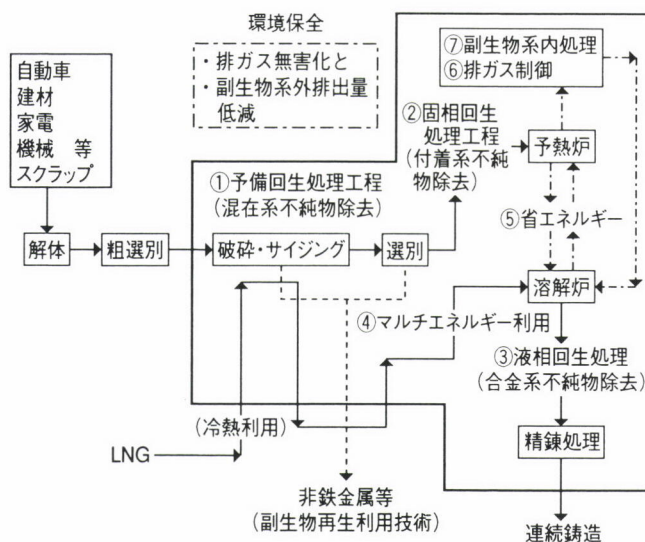


図63 石炭高度転換コークス製造プロセスの開発概念図

4.4.3 環境調和型金属素材回生利用基盤技術の開発 (新製鋼プロセス)

鉄鋼はリサイクル性の高い材料であり、自動車、建材、家電、機械等での使用の終わった鉄は解体、選別された後、再度溶解されて鉱石から鉄鋼を製造する3分の1のエネルギーで新しい鉄に再生される。しかしながら、鉄中に含まれ又は付着してくるCu、Zn、Sn等の不純物は、製鋼プロセスの精錬段階でも除去されず、スクラップの循環が繰り返されると濃化され、鋼材の品質が劣化することが懸念される。炭酸ガスを削減するため、今後さらに増大が予想される老廃スクラップの利用拡大とスクラップの再生に要するエネルギーの25%以上削減を目指して、新製鋼プロセスの研究が、新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）と（財）金属系材料研究開発センターによって平成3年から9年計画で推進されている。（図64参照）



出所：図61同（p.161）

図64 新製鋼プロセス研究の全体スコープ

4.4.4 スーパーメタルの開発：エコマテリアルの追求

現在の鉄鋼材料の結晶粒径は、10～100μmであるが、図65に示すように1μm以下になれば、強度が著しく上昇することが、理論的に予想され、極細鉄線の開発等で実証されている。そこで、微細な結晶粒の構造（メゾスコピック組織）を制御する加工プロセスを開発することで、合金元素を多量に添加せずに、従来の鋼材を大幅に上回る強度（1000MP級）、靱性、耐食性を有する新しい材料が生まれる可能性がある。合金元素を多量に含まないことからリサイクルも容易になり、より環境に調和した鋼材の利用が可能になると期待されている。本研究は産業科学技術研究開発制度に基づき、本年度から5年間で研究開発を進める予定である。（図66参照）

4.4.5 リサイクル対応生産システム（インバース・マニファクチャリング）の確立

環境問題に対応して、設計段階から素材、製品のリサイクル性を考慮した生産システムを確立するため、部品・素材に関するリサイクル情報システムの構築、リサイクル関連技術開発に対する支援等の施策を推進することが「経済構造の変革と創造に関する行動計画」において定められている。

（財）製造科学技術センター内に設置された「インバース・マニファクチャリング・フォーラム」において機械製品、電気機器、素材産業等の企業、大学、国研等が連携し、リサイクル生産システムへの移行に向けた技術面、社会インフラの整備に関する具体的活動が開始されている。部品・素材の履歴、成分、分解手法等を提供するリサイクル情報システムのプロトタイプが図られ、中長期的な推進策についての検討がなされる予定である。

5 「統合素材産業」へ向けて ：地球環境問題への対応

最後に、21世紀最大の課題の一つと考えられる地球環境問題への対応に係る今後の方向について、私見を述べることとしたい。

今世紀における世界経済の発展は、安価なエネルギーとオートメーションに支えられた大量生産、コスト引き下げ、大量消費がもたらした継続的拡大再生産の結果と考えられるが、戦後日本経済の高度経済成長も、この拡大と発展の流れの中で、個別産業、個別企業の努力が日本経済社会全体としての最適化につながることによって、達成されたと考えることができる。

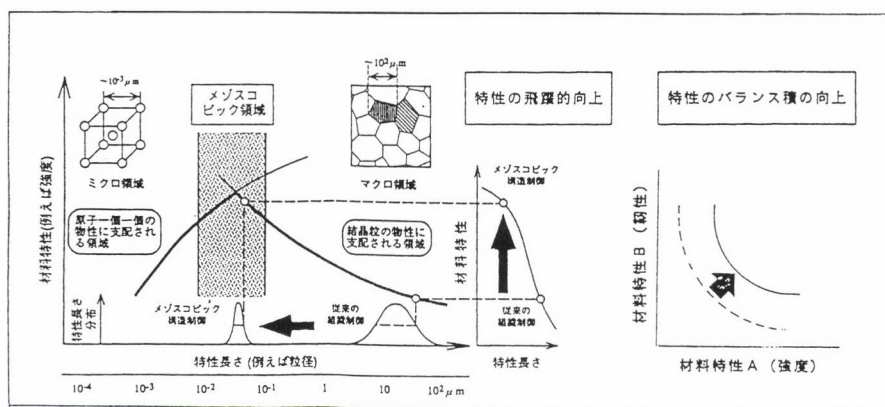
しかしながら、このマーケットメカニズムに委ねられた

開放系（オープンエンド）経済社会システムは、産業革命以降の大気中炭酸ガス濃度の上昇（250ppmから380ppm）に現れているような地球温暖化問題を惹起しつつあり、エネルギー多消費を前提とした大量生産、大量消費、大量廃棄システムが、21世紀に向けて変更を迫られている。

ところで、地球温暖化問題は、その主原因となる炭酸ガスの発生がエネルギー消費によることから、経済成長、エネルギー需給と密接な関連を有する問題であり、「環境」、「エネルギー」、「経済」のバランスを図りながら、「持続可能な発展」をどのように達成するかが重要な課題となる。そのためには、前回でも述べたように「作る、使う、再生する」という全体ライフサイクルを通じて、①トータル環境負荷ミニмум、②トータル・エネルギー消費ミニмум、③トータルライフ・コストミニмумを同時達成することが必要である。しかしながら、「作る」、「使う」、「再生する」

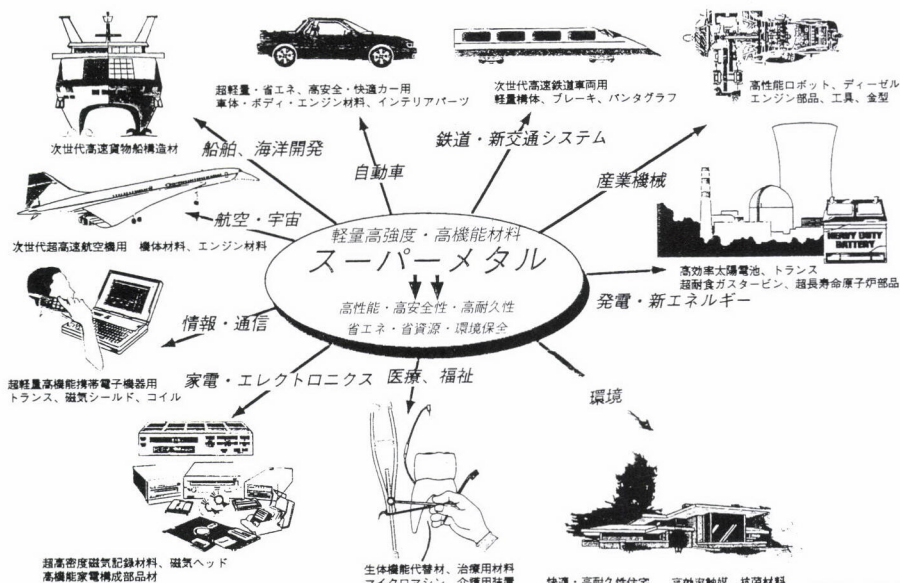
ことが、異なる主体によって営まれている時に、トータルな最適化を図ることは容易ではなく、更に、「環境負荷ミニмум」、「エネルギーミニмум」、「コストミニмум」を同時達成することは、一層困難である。例えば、製造時の省エネルギーやコスト引き下げが使用時の省エネルギーに優先される可能性があり、リサイクルしやすい製品より価格の安い製品が選択される可能性が高い。また、古紙をリサイクルする方がヴァージン紙を生産するより環境負荷が小さくなると言われている¹⁾が、再生紙のコストがヴァージン紙の生産コストを上回る時には、「環境ミニмум」が「コストミニмум」とはならなくなる。

「自然資源を有効な人工物に変換することによって豊かさを達成するという、あたかも自前と考えてきた命題は、多くの矛盾をはらむようになってきたと言わざるを得ない²⁾」という指摘に多くの人は賛同するであろう。また、



出所：通商産業省基礎産業局製鉄課
鉄鋼界 1996年12月(社)日本鉄鋼連盟 (p.21)

図65 メゾスコピック構造制御による金属の極限性能の発揮



出所：同65同 (p.20)

図66 スーパーメタルの利用が期待される分野

クローズド化という境界条件を設定することが、トータルな環境負荷やエネルギー消費を極小化させるための有効な手段になることから、「資源は存在するものではなく、循環するものであり、人間活動とその結果としての人工物は物質循環においてそれ自身で閉じなければならない」²⁾という考えに共感する人々も少なくないであろう。

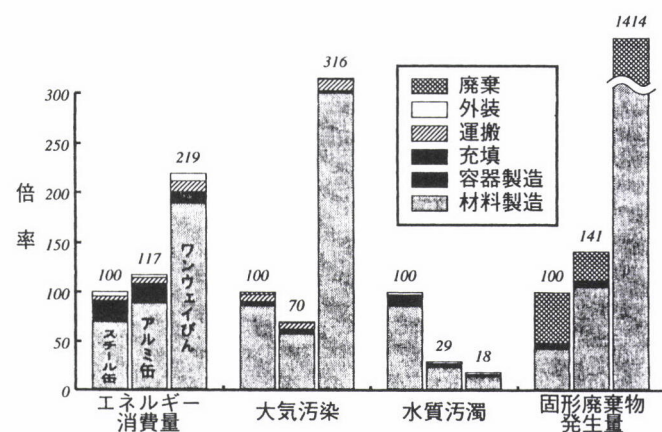
したがって、マーケットメカニズムの中でどのような仕組みを用意すれば、このような選択が経済性と国民の支持を得られるようになるかということが重要な問題となり、このための条件を産学官で検討していくことが求められているといえる。金属資源を例に考えると、第一に、鉱石から作られるバージンな素材とリサイクルによって得られる素材との最適な役割分担が達成されるための試験・評価データの整備・提供という課題があり、第二にリサイクルを効率的に進めるための回収等の社会システム機能をどのように向上させるかという制度的な課題があり、第三にリサイクル品の製造コスト引き下げ、品質向上をどのように実現していくかという技術的課題がある。これら3つの課題の達成が、少なくとも必要であると考えられる。そのためには、設計、材料選定、製造、回収・分別、リユース・リサイクル工程において、素材産業、製品製造業、ユーザ、国・自治体、リサイクル産業が有機的に連携することによって、環境負荷データの整備や効率的なリサイクルシステムの導入を促進し、品質向上のための技術開発を推進していくことが重要である。

このような連携が適切に機能すれば、鉄、アルミ、コンクリート、プラスチック、セラミックス等の各素材産業が、クローズド化という境界条件の中で、環境負荷が少なく、かつ、コスト競争力のある優れた品質・特性を有する材料の開発を目指して、努力していくことになろう。自動車、家電、事務機器に見られるように、環境負荷が少ないということが、消費財製造メーカーにとって大切なコンセプトになりつつあるが、このような対応やPRが、消費者の共感を得て、商品選択に重要な影響を与えるようになると、材料の環境負荷特性が材料選択における重要な要素となってくる。前述の知的基盤の整備が進み、図67に示すような各素材の製造・再生に係る原料・エネルギー消費、副生品の発生、汚染物質等の環境への放出に関するデータ（インベントリー）ベースが整備されれば、環境負荷の小さい製品製造への指針となり、環境負荷が、コスト競争力と並んで素材間、素材製造メーカー間の重要な競争因子となると考えられる。

この素材間競争が、ライフサイクル全体を通して環境負荷引き下げの大きな駆動力となり、同一素材産業内の技術情報のオープン化を促進することになると予想される。即

ち、代替材との競合が同一素材間の連携・協力を強め、いわゆるネットワーク効果や集積効果が生まれると考えられる。更に、シリコンバレーのようにオープン化が進むと産業立地点の魅力と競争力が増し、新しい技術・ノウハウを求めて世界の企業が集まり、その中で新しい発見や技術が生まれやすい環境が形成されていく可能性がある。このような産業環境の中で、「トータル環境負荷ミニマム」、「トータル・エネルギー消費ミニマム」、「トータルライフ・コストミニマム」を同時に達成できるシステムや技術の開発が進み、日本に立地している鉄鋼業等の素材産業が国際的リーダーシップをとりながら、競争力を強化していくことが期待される。このような方向に素材産業が発展していけば、この産業こそ、素材の生産から使用、再生産までをトータルに管理し、「経済」、「エネルギー」、「環境」のそれぞれの分野でバランスのとれた最適の産業活動を営む「統合素材産業（トータル・マテリアル・インダストリー）」となる可能性を有しているといえる。この「統合素材産業」は、前述の「経済構造の変革と創造のための行動計画」に定められた新規成長15分野の中の「新製造技術関連分野」、「環境関連分野」、「新エネルギー・省エネルギー関連分野」の3分野を「素材」というタームで「産業」に変換した「新規成長産業」の一つになると考えられる。

先に述べたように、安価で強靱なことから素材消費の40%を占める鉄鋼材料は、リサイクル性も高く、現状でもマーケットメカニズムのもとで、再生が行われている環境に調和した材料である。通産省としては、品質劣化を防ぎながら、再生に要するコストやエネルギー消費を引き下げることのできる「新製鋼システム」の開発支援や、合金元素を多量に添加することなく強度・靱性とリサイクル性を向上できるスーパーメタルの開発委託を行い、鉄鋼材料が更に「環境適応材料」として発展し、地球温暖化問題の解決に貢献できるよう施策を講じているところである。この



出所：山本良一編著：「エコマテリアルのすべて」
日本実業出版社 p.80

図67 炭酸飲料用容器の相互比較

ような技術開発とインヴァース・マニファクチャリングに見られるリサイクルを念頭に置いた製品の設計・製造・回収システム構築により、素材の製造から使用、再生までの「トータル環境負荷ミニマム」、「トータル・エネルギー消費ミニマム」、「トータルライフコストミニマム」を達成できる新規成長産業としての「統合素材産業（トータル・マテリアル・インダストリー）」が生まれ、発展していくことが期待される。

6 おわりに

5回に亘った本シリーズを終るに当たり、「未来は鉄にあり」という北欧の製鉄メーカーの社是をもって、しめくくることとしたい。

21世紀における日本鉄鋼業の一つの将来展望として、「統合素材産業」を掲げたが、果して循環型社会システムが構築され、このような産業へ日本鉄鋼業が発展するか否かは必ずしも明らかでない。

しかしながら、地球環境問題解決の鍵の一つは素材であり、「鋼材」を含め大量に使用されている伝統的素材が、「スーパースティール」や「スーパー素材」に進化し、利用されるか否かが地球環境問題解釈の重要な要素であることは、間違いのないであろう。その意味で素材の40%を占め、リサイクル率の高い鋼材の利用状況を考えると、「未来は鉄にあり」という言葉もあながち誇張表現でもないと考えら

れる。

「予言の自己実現」という考え方があるが、鉄鋼業に従事する者が悲観的将来を予測し、「予測が適中した」と言っても余り意味がない。

鉄鋼業を含め素材産業に従事する可能性のある学生、若手技術者・研究者の方々には、是非、社会ニーズに応え世界に貢献する日本鉄鋼業や素材産業の将来像を描き、その将来像を共有していただきたいと願っている。本拙文が、そのために何らかの参考になれば幸である。

引用及び参考文献

- 1) 山本良一編著：「エコマテリアルのすべて」日本実業出版社、p.100
- 2) Nipponn Steel Monthly、「循環パラダイムにおける製造業の姿—吉川弘之氏が提唱するインバース・マニファクチャリング」、1997年5月、新日本製鉄㈱、p.1
- 3) 化学技術見本計画、1996年7月、閣議決定
- 4) 経済構造の変革と創造のための行動計画、1997年5月、閣議決定
- 5) 今後の物質・材料系科学技術の重点研究開発領域について、1996年4月、物質・材料系重点研究領域懇談会、（事務局：科学技術庁研究開発局）
- 6) エコマテリアル、(社)未踏科学技術協会、1991年3月
- 7) エコマテリアル(II)、(社)未踏科学技術協会、1992年3月
(1997年6月13日受付)

〔参考資料1〕「経済構造の変革と創造のための行動計画」の中の新製造技術関連分野における総合的な施策パッケージ（素材関係抜粋）

＜知的基盤の整備＞

新製造技術分野における技術開発を効率的に進めるための基盤として、幅広い技術情報を提供する科学技術関連オンラインデータベースの整備、技術開発と標準化形成を並行して推進していくための共通基盤（プラットフォーム）提供型技術開発制度の創設、計量標準の整備等の知的基盤整備を推進する。また、熟練技術者の技や知識をデータ化、機械化し、高度で効率的な製造システムの実現を図るとともに新製品の開発を活性化するための基盤を整備する。

○行動計画

- ・新素材・材料分野については、高真空、超高温、超精密など特殊条件の計測・評価技術の開発・標準化に向けた技術開発を推進する。例えば、21世紀初頭におけるファインセラミックスの利用拡大のため、その機械的・熱的特性、粉体及び製造プロセス等の新試験評価方法の開発、規格化を推進する。併せて、社会資本材料の耐候性・耐食性等の信頼性向上のため、新材料、新技術の試験評価方法の開発・標準化を図る。さらに、建材の高温域における熱伝導率測定技術の開発を推進する。

＜独創的な研究開発の推進＞

限られた政策資源を有効に活用するため、環境保全や省エネルギーの観点も含めた、次世代を担う新製造技術の開発につながる独創的な研究開発を重点的に推進する。

○行動計画

- ・新素材・新材料分野については、光・熱・電磁気・強度特性、生体・環境適合性などに優れた高機能新素材について21世紀初頭までに諸機能の向上を図るための研究開発を推進する。例えば、履歴、欠陥、ひずみなどの情報を保有・発信する材料・構造に関し、温度や振動を保つ機能の向上に向けた技術開発を推進する。また、金属材料の組織構造を微細化するなどにより、強度等の諸特性の向上を目指す。

- ・多量のエネルギーを消費する化学物質、素材の製造におけるエネルギー消費を革新的に削減するとともに、省エネルギー効果のある素材・材料に関する研究開発を推進する。例えば、エネルギー消費を大幅に削減することが可能な次世代窯業製品生産プロセス技術の研究開発、多段階の反応プロセスを大幅に削減する化学プロセス技術の研究は開発、物性や破壊メカニズム等を解明しこれを利用した省エネルギー型の複合材料製造プロセス技術の研究開発を推進する。また、モーターのエネルギー消費を改善する高機能鋼材等の研究開発を推進する。
- ・高機能、高密度、高効率な特性を有する機能性分子や有機分子等に関する技術の向上を目指し、原子・分子操作技術及びその特性評価技術に関する研究開発を推進する。

＜リサイクル対応生産システム（インパース・マニファクチャリング）の確立＞

環境問題に対応して、設計時から素材、製品のリサイクル性を考慮した生産システムを確立するため、部品・素材に関するリサイクル情報システムの構築、リサイクル関連技術開発に対する支援の充実等総合的な施策を推進する。

○行動計画

- ・平成10年度を目途にリサイクル対応生産システムの確立に向けた中長期的な推進の方策について検討を行う。
- ・民間における素材のリサイクル技術の研究開発などを推進するとともに、これらを民間企業の製造システムに導入するための支援を引き続き推進していく。
- ・部品・素材の再利用を促進するため、平成9年度までに部品・素材の履歴、成分、分解手法等を提供するリサイクル情報システムのプロトタイプの構築を図る。

＜社会システムの整備＞

リサイクル対応の製造技術を生かすためには、使用済みの材料や製品、生産活動や建設において生じる副産物を回収し利用する社会的なシステムの整備が必要である。このためには、リサイクル関連情報の公開の促進、回収・リサイクルの責任と役割、費用負担ルールの明確化、生活環境保全に留意しつつ廃棄物処理業・施設に関する許認可の見直しの検討が必要であり、リサイクルを受け入れる社会システムを整備するための検討を進める。

○行動計画

- ・社会インフラ面においては、製造業者が製品の解体、部品、材料などのリサイクルに関する情報を公開する情報システムの開発に着手しており、今後は、本システムに各企業がリサイクル関連情報を積極的に入れていくことを促進する。

＜人材育成＞

高度な生産技術者・技能者の確保・維持を図るため、現場の知識に通曉し、かつ、理論的バックボーンを有した国際的にも通用する技術者・技能者を養成する必要がある。このため、生産プロセスエンジニアなど技術者・技能者を養成する教育訓練機関等における教育訓練の充実、学協会による工学教育の一層の質の向上を目指した取組みに対する支援等、技能労働者の社会的地位の向上を目指した技能の振興、職業能力評価制度に関する検討、高度熟練技能者の活用促進、地域における技能人材育成のための支援を推進する。

○行動計画

- ・工学教育について、技術革新の進展の早さ、国際的な工学教育の動向を踏まえ、学協会による標準的な教育カリキュラムの研究開発等の取組を支援するとともに、それらを踏まえた学協会と各大学における工学教育の一層の質の向上を目指した自主的な取組を促す。併せてより実務的な高等教育を行うため、インターンシップ(学生が在学中に自らの専攻、将来のキャリアに関連した就業体験を行うこと)、社会人教員の活用等の推進を行う。また、公共職業能力開発施設等においては、産業構造の変化に対応した実践的な教育訓練を可能とする施設・設備、カリキュラムの整備を図りつつ、必要な教育訓練を積極的に実施する。

＜国際的相互承認を踏まえた国内規制体系等の見直し＞

国際的な相互承認の動きを踏まえ、製造技術に関する安全規制、能力認定、資格制度等についても見直しが必要である。また、相互承認に必要な計量標準、標準物質等の知的基盤整備を一層推進する。

○行動計画

- ・国際的な相互承認の動きを考慮した知的基盤整備として、高精度・微細・形状標準、高真空標準、高圧力標準などの計量標準、超格子、高分子材料等の標準物質を整備する。また、海外諸国の新標準、新規制に係る情報収集を行う。

＜標準化の推進＞

機械と情報ネットワークの融合化や省エネルギー、リサイクルの推進などの観点から、新規市場の立ち上げを支援するため、テファクトスタンダード(事実上の標準)を視野に入れた標準化プロセスを加速する新たな標準化手法の導入を推進する。また、国際規格の策定についても、我が国が先導的な役割を果たすためには、国際標準化活動に対する戦略的支援を行う。

○行動計画

- ・新材料、新技術に関する試験評価技術及び特殊条件の計測・評価技術等について、技術開発と標準化を一体的に推進する。

出所「経済構造の変革と創造のための行動計画」1997年5月閣議決定

〈参考資料2〉科学技術基本計画の概要

1. 産学連携の強化等

(1) 産学共同研究の強化

国立大学と企業が共同研究を行う場合、共同研究場所を国立大学構内に限定されているが、今後、企業内においても共同研究を行えるように規程を見直し拡大する。

(産学共同研究に対する税制インセンティブの強化等を基本計画とは別途税制改正要望。)

(2) 大学研究者の民間への研究休職出向

国立大学等の研究者が休職出向する際、研究組合等の公的機関のみならず、純粋民間企業にも休職出向することが可能であることを明確化した。

(3) 大学研究者の民間での研究兼業

国立大学、国立研究所の研究者は、最低限度の場合を除き、研究、指導等のために時間外兼業を原則許可できることを明確化し、過当たり兼業時間数制限をなくす。

※なお、国立研究所においても同様の制度改善により産官連携を強化する。

2. 研究成果の移転による経済、社会への貢献

○産官学連携を行う研究実施者の研究インセンティブを高めるため、国等との共同研究、委託研究を行う企業等研究実施者に対して、特許等研究成果の優先実施権を付与する。

○研究者の研究インセンティブを高めるため、特許、プログラム著作権等の知的財産権を研究者個人に付与できるように規程を整備する。

※研究者の流動化を促進することと相まって、個人帰属分の知的財産権がマーケットベースで実施許諾、売買され、産業化につながる可能性が向上。

3. 研究者の流動化

○研究者同士の交流・触発を促すため、大学及び国立研究所において、任期付任用制度の導入、フェローシップの拡充、派遣研究者の導入を図る。

○研究者、研究支援者を民間事業者（人材派遣業）とのサービス契約により研究費を用いて登用できるように労働者派遣を可能とする。

4. 研究への厳正な評価と競争原理の導入

○大学、国研、国家プロジェクトについて、課題、機関、研究者に対する評価を導入するとともに、これに対応して研究費などのリソースの配分を優秀な研究に対して重点化する。

5. 民間研究開発への支援

○技術シーズを社会、経済に還元し、新たな産業を創出するため、事業家意欲の高い民間企業がリスクの高い研究開発を行うことに對して、補助金等による支援を行う。

○ベンチャー企業における資金調達環境を高めるため、株式店頭市場における流通を高めるとともに、事業化前段階における資金調達手段を拡げる。

6. 知的基盤の整備

○研究開発と生産活動を行う上で必要不可欠な軽量標準・試験評価、生物資源情報等の知的基盤を国が整備し、内外の研究実施者に対してあまねく提供する。

出所：通商産業省資料 1996年12月

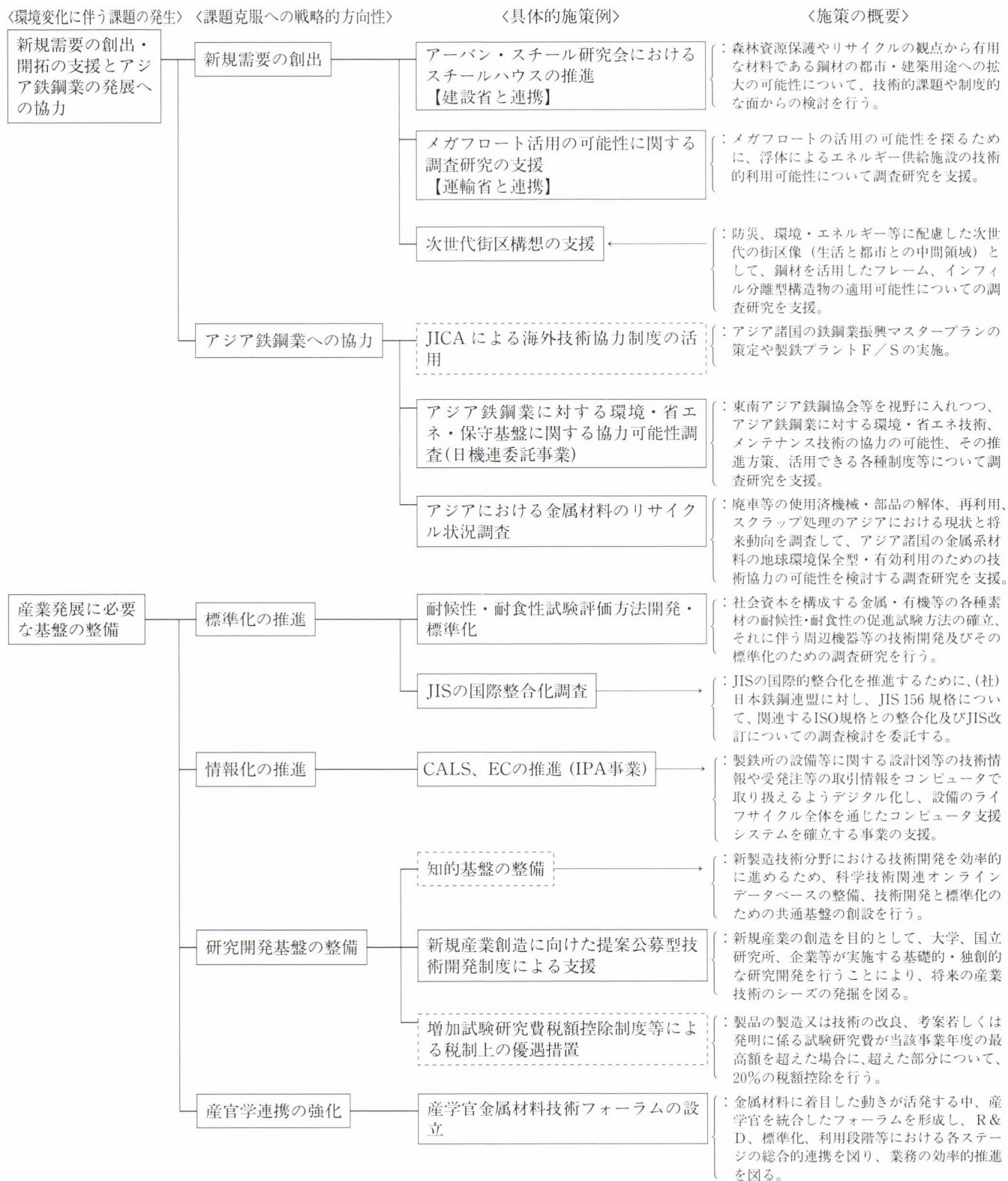
〈参考資料3〉科学技術関係経費の概要

	平成8年度	平成9年度	対前年比伸率	○補助金、地域産学官研究開発の推進
通商産業省	4,213億円	4,724億円	12.1%	・新規産業創造技術開発支援制度 [通商産業省]
(1) 科学技術関係経費の概要				42.5億円 (2.5億円)
	平成8年度	平成9年度	対前年比伸率	・創造技術研究開発費補助 [通商産業省]
全 政 府	2兆8,105億円	3兆28億円	6.8%	49.5億円 (40.8億円)
文 部 省	1兆2,412億円	1兆2,890億円	3.8%	・地域コンソーシアム研究開発 [通商産業省]
科学技術庁	6,928億円	7,345億円	6.0%	20.4億円 (新規)
(2) 科学技術関係経費の例				○知的基盤の整備
○競争的資金の拡充				[通商産業省] 14.0億円 (8年度9.3億円)
・国立研究所における競争的研究開発制度 [通商産業省]				[科学技術庁] 科学技術振興調整費のうち30.0億円 (新規)
22.2億円 (新規)				○フェローシップの大幅拡充(ポストドクター等1万人支援計画の推進)
・特殊法人への出資金を活用した基盤研究				[科学技術庁、文部省、通商産業省等]
[7省庁(通産、科技、文部、厚生、農水、郵政、運輸)] 計569億円				計 351億円 7,812人
[通商産業省] 47.0億円 (8年度26.5億円)				
・科学研究費補助金 [文部省] 1,122億円 (8年度1,018億円)				
・科学技術振興調整費 [科学技術庁] 250億円 (8年度215億円)				

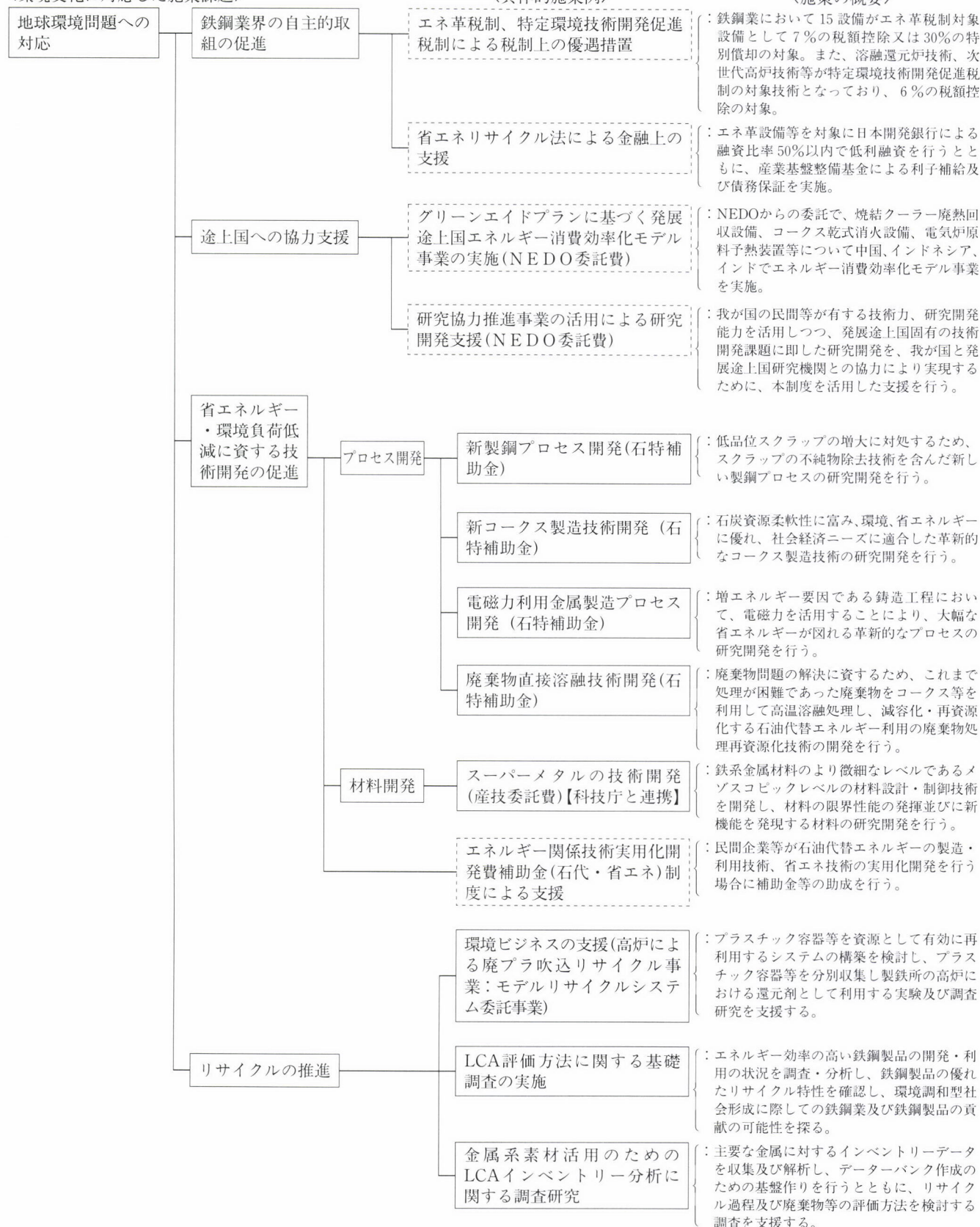
出所：通商産業省資料 1997年2月

〈参考資料4〉

環境変化に対応した施策課題と具体的施策



＜環境変化に対応した施策課題＞





入門講座

計測技術編 - 3

設備診断のための計測技術

豊田利夫

九州工業大学 情報工学部 教授

Tosio Toyota

Measurement Engineering for Condition Monitoring and Diagnosis

1 設備診断のための計測技術の特徴

設備診断技術 (Condition Monitoring & Diagnostic Technology: 略称CDT) において、計測技術はその正否を決める基盤技術といえる。設備診断は、機械の内部状態の情報を運ぶ振動や音響などの状態変数 (Condition variable という) の計測から始まり、状態変数の計測→信号処理→信号の特徴抽出→異常の識別の5ステップで実施される。むしろ、設備診断の発展は計測技術の発展に依存するといっても過言ではない。その意味で計測技術は設備診断を支える基盤技術であるとともに重要なニーズ分野であり、かつ広範なマーケットでもある。

設備診断のための計測技術だけでなく、計測技術一般にいう特徴は、計測目標領域が雑多で一貫した取り扱いが困難なことである。たとえば、設備の異常状態を運ぶ情報キャリアーは可視光、赤外線、磁気、圧力、変位、電磁波、放射線、粒子数、圧力、流量、振動、熱、音響、超音波など50種類にもおよぶ。しかも、圧力といっても気体、液体、固体の圧力があり高真空から超高压までである。設備診断用の計測技術 (またはセンサ技術) の特徴をあげれば(1)ほとんどすべての計測技術の分野のセンサが対象となり(2)一般センサに比較して使用環境が格段に過酷であり、(3)高い信頼性と経済性が要求される点にある。

2 設備診断のための計測技術

すべての設備診断用センサ技術を網羅することは困難であるが、表1に示すように計測対象の状態変数を(1)機械信号系 (2)電気磁気信号系 (3)熱光学的信号系 (4)化学生物信号系に分けて考えれば比較的統一的な取り扱いができる。

以下表1に基づいて、設備診断用センサ技術の動向を概観しよう。

表1 設備診断のためのセンサ技術一覧

信号種類	状態変数	応用診断技術
機械信号系	(1)振動・音響 (2)圧力・流量 (3)力・応力 (4)超音波・AE	(1)回転機械診断 (2)圧力脈動のポンプ診断 (3)応力解析による寿命診断 (4)AEによる材料欠陥診断
電磁信号系	(1)電圧・電流 (2)電力 (3)磁束密度 (4)電磁波	(1)電流波形による断線診断 (2)損失角による絶縁劣化診断 (3)磁束漏洩によるモータ診断 (4)電磁波による変圧器診断
光・温度信号系	(1)可視光 (2)レーザー (3)温度 (4)赤・紫外線 (5)放射線	(1)直流機の整流診断 (2)レーザー変位計診断 (3)赤外カメラによる診断 (4)温度上昇による巻線診断
化学信号系	(1)臭気 (2)化学成分 (3)イオン (4)化学反応 (5)摩耗粒子	(1)ガス漏洩診断 (2)配管腐食診断 (3)摩耗粒子による診断 (4)可燃性ガスによる変圧器診断 (5)マイクロバイオ活性度診断

さて設備診断の分野でも、新しいバイオセンサやインテリジェントセンサなど新しい計測技術が試用されつつあるが、ここでは主として鉄鋼などの生産設備の異常診断に実用中の計測技術につき紹介したい。

(1) 機械的信号系のセンサ技術

回転機械など能動機械の診断には主として振動、音響、応力、圧力などの機械信号が利用される。ここでは典型的な機械的信号系のセンサの応用例として、原子力発電所用の吸水ポンプの監視診断のためのセンサの設置状況を図1

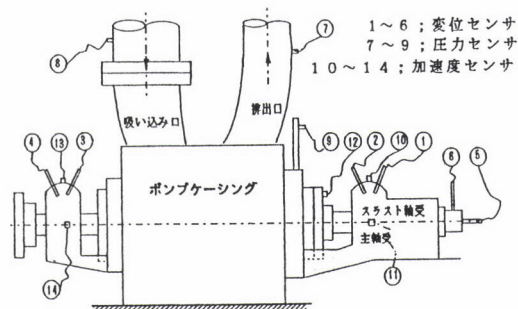


図1 発電所の吸水ポンプの設備監視用センサ

に示す。

図より明らかなように、振動変位センサ6個、圧力センサ5個、振動加速度センサ3個、合計14個の機械信号系センサが使用されている。

(2) 電気・磁気信号系のセンサ技術

電気磁気系センサは電動機など電気設備の回路異常診断や絶縁診断に必須であるが、機械設備の動作異常や摩耗などの診断にも電流など電気信号が多用される。

たとえば、図2に電気信号を用いた高压電動機の絶縁診断の計測系を示す。漏洩電流、部分放電電流、電流の損失角など波形解析法が従来より現場で実用されている。

(3) 熱・光学信号系のセンサ技術

設備状態を判定するのに、従来より油温や軸受ケーシングの温度測定が多用されてきた。最近は温度センサとオプティカルファイバを組み合わせて、高压電気機械内部の巻き線温度の監視などに実用されている。

原子力発電所の高压大型発電機などでは、鉄芯内の巻線の振動監視が必須であるが極強電磁界中であるため、従来の振動センサでは監視が困難であった。このような極強電界中での振動センサとして、図3に示すオプティカルファイバによる振動変位センサが開発され一部で実用されている。

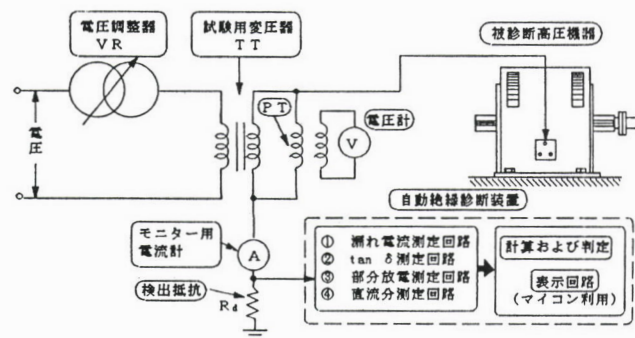


図2 高压電動機の絶縁診断の測定系

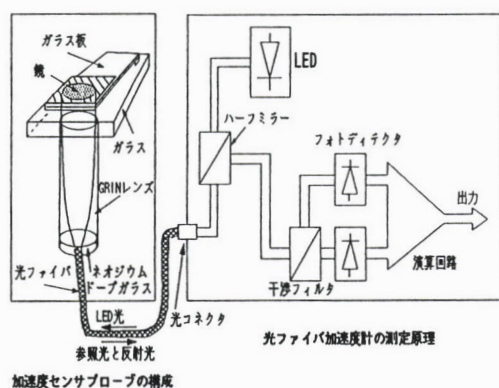


図3 光ファイバによる振動加速度センサ⁴⁾

る。

(4) 化学・バイオ信号系のセンサ技術

化学・バイオセンサも盛んに設備診断に実用されている。典型的な実用例は潤滑油や作動油中の金属摩耗粉の検出による油圧潤滑系の診断技術である。

潤滑油や作動油中の金属摩耗粉を定期的に検出することにより、該当システムの劣化傾向を把握し、正しいオーバーホールタイミングを設定することができる。

図4にみるように、油中摩耗粉の検出には大別して3種類の計測技術が適用されている。

(1) 油中金属摩耗粉の直接センサ

潤滑または油圧システムに金属粉検出センサを挿入して、金属分の瞬間発生率と蓄積量をモニタする。この値は機械のオペレータに表示される。

(2) 摩耗粉捕集クーポン法

油中の金属摩耗粉を沈殿させ捕捉するクーポンを油圧配管内に挿入して、定期的に摩耗分の沈殿状態を点検する。クーポンは機械システムの運転中に脱着できるように設計されている。

(3) サンプル油分析法

油圧または潤滑システムから定期的に少量のサンプル油を採取して、分光分析法またはフェログラフ法を用いて油中の金属摩耗粉の量と成分や性状を観察する。

図5にフェログラフ法の概念図を示す。採取した少量の

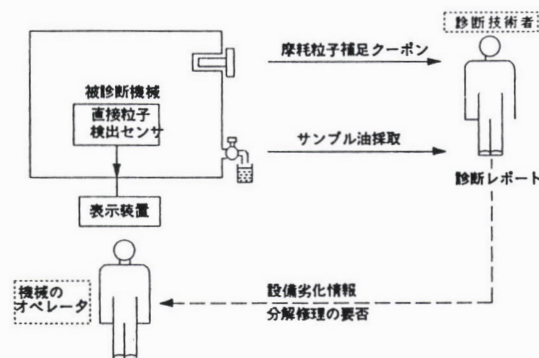


図4 油中の金属摩耗粉の分析による異常診断

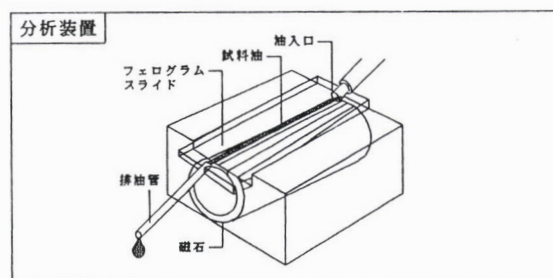


図5 フェログラフ法の原理

サンプル油をコラムの上に流し、金属摩耗粉の付着状況(これをフェログラムという)を顕微鏡などで観察して機械の劣化状況を判定する。

3 新しい設備診断用の計測技術の紹介

最近文献に現れた診断用計測技術もしくはセンサ技術の数例を紹介しよう。ここでは、技術の理論的背景や詳細には立ち入らず、イラストによるイメージの紹介にとどめる。詳細を知りたい読者は後掲の参考文献を参照されたい。

(1) 往復動機械の異常監視システム

ガソリンエンジンなど往復動機構を含む内燃機関の診断は従来振動など機械信号では診断が困難とされ、主として前掲の潤滑油中の金属摩耗粉の分析法などが適用されてきた。しかし、最近の非常常信号解析技術の進展により図6に示すように振動変位センサ、振動加速度センサ、バルブ診断用温度センサ等による異常の監視と診断が可能となった。図6ではロッド降下監視用に振動変位センサ、ケーシング監視用に振動加速度センサ、バルブ監視用に温度センサを使用している。

(2) 内燃機関のピストンリング摩耗監視センサ

図7は内燃機関の保全上最も問題となるピストンリング

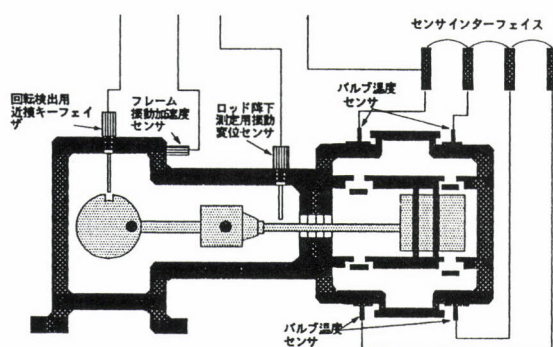


図6 往復動機械の振動変位による異常監視

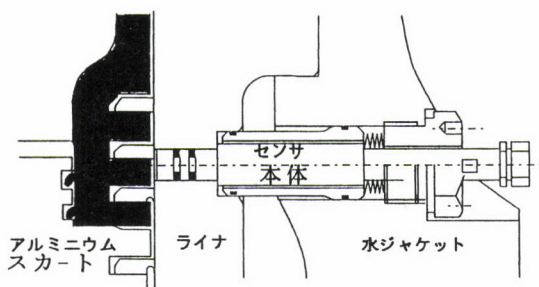


図7 内燃機関のピストンリング摩耗センサ

の摩耗をモニタリングする専用センサである。

(3) オンライン油中金属粉解析システム

図8に潤滑油のサンプル油中の摩耗金属粉観察用のフェログラムの概形を示した。最近はこのオンライン化したオンラインフェログラムが実用されている。

(4) 放射化技術による精密摩耗と腐食の監視

摩耗と腐食は生産プラントの保全コストの主要部分を構成している。アメリカの報告によると生産プラントの年間の保全コストは1000億ドル、腐食のそれは700億ドルに達している。自動車の保全コストはアメリカで年間400億ドルに達しているが、その大部分は摩耗に原因がある。

必ずしも新しい技術ではないが、摩耗、エロージョンおよび腐食などの精密オンライン監視技術として、材料の放射化技術を用いた表面放射化技術 (surface layer activation technique (SLA)) を紹介しよう。

SLA法においては、まず図9に示すように摩耗または腐

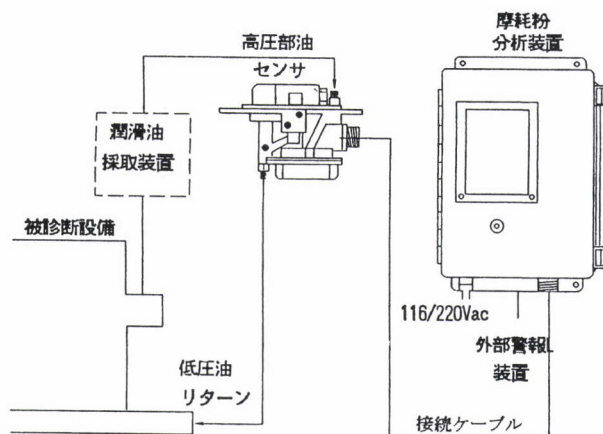


図8 オンラインフェログラムの結線図⁵⁾

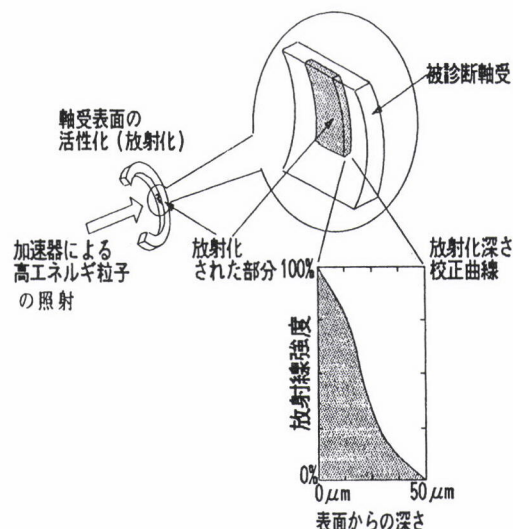


図9 高エネルギー粒子による軸受表面の放射化

食する部分の材料に加速器の高エネルギー粒子を照射することによって放射化する。これによって材料の厚さ50 [μm]程度の表層部が活性化して放射能をもつようになり、 γ 線を放射するようになる。

この放射線強度は材料が摩耗または腐食により失われるに従って減少するから、外部から放射線量をカイガカウンタなどで計測すれば、摩耗または腐食量の精密なオンラインモニタリングが可能となる。

本法によれば、摩耗または腐食量が極めて正確に計測できる（精度1 [μm]以上）でモニタリングできるばかりでなく、その位置も同定できる利点がある。

英国のHarwell Laboratory groupではすでに図10に示すような校正曲線を得ており、原子力発電所の配管の曲線部のエロージョンの監視に成果をあげている。

原子力発電所で本法を実用化する場合、主冷却系の冷却水は原子炉で発生した同位元素類を多数含有しており、放射線のバックグラウンドノイズのレベルが高いことを考慮して、放射線の選択センシングの能力のある固体（半導体）放射線検出器が使用される。

本法は高精度ではあるが、高価であるから主として原子炉の主および2次冷却水系配管の腐食モニタリングに応用されている。

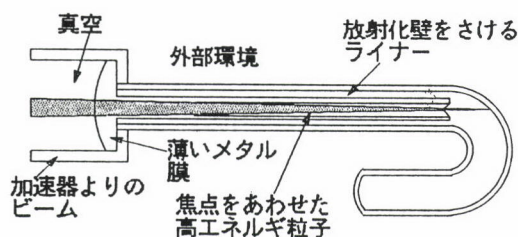


図10 SLA法における配管曲線部の放射化¹⁾

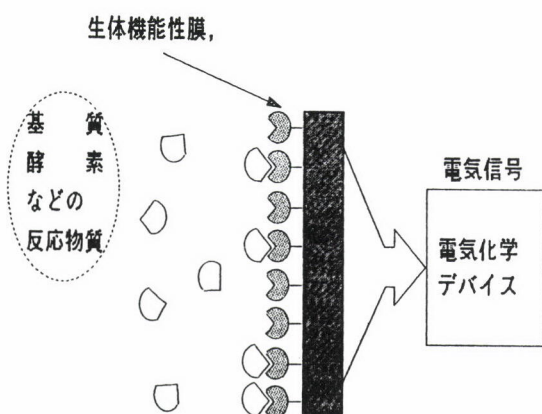


図11 化学・バイオセンサの原理³⁾

原子炉の冷却水系においては、配管の曲線部分のエロージョンが激しい。流体によるエロージョンは電気化学的現象ではないため、線形分極抵抗(LPR)法など従来の腐食監視技術が適用困難である。

本法は高精度ではあるが、高価であるから主として原子炉の主および2次冷却水系配管の腐食モニタリングに応用されている。また民間航空機の油圧系統に使用された実績がある。

(5) 化学・バイオセンサの利用

化学センサは動物の嗅覚、味覚に相当するセンサである。従来より生産プロセスのオペレータや点検マンは主として嗅覚や味覚により、機械や操業状態の異常を検出していた。

設備診断においては、嗅覚に相当するものがガス漏洩センサに、味覚に相当するものが液体あるいは溶液中の成分検知を目的に、イオンセンサまたはバイオセンサとして実用化されている。

バイオセンサでは分子構造選択機能と電気信号変換機能が図11のように分離している。原理的に図11に示すバイオセンサは、前半（図の左）は O_2 や H_2O を反応試薬とする電気化学反応系を構成しており、後（図の右）は化学電気変換機能を構成している。

通常の腐食モニタリング用センサはスケールなど付着物下の腐食は検知できない。孔食やピッチングなど局部腐食に対しては、有害液体が漏洩して初めて目視点検で確認できるのが実状である。また最近はバイオ誘起腐食も問題になっているが、化学・バイオセンサとコンピュータ技術の組み合わせはこれらの問題を解決できる可能性がある。

半導体センサーではこの2つの機能が一体化し直接電圧または電流の電気信号に変換されている。

図12にバイオセンサの例としてグリコースセンサの構造を示す。

構造の動作説明は紙数の関係で省略する（文献3）参照）が、酵素のような生体物質のもつ特異的な反応を利用する

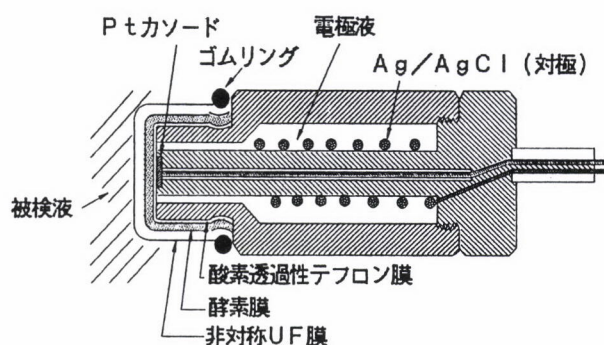


図12 バイオセンサ（グリコース）の構造例³⁾

ところに、バイオセンサの特徴がある。

最近のプラントでの腐食では、マイクロバイオ誘起腐食などが問題となりつつあり、バイオセンサはこのようなバイオが原因となる腐食環境や腐食速度のモニタ用にその応用が検討されている。

(6) ミクロバイオ誘起腐食のセンサ

最近バイオに起因する腐食 (microbiologically influenced corrosion (MIC)) が問題となっている。

従って冷却水配管内のバイオ活性度をモニターするシステムの研究が欧米で進められている。図13はアメリカで開発中の技術であって、間歇カソード分極法を基本としてバイオ膜生成速度を分極電位で追跡する装置の概念図である。

この計測装置によりバイオ皮膜の生成速度を推定できる。

(7) 配管内の局所腐食 (孔食) 監視システム

現用の腐食モニタリング技術には、クーポン法など単純な方法から電気抵抗法、線形分極抵抗 (Linear Polarization resistance; (LPR)) 法など種々の手法が適用されているが、いずれも全面腐食が対象で局部腐食のオンライン監視技術は実用化されていない。

現在この方面の研究は(1)配管内のスケールの下の腐食のモニタリング、(2)ピッチングなどの局部腐 (孔食) のモニタリング技術の開発に努力が集中している。

図14は現在アメリカで開発中の局部腐食とスケール下層の腐食の同時モニタリング装置の概念図である。

装置は小型熱交換機、流量および熱流制御装置、データ処理用のコンピュータから構成される。

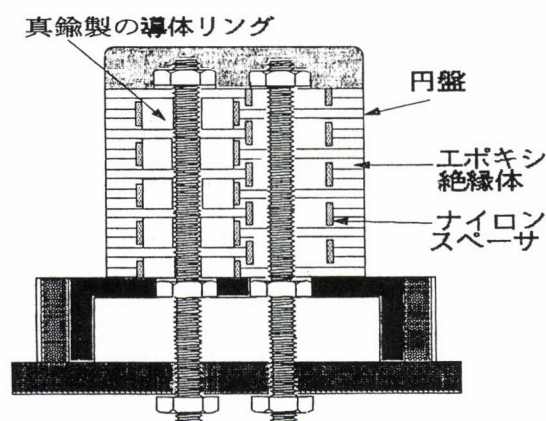


図13 バイオ誘起腐食 (MIC) センサ¹⁾

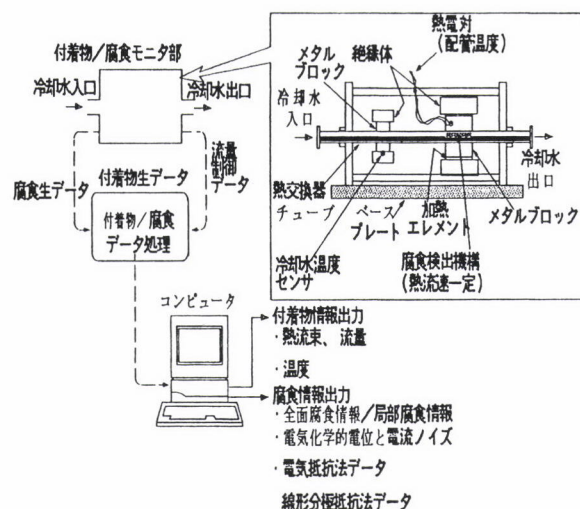


図14 配管のスケール下層の腐食モニタリング

装置は一定熱伝達率または一定内部表面温度に保つことにより腐食を算出する。一定内部表面温度のときスケールの付着により熱伝達率は減少する。反対に一定熱伝達率のとき、スケール沈澱に従って内部温度は上昇する。これによりスケール付着量や腐食程度を数式モデルから推定できる (詳細は文献 2) 参照)。

4 おわりに

設備診断用計測技術も他分野のそれと同様に、新しいセンシング技術と併せて信号処理、識別理論ともに著しい進展を見せている。本文が読者のこの方面への興味の発端になれば幸いである。

参考文献

- 1) S. D. Strauss: "Instrumentation advances improve fouling, corrosion monitoring", Power September, (1992), pp12-20
- 2) G. Licina: "On-Line biofouling monitoring of biofouling activity at the Browns Ferry Nuclear Plant", EPRI Seminar, Fla, April, (1992), USA.
- 3) 清山哲朗: "化学センサ", 共立出版, (1992), pp11-17
- 4) 市川ほか: "光ファイバセンサ", 高丘レビュー, 第36, 巻4号 pp34-39
- 5) P. A. Schweitzer: "Corrosion Engineering Handbook", DEKKER, (1996)

(1997年5月6日受付)



入門講座

専門用語-鉄鋼材料編-2

相変態と熱力学・入門

梶原正憲

Masanori Kajihara

東京工業大学 大学院総合理工学研究科
材料物理科学専攻 助教授

Phase Transformations and Thermodynamics

1 はじめに

鉄や鋼の相変態を理解するための最も重要な学問は、熱力学である。力学や電磁気学とは趣をやや異にし経験論的色彩が強いが、熱力学は初学者にとって理解しづらい学問であるとの印象を与えてきた。しかしながら、少数の基本法則が理解できれば熱力学の修得はそれほど困難でないように思われる。本稿では、参考文献1~4の歴史的な名著を参考とし、鉄や鋼の相変態の理解に必要な熱力学の基本概念に触れてみたいと思う。

2 熱力学の基本法則

相変態を対象とした合金熱力学では、第一法則と第二法則を理解すれば十分である。合金熱力学の重要な関係式のほとんどは、この二つの法則を出発点として導くことができる。

2.1 第一法則

熱力学の第一法則は、エネルギーの保存則である。今、外界より物体に流れ込んだ熱を ΔQ とし物体が外界に対して行った仕事を ΔW とすると、物体の内部エネルギーの変化 ΔE は次式のように表すことができる。

$$\Delta E = \Delta Q - \Delta W \quad \cdots (1)$$

物体が外界に対して純粋な機械仕事のみを行う場合には、圧力 P の外界と接する物体の体積が ΔV だけ変化した際に $\Delta W = P\Delta V$ となり、次式が得られる。

$$\Delta E = \Delta Q - P\Delta V \quad \cdots (2)$$

式(2)の右辺に現れる各パラメータ ΔQ 、 ΔV および P は、全て測定可能である。熱力学の第一法則は、これら測定可能な3つのパラメータより内部エネルギーの変化 ΔE が求め

られることを示している。

2.2 第二法則

熱力学の第二法則は、変化の不可逆性を数学的に表したものである。今、温度 T の物体に外界より ΔQ の熱が流れ込んだ際の物体内部におけるエントロピー変化を ΔS とすると、変化過程が可逆的であるか不可逆的であるかに依存して次式が成立する。

$$\Delta S = \Delta Q / T \quad \text{可逆過程} \quad \cdots (3a)$$

$$\Delta S > \Delta Q / T \quad \text{不可逆過程} \quad \cdots (3b)$$

すなわち、物体のエントロピー変化 ΔS は、可逆過程では $\Delta Q / T$ に等しくなるが不可逆過程では $\Delta Q / T$ よりも大きくなる。

2.3 熱力学的平衡条件

熱力学の第一法則と第二法則を結合すると、非常に有用な関係式を求めることができる。式(3a)および(3b)をそれぞれ $\Delta Q = T\Delta S$ および $\Delta Q < T\Delta S$ と変形して式(2)に代入すると次式が得られる。

$$\Delta E = T\Delta S - P\Delta V \quad \text{可逆過程} \quad \cdots (4a)$$

$$\Delta E < T\Delta S - P\Delta V \quad \text{不可逆過程} \quad \cdots (4b)$$

エントロピー S と体積 V が変化しない($\Delta S = 0$ および $\Delta V = 0$)場合には、式(4a)および(4b)の右辺は0となり

$$\Delta E = 0 \quad \text{可逆過程} \quad \cdots (5a)$$

$$\Delta E < 0 \quad \text{不可逆過程} \quad \cdots (5b)$$

が得られる。式(5a)および(5b)は、物体の内部エネルギー E の値は可逆過程では変化しないが不可逆過程では減少することを示している。すなわち、最終安定状態(平衡状態)では内部エネルギー E が最小値に達する。これが、エントロピーおよび体積が一定の物体に対する熱力学的平衡条件である。

2.4 内部エネルギーの独立変数

最終安定状態すなわち平衡状態では、物体の内部エネルギー E が最小値に達しているため、微小なエントロピー変化 ΔS および体積変化 ΔV に対し変化過程は可逆的となり式(4a)が成立つ。 ΔS および ΔV の絶対値が非常に小さく記号 Δ を微分演算子 d で置換えられる場合には、式(4a)は次式のように表すことができる。

$$dE = TdS - PdV \quad \cdots \cdots (6)$$

式(6)右辺の微分演算子 d の作用する変数の種類に注目すると、内部エネルギー E の独立変数はエントロピー S および体積 V であることが知られる。したがって、

$$E = E(S, V) \quad \cdots \cdots (7)$$

と表すことができる。式(7)の全微分を求めると、平衡状態に対して

$$dE = \left(\frac{\partial E}{\partial S} \right)_V dS + \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_S dV \quad \cdots \cdots (8)$$

が得られる。式(6)および(8)を比較すると、次の関係式が得られる。

$$T \equiv \left(\frac{\partial E}{\partial S} \right)_V \quad \cdots \cdots (9)$$

$$P \equiv - \left(\frac{\partial E}{\partial V} \right)_S \quad \cdots \cdots (10)$$

式(9)および(10)は、温度 T および圧力 P の定義式と見なすことができる。内部エネルギー E の独立変数としてエントロピー S および体積 V を用いると、平衡状態における物体の熱力学的性質を完全に記述でき式(9)および(10)などの関係式を導出することができる。このような性質を持つ熱力学関数を基本関係式と呼ぶ。

2.5 Gibbsエネルギーによる平衡条件

内部エネルギー E はエントロピー S および体積 V を独立変数とする基本関係式であることを2.4節で述べた。しかし、鉄や鋼の相変態に関する実験では、エントロピーや体積よりも温度や圧力を制御する方がはるかに容易である。すなわち、内部エネルギー E を出発点とする式(6)～(10)は、熱力学の第一・第二法則より直ちに導かれる基礎的な関係式であるが、相変態の記述や解析のための道具としては必ずしも利用しやすい形式であるとはいえない。そこで、次式のように定義される新しい熱力学関数 G を考えてみることにする。

$$G \equiv E + PV - TS \quad \cdots \cdots (11)$$

式(11)より関数 G の全微分 dG を求めると

$$dG = dE + (PdV + VdP) - (TdS + SdT) \quad \cdots \cdots (12)$$

となるが、式(4a)および(4b)の Δ 記号を微分演算子 d で置換え式(12)に代入すると次式が得られる。

$$dG = (TdS - PdV) + (PdV + VdP) - (TdS + SdT) \\ = VdP - SdT \quad \text{可逆過程} \quad \cdots \cdots (13a)$$

$$dG < VdP - SdT \quad \text{不可逆過程} \quad \cdots \cdots (13b)$$

式(13a)および(13b)右辺の微分演算子 d の作用する変数に注目すると、内部エネルギー E の独立変数はエントロピー S および体積 V であるのに対し、関数 G の独立変数は温度 T および圧力 P となっていることが知られる。このような実験的に制御しやすいパラメータを独立変数とする熱力学関数 G を発見者の名前に因んでGibbsエネルギーと呼ぶ。Gibbsエネルギー G は、温度 T および圧力 P を独立変数とする基本関係式である。2.4節におけると同様の議論により、平衡状態に対して次式が得られる。

$$dG = \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)_T dP + \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_P dT \quad \cdots \cdots (14)$$

式(13a)および(14)を比較すると、次の関係式が得られる。

$$V \equiv \left(\frac{\partial G}{\partial P} \right)_T \quad \cdots \cdots (15)$$

$$S \equiv - \left(\frac{\partial G}{\partial T} \right)_P \quad \cdots \cdots (16)$$

式(15)および(16)は、体積 V およびエントロピー S の定義式と見なすことができる。圧力一定および温度一定($dP=0$ および $dT=0$)の場合には

$$dG = 0 \quad \text{可逆過程} \quad \cdots \cdots (17a)$$

$$dG < 0 \quad \text{不可逆過程} \quad \cdots \cdots (17b)$$

となり、平衡状態においてGibbsエネルギー G が最小となる。

3 相平衡

3.1 二相平衡

平衡状態を記述する式(6)および(13a)は、一成成分の物体に対して得られた関係式である。これらの関係式を k 元系(k 種類の成分を含む)物体に拡張するために、次式のような新しいパラメータ μ_i を導入する。

$$dE = TdS - PdV + \sum_{i=1}^k \mu_i dn_i \quad \cdots \cdots (18)$$

$$dG = VdP - SdT + \sum_{i=1}^k \mu_i dn_i \quad \cdots \cdots (19)$$

ここで、 n_i は各成分のモル数であり μ_i は次式で定義される

化学ポテンシャルである。

$$\begin{aligned}\mu_i &\equiv \left(\frac{\partial E}{\partial n_i} \right)_{S, V, n_1, n_2, \dots, n_{i-1}, n_{i+1}, \dots, n_k} \\ &= \left(\frac{\partial G}{\partial n_i} \right)_{T, P, n_1, n_2, \dots, n_{i-1}, n_{i+1}, \dots, n_k} \dots\dots\dots (20)\end{aligned}$$

式(20)の中辺の定義式を用いると化学ポテンシャルの独立変数は S 、 V および n_i であるが、右辺の定義式を用いると T 、 P および n_i が独立変数となる。また、式(20)の右辺は部分モルGibbsエネルギー G_i の定義式と一致している。そこで、以下の議論では独立変数が T 、 P および n_i であることを明示的に示すために、化学ポテンシャルの記号として μ_i ではなく G_i を用いることにする。

すでに述べた熱力学的平衡条件を用いると、圧力一定および温度一定の条件下の k 元系合金中において α および β 相の二相平衡が成立する場合には各成分の化学ポテンシャル G_i^θ が各相中で互いに等しくなるという以下の関係式を導くことができる。

$$G_i^\alpha = G_i^\beta \quad (i=1, 2, \dots, k) \dots\dots\dots (21)$$

ところで、次式のように定義される G_m^θ は θ ($\theta=\alpha, \beta$) 相1 mol当りのGibbsエネルギーを示しモルGibbsエネルギーと呼ばれる。

$$G_m^\theta \equiv \frac{G^\theta}{n^\theta} = \frac{G^\theta}{(n_1^\theta + n_2^\theta + \dots + n_k^\theta)} \dots\dots\dots (22)$$

ここで、 n_i^θ は θ 相中の各成分のモル数であり、 n^θ は n_i^θ の総和 ($n^\theta = \sum n_i^\theta$) を示す。平衡状態において圧力、温度および相の組成を指定するとモルGibbsエネルギー G_m^θ の値はユニークに決まる。式(20)および(22)の関係より、化学ポテンシャル G_i^θ はモルGibbsエネルギー G_m^θ から次式のように求められる。

$$G_i^\theta = G_m^\theta - \sum_{j=1}^k x_j^\theta \frac{\partial G_m^\theta}{\partial x_j^\theta} + \frac{\partial G_m^\theta}{\partial x_i^\theta} \quad (i=1, 2, \dots, k) \dots\dots\dots (23)$$

式(23)の x_i^θ は、 θ 相中における成分 i のモル分率 ($x_i^\theta = n_i^\theta / n^\theta$) を示す。同式では、全成分のモル分率 x_i^θ ($i=1, 2, \dots, k$) を G_m^θ の形式的な独立変数としている。式(23)の導出法については、参考文献5などを参照していただきたい。

3.2 共通接線法

3.1節で述べた二相平衡に対する関係式をA-B二元系合金 ($k=2$) に適用してみる。A-B二元系では、 $x_A^\theta + x_B^\theta = 1$ であり x_A^θ が x_B^θ の従属変数となる。このため、 G_m^θ の独立変数は T 、 P および x_B^θ の3つとなり、温度一定および圧力一定の場合には x_B^θ のみとなる。 x_B^θ が唯一の独立変数である場合に

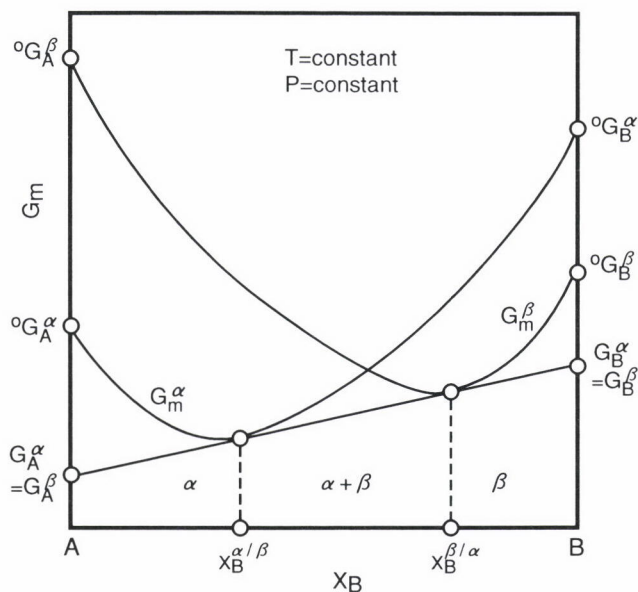


図1 A-B二元系における α および β 相のモルGibbsエネルギー組成曲線

は、図1に模式的に示すように縦軸を G_m とし横軸を x_B とするモルGibbsエネルギー-組成曲線として各相のモルGibbsエネルギー G_m^θ ($\theta=\alpha, \beta$) を図式的に表すことができる。 $x_A^\theta + x_B^\theta = 1$ の関係より $dx_A^\theta = -dx_B^\theta$ となるので、式(23)より以下の関係式が得られる。

$$G_A^\theta = G_m^\theta - x_B^\theta \frac{dG_m^\theta}{dx_B^\theta} \dots\dots\dots (24a)$$

$$G_B^\theta = G_m^\theta + (1 - x_B^\theta) \frac{dG_m^\theta}{dx_B^\theta} \dots\dots\dots (24b)$$

式(24a)および(24b)より、 G_m^θ 曲線の組成 x_B^θ における接線が $x_B=0$ および $x_B=1$ の縦軸と交差する切片が化学ポテンシャル G_A^θ および G_B^θ の値を与えることになる。また、式(21)の平衡条件を用いると、 α および β 相の二相平衡組成 $x_B^{\alpha/\beta}$ および $x_B^{\beta/\alpha}$ は、それぞれ G_m^α および G_m^β 曲線の共通接線の接点組成に対応していることが知られる。これらの関係を図1に模式的に示す。このような接点組成を種々の異なる温度に対して求めると、 α/β 相境界線を決定することができる。これが、熱力学的平衡条件に基づいた二元系状態図の計算原理である。

4 析出反応

4.1 析出反応の駆動力

亜共析鋼や過共析鋼をオーステナイト (γFe) 単相領域において固溶化加熱処理した後フェライト (αFe) あるいはセメントイト (Fe_3C) との二相領域で時効加熱処理すると、 γFe 母相から初析の αFe や Fe_3C が析出する。このような析出反応を速度論的立場より定量的に解析するためには、反

応の駆動力に関する知見が重要である。同反応の駆動力は、モルGibbsエネルギー-組成図を用いて求めることができる。

今、A-B二元系の α 母相から β 相が析出する場合を考える。図2は、 α および β 相のモルGibbsエネルギー-組成曲線 G_m^α および G_m^β を模式的に示したものである。 α/β 二相平衡に対する各相の平衡組成 $x_B^{\alpha/\beta}$ および $x_B^{\beta/\alpha}$ は、3.2節で述べた共通接線法により求めることができる。組成 x_B^α の過飽和な α 母相から β 相が析出し、 α および β 相の組成が最終的に平衡組成である $x_B^{\alpha/\beta}$ および $x_B^{\beta/\alpha}$ と一致する場合には、同析出反応の過飽和 α 相1molあたりの全駆動力は、図2の中央部に矢印で示す ΔG_m^p となる。 α 相中における成分AおよびBの化学ポテンシャルを G_A^α および G_B^α とし、 α/β 二相平衡に対する化学ポテンシャルを $G_A^{\alpha/\beta}$ および $G_B^{\alpha/\beta}$ とすると、駆動力 ΔG_m^p は次式のように求められる。

$$\begin{aligned}\Delta G_m^p &= G_m^\alpha(x_B^\alpha) - \{ (1-x_B^\alpha) G_A^{\alpha/\beta} + x_B^\alpha G_B^{\alpha/\beta} \} \\ &= \{ (1-x_B^\alpha) G_A^\alpha(x_B^\alpha) + x_B^\alpha G_B^\alpha(x_B^\alpha) \} - \{ (1-x_B^\alpha) G_A^{\alpha/\beta} + x_B^\alpha G_B^{\alpha/\beta} \} \\ &= (1-x_B^\alpha) \{ G_A^\alpha(x_B^\alpha) - G_A^{\alpha/\beta} \} + x_B^\alpha \{ G_B^\alpha(x_B^\alpha) - G_B^{\alpha/\beta} \} \quad \cdots (25)\end{aligned}$$

ここで、 $G_A^{\alpha/\beta} \equiv G_A^\alpha(x_B^{\alpha/\beta}) = G_A^\beta(x_B^{\beta/\alpha})$
および $G_B^{\alpha/\beta} \equiv G_B^\alpha(x_B^{\alpha/\beta}) = G_B^\beta(x_B^{\beta/\alpha})$ である。

4.2 核生成の駆動力

平均組成 x_B^α の過飽和 α 母相中に揺らぎによって組成 x_B^β の非常に小さな領域が生成し同領域が β 相に相変態すると、 β 相1molあたり ΔG_m^n だけA-B二元系合金のGibbsエネルギーが減少する。このようなGibbsエネルギーの減少分 ΔG_m^n は、 β 相の孤立した核が生成するための駆動力とみなすこ

とができる。図2に示すように G_m^β 曲線の谷部が鋭い形状の場合には、 x_B^β が平衡組成 $x_B^{\beta/\alpha}$ に一致すると駆動力 ΔG_m^n が最大となり核生成が起こりやすくなる。その際、 ΔG_m^n は次式より求められる。

$$\begin{aligned}\Delta G_m^n &= (1-x_B^{\beta/\alpha}) \{ G_A^\alpha(x_B^{\beta/\alpha}) - G_A^\alpha(x_B^{\alpha/\beta}) \} \\ &\quad + x_B^{\beta/\alpha} \{ G_B^\alpha(x_B^{\beta/\alpha}) - G_B^\alpha(x_B^{\alpha/\beta}) \} \quad \cdots (26)\end{aligned}$$

β 相の形状が半径 r の小さな球の場合には、 α/β 界面の界面エネルギー σ に起因して β 相内部の圧力が α 母相よりも $\Delta P^\beta = 2\sigma/r$ だけ高くなる。このような圧力上昇により $\Delta G_m^\beta = V_m^\beta \Delta P^\beta = 2\sigma V_m^\beta/r$ だけ β 相のモルGibbsエネルギーが大きくなるため、 β 相と平衡する α 相の成分Bの濃度が高くなる。この様子を図3に模式的に示す。これが、Gibbs-Thomson効果である。ここで、 V_m^β は β 相のモル体積である。半径 r が小さくなるほど ΔG_m^β は大きくなるが、 $r^* = 2\sigma V_m^\beta / \Delta G_m^p$ なる臨界半径 r^* において $\Delta G_m^\beta = \Delta G_m^p$ となり β 相と平衡する α 相の組成は図2に示した過飽和組成 x_B^α に一致する。このことより、 $r < r^*$ となるような微細な β 相は組成 x_B^α の過飽和 α 相から自発的に生成できないことになる。

しかしながら、多数の微細 β 相粒子が α 母相中に分散すると、粒子分散に起因した配置のエントロピー S_m^{dp} が発生する。このエントロピーの発生により合金全体のモルGibbsエネルギー G_m が減少するが、 S_m^{dp} による G_m の減少分が ΔG_m^p に起因する G_m の増加分を上回れば、合金全体のモルGibbsエネルギーは減少するので $r < r^*$ となる微細粒子が混在していても β 相の核生成は自発的に進行することになる。統計力学的な手法を用いると、 S_m^{dp} の値を評価することが可能である。

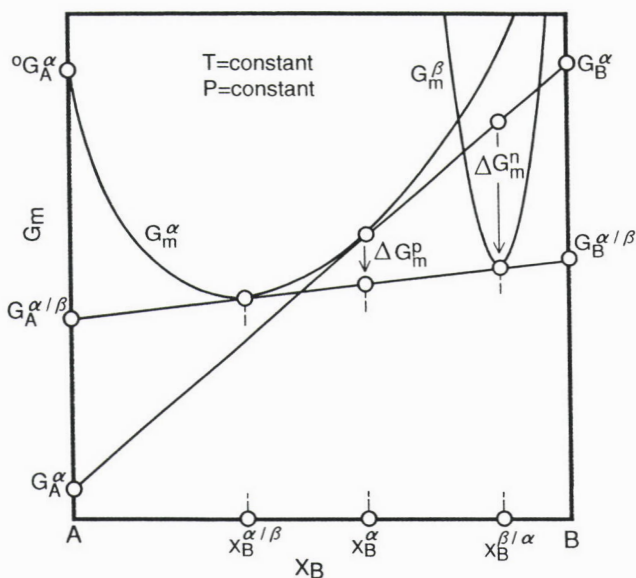


図2 A-B二元系における α および β 相のモルGibbsエネルギー-組成曲線と析出の駆動力

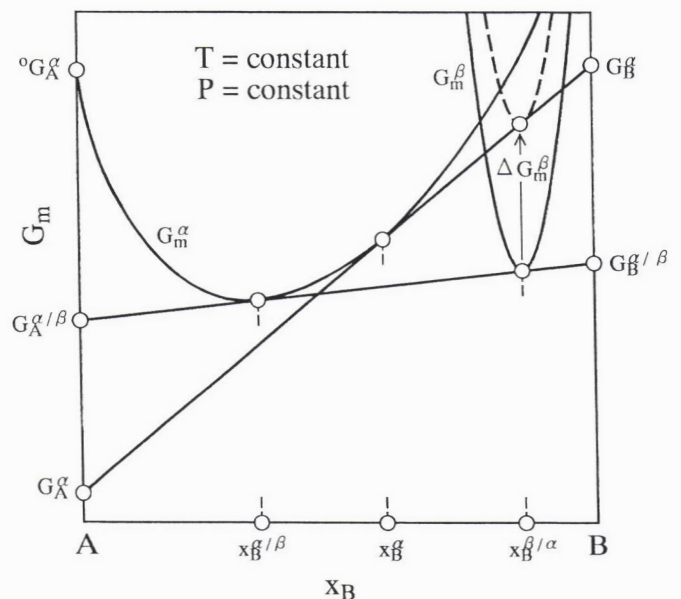


図3 A-B二元系における α および β 相のモルGibbsエネルギー-組成曲線とGibbs-Thomson効果

4.3 準安定組織の形成

最新のFe-C二元系状態図⁶⁾のFe隅側を拡大して図4に示す。図中の実線および破線はそれぞれ安定平衡および準安定平衡に対する相境界線などを示す。図4の安定状態図によると、共析炭素鋼を γ Fe単相領域において固溶化加熱処理した後共析温度以下において時効加熱処理すると、 α Feと黒鉛(Graphite)との二相組織が現れることになる。しかしながら、この時効加熱処理により得られるのは、 α Feとセメントナイト(Fe_3C)の層状二相組織(パーライト組織)である。

図5には、 γ Fe、 Fe_3C およびGraphiteのモルGibbsエネルギー組成曲線 G_m^{γ} 、 G_m^{cm} および G_m^{gr} を模式的に示す。 Fe_3C およびGraphiteは γ Feとは異なり固溶組成範囲が非常に狭いので、図5に示すように G_m^{cm} および G_m^{gr} 曲線は谷部の鋭い形状となっている。 Graphite と平衡する γ Feの組成 $x_C^{\gamma/\text{gr}}$ は、 G_m^{γ} および G_m^{gr} 曲線に対する共通接線の接点組成として図5のように求められる。一方、 Fe_3C と平衡する γ Feの組成 $x_C^{\gamma/\text{cm}}$ は、 G_m^{cm} 曲線が G_m^{γ} および G_m^{gr} 曲線の共通接線よりも高エネルギー側に位置しているために、 $x_C^{\gamma/\text{gr}}$ よりも高炭素濃度側にずれることになる。すなわち、図4のFe-C二元系状態図において Fe_3C と平衡する各相の相境界線はGraphiteとの平衡に対する相境界線よりも常に炭素濃度の高い側に位置することになる。

今、 $x_C^{\gamma/\text{gr}}$ および $x_C^{\gamma/\text{cm}}$ よりも炭素濃度の高い組成 x_C^{γ} の過飽和な γ Fe相を考える。同 γ Fe相から第二相が核生成する際の駆動力は、 Fe_3C が析出する場合には図5に示す ΔG_m^{cm} となりGraphiteが析出する場合には ΔG_m^{gr} となる。図5によると、 $\Delta G_m^{\text{gr}} > \Delta G_m^{\text{cm}}$ となっており Fe_3C よりもGraphiteの方が核生成しやすいことになる。すなわち、安定相であるGraphiteが準安定相である Fe_3C よりも核生成しやすいという相安定性と一致した結論が得られる。しかしながら、パーライト組織に見られるように、実際にはGraphiteよりも Fe_3C のほうが析出しやすい。その理由は、以下のように考えることができる。

γ Fe相から Fe_3C が生成する場合には、生成サイトにすでにFe原子が存在しているため Fe_3C の化学組成を満足するだけの炭素原子が長距離拡散により集まってくればよい。これに対し、 γ Fe相からGraphiteが生成するためには生成サイトからFe原子が掃出されなければならない。 $(\gamma\text{Fe} + \text{Fe}_3\text{C})$ および $(\gamma\text{Fe} + \text{Graphite})$ 二相平衡の現れる727~1153℃の温度範囲では、 γ Fe中における炭素およびFeの拡散係数はそれぞれ $3.8 \times 10^{-13} \sim 9.9 \times 10^{-11} \text{m}^2\text{s}^{-1}$ および $5.6 \times 10^{-20} \sim 2.0 \times 10^{-15} \text{m}^2\text{s}^{-1}$ となっている⁷⁾。すなわち、同一温度におけるFeの拡散速度は炭素よりも4~7桁程度小さいことになる。このことより、 γ Fe相からGraphiteが

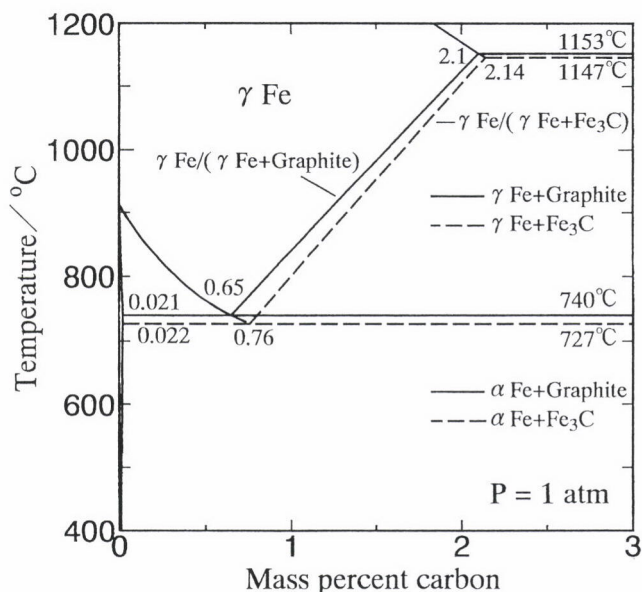


図4 Fe-C二元系状態図⁶⁾のFe隅側の拡大図

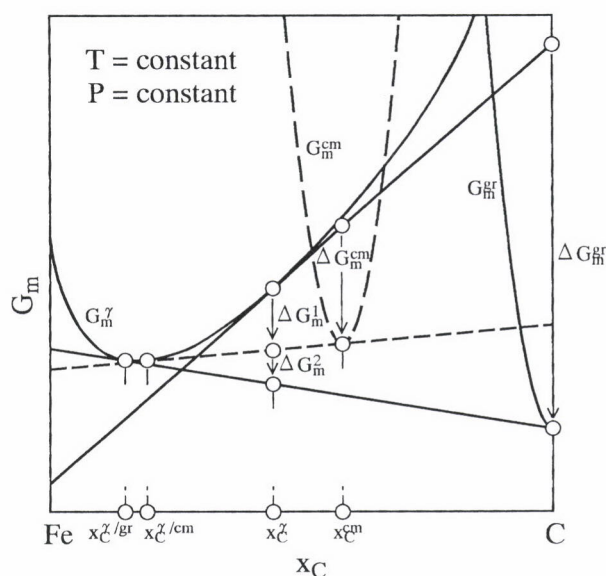


図5 Fe-C二元系におけるオーステナイト(γ Fe)、セメントナイト(Fe_3C)および黒鉛(Graphite)のモルGibbsエネルギー組成曲線 G_m^{γ} 、 G_m^{cm} および G_m^{gr} の模式図

生成し長距離拡散によってFe原子が掃出される速度は、 γ Fe相から Fe_3C が生成するに必要な炭素原子が集まってくる速度よりも4~7桁程度小さくなっているものと考えられる。このため、仮に Fe_3C とGraphiteの安定核が同時に生成したとしても、 Fe_3C はGraphiteよりも成長速度が圧倒的に大きいので $(\gamma\text{Fe} + \text{Fe}_3\text{C})$ 二相組織が試料全面を覆うことになる。

組成 x_C^{γ} の過飽和な γ Fe相から Fe_3C が生成し γ Fe相の組成が最終的に $x_C^{\gamma/\text{cm}}$ になると、合金全体のモルGibbsエネルギーは図5に示すように ΔG_m^{cm} だけ減少する。 ΔG_m^{cm} は、次式より求められる。

$$\begin{aligned}
\Delta G_m^1 &= G_m^{\gamma}(x_C^{\gamma}) - \{ (1-x_C^{\gamma}) G_{Fe}^{\gamma}(x_C^{\gamma/cm}) + x_C^{\gamma} G_C^{\gamma}(x_C^{\gamma/cm}) \} \\
&= \{ (1-x_C^{\gamma}) G_{Fe}^{\gamma}(x_C^{\gamma}) + x_C^{\gamma} G_C^{\gamma}(x_C^{\gamma}) \} \\
&\quad - \{ (1-x_C^{\gamma}) G_{Fe}^{\gamma}(x_C^{\gamma/cm}) + x_C^{\gamma} G_C^{\gamma}(x_C^{\gamma/cm}) \} \\
&= (1-x_C^{\gamma}) \{ G_{Fe}^{\gamma}(x_C^{\gamma}) - G_{Fe}^{\gamma}(x_C^{\gamma/cm}) \} \\
&\quad + x_C^{\gamma} \{ G_C^{\gamma}(x_C^{\gamma}) - G_C^{\gamma}(x_C^{\gamma/cm}) \} \dots\dots\dots (27)
\end{aligned}$$

上記の(γ Fe+Fe₃C)二相組織が最終安定組織である(γ Fe+Graphite)二相組織に相変態すると、合金全体のモルGibbsエネルギーはさらに ΔG_m^2 だけ減少する。 ΔG_m^2 は、次式のように求められる。

$$\begin{aligned}
\Delta G_m^2 &= (1-x_C^{\gamma}) \{ G_{Fe}^{\gamma}(x_C^{\gamma/cm}) - G_{Fe}^{\gamma}(x_C^{\gamma/gr}) \} \\
&\quad + x_C^{\gamma} \{ G_C^{\gamma}(x_C^{\gamma/cm}) - G_C^{\gamma}(x_C^{\gamma/gr}) \} \dots\dots\dots (28)
\end{aligned}$$

Fe₃Cの生成によって析出の駆動力の大部分が ΔG_m^1 として消費され残りの ΔG_m^2 が僅かであれば、(γ Fe+Fe₃C)→(γ Fe+Graphite)への相変態は容易には進行しないため、(γ Fe+Fe₃C)準安定二相組織が比較的安定に存在できることになる。

5 おわりに

鉄や鋼の相変態を理解するために必要な熱力学の基本概念を簡単に紹介した。一方、拡散律速型相変態に起因する組織変化の速度を定量的に議論するためには、速度論の知識が重要である。拡散は、圧力一定および温度一定の条件

下では物体全体のGibbsエネルギーが最小値に達するように進行する自発的な変化過程である。すなわち、拡散もまた熱力学の第一法則・第二法則に支配された現象であるといえる。熱力学の基本原則を礎とした鉄や鋼の相変態に対する解析法が今後さらに発展することが期待される。

最後に、本稿を執筆する機会を与えていただきました本誌編集委員会の関係者の方々に感謝いたします。

参考文献

- 1) L.S.Darken and R.W.Gurry : Physical Chemistry of Metals, MacGraw - Hill Book Co., Inc., New York, (1953) .
 - 2) H.B.Callen : Thermodynamics, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1960) .
 - 3) H.B.Callen : Thermodynamics and an Introduction to Thermostatistics, John Wiley & Sons, Inc., New York, (1985) .
 - 4) M.Hillert : Lectures on the Theory of Phase Transformations, TMS AIME, New York, (1975) pp.1-50.
 - 5) 分担執筆：解いてわかる材料工学II, 日本鉄鋼協会監修, 丸善, (1997) pp.1-43.
 - 6) Binary Alloy Phase Diagrams, ed. by T.B.Massalski et al., Vol.1, ASM Int., Ohio, (1990) ,843.
 - 7) 金属データブック, 日本金属学会編, 丸善, (1993) p.22.
- (1997年4月16日受付)



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 熔融亜鉛めっき鋼板の発展を促進した技術開発 —終戦後から昭和30年代、トタン板の成長物語—

久保田正郎

三晃金属工業(株) 専務取締役

Michio Kubota

Progress in Hot Dip Galvanizing Technology for 2 decades after World War II in Japan

1 はじめに

鉄は“錆びやすいという欠点”があり、と従来は書いてきた。今考えるとこの表現は適切ではないと思っている。

“欠点”というより少なくとも“特性”と言い換えるべきであろう。錆びるとは、われわれの生活環境との親和力が大きいことであり、“大地”に帰ることでもあれば、“錆びにくい”ために氾濫する多くの廃棄物がこの地球上を覆い尽くし危機が叫ばれているからである。鉄は、シリコンやアルミと共に地表を構成する重要元素であり、安価で再生可能、しかもその強さは薄くしても使用に耐えるから軽量でもあり、何らかの防錆処理をすれば、地球上のエントロピーの増大を少しは抑制するエコマテリアルに相違ないであろう。筆者は昭和31年日本鐵板（現日新製鋼）に入社、大阪工場へ配属されて以来、“錆びやすい特性”を持った鋼と製造現場で付き合ってきた。当時は“表面処理鋼板の製品体系”の解説など必要なかった。ブリキとトタンしかなかったのであるから。もっとも、ブリキ屋さんの店先で扱っていたのはブリキではなくトタンであったから、一般の人々は時々混乱するとみえて、時たま「ブリキは錫めっきですよねえ」などとトタン（亜鉛めっき）との区別を質問されたものであるが、これらの材料が庶民に親しいものであったからに違いない。バケツ、たらい、柄杓（ひしゃく）、如露（じょろ）、湯たんぽ、衣装缶、米櫃（こめびつ）、雨樋（あまどい）などに使われていたトタンは、今では簡単にお目に掛かれなくなった。大正12年の関東大震災の復興物資がトタン板であったように、終戦後も重要な復興物資であり、そのトタン板の昭和25年の生産量31.6万tは、平成7年には790万tの生産量になるなど熔融亜鉛めっき鋼板として重要工業素材の地位を占めるまで、量ばかりでなく、品種の多様さ、品質のレベルアップにおいても大飛躍

を遂げた。電気亜鉛めっき鋼板やブリキ、その他の表面処理鋼板を加えると、1,500万tを越える生産量は一大製品群として粗鋼生産量の実に15%に至る勢いである。戦後の焼け跡の廃墟のなかから立ちあがったトタン板の成長物語について、結末の解ったミステリーのように無粋ではあるが、しばらくご辛抱をお願いしたい。

2 亜鉛めっきの戦前の発展

ヨーロッパで生れ、アメリカで成長した亜鉛めっきであるが、その発展に関連する技術遺産を表1に取り纏め、詳細は文献^{11~15)}をご参照いただくことにして、戦前のわが国の発展について若干述べてみたい。

わが国における産業革命は後進国のつねとして国家主導

表1 亜鉛めっきに関連する技術の発展

年	出来事
1670	英国においてブリキ製造。
1740	J. Champion, W. Champion 兄弟、亜鉛の精錬法を改革した。
1742	フランスの化学者P. J. Malouin 亜鉛めっき法を発明した。
1769	J. Watt 蒸気機関の特許取得。
1786	Watson Chemical Essaysに塩化アンモニウムの使用を発表。
1791	Luigi Galvani (1737-1798) イタリアの生理学者としてanimal electricityを発見、後にVoltaに訂正された。Galvanizingの語源はGalvaniによる。
1799	Alessandro Voltaによる異種金属間の起電力の発見。
1833	Faraday 電気分解の法則の発見。
1837	パリの土木技師S. Sorel、塩酸と塩化アンモニウムで処理した後、熔融亜鉛浴につっこむという亜鉛めっき法の特許提出。
1846	Morewood, Rogers 亜鉛浴出口一対のロールによるめっき開発。
1867	パリ万国博覧会
1868	明治元年

による育成という形であったが、明治20年代に紡績、製糸から始まり、30年代に製鉄業に波及していった。即ち、明治34年操業を開始した官営八幡製鉄所にその端緒を見る。39年には熱延薄鋼板工場を建設しこれを素材とした亜鉛鉄板を40t生産したのが国産第1号である。民間でこの事業に取組んだのが、川合庄助氏であり、明治44年大阪桜島に資本金10万円の亜鉛鍍株式会社（社名：大阪鉄板製造、日本鉄板、日新製鋼と変遷）が創立され、そして大正元年には東京下砂町に東京鍍鋅（トタン）製造所（社名：東京亜鉛鍍金、川鉄鋼板と変遷）が誕生した。明治44年の国産亜鉛鉄板の生産高は2,134t、一方輸入高は43,565tであった。これよりやや早く家庭用金物や船具の亜鉛めっきから生産を始めた田中亚鉛鍍金（社名：日本亜鉛鍍、日亜製鋼、日新製鋼と変遷）は、大正7年八幡製鉄所の熱延薄鋼板を素材として亜鉛鉄板の製造に乗り出し、この他にも製造会社が数社設立された。第一次大戦による輸入の途絶がもたらした品薄状態を補うためであった。また原板である熱延薄鋼板の製造も大阪鉄板製造徳山分工場で計画され大正7年8月試運転が開始され、これと相前後して川崎造船所葺合工場（現川崎製鉄）、日本鋼管（現NKK）でも製造を開始した。大正7年の休戦、世界的経済反動、大正12年の関東大震災、昭和2年の金融恐慌と明るい話題はなく、昭和6年の満州事変、昭和9年には鉄鋼業合同法案による日本製鐵株式会社が創立された。昭和12年日華事変から昭和16年太平洋戦争に突入、この少し前、八幡製鉄所においてわが国初の熱延、冷延ストリップミルが完成したことは、先端の技術の進歩として特筆されるべきであろう。しかし、昭和16年9月正式作業開始のあと、昭和20年8月大空襲による被爆焼損は誠に残念であったことと推察される。

3 終戦後の再出発

毎日新聞社の毎日ムック“戦後50年”によると『戦後は、月面のような廃墟から始まった』とあり昭和20年空襲後の

大阪の航空写真が掲載されている。終戦後爆撃で破壊された工場設備の復旧に大奮闘する各社の社史には、蒸気が不足、鼠の感電による全停電、スクラップの中の砲弾処理など限界に挑戦する苦闘が窺える。食料危機とインフレーションの中、最も早く亜鉛鉄板の製造を再開したのが東京亜鉛鍍金で、昭和21年8月のことである。戦後の復興は、生活環境の改良と生活の質を向上させるに必要な技術の振興推進であったから、産業の基幹となる石炭と鉄鋼の増産を最重点課題とし、その上でこれらの技術力を他の方面に波及させようという方式がとられた。いわゆる「傾斜生産」である。昭和21年11月には亜鉛鉄板会の設立、23年鉄鋼連盟の発足など戦後の体制造りが進むなか、過度経済力集中排除法によって、昭和25年3月31日日本製鐵は分割され、以降45年3月31日まで八幡製鐵、富士製鐵として20年間独自の道を歩むことになった。

戦後の切板めっきは特に大きな改革はなく、その技術は戦前に確立されていたとみるべきであるが、増産要請による生産量の確保、能率の向上が主体であった。国内向けには戦後の重要な復興資材としては薄番手の波付（大波、小波）加工品であった。輸出品は、戦後の賠償特需として米国、英国規格の輸出向け品質、すなわち亜鉛付着量の多いものの品質の確保にその重点がおかれた。図1は切板めっきの製造設備であるが、前工程には、酸洗－水洗－貯蔵（水中）があり、後工程には、検定－波付けなどがある。めっき槽中央部分は溶融鉛で、入側にフラックス、出側に亜鉛槽を配する「鉛－亜鉛」法である。めっき槽中央部鉛浴中の中ロールは厚番手のめっきには駆動が必要で、板厚最大3.2mmまでめっきされていた。中ロールの駆動、間隙調整、そして亜鉛が凝固したあとの美しい樹枝状品の華模様（スパングル）の作り方に各社各様の工夫がなされていた。昭和26年11月亜鉛鉄板のJIS G 3302がはじめて制定された。当時の生産量と最近の生産量を、粗鋼生産量と対比して表2にかかげる。

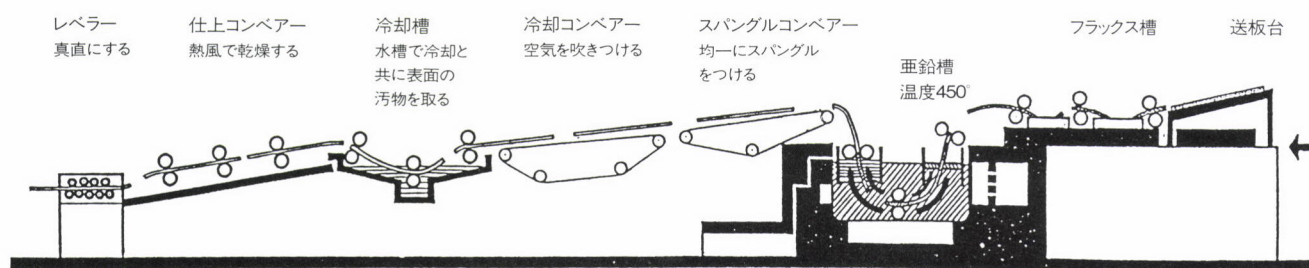


図1 切り板めっきの製造設備⁸⁾

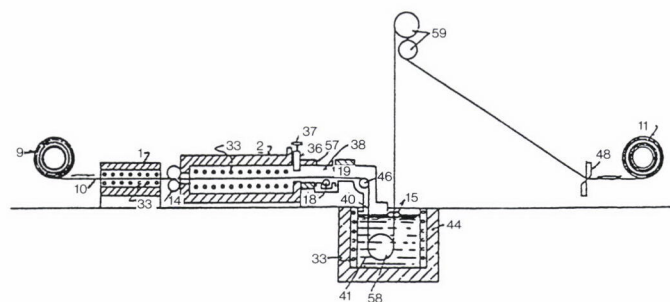
表2 亜鉛鉄板の生産量

	全国生産量 (t)	粗鋼生産量 (t)
昭和11年	378,469	5,223,017
18	76,268	7,650,184
20	2,935	1,962,755
21	13,724	577,188
22	17,005	952,113
23	53,175	1,714,676
24	156,538	3,111,412
25	316,515	4,838,522
26	355,269	6,501,849
27	475,576	6,988,359
28	539,887	7,662,161
29	660,331	7,749,916
30	660,972	9,407,695
35	938,208	22,138,385
40	1,430,414	41,161,126
平成5年	7,827,723	99,623,233
6	7,689,353	98,924,563
7	7,893,308	101,639,573

4 本格的技術革新の取組み

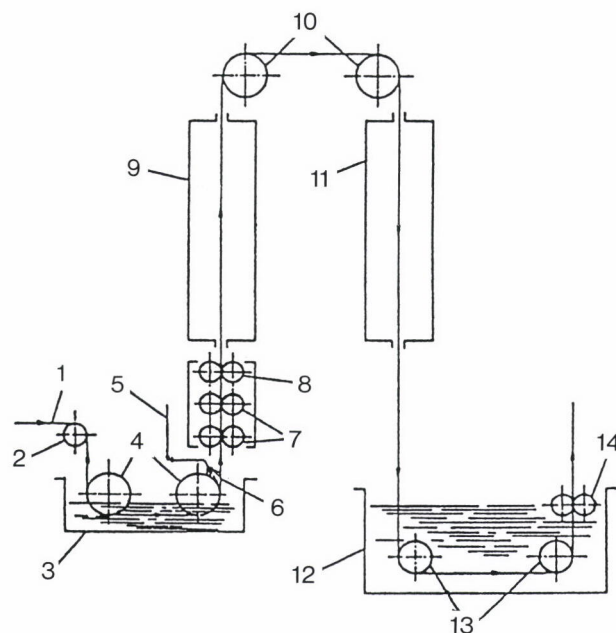
4.1 連続化による生産の合理化

切板めっきの技術革新において、極めて自然にまた必然の流れが『連続化』であった。熱延および冷延ストリップ圧延機の復旧稼働により、まず八幡製鐵では、いち早くArmco社と技術援助契約をむすびライン内に焼鈍炉を持ったArmco-Sendzimir方式の導入を決めた。昭和28年5月国内第一号の連続式亜鉛めっき設備の誕生である。国内での連続めっきの経験は各社とも皆無であったから、パイオニアとしての苦しみは今後の国内の発展に大きく貢献したと思われる。しかし一方市場ではまだ熱延薄鋼板から製造した切板めっきが主流であったから、慣れからくる違和感として「硬い」とか「曲げ難い」とかの評価であったと記⁴⁾されている。次いで富士製鐵では Aetna社製エコノミーラインを昭和29年2基続いて広畑に設置、「フジテットタン」「フルハード」を発売し好評を得た。少し遅れて昭和32年日本鐵板がライン外での焼鈍が必要なドライフラックス方式のめっきラインを大阪に新設した。昭和29年より国産第一号の日立製作所製四重可逆式冷間圧延機を設置した冷延工場の建設稼働に引き続く一連の計画推進であった。この頃のトタン板は手加工性が重要な特性であったから、ライン外焼鈍による製品の軟質化と、主要構成品種としての薄番手(0.278mm)の焼鈍炉内トラブルの回避を考えての決断であったと考える。米国Wheeling Steel社がCook-Norteman方式を開発したのはこれより少し前の昭和28年であって、それらの風聞を便りに試験設備で実験を重ね、



9.Coil. 10.Strip. 1.Oxidizing Furnace.
33.Electrical Heating Elements.
2.Reducing Furnace. 14.Gas Seal. 36.Slide.
37.Screws. 46.Roll. 38.Cooling Chamber.
19.Gas Inlet Pipe. 18.Oxygen Removal Device.
57.Adjustable Insulators. 40.Gas Seal Bell.
41.Coating Bath. 44.Refractory. 58.Sheave.
15.Wiping Rolls. 59.Rolls. 48.Shears.
11.Coil.

図2 T.Sendzimirの特許



1.Strip 2,4,10.Guide Rolls.
3.Flux Tank.(45%NH₄Cl 55%ZnCl₂ Solution 10-20°Baume)
5.Flux Solution Pipe.
6.Crotch. 7.Rubber Covered Rolls.
8.Brush Rolls. 9.Heating Chamber.(250°F)
11.Heating Chamber.(450-500°F) 12.Galvanizing Pot.
13.Sink Rolls. 14.Coating Rolls.

図3 N. E. Cook, S. L. Nortemanの特許

文献などによる検討も重ね、国産第一号の連続亜鉛めっきライン¹⁴⁾は建設された。三菱造船(現三菱重工)による機械設備、三菱電機による120 t、1200kw大型低周波誘導炉^{16,17)}の開発などがあって成功にこぎつけたものである。Armco-Sendzimir方式を開発した Tadeusz Sendzimir^{*1)}の特許¹⁸⁾の説明図を図2に、Cook-Norteman方式^{*2)}の特許¹⁹⁾説明図を図3に示す。昭和30年代には、各種の連続亜鉛め

表3 昭和40年迄に稼働した溶融亜鉛めっきライン

NO.	設置年	製造所	名称	方式	休廃止 など	Line Speed m/min,max
1.	昭和28年	新日鐵八幡	1GL	センジミアーOF	休止	76
2.	29	新日鐵広畑	1	エコノミーライン	廃止	60
3.	29	//	2	エコノミーライン	廃止	60
4.	32	新日鐵八幡	2GL	センジミアーOF		91
5.	32	日新 大阪	CG	ドライフラックス(ライン外焼鈍)	撤去	110
6.	34	川板 東京		エコノミーライン	廃止	
7.	35	大同 本社	No.1	センジミアーOF-NOFに改造(60)		150
8.	36	新日鐵八幡	3GL	センジミアーOF-NOFに改造(AI兼用)		91
9.	36	NKK京浜	No.1	センジミアーOF(AI兼用)	廃止	92
10.	37	川鉄 千葉	No.1	川鉄方式(ライン内焼鈍)		115
11.	37	新日鐵名古屋	No.1	センジミアーOF	休止	100
12.	37	東鋼業千住		エコノミーライン		
13.	38	日新 市川	No.1	シーラス炉方式(ライン外焼鈍)	撤去	100
14.	38	大同 本社	No.2	センジミアーOF-NOFに改造(45)		150
15.	38	淀川 呉	No.1	センジミアーOF-NOFに改造(55)		150
16.	39	住金 和歌山	No.1	センジミアーOF		100
17.	39	大洋 船橋	No.1	センジミアーNOF		150
18.	39	日新 尼崎	SCG	ドライフラックス(ライン外焼鈍)	撤去	65
19.	39	日新 尼崎	NCG	ドライフラックス(熱延鋼帯専用)	撤去	60
20.	39	北海鋼機江別		センジミアーNOF		130
21.	39	川板 千葉		川鉄方式(ライン内焼鈍)	廃止	
22.	40	日新 市川	No.2	シーラス炉方式(熱延鋼帯専用)		57
23.	40	吾嬌 製鋼		エコノミーライン	廃止	

昭和28年～昭和44年(1953～1965) 23ライン

平成8年(1996)稼働中のライン 50ライン

OF: Oxidizing Furnace、酸化炉

NOF: Non Oxidizing Furnace、無酸化炉

表4 代表的溶融亜鉛めっき方式の特徴

No	焼鈍方法	表面清浄方法	表面活性化方法	めっき方式
1	ライン外焼鈍	アルカリ洗浄・酸洗	フラックス(湿式)	エコノミー方式
2	ライン外焼鈍	アルカリ洗浄・酸洗	フラックス(乾燥)	Cook-Norteman方式
3	ライン外焼鈍	アルカリ洗浄・酸洗	ガス還元	Selas方式
4	ライン内焼鈍	酸化炉	ガス還元	Armco-Sendzimir方式
5	ライン内焼鈍	電解洗浄	ガス還元	U. S. Steel方式
6	ライン内焼鈍	無酸化炉	ガス還元	NOF-Sendzimir方式

1. 湿式フラックスのため亜鉛浴にアルミを添加出来ないが、フルハード材には最適。

2. Wheeling法、ドライフラックス法ともいわれる。アルミの添加可能。焼鈍能力に影響されない原板、熱延鋼帯のめっきは今でも競争力あり。特許は図3参照。

3. 2と同様、熱延鋼帯のめっきに適。Selas炉の詳細は図4参照。

4. T. Sendzimirの特許を図2に示す。

6. NOF-Sendzimir方式の概略図を図5に示す。

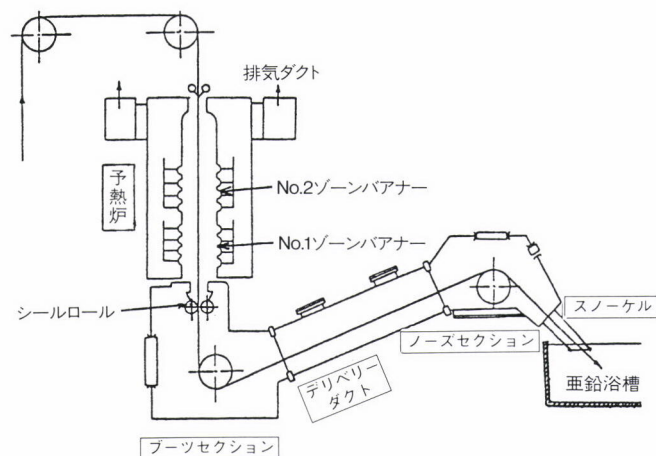


図4 Selas炉の概要

きラインが21ライン稼働し、表3に稼働年順にこれらのラインを示す。世界で稼働しているすべてのタイプのラインが出揃ったことになる。それぞれの社内の独自要請から、他社の動きとはまた違った導入が結果的にわが国の技術の大発展をもたらしたものと考える。代表的連続式亜鉛めっきラインの特徴を表4に示す。その後の発展はこの代表的ラインのバリエーションであるが、Armco-Sendzimir方式の酸化炉を無酸化炉(NO F; Non Oxidizing Furnace)に改良が試みられ、昭和41年1月東海製鐵(現新日本製鐵)名古屋で世界で初めてNOF-Sendzimir方式によるめっきラインが誕生した。これが以降、国内の主流を占めることになった。図4はSelas炉の概要²⁰⁾、図5にNOF-Sendzimir方式の概略図を示す。

4.2 アルミ添加による亜鉛層の密着性(耐剥離性、可撓性)の改善

溶融亜鉛中にアルミを添加することによって、亜鉛被膜は原板との密着性が著しく向上する。切板めっきにおいては、原板が加工に耐えても亜鉛被膜は剥離するため、深い

* 1 Dr. Tadeusz Sendzimir (1894～1989) ステンレスの Sendzimir Mill・20段圧延機やPlanetary Millの開発者としても偉大であるが、1894年ポーランド、ルボフ(Lwow)で生れ、ルボフ工科大学を卒業した機械屋の彼が、何故めっきの分野で酸化還元という従来の化学処理とは全く異なるシステムを思い付かれ、それを実現されたのか、1989年9月1日95才で逝去されたことなどはその理由を知っていただけない。残された資料²¹⁾から、「ロシア革命で祖国を離れた若きエンジニアは、厳冬のシベリア経由、ウラジオストックから上海に渡り、釘、針金、ボルトなどを製造するセンジミア・メカニカル上海社(1918年)を設立した。上海は高温多湿で、鉄が直ぐ錆びることの彼のいらいらを、まず亜鉛めっきすることで解決し、次いで、酸を使い有毒ガスのでる汚くて危険な作業環境から従業員を解放しようとした彼の Humanityと旺盛な開発意欲が、酸化還元発想の原点では」と観察した。時は経過して、1980年New Yorkで有名な Waldorf-Astoria Hotelで開かれた天才的発明家としての博士の偉業を称える晩餐会で、“A Pioneer in Working Metals To Do Things for Humanity”と参会者の喝采を受けておられる。

* 2 Cook-Norteman方式(Wheeling法またはドライフラックス法ともいわれる) Nelson E. Cook (1900～1964)、Samuel L. Noteman (1913～1995)らは共同開発者として、米国West Virginia州北西端部Ohio川に面した丘陵地帯の美しい町Wheeling市に本社を持つWheeling Steel (現Wheeling-Pittsburgh Steel)で誕生した。水溶性フラックスを乾燥することにより亜鉛浴中にアルミを添加することが可能になり、それ故に、加工を加えても剥離しない、彼等のいう“Tight Coating”を製造する方法で特許を得た。N. E. Cookは親子2代にわたるめっき技術者で、父親もGreat Galvanizer in Wheelingといわれ、いくつかの特許を得ており、従兄弟達もめっき技術に従事していたから、“Too many cooks may spoil the broth, but a zink-bath never.”²²⁾などいわれた。なお、後に日新製鋼とのJoint Venture, Wheeling-Nisshin Inc.はこれより30mile上流、さらに10mile上流に気体絞りJVCで有名なWeirton Steelがある。

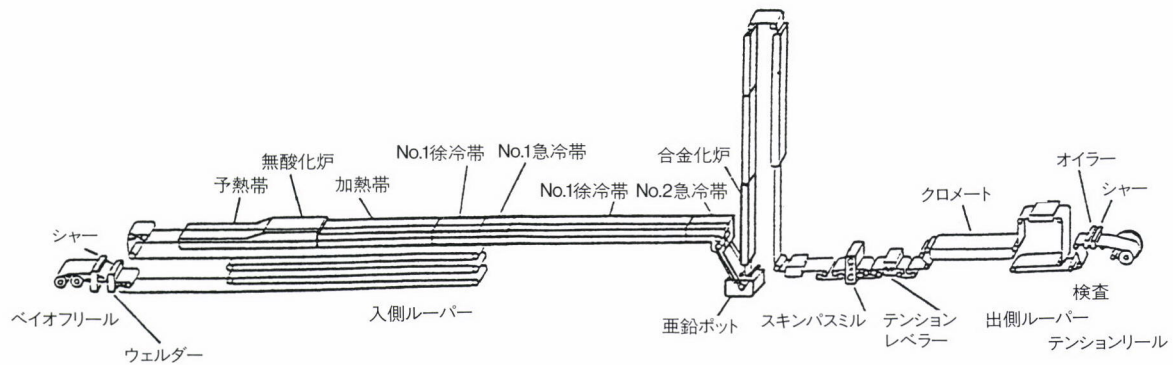
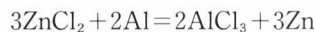


図5 NOF-Sendzimir方式の概略図

プレス加工には適さなかった。これは脆くて硬い鉄-亜鉛合金層が発達するために、界面で破壊が発生するためである。亜鉛浴中0.1%以上のアルミの存在は合金層の発達を抑制するので、良好な加工性が得られる。切板めっきのようなウェットフラックス方式では、アルミを添加してもフラックスと反応して

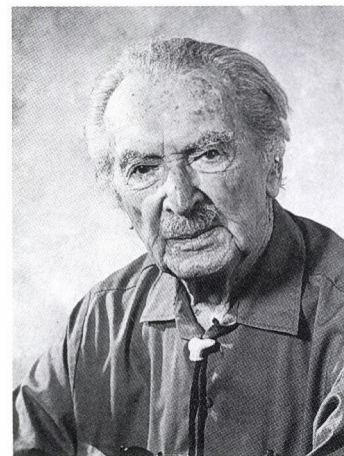


となり AlCl_3 は蒸発してしまうから、加工性の良い亜鉛鉄板を作ることは出来なかった。

アルミ添加の効果については、1911年より早くから判っていたという説²³⁾が有力であるが、T. Sendzimirがこの事実を知っていたのかどうか、大いに興味のあるところであるが、特許にはアルミ添加については触れていない。一方N. E. Cookは明らかにアルミ添加の効果を見込んだ特許になっており、亜鉛浴内でのアルミの攪拌を考慮した低周波誘導炉をセットにした特許²⁴⁾も出願している。原板の成型に追従出来ない亜鉛めっきなど意味がないと断言している。図7にめっき層の顕微鏡組織を示す。鉄-亜鉛合金層抑制は Fe_2Al_5 の生成のためであり、その理論的背景は後の系統的研究^{25,26,27)}まで待たねばならなかった。

4.3 亜鉛付着量制御技術

トタン板は連続化により亜鉛鉄板と呼ぶにふさわしい近代的産業に成長しつつあったが、亜鉛めっき浴槽まわりの作業は昔ながらの作業員の熟練に負うところが大きかった。ロールめっき法概念図²⁸⁾を図8に、またロールでめっきした製品の表面写真を図9に示す。めっきロールは亜鉛浴面にその直径の半分程顔を出し、ロール面にはグループと称する溝が円周方向に切ってある。めっきロールはストリップの進行方向と同じ方向に回転するが、ロールの接線方向のスピードはストリップのスピードと同じでなくても


 図6 Dr. Tadeusz Sendzimir
(1989年6月米国フロリダ州ジュピターにて)

よい。亜鉛付着量に及ぼす要因は、板のスピード、ロールの回転速度、溝の幅と深さ、溝のピッチ、ロールの押し付け圧力、ロール中心の亜鉛浴面からの高さ、ロールの外径、亜鉛浴温度などとなると、これを制御するのは簡単ではないことが分るのである。そしてその結果として亜鉛付着量の変更が容易ではない、幅方向のバラツキが大きい、面内均一性に欠ける、生産能率があがらない、スピードアップが出来ない、作業員の負荷が大きい、という大きな問題があった。

日新製鋼の技術陣のトップであった大浜、岩崎ら^{29,30)}はこの問題を解決するべく、幅200mmの亜鉛めっき試験設備でガスワイピングの実験が開始された。当初の発想はパイプめっきにおけるパイプの外表面、内面のタレ亜鉛をエアワイプしていたことによるらしい。しかし板に対しては美観が死命を制するから、なかなか好結果はえられず、絶望的な日々のなか、ある日突然、当初の予測よりはるかに低い圧

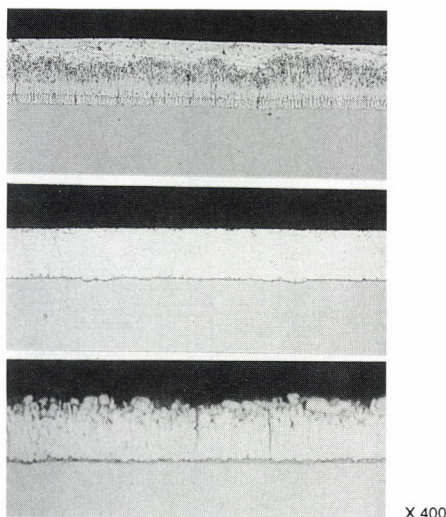
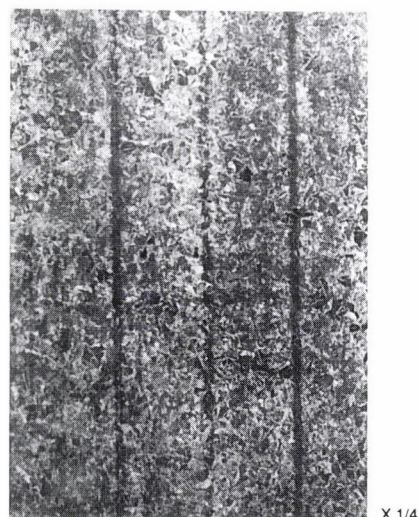
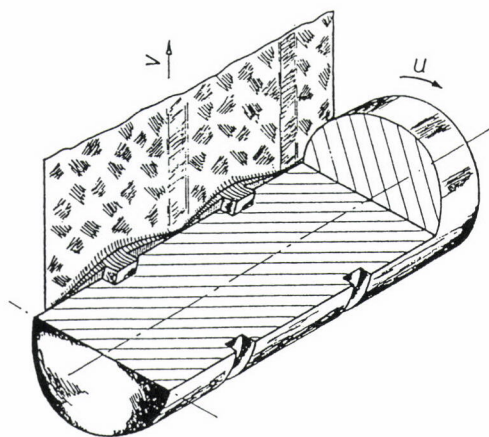


図7 亜鉛めっき層の断面組織

- (上) Al : 0.001%、合金層の発達が顕著である。
 (中) Al : 0.18%、合金層は極めて僅かである。
 (下) Al : 0.14%、合金化処理したもの。

図9 グループパターンのある亜鉛鉄板
(グループのついたロールでめっきされたもの)図8 ロールめっき法の概念図
(H. Bablikによる)

力領域で偶然良好な結果がえられ、成功に導くことができたといわれている。その後日立製作所と共同で実機化に取組み、燃焼排ガス発生設備は中外炉工業の協力をえて、昭和40年4月、ガスワイピング (YG法) 技術は、画期的な新めっき方法³¹⁾として完成した。図10にノズル直下の亜鉛浴面を示す。この技術によると、亜鉛付着量の板面内均一性が向上するから、余分の亜鉛は少なく全て有効に働くため、亜鉛の節約になるのが最大のメリットである。しかも付着量の直接制御要因としては、ラインスピード、ガス圧力、ノズル間隔 (ノズルとストリップの間隔) であり、間接制御要因はノズル高さ、ノズル口径 (ノズルスリットのギャップ)、亜鉛浴温度などに特定出来るから、当初は式

$$W = K \cdot L^{0.5} \cdot P^{-0.5}$$

においてW：亜鉛付着量、L：ラインスピード、P：ガス圧力、K：比例定数で、Kはその他の条件を与えれば、ほぼこの数式が適応できた。従って板厚によるラインスピードの変更や、製造仕様による付着量の変更などに即応できるとか、工程変更が容易となるとか、自動化の期待も大きいなど数々のメリットがあげられた。日新製鋼はこの技術の公開にふみきり、八幡製鐵、日本鋼管、住友金属工業、淀川製鋼、神戸製鋼と技術援助契約を締結した。

一方アメリカでは、National Steel Weirton工場 (現 Weirton Steel) でもほぼ同じ時期にVJC (Vapour Jet Coating Control Method)³²⁾と名付けられた過熱蒸気による付着量の制御方法が開発された。まず富士製鐵が独自開発したTin Free Steel・キャンスーパーとのクロスライセンスで昭和41年技術供与をうけ、サブライセンサーとして川崎製鐵、大洋製鋼、大同銅板がこの技術を取得した。どちらの方式もそれぞれ解決すべき小さな問題を抱え、初めから全てがうまくいったわけではなく、とくにエッジ部のオーバーコート対策、亜鉛スプラッシュによるノズルの詰まり、さざ波と名付けられた表面模様など、これらの改善に各社各様力を注いだ。ノズルギャップの改善、補助ノズル、ガスの流れの解析によるノズル形状の変更、また流体も、焼鈍炉の排ガス利用、製鋼用酸素の副産物としての窒素ガスへの切り替え、またエアナイフ法³³⁾なども現れ、当初のいくつかの問題点も種々のアイディアで解決されていた。コンピューターによる自動制御も取り入れ一層の合理化が進んだ。なお図11にガスワイピングの制御概念図を示す。



図10 亜鉛浴面とストリップ表面を流れ落ちる溶融亜鉛
(画面直上に装備されたノズルにより)

4.4 表面性状・表面品質の改善

亜鉛の表面性状、外観に変化を与えて新製品を提供しようとする動きが30年代後半に顕著になってきた。なにもしなければ、すなわち空气中で放冷すれば、製造条件とラインの特性により若干の違いはあるが、樹枝状品の華模様・スパングル肌があらわれる。この肌が好きだという人もあれば、嫌だという人もあって、なかなか面倒である。中近東、東南アジア向けの輸出ではスパングルが絶対の条件であった。トタンは安物と思う人はスパングルのないのを楽しみ、また塗装の下地鋼板としての用途には、スパングルが

あると塗装仕上りが良くない上、コーターロールからの塗料がスパングルの粒界凹部に回り込まない場合があり、塗装欠陥となるので厄介である。そこでまずスパングルを小さくする技術が発展した。

4.4.1 調質圧延（スキンプス）による方法

スパングルのある亜鉛鉄板をダル加工したロールで軽圧下すると表面は冷延鋼板ダル仕上げに匹敵するスムーズな肌となる。しかしライン内にスキンプスを設置していなかった当時としては余分な一工程が、泣き所であった。

4.4.2 メカニカル ワイピング

ドライフラックス法による亜鉛鉄板は、アルミの浴中浮遊ドロスが多くの核発生を促進するためか、スパングルの小さいのが悩みであった。そこで、むしろスパングルの無い商品をとということで、電気亜鉛めっき製品との対抗意識も手伝って浮上したのがメカニカル ワイピングである。耐熱性、可撓性のあるバーにより溶融亜鉛の大部分をめっき浴直上で剥ぎ取ってしまうと、浴中アルミが0.10%程度の場合、残りの亜鉛付着量は片側20g/m²以下となり、外部から熱を加えなくても、ストリップの保有熱で合金化反応は進行する。

めっき層組織は δ 相、 α 相となり、塗装下地鋼板として塗装密着性のきわめて優れた表面特性がえられた。日新製鋼ではこの方法で昭和37年より塗装下地鋼板「ペンタイト」を発売し、好評を得た。米国でも「サテンフィニッシュ」と呼ばれる商品があった。ただ製造の安定化にやや難点があり、ガスワイピングによる薄めっき技術の発展により、通常のガルバニール処理に切り換えられた。メカニカル ワイプの使命は終わったと考えたが、後になって昭和57年頃20mm角程度の耐熱性ヤーンで、この種の製品を製造している現場をカナダで見学した。当時と比べて各種の無機素材が進歩した今、もう一度トライしたい気がする。

4.4.3 ミニマイズドスパングル（ゼロスパングルともいう）技術

スパングルを小さくほとんどゼロにするには、結晶核の発生を多くしてその核が成長する時間を与えずに冷却してやる方法、不純物のない純亜鉛を使う方法がある。後者の方法ではレギュラースパングルが同じ亜鉛浴では製造出来ないのが問題である。したがって前者の方法として以下の3方法が考えられる。

- 1) ミストスプレー法 水または無機塩を添加した水溶液を霧吹き状にふきつける。
- 2) 蒸気を噴霧する方法。

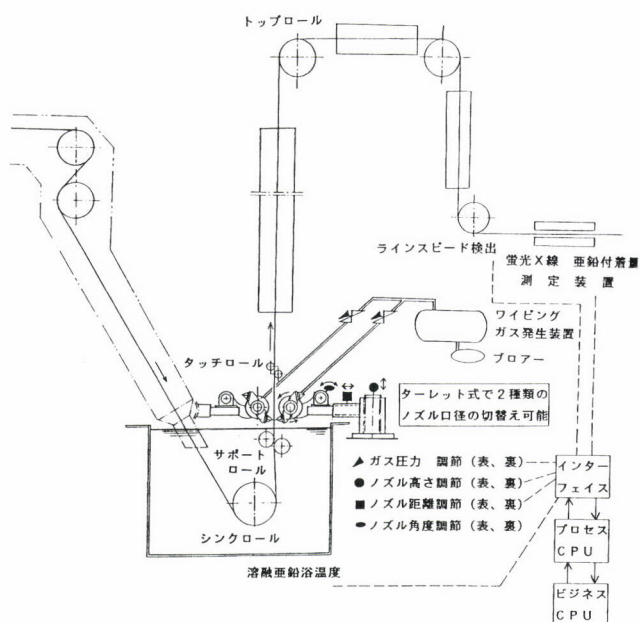


図11 ガスワイピングの制御概念図

- 2) 亜鉛微粉末スプレー法(ハーティー法) 亜鉛微粉末を霧状に吹き付ける。

これらの技術は30年代末から40年代前半にかけて実施されていった。とくに着色亜鉛鉄板の原板はミニマイズドスパングル肌が主流となっていた。

4.4.4 合金化処理(ガルバニールド)鋼板

めっき浴から立ち上がったストリップを凝固させないまま加熱炉に導入し鉄-亜鉛の合金化反応を促進させ、鉄-亜鉛合金層を発達させたのが、ガルバニールド鋼板である。合金化処理ともいわれ、いうまでもなくGalvannealはGalvanizeとAnnealの合成語である。

富士製鐵はやはりキャンサースーパーとのクロスライセンスで合金化処理技術をNational Steel社から技術導入したが、得られた情報は十分ではなく、鉄-亜鉛合金層の特性の把握から研究をはじめ、塗装密着性、溶接性に優れた特性のあることを見出だし、昭和41年より「シルバーアロイ」として発売した。

この設備は図12に示す如く、亜鉛被覆層全体に均一な合金層を成長させること、合金層の発達には温度のみではなく、十分な反応時間が必要なこと、トップロールでのストリップの温度が高くても300℃以下であること(製品の表面欠陥とロールへの亜鉛付着防止)などが要求されるポイントである。加熱帯は輻射加熱バーナー、(最近では誘導加熱などが実用化されている)保熱帯での十分な反応、冷却における幅方向の均一な冷却など組み合わせると、高速設備ではトップロールの高さは約50mにも達する。

この製品の持つ本質的弱点は亜鉛-鉄の相互拡散のバラツキであり、亜鉛浴中のアルミ濃度、浴温度、鋼成分、合金化温度、反応時間などによりめっき層中の“相”すなわち地鉄側から順次分布している Γ 相($\text{Fe}_3\text{Zn}_{10}$)、 δ_1 相(FeZn_7)、 ξ 相(FeZn_{13})の構成比率が異なってくることである。このためパウダリングといわれる粉状剥離やフレーキングといわれる箔状剥離となって困らせるが、この弱点以上に発展したのは、優れた塗装密着性と塗装後の耐蝕性、スポット溶接時のチップの損傷が少なく溶接箇所の信頼性が高いことなどによるものと考えられる。この合金化溶融亜鉛めっき鋼板が本格的に自動車外板に使われるようになったのは昭和50年代以降のことであるが、さらに製造品質の管理の向上、X線による合金層鉄分の連続測定など、研究部門におけるパウダリングの発生機構の解明、2層型合金化溶融亜鉛めっきの開発などが進んだ。

4.4.5 差厚めっき、片面めっき

いままで述べた技術開発を組み合わせれば、差厚めっき、

片面めっきなどは当然思い付く技術であってもその実現にはかなりの知恵と工夫、時間と汗が必要であった。昭和50年代後半以降特に自動車工業向けに発展した。これを詳述するには稿を改めねばならない。

4.5 材質の改善

4.5.1 焼鈍技術の進歩

連続焼鈍の冶金学的考察は昭和30年代半ばにはまだ確立されておらず、A. F. Mohri³⁴⁾の研究が古典的ともいえる論文であるが、そのブリキの連続焼鈍に関する理論は溶融亜鉛めっきにも十分応用の利く理論であった。板厚、要求品質、浴温度、ストリップの亜鉛浴へのインレット温度の違いなどあるが、ともかく、Mohriの理論は図13に見られるごとく、Effective Soaking Time, Maximum Annealing Temperature, Effective Cooling Time, Quench Hardeningなどの概念を導入しており、直ちに焼鈍炉の改造には結び付かないまでも、その現象の理解と考察は、加熱帯、徐冷帯、調整冷却帯、冷却帯、亜鉛浴入側のジェットクーラーなどの設計に、特に炉長の配分にこの考えが取り入れられた。またM. A. Adamsら³⁵⁾の研究、U. S. Steel社のShelf Annealingの特許³⁶⁾、済木³⁷⁾による焼鈍温度と機械的性質

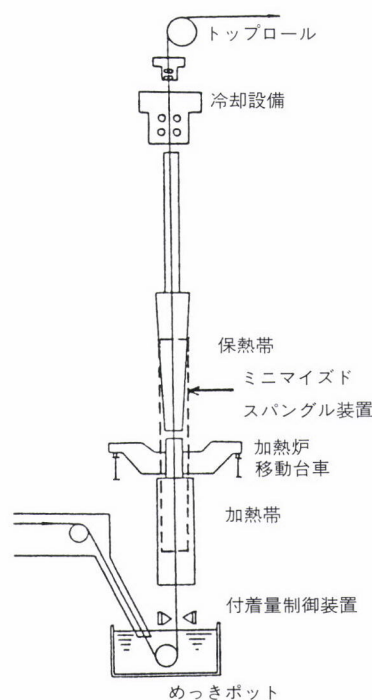


図12 合金化処理、ミニマイズド処理設備

の関係など、連続焼鈍技術は確実に進歩していった。アルミキルド鋼による材質の向上やめっき後の低温焼鈍も有効な手段であった。当時の試験室の主要な業務の一つに他社材調査があった。各社それぞれめっき方式が違うばかりでなく、原板の品質も異なるためプレス性の良否は受注に直接影響するからである。Lee Wilson社のオープンコイル焼鈍炉で製造した脱炭材による深絞り性の改善は40年頃、わが国の画期的な開発といえる冷延鋼板連続焼鈍技術^{38,39)}は45年頃、連続製造による材質の均質化による改善、真空脱ガス装置の併用によるIF (Interstitial Free) 鋼の品質安定化に至るまで、材質改善の努力は継続して続けられている。昭和38年当時の亜鉛鉄板の機械的性質の一例を表5 A, B, Cに、最近のTi-IF鋼をDに示す。

4.5.2 降伏現象の特性の克服

低炭素鋼の降伏現象は、腰折れ、ストレッチャーストレイン、フルーティングなどという形で我々を悩ませる。ライン内で焼鈍を済ませた亜鉛鉄板そのままの状態では加工すると、均一に加工されず不均質変形となってしまう。この厄介な現象を和らげるため、繰り返し曲げを与え、降伏点伸びを少しでも小さくしてやろうという装置がレベラーであるが、調質圧延のような均一な圧縮加工ではないから、どうしても畳み目状の模様を消すことは出来ない。一方ライン外焼鈍による亜鉛鉄板は、焼鈍済み冷延鋼板を調質圧延した後、めっきしているため、歪み時効という材質の硬化はあるが、畳み目状模様は現れない。図14に示すようにカップ状に絞り加工をすると、底面の低加工領域でも素材の不均質変形部分が誇張されて顕著になり、カップの側壁の加工度の激しい部分は板目状の模様となる。昭和30年代はこのあたりの品質が限度であった。

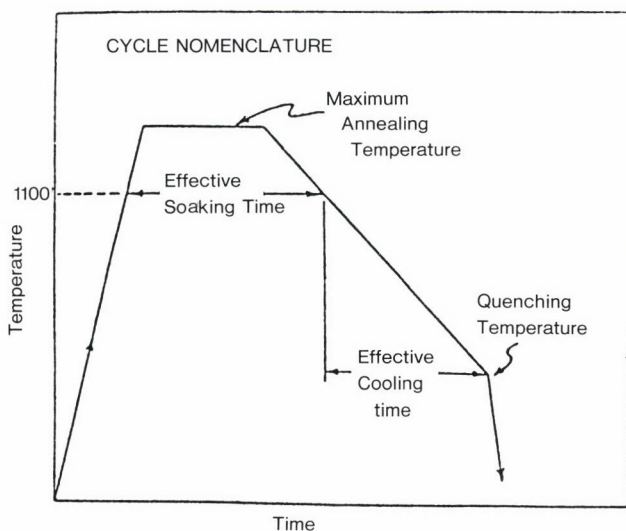


図13 A. F. Mohriの加熱サイクル説明図

(1) テンションレベラーの登場

前記の不均質繰り返し曲げ加工を克服するには、テンションを与えつつ細いワークロールで曲げ加工を与えることが試みられた。細いワークロールにはロール自体にかかる曲げ荷重を緩和するためのバックアップロール、またそれを支えるバックアップロールが必要となり6段のレベラーなどが開発されたが、これの補修にかかる時間と人手、とくにその調整は熟達した技能が必要であった。そこで進歩したのが、レベラー理論の基本的見直しによる役割分担であって、ロール本数を減らし機能を分担させることであった。図15に見られる如く伸びを与える伸長ロールのワークロールは細く設定し、C反り(幅方向の歪)、L反り(長さ方向の歪)の矯正ロールは伸長ロール程細くなくてもよいという考えである。

(2) ライン内調質圧延機(スキンパス)の導入

ライン内にスキンパスが導入されたのは昭和50年になってからであるが、それまでに品質のとくに厳しい要求のあるものは、亜鉛めっき後、単独に調質圧延機による表面肌と機械的性質の改質がおこなわれていた。このころ、油圧装置の大飛躍があり、圧延機の圧下装置は従来の圧下スクリュウの回転による電動圧下から、油圧圧下に順次代りつつあった時代である。電動圧下と油圧圧下ではその応答速度、精度、圧延機スタンドにかかる負荷に歴然とした差異があり、例えば、瞬時に大きな圧延負荷が掛かったときには、油圧圧下では油圧回路の弁を解放してやるだけで圧延機スタンド全体の破壊に至る事故は回避できるのである。この様な背景があつてめっきラインにもスキンパスが設置されるようになった。応答速度が速いこと、コンパクトであること、伸び率の精度がよいこと、補修、保守点検が容易であることなどが満足すべき状態となった。メンテナン

表5 亜鉛鉄板の機械的性質の一例

種類	板厚mm	降伏点 kg/mm ²	抗張力 kg/mm ²	伸び %	硬度 Hv	エリクセン値mm
A	0.635	30.7	39.1	29.3	138	8.9
	0.278	31.7	38.1	28.3	140	7.0
B	0.635	31.0	39.6	31.9	133	9.3
	0.278	32.2	38.4	30.7	138	7.3
C	0.635	29.6	36.2	38.3	108	10.2
	0.278	26.2	36.5	36.3	118	8.6
D	0.6	20.4	34.8	42.0	93	—

A, B; ライン内焼鈍材 C; ライン外焼鈍材 D; 最近のTi-IF鋼

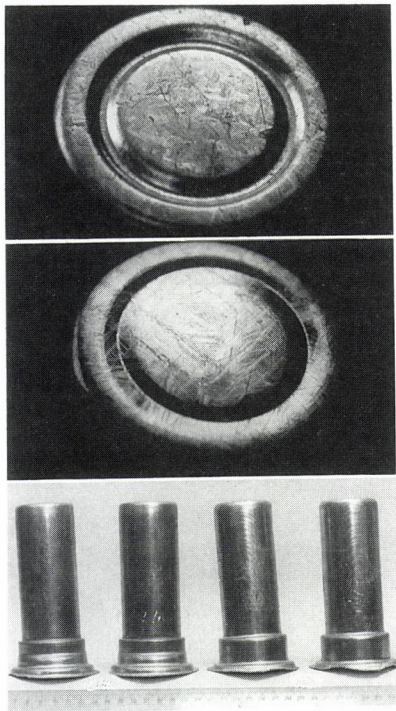


図14 プレス成型で現われる模様（昭和39年頃の製品）
 (上) カップ底面、ライン外焼鈍材
 (中) カップ底面、ライン内焼鈍材
 (下) カップ側面、左2つライン外焼鈍材
 右2つライン内焼鈍材

スについても、台車でライン外へ取り出すとか、2台を交互に使うとかの展開があった。この設備は精密機械であるから加工される素材の表面性状もクリーンさが要求される。ドロスや亜鉛ブツなどを運び込めば、スキンパスロールやレベラーロールにすぐ疵がつくから、めっき浴以降スキンパスに至る各種のロールは良く管理された状態を保つ必要がある。

この技術の出現により、ライン内焼鈍方式はライン外焼鈍方式に比べ、工程の短縮化、コスト低減は当然ながら、品質においても見劣りしなくなった。おそらく、この技術がなかったら自動車外板への進出は困難であったろうと思われる。

4.6 化成処理技術

亜鉛鉄板の化成処理は、磷酸亜鉛処理とクロメート処理に大別できる。八幡製鐵では昭和28年Armco社との技術提携により切板専用のリン酸亜鉛処理鋼板として、ボンテ亜鉛鉄板を世にだした。耐蝕性のある塗装下地鋼板であるが、電気亜鉛めっき鋼板の磷酸亜鉛処理としてのボンテ鋼板は昭和30年に誕生した。一方クロメート処理は、処理設備や処理液の管理が比較的簡単であるためライン内に設置された。製品の在庫期間中や後工程までの中間防錆措置として、白錆の発生防止が当初の主目的であったが、末端工程での保管状況は必ずしも良くないから、白錆に対する潜在的苦情は時に顕在化し大きなクレームに発展したこともあって、耐蝕性能を改善するニーズは常に存在していた。

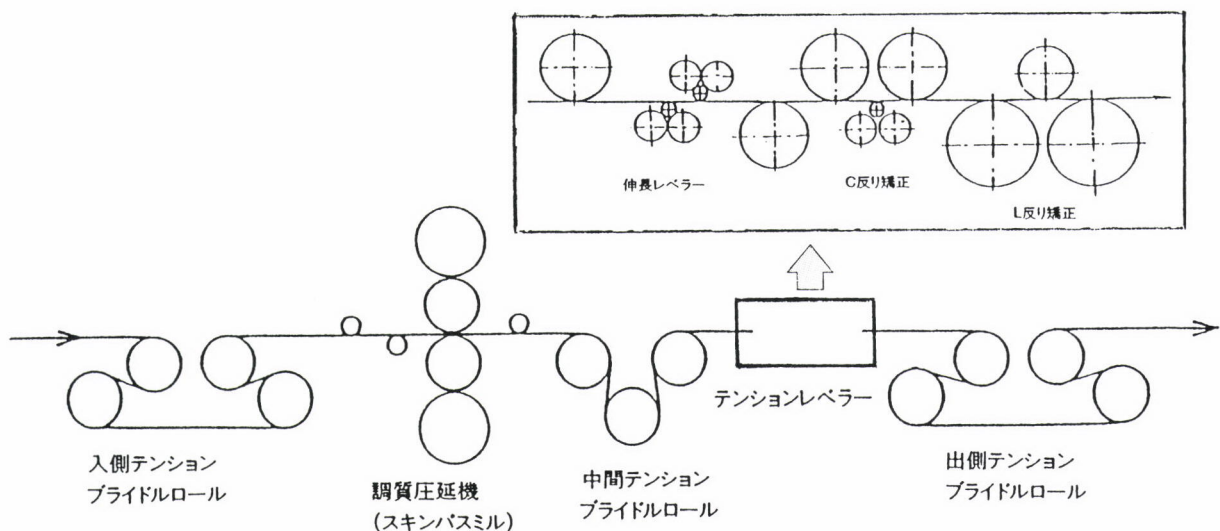


図15 テンションレベラー、スキンパス設備の構成

一般的にクロメート処理は、反応型、塗布型、電解クロメート法に大別できるが、電解クロメート法はTin Free Steelに重要な技術ではあるが、ここでは除外するとして、前2者について述べる。反応型クロメート処理は、クロム酸塩の水溶液に亜鉛めっき鋼板を浸漬し、クロメート被膜（本質的にはクロミ・クロメート被膜Cr(III)-Cr(VI)水和酸化物⁴⁰⁾を形成させたものであるから、この反応を促進するため、各種の方法が提案され、耐蝕性もその都度向上してきた。とくに表面の着色との関連は微妙で、均一で黄色の深いものか、全く着色のないものが好まれ、そちらの方向での開発が進んでいった。さらに反応の促進剤として、Ti, Zr, Siのフッ素錯イオンの添加による「クロム酸-フッ化物」系組成が基本となり普及していった。昭和40年代に入り合金化亜鉛めっきの開発に呼応して、その優れた塗装密着性をさらに磷酸塩処理を凌ぐまで高め、しかも高耐蝕性を付与すべく、亜鉛腐食のインヒビターとしての機能をCo, Niの添加により達成した組成が開発された。さらにはシリカ、アルミナ、水溶性有機酸ポリマーなど添加したクロメート処理も実用化された。すでに述べたクロミ・クロメート被膜はクロム酸の一部が亜鉛によって還元され3価クロムになるものであるから、あらかじめ必要とする3価クロムを含む処理液組成とし、「塗布」のみで初期目的を達成しようとするのが、塗布型である。処理液の老化もなく高品質が設計できる優れた技術である。Zn-Al系めっき鋼板の塗装前処理には非晶質クロメート被膜が形成される「塗布型クロメート処理」へと発展してきた。これはもう最近の技術である。

5 用途分野、製品技術の開発

昭和25年、デミング博士の来日で始まった品質管理活動も、昭和30年代後半になると、品質保証なる概念に取り組み、多岐にわたる需要家の品質要求を満足させるのが、生産者の使命と考えるまで成長した。店売りといわれる商品は最大公約数的品質を提供するのであるが、特定需要家の特定用途向けに對しての品質設計・製造・検査の各段階で適性品質が保証される体制が、この頃確立されたとみられる。以下特定用途の発展について述べる。

5.1 着色亜鉛鉄板の原板としての発展

外装用建材として、屋根、壁、樋に使われる亜鉛鉄板は、施工後しばらく放置された後、自然乾燥型塗料により塗装されていた。前処理も不完全で塗料の選択も十分検討されたものでない場合2、3年もすると塗膜の劣化が始まりひび割れや剥離が発生する。建造物を長持ちさせるには定期

的な再塗装が必要とされた。この対策として予め工場で塗装された着色亜鉛鉄板がまず東京亜鉛鍍金（現川鉄鋼板）より昭和29年に発売された。当時はまだ切板方式の塗装設備であったが、昭和30年代になると、各社相次いで製造をはじめた。昭和39年になり、本格的連続塗装設備（コイルコーティングラインとも呼ばれる）として、日新製鋼、イゲタ鋼板、東海鋼業、などで設置された。これらはまだ1コート1ベークといわれる、耐久性の面では問題のある商品であったため、その後早急にグレードアップが計られ、2コート2ベーク方式の採用と発展する。2コート2ベーク方式とは塗膜の性能を2層で分担するもので、下地塗装は耐蝕性と素地との密着性を分担し、上塗装は耐候性と色調を分担するという合理化された概念の導入である。着色亜鉛鉄板としての生産体制はこれで確立されたと見做してよく、耐久性を柱とする品質も格段に改善された。昭和42年のことである。着色亜鉛鉄板JIS G3312は昭和43年制定され、昭和45年に亜鉛鉄板JIS G3302の亜鉛付着量の改正とともに2コート品の優位性を配慮した改正となった。その後の発展は塗装系の改良や3コート3ベーク品の出現など目覚ましいものがあり、多くの発表⁴¹⁾があるのでご参照いただきたい。現在ざっと100万t/年の生産と考えてよい。

5.2 外装建材、金属屋根

外装建材のなかでも屋根材に要求される特性は、雨漏りの防止、台風風の風圧に耐える強度、紫外線、熱、湿気、音、などの外界からの遮断であり、自然環境との調和であるから、亜鉛鉄板の屋根材がすべてこれらの要求特性を満足するわけではないが、下地材との組み合わせにより、安価で軽く防火性を重視するならば、適切な素材といえよう。コイル化された亜鉛鉄板を逸早く屋根材として仕事に結び付けたのが三晃金属工業であって、コイルの『長尺』としての強みを発揮した商品とその工法を開発した。昭和31年大波ロール成型機による巻馳（まきはぜ）葺き工法の開発をはじめ、三晃式真木なし瓦棒葺き工法、昭和38年には三晃式折板（せっぱん）構造S-60の画期的な長尺屋根工法が開発され、昭和39年東京オリンピック選手村食堂屋根に、また日本板硝子（かんざ）千葉工場（18,000㎡）にも採用され、これらが契機となりその後の発展を見るに至った。図16、図17に示す如くである。また各種の意匠的工法的展開として、「重ね」から「馳せ締め」「嵌合（かんごう）」へと進歩しつつ今日に至っている。その普及はJIS A6514-1977鋼板製屋根用折板の制定となったが、一般金属屋根が昭和50年八丈島の13号台風で大きな被害を被ったことからその対策構法として、亜鉛鉄板会による鋼板製屋根構法標準の制定、さらに建材の技術的進歩に即応したJIS A6514-1990金属製折板

屋根構成材と名称も変わり、屋根を構成する材料とトータルでの品質保証を計るという思想が織込まれた。

5.3 家電製品

亜鉛鉄板の製造設備で家電製品とくに洗濯機の外板が需要家になるなど思ってもみなかった。それほど当時としては高級な用途であって、本命は冷延鋼板や電気亜鉛めっきの需要家であった。耐蝕性向上の要請から電気亜鉛めっきより亜鉛付着量の多い、しかも塗装性の優れたペントイトというキャッチフレーズで売り込みに成功したのはよかったが、製造現場では、“これは大変なことになった”というのが当時の正直な感想である。小豆大のロール押し疵が、肉眼でははっきり見えなくても、鮮映性の高い塗料で塗装するとはっきりと浮かびあがるのである。各種のロールの全面清掃から始める必要があった。この時以来製品表面を白墨を横に倒してさっと撫でるようにして表面を検査するチョークテストなるものが、疵のチェックに登場した。早川電機(株) (現シャープ(株)) の洗濯機「愛情」は、“錆びない洗濯機” “SL合金使用”⁴²⁾として市場から好評をもって迎えられた。昭和39年の頃である。その後日立製作所(株)の「青空」にも採用が決まり、耐蝕性をさらに向上するべく磷酸塩処理の出来るクロメート処理などに取組み成果をあげた。富士製鐵「シルバーアロイ」も“44年に電気洗濯機外板に採用されたことは、以後、冷延鋼板から亜鉛めっき鋼板化への画期的な先鞭をつけ、50年代の自動車外板用へのスムーズな対応に大きく寄与した。”との記載²⁾には、その当時の厳しい品質競争市場の中での競合、そして同業他社として深い感銘をもってご同慶の至りと共感するのである。この後の自動車産業向けとくに自動車外板向け防錆鋼板としての溶融亜鉛めっき鋼板の発展は、まだまだ紆余曲折があって、IF鋼を素材とした合金化処理溶融亜鉛めっき鋼板に至る道程は決して平坦ではなかったと、思われる。昭和40年代前半に確立された数々の基礎的技術のうえに、興味深い技術開発はまだまだ続くのである。

6 おわりに

技術は、技術突破 (Technology Break Through) によって、時には技術移転 (Technology Transfer) によって進歩するといわれる。以上述べてきたトタン板の成長も小さな改善が集まって大きな川となり、やがて海に注がれ、大きな潮流になって世界と交流するという展開を眺めてきた。温故知新と簡単に思ってきたが、今回ほど偉大な先人の技術遺産に触れたことは無かった、という思いである。この時期の展開を基礎にしてさらに波及効果としての発展

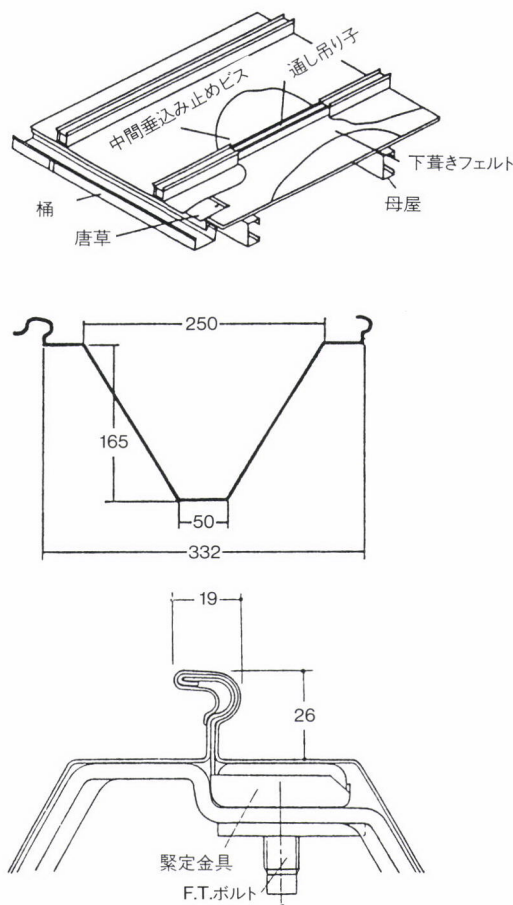


図16 金属屋根長尺工法の一例
(上) 三晃式真木なしA号瓦棒葺工法
(中) 丸馳I型折板構造葺工法
(下) 同上緊定部

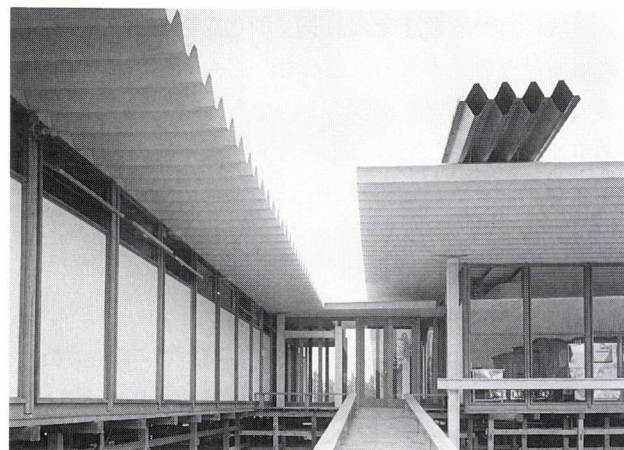


図17 東京オリンピック選手村食堂
(この後、八丈島へ移設され13号台風にもよく耐えた)

が続いている。各項目のどれをとっても優に数ページの論を要するものばかりであるのに、概括的説明となったことをお詫びしたい。

資料については、新日鐵をはじめ各社の社史を参考にさせて頂いた。表面処理鋼板部会幹事の皆様方に改めて厚くお礼を申し上げたい。

参考資料（社史関連）

- 1) 炎とともに 八幡製鐵株式会社史 (1981)
- 2) 炎とともに 富士製鐵株式会社史 (1981)
- 3) 炎とともに 新日本製鐵株式会社十年史 (1981)
- 4) 八幡製鐵所八十年史 部門史 上 (1980)
- 5) 川崎製鐵二十五年史 (1976)
- 6) 川鉄鋼板十五年の歩み (1981)
- 7) 大洋製鋼株式会社二十五年史 (1987)
- 8) 日本鐵板株式会社社史 (1956)
- 9) 日新製鋼30年史 (1990)
- 10) 三晃金属工業四十年史 (1990)

文献

- 11) 福田宣雄：日本鉄鋼全書（9）亜鉛鉄板，鐵鋼と金属社，昭和40年2月，p.34
- 12) 大部操：日本金属学会会報，4（1965），p.393
- 13) SorelからSendzimirに至る溶融亜鉛メッキ；鉛と亜鉛，No.21（1968），p.29
- 14) 岩崎徹二，小池通義：日新製鋼技報，20（1969），p.92
- 15) 久松敬弘：溶融亜鉛めっき鋼板の歴史 金属表面技術，34（1983），p.12
- 16) 大浜侃，小池通義，中村幸雄，荻野脩：三菱電気技報，34（1960）7，p.20
- 17) 福場孜：日新製鋼技報，2（1965）5，p.61
- 18) T. Sendzimir：U. S. Patent 2, 110, 893 July 16, 1935
- 19) N. E. Cook and S. L. Norteman：U. S. Patent 2, 823, 641 Feb. 18, 1958
- 20) 小池通義，岡村昭：日新製鋼技報，9（1963）Nov., p.88
- 21) タデウス・センヂミア博士略歴：日本センヂミア(株)編，（1990）6
- 22) E. C. May：Principio to Wheeling, Harper & Brothers Publishers, (1945), p.225
- 23) H. Bablik：5th International Conference on Hot Dip Galvanizing, (1958), p.115
- 24) N. E. Cook and S. L. Norteman：U. S. Patent 2, 824, 021 Feb. 18, 1958
- 25) 山口洋，久松敬弘：鉄と鋼，59（1973）1，p.131
- 26) 山口洋，久松敬弘：鉄と鋼，60（1974）1，p.104
- 27) 山口洋，久松敬弘：鉄と鋼，63（1977）1，p.92
- 28) H. Bablik：5th International Conference on Hot Dip Galvanizing, (1958), p.133
- 29) 大浜侃，岩崎徹二：日本特許 594512 S.46.1.20
- 30) 大浜侃，岩崎徹二：日本特許 594513 S.46.1.20
- 31) 土居浩一：鉄鋼界 7，昭和41年 p.82
- 32) J. T. メイヒュー：特許公報，昭41-4085
- 33) J. J. Butler, D. J. Beam and J. C. Hawkins：Iron and Steel Engineer, (1970) Feb, p.77
- 34) A. F. Mohri：Iron and Steel Engineer, (1956) July, p.148
- 35) M. A. Adams and J. R. Bevan：J. Iron and Steel Institute, (1966) June, p.586
- 36) F. J. Krake, Tarentum and B. M. Neckrich：U. S. Patent 2, 832, 711, Jan. 16, 1956
- 37) 済木捷郎：塑性と加工，9（1968），p.108
- 38) 戸田健三，武智弘：金属，45（1975）13，p.27
- 39) 久保寺治朗，中岡一秀，荒木健治，渡辺 馨，西本昭彦，岩瀬耕二：鉄と鋼，62（1976）6，p.20
- 40) 久松敬弘：表面，3（1965）11，p.731
- 41) 高村久雄，近藤登：鉄と鋼，66（1985）7，p.875
- 42) 早川電機：商品カタログ 昭和42年
(1997年3月25日受付)

▶ 北欧鉄鋼業事情 (平成9年度日本鉄鋼協会若手会員北欧研修旅行報告) ◀

豊橋技術科学大学 生産システム工学系 教授 川上正博

1. 旅行概要

平成9年3月15日から3月29日の15日間にわたり日本鉄鋼協会若手会員海外研修旅行が行われました。この企画も第3回目を迎え、北欧へ行くこととなりました。引率にはスウェーデンに1年滞在した経験があるということで、私が選ばれたようです。参加者は、東工大大学院から3名、東北工大大学院から1名、豊橋技科大学学部4年生2名、姫路工科大学部4年生(女子)1名の7名と新日鉄の若手技術者2名と引率者で総勢10名でした。

今回の研修旅行のねらいは、なるべく広く学生を集めるために、肩の凝らない修学旅行的なものとし、訪問先の選定に当たっても、バラエティーに富むよう配慮しました。また、普通の観光旅行では行けないような所ということも配慮しました。訪問先はElkem Thamshavn、SINTEF、Norwegian University of Science and Technology (以下NTNU)、MEFOS、SSAB Tunplät、LKAB Malmberget(以下RIT)、Institution for Metal Research、Jernkontoret、Helsinki University of Technology (以下HTH) およびAssociation of Finnish Steel and Metal Producersの12機関です。日程の決定には、当初はJernkontoretのtechnical directorのDr. Hans Sandbergに相談しましたが、最終的にはRITのProf. Pontus Sjöbergにお世話になりました。また、ノルウェーではElkemのOle Svein Klevan氏に、フィンランドではHTHのProf. Lauri Holappaにも大変お世話になりました。

各訪問先では非常に暖かい歓迎を受けました。ノルウェーではElkemの人々がホテルからの送迎を含め非常に肌理の細かい配慮をしてくださって感激しました。SSAB、LKAB、Sandvik、RIT、HTH然りです。特に、HTHのDepartment of Metallurgyでは、サウナに始まり、手作りの料理とビールのパーティーが夜9時頃まで続きましたが、研究室総出の和気藹々の非常に楽しいものでした。Holappa先生の心暖まる人格が感じられました。

出発前には、3月の北欧の気候がわからず、かなり寒いのではないかと疑心暗鬼でした。しかし、時折吹雪にもあいましたが、大体-2、3℃位で、一番寒かったのがSSABのコークス工場見学の時で-5℃位でした。特に、北極圏内のマルムベリエットでの寒さを恐れていたのですが、往復の道すがらは快晴でむしろ暖かい程でした。写真は北極圏への境界線上で撮った記念写真です。鉱山では地下へ潜ったので気温は+14℃位でした。

トラブルは、私自身がオスロ空港からの空港バスの中に当日のホテルクーポン入りの鞆を置き忘れ、1時間程タクシーでバスを追いかけたこと以外は何もなく、快適な旅行でした。トランジットで立ち寄ったオスロでは、思いもかけず、ノルディックスキーのワールドカップのホルメンコーレン大会を見ることが出来、みんなで「萩原がんばれ」と叫んだのもいい思い出です。トロンハイムは通常の観光旅行ではあまり行かないところですが、さらに雪道を50kmあまりトロンハイムフィヨルド沿いにドライブ出来たことは得難い経験でした。また、ルレオからさらに北のマルムベリエットは北極圏内にあり、その地下500mの食堂で食事を取ったというのもめったに出来ない経験でした。学生諸君の多くは海外旅行も初めてということでしたが、大満足の様子でした。私自身も旧知のNTNUのProf. Thorvald A. Enghや鉄冶金の恩師と崇めるRITの名誉教授で本協会の名誉会員でもあられるSeven Eketorp先生にもお目にかかるなど楽しませていただきました。また、久々の訪問とあって、北欧事情につき色々と認識を新たにすることがありました。その中で「北欧の鉄鋼業の現状」と「北欧における研究開発と大学の研究」について、私の印象を以下に記します。

2. 北欧の鉄鋼業の現状

23年前にRITで1年過ごしたころのスウェーデンには約30社の鉄鋼会社があり、儲かる儲からないは別にして、それぞれ独自の技術を謳歌するような操業を楽しんでいるように思いましたが、事情は一変していました。各製鉄会社は一鋼種一社に集約し、北欧内での無駄な競争を止めて、世界に立ち向かうという体制づくりをしていました。1996年のまとめでは、会社の数は21社に減っていました。今回訪問したAB Sandvik Steelは、以前は工具鋼で有名でしたが、現在はステンレス鋼の棒、条、管(特にシームレス)の生産に特化されたようです。ただ、Sandvikブランドの工具は製造販売していますが、原料の工具鋼は他社のものを購入しているそうです。その方が割安とのことでした。また、他のヨーロッパ諸国からの資本導入も多く、純粋スウェーデン資本の会社はSSAB、AB Sandvik Steelともう一社の3社だけということでした。かなり世界の市場原理の波をかぶっているという印象です。しかし、実際の操業について見れば、ルレオにあるSSAB Tunplätではスラブまでしか作らず、圧延工程は100km以上離れたボーレンゲで行うとのことで、日本では直送圧延によりエネルギー削減を図っていることからすれば、考えられないことです。当初のSteel Plant '80ではルレオ地区に最新鋭の

効率の良い一貫製鉄所を作ると聞いていたのですが、そうするとボーレンゲが潰れてしまうので、このような体制にした、とのことでした。また、AB Sandvik Steelでは、電気炉操業のタプツウタプが2時間とのことでした。長すぎないかと尋ねましたが、方策がないという返事で、オキシフェルバーナーの導入などは念頭にないようなのに驚きました。総じて、日本の場合には会社の業績アップが最優先であるのに対し、スウェーデンでは従業員の幸せのために操業するという感じです。どちらがベストかは明らかですが、そういうことが可能なのはまだ恵まれた国なのかな、という印象でした。

ノルウェーの鉄鋼会社は、フィンランドのFundia系2社とオランダHoogoven資本の1社の3社だけです。この国は電力が安いこともあって、フェロアロイや金属シリコンの製造の方が主力のようです。フィンランドには、Rautaruukki Oy、Outokumpu Steel Oy、Fundia Betoniterakset Oyなど5社があります。これらの会社も基本的には1鋼種1社の北欧全体の体制の中に組み込まれているようです。

3. 北欧における研究開発と大学の研究

北欧の鉄鋼会社は日本ほど大きくないので、自社内で研究開発をする資金が出せません。そこで、各社が資金を出し合って研究組合を作ります。MEFOSはそのような組合によって維持されています。鉄鋼業以外でも全く同じように研究組合を作って共同出資しています。SINTEFやInstitution for Metal Researchはそのような組合によって維持されています。鉄鋼業に限って言えば、研究開発を統括しているのはJernkontoretで、ここで、どの研究をどこで行うかの割り振りを行っています。研究を引き受ける機関は必ずしも上記の研究機関

だけではなく、特に基礎的なテーマはRIT、HTHとLulea University of Technologyにも割り振られます。なお、NTNUの研究テーマはSINTEFの方から配分されるようです。大学で引き受けるテーマは平衡測定や物性値測定のような日本の大学と同じようなテーマも半分位ありますが、それとても現場技術のニーズから出てきており、単なる学問的興味というものはほとんどないようです。残りの半分は現場技術に直結するもので、日本の大学では従来はあまり取り上げなかったようなものです。たとえば、HTHのテーマの一つに「転炉の自動吹錬のための転炉操業シミュレーション」というものがありましたが、これなどは日本では正に企業内研究テーマであると思われます。また、NTNUの研究には、フェロシリコンの添加歩留りの向上を目指す水モデル実験で、水の上にパラフィンを浮かせた浴にちょうど比重が水とパラ



北極圏への境界線上にある駐車場にて

フィンの中間にあるような固体を投入し、固体の形状として円盤がいいのか、直方体がいいのかといった最適形状を目視観察で調べるというものがありました。これなどはとても論文になる研究とは思えず、日本の大学では行わない研究だと思われます。しかし、フェロアロイメーカーにとっては重要な研究であることも確かです。大学院の学生はこのような研究プロジェクトから給料をもらっており、その研究の担当者はすぐに会社で役に立つような教育を受けていることにもなっています。日本の大学では、鉄鋼製錬の研究をして大学院を修了した学生が必ずしも鉄鋼会社に就職できるとは限らず、ある意味では無駄な教育をしているのかもしれないと思われます。最近では、日本の鉄鋼会社も全ての研究を自社内でこなすような体力はなくなっているようで、同じような研究組合を作り、大学へ学生の給料込みで研究を委託するような制度が出来ないだろうかと思います。もちろん、その舵取りは、Jernkontoretのように、本協会で行っていただきたいと思っています。

4. 最後に

この企画は、当初8月の方が良いのではないかという意見もあって、詳細の検討が多少遅くなりました。そのためもあって事務局の方々には大変ご苦勞をおかけしました。お陰様で、無事に楽しく有益な旅行が出来ましたことを心から感謝いたします。

(1997年6月5日受付)

第33回 白石記念講座報告

「発電事業とビジネスチャンスーわが国の電力事情の現状と将来ー」

育成委員会 技術講座分科会委員 西野 誠
(新日本製鐵株技術開発本部技術開発企画部部長代理)

規制緩和の流れの中で電気事業法が平成7年12月に改正され、卸電力事業の自由化を始めとして電気事業は新たな展開を迎えました。発電事業は長期的に安定した企業収益の確保が期待でき、公益事業への協力によって企業の社会的使命を果たし得るものであり、エネルギーの有効活用の点からも、また都市型製鉄所の将来方向を考える点でも重要な意義を持つものです。電力供給の実態を的確に認識することを目的として、平成9年2月26日(水)、東京新宿の工学院大学にて『発電事業とビジネスチャンスーわが国の電力事情の現状と将来』と題する第33回白石記念講座を開催致しましたので概要を報告致します。

【講座構成】

『電力を巡る情勢と課題』通産省資源エネルギー庁公益事業部 山田知穂
『新エネルギー技術開発の現状と将来展望』NEDO新エネルギー導入促進部 上山慶介
『電力事業の現状と課題』電気事業連合会業務部 寺本 嵩
『鉄鋼業の電力卸事業への対応』日本鉄鋼連盟原料部 宮間宣幸
『廃棄物発電の現状と課題』三菱重工業環境装置部 岡田光浩
司会：住友金属地球環境部 倉重宗寿(午前)、新日鐵技術総括部 村田 稔(午後)

【概 況】

今回の講座は、平成8年度卸電力落札者が決定し、平成9年度募集枠が明らかにされた時点、加えて前日に電気事業審議会需給部会電力基本問題検討小委員会からの報告書が提出されるというタイムリーな開催となりました。各界を代表する第一線の講師陣と、エネルギー問題に精通した座長の好リードにより、鉄鋼業に限らず卸電力事業への参入を図る企業、電力各社、エネルギー全般に関心を寄せる多種多様な団体・企業から150名を越える聴講者からの活発な質疑を受け、実り大きい講座を開催することができました。

【講演内容】

(1)『電力を巡る情勢と課題』

まず、資源エネルギー庁・山田講師から、長期的な電力需給の見通しと電力供給計画によりわが国の電力問題の全体像と、電気事業の規制緩和および経済構造改革プログラムについてご説明いただきました。また前日の電力問題検討小委員会の中間報告の内容にも触れ、今後の卸電力入札制度のあり方についても貴重な情報を得ることができました。

(2)『新エネルギー技術開発の現状と将来展望』

続いてNEDO・上山講師から、地球環境問題への対応や資源小国であるわが国にとって期待の大きい太陽光・風力・地熱等の新エネルギー技術開発の実態と展望を説明いただきました。自然条件による制約等でコスト面・技術面からの課題は大きいながら、着実な普及促進に向けて開発が進められている実態を伺いました。

(3)『電気事業の現状と課題』

電気事業連合会の寺本講師からは、海外との電力事情との比較を含めて安定した電力を低価格で供給する電力各社の取り組みをご説明いただき、更に電力卸供給の入札実施による発電コスト削減へのインパクトや電力各社による供給計画との整合、新エネルギーへの対応を含めて、競争原理の導入と自己責任の原則に従う新たな対応について説明いただきました。

(4)『鉄鋼業の電力卸売事業への対応』

電力卸事業への参入側として、日本鉄鋼連盟の宮間講師から、鉄鋼業のエネルギー構造と自家発電の実態を明確にご説明いただきました。鉄鋼業が保有する技術・インフラの視点から高い電力供給ポテンシャルを有し、大きなビジネスチャンスと位置付けられること、環境問題等を考慮しつつ、今後とも積極的な参入によって電力料金低減や社会貢献に寄与できることが、説明されました。

(5)『廃棄物発電の現状と課題』

最後に三菱重工業・岡田講師から、ごみ発電の実態と技術開発に関するご説明をいただきました。社会的にも地球環境の視点からごみの有効活用のためのシステム整備・技術開発は重要です。本講演では効率的なごみ発電を実現するための技術についてご説明をいただき、鉄鋼業にとっても価格合理性を有する耐食性を有する材料の開発等を通じた貢献が必要とされることが認識されました。

結びとして、今回の貴重なご講演を快く引き受けて戴いた講師各位に深く感謝致します。

ISS主催行事予定

本会とISS（米国鉄鋼協会）との新交流協定により、ISS主催のAnnual Conferenceや国際会議に会員資格で参加できます。参加される方は、本会会員であることを明示し、会員サービスを受けることをお勧めします。

問合せ先：ISS meeting department

TEL. +1-412-776-1535 x 617 またはE-mail address: dorisn@issource.org

Steelmaking & Ironmaking Conferences

March 22-25, 1998	The Sheraton Centre, Toronto, Canada
March 21-24, 1999	Hyatt Regency Chicago, Chicago, IL
March 26-29, 2000	Lawrence Convention Center, Pittsburgh, PA
March 25-28, 2001	Omni Inner Harbor Hotel, Baltimore, MD
March 10-13, 2002	Toronto, Ontario, Canada

Mechanical Working & Steel Processing Conferences

October 19-22, 1997	Adam's Mark Hotel, Indianapolis, IN
October 25-28, 1998	Pittsburgh Marriott City Center, Pittsburgh, PA
October 24-27, 1999	Omni Inner Harbor Hotel, Baltimore, MD
October 22-25, 2000	Westin Hotel, Cincinnati, OH

Electric Furnace Conferences

November 9-12, 1997	Hyatt Regency Chicago, Chicago, IL
November 15-18, 1998	New Orleans Convention Center, New Orleans, LA
November 14-17, 1999	D. L. Lawrence Convention Center, Pittsburgh, PA
November 12-15, 2000	Marriott's Orlando World Center, Orlando, FL
November 9-14, 2001	Phoenix Civic Plaza Convention Center, Phoenix, AZ
November 10-13, 2002	San Antonio Marriott Rivercenter & Riverwalk, San Antonio, TX

本会情報一覧

記事内容	掲載号
日向方斉メモリアル国際会議助成の募集案内	本号 619 頁
第 134 回秋季講演大会 懇親会のお知らせ	本号 619 頁
第 134 回秋季講演大会 工場見学会のお知らせ	本号 620 頁
日本鉄鋼協会助成金受給者決定のお知らせ	本号 621 頁
ISS主催行事予定	本号 622 頁
科学技術振興調整費における「総合研究」への新規課題提案について	本号 623 頁
シンポジウム「人間・社会・環境との新しい調和を求めて－VI～日本鉄鋼業の環境変化対応能力～」開催案内	本号 623 頁
切削・切断フォーラム講演討論会と見学会のお知らせ	本号 624 頁
数値モデリングフォーラム「計算工学と材料加工のための新しいモデリング」開催案内	本号 624 頁
セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」開催案内	本号 625 頁
材料の組織と特性部会「自主フォーラム」発足のご案内	本号 625 頁
シンポジウム「自動車の衝突安全性と高張力鋼板の高速変形特性」開催案内	本号 626 頁
最終報告会「コークスプロセスにおける石炭加熱下現象とモデル化」開催案内	本号 627 頁
平成 9 年度理事、監事、並びに評議員の選挙結果報告	7 号 540 頁
第 5 回鉄鋼工学アドバンスセミナー受講者募集案内	7 号 542 頁
ISSとの新協定に関する細目のお知らせ	7 号 544 頁
第 7 回鉄鋼王冠国際会議アブストラクト募集のご案内	7 号 545 頁
出版案内	7 号 555 頁
「鉄と鋼」[ISIJ International] 投稿規程・執筆要領	6 号 439 頁
平成 8 年度事業報告・収支決算及び平成 9 年度事業計画・収支予算のお知らせ	6 号 450 頁
新名誉会員・一般表彰受賞者のお知らせ	6 号 456 頁
第 5 回日本鉄鋼協会・日本金属学会奨学賞受賞者のお知らせ	6 号 478 頁
第 134 回秋季講演大会 予告セッションへの講演申込のお誘い	5 号 364 頁
講演大会参加方法のご案内	5 号 364 頁
ISIJ International 特集号「Recrystallization and Related Phenomena」原稿募集案内	5 号 371 頁

行事等予定

太字は本会主催の行事

開催期日	行事(開催地)	締切	掲載号及び頁
1997年			
8月 8~28日	産業技術歴史展(横浜)		3号 219頁
20~23日	第37回真空夏季大学(静岡)	1997/7/10	7号 548頁
22日	日本金属学会シンポジウム「複合材料の新展開」(東京)		本号 629頁
25~29日	高圧力科学と技術に関する国際会議(京都)		本号 629頁
26,27日	平成9年度軽金属基礎技術講座(東京)		本号 629頁
27日	SICEセミナー「制御における適応とチューニング」(東京)		6号 445頁
27~29日	第69回塑性加工学講座「有限要素法入門セミナー」(横浜)		7号 548頁
27~29日	第8回電顕サマースクール1997(広島)	1997/8/17	7号 548頁
28日	'97センシング実習スクール(大阪)	1997/7/25	7号 548頁
9月 4,5日	第11回セラミック・サマー・スクール(東京)		本号 630頁
5日	第15回技術セミナー「腐食モニタリング手法とその提供の現状」(東京)		本号 630頁
5日	高温学会環境部会シンポジウム「二酸化炭素の低減化」(大阪)		本号 630頁
9日	第128回塑性加工懇談会「塑性加工FEM解析はどこまで進歩したか」(東京)		7号 548頁
9日	関西支部 湯川記念講演会(大阪)	1997/8/30	本号 628頁
11日	ステンレス鋼溶接施工技術の実際とその応用(新潟)		本号 630頁
16~18日	The 4th IUMRS International Conference in Asia(千葉)	1997/6/30	6号 445頁
17日	講習会「接着接合の実用化技術」(東京)		本号 630頁
18日	第25回熱測定ワークショップ「新素材開発への熱測定・熱分析の応用」(厚木)		本号 630頁
18,19日	ダイナミカルシステムのモデリングと制御(大阪)		7号 549頁
24~26日	第134回秋季講演大会(仙台)	1997/7/9	5号 362頁
24日	第134回秋季講演大会懇親会(仙台)	1997/9/5	本号 619頁
25日	シンポジウム「人間・社会・環境との新しい調和を求めて-VI」(仙台)		本号 623頁
25日	切削・切断フォーラム講演討論会・見学会(京浜)	1997/9/10	本号 624頁
25日	シンポジウム「自動車の衝突安全性と高張力鋼板の高速変形特性」(仙台)	1997/9/12	本号 626頁
24~26日	'97国際真空産業展(東京)		7号 549頁
25日	第175回塑性加工シンポジウム「半溶融・半凝固加工技術の実用化の現状と課題」(東京)		本号 630頁
27日	第134回秋季講演大会工場見学会(多賀城・名取・角田)	1997/9/5	本号 620頁
10月 2,3日	生産スケジューリング・シンポジウム'97(東京)	1997/8/10	本号 630頁
5~8日	1997 TMS Fall Extraction and Processing Conference "The Julian Szekely Memorial Symposium on Materials Processing(Cambridge,Massachusetts)		8号 631頁
16,17日	最終報告会「コークスプロセスにおける石炭加熱下現象とモデル化」(東京)	1997/10/3	本号 627頁
23,24日	第9回傾斜機能材料シンポジウム(大阪)	1997/8/29	7号 549頁
24日	数値モデリングフォーラム「計算工学と材料加工のための新しいモデリング」(東京)	1997/10/20	本号 624頁
24日	セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」(東京)		本号 625頁
28~31日	SAMPE先端材料技術国際会議(東京)	1997/10/28	5号 377頁
30,31日	第29回溶融塩化学討論会(福岡)	1997/8/12	本号 630頁
11月 5~7日	第38回真空に関する連合講習会(東京)	1997/7/25	7号 549頁
7,8日	1997年度材料技術研究協会討論会(東京)	1997/9/1	本号 630頁
11日	分子動力学シンポジウム(大阪)	1997/7/31	7号 549頁
12日	International Seminar on Molecular Dynamics Simulations(大阪)		7号 549頁
19~21日	第5回鉄鋼工学アドバンスセミナー(千葉)	1997/9/1	7号 542頁
20~22日	第40回自動制御連合講演会(石川)	1997/8/8	5号 377頁
12月 4,5日	第35回高温強度シンポジウム(長崎)	1997/9/4	本号 630頁
10~12日	第23回固体イオニクス討論会(名古屋)	1997/8/11	7号 549頁
1998年			
3月 31~4月2日	Environmental Innovation in the Metals Industry for the 21st Century (Pittsburgh, Pennsylvania)	1997/10/1	本号 630頁
5月 24~28日	第5回高濃度窒素鋼国際会議(フィンランド、他)	1997/9/1	5号 375頁
6月 23~25日	The 5th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites(Colorado, USA)	1997/8/1	7号 549頁
7月 12~16日	Third Pacific Rim International Conference on Advanced Materials and Processing(ハワイ)	1997/9/1	7号 549頁

編集後記

「ひとたび世界を支配した民族が、再び歴史の表舞台に立つことはない」というのは歴史学の真理だそうである。そして、詩人ポール・ヴァレリーならずとも、「文明よ、我々は知っている、汝らが死すことを」である。

国或いは民族の衰亡に付随して、文明の終焉が突然に訪れることは滅多にない。衰退は文明にまず前兆が現れ、次いで、その果実を生み出した母胎、経済・軍事に至るからである。引き比べて、「鉄の文明」にかしづく我が「鉄鋼業、鉄鋼技術、鉄鋼科学」はいかん。ほころびが見えているのであろうか。

何かで読んだ魯迅の言葉に、「人は過去に繁栄を得たものは懐古派になり、現在悦に入っているものは保守派になり、現在寵を得ていないものは革新派になる」というのがあった。複雑系「文明」のベクトルはそれら様々な人々のバランスで決まるのであるまいか。

会稽生まれの魯迅だから、老酒家の片隅で極上の紹興酒をゆったりと味わいつつ思索にふける至福のときを過ごしたに違いない。その脳裏に去来したものは何だったのだろうか。

「ふえらむ」の手探りはなおも続く。

(K. I.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

副委員長 近藤 隆明 (NKK)

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

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000円 (消費税本会負担)

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

1996年5月10日第三種郵便物認可 1997年8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)㈱ニューマーケット

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

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021(代)

学会部門事務局: 03-3279-6022(代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023(代)

FAX: 03-3245-1355(共通)

郵便振替 口座東京 00170-4-193 番 (会員の購読料は会費に含む)

© COPYRIGHT 1997 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

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

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

Copyright Clearance Center, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

表紙デザイン 出澤 由野

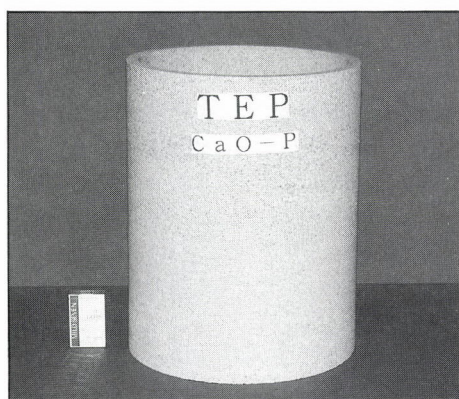
ふらむ Vol.2 No.8 広告目次

表2 住友金属テクノロジー(株)	後1 TEP(株)	後2 近畿日本ツーリスト(株) 旅行案内
試験分析サービス	カルシアセラミックス	表3 大同分析リサーチ(株) 試験分析サービス
後1 本誌広告目次	後2 (株)日本交通公社 旅行案内	表4 日本アナリスト(株) 各種分析装置

本誌広告取扱 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

多孔質“カルシア”セラミックス

CaO-P



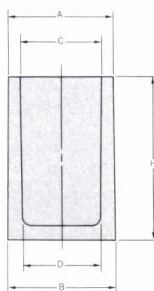
φ360×φ320×h460(上図サイズ)

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

【用 途】

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

るつぽ標準規格 寸法表▶



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

規格寸法以外もご相談に応じます。

熱の総合メーカー

TEP株式会社

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

旅、こころ

パッケージツアーはもちろん、お客様のニーズにお応えしたオーダーメイドの旅まで、旅のことならなんでもそろっています。
私たちは、旅する人の心を大切に、もっと楽しい旅をお届けします。

旅する人の気持ちで……JTB。



For Your Travelife

信頼される旅づくり



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

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

“旅”は人生の愉しみ

近畿日本ツーリストがお届けする、日本の旅くメイト、世界の旅くホリデイ。

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

人生航路でどれだけの素晴らしい旅を体験できるのだろう。

自然の心にふれる日本の旅…………… **メイト**

気ままに自由に世界の旅…………… **ホリデイ**

人が好き。地球が好き。旅が好き。

団体旅行のご用命は  **近畿日本ツーリスト** 市ヶ谷支店 ☎03-3222-3388

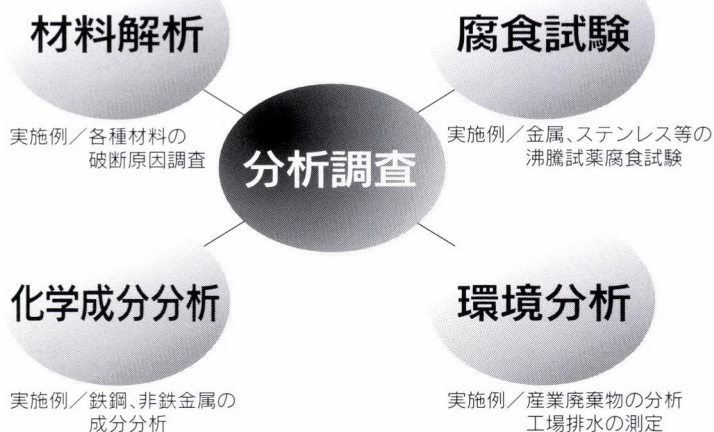
☎ 運輸大臣登録旅行業第20号

<http://www.daido.co.jp/dbr/index.html>

—— 80年の歴史と実績 ——
大同特殊鋼グループ

プロの目で お応えします。

大同特殊鋼で蓄積された
技術とノウハウで
材料開発・品質管理のための
調査および解析データを
提供します。



大同特殊鋼グループの総合試験分析研究会社



株式会社 大同分析リサーチ

DAIDO BUNSEKI RESEARCH, INC. ; DBR

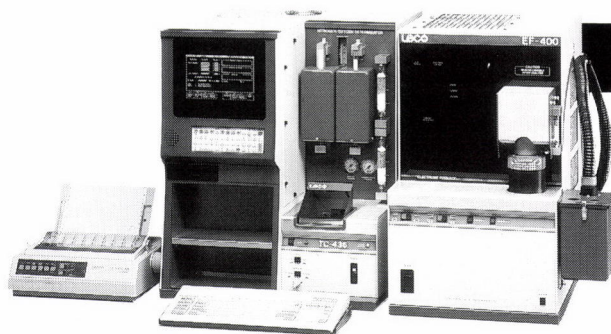
〒457 名古屋市南区大同町2丁目30番地 大同特殊鋼株式会社技術開発研究所内

TEL 052-611-9434・8547 FAX 052-611-9948

E-MAIL: jshimogo@daido.co.jp



金属・鉱石・無機物・セラミック中 C・S・O・N・H 分析装置各種



TC-436

酸素窒素同時分析装置

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

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

電子天秤: プリンター内蔵
オプション: 昇温抽出プログラム

姉妹機

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

CS-444

炭素硫黄同時分析装置

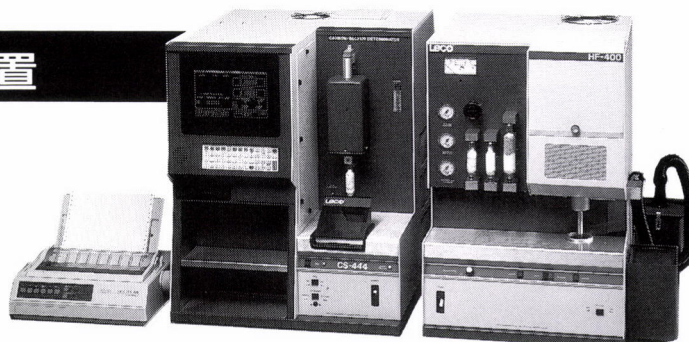
(鉄鋼, 非鉄金属, 特殊合金, 鉱石等)

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

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

姉妹機

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



RH-404

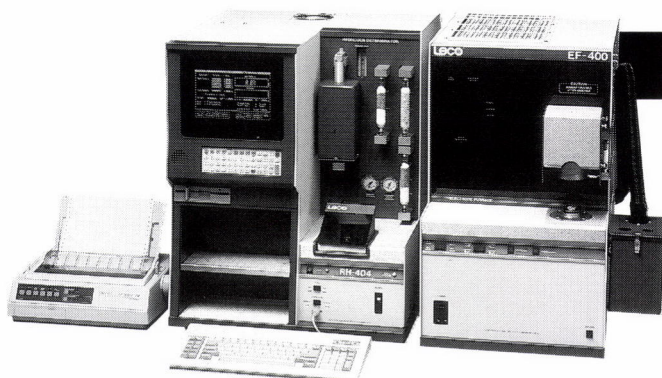
水素分析装置

(鉄鋼, 銅, チタン等)

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

姉妹機

RH-402 水素分析
DH-103 水素分析



常設展示中 分析方法その他
御相談承ります。



日本総代理店

LECO CORPORATION
U.S.A.

日本アナリスト株式会社



ISO-9002

No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

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