平成8年5月10日第三種郵便物認可　平成8年9月1日発行（毎月1回1日発行）

ISSN 1341-688X

ふぇらむ

Volume 1
No.9 1996
（社）日本鉄鋼協会会報

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

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

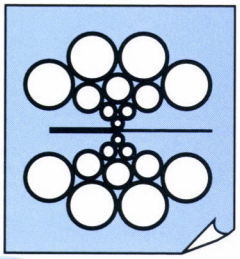
SENDZIMIR

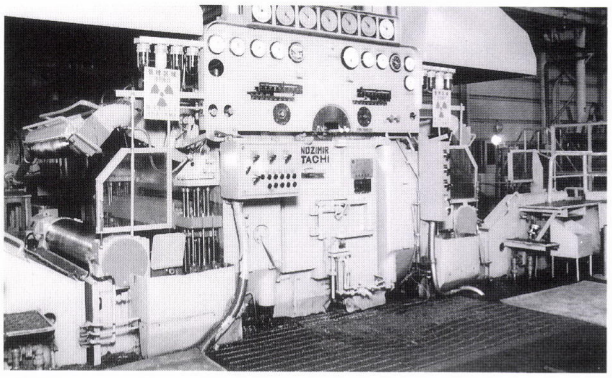
最先端の技術が生きる

日本センヂミア製 圧延機（20段及び6段）

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

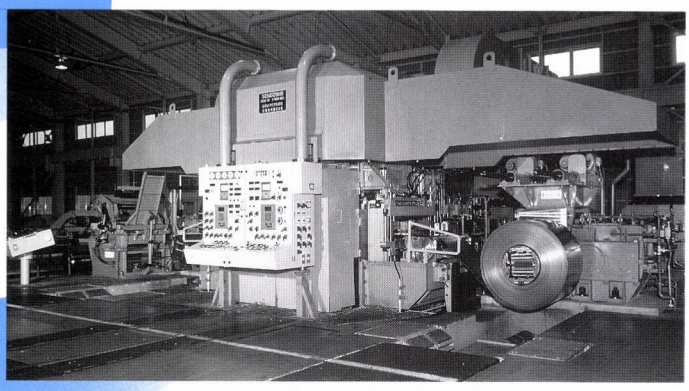
小型の20段センヂミアミルは
日本センヂミア㈱が製作納入致します。

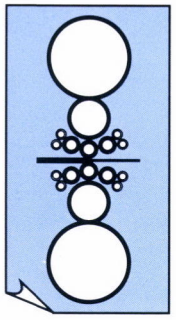




小型センヂミア20 HIGH MILL

形状制御機構は
- ●中間ロールシフト
- ●新AS・Uロールクラウン装置





センヂミアZ-HIGH MILL

形状制御機構は
- ●中間ロールシフト
- ●中間ロールベンディング

※ワイパーキズ、油切れでお困りのユーザーさんへ。
高性能ローラー型ワイパー（Z-ワイパー）の単独注文もお受け致します。

日本センヂミア株式会社
〒101 東京都千代田区東神田2-10-14 日本センヂミアビル9階 ☎03-3861-1541 FAX.03-3861-1543

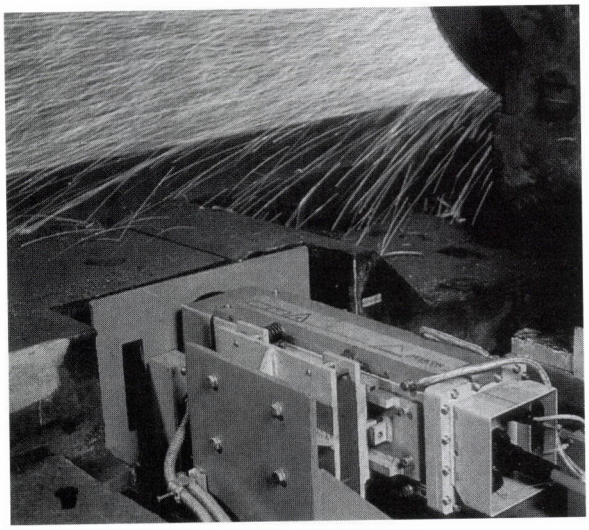
日商岩井株式会社 重機械部 圧延機械課
〒107 東京都港区赤坂2-4-5 ☎03-3588-2585 FAX.03-3588-4295

ドイツ／メザコン社
高精度レーザー測定器

MESACON
GESELLSCHAFT FÜR MESSTECHNIK MBH

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

☆レーザー長さ計、速度計　LV503型



主仕様例

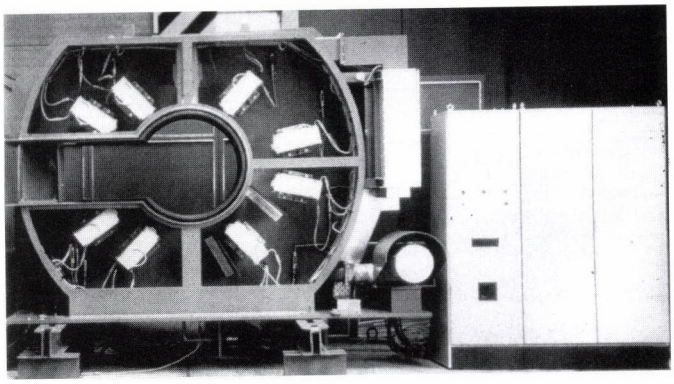
- 測定範囲：0～90m/sec又は
  −45～＋45m/sec（オプション有り）
- 焦点距離（許容距離変動）：
  1000（±50mm）又は2000（±100mm）
  （偏光システムにより近傍設置も可能）
- 測定精度：±0.05%（1000±50mmタイプ）
  ±0.10%（2000±100mmタイプ）
- 被測定物温度：最高1200℃
- 応答時間：1ms
- 光　　源：He／Neレーザー
  5mW（クラス3B）

☆オンラインレーザー形状測定装置　Mesameter P型

主仕様例　右図装置の場合

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

応用例：型鋼寸法測定
　　棒鋼寸法測定
　　スラブ寸法測定（オフライン）



MESAMETER P
（ドイツPreussag社納入のH鋼形状測定装置）

これからも世界の先進技術をご紹介してまいります。

日本総代理店
株式会社 マツボー　プラント2部
〒105　東京都港区虎ノ門3丁目8番21号
TEL.03-5472-1746　FAX.03-5472-1740

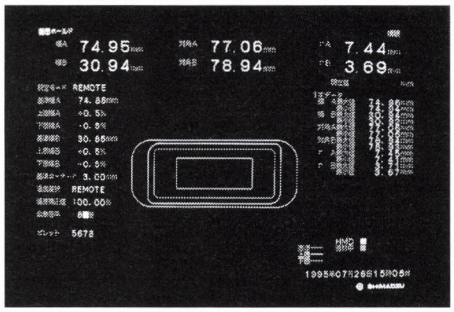
国内メンテサービス
株式会社 タウ技研
〒224　神奈川県横浜市都筑区佐江戸町181番地
TEL.045-935-0721　FAX.045-935-0731

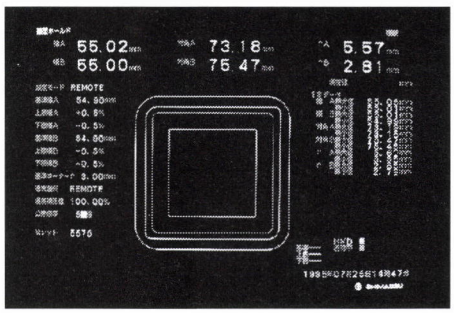
SHIMADZU

角鋼（四角，六角，平鋼）の圧延工程中の省力化

島津回転式寸法測定装置

SMSシリーズ





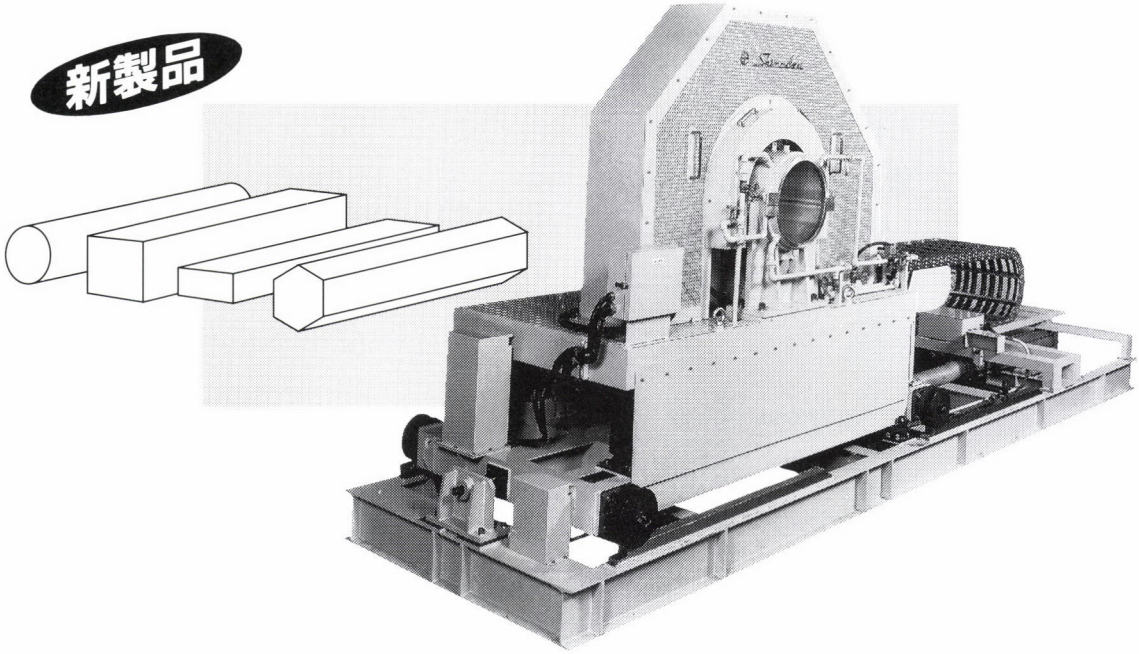
1. 角鋼（四角，六角，平鋼）の対辺，対角，コーナR等の寸法を圧延工程中に計測できます。

2. 熱間圧延中および冷間精整ラインに使用できます。

3. 回転方式であるため，全長にわたり計測ができます。

4. 非接触測定のため，被測定物に傷をつけません。

新製品



販売元

島津メクテム株式会社

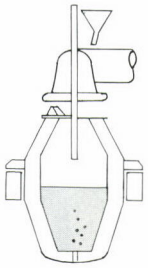
本　　社	〒520-21	滋賀県大津市月輪一丁目8番1号	TEL. (0775) 45-8565	FAX. (0775) 45-8277
東京支店	〒101	東京都千代田区神田錦町二丁目9番地　大新ビル5階	TEL. (03)3219-5858	FAX. (03)3293-5408
大阪支店	〒532	大阪市淀川区西中島5丁目2番5号　中島第二ビル4階	TEL. (06)300-0017	FAX. (06)300-0073
名古屋営業所	〒468	名古屋市天白区塩釜口二丁目1501番地　フェイム塩釜3階	TEL. (052)836-8121	FAX. (052)836-8122

炉外精錬装置

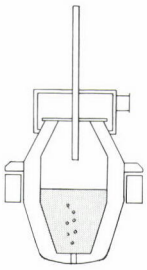
小容量装置(DETEM)から大容量熔鋼処理まで
品質改善と精錬費合理化に役立ちます

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

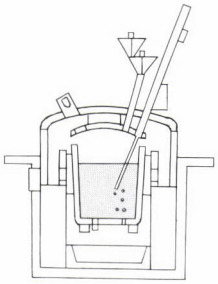
貴社の状況、ご希望等に応じて各種の炉外精錬装置を、お見積もり致します。お気軽にご相談ください。



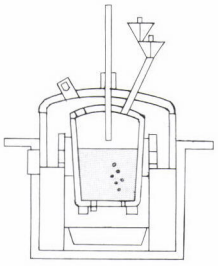
Inertgas Oxygen Converter



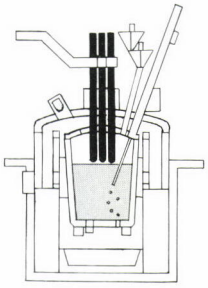
Vacuum Oxygen Decarburization Converter



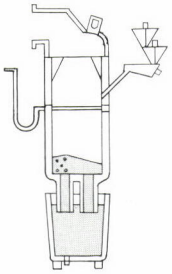
Vacuum Degassing



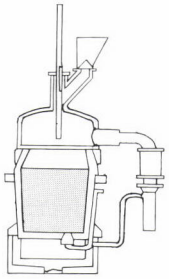
Vacuum Oxygen Decarburization



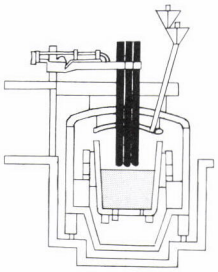
Vacuum Arc Degassing



Vacuum Circulation Process



Detem



Ladle Furnace

総代理店

株式会社 テクノヨコハマ

代表取締役社長　中村道生

本　　社　〒225 横浜市青葉区市ヶ尾町1161番地14
アーバンプラザA-2号室
TEL:045-972-1066　FAX:045-972-1065

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

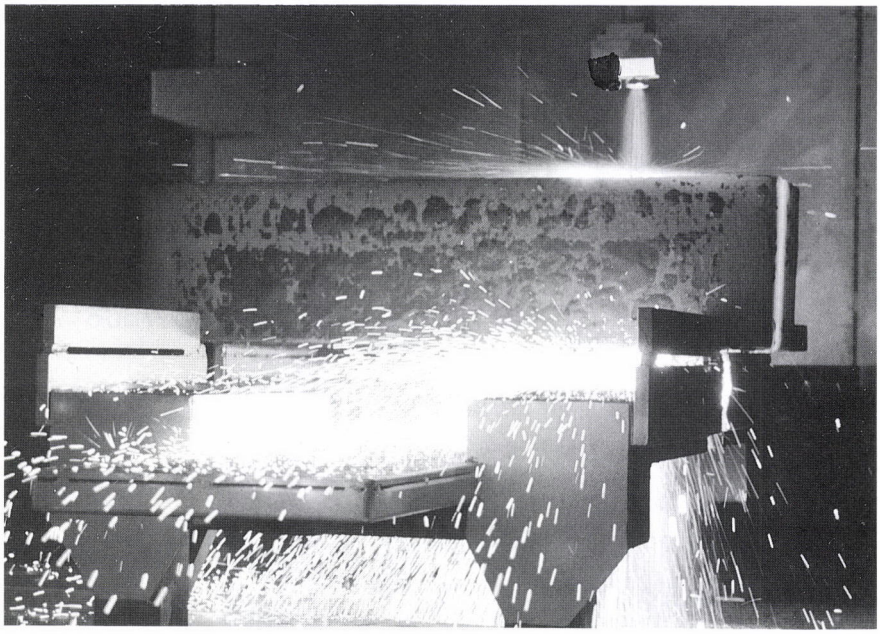
TECHNOMETAL
Gesellschaft für Metalltechnologie mbH

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

ゲガ社が開発した、
画期的で実用性に優れた酸素切断技術!!

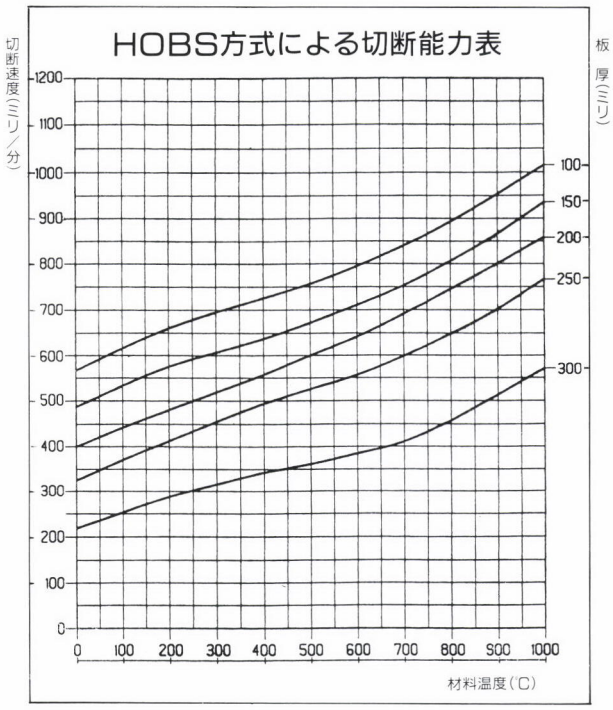
長年の経験と技術により開発されたこの〈高速〉高圧酸素切断方式(HOBS)は、従来の切断速度に較べ、約40〜60%以上の高速化を実現することができました。

GeGa



〈適正な設定条件例〉

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



GeGa製品についてのお問い合わせは：

株式会社 トライメート

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

ふぇらむ
Vol.1 (1996) No.9

CONTENTS

目次

IRON & STEEL

地震に耐える

倒壊建物19万棟、死者6300人、30万余の人に長期の避難生活を余儀なくさせ、神戸市に壊滅的な被害をもたらした阪神大震災。1000年に一度といわれるこの大震災は、地震に対してあまりにも無防備な都市の姿を浮き彫りにした。あの悪夢のような体験からすでに1年半。建築、土木などの分野では耐震の再評価と免震・制震へのアプローチが積極的に進められ、「地震に強い建物」「地震に強い構造物」に関する研究の成果が着実に実りつつある。そこで、本号では、地震と戦う最新テクノロジーの“今”をレポートしよう。

地震と戦う最新テクノロジー

阪神大震災後、免震や制震など地震力を制御する技術に注目が集まっている。特に免震構造は被災地域での成果が広く知れ渡ったことから、マンションや病院などを中心に急速な勢いで導入されつつある。免震、制震技術は、既存建築の補強手段としての応用範囲も広く、今後ますますこれらの技術が普及することになるだろう。

「耐震」から「免震」「制震」へ

阪神大震災においては、1981年に施行された新耐震設計法以降に建てられた建築物の被害は概して少なかったことが報告されている。実際、現在の耐震設計技術をもってすれば、さらに大きな地震が襲っても建物を十分に安全なものにすることができる。

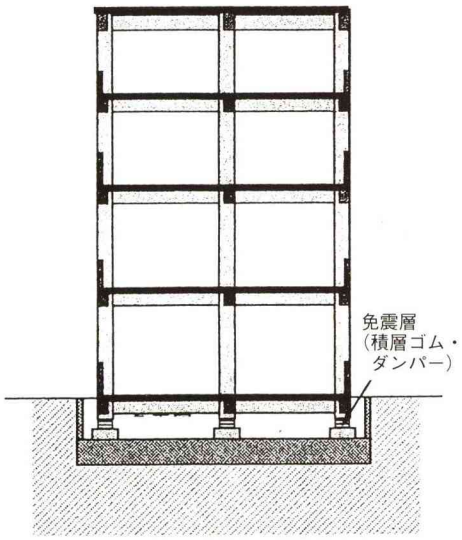
だが、建物は安全でも、地震によって発生する激しい揺れは止められない。揺れは、地面より建物内の方が増幅されて大きくなるので、建物の倒壊は免れても、内部にいる人は激しい揺れのためパニックになったり、怪我をすることになる。あるいは、設置されているコンピュータシステムが破損し、大きな被害を被ることも予想される。そこで脚光を集めているのが、この揺れを抑えるための免震・制震の技術である。つまり、地震がきても壊れない「耐震」から、揺れを逃がす「免震」、揺れを制御する「制震」へと、技術的な焦点が移っている。

とりわけ免震については、阪神大震災被災地域にあった松村組技術研究所・研究棟と郵政省ＷＥＳＴビルの2棟の免震ビルが、いずれも建物の最大応答加速度が地表面の3分の1から4分の1程度に収まったことが震災後に明らかになった。その結果、はからずも免震構造の効果が証明され、免震技術をにわかに普及させる大きな契機となっている。建造物は日本建築センターで審査され、建設大臣が認可するが、その件数も、阪神大震災までの10年間で約80件だったものが、震災以降は毎月20件以上のペースと、大幅に増加している。

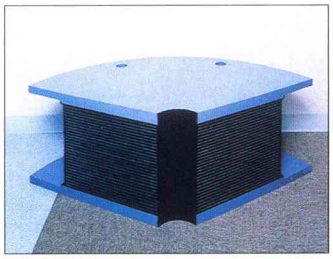
免震は21世紀のスタンダードテクノロジーに

では免震、制震構造のシステムとはどのようなものか。免震とは、建物を免震部材で支えて地面から浮かせることで、地震の激しい揺れから逃げる技術である。つまり、建物の構造自体で地震エネルギーに対して抵抗するのではなく、建物にかかる地震の力を吸収して弱めようとするものだ。具体的には、通常建物の基盤と地盤の間に免震層を設けて絶縁する仕組みになっている。免震層は基礎と構造体の間にあって、一般的にはアイソレーター機能をもつ積層ゴムと、減衰機能をもつダンパーから構成されている。この積層ゴムは、薄い鉄板とゴムシートを交互に重ねたもので、ゴムはコンクリート並の強度を備えている。また最近では、鉛プラグ入り積層ゴムや高減衰積層ゴムなど、積層ゴムそのものに減衰機能を持たせたダンパー一体型積層ゴムが主流となりつつある。

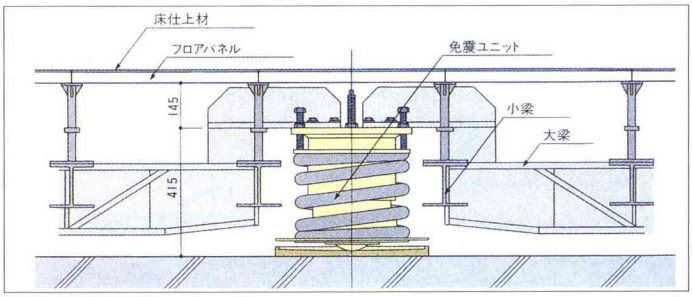
この免震構造によって地震動は周期の長い緩やかなものになり、大地震時の加速度を3分の1から4分の1に低減できる。また、耐震建物では上層部ほど激しく揺れるが、免震建物では下層から上層まで同じようにゆっくりと揺れる



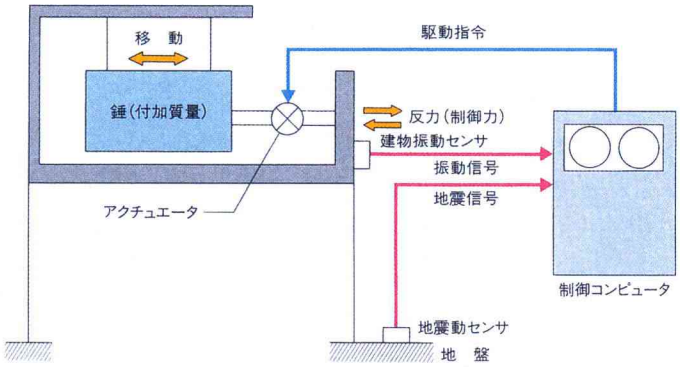
免震構造



免震に用いられる積層ゴム・減衰装置

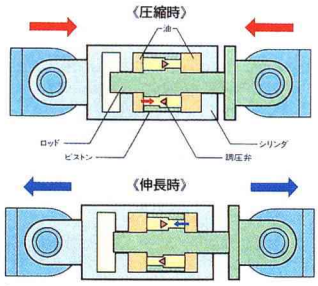


免震層の構造（水平・上下免震型）

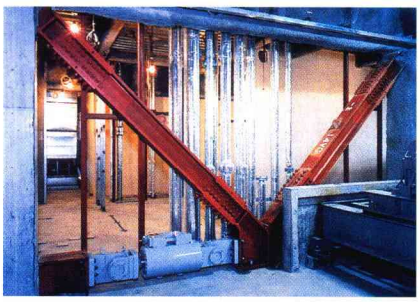


アクティブ制震。センサが地震動や建物の揺れを感知すると制御コンピュータが信号を分析、アクチュエーター（駆動装置）に指令を送る。アクチュエーターは錘の揺れを制御し、建物の振動を押さえる。

制震構造のＪＡＬビル



パッシブ制震用ダンパー



JALビルに用いられたパッシブ制震ダンパー

首都高速道路における耐震補強工事

ことになる。現在、免震化に伴うコスト増は一般に建設費の5～10％程度。既存建物の補強や免震床として特定フロアへの部分応用なども簡単に行えることもあり、免震構造はオフィスビル、集合住宅、病院、公共施設などはもちろん、最近では一般住宅にも急速に普及しつつある。免震技術で多くの実績を誇る鹿島㈱では、町全体の地盤そのものを免震構造にしてしまうといったプロジェクトも発表しており、免震技術は次世代のスタンダードテクノロジーのひとつとなる勢いだ。

「パッシブ」と「アクティブ」－2つの制震技術

地震の揺れを「逃がす」ばかりでなく「抑える」ことも可能な制震技術は、一般に機械装置を駆動して揺れを抑えるアクティブ制震と、建物に組み込まれたダンパーが揺れを吸収するパッシブ制震に大別される。中低層ビルから高層ビルまで適用範囲の広い技術だ。

アクティブ制震のひとつにアクティブ振動吸収器というシステムがある。これは、建物の屋上部に設置した錘を建物の揺れとは反対方向に積極的（アクティブ）に駆動し、揺れを打ち消すというシステム。高度なコンピュータ制御によって成立するシステムで、高層ビルに多く用いられている。一方、パッシブ制震用ダンパーを主要骨組の層間に組み込み、層間変形が起こるとエネルギーを吸収して揺れを減衰させるものが一般的。現在は降伏点の低い鋼材や鉛、粘性体などがダンパーに用いられている。パッシブ制震構造の特徴は、地震エネルギーを吸収することによって、主要骨組への応力負荷を軽減できる点だ。また現在の耐震設計では大地震時に構造体を塑性化させることによってエネルギーの吸収を行うが、制震構造のダンパーのエネルギー吸収能力を利用して、主要骨組に損傷を与えない設計も可能と言われている。トータルコスト面でのメリットもあり、このパッシブ制震は中低層ビルから高層ビルまで適用されており、これからさらに注目を集めていきそうだ。

急ピッチで進められる耐震補強工事

今まで建築における最新の対地震技術について述べてきたが、最後に土木における動きも紹介しておこう。

土木においても、免震技術が大幅に取り入れられている。現在、新たに工事が行われている道路の橋脚や橋の橋梁に免震支承（免震機能をもたせた荷重支持システム）の採用が進んでいる。免震支承の構造は、基本的には建築の免震と同様である。固有振動周期を長周期化するアイソレーター機構と減衰を増大させるダンパー機構が一体となっている。

また、既存の道路や鉄道などの土木構造物の耐震補強も大きな課題のひとつとなっており、積極的な取り組みが図られている。例えば、高速道路。首都高速道路では、鉄筋コンクリート製の橋脚に鋼板を巻いて、耐震性を向上させる工事が進行中だ。鋼板の厚さは、10㎜前後。巻き終わった鋼板と柱の隙間は４㎜程度となり、ボルトで調整してから鋼板を溶接し、隙間にエポキシ樹脂を注入して一体化させるという工法である。これによって、約2倍の粘り強さをもった橋脚が誕生することになる。

首都高速道路公団では95～97年の3カ年で全路線のＲＣ橋脚5100基、鋼製橋脚2100基の合計7200基について、耐震性向上工事を実施していく計画だという。土木に限らず、建築・プラントなども含め、全国の耐震補強工事は、これからの数年間がピークとなる。

［写真提供：鹿島㈱、首都高速道路公団］

地震の前に何かが起こる
ー動物の異常行動に見る地震の予兆ー

岡山理科大学理学部教授
大阪市立大学名誉教授　弘原海　清
Kiyoshi Wadatsumi

地震の前に動物や自然現象が、さまざまな前兆を示すことが明らかになってきた。その前兆はなぜ起こるのか。そこにはどのようなメカニズムが隠されているのか。阪神・淡路大震災直後、一般から集めた前兆証言を1冊の本にまとめて話題を呼んだ、地質学の専門家、弘原海清教授にお話をうかがった。

地震とその前兆証言

―― 先生は阪神・淡路大震災のあとすぐ、1,519件もの地震の前兆証言を集めて本にまとめられていますね。証言は、やはり震源地が近くなるほど多かったのでしょうか。

弘原海●兵庫県の南側と大阪が主要な地域です。高校や中学校での調査でも前兆異常を経験した人は震源の中心でだいたい30%、震源地の外側になるほど数が減っているのは事実です。

―― 動物などに多くの前兆異常が見られるようですが、2、3例目立つものを教えてください。

弘原海●ペットの室内犬や猫が、トイレでもないのに真夜中に動き回ったりうなったりする。地震の数時間前から落ち着きがなくなり、犬は外に開放されたい様子で扉に向かって吠えたり、1階、2階を上がったり下りたりする。室外犬では小屋から出て鎖をちぎろうとする激しい行動や、ぐったりして毛を逆立てて、失尿するなどというのがあります。エサも食べないし、吐いたりもする。野島断層の走る北淡町では普段から鎖でつなぐ習慣のない犬や猫をはじめ、動物は地震直前に全部姿を消したそうです。犬は普段と地震の前とでは“鳴き方"が変わったりもするようです。

―― ペット以外の動物で、体質的に地震の前兆を感じやすいものはいますか。

弘原海●穴に棲んでいるようなものは感じやすかったんじゃないでしょうか。神戸王子動物園では放し飼いにしていたシマリスが、冬ですからもぐっていて皆死んでしまったという例がある。また、北半球では必ず反時計回りに泳ぐイルカが突然時計回りに泳ぎだし、普段はあまり跳ねないのが跳ねているな、と思っていたら前震が4回きた。その後もそれが収まらず、皆が警戒していた次の日に大きい地震がドーンときたという。カラスなども大きな集団を作り、鳴き方のトーンがいちじるしく変わるようですね。

―― 大勢の人たちが目撃しているのでしょうか。

弘原海●カラスが目撃されている例は多いですね。気味が悪いから目立つんです。どんどん群をなしてものすごい声を出して飛んでいくものだから、地震の前のいつの時点でいなくなって、どういう方向へ飛んで、どこに群がったかというのが、カラスについてはよくわかるのです。

―― 人間はどうでしょうか。

弘原海●人間の場合は、普段健康な人が頭が痛くて立っていられず、横になっていたら地震がきたとか、変な夢を見たなどというのがあります。でも個人差が大きくて、敏感な人とそうでない人では全然感じ方が違う。また「変に思われては困る」といった判断まで入ってくるから、なかなか皆さん実際に口に出してはいえないようです。しかし今回の阪神・淡路大震災では、さまざまな前兆異常を経験した人がかなりおられます。私の集めた「前兆証言1519」（東京出版）で一種のタブーが破れ、そういった証言を検証しようとする研究も始まりつつあります。岩石破壊や雷が起こる時に生じるようなパルス電磁波の実験からも、地震の前に多種類の動物が異常な反応を示すことはだいたいわかってきているのです。

前兆異常はなぜ起こる

―― 動物や人間は、なぜ地震の前兆異常を示すのでしょうか。

弘原海●地下で岩石が割れるときに圧縮された大きなエネルギーは地表の電磁波や地電流となり、また渦巻きの雲となって岩石の微粉（帯電エアロゾル）を空中に撒き散らします。これら地電流、電磁波、帯電エアロゾルがおもな原因と思われますが、阪神・淡路大震災前、数日続いた前兆異常の様子から、私は中でも帯電エアロゾルに大きな原因

があると考えました。帯電エアロゾルの岩石の微粉はプラスの電気を帯びていて、重力で降下しながらマイナスの電気を持つ地表に吸い寄せられるかたちになる。動物にとって、マイナスの電気の多い森林などは気分がよい場所であるのに対し、プラスの電気の多い都会の雑踏などの状況は、強いストレスの原因となることが医学的にも解明されています。プラスの電気は動物に大きな刺激を与え、特に体の弱った者に強く影響します。例えば子どもを産んで、体が疲れた状態にあるご婦人はこの刺激を受けやすいという。動物病院でも術後順調に回復していた犬が、地震前に突然、原因不明のまま死んでしまったと聞きます。阪神・淡路大震災前1週間に、神戸のイオンテスターメーカーでは製品のテスト中、通常の10倍以上のプラスイオン（電気）が計測されています。

―― 帯電エアロゾルはどのような動きをするのですか。

弘原海●帯電エアロゾルはいわば塵についている電気です。塵は沈下しますから、空中よりも地表に濃縮してきます。特に囲い込まれた場所は帯電エアロゾルが移動せず、オープンスペースに比べて数十倍、数百倍の密度で濃縮する。犬が犬小屋や家から出たがるのも、そのような場所から逃れるためと考えれば説明がつく。帯電エアロゾル説はそもそも20年程前に主張している先生がおられて、僕はその説明を見てこれだな、と感じて検証しているのです。

―― ナマズなど、水の中の生物が前兆異常を示すのもやはり帯電エアロゾルの影響ですか。

弘原海●これまでは疎水などのナマズが岸に寄って暴れているのを人が見て、地震と関連づけていました。ところが今度の証言では、木の台の上に置いてあったプラスチック水槽の中のナマズ、フナ、金魚、ドジョウなども暴れたといいます。こうなると生き物が暴れる原因は単なる地電流とは思えない。プラスチック容器の水の中に電気が流れる原理は、空気を取り入れる口から帯電エアロゾルが侵入して、水に溶けたために電気に変わったという私の考え、もしくはパルス電磁波が、水を通過するという説が有力です。

―― ごく小さな生き物にも前兆異常はあるのでしょうか。

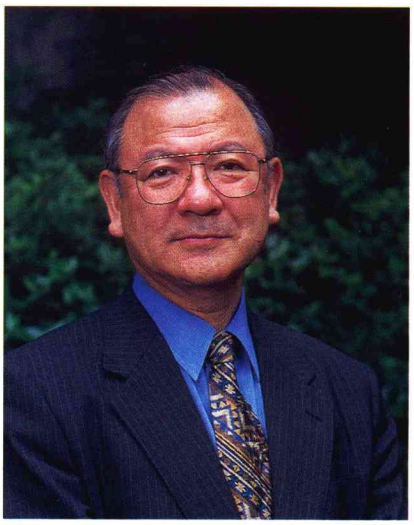
弘原海●中国の例ではヘビ、モグラ、ネズミなど穴に棲むものが一番先に、1カ月か、もっと早い段階から異常を示したといいます。そのあと大きな動物が暴れ、地震直前24時間前ぐらいから一斉に、種類を問わないほど多くの動物が異常を示した。日本の伊東の例では、ミミズが側溝に束になって積もっていたというのがあります。

―― 動物以外の前兆異常はどうでしょうか。

弘原海●自然の話でも、太陽が赤かったなどいろいろあります。地表から低いところでは光が空気を通る層が長いから、光が吸収されて赤くなる。真上でも真っ赤であるという状態は普通では考えられないから、その間の空気が異常で非常にきたない状態であったということです。逆に手の届くようなところで、星がたいへん数多く見えたなどという例も世界中にあります。空がものすごくきれいな状態とものすごくきたない状態と全く矛盾した話です。これを同時に説明しなければならない。これも、私が帯電エアロゾル説を支持している論拠のひとつです。帯電エアロゾルは空中に舞っている塵が電気を帯びたものですから、ある段階でくっつきだすと一瞬にして集団をつくり、層をなす。層と層の間には塵ひとつない空間が突然できるのです。だから帯電エアロゾルに満ちた層を通せば太陽が赤く見え、分離して無塵状態の隙間から見れば非常に美しい星空が見えたりするのではないでしょうか。

弘原海　清
（わだつみ きよし）

1932年兵庫県生まれ
大阪市立大学理学部教授
理学部長（1993.4～1996.3）
理学部地球学科・地球環境情報講座担当教授
大学院理学研究科主任（1993.4～1996.3）
地質学専攻・表層構造地質学担当教授
現職：岡山理科大学理学部教授
大阪市立大学名誉教授
■所属学会および主な活動
日本情報地質学会、情報知識学会、日本地質学会
日本地震学会



地震と前兆異常の関係

―― 動物や自然の前兆異常によって、そのあと起こる地震の規模や種類を割り出すことはできそうですか。

弘原海●起こった地震の前兆異常を調べるのと、このさき起こるであろう地震にそれをどう用いるかではかなり違いがあります。未来に地震がある場合に「あ、犬がなきましたよ」とか「月が赤かったよ」という話があっても、それがすぐ地震に結びつくか予知できるかとなると難しい。例えばミミズがいっぱい出てきたからどうだとか、そういう前兆がどのくらい集まればどうだ、という判断をどこでくだすのかが問題です。しかも本当に予知すべき地震というのは、マグニチュード6よりも大きい、さまざまな被害の出る可能性のある地震なわけです。たとえばマグニチュード約5.8の河口湖の地震あたりで、ようやく私が考える、予知の対象となる範囲の地震です。あの時も実際、かなりの証言がきていて、“おかしいよ”とは思っていました。しかし前兆異常は犬や猫が暴れるという段階にまではきていなかったのです。その段階で地震がくると公表していたら当たったということになっていたのかもしれませんね。

―― マグニチュード 5.8ぐらいの地震では、本当に敏感な動物ぐらいにしか変化は見られないということですか。

弘原海●そのようですね。動物病院の患畜は確かに倍ぐらいに増えるようです。犬や猫も頭が痛いという程度のことがあって、病院に連れてこられる件数が増える。それが河口湖の地震の段階なんです。伊東の群発地震のときもヘビ、ミミズ、モグラ、ムカデなどでは出ているが、犬や猫に関する前兆異常は出ていない。この段階での地震であればさほど大きな地震には至らないか、もしくはこのあと前兆異常が犬や猫にまで発展すれば、さらに大きな地震に結びつくのか……。このへんが予知の難しいところであり、逆に予知の可能性があるところでもある。起こるかもしれないが、もし起こったとしても大したことはないかもしれない。この段階で、その状況をどういうふうに伝えるか。これはかなり研究していかなければいけない問題です。

―― 犬や猫が異常を示した場合はどうでしょうか。

弘原海●これまでの国内外数十件の被害地震の例では、犬や猫が狂ったり、ネズミが歩き回るような状況はすごい地震を意味します。動物たちがここまでの異常を示すような段階になれば、本当に大規模な地震を予知することになるでしょう。しかし一番の問題は、そういう状況が起こってからいざ地震がくるまでの時間は、世界平均で約23時間なんです。その間に情報を集め、判断し、流さなければならない。大地震寸前になって、思い切ってそこまでの情報を流すことが本当に可能なのかどうか。だから私はよほど小さい前兆のときから予知という行動を盛り上げて、最終的には自己判断で行動をとってもらわなければいけないと思っているのです。前兆異常を見ている人は統計的には震源から半径200～300km以内の地域に住んでいる人であり、私はコーディネーターとして多分、地域外にいるわけです。そのあいだで情報をやり取りするには時間はあまりに短く、そんなことをしていたら実際の地震には間に合いっこない。だから私は証言内容を本にまとめました。大地震の前にどんなことが起こるかだけでも皆さんの記憶にとどめておいてほしいのです。あとは自己判断で、これは信じませんよというのもいいし、似たような前兆がでたら警戒して2階で寝るとか、この家なら大丈夫とかいう判断をする。皆さんがそれぞれの考えで行動してくれればいい。前兆異常に直面している被災想定地の人々の、自己判断と自己責任による行動が必要なのです。私はできるだけ事実を伝える。誰かがやらなければいけないからやっているだけです。

これからの地震予知の方向

―― 先生ご自身は、今後どのように地震の予知をしていけばよいとお考えですか。

弘原海●地震の前兆には段階と、それに応じた地震のサイズがあるようなので、私はもう地震という言葉を使うのはやめようと思います。地震ではなく宏観異常*の変化を共有する。いまはフリーダイヤルの専用ファックス(0120-199-144)を設け、広く一般市民の方から前兆異常の情報をモニタリングしています。これまでの情報提供者は、おもに独自の視点をもって長い間宏観異常に注目している人などです。この段階を日常ステージとすれば、ここ1年数ヵ月の経験では、地域あたりの日常ステージ情報量はあまりにも少なく、統計にはなりません。ですからこれからはこれに活断層や地震空白域などのデータを加味して「要注意地域」を限定し、イエローマーク地域（イエローステージ）とします。インターネットのホームページ地図上でこの地域に呼びかけ、1週間～1ケ月だけ周辺地域を観察してもらい、情報を送ってもらう。ここでは情報量が2、3桁に増大することが期待されます。日々この情報量が減少すればグリーン、増加すればピンク、レッドと示す。阪神・関東・東海地区や中国など、大地震の多くの例をデータベースを使って図示し、地域住民に宏観異常と地震の関係の学習および自己判断の支援をします。私の方からはあくまでも宏観異常の時系列的な発生状況の通報のみを行う。それを見ている現地の人が自己責任で対応すればよいのではないでしょうか。国などの公の機関が予知する場合、国の責任問題などがありますが、「宏観異常が起こるらしい」ということなら、報道機関でも対応できると考えられます。

―― インターネットを使用しない方たちはどうですか。

弘原海●全国各地のボランティアがネットワークをつくる傾向にあります。このネットワークを通じて、一般の人たちにも情報がいくようになる。完全なネットワークシステムではなくとも、情報が人から人へ草の根的につながっていく。そういう方向にいかざるを得ないと思います。各地域の特徴があるから、それぞれの体制でやればよい。あと1年だと思いますよ。小学校でもインターネット利用をはじめますから、子どもがキーボードを叩いて、「こんなことをいっていたよ」というかたちで母親にいうようになる。そうすれば、ごく一般の人たちにも宏観異常の情報が耳に入ってくるようになるでしょう。日本全国区で考えれば、マグニチュード6以上の地震は毎年数回は起こります。宏観異常のセンサーは人間ですから、この方法によるシステムの検証と経験の蓄積は進むと思いますよ。

―― どうもありがとうございました。

＊宏観異常　機器観測によらず人間によって観察される現象

鋼構造における耐震技術の最新動向

建築基準法では新耐震設計法を定めているが、阪神大地震以降、構造耐力上の安全確保についてさらに議論、検討が進められている。また、土木においては道路橋示方書の耐震設計編が96年度中に改定されるなど、まさに新たな基準作りが進められている最中である。ここでは、次世代の耐震技術確立に向けて積極的なアプローチが進められる「鋼構造の耐震技術」の最前線を紹介しよう。

阪神大地震が突き付けた2つの課題

阪神大地震によって、建築の鋼構造における耐震技術の重要性が広く一般にも認識されることになった。そして、震災における被害状況の分析が進行した今、次の2つの項目が鋼構造における耐震技術の大きな課題として浮かび上がっている。

ひとつは、鋼材の破断の問題である。阪神大地震によって、建築物を支えていた鋼材には、柱梁接合部の溶接破断をはじめ多くの破断が発生した。そこで、破断現象の解析と対策技術の研究が始まっている。破断発生の要因には不明な点も多く、材料の性質、施行、設計など総合的な解析、研究開発が求められている。

そして、もうひとつは、溶接接合部の施工品質の問題である。建築構造物では、柱に角形鋼管を、はりにH形鋼を用いた両方向ラーメン構造を採用するケースが主流となっている。特に中小鉄骨構造物ではその傾向が顕著だ。この柱はり接合部は、部材の塑性化による建物の耐震性能を発揮させる上できわめて重要な役割を担う部位であり、従来形式の柱はり接合部の加工にあたっては、高い溶接技術による施工と厳密な品質管理が不可欠となっている。阪神大地震における鉄骨構造物の被災事例は、柱はり接合部の溶接施工における品質管理の重要性を浮き彫りにした。

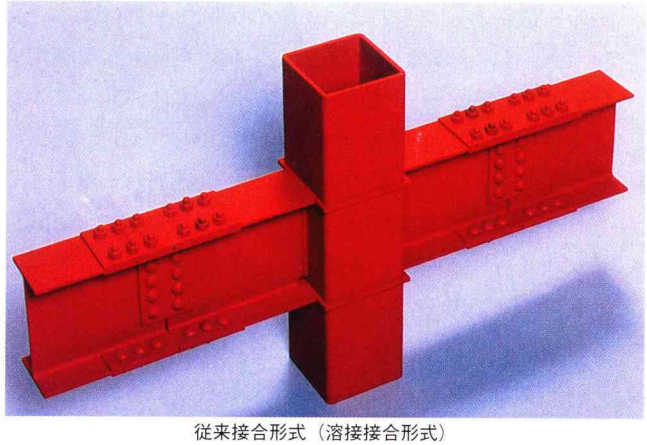
つまり、溶接熟練工の高齢化などの現実を踏まえた上で、今後いかに一定の品質を備えた溶接接合を実施していくか。それが阪神大地震が突き付けた、もうひとつの克服課題である。

新しいボルト接合が耐震性能を向上

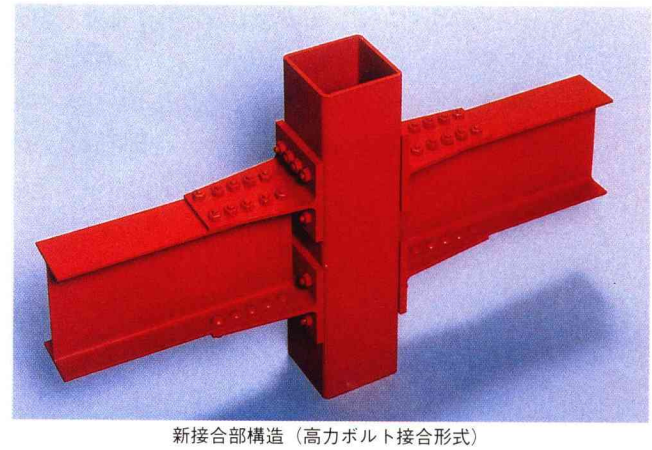
溶接接合の品質管理の問題は、建設業界全体の問題としての取り組みが必要となるが、こうした課題について、鋼構造設計の新たな発想による、いくつかのプレゼンテーションがなされている。

例えば、新日本製鐵㈱が中低層建築物を対象に開発した、ワンサイドボルトを活用した新接合部形式。これは、従来形式の接合部に用いていたダイアフラムを取りやめ、一方向から締め付けることができるトルシア形高力ワンサイドボルトを用いて、H形鋼はりを角形鋼管にスプリッティーを介して高力ボルト引張接合するものだ。従来の溶接接合形式の組み立てに際しては、多くの溶接が必要となるのに対し、新接合部では、スプリッティー接合用のボルト孔を開けるだけの加工となり、ダイアフラムを設けるための角形鋼管の切断・溶接加工を一切必要としない。つまり、この新接合部形式は高度な溶接技術や溶接品質の検査・管理を必要とせず、工具による高力ボルト締めのみで施工可能なため、品質にばらつきのない安定した施工品質を実現できるわけだ。

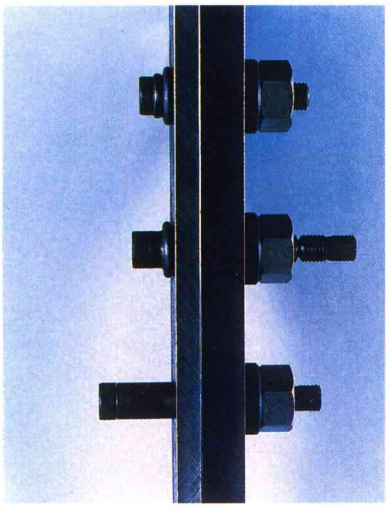
「ボルト接合を広めていくことが、社会全体の耐震性能を高めていくことになる」という同社の考えは、建築物の90%以上が5階建以下、約50%が鋼構造という状況を考えれば、きわめて現実的な提案と言えるだろう。



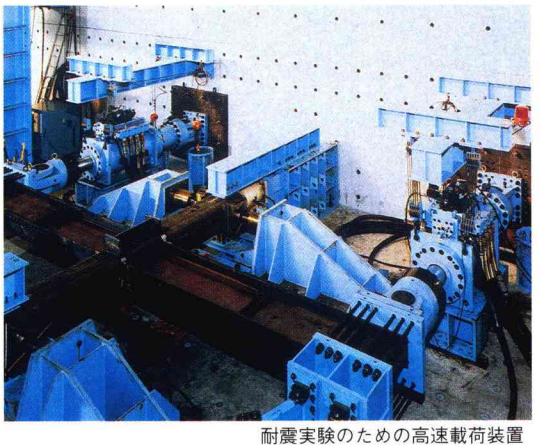
従来接合形式（溶接接合形式）



新接合部構造（高力ボルト接合形式）



ワンサイドボルト／ボルト締めの工程
一方からボルトを締め付けると反対側にボルト頭が形成され、固定される。（工程順は下から）



耐震実験のための高速載荷装置

動的解析による土木の新しい耐震設計法

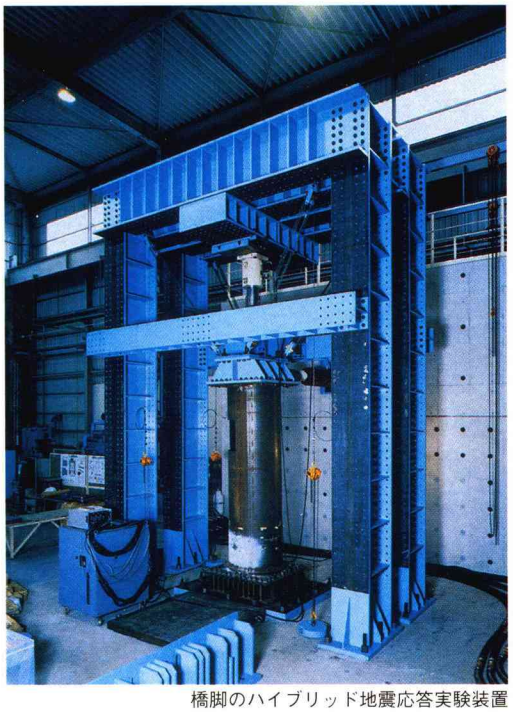
一方、土木における鋼構造の耐震設計は、まさに今、新たなスタートを切ろうとしている。今年度に発行される道路橋示方書の耐震設計編改訂を皮切りに、97年度には鉄道構造物の耐震設計標準が、港湾も98年度までには新たな技術基準を改定する。つまり、今はすべての土木分野において、改定作業の真っ只中という時期なのである。

では、鋼構造の耐震設計はどのように変わるのか。言うまでもなく、想定される地震力が変わることになる。もちろん兵庫県南部地震と同レベルの地震に対応したものになるわけだ。とすると、阪神大地震を引き起こした地震力に対して、弾性域でもたせる設計を行うのは現実性に欠ける。したがって、降伏した後の塑性変位領域でどのくらいもちこたえられるか、崩壊せずにどのくらい地震エネルギーを吸収できるかが問題になる。つまり、建築の新耐震設計法と同様の発想となり、道路橋示方書には構造物が崩壊するまでの塑性域の変位照査が取り入れられる。

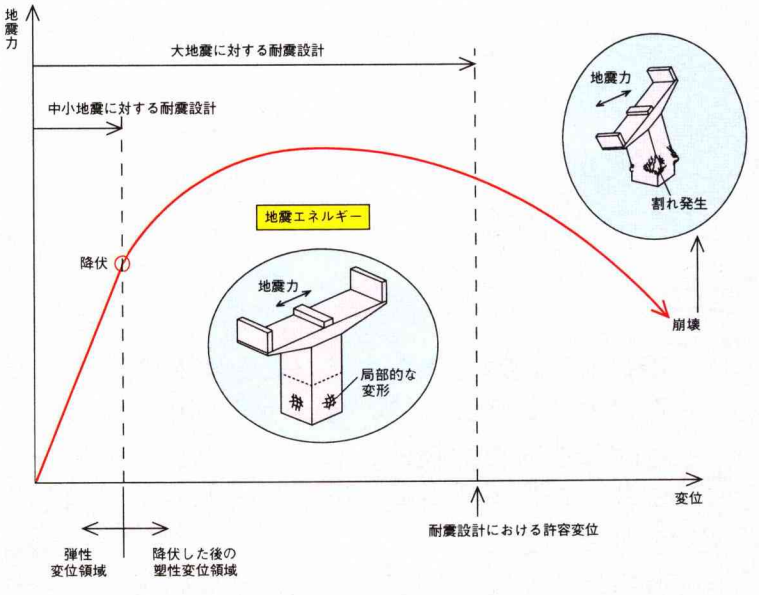
これにしたがって、鋼構造の設計法も従来とはまったく異なったものになる。今までの「震度法」は、地震力を静的な荷重に置き換えて構造解析を行う手法だったが、新しい耐震設計法では、実際の地震時の揺れに対応した構造物の挙動を求める動的解析の手法が用いられる。現在は、この動的解析法を確立し、解析のためのソフトウェア開発を目指し、各省庁や大学、大手メーカーが共同でさまざまな実験を行っている。

もともと大きな地震によって崩壊した土木構造物が過去にほとんどなかったこともあり、既存の耐震設計法が長い期間踏襲されてきたといわれる土木の鋼構造の世界。地震に耐える次世代の耐震設計は、まさに今、緒についたところと言えるだろう。

［写真提供：新日本製鐵㈱］



橋脚のハイブリッド地震応答実験装置



新しい耐震設計法の概念

話題の PRODUCT
プロダクツ

大画面・薄型
ディスプレイTV

多様化時代を迎えた電子ディスプレイ
大画面の本命はカラーPDP

1998年、長野で冬季オリンピックが開催される。
東京オリンピックでのカラーテレビの普及など、オリンピックはテレビの新規需要を掘り起こす大きな契機となってきた。
現在、長野冬季五輪の開催にあわせて、40型ハイビジョン壁掛けテレビの実用化が進められている。
壁掛けテレビの開発は、家電業界の長年の夢といわれるが、その現状はどうなっているのだろうか。

ハイビジョン放送の先行きは不透明だが

1988年ごろから始まったテレビの大画面化は、従来型テレビで最大45型まで進んだ。その後、従来型と画面比率の異なるワイドテレビが開発され、1994年に米国で開催されたサッカー・ワールドカップは、その普及を促進させた。

テレビ受像器は、カラー化以降は根本的な技術革新を経験していない。買い換え需要に頼った現状を打ち破るには、大きな技術革新と、魅力的な新商品の開発が待たれているのだ。

もっとも期待されているのは、ハイビジョンテレビである。ハイビジョン放送は、NHKが1964年から開発を始め、1989年に試験放送が開始された。画面の精度を決定する走査線数を、従来型テレビ（national television system committee：NTSC方式）の525本から1125本へ、画面比率を4：3から16：9へと変更したハイビジョンは、世界初の高品位テレビ（high definition television：HDTV）規格だった。

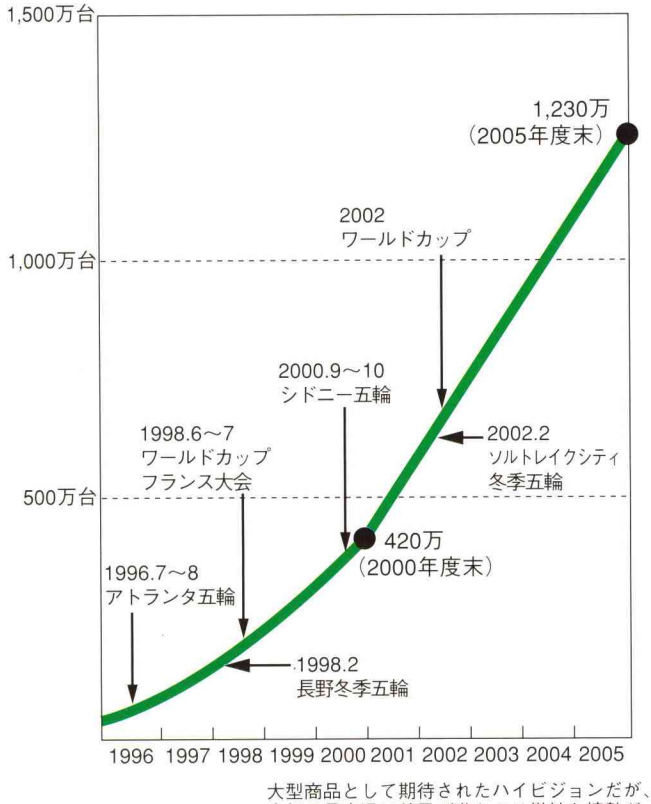
NHKはハイビジョンを国際統一規格にするよう働きかけたが、データ伝送がMUSE（multiple sub-nyguist sampling encoding）方式と呼ばれるアナログ信号であったことに加えて、家庭用VTRで苦い経験をもつ欧米が日本の家電業界による市場支配を警戒したことから、これは日本だけのローカル規格に終わってしまった。

結局HDTVは、米国で開発されたMPEG（motion picture expert group）2方式と呼ばれる画像データ圧縮規格を利用したデジタル伝送方式に統一される見通しとなっている。1994年、郵政省放送行政局長が、日本もHDTVをデジタル方式に変更すべきだと発言し、家電業界の大きな反発を招いた。1994年から民放6社も放送を開始し、家庭用機器もようやく普及価格に近づいてきていただけに、伝送方式をめぐるゴタゴタは、一般家庭へのハイビジョン普及にブレーキをかけるのではないかと懸念されている。

ハイビジョンをめぐる動きは予断を許さないが、ハードのほうは着々と開発が進んでいるようだ。特に期待が集まっているのが、大画面フラットパネルテレビである。

▲1996年10月から量産が予定されているワイド・カラーPDP。サンプル価格100万円、量産時には50万円で発売される

◀1997年から量産が開始されるカラーPDP。20型から60型までラインナップされていく予定だ



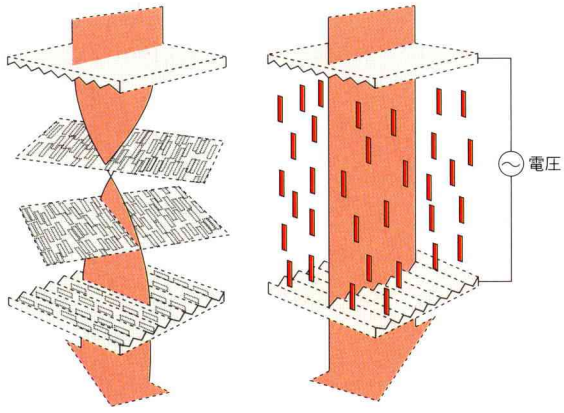
大型商品として期待されたハイビジョンだが、当初の予定通り普及が進むかは微妙な情勢だ。

限界の見えてきたCRT

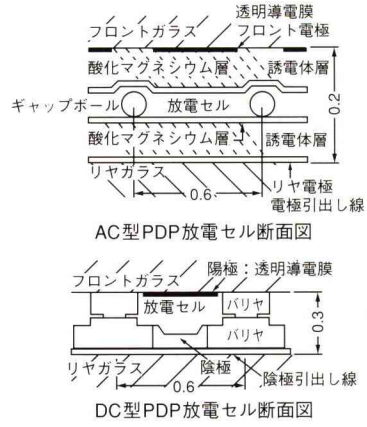
現在、テレビ受像器をはじめとする電子ディスプレイデバイスの約50％を、ブラウン管ディスプレイ（cathode ray tube：CRT）が占めている。解像度、明るさ、多階調のフルカラー表示能力など優れた技術的特性をもっており、しかも低コストで製造可能なことが主な理由だ。しかし、大画面化という側面で限界も見え始めている。

CRTは、電子ビーム銃から発射された電子が、蛍光体に衝突することで発光する。大画面化するには、蛍光面と電子銃との距離を大きくする必要があり、必然的にブラウン管が大きくなってしまう。40型以上のCRTでは、製品の奥行きが1m以上、重さも100kgを超えてしまう。

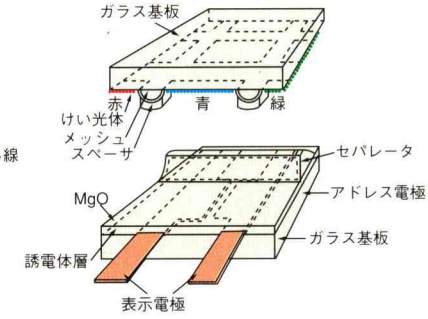
また、電子銃から蛍光面までの距離をできるだけ一定に



LCDでは、電圧をかけることで液晶の分子配列が変化し、光の通り方が変化する



不活性ガスを密封した薄いガラス層に放電し、蛍光体に電子を当てて発光させるPDP。放電方式の違いにより、AC型とDC型がある



カラーPDPの放電セルの構造の一例。発光効率と放電電圧を安定させるための工夫が試みられている

保つ必要があるため、画面を湾曲させなければならない。これも大画面ほど、その傾向が強まる。

HDTVや、今後NTSC方式に取って代わるEDTV（extended definition television：ワイドクリアビジョン）では、画面比率を16:9としているため、従来型より大きな画面でないと、大画面の迫力が得られない。家庭用大画面テレビでは、わが国の住宅事情にも配慮した、薄型軽量ディスプレイの開発が強く望まれていた。これがいわゆる「壁掛けテレビ」である。

では、CRTに取って代わる電子ディスプレイデバイスには、どのようなものがあるのだろうか。

もっとも実用化の進んだLCDにも弱点がある

フラットパネルディスプレイというと、すぐに思いつくのが液晶ディスプレイ（liquid crystal display ： LCD）だろう。電卓の表示用途に始まり、現在ではノート型パソコンの表示デバイス、小型テレビ、カーナビゲーションシステムなど、実に多様な分野に利用が広がっている。また最近、14型程度の家庭用LCDテレビや、据え置き型パソコン用LCDが発売され、一部CRTに置き換わる動きも見られる。

液晶物質は、細長い棒状か扁平な板状をした分子構造をもつ有機化合物である。液晶物質の分子は、ネマティック（nematic）などと呼ばれる独特の配列構造をもっている。外部から電場や磁場、熱などの刺激を与えると、この配列構造が変化し、光学的特性が変わる。この性質を利用して、液晶セルを透過する光を制御するのが、LCDの基本原理である。

LCDの特徴は、薄型で軽量、低電力消費、低電圧動作が可能という条件を兼ね備えていることである。このことから、フラットパネルディスプレイのなかでは圧倒的なシェアを占めるようになった。

ただ、大画面化という面から見ると、LCDにも問題がある。ディスプレイの表示サイズは横640ドット×縦480ドットのように画素数で表わされる。モノクロLCDでは、1ドットを1個の液晶セルで表示させている。カラーLCDでは、3原色を表示させるために、駆動回路が3系統必要になる。当然、大画面になればそれだけ画素数も増加することから、カラーの大画面表示には、非常に高い精度が要求されることになる。

次世代ディスプレイの本命・PDP

現在、大画面・薄型ディスプレイの本命と目されているのがプラズマディスプレイ（plasma display panel ： PDP）である。現在開発が進められているPDPには、AC型とDC型の2種類が知られている。

PDPの動作原理は、蛍光灯の発光現象と同じと考えていい。電極を印刷蒸着させた薄い2枚のガラスの間を真空に保ち、ヘリウムやネオンなどの不活性ガスを封入して、電圧を加えることで放電現象を起こし、蛍光体材料に電子を衝突させて発光させる。

まず放電電圧などの制御が容易なDC型PDPが実用化され、ノート型パソコンなどのディスプレイに利用された。しかしカラー化はAC型のほうが容易で、現在実用化されているカラーPDPはAC型となっている。

PDPが壁掛けテレビの本命とされる最大の理由は、製造精度がLCDに比べて格段に低いということだろう。画質がもっとも良いとされるTFT（thin film transistor）駆動LCDの製造精度が1ミクロン単位であるのに対して、PDPでは10ミクロン単位で済むからだ。

ただ問題がないわけではない。カラーPDPでは、色の中間調を表示するためにサブフィールド法という表示方式をとっている。この方式をとると、動画表示時に疑似輪郭状ノイズが発生する。NHKを中心にしたハイビジョン用プラズマディスプレイ開発協議会が研究開発を行い、相当改善されてきたが、画質はまだCRTには及ばないのが現状だ。

世界で初めて市販されたカラーPDPテレビ

本格化する各メーカーの量産体制

あるメーカーは1996年10月から42型ワイド・カラーPDPの量産開始を発表した。このディスプレイは、有効表示寸法横920mm×縦518mm（対角42インチ）で、外形寸法幅985mm×高さ590mm×奥行き75mm、重量18kgを実現している。

このメーカーは「カラーPDPは、大型画面の実用化に最も近い直視型表示デバイスであり、CRTや背面投射型ディスプレイに代わる、次世代のテレビ用表示デバイス」と位置づけ、今回の商品は「待望の壁掛けテレビを実現する表示デバイス」であり、「夢をかたちに」する提案と表明している。

この商品の量産にあたっては、1995年度から約200億円を投資し、月産1万台規模の専用生産ラインが設置された。1998年にはさらに約400億円を投資し、2000年には月産10万台に拡張する予定となっている。注目の価格は、サンプル出荷時100万円、量産時には50万円で出荷されるという。

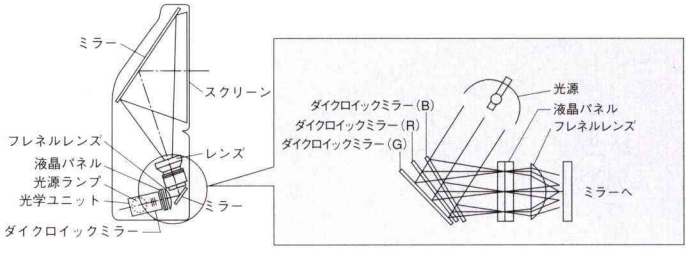
また、別のメーカーでも、「カラーPDPをTFTカラーLCDに次ぐきわめて重要な表示デバイス」と位置づけ、1993年から試作に取り組んできた。昨年9月には40型カラーPDPの開発に成功し、本格的に量産化をめざすことになった。

1996年度は50億円を投じ月産1000枚の量産ラインを着工、1997年度に稼働を予定している。また1998年度には100億円を投資し、月産1万枚の生産ライン拡充を予定しており、20型から60型クラスの大画面パネルの製品化を順次進めていく計画だ。

このメーカーは、LCDの大手メーカーでもあるのだが、1998年に開始予定のハイビジョンの本格放送、米国の一般家庭における大画面ディスプレイ需要の急成長などから、カラーPDPの市場規模を1999年には1100億円、2000年には2600億円、2002年には7600億円に達すると予測している。

前出のメーカーでも、2000年時点で大型ワイドテレビの市場は全テレビ市場の3分の1以上、その10%以上がカラーPDPに置き換わり、2000年のカラーPDPの市場規模は年間330万台になると予測している。

その他のメーカーも、開発・量産化にしのぎを削っている。



背面投射型テレビの構造図の一例。
カラーPDPよりも先に普及するのではないかと考えられている

■各電子ディスプレイデバイスの特徴

	受光型					発光型				
	LCD		ECD	EPID	SPD	PDP	ELD	VFD	LED	CRT
	PM型	AM型								
フルカラー	◎	◎	×	×	×	◎	△	○	○	◎
中間調	△	◎	×	×	×	◎	○	○	△	◎
大画面	△	○	△	△	△	◎	○	△	◎	◎
高解像度	○	◎	△	△	△	○	◎	○	△	◎
薄型・軽量	◎	◎	◎	◎	◎	○	◎	△	○	×

◎：対応が容易／優れている　△：対応が難しい／劣っている
○：対応が可能／普通　×：対応が不可

LCD ：液晶ディスプレイ
ECD ：エレクトロケミカルディスプレイ
EPID ：電気泳動ディスプレイ
SPD ：分散粒子配光型ディスプレイ
PDP ：プラズマディスプレイパネル
ELD ：エレクトロルミネセントディスプレイ
VFD ：蛍光表示管ディスプレイ
LED ：発光ダイオードディスプレイ
CRT ：ブラウン管ディスプレイ

家電最大手の一社は、1996年2月、26型ワイドカラーPDPを世界に先駆けて100万円をきる価格で発売している。奥行き85mm、重量17.5kgで、1677万色のフルカラー表示が可能だ。また音響機器メーカーも市場に参入し、その内の一社が昨年10月カラーPDPを発表して注目を集めた。

電子ディスプレイデバイスは多様化の時代へ

このように、各メーカーともカラーPDPを中心に、大画面・薄型ディスプレイの開発・量産化に取り組んでいる。しかし、カラーPDP以外にも有望な技術開発が行われている。

カラーPDPよりも先に普及するのではないかと考えられているのが、液晶を利用した「背面投射型テレビ」である。発売当初はコントラストが低く、思ったほど販売数は伸びなかったが、最近の製品では性能が格段に向上した。40型以上で奥行き400mm弱、重量40kg程度というサイズは、CRTにとっては十分驚異となる。

CRTでも、技術開発は続けられている。従来型の電子銃を使用せず、線カソードを用いたMDS（matrix - drive deflection system）方式薄型CRTなどが提案され、あるメーカーから商品化されている。

大画面・薄型テレビの開発は、実用段階に入った。当面カラーPDPが本命であることは間違いないだろうが、この分野の技術革新は今後急速な進展が予想される。これまで圧倒的なシェアを誇っていたCRTは、順次新しい電子ディスプレイデバイスに置き換わり、目的別に各デバイスが使い分けられる時代が到来することは確実だろう。

［取材協力：シャープ株式会社］
［写真提供：日本電気株式会社、株式会社富士通、松下電器産業株式会社］

宇奈月温泉とけやき平を約90分で結ぶトロッコ電車

〈峡谷に架かる鉄〜富山〉

鉄の絶景

Steel Landscape.

富山市から臨む立山連峰。アルペンルートは4月から11月がシーズン

黒部峡谷はかつては「秘境」という言葉がもっとも似合う場所であった。電力開発のために人が足を踏み入れてからまだ百年も経過していない。今回は富山県、峡谷を走るトロッコ電車と鉄橋にスポットを当てる。

山岳地帯を身近にした立山黒部アルペンルート

もし左党であれば、富山といってまず思い浮かべるのは清酒立山かも知れない。もとより富山湾は漁獲物の宝庫、天然の生けすといってもいい。ここで捕れる多種多様な魚……、ブリやズワイガニ、ホタルイカ、カキと列挙していくだけで、日本酒との相性のよい土地柄に思い及ぶ。

「立山」は北陸を代表する酒の銘柄である以前に、富山市から東方に大きく連なる山なみの総称だ。地図上に立山という名の山は存在せず、通常、立山といった場合、広い意味では立山連峰を指すこともあるが、たいていは立山三山（雄山（おやま）、浄土山（じょうど）、別山（べっさん））をいう。立山は昔から信仰登山の対象となっており、富士山、白山と並んで日本三霊山のひとつに数えられる名山だ。雄山の山頂には雄山神社が祭られていて、登山者はここをめざした。それで、狭義には雄山のみを立山と呼ぶこともある。

「立山黒部アルペンルート」によって、この立山も身近な存在となった。なにしろほとんど歩くことなく、乗り物を乗り継いでいくだけで3,000m級の山岳地帯を訪れることができるのだ。このルートの富山側からの入り口は立山駅であり、そこまではローカル線（富山地方鉄道立山線）でいける。立山駅からケーブルカー、高原バスを乗り継いだ時点で室堂（標高2,450m）に到着。ここは立山登山の起点となるところだ。さらに立山の内部をトンネルバスで通過し、ロープウエイ、ケーブルカーと乗り継いだところで黒部川第四発電所ダム、通称「くろよんダム」に到着する。ダムの前面から噴き出す水量にまず驚かされる。ダムの高さ、山岳の雄大な光景、そして轟々たる水音……、あまりのスケールに圧倒されてしまう。アルペンルート最大の見所といえるだろう。

ダムの上から水の流れを追ってみると、黒部川の激しい流れを挟んで深い峡谷がつづいている。この峡谷を走る列車に乗り忘れてはいけない。トロッコ電車の名前で親しまれている、黒部峡谷鉄道だ。

富山市の街並み

黒部川第二発電所に隣接する赤い橋、「目黒橋」は、昭和９年に完成している。発電所はその２年後に完成しており、72,000kwの出力は当時、東洋一といわれた。
その後、峡谷鉄道の延長とともに、発電所の数も増していった

深い峡谷を刻んで進むトロッコ電車

富山市の市街地から眺めると、遠くに霞む巨大な山の壁が見わたせる。この東部山岳地帯は、ちょうど立山連峰と後立山連峰が二列に平行して走る形となっている。富山市から見えるのが立山連峰、その後ろに後立山連峰（うしろたてやま）が走っている。この二つの山列の間を流れる川が、黒部川。深いＶ字の峡谷で知られる名勝地だ。随所に断崖や瀑布が見られ、まさに秘境と呼ぶに相応しい。

ここは冬の積雪がおびただしく、河川勾配も急であったため、かつてより水力発電を行なうには絶好の地とされていた。また風景に富み、温泉や木材、鉱物など、さまざまな資源にも恵まれていた。それでもなお人知れぬ秘境として長い間人の手が加えられなかったのは、地形や気象など、その自然環境のきびしさゆえであった。

現在、黒部峡谷の玄関口となっているのは、富山地方鉄道の終点、宇奈月温泉である。ここからトロッコ電車が発着している。この電車はもともと電力開発用の資材運搬を担うために敷設されたもので、大正末期に工事がはじめられ、宇奈月から峡谷を遡る20.1kmの全線が開通したのは昭和12年のこと。この長期にわたる工期を見ただけでも、難工事のほどが伺える。

誰も訪れたことのない地帯に足を踏み入れることのできる軌道の存在は、その後、広く知られることになり、遊覧希望者は後を絶たなかった。電力会社もこれを断れず、寄付金という形で料金を取り、便乗証を発行して遊覧客を乗せた。この便乗証には「安全について一切保証いたしません」と明記されていたのだが、これがかえって秘境ムードを煽ることとなる。戦後に入っても人気は衰えず、昭和28年には地方路線として正式に営業が開始されることとなった。ちなみに現在は黒部峡谷鉄道によって営業されている。

宇奈月を発車すると、オレンジ色の電気機関車に引かれた列車は、すぐにトンネルに入る、トンネル内は夏でもひんやりと心地よい冷たさだ。奥へ奥へと進んでいくにしたがって、覆い被さるような岩壁に出会い、鉄橋をわたり、急流を眼下に眺め、大小のダムを通り過ぎていく。樹木も豊富だ。トチ、ブナ、ヤマモミジ。峡谷には数々の鉄橋が架けられていて、それら緑と岩肌に映える景観をつくり出している。

わが国で最初の鉄の橋は、慶応４年（1868年）に長崎の中島川に架けられた「くろがね橋」。江戸末期から徐々に外国人居留地のある都市に現われた鉄の橋は、文明開化の象徴でもあった。ここ、黒部川の激しい流れをまたいで架かる鉄の橋もまた、文明のシンボルといえるのかも知れない。長い間、誰にも知られることのなかった秘境、神秘のベールに覆われた人跡未踏の地。大いなる自然に抱かれて走る……、この偉大な経験を得られることは、やはり一つの文明の勝利といえるのではないだろうか。

特別講演

これからの日本の鉄鋼技術者に期待するもの
－40年の歩みをふりかえって－

中川　一　新日本製鐵（株）　顧問
Hajime Nakagawa

What I Expect of Japanese Young Steel Engineers －Through My 40 Years' Career

このたび、栄えある渡辺義介賞受賞の栄に浴し、この機に「これからの日本鉄鋼技術者に期待するもの」との題目で私の思いを披露させていただくことになりました。愚見をはばからず御寛容下さるようお願い致します。

昨年は戦後50年に当たる感慨深い節目の年でありました。この時期は私自身にとりましても、昭和28年八幡製鐵（株）入社以来、約40年にわたり鉄鋼に携わってきて、多くの体験を得ることができた思い出の多い貴重な時代でありました。

これらの体験を通じ、戦後の鉄鋼技術の進歩について、その構造を解析しつつ、若い技術者の方々に何らかのお話しができれば幸いであります。

1 この50年は鉄鋼にとって如何なる時代であったか

私が入社した昭和28年は、戦前・戦中最高の生産高 765万トンを記録しました昭和18年からちょうど10年目であり、それまでの最高生産水準を回復した年でありました。

その直後、戦後初の一貫製鉄所が建設されるなど、その生産高は逐年著しく伸びてまいりました。昭和39年には当時の西ドイツの生産を追い越し、昭和48年には粗鋼生産量1億ﾄﾝ超を記録し、昭和50年代半ばには隆盛を極めた米国の生産量を超えるに至ったのです。これは単に量だけではなく、技術的にも革新技術であった転炉法や連続鋳造法等を幅広く積極的に採用するなど、日本の鉄鋼技術が世界をリードするという誇りに満ちた華々しい時代でもありました。

しかしながら、直近アジア諸国の鉄鋼業は日本のかつての有様を彷彿させる勢いで伸びてきております。このようなアジア諸国のめざましい進展を前にして、我々は如何に新しく変革していくべきか、深く考えねばならない時代に再び入りつつあるように思います。

私自身については、平炉技術者としてスタートして以来、電炉、転炉、連続鋳造等、製鋼分野を主に歩んでまいりました。戦後間もない頃にステンレス鋼の米国での研修、また、昭和40年代半ばには3年間のマレーシアにおける木炭高炉での一貫製鉄所の建設と操業に携わる等の経験もいたしました。普通鋼については殆どすべての品種と製造プロセスを経験いたしました。その他にも、特殊鋼、ステンレス、電磁鋼、熱間押出鋼、あるいは、チタンといった特殊な品種の生産にも携わりました。担当はライン部門が主で、殆どが製造現場でありました。

2 鉄鋼技術は如何に進歩してきたか

これまでの様々な体験をとおして鉄鋼技術の進歩というものをよくよく考えてみますと、「鉄鋼技術の進歩、発展は多くの個別の技術が相互に連関をもちつつ進化してきた歴史である」としみじみ感じるのであります。

このことは、個別の技術を単に羅列し、時系列的に説明することだけでは鉄鋼技術の進歩の本質を見極めるには不充分であるということです。即ち鉄鋼技術の構造の解析が大切であり、そのうえで技術の歩みを学ぶことは、今後の展望や予測に通じることができると信じる次第であります。

さて、「技術の進歩、発展は相互に連関をもつ進化の歴史である」ということについて、ここではその典型例として連鋳技術を取り上げてみたいと思います。

連鋳技術の進歩、発展については今まで多くが語られています。19世紀半ばにはベッセマーによって試験がはじめられ、その後約100年間にわたり多くの人々により開発努力が行われた結果、1950年代半ばに実用機の目処がついてきたといわれております。この間に鋼の連続鋳造のキーテクノロジーが数多く確立されてまいりました。我が国では、特許、設計図の購入、実習からスタートして、基礎研究、関連技術、周辺技術等が相互に連関をもちつつ進歩し、1955年～1960年の間には世界初の2ノズル、2ストランド方式の住金・試験連鋳機、広幅スラブの光・実用機が誕生し、連鋳総合技術の幕開けを見るに至りました。

その後、連鋳単体技術の発展はもとより、基礎研究、関連技術、周辺要素技術の発展と呼応して、連鋳技術は大発展を遂げました。(図1)

このことは産業界、学界あげての必死の努力の結晶であ

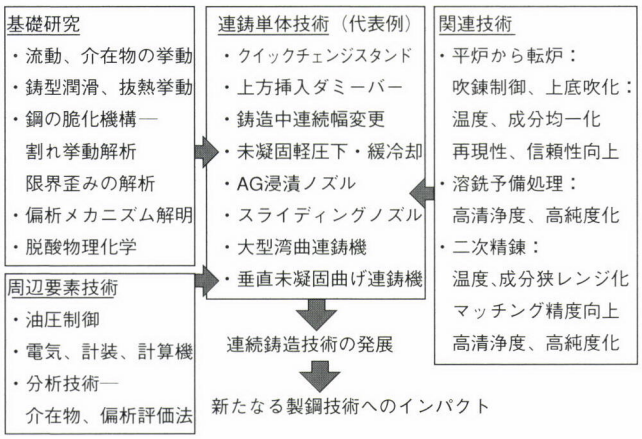


図1　連続鋳造技術の発展期

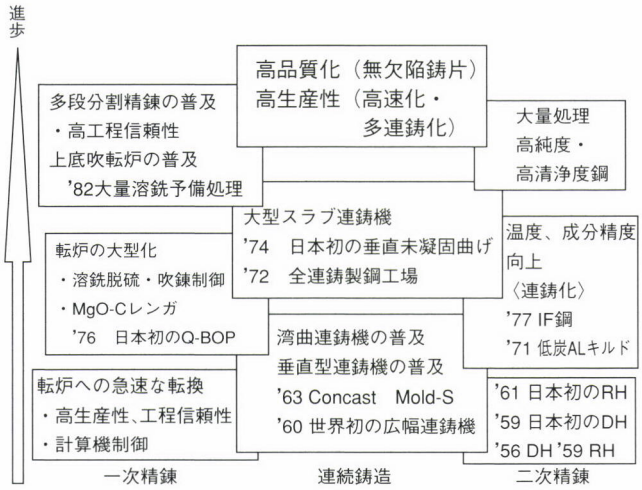


図2　製鋼技術における技術的連関

ったわけです。

連鋳技術の大発展は、関連技術としての平炉の転炉化、溶銑予備処理技術、二次精錬技術等の進歩、発展を促し、その結果、それらが相互に共鳴しあってスパイラルアップし、製鋼技術全体の大躍進をみるに到りました。このことは注目すべきことであります。まさに、技術の進歩、発展は相互に連関をもつ進化そのものであります。(図2)

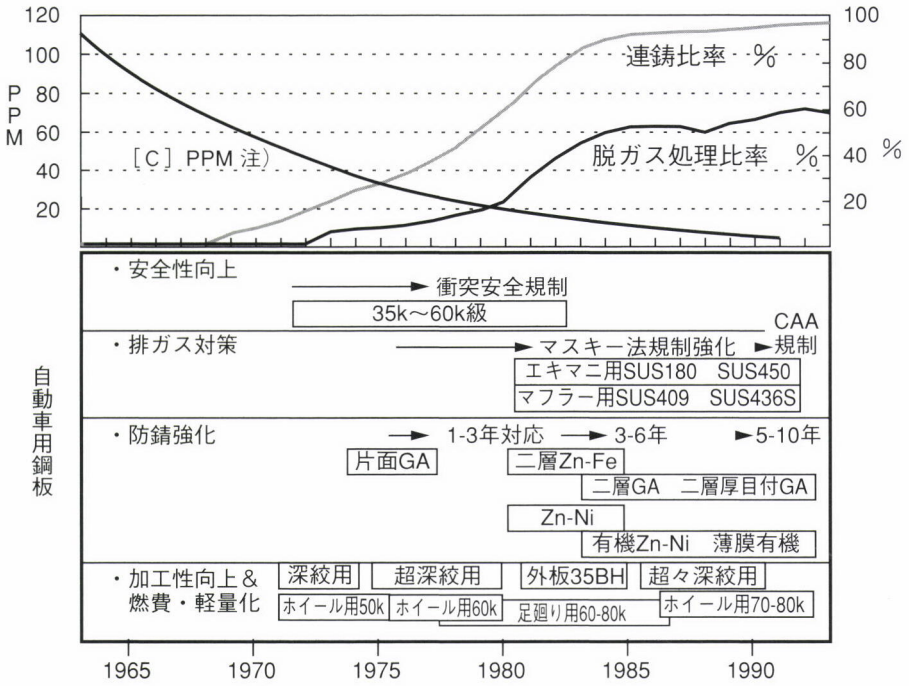
製鋼技術に関しては、このように連鋳技術を中核にして、一次精錬技術、二次精錬技術がそれぞれ相呼応しつつ、これら三者がジグザク的に向上し、結果として高度な達成を見るに至り、ここに完成度の高い、高品質（無欠陥鋳片）と高生産性をもたらしたと言えるでしょう。

製鋼技術の近年の瞠目すべき発展について「LD技術なくしてCC技術の大発展なく、CC技術なくしてLD技術の大発展なし」とは技術の相互連関とスパイラルアップを巧みに説明した言葉であると思います。そして、LDとCCに併せて真空技術の発展を加えれば製鋼技術のスパイラル的発展は略々完璧に説明できるでしょう。

3　鉄鋼技術の進歩は社会、経営に予期以上のインパクトを与えた

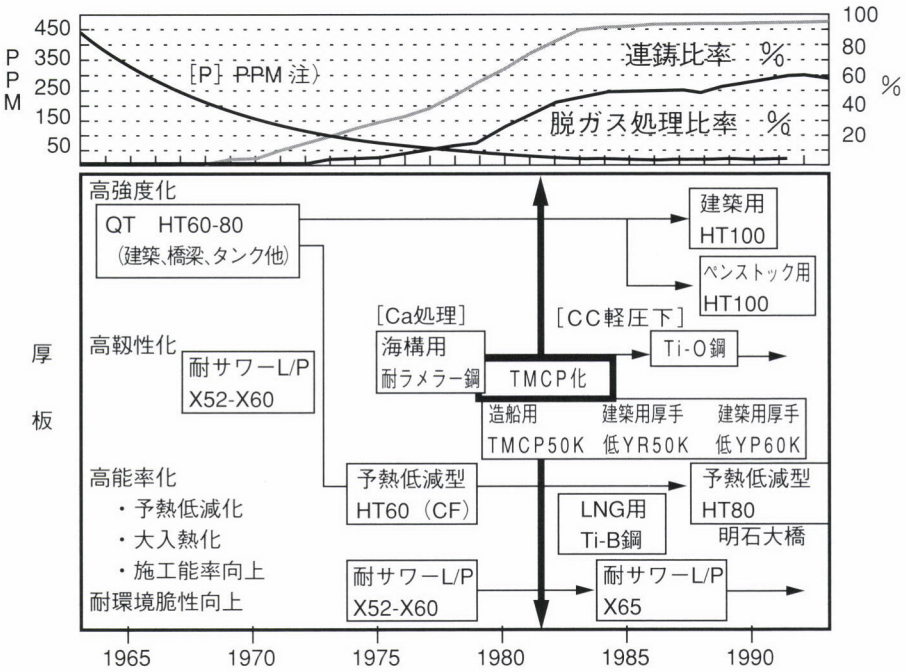
3.1　市場や社会へのインパクトについての二・三の例

極低炭素鋼の溶製や連鋳技術の進歩が、自動車用鋼板の加工性を改善したり、あるいは、高張力化を可能にしました。そして、防錆効果の発揮につながっていきます。このことにより、車はより安くなり、エネルギー消費も改善され、より



注）出典：雀部実：第143、144回西山記念技術講座、日本鉄鋼協会、(1992)、P.1

図3　鉄鋼技術の進歩の社会へのインパクト（自動車）



注) 出典：雀部実：第143、144回西山記念技術講座、日本鉄鋼協会、(1992)、P.1

図4　鉄鋼技術の社会へのインパクト（厚板）

安全な乗り物として社会に受け入れられていったのです。このように鉄鋼技術のめざましい開花はIF鋼の誕生等、自動車産業へ大きな影響を与えたと申せましょう。(図3)

連鋳比率、脱ガス比率の向上と共に[P]や[S]の制御や、介在物コントロールが進み、厚板の強度は向上し、耐破壊性を改善し、より巨大なタンカーの製造や巨大な橋、建物の建造を可能にしました。最近の例では1980年代のTMCP技術等は社会に顕著なインパクトを与えた好例であります。(図4)

その他、高品質のシームレス鋼管による過酷な環境での油井の開発等めざましいものがあります。

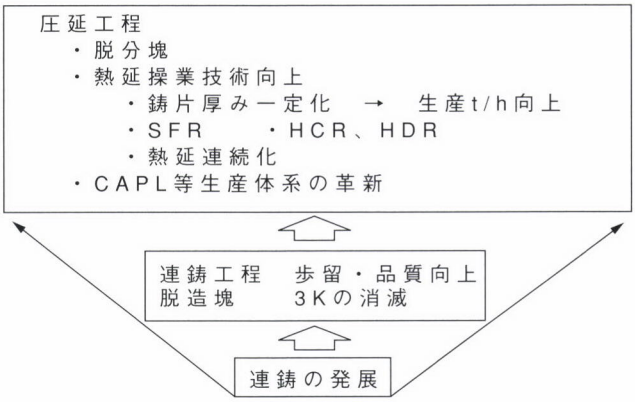


図5　生産体系へのインパクト

3.2　鉄鋼プロセス、生産体系へのインパクトについて

連鋳の進歩は、勿論、自工程の歩留や品質を向上させ、造塊工程を無くして3K職場を追放するという大きな成果を挙げたにとどまらず、次工程すなわち圧延工程にも多大な影響を与えました。脱分塊を果たし、熱延操業技術を向上させ、生産性を大きく上げたことはもとより、HCR、HDRといった製鋼工程との連結による省エネルギー技術を可能にしたり、あるいは、熱延連続化にもつながっていくのです。更に、CAPL等の生産体系の革新も連鋳の発展がもたらした大きな一側面としてとらえることができます。(図5)

技術の進歩、発展を考える場合の一つの典型としてこれまで製鋼技術、連鋳技術について主に述べてまいりました。図6は以上を総括し模式的に概念図として示したものです。

製鋼分野の一工程、例えば、一次精錬をとってみてもメタラジーはもとより様々な周辺技術、関連技術の総合化によってスパイラルアップ的に進歩していきます。一次精錬の進歩は他の二次精錬、連鋳技術等の製鋼工程に相互に関連しつつ、これまたスパイラルアップ的に製鋼全体としての技術進歩を促すことになるわけです。そして、製鋼技術の進歩は他の圧延工程やプロセスの発展と相互に関連しつつ製鉄技術全体がスパイラルアップ的に進歩していきます。そのことが製造業の姿を変え、社会を変えていくのです。(図6)

3.3　技術発展のダイナミズム

鉄鋼技術は基礎、周辺、関連技術、および、異分野技術の融合化・総合化で進歩するものであります。

鉄鋼技術の構造は絶えざる循環と向上の世界です。すなわ

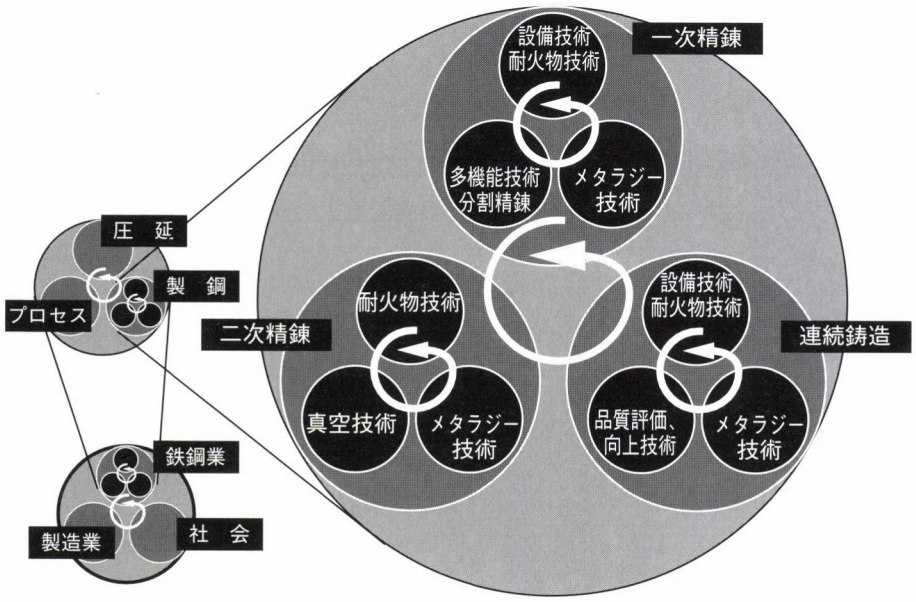


図6　技術の向上と波及

ち、単体技術と総合技術の相互の連関と向上、ハード技術とソフト技術の相互の連関と向上、固有技術と周辺技術の相互の連関と向上、あるいは、また、科学と技術、技術と技能の相互の連関と向上、その他、デバイスとシステム、等々。このようにして技術は進歩、飛躍をとげていきます。従って、技術は決して静的なものとしてではなく、ダイナミックな動的なものとしてとらえることが重要であると思います。(図7)

技術は相互に関連しつつ、共鳴し波及しスパイラルアップしていきます。

上であげた相互に連関する二つのタイプの知は相互補完関係にあって、両者が互いに刺激しあって知の創造がなされるものと思っています。加えて一橋大学の野中郁次郎先生が述べておられるように、暗黙知と形式知のスパイラルアップを促進し、新たな組織としての知を創造することが大切であると思います。

4 鉄鋼技術の進歩は止まることはない

4.1　技術進歩を促すインセンティブ

戦後、鉄を必要とする時代には、如何に大量に鉄を造るかが大切な技術への要請でありました。この時代には当然、大量にそして安価に造る技術が求められていました。そこで、大型化、連続化、高速化といった技術が進歩しました。石油危機の時には省エネルギー技術が、あるいは、環境問題が重視され、環境技術が進歩しました。(図8)

このように、技術の進歩の裏にはその技術を促す市場や社会の要請が必ず存在します。そしてこれまで日本鉄鋼業はそれに応えてきました。

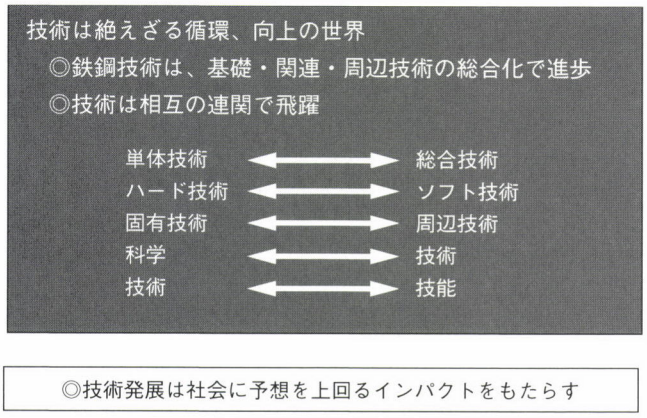


図7　技術発展のダイナミズム

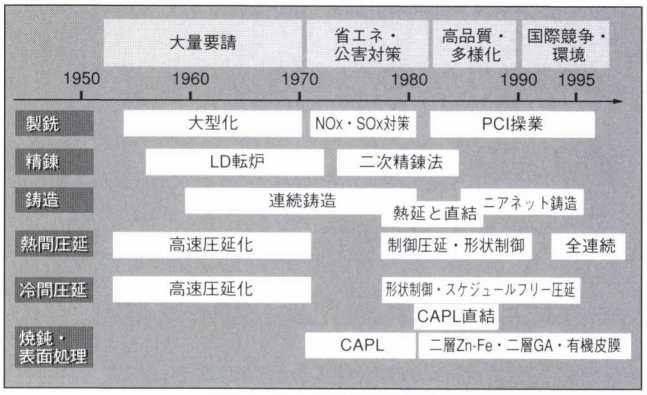


図8　市場・社会要請に対応した技術例

4.2 新しい市場、社会要請の出現、そして、新しい技術への要請

市場や社会の要請にもとづき技術は進歩します。しかし、やがて時代が移り、新しい市場や社会要請が出てくると今まで成熟していたと思われていた技術が実は未熟、あるいは、未完な状態に再び陥るということです。新しい市場や社会要請にマッチした新たな技術の進歩が求められるわけです。従って、技術の進歩は止まることがありません。

今日は「大変な時代」だと言われていますが、そのような時代だからこそ我々は一層神経を研ぎすませておくことが大切でしょう。メガコンペティションの時代となり、今までにない抜本的なコスト削減技術が求められています。

ミニミルの伸長等については高炉一貫鉄鋼業の根幹問題として見過ごせないことでありましょう。あるいは、今までにない地球環境問題の出現は鉄の造り方の大きな変革を求めています。最近は「逆工場」という考えの提唱もあります。価値の多様化による感性を重視した製品も求められるでしょう。例えば、異分野技術との融合による新しい価値の追求も大切です。

その他、高齢化社会での技能依存の問題、設備の老朽化に伴いもっと軽装備で低固定費型のフレキシブルなプロセスへのニーズも高まっています。

このように見ますと、今は大変な技術の変革が求められている時代だと言えましょう。日本の鉄鋼業に今まさに求められているリストラとは実はあらゆる意味での「技術」のリストラなのであります。何のために、そしてどんなパラダイムを構想してやっているかが問われます。縮小指向のリストラではなく、ダイナミックでアンビシャスなリストラが望まれます。

新しい社会、市場要請を真正面に見据え、たとえ小さい技術でも着実にそれに取り組むことが大切です。やがてそれらの技術が総合化されスパイラルアップし、発展成長の原動力となるものと考えます。

技術に長く携わってきた者として、是非、このことを強く申し上げたく思います。

5 これからの鉄鋼技術者に期待するもの

鉄鋼技術の進歩の構造や技術のもつ性格について私なりの体験にもとづき述べてまいりましたが、これからの若い技術者に期待するものとして、次の3点を挙げたいと思います。

1) 自分の頭で考える。

オリジナリティを大切にする。創意と工夫が重要です。

2) 素直な心を持つ。

一般的に成功体験が評価されますが、むしろ、不成功体験が貴重であり、失敗は失敗として大きな教訓を素直に吸収する事が大変重要だと思います。

3) 合理性に徹する。

合理的で合目的的な品質の追求などは永遠の課題の一つとしてあげられましょう。合理的で合目的的な品質を最も効率よく実現した結果が正しいコストであると考えるべきでしょう。

そして、「技術者は常に王道を歩むべし」と申し上げたい。

6 おわりに

元鉄鋼協会会長で阪大名誉教授の森田先生は「鉄鋼業は科学と技術とを壮大に、かつ、有機的に結びつけて成り立っている産業である。」と云われました。

私はこの言葉を信奉しています。

多くの先輩も、鉄はやり甲斐があり面白い、と述べておられます。

後輩には、鉄に情熱と執念を注ぎ、努力を惜しまなければ前途は明るい、と申し上げたい。

繰り返し申しましたように、技術は絶えず変化し、進歩を求めており、成熟したかに見える技術も新たな要請の前に、次の進歩が求められております。鉄は宇宙の傑作といってよい程にきわめてユニークで非凡な金属といわれております。ユニークさ故に非常に広く使われ、まさに、現在社会文明の基盤の役割を担っているのです。

技術者のみでなく、鉄に携わる事務系の人々を含め、すべての鉄鋼人について、絶えず創意と工夫の火を燃やし「構想や発想」、「ビジョンや仮説」を重視することが大切であると思います。

最後に、知的創造ということに関して、東大学長 吉川先生は「今日、解決の難しい問題が世界中で非常に増えている。そうした問題を解決するための知恵が求められている。やることはいっぱいあるが、勇気が足りないのではないか。提案し、そして、実行してみよう。」と訴えられておられることを紹介させて戴きます。

以上、多くの先輩の御指導に心から感謝申し上げ、私のつたない講演をこれで終わらせていたたきます。ありがとうございました。

(本原稿は、1996年度渡辺義介賞受賞記念講演, 1996年4月25日受付)

展望

科学技術系人材の確保について

－平成6年12月内閣総理大臣決定「科学技術系人材の確保に関する基本指針」を中心に－

小橋秀俊　科学技術庁科学技術政策局計画課　専門職
Hidetoshi Kohashi

Securing Science and Technological Personnel

1 はじめに

平成4年12月に内閣総理大臣から科学技術会議に対し、「科学技術系人材の確保に関する基本指針について」が諮問され、その後、科学技術会議では科学技術系人材部会を設置して検討を行い、平成6年12月に科学技術会議において第20号答申「科学技術系人材の確保に関する基本指針について」がなされ、これを受けて内閣総理大臣決定に至った。また、さらに最近では科学技術基本法（平成7年11月成立、本誌5月号参照）にも科学技術系人材の確保に関する条文が含まれている。

人間の知的創造力が最大の資源である我が国において、研究者や技術者がその知的好奇心に基づいて未知への不断の挑戦をすることで、新しい知識を創出し、それを人類の共通の財産として蓄積していくことが重要である。そのためには、研究者や技術者の創造性が十分に発揮されるような環境や条件を整えることが必要であるのみならず、将来の科学技術ひいては、経済社会活動の担い手として、科学技術に対する夢と情熱を持った青少年を多数輩出していくことが必要である。もとより、人材の育成は息の長い課題であるが、一刻も早い取組みが必要との認識に立って、研究開発活動の面での取組み、教育の改善、社会環境の醸成等、多様な面からの検討取り組みを行ってきた。

本稿では、特にこの「科学技術系人材の確保に関する基本指針」を中心に、科学技術系人材確保の必要性、基本指針の概要、科学技術系人材確保に関連した各省庁の主な取組や施策の一部を紹介し、学協会の皆様方に科学技術系人材の確保についての取組みへの協力を呼びかけるものである。

2 科学技術系人材確保の背景と必要性について

2.1 我が国を取り巻く科学技術の変化

科学技術の進展に伴って、国民の意識は物質的な豊かさから、心の豊かさやゆとり、快適さ自己の実現などを求める多様なものに変わりつつある。このような人々の意識の変化に対応して、そのニーズも多様化・複雑化が進んでいる。

また、欧米諸国が国際競争力の強化を図ろうとする中で、より良い協調・協力関係を維持しながら、我が国の国際競争力を維持し、経済の持続的な発展を図ることが必要である。さらに、今日、深刻化する地球環境問題や、人口の増加に伴う資源・エネルギー・食糧の需給の逼迫など、地球的規模での課題に直面しており、我が国には国際社会の一員として、課題解決への積極的な貢献が期待されている。

今後このような状況に対応するためには、欧米へのキャッチアップを中心として進められてきた従来の科学技術活動のスタイルから、研究者や技術者の創造性に富んだ発想や技術・経験・知識を創出し、それを活かしてブレークスルーを目指した研究開発を行ったり、新しい製品のコンセプトを提案していけるような科学技術活動のスタイルへと、大きな転換を図る必要に迫られている。

2.2 生産年齢人口の減少

少子化や高齢化などの進展によって、我が国の生産年齢人口の減少が懸念されており、今後、十分な数の人材確保が難しくなる可能性がある。例えば、我が国の生産年齢人口（15歳～64歳）は、今後100年間で現在の約70%にまで低下するとの予測結果もある。

2.3 若者の科学技術離れの懸念

生産年齢人口減少に加えて、近年、若者層における科学技

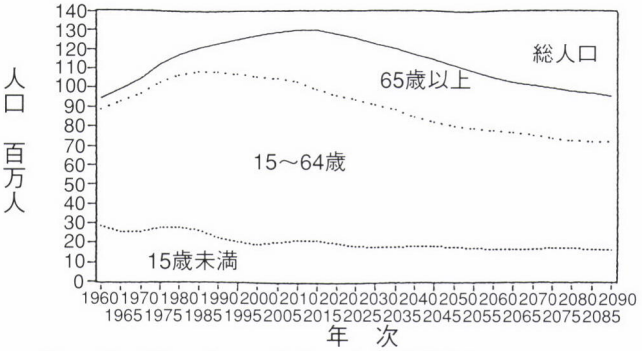
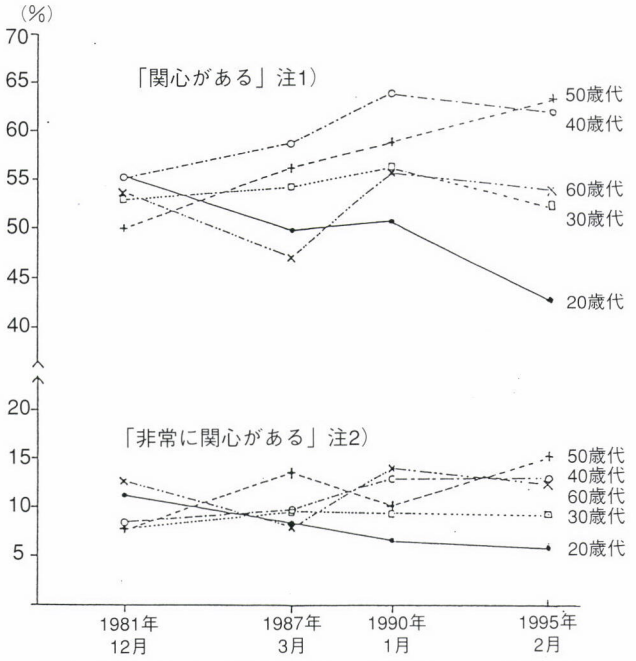


図1　我が国の人口の推移（年齢階層別）
総務庁「国勢調査（平成2年度）」及び厚生省「日本の将来推計人口（平成2年度）」より



注）1.「あなたは、科学技術についてのニュースや話題に関心がありますか、それともありませんか。」という質問に対し、「非常に関心がある」または「ある程度関心がある」の回答を選択した者の比率。
2.同質問に対し、「非常に関心がある」の回答を選択した者の比率。

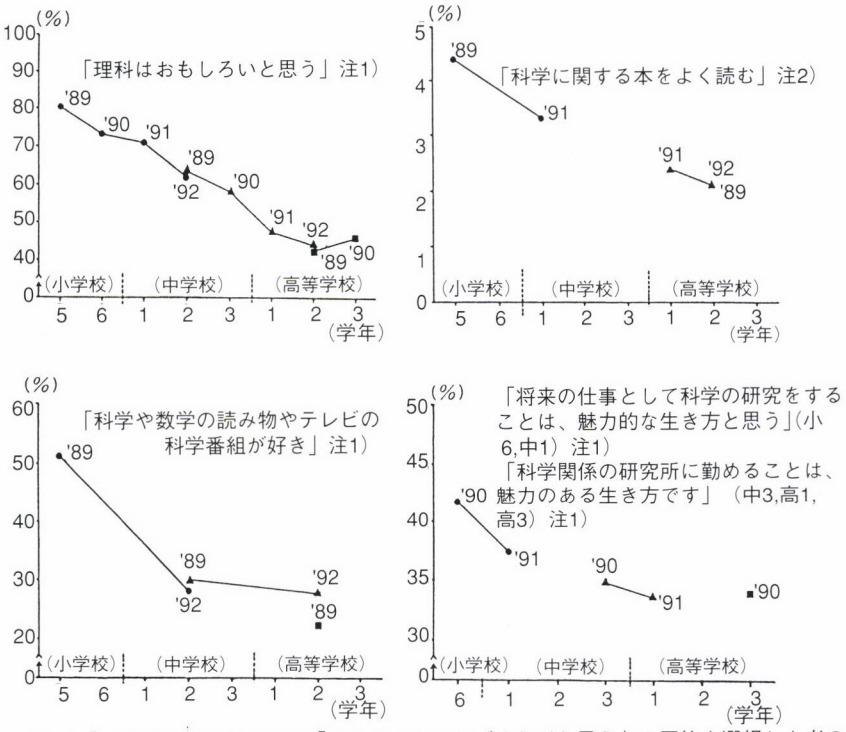
図2　科学技術についてのニュースや話題に関する関心の推移（年齢別）
総理府「科学技術と社会に関する世論調査（平成7年2月）」より科学技術庁が作成

術に対する関心の低下などの社会的風潮が懸念されるなどの点からも、長期的な科学技術系人材の需給逼迫が懸念される。例えば、科学技術に対するニュースや話題に対する関心については、「非常に関心がある」とした者の比率の低下が、20歳代の若者層において進行している。(図2)

また、小学校5年生～高校3年生の児童や生徒についても、理科はおもしろいと思う生徒の比率、科学に関する本をよく読む生徒の比率、科学や数学の読み物やテレビの科学番組が好きという生徒の比率、将来の仕事として科学の研究をすることは魅力的な生き方と思う生徒の比率を、3つの母集団について追跡したところ、いずれの項目とも比率が学年とともに減少しているとの調査結果もある。(図3)

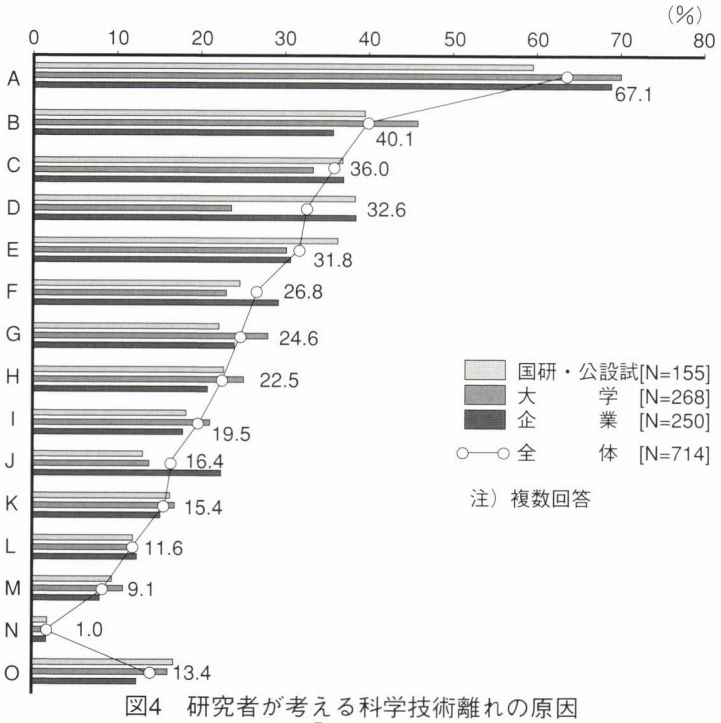
このような科学技術離れの主な原因を研究者に尋ねたところ、「科学技術者の処遇が低い」「物理、化学などの科目が試験テクニック重視となっておもしろみが感じられなくなった」「科学することの楽しさが青少年に伝わっていない」などを挙げた研究者が多かった。(図4)

さらに、高校生が抱いている理系の職業へのイメージについて、理系の職業として「大手自動車エンジニア」「科学や技術に関する研究者」、文系の職業として「大手の銀行マン」を挙げ、比較を行ったところ、理系の職業は仕事の内容面では「創造的な」「変化に富んだ」といったプラスイメージが持た



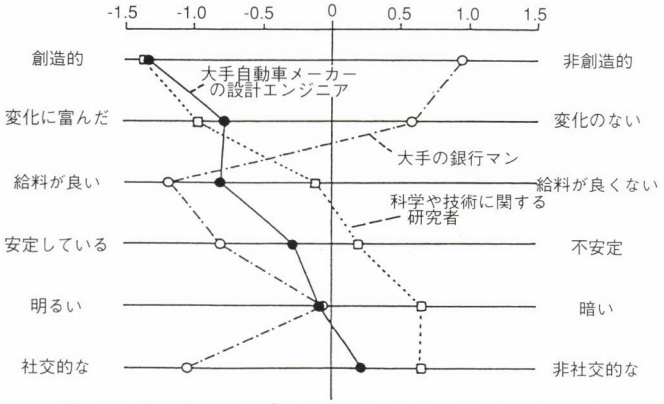
注）1.「そうだと思う」または「どちらかといえばそうだと思う」の回答を選択した者の比率。
2.「あなたはどんな本を読みますか。最もよく読むものを1つ選びなさい。」という質問に対し、「科学に関する本」の回答を選択した者の比率。(他の選択肢としては、物語・小説・伝記など、スポーツなどの本、ほとんど読まない4つが与えられている。)
3.●、▲、■は追跡調査した母集団の別を表す。
4.●、▲、■の隣の数字は追跡調査実施年度を表す。

図3　小中高校生の科学技術に関する関心
科学技術庁「平成5年版　科学技術白書」より



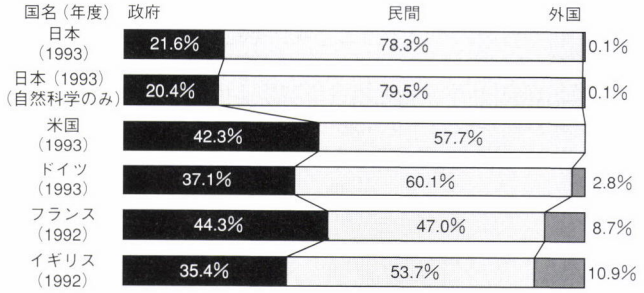
A：社会における科学技術者の処遇が低い
B：大学入試競争の過熱により、物理、化学などの科目が受験テクニック重視となって、おもしろみが感じられなくなった
C：科学することの楽しさが青少年に伝わっていない
D：理工系の専門知識を活かせる業種・職種が拡大したため、理工系の才能のある者が科学技術以外の分野でも活躍できるようになった
E：若者の思考形態が論理的思考から感覚的思考に変化した
F：科学技術者の職場環境が若者のイメージに合わない
G：初等・中等教育において、実験あるいは工作に親しむ機会が少なくなった
H：初等・中等教育において、自然に親しむ機会が少なくなった
I：若者にとっては科学技術が当たり前のものとなり、意識されなくなった
J：若者から見て、科学技術面でのチャレンジすべき課題が見あたらなくなった（夢がない）
K：地球環境問題等のために社会全般における科学技術のイメージが悪くなった
L：華やかな物質文化の充足により、これ以上の科学技術の発展の必要性が感じられなくなった
M：科学技術者になるための基礎（数学等）の修得が困難になった
N：科学技術に関するわかり易い解説書が少ない
O：その他

図4　研究者が考える科学技術離れの原因
科学技術庁「我が国の研究活動の実態に関する調査報告（平成6年3月）」より



注）1.各項目について、「とても…」±2点、「やや…」±1点「どちらでもない」0点の5段階で評価を行った平均点。
2.調査の実施期間1992年10月から11月である。

図5　高校生の職業についてのイメージ
（研究者や技術者と大手銀行マンとの比較）
科学技術庁「科学技術白書（平成5年版）」より



注）1.国際比較を行うため、各国とも人文・社会科学を含めている。なお、日本については自然科学のみの値を併せて表示している。
2.政府と外国以外を民間とした。
3.米国及びドイツの値は推定値である。

図7　主要国における研究費の組織別割合
科学技術庁「平成7年度版　科学技術白書」より

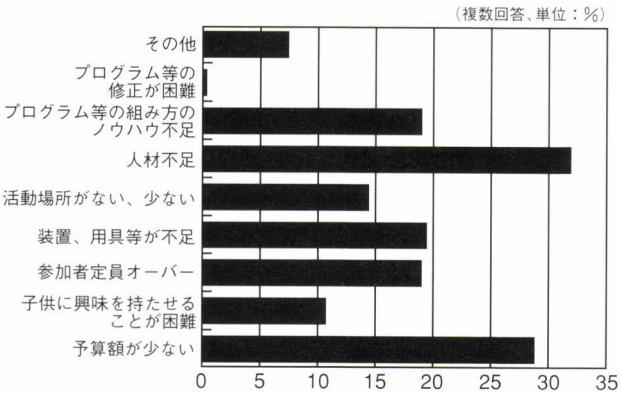
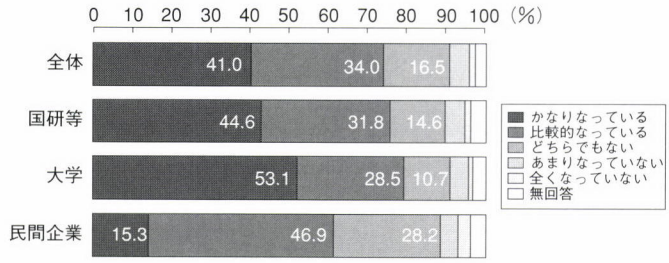


図6　団体・施設が科学技術啓発事業を実施するにあたって抱える課題
科学技術庁「科学技術振興のための青少年の育成方策に関する調査（平成5年度）」より

れているが、「給料」「安定性」といった実利的な面でのイメージでは、大手の銀行マンには及ばず、その傾向は科学や技術に関する研究者の場合に顕著との調査結果がある。(図5)

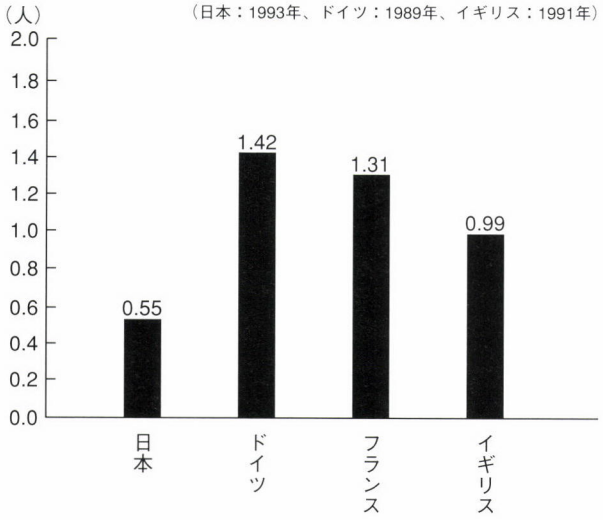
2.4　科学技術に触れることができる社会環境の現状

このような科学技術離れに対して、学校教育はもちろんのこと、社会環境の中で身近に科学技術と触れ合う様々な機会を設けていくことが必要と考えられる。しかしながら、青少年を対象に科学技術普及啓発事業を実施している団体や施設の多くは、今後とも活動の中に科学技術的要素を取り込んでいきたいと思いつつも、活動を実施するに当たって「人材不足」「予算額が少ない」「プログラム等の組み方のノウハウがない」を大きな問題点として挙げている。(図6)



注）研究補助者等が少ないとした研究者（全体の84%）に対して調査した結果。

図8　研究補助者数等不足は研究成果創出の阻害要因となっているか
科学技術庁「先端科学技術研究者に対する調査（平成7年度）」より



＊研究支援者→研究補助者、技能者、研究事務への従事者
＊研究者　　→研究を本務とする者

図9　研究者一人当たりの研究支援者数の国際比較
科学技術庁「科学技術要覧（平成6年版）」より作成

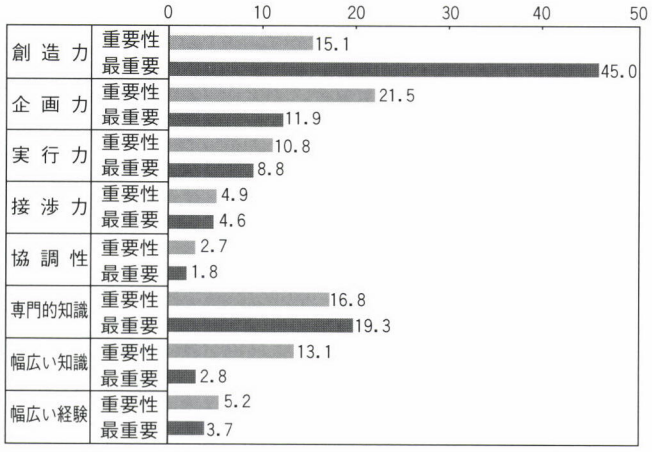


図10　技術者に必要な能力・知識の重要性の高いもの、最重要と考えられるもの
科学技術庁「技術者の養成・確保に関する調査（平成4年度）」より

2.5　研究者をとりまく研究環境の現状

研究費については国全体の研究開発投資額に占める政府負担割合は、依然として2割程度にとどまっており、欧米先進諸国の4割前後に比べて低い水準にある。(図7)

また、研究開発の円滑な推進に不可欠な研究開発に係る支援のための人材（研究支援者）について量的に不十分であるとの声が多く（図表8)、研究者一人当たりの研究支援者数を比較すると、我が国は0.55人と欧米の主要国に対して大きく下回っており（図9)、ここ20年間減少の一途をたどっている。その中でも、大学部門においては0.13人（平成6年度）という極めて厳しい状況下にある。

研究施設の老朽化については、国立大学の場合、経年20年を越えるものが全体の約50%となっている。国立研究所においても、全体の約3分の1が同様の状況にあり、多くが陳腐化している。

2.6　生産活動等を担う技術者に対するニーズ

企業側が考える技術者不足感の状況を調査した結果を示すが、同じ工学部系の中でも分野によって不足感に大きな開きがみられ、大企業における電気・通信、機械分野における研究や生産部門での不足感が非常に高い。(表1)

今後、企業が技術者に求める能力としては、「創造力」や「企画力」を最重要と考えるところが多い。(図10)

2.7　科学技術系人材確保の必要性

人間の知的創造力が最大の資源である我が国においては、その存続は科学技術の進展とそれを支える優れた人材の確保によるところが大きい。そのため、これまで示したような背景や厳しい現状を踏まえつつ、関係各界が協力して次代の科学技術を担うにふさわしい人材の確保に努め、これらの人材の能力を十分に発揮し、伸ばしていくことができるような魅力的な環境を整備することが極めて重要である。

3　基本指針の概要

基本指針では、全ての人が科学技術に深い関わりを持つとの広い視点に立ちつつも、研究者や技術者など主に研究開発活動や生産活動に直接携わる者を科学技術系人材として、その確保のための政府の取組について基本的考え方を提示している。その中で、一人一人の個性を尊重しつつ、その感性を活かし創造性の発揮を促すような多様性・柔軟性に富む環境を構築していくことが必要との認識のもとに、次の3つの視点から方策が取りまとめられている。

(1) 科学技術が身近に感じられるような社会環境の構築
(2) 創造性を発揮できる研究開発環境などの整備
(3) 多様な人材の科学技術活動への参加の促進

表1　企業が感じる技術者の学部別、学科別不足感の現状（不足だと回答した会社数の状況）
科学技術庁「技術者の養成・確保に関する調査（平成4年度）」より

学部等	企業規模 / 不足回答数 / 所属	回答社数 245	大企業回答社数211社						中小企業回答社数34社					
			企画	研究	生産	管理	営業	総務	企画	研究	生産	管理	営業	総務
理学部		104	6	63	15	5	9	0	0	4	1	1	0	0
工学部	機械系	220	9	76	80	20	18	0	2	3	8	2	2	0
	電気・通信系	215	13	64	83	21	16	1	3	4	4	3	3	0
	情報工学系	158	18	52	29	30	11	7	2	2	2	2	1	2
	化学系	74	3	37	21	1	5	1	1	1	2	2	0	0
	土木・建築系	101	4	24	29	11	12	0	6	1	6	3	4	1
	経営工学系	62	12	3	10	19	5	1	1	0	2	1	7	1
	その他系	43	2	17	10	3	4	0	1	0	2	1	3	0
	小計	873	61	273	262	105	71	10	16	11	26	14	20	4
農林・水産学部		37	3	10	14	0	6	0	1	1	1	1	0	0
医学・薬学その他の学部		23	1	1	9	0	9	0	0	2	0	0	1	0
合計		1,037	71	347	300	110	95	10	17	18	28	16	21	4

注：複数回答

(1) 科学技術が身近に感じられるような社会環境の構築

人々が科学技術を身近にとらえ考えることができるような多様な機会の提供とともに、個性に応じた教育機会の提供などを通じて、若者の興味や関心を創造的探求心へと育むなど、若者が積極的に科学技術に関わっていこうとするような社会環境を構築する。

＜科学技術を身近にとらえ考えるための多様な機会の提供＞

○科学技術を身近にとらえ考えるための多様な機会の提供を図るため、若者が最先端の科学技術を体験できるような機会の提供に努めるほか、自然と人とが触れ合う機会の提供を図る。

○科学技術立国にふさわしい魅力ある博物館等を整備・充実するため、博物館における職員の確保と資質の向上、ボランティア活動への支援、博物館等のネットワークの構築、関係機関との連携・協力などを図る。

○学校教育（初等・中等教育）における創造的探求心の育成を図るため、探求活動や実践活動を重視し、観察・実践活動について高い指導力を持つ教員の養成などに努める。

(2) 創造性を発揮できる研究開発環境などの整備

多様性や柔軟性を確保することによって、理工系教育の魅力を高め、そのような教育機会を通じて育まれた研究者や技術者が、その能力を十分に発揮し、伸ばしていくことができるような魅力的な環境を整備する。

＜研究開発活動を担う人材＞

○大学などの高等教育機関それぞれが理念や目的を掲げ、個性を発揮することによって自由で多様な教育を推進するため、大学学部教育における特色あるカリキュラム編成、柔軟な教育組織の実現、大学院における独自の教育組織、博士課程学生への研究費・生活資金の給付などに努める。

○創造性豊かな優れた研究者を確保するため、若手研究者を対象とした特別研究員制度の充実など、若手研究者に対する多様な研究機会の提供を図るほか、研究交流の促進、自由で競争的な研究環境づくりに努める。

○研究開発を技術面で支える技術者の確保を図るため、公的部門における研究支援部門の組織化、研究支援産業の振興、研究支援者に対する多様な処遇体系の検討などに努める。

○研究開発環境の整備を図るため、共同利用に供することを目的とした先端的かつ大型の機器・設備とその利用の促進、研究情報基盤の整備による国際的な情報の相互流通機能の強化などに努める。

＜生産活動を担う人材＞

○ニーズの変化に対応し新しいコンセプトを提案できる技術者の確保を図るため、多様なキャリア形成の仕組みなど適切な処遇の実現に努める。

○技術者の資質向上を図るため、企業内教育の充実、留学・企業外派遣制度の積極的な活用、技術者の自己啓発に対する取組の支援などに努める。

○高等学校における職業教育の充実を図るため、実際の生産活動に則した実験・実習など実体験の重視に努める。

(3) 多様な人材の科学技術活動への参加の促進

女性や豊かな知識と経験を持つ高齢の研究者・技術者、異なった文化的背景を持つ優れた外国人研究者・技術者など、多様な人材の科学技術活動への参加を促し、その能力を積極的に活かしていくために諸条件や環境の整備を行う。

○女性の活躍の場の拡大を図るため、科学技術分野で活躍する女性の人間像の情報発信、女性が働きやすい環境の整備などに努める。

○長寿社会への対応を図ることが必要であり、高齢の研究者や技術者が継続的に働ける活動環境の整備、指導者として活躍できる場の提供を図る。

○国際化時代への対応を図るため、国際社会で通用する人材の確保、外国人研究者・技術者を積極的に採用するための制度の充実、留学生・研修生の受け入れなどの開発途上国の人材確保への貢献に努める。

4 科学技術系人材確保等に係る各省庁の審議会等での検討状況(主なもの)

○科学技術会議（内閣総理大臣の諮問機関）

平成7年11月に「科学技術基本法」が議員立法により国会で全会一致で可決成立。科学技術基本法第9条の規定により、政府は科学技術の振興に関する施策の総合的かつ計画的な推進を図るため、「科学技術基本計画」を作成することとなっており、同11月に内閣総理大臣から科学技術会議に対して第23号諮問「科学技術基本計画について」が諮問された。同計画は、今後10年程度を見通した5年間の計画とし、政府の研究開発投資額の抜本的拡充を図るべく、講ずべき施策、規模等を含めできるだけ具体的な記述を行う予定で、この中でも研究者の養成や研究者の意欲を引き出すための人材等に係る制度面の改善は重要な課題の一つ。

○大学審議会（文部大臣の諮問機関）

審議会創設時に文部大臣から、「大学等における教育研究の高度化、個性化及び活性化等のための具体的方策について」諮問を受け、多岐にわたる高等教育改革の課題について調査審議を進めている。審議会は3部会（大学教育部会、大学院部会、組織運営部会）と2委員会（大学入試に関する専門委員会、高等教育将来構想委員会）を有しており、平成7年9月の総会において次の3件についてその内容が公表されている。（昭和62年9月諮問）

＊組織運営部会における審議の概要（大学教員の任期制について）

他大学等との人事交流や任期中の教育研究業績の評価を通じ、教育研究の活性化を図り、大学の教育研究組織の再編を図るうえで、任期制の導入は極めて有意義。各大学の判断で大学の教員に任期制を導入することが必要。導入にあたっては、公務員関連法制、労働関係法制などの所要の法制上との整合性を検討する必要性を指摘。この問題については検討をすすめ、早期に結論を得て所要の措置を講じていく予定。

＊大学運営の円滑化について（答申）

大学改革の推進、社会の変化への対応、開かれた運営の実現など、従来にも増して大学が組織的な取り組みを迫られる課題が増加。現在の大学における意思決定～実行に至る過程における課題を、「大学像・将来構想」「教育研究計画」「研究教育組織の改編」「対外関係」「教員人事」「予算配分」の6つに分け、円滑な意思決定と実行に向けての改善方策について提言を行った。

＊大学教育部会における審議の概要（高等教育の一層の改善について）

大学等の現状の問題点を、「学部教育の位置づけの問題」「カリキュラム改革を進める上での問題」「教育方法の問題」「学生の選択の幅と流動性の問題」「教育を充実するための体制の問題」という5つの観点から整理し、高等教育の一層の改善方策について検討を行った。

○中央教育審議会（文部大臣の諮問機関）

今後の教育の在り方及び学校・家庭・地域社会の役割と連携の在り方（学校週5日制の今後の在り方などを含む）、一人一人の能力・適性に応じた教育と学校間の接続の改善（特定分野で稀有な才能を有する者についての教育上の例外措置などを含む）、国際化・情報化・科学技術の発展等の社会の変化に対応する教育の在り方（国際社会で活躍し得る人材、マルチメディア時代の教育、若者の科学技術離れへの対応などを含む）について検討を行っている。（平成7年4月諮問）

○産業構造審議会、産業技術審議会（通産大臣の諮問機関）

産業空洞化の懸念や雇用不安が顕在化のなかで、新規事業の核となりうる独創的な技術を創出し、それを支える技術系人材の確保・育成を図ることが必要。合同会議では「資金」「人材」「知的財産権」に係る問題点と課題及び今後の政策の方向についての検討を行った。平成7年5月17日の合同部会において、「科学技術創造立国への道を切り拓く知的資産の創造・活用に向けて」を副題として、今後の産業技術政策のあり方に関する報告書を取りまとめている。

○中央職業安定審議会（労働大臣の諮問機関）

産業構造の転換に伴う転職を円滑に進めるため、人材の流動化対策として、労働者派遣法を改正し、人材派遣事業の対象業務を大幅に拡大（現行16業務に加え、介護や研究開発等の12業務を新たに追加）することを検討。

○科学館のあり方に関する懇談会（科学技術庁）

若者の科学技術離れなどの指摘がなされる中で、我が国が科学技術創造立国を目指して、より一層の科学技術の振興を図っていくための社会環境として、科学館の意義は重要であ

る。関係各界との密接な連携のもとで、平成7年2月より科学館の機能を充実・強化するための科学館のあり方を検討している。

○若手を中心とした研究者の資質向上等に関する委員会（科学技術庁）

我が国において基礎研究を推進するためには、創造性溢れる国際的レベルの基礎研究者群を形成することが不可欠であり、研究者の質の改善等のための総合的施策を検討し（平成6年12月より）、平成7年6月に最終報告をとりまとめる予定である。

○アジア・太平洋地域における科学技術人材協力に関する検討会（科学技術庁）

近年のアジア・太平洋地域は、めまぐるしく経済発展を遂げる一方、自前の研究開発能力の向上を指向しており、今後、我が国と同地域との間での研究協力の重要性が従来にも増して高まっているという観点から、同地域における科学技術系人材の育成について平成7年1月から検討を行い、同年8月に最終報告を行った。

○職業教育の活性化方策に関する調査研究会（文部省）

職業教育がすべての人にとって必要な教育であること、職業高校は専門性の基礎・基本を重点的に教育し、卒業後も生涯にわたり職業能力の向上に努めることが重要との観点から従来の「職業高校」という呼称を「専門高校」と改め、職業教育及び専門高校のあり方につき平成6年4月より検討を行い、平成7年3月に最終報告を行った。

○大学の理工系分野における創造的人材の育成のための産学懇談会（文部省）

大学だけでなく、広く産業界の関係者の意見も聞きながら、我が国の科学技術を支える創造的人材育成についての検討を実施。平成7年7月には「創造的人材育成のための大学教育の改善についての緊急提言」として検討状況を報告、平成8年3月には「創造的人材育成のために」と題する最終報告を発表。

5 おわりに

科学技術系人材確保の問題は、政府はもとより地方公共団体、教育界、産業界、学界など幅広い分野の関係者が一丸となってはじめて対応が可能と思われる。研究開発活動の場や生産活動の場が、より魅力的なものとなるよう、また、これら科学技術活動の意義や楽しさを積極的に情報発信するよう、産業界や学協会の皆様方の協力も頂きながら、具体的施策の実現を図っていきたい。

なお、科学技術系人材の確保に関する基本指針の全文については、冊子（和文及び英文）を配布しているので、必要な方は筆者まで御連絡下さい。

連絡先：〒100　東京都千代田区霞が関2－2－1
科学技術庁科学技術政策局計画課
TEL 03-3581-5271（内線316）

（1996年5月27日受付）

展望

大型航空機用の高圧タービン翼とその修理のこれから

山口　紘　日本タービンテクノロジー㈱代表取締役副社長
Ko Yamaguchi

High Pressure Turbine Airfoil and Its Repair for Wide Body Aircraft

1 はじめに

多数の乗客を安全に長距離輸送できる大型航空機時代が、1970年1月にパンナム社のボーイング747型機（以下B747）の初就航によって開かれてから、既に四半世紀以上過ぎた。その時使用されたのが、プラットアンドホイットニー社（以下P＆W）の4基のJT9Dエンジンであった。その後機種も増えたJT9Dは、今なお大型航空機の主力エンジンとして、全世界で3000基も使用されている。

この間、GEエアクラフトエンジン社（以下GE）も大型航空機用のCF6エンジンの機種を拡張し、日本航空や全日空も採用している中心機種CF6-80C2は、2000基ほども世界の空を毎日飛んでいる。ロールスロイス社（以下RR）のRB211エンジンもまた欧州の空を中心に大型航空機時代を支えている。

これら推力21-28トンのエンジンがこれからも長く使い続けられることは間違いないが、今やエンジン業界は新たな高推力エンジン時代へと突入している。P＆WのPW4000、GEのGE90、RRのTRENTと言ったエンジンがそれで、これらは最初から45トン級の推力を狙って開発が進められ、既に40トン程度までのエンジンは実用に供されている。

これまでのエンジンで培われた制御システム・監視システム・使用部品などの高度化と信頼性の向上が高推力エンジンの開発を可能にし、日本の航空3社もこぞって導入しつつある、図1に示すB777型機を中心とした双発の大型ジェット機の出現を促したとも言える。表1に日本航空の場合を例に、最新のB747-400とB777-200型機の主要諸元を比較して示した。前者よりは小型とはいえ後者のような大型機が双発で運航されるというのは航空機エンジン技術の進歩を如実に示している。

図1　2基のPW4000で飛行するB777型機

表1　B747とB777型機の主要諸元の比較

主要諸元	B747-400	B777-200
機体寸法		
＊全長	70.5m	63.7m
＊主翼スパン	64.9m	60.9m
＊全高	19.3m	18.8m
航続距離	13,100km	7,721km
最大離陸重量	395ton	243ton
装着エンジン	CF6-80C2	PW4000
＊基数	4基	2基
＊最大推力	26ton	35ton
＊バイパス比	5.2	6.4
＊ファン径	2.4m	2.8m

当社は、P＆WとGEからライセンスを受け、上記エンジンの内、JT9D,CF6-80C2,PW4000の高圧タービン翼の修理を行なう専門会社として、1988年に日本航空と新日本製鐵との共同出資により設立された。以来、1990年に部分操業を開始し、その後も修理資格を拡張しつつ修理品目を増やし、今日ではPW4000のそれを除くほとんどの高圧タービン翼の修理を行なっている。以下に、修理技術の観点からみた高圧タービン翼の技術動向、修理技術の現状と将来を展望する。

2 ジェットエンジンの構造

現在の高バイパス比ターボファンエンジン (High Bypass Ratio Turbofan Engine) の構造は図2に示すように、前方か

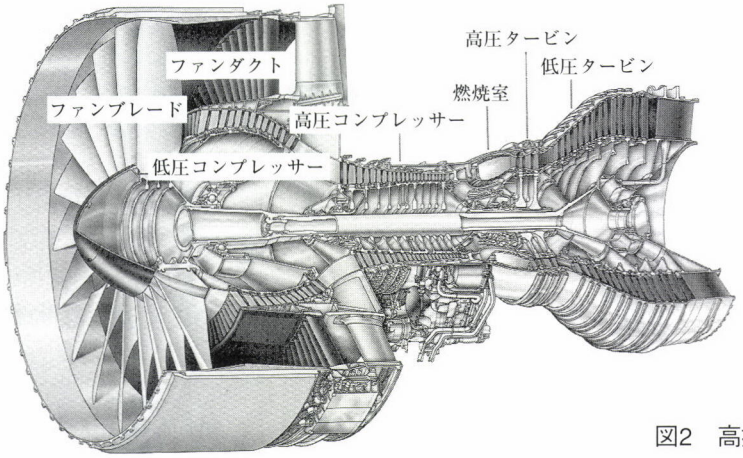


図2　高推力PW4000エンジン（38トン級）のカットセクション

ら（1）ファンブレードと低圧コンプレッサー、（2）高圧コンプレッサー、（3）燃焼室、（4）高圧タービン、（5）低圧タービンの各部分から構成されている。

推力25トン級のエンジンの例（下記の離陸時の諸数値はエンジン機種で相当異なる）でみると、燃焼室から吹き出される1350℃・30気圧程度の高温・高圧の燃焼ガスを受けて、高圧タービンが約10000rpmの高速で回転し、同軸になっている高圧コンプレッサーを回転させ、低圧コンプレッサーで2気圧程度に圧縮された空気を、さらに600℃・30気圧程度まで圧縮する。この高温・高圧の圧縮空気が燃焼室に吹き込まれ、ジェット燃料を燃焼させる。

一方、高圧タービンから出てくる、まだ800℃・6気圧程度と温度も圧力も比較的高い燃焼ガスを受けて、低圧タービンが3500rpm程度で回転する。この回転が同軸になっているファンブレードと低圧コンプレッサーを回転させる。ファンブレードの回転によって取り込まれる毎秒800kgもの空気の約15％は低圧コンプレッサーに入るが、残りの85％はファンダクトを通過（Bypass）して、秒速300m位で大気中に排出される。これがエンジンの推力の大部分を占める。

3 高圧タービン翼の技術動向

3.1　構造と使用環境

高圧タービンは燃焼室から高速で出てくる燃焼ガスを最も効率的な流れとするための第1段ベーン（固定翼）、整流されたガスを受けて回転ディスクに取り付けられた状態で高速回転する第1段ブレード（回転翼）、乱されたガス流を再度整流する第2段ベーン、その後ろに位置し第1段ブレードと同軸で回転する第2段ブレードから構成されている。ブレードの外周にはアウターエアシール（Outer Airseal）と呼ばれる部品が配置されていて、ブレード先端はこれに接触する程の間隙で回転するようになっており、ガス流を効率的に回転エネルギーに変換している。

これらの部品は燃焼室直後に位置するため、エンジンによっては1350℃を優に越える燃焼ガスに直接曝されるばかりでなく、離陸・着陸時には激しい急熱・急冷の熱応力を受け、ブレードの場合には高速回転による強い遠心力も受ける、など極めて厳しい環境で使用される。

3.2　使用される材料と凝固組織

高圧タービン翼に使用されている材料は全てニッケルあるいはコバルト基の超合金である。エンジン機種・部品・時代によって最適な合金が選択され、真空誘導またはエレクトロンビーム溶解炉で厳密な成分調整下で溶解され、同じ炉内で予熱されたロストワックス精密鋳造鋳型に鋳込まれて製造される。従前は多結晶組織材のみであったが、1970年代初めから1方向凝固材が、1980年代初めには単結晶材が実用化され、今日ではこれらが多用されている。多

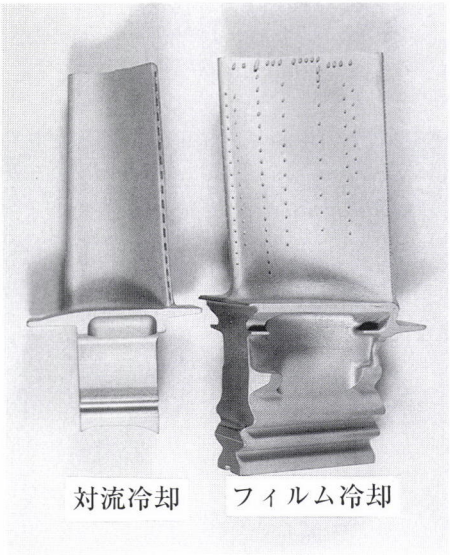


図3　ブレードの冷却方式

結晶から単結晶への進歩により耐熱特性が約140℃改善されたと言われる[1)]。

3.3 冷却技術

このような材料が使われていても、部品が曝される温度が高過ぎるため冷却が不可欠である。全ての高圧タービン翼は中空であり、高圧コンプレッサーから分岐された冷却空気によって以下のような方法で内部から冷却されている。

1) 対流冷却（根元の開口部から冷却空気を入れ、部品の端部から出す方法）
2) 衝突冷却（小さな孔が多数開いた中空の中子を部品内部に挿入・固定し、その中子を通して冷却空気を部品内壁に衝突させる方法）
3) フィルム冷却（翼内部から外部へ貫通する複数の冷却孔列を開け、この孔から吹き出す冷却空気層が部品外部表面を覆うようにする方法）

図3に初期の対流冷却のブレードと最近のフィルム冷却が多用されているそれとを対比して示した。このような冷却技術の進歩により、部品が曝されても良いガス温度を390℃程も上昇させることが出来たと言われる[1)]。

3.4 耐酸化皮膜と熱遮蔽皮膜

3.4.1 耐酸化皮膜

(1) 皮膜の役割

上述のように高度な材料・冷却技術が駆使されているにもかかわらず、そのままでは燃焼ガス温度が高いため高圧タービン翼の急速な高温酸化・腐食は避けられない。そこで、12-35%のアルミニウムを含有する皮膜で全ての高圧タービン翼の外部表面を覆っている。中空の内部表面もこの皮膜で覆われている部品が多い。

酸化により緻密なアルミナ層を部品表面に形成させ、それ以上の酸化の進行を防ごうとするものである。たとえ、一旦形成されたアルミナ層が熱・機械的応力により剥離したり、酸化層を燃焼ガスが浸透しても、皮膜中のアルミニウムで新たなアルミナを形成させて酸化の進行を遅らせる仕組である。

(2) アルミナイド皮膜

ニッケル・アルミナイド (Ni-Aluminide) 皮膜はNiAl金属間化合物（コバルト基超合金の場合はCoAl）を主成分とする皮膜で、アルミニウムを母材に蒸着・拡散させて形成する。古くから実施されているパックコーティング (Pack Coating) 法では部品をアルミ合金・アルミナ・塩（弗）化アンモニウムの混合粉末中に埋め込み、中性雰囲気で加熱することにより塩（弗）化アルミニウムを発生させ、部品表面にアルミニウムを析出させている。最近ではガス発生装置から所定のガスを炉内に導入し、化学的に蒸着させるいわゆるCVD法（Chemical Vapor Deposition）も部品内外表面への皮膜形成に使われはじめた。

プラチナ・アルミナイド (Pt-Aluminide) 皮膜は、予めプラチナメッキをした部品を上述のパックコーテイング法またはCVD法によりPt-Al-Ni からなる皮膜を形成させたものである。これは1970年代に開発された皮膜であるが、CF6-80C2エンジンで当初はニッケル・アルミナイド皮膜であったが、ブレードの耐高温酸化特性を改善する必要があって、この皮膜に変更されたことで今また注目されている。

(3) ニコクラリ皮膜

ニコクラリ皮膜（Ni,Co,Cr,Al,Yを主成分とするのでこのように呼ばれる）はP＆Wのエンジンで多用されている。当初はエレクトロンビームで皮膜成分の合金を蒸発させて物理的に部品表面に蒸着させるEB-PVD法（Electron Beam Physical Vapor Deposition)で形成されていたが、1980年代から次第に減圧下でプラズマ溶射するLPPS法（Low Pressure Plasma Spray）による形成に置き換えられ、今では全てこの方法によって作られている。EB-PVD法ではその蒸気圧が低すぎるため添加出来なかったハフニウム（生成したアルミナ層の剥落防止に顕著な効果があると言われる[2)]）をLPPS法では容易に添加できる、設備費と形成コストがEB-PVD法は高価に過ぎるなどの理由による。

3.4.2 熱遮蔽皮膜

熱遮蔽皮膜（イットリアで部分安定化させたジルコニア皮膜）は150ミクロン程度の厚さで母材の表面温度上昇を140℃も抑えられると言われる[1), 3)]ことから、以前より冷却のしにくいベーンの側面に大気中でプラズマ溶射するAPPS法（Air Pressure Plasma Spray）によって一部適用されてきた。その優れた断熱効果からPW4000エンジンではベーンの外部表面全体にこの皮膜が採用されている。この

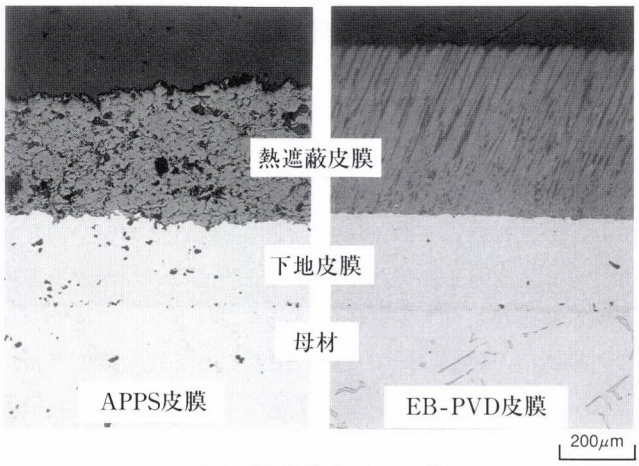


図4 熱遮蔽皮膜の組織

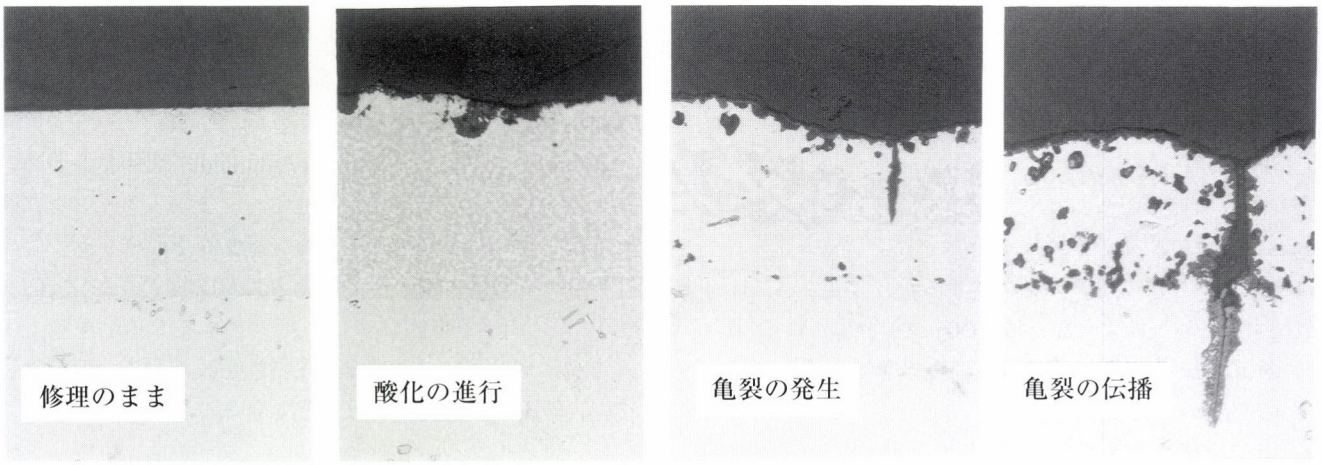


図5　ニコクラリ皮膜組織の劣化の進行状況

皮膜は図4に見られるように層状であり、気孔率も高く高速回転するブレードへの適用は到底考えられなかった。

しかしながら、EB-PVD法による熱遮蔽皮膜の開発はブレードへの適用を可能にし、今や最も注目を浴びている技術である。図4に示すように柱状の組織が特徴であり、熱・機械的な繰り返し応力に強く、懸念される剥離が生じないとされている[3),4)]。最初にP&Wによりベーンに適用されたこの皮膜は、その優れた使用成績からJT9Dのブレードで試験的に採用され、今やPW4000エンジンでは必須の皮膜として採用されている。GEとRRも既にこの皮膜をオプションベースで採用しはじめている。

4 修理技術の動向

4.1　何故修理が必要か

上述のようにして製造される高圧タービン部品であるが、非常に厳しい使用環境で使われるため経年劣化はある程度止むを得ない。酸化や腐食による耐酸化皮膜の劣化、熱・機械的応力の繰り返しによる母材の割れの進行、大量の冷却空気に含まれる粉塵のブレード内部先端への堆積、アウターエアーシールとの接触回転によるブレード先端の摩耗や割れなどが、数千時間から2万時間程度の使用により次第に進行する。

図5にニコクラリ皮膜の劣化の例を示すが、修理直後の組織と比較して、酸化が進行すると共に組織が粗大化し、亀裂が発生して母材にまで亀裂が伝播する様子が判る。ブレードでは母材にまで亀裂がおよぶと修理は困難でありスクラップとされる。これらの部品は新品で一つが数十万円もする高価なものであり、使い過ぎてスクラップになる前に新品価格の数分の一で皮膜の更新などを行い再度あるいは数回使用する方がはるかに安全かつ経済的であり、修理が一般的に行われる理由である。

4.2　修理工程と修理資格

航空会社は飛行中のエンジンの状況を常時電子的にモニターするとともに、定期的に地上で内視鏡などを用いて部品の状況をモニターする。何らかの異常が発見された場合、エンジンは機体より取り卸され、必要に応じ部品単位にまで分解点検される。使用時間が定められている部品もあり、その交換のために計画的に取り卸され分解点検される場合も勿論ある。

航空会社によってエンジン整備の仕方は様々であるが、高圧タービン翼については専門会社に修理を依託するのが最も一般的のようである。当社では、部品単位で依託を受けその概略を表2に示す工程（実際には40-60工程）により修理する。

修理を行うためには、部品毎にまたその主要修理技術毎にエンジンメーカーの厳格な資格認定試験に合格しなければならない。設備の適合性審査、修理方法の詳細な記述の審査、試験操業のデモンストレーション、試験操業部品のメーカーによる非破壊・破壊検査、定期的な設備・操業状況審査などが行われる。

海外航空会社の部品を修理するためには、米国連邦航空

表2　高圧タービン翼の修理工程の概略

ベーン	ブレード
受け入れ検査	受け入れ検査
↓	↓
変形の修正	旧皮膜の除去
↓	↓
旧皮膜の除去	翼内部の洗浄
↓	↓
亀裂・溶損部の溶接	翼先端の整形
↓	↓
亀裂の拡散接合	翼先端への肉盛
↓	↓
接合部の手仕上げ	肉盛部の手仕上げ
↓	↓
冷却孔の穿孔	皮膜の更新
↓	↓
皮膜の更新	皮膜表面仕上げ
↓	↓
中子の取り付け	析出硬化処理
↓	↓
完成検査	完成検査

局や欧州連合航空局などの修理工場認定が必要であるが、これらの機関は厳密な品質保証体制を求めており、当社はそれに見合う体制を整備して、既に双方から認定されており、定期的に更新検査を受けている。

4.3 主要な修理技術

4.3.1 内部洗浄

強度と冷却効果を両立させるためブレード内部は非常に複雑な構造となっており、冷却空気中の粉塵が堆積する場合があり、これを高温・高圧のアルカリ溶液で膨潤させ高圧水流で取り除く必要がある。

4.3.2 TIG溶接

TIG溶接は大きな亀裂の修理、ブレード先端の肉盛りなど修理工程で重要な役割を占めている。母材や皮膜への熱影響を極力避ける目的から低電流溶接が必須であり、交流TIG溶接も使用される。難溶接材の溶接には部品を高温に加熱した状態で行うなどの手法も用いられる。

4.3.3 液相拡散接合

ベーンには微細な亀裂が多数発生する場合が多い。これらの亀裂を溶接で修理することは事実上不可能であり、液相拡散接合法で修理する。この方法は、

1) 亀裂内部の酸化物を高温の水素または弗化水素ガスで還元した後、真空洗浄し、
2) 母材成分と同様の合金粉末とそれに若干のボロンを含有させた合金粉末とを練り合わせたペーストを亀裂に擦り込み、
3) 高真空下で加熱することにより、ボロンの顕著な融点降下作用でペーストを溶融させて亀裂内に浸透させ、その後の拡散熱処理でボロンを拡散させると共に組織の均一化を行う、ことからなっている。

母材とほぼ同等の組織・高温強度が得られるこの方法は今やベーン修理の必須技術の一つとなっている。微細な亀裂が冷却孔近傍に発生しやすいこともあり、殆ど全ての冷却孔をこの方法で埋めて再穿孔することも常時行われる。ペースト状だけでなく、真空焼結で板状にしたものやテープ状のものも開発されておりベーン形状の修復や摩耗部の肉盛りにも応用されている。

4.3.4 溶射肉盛り

アウターエアシールとの接触回転で摩耗するブレード先端は通常溶接により肉盛りされるが、残存肉厚が少ない場合には溶け落ちの可能性が高く、LPPS法により肉盛りする。P&W部品では摩耗したアウターエアシールの表面もまたこの方法で修復される。その他、摩耗しやすい部位にはAPPS法によりクロムカーバイドやタングステンカーバイド系の耐摩耗皮膜を肉盛りして修復する。

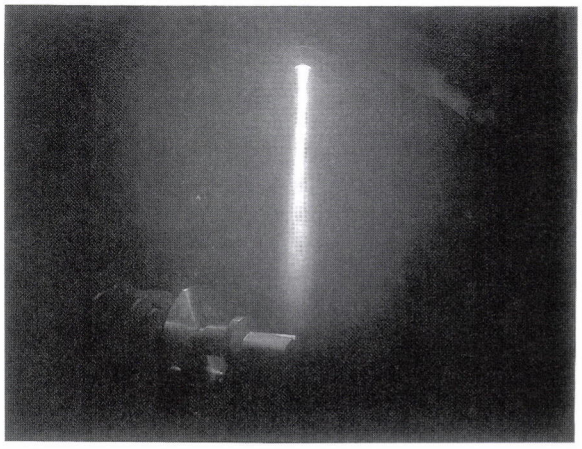


図6　ニコクラリ皮膜の減圧プラズマ溶射（LPPS）状況

4.3.5 冷却孔の穿孔

修理過程で埋められた冷却孔は穿孔しなおさねばならない。特に拡散接合でほぼ全ての冷却孔を埋めてしまう現在の修理方法では、効率的な穿孔技術が必須であり、レーザ穿孔が主に用いられる。コンピューターに対象部品の全孔の位置・角度・孔径と穿孔パラメーターを入力しておき自動穿孔する。

4.3.6 皮膜の更新

大方の修理が終わったところで、新品部品を製造する時と同様の方法で耐酸化皮膜、熱遮蔽皮膜を更新する。当社はLPPS、APPSおよびパックコーティング設備を保有して皮膜の更新を行っている。図6はLPPS法でブレードにニコクラリ皮膜を溶射している状態を示している。最近の高圧タービン翼は前述のように冷却孔が多く、皮膜の更新時に冷却孔径が皮膜によって狭められ、そのままでは所定の冷却空気量を確保するのが難しい。そのため種々の手法で予め孔径を大きくしておく、あるいは狭まった孔を拡大する作業などが必要であり修理は益々複雑になっている。

4.3.7 検査

最高の安全性を求められる高圧タービン翼であるため、修理工程での検査には万全を期す必要がある。修理可否判断に始まり、部品状況に応じた修理工程の設定、修理途中で初めて見えてくる欠陥の処置判断、次工程で隠されてしまう欠陥の発見と修理指示、修理部品が使用可能であることを保証する完成検査などきめ細かい何回もの検査が必要である。非破壊検査では検査できない品質（皮膜の組織、界面状況など）については、ロット毎に同時に処理するサンプルの顕微鏡観察により確認する。

5 おわりに

エンジンメーカーも軍需の減少から民間航空機の整備事業に積極的に乗り出している。航空会社のエンジン整備でも、外注化・分社化・航空会社間の整備協力などを含めた合理化が求められている。部品の修理価格の低減や修理日数の短縮要請は益々高まっている。修理技術が上述のように高度化・複雑化する中、修理品質を確保しつつ、これらの要請に如何に答えられるかが修理会社の将来を制するといえる。

導入されつつある高推力エンジンはさらに様々な新しい修理技術の開発を要求することになろう。また、従前はエンジンメーカーの規定した修理方法でしか部品の修理は出来なかったが、米国では修理会社が開発した修理技術を米国連邦航空局が認定すればそれを使用出来る道が開かれている。既に大手の修理会社では独自に開発した技術を使い始めており、今後益々激しい技術開発競争が展開されて行くものと思われる。

当社が修理したタービン翼は日本航空の大部分の、また海外航空会社の一部のエンジンにも使用されている。当社で修理され、長時間実使用され、また修理に帰ってきている部品も増えている。これまで全くの無事故、好成績で使用されてきているが、これに満足することなく、上述の事業環境を踏まえ、修理技術のさらなる向上を計って行きたいと考えている。

最後に、日本航空とP＆Wから一部の写真、データなどを提供頂いたことを付記し、謝意を表する。

引用文献

1）J.Smith:Presentation at 1995 Technical Symposium, Howmet Refurbishment Inc.
2）D.Gupta and D.Duval:United States Patent 4,585,481;Apr. 1986
3）S.Meier and D.Gupta:ASME paper 92-GT-203
4）G.Goward,D.Grey and R.Krutenat:United States Patent 4,248,940;Feb.1981

（1996年6月11日受付）

鉄の歴史⑥

幕末の高炉技術の展開

岡田廣吉
Kokichi Okada

Development of Blast Furnace Technique at the Last Time of the Edo Era, Japan

1 大橋高炉の展開と鉄銭鋳造

大島高任（おおしまたかとう）がヒュゲーニン『ロイク国立鉄製大砲鋳造所における鋳造法』（1826）に準拠して築造した大橋高炉（文久元年（1861）から一番高炉と呼ばれた）は、安政4年（1858）12月1日に初出銑を行ったが、「鉱の熔解を試みるに、適度の調を不得と雖とも鉱の分離速かなり。但し二日の間も行ふこと能はず」という状況が続き、「漸く鞴（ふいご）の可ならざるを悟り、則ち古きを去って新たに一箇を製し用て以て試む。此時安政○年三月九日、始て鉄熔液となり抜去し去る。皆喜悦の声を発し眉を開く。実に三年の辛苦、此に解けり。是日本高炉を開き、鉄鉱を熔解するの始なり」（鉄鉱山之記）[1]とあるように、安政6年（1859）3月9日に始めて操業が軌道に乗った。大島高任が築造した高炉は、この間に開放炉胸を密閉炉胸に改造し、炉口部を上方に延長して側面に原料投入口を設け、桶形送風機を箱形送風機に置換え、操業にも鉄鉱石を焙焼して粒度を揃え、石灰石の装入を廃止するなど、多くの改良が施されている[2]。

安政5年（1858）春に着工した橋野仮高炉は、翌6年2月に存廃の議論が起りながら、4月には却って経営組織を強化している。ついで万延元年（1860）に橋野一番高炉、佐比内（さひない）一番高炉（二番高炉は明治元年（1868）築造という資料に妥当性がある）、文久元年（1861）に橋野二番高炉、大橋二番、三番高炉が築造された。大橋高炉の技術の波及効果であろう。表1と図1を参照されたい。

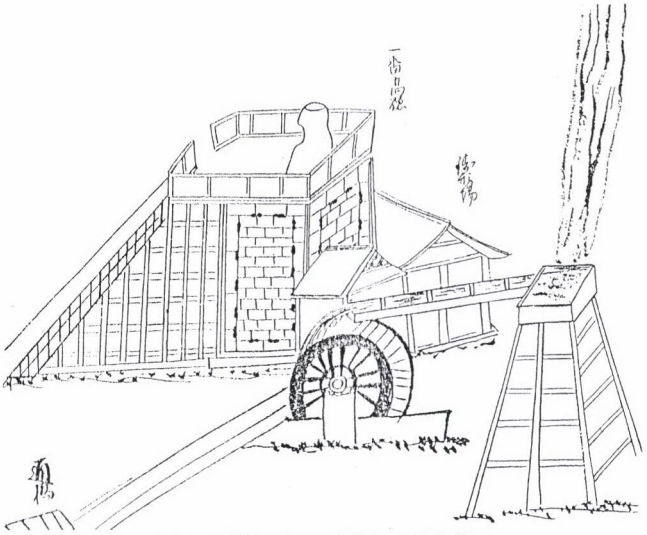


図1　明治2年の大橋一番高炉[1]

大島高任の大橋高炉操業計画は、日産銑鉄568貫目（2t強）、10ケ月の連続操業、年産銑鉄160,800貫目（約603t）であった。しかし、始めは「一昼夜ニ四五拾貫目産出シ而シテ漸次従事者ガ研究ト熟練ヲ積ムニ従ヒ弐百貫目以内トナリ追々稀レニハ参百貫目以内ニ進ミ逐年ニ及ボシ鎔鉱炉ヲ改築シ五百貫目宛産出トシテ参拾日間一期ノ経営予定」になったという[3]。大島高任は「南部領の殖産興業奨励に関する上申書の草稿」（万延元年頃か）と文久2年正月付の「日新堂創設の資金調達をも含む目論見書」で高炉1基年産

表1　幕末から明治初期の釜石鉄鉱山地域の高炉

高炉名	基数	完成年	廃棄年	経営者	所在地	備考
大橋 一番 二番 三番	3	安政4年（1857） 文久元年（1861）	明治8年9月撤去	貫洞瀬左衛門—南部藩—高須清次郎—外川又蔵	釜石市甲子町大橋	釜石市指定史跡
橋野 仮 一番 二番 三番	4	安政5年（1858） 万延元年（1860） 文久元年（1861） 明治元年（1868）？	明治元年撤去？ 明治27年まで操業	南部藩—小野權右衛門—小野組—瀬川清兵衛（清次郎）—澁谷善兵衛	釜石市橋野町青の木	昭和31年発掘調査 昭和32年国指定史跡 昭和59年アメリカ金属協会HL賞受賞
佐比内 一番 二番	2	万延元年（安政6年？） 万延元年（明治元年？）	明治7年11月末まで操業、以後不詳	岩城忠平（遠野南部家）—遠野町理兵衛—平田久兵衛（小野權右衛門）—小野組—？	遠野市上郷町佐比内	昭和57、58年発掘調査 遠野市指定史跡
砂子渡	1	元治元年（1864）	明治4年春？	貫洞瀬左衛門—松岡清蔵—平野治郎兵衛	釜石市甲子町砂子渡	
栗林	1	明治2年（1869）	明治10年代？	砂子田源六	釜石市栗林町大沢	昭和34年発掘調査 釜石市指定史跡
大蕨	2?	明治2年（1869）	明治7年11月末まで操業、以後不詳	瀬川清兵衛（小野權右衛門）—小野組—？	釜石市橋野町大蕨	芹沢正雄ほかの確認調査あり
横石	1?		明治2年？	平田久兵衛（小野權右衛門）	釜石市橋野町横石	整地段階で放棄

銑鉄10万貫目（375t）と記述している[1]。したがって、釜石鉄鉱山地域の高炉は遅くも文久元年頃までに1期30日操業、高炉修理1月、1年6期操業、日産銑鉄500貫目（1.875t）、年産銑鉄10万貫目という計画生産が可能な操業技術を確立していたように見做される。大島高任の当初の操業計画は、高炉と操業法の改良と同時に修正されたのであろう。

大橋高炉の築造は、まず第一に水戸藩の反射炉に高炉銑を供給する目的に設定されていたが、大橋高炉が順調に操業した頃には水戸藩の反射炉が閉鎖していた。当時の高炉銑は鋳鉄製大砲用が最大の需用であり、しかも釜石鉄鉱山地域の高炉銑が国内で唯一の独専商品であった。当時南部藩は高炉銑の販路と需用の拡大を計って幕府に岩鉄製延鉄（高炉銑原料の錬鉄）15,000貫目（56t）を献上し、反射炉築造費3万両の貸与を願い（不許可）、ついに高炉銑40万貫目（1,500t）の販売に成功し、また仙台藩石巻鋳銭場（いせんば）にも3年契約で高炉銑を販売したが、生産過剰気味に陥っていた。このような時期に南部藩は、高炉銑の確実な需用を起して価格の安定を計り、合せて高炉製鉄業の基礎を強固にすると共に、藩財政の救済にも資する事業として着目したのが慶応元年（1865）12月に幕府の許可を受けた鉄銭鋳造であった。

南部藩は盛岡と釜石鉄鉱山地域との中間に位置する大迫通（おおはざまとうり）外川目村（岩手県稗貫郡大迫町外川目）に銭座を設置し（外川目銭座）、翌2年5月から高炉銑を原料に水車動力で熔解作業を行い、鉄銭鋳造を開始した。鋳物業における水車動力の利用は、わが国で創始の技術であろうが、水車動力にしろ送風機にしろ、明らかに高炉技術の応用であった[4]。

つづいて外川目銭座の分座という名目で大槌通栗林村（釜石市栗林町）にも銭座を設置し（栗林銭座）、外川目銭座と同じ形式を採用して慶応3年（1867）8月から操業を始めた。幕府が瓦解して戊辰戦争（1868～69）に入るや、南部藩は橋野、佐比内、砂子渡（すなごわたり）、大橋の高炉製鉄所に銭座の併設を許可し、明治2年には鉄銭用の高炉銑生産を主目的とした栗林高炉と大蕨高炉（沢檜、橋野と記載されたことがある）も建設された。

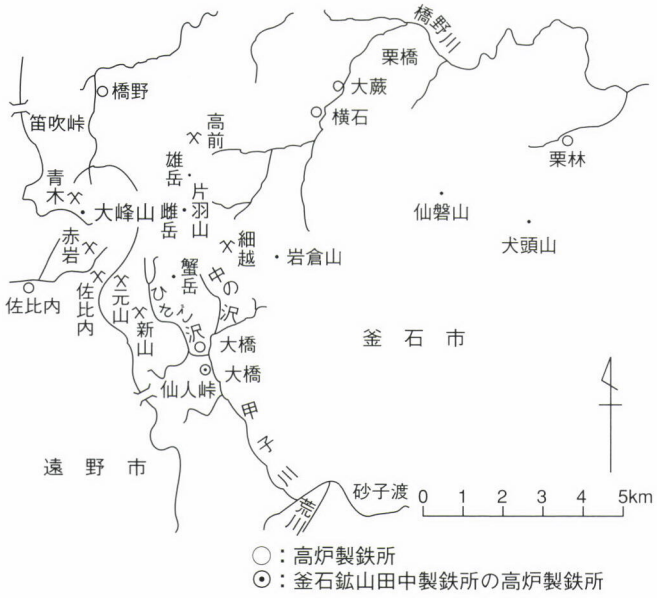


図2　釜石鉄鉱山地域の高炉の位置

橋野高炉の鉄銭鋳造法は、「岩鉄鉱ヲ一旦熔解セシメ銑鉄ニ仕上ゲタル銑ヲ吹返シ而シテ再製セザルニ於テハ銭ノ鋳造ナリ難キモノトテ斯ル手続キヲ経タルモノナレトモ更ニ漸次鉱石ヲ八分ニ銑鉄ヲ弐分ヲ配合シテ銭カ容易ニ鋳造スルコトヲ得タ」[3]、すなわち高炉で熔解した「鉄鉱の熔汁をじかに鋳型に注入する」直鋳法を開発したのである[5]。直鋳法には原料に銑鉄が要求され、しかも高炉が1期30日操業であるから、直鋳法の採用には複数基の高炉の交互操業が効率的であった。橋野三番高炉、佐比内二番高炉、大蕨高炉が明治元年と2年に建設された背景であろう。

釜石鉄鉱山地域の高炉製鉄所は、図2のように全て原料（鉄鉱石、木炭）立地の山地型製鉄所の性格を有し、明治2年には6製鉄所、高炉12基、銑鉄年産能力120万貫目（4,500t）の規模をもつ高炉製鉄所群に発展していた。明治2年12月末、鋳銭禁止令が公布されて釜石鉄鉱山地域の高炉製鉄所は窮地に追い込まれた。この中の橋野、佐比内、大蕨の高炉製鉄所は明治6年頃から小野組盛岡店に所属し、生産実績は不明であるが、明治7年7月に為替取扱のため秋田県に提出した抵当物件に浅草五番堀、六番堀御蔵に在庫の岩鉏（高炉銑）371,500貫目（1,393t）を挙げており[6]、さらに小野組が破産した同年11月末には橋野、佐比内、大蕨、両石湊の岩鉄（高炉銑）121,757貫余（約457t）、棹銑（棒銑、生子銑か）58,640貫余（約220t）、延鉄（錬鉄）313貫余（1t余）を計上している[7]ので、相当の生産量があったのである。しかし、この時期の橋野高炉製鉄所は、つぎの資料のように小野組の破産とも別に休業に追い詰められていた[8]。

橋野鉄鉱山詰　　大島又七殿

右者鉄鉱山（高炉製鉄所）営業蒙ニ付、御雇勉務御依頼申置候処、昨癸酉（明治6年）八月閉伊郡（へいぐん）鉄鉱山（釜石鉄鉱山）一円、御引揚官業被仰出候ニ付、事実取調再三奉願上候得共、御採用難相成旨鉱山御寮ヨリ御達相成候処、御取付迄ハ稼方御聞届置可被下置旨、御県（岩手県）ヨリ御達相蒙是迄成行相行ヒ候処、当今ニ至リ出鉏（銑）存外下落相成、右ハ西洋同様ノ製煉鉏ニ無之タメ、自然不捌ノミナラズ、米価追々騰貴弥ケ上高費相成候ニ付テハ、向後引合ノ目算相立不申、就テハ右器械新調致、一応西洋ノ製煉方取尽申度見込モ有之候得共、官業御着手相成候上ハ、此上願上候テモ、稼方積年ノ御聞届ハ被下置間敷処、新器械営繕等江大金元入致候テハ、是又目算相互（立か）間敷、且又於政府追々御盛大御創業ノ折柄、右近傍ニ於テ請負山相稼候ハバ、御差支ノ程モ奉恐察候得ハ此上

表2　釜石鉄鉱山地域の鉄滓の化学分析値

高炉名	橋野三番高炉			佐比内		大蕨			
m.Fe				0.11	3.91				
FeO	7.45	2.29	2.00	0.71	1.14	5.17	5.79	3.19	
Fe_2O_3				9.28	7.66				
SiO_2	45.60	49.52	49.72	59.40	47.40	50.08	50.05	51.52	55.05
Al_2O_3	11.20	12.44	10.80	16.50	10.30	14.62	14.00	15.44	20.70
CaO	26.84	29.22	30.20	5.05	20.00	22.20	21.25	23.06	17.80
MgO	2.98			2.75	3.36	1.87			
MnO	1.48	0.93	0.89	0.16	0.46	0.44	0.46	0.36	
TiO_2				0.57	0.30	1.04	1.11	0.72	0.29
Cr_2O_3				0.05	0.02				
P_2O_5				0.22	0.06				
V_2O_5				0.00	0.00				
Cu				0.00	0.00				
S	0.11	0.15	0.07	0.006	0.066	0.084	0.069	0.058	
C				0.02	2.05				
合計	95.66	94.55	93.68	94.826	96.726	95.504	92.729	94.348	93.83
文献	9			10		11			

釜石表御都合モ相伺、器調（械か）等見据定点相立兼候得ハ、猶東京小野組江、前條詳細申出評決ヲ受候上、猶再度ノ見込モ可相立候得共、前書ノ次第ニ候間、暫ノ内休業致候ニ付暇差出申候。是迄御勉強モ有之処無本意存候得共、前段ノ旨慮御了解有之度、尤御手当ノ儀ハ取調ノ上可及御挨拶也。

（明治7年）十一月

小野組　元方中　瀬川清兵衛

「西洋同様ノ製煉鉏」とはねずみ銑だろうか。釜石鉄鉱山地域の高炉銑は白銑であった。

2 石灰石の利用と橋野三番高炉の最終操業

大橋高炉の安政5年（1858）6月5～7日、23～26日、7月11～15日の操業では、鉄鉱石に対して18%、10%、1%の石灰石を装入している（安政五年大橋製鉄日記）[1]。だが、幕末の釜石鉄鉱山地域における高炉の石灰石使用資料は、この1例に限られているのであって、むしろ石灰石の装入廃止が高炉操業法の確立に重要な鍵になったような疑いすらある。

明治元年頃から同13年まで橋野高炉に勤務した大島善太郎は、後年に「明治八年頃ナリキ井上勝閣下（工部省鉄道頭）ハ青ノ木ヲ経テ大橋ニ向ケ山越釜石鉱山ヲ実視ノ際其折青ノ木ニ於テ小米石（こごめいし）ト稱スル石灰（石灰石）或ハ純白ノ石灰（石灰石）ヲ製錬方ニ配合スルコト（中略）トノ教導ニ基キ試驗スル所（中略）石灰（石灰石）ノ配合上ニ就テハ功顕ヲ認メス」と回想している[3]。少くとも明治13年まで、橋野高炉では操業に石灰石を使用していないが、表2に掲げた橋野三番高炉跡、佐比内高炉跡、大蕨高炉跡で採集した鉄滓の化学分析値には、明らかに石灰石の使用が示されているのである[9~11]。

明治7年11月末の小野組破産後、橋野高炉は瀬川清兵衛の経営に移り、明治24年11月に澁谷善兵衛の所有に帰した。翌25年付の「熔鉱製煉概算」には、鉄鉱石18万貫目のほかに「金九拾円也　石灰弐万貫匁　但シ百貫匁ニ付工場着四拾五銭宛」とあり、鉄鉱石に対して11%の石灰（石灰石であろう）を計上している。同時期の高炉操業予算にも30日吹で鉄鉱石3万貫目、石灰60俵、50日吹で鉄鉱石5万貫目、石灰100俵とある[8]。これらの資料は第2表の鉄滓の化学分析値と合せ、明治25年以降の橋野高炉における石灰石の使用を裏付けている。

橋野、佐比内、大蕨の高炉では、いつから石灰石を使用したのだろうか。いづれの高炉にも熱風炉を設置した形跡がない。明治15年の官行釜石鉱山の高炉では、鉄鉱石に対して約10%の石灰石（100貫目につき59銭）を使用している[12]。そうすると、釜石鉄鉱山地域の高炉における石灰石の使用は、官行釜石鉱山の技術的影響だろうか。

澁谷善兵衛は橋野三番高炉で、図3のような明治25年11月2日～12月1日の1吹（操業期間29日、1日平均出銑量486貫目、1日最高出銑量645貫目、総出銑量14,121貫目）、同26年9月25日～10月23日の2吹（操業期間28日、1日平均出銑量429貫目、1日最高出銑量578貫目、総出銑量12,025貫目）、同27年5月16日～6月4日の3吹（操業期間19日、1日平均出銑量429貫目、1日最高出銑量600貫目、総出銑量8,153貫目）の操業を行った。3吹を除いた操業成績は、1期30日操業、日産銑鉄500貫目という標準に近い。恐らく、操業に石灰石も使用したのであろう。

橋野三番高炉の明治27年6月4日の吹切り（吹止め）は、

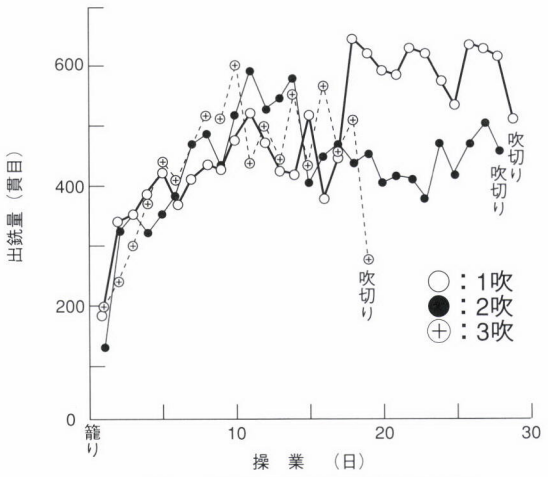


図3　橋野三番高炉の操業実績

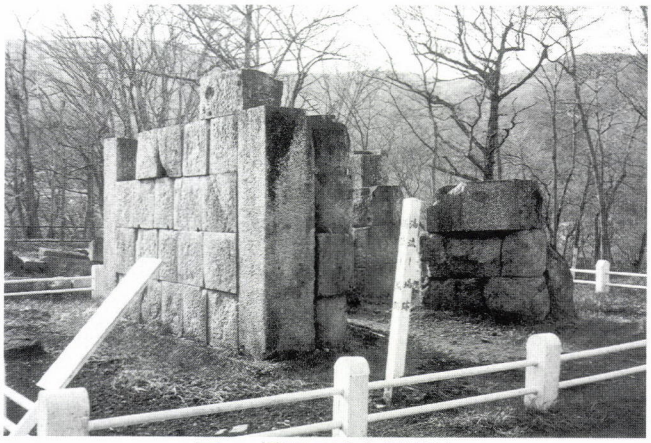


図4　橋野三番高炉遺跡

安政5年の仮高炉に出発して36年も存続した橋野高炉の最後であったばかりでなく、釜石鉄鉱山地域の高炉の消滅でもあり、再起することなく全高炉が廃棄されたのである。なお、橋野高炉跡で「SHINAGAWA」（品川白煉瓦㈱製）の刻印をもつ耐火煉瓦が採集されている[13]。これは澁谷善兵衛の経営時代に使用したのであろう。

3 横山久太郎による高炉の復活と49回目の成功

明治7年5月に発足した工部省（官行）釜石鉱山は、始めて釜石鉄鉱山を離れて海岸に近い釜石の鈴子を選び（大橋と釜石の間は約20km）、輸送立地の臨海型製鉄所として設計能力日産25tの木炭高炉2基を建設した。在来の高炉は水車動力の冷風送風、日産500貫目（2t弱）が標準であったから、日産25tの高炉とは優に13倍余の生産規模であったばかりでなく、木炭使用といいながら熱風炉を附属し、しかも動力に蒸気機関を採用した巨大な高炉であった。この25t高炉は完成して操業したが、いろいろな理由があって明治15年9月12日に操業を停止、12月18日に廃業を決定し、翌16年6月30日に官行釜石鉱山は廃止された[14]。

官行釜石鉱山の廃業の後を引き継いだ田中長兵衛は、現地に横山久太郎を駐在させて高炉製鉄業を復活し、釜石鉱山田中製鉄所として発展するのであるが、創業期の状況が極めて曖昧である。まず、野呂景義は「現今（明治25年）該山所有者タル田中長兵衛氏ハ已ニ翌十六年其再興ヲ企テシト雖ドモ建造物及諸機械ノ払下ヲ受ケ現業ヲ創起シタルハ実ニ明治廿年ナリトス爾来製煉ノ法等未ダ完備セザレドモ専ラ実地ニ拠リテ矯正ヲ施シ創業已来日尚浅シト雖ドモ今日ニ至ル迄操業上已ニ四十有八回ノ失策ヲ重ネ許多ノ困難ヲ経過シテ漸ク善良ノ銑鉄ヲ製出スルニ至リタル」と記述した[15]。これが有名な「48回の失敗」の初出史料であるが、48回の失敗は創業から明治25年までの失敗回数であろうか。ついで明治26年の報告では、高炉の築造年を第一（鈴子）:18年5月、第二（鈴子）:18年10月、21年1月廃す、第三（大橋、4t内外）:20年10月、第四（鈴子、4t内外）:21年6月、第五（大橋、5t内外）:23年10月、第六（鈴子、4t内外）:24年12月、生産量を表3、沿革をつぎのように記載した[16]。

釜石鉱山旧官行ノ廃業ハ全ク原料ノ欠乏ニ起因シタルニアラサルコトハ廃業ノ際尚ホ鉱石六千噸木炭五千噸余（133万貫目余）ヲ倉庫ニ堆積セシヲ以テ証スヘシ

現今ノ鉱業人ハ官行廃業ノ当時右木炭ノ払下ヲ受ケ之ヲ東京ニ運搬セントセシモ運賃予想外ニ不廉ニシテ到底収益ノ見込ナキヲ知リ乃チ該木炭ト鉱石トヲ以テ銑鉄ヲ鎔製スルコトヲ企テ鉱業依託ノ名儀ヲ以テ其業ヲ創メ小高炉ヲ建築シテ試製ニ着手シ爾来幾多ノ困難ヲ経テ漸ク好結果ヲ得明治二十年始メテ旧官行ノ諸建築物及諸器械ノ払下ヲ受ケ翌二十一年借区ノ許可ヲ得爰ニ始メテ釜石鉄山ノ復興ヲ見ルニ至レリ

同年に大塚専一が報告した沿革記載を掲げよう。生産量は表3に併記した[17]。

明治十八年一月東京京橋区北紺屋町田中長兵衛氏旧工部省採掘ノ鉱石五千噸木炭数百万貫目ノ払下ヲ得テ、釜石鈴子工場構内ニ三千余坪ヲ借リ受ケ、同氏ノ番頭横山久太郎氏―当今田中製鉄所所長―旧式ノ冷風鉱炉ヲ設立シ、製銑ヲ図リシモ好結果ヲ得ス、然レトモ事業ヲ廃棄スルヲ歎キ、砕身粉骨専ラ工案ヲ周ラシ、鉱炉ヲ改築スルコト実ニ四十有余回、茲ニ至テ始メテ稍ヤ好結果ヲ得タリ、是レ明治廿年ノ始頃ナリシト云フ、即チ当今ノ木炭鉱炉建設ノ創トス、実ニ同氏ノ耐忍ト実験トヲ以テ、

表3　釜石鉱山田中製鉄所の銑鉄生産実績

明治	大塚専一		野呂景義・香村小録		明治工業史	田中喜多美
	t	貫目*	t**	貫目**	t	貫目***
18	312	83,210	294	79,319		84,536
19	703	187,469	563	152,000		190,477
20	1,457	388,538	1,216	328,300		394,774
21	1,905	508,006	2,162	583,674		516,159
22	2,955	788,060	2,847	768,666	2,569	800,557
23	3,775	1,006,679	3,790	1,023,224	2,682	1,022,836
24	5,372	1,432,651	5,432	1,466,530	3,720	1,455,543

* 1t：266.7貫目で換算。
**t、貫目以下四捨五入、1t：270貫目で換算か。
*** 出所は坑業借区明細表か。

茲ニ漸ク成熟スルノ秋ニ至ラシメタル其功大ナリト謂フヘシ

「旧式ノ冷風鉱炉」とは、第一および第二高炉であろうか。第一、第二高炉の日産製銑量は不詳とあるが、熱風炉を附属した第三～第六高炉でも在来の高炉に比べせいぜい2倍程度の日産製銑量であった。表3を参照されたい。報告者によって銑鉄生産量が相違する理由は判然としないが、明治18年の銑鉄生産量は高炉1基年産銑鉄10万貫目（375t）という在来の高炉の生産能力で説明が可能であり、また高炉の増設を反映して銑鉄生産量が急増している。

『明治工業史　鉄鋼篇』[19]の記載には、多くの問題が含まれていた。

釜石工場に残存せる五千噸の焙焼鉱石を利用して、製鉄業に従事せんと決心し、翌十七年末（中略）新に日本式小高炉一基及び大島式小高炉一基の建設に着手し、明治十八年一月工成り、製錬を開始したるも、吹入後二三日にして炉内冷固し、長きも五日間を持続すること能はず、吹入をなすこと十四回に及びしも、成功せず、悉く失敗に帰せり。是等の失敗は、皆冷風使用の結果なるべきを思ひ、装置を改良し、明治十八年十二月漸く熱風を使用するに至りたるも、尚ほ炉内の冷固を防ぐ能はず、種々改良を加え、吹入をなすこと四十九回、明治十九年十月十六日始めて成功し、釜石鉱山の再興の端緒茲に開かれたり。

「日本式小高炉」とは第一高炉であろうか。「大島式小高炉」は大橋高炉に始まる釜石鉄鉱山地域の高炉と同形という意味であろうから、第二高炉だろうか。大島式高炉まで「悉く失敗」とは技術以前の問題であり、明治18～21年の生産記録の欠除と相挨って、記載の信頼性に疑問が抱かれる。少くとも安政6年3月9日以後の釜石鉄鉱山地域において、築造や操業に失敗した高炉は「大橋に擬って炉を築造せるも、破損すること数度に及」んだ橋野仮高炉のほかに例がないのである[1]。49回目の操業成功という明治19年10月16日は、後世に混乱を巻き起した。板沢武雄の記述にも、『明治工業史　鉄鋼篇』の影響が色濃く滲んでいた[20]。

元工部省の釜石工場の一隅一千余坪の地所と鉄鉱五千余噸を払下げ、明治十七年九月熔鉱炉二基の建造に着手して翌十八年五月に一基、七月に他の一基が竣工すると同時に製鉄に着手した。この熔鉱炉は元大島高任氏に使はれて熔鉱炉築造に経験ある佐々木藤吉（大島善太郎が記述した「釜石人ニシテ大工職（高炉の職長）佐々木藤次郎」と同一人物であろう）が築造したという。さて着手はして見たものゝ経験に乏しく学理に暗いこととて失敗また失敗、実に四十八回の失敗を重ね、十九年十月十六日第四十九回目にはじめて成功したといふ。

だが、板沢武雄は明治19年10月16日という初出銑の日にこだわっていた。釜石製鉄所70年の回顧座談会（昭和30年8月22日）における板沢武雄の発言を紹介しよう[21]。

板沢（武雄。文学博士）ちょっと伺いますが、（釜石製鉄所）創業70年とは明治19年10月16日を出発点としてまさに70年である。明治の官営からいえば82年、安政4年の大島高任による洋式高炉成功からでは99年、享保12年大橋に鉄鉱（磁石）が発見されてから228年、それで問題は明治19年10月16日というデーターについて資料ありや否や、これについて、私は永年故工藤大助先生に話して横山さん在世中に（のか）談話を筆記して横山久太郎伝を完成するつもりでしたが、そのうちに（工藤大助先生が）亡くなられたのです。実際に横山さんの日記を御覧になった方があるかといったらないとのことでした。私は子供のときは父が神主であったので、山神社の祭は4月8日（旧暦4月8日。創立記念慰安祭）で、10月16日にしたのは後のことで、10月16日の起算のデーターについて先輩方にお伺いしたい。

村井（信平。元製鋼課長）　雨降りが多いので、統計的に調べて10月12日（山神祭。山の神の日）に選んだのであるが、後に16日に変更した。

板沢　19年7月以降であると思う。後に神話化されたが、科学史としてはあたらない。70年史は日本の科学史の有力な文献として、また日本社会経済史学の文献として学界において期待されているわけです。

板沢武雄の問いかけに対する村井信平の回答は、すぐ同年に示された[22]。

田中時代の熔鉱炉　故横山久太郎氏が釜石で、最初に洋式熔鉱炉を作り、失敗する事実に四十八回という辛苦の結果、神夢のお告げに依り始めて出銑に成功したのは明治十九年十月十六日と云い伝えられているが、実際は明治二十二、三年頃だと記憶している。

其の当時の確実な記録はないが、使用した鉱石の中には還元し難いものも可成りあり、それに送風機の風圧、風量不足も手伝って、炉に塊が出来、炉底が上ってしまった事が失敗を重ねた原因だった様である。

処が其当時、官業時代、高炉に経験をもつ職長が、「官業の時には此様な鉱石を使わず、赤岩（赤色か）の鉱石を用いていた」と云ったので、其の説を取上げ、鉱石を切替えた処、始めて出銑に成功したというのが、私が実際に聞いた話である。

創立記念祝日祭　日鉄の経営（昭和9年2月）となってから、この祭（山神祭）は十月十六日にあらためられた（昭和13年）。其の理由は、此の日が始めて熔鉱炉から出銑した記念日で、記録にも十月十六日に出銑した事が記載されているとの事であるが、然し、其の記録は現存していず、又、私達もそんな事は聞いた事がなかった。たとえ其様な記録があったとしても、熔鉱炉の数は多かっ

たのだから、何の高炉の記録なのかわからない。

もう一度、表3を参照されたい。「始めて熔鉱炉から出銑した記念日」というなら、明治18年の初出銑の日を記念日に設定してもよく、そのうえ明治19年から43年も経た昭和4年になって、突然「明治十九年十月十六日初めて成功」と記載されたのであるから、板沢武雄の疑問は当然であり、「私達もそんな事は聞いた事がなかった。たとえ其様な記録があったとしても、熔鉱炉の数は多かったのだから、何の高炉の記録なのかわからない」と言われても仕方がない。

要するに、横山久太郎によって復活した釜石製鉄所の創業期の高炉は、現在に至っても状況が不明なのである。48回の失敗、49回目の成功とは、もちろん旧暦4月8日、四苦八苦、千辛万苦、始終苦しむなどの語呂合わせだろうが、一方で銑鉄の生産実績がありながら、なぜ操業に苦しんだと伝えられたのだろうか。小野組の前掲資料を参照すると、「西洋同様ノ製煉鉏」、つまりねずみ銑の生産を目標に設定した高炉の操業であろうと見るのが私の作業仮説であり、この操業を成功まで支えたのが大橋高炉を起点に発展したいわゆる大島式（小）高炉とその操業技術であったのである。「十月十六日」は正月16日の薮入り、盆の16日の後の薮入りに因んだユーモアであろう。

引用文献

1）大島信蔵編：大島高任行実,（1938）, p.227, 私刊
2）岡田廣吉：鉄と鋼, 73（1987）, p.1622
3）大島善太郎：故大島高任閣下功績伝承録,（1922）, 手記（岡田廣吉：たたら研究, 第32・33号（1992）, p.67）
4）岡田廣吉：資源・素材学会平成8年度春季大会分科研究会資料,〔C〕鉱業史（1996）, p.43
5）森嘉兵衛：歴史学研究, 8（1938）, p.114
6）秋田県編：秋田県史　資料　明治編上,（1960）p.605, 同県
7）森嘉兵衛：岩手殖産銀行二十五年史,（1961）, p.47, 岩手銀行
8）森嘉兵衛, 板橋源, 田中喜多美：橋野高炉遺跡,（1956）, p.55, 釜石市教育委員会
9）窪田蔵郎：鉄鋼界, 26（12）（1976）, p.30
10）広田稔：日本史資料総覧,（1986）, p.110, 東京書籍
11）芹沢正雄：鉄鋼界, 24（12）（1974）, p.42
12）桑原政：工学叢誌, 10巻（1882）, p.479
13）品川白煉瓦㈱社史編纂室編：創業100年史,（1976）, p.27, 同社
14）大蔵省編：工部省沿革報告,（1888）, 同省（明治前期財政経済史料集成, 17（1931）, p.133, 改造社）
15）野呂景義：日本鉱業会誌, 8（1892）, p.157
16）野呂景義, 香村小録：釜石鉄山調査報告,（1893）, p.44, 農商務省鉱山局
17）大塚専一：釜石四近鉄鉱床地質調査報文,（1893）, p.59, 臨時製鉄事業調査委員会
18）田中喜多美：岩手県史,（1964）9, p.1116, 同刊行会
19）香村小録, 他編：明治工業史　鉄鋼篇,（1929）, p.84, 工学会
20）工藤大助：横山久太郎翁伝、（1943）, p.64, 釜石製鉄所産業報国団眞道会
21）編纂委員会編：釜石製鉄所七十年史,（1955）, p.473, 同所
22）村井信平：田中時代の零れ話,（1955）, p.5, 釜石製鉄所

（1996年6月13日受付）

解説

厚鋼板（厚板）はどのようにつくられるか

—厚板と厚板圧延の操業プロセスの紹介—

平部謙二　NKK鋼材技術開発部長
Kenji Hirabe

An Aspect of Plate Rolling Technology

1 はじめに

回転するロールの間に金属材料を通して断面積、あるいは厚みを減少せしめる加工法を圧延という[1]。

圧延は鍛造を連続的に行う特別な場合といえる。金属の塊のハンマーによる加工から圧延機による加工へと発展したのは15～16世紀であって主として貨幣や装飾品の圧延が行われた。天才レオナルドダビンチのデッサンの中にも2本のロールの間を通して板材をつくる図のあることも興味あることである。

その後19世紀には蒸気機関の発達により急速な変化が起こり、ロールおよびハウジングは大型化し、2段圧延機から多段圧延機への考えも芽生え、300馬力の圧延機も出現している。またこの頃ベッセマーによる転炉の製鋼法やジーメンスとマルチン兄弟による平炉製鋼法が発達して鋼が安価に大量生産できるようになり、圧延工場の規模も大きくなり、20世紀に入って錫メッキ板、自動車、鉄道用材料、造船用材料などを中心として一大飛躍をとげた。

即ち、板を例にとれば板幅は広く板厚は広範囲にわたり、一定の長さの切板だけでなくコイル状に巻いた帯板を1台または数台の圧延機で連続して圧延するようにもなった。

第2次世界大戦前には米国で開発されたホットストリップミルにより、板材の圧延の潮流は大きく二つに分れた[2]。通常6mm以上を厚板と呼び、それ未満を薄板と総称しているが、薄板はホットストリップミルで圧延し、厚板はプレートミルにより圧延されるようになった。但し、厳密な定義区分があるわけではなく厚板でも4.5mmの広幅を製造できるし25mmといった厚板をホットストリップでコイルに巻く例もある。要は、板を商品とした時の寸法、用途、数量により使い分けられているのが現状である。

薄板は生活水準の向上を目的とする主として自動車、電気製品、家具といった耐久消費財の需要に応える分野であるのに対し、厚板は車両、橋梁、建築材料などの一般用、造船用、ボイラー用、フレーム用などがある。これら厚板の多くは25年50年といった長期に供用される社会資本財として重要な役割を持つ。

厚板圧延機は第2次大戦前のラウト式三重圧延機にかわって四重圧延機（4Hi）がNKK鶴見に1954年米国より初めて導入された[3]。

4Hi式仕上げ圧延機はすべて米国から輸入されていたが、1965年に稼働した住金和歌山の分塊・厚板のコンビネーションミルは国内メーカーによるもので国産第1号といえる。

厚板圧延機はその後大型船への需要増大から規格が厳格化され、続々と設備更新された。高炉5社だけで11工場が稼働又は設備新設され、年間1500万tonの生産を行うに至る。多岐にわたる厚板の寸法用途のため、ホットストリップの如き多スタンド連続ミル化には不向きで、4Hi型ミル（四重でかつ圧下スクリューの長いハイリフト型圧延機）で、かつ広巾化の一途をたどった。現在高炉一貫メーカーの大型厚板工場のうち5500mm巾クラスが4工場ある。圧延機スタンドは400ton（片側）にもなり、補強ロールでは直径2200mm重量200ton超という巨大なものである。圧延荷重も当初4Hiの4000tonクラスから現在9000tonクラスにも大型化している。このように大型化することにより厚板圧延機は、1基又は2基の圧延機で生産されるのが普通で、ホットストリップの如く限りなく連続化する昨今の動きとは、生産技術の進歩の方向が異なってきている。(図1)

これら厚板の最近の生産は、図2の如き生産量でピーク時の約50%であり、且つその生産品種構成は図3の如く、船舶、建設、産業機械等が厚板の主な用途である。1971年当時30%を

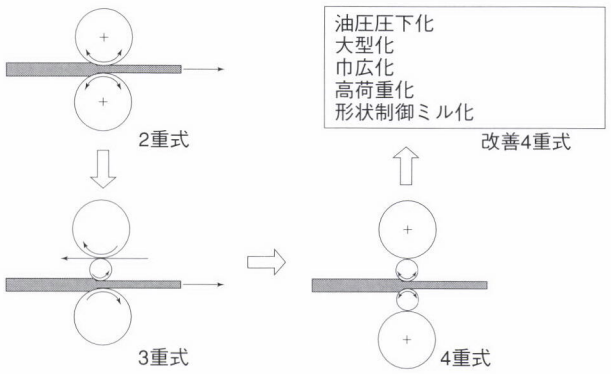


図1　厚板圧延機の進展

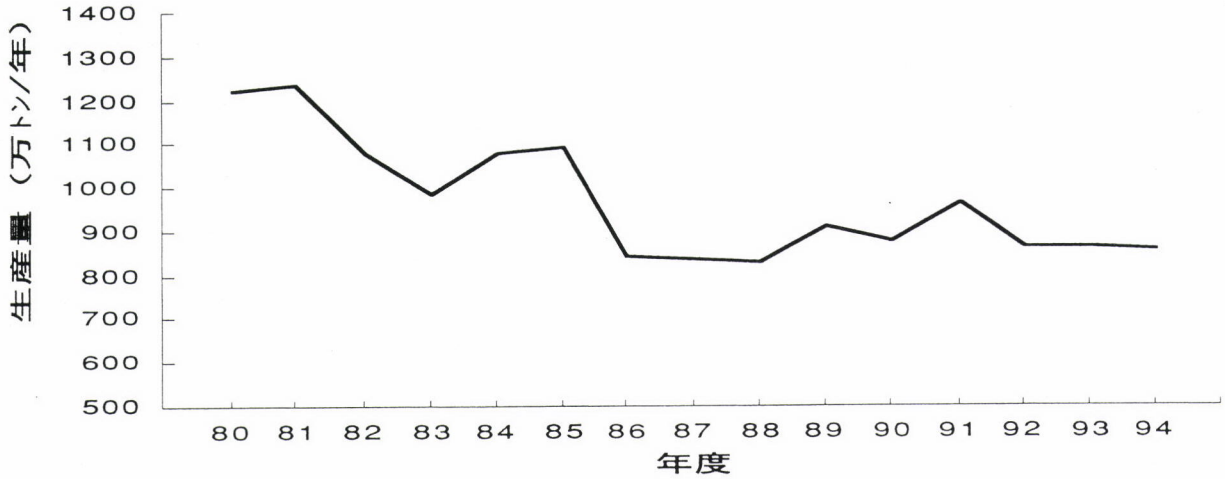


図2　生産量推移（スラブベース）

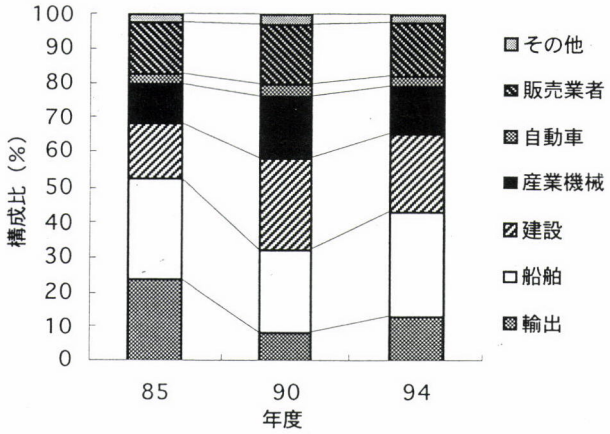


図3　品種構成推移

超えていた船舶用が若干減少しているが、依然比率は最も高いが建設用（建築・土木）の比率が増加してきている。両者を合わせると約50%を占める[4]。船舶の用途によりミル巾が5500mmにもなり、且つ1615mmラインパイプ用の大径UOE溶接管素材ミルとして、大荷重に耐える高荷重ミル化して進歩した結果、日本厚板ミル群は現在世界をリードする生産と設備保有をなし遂げている。

本報告では上記の厚板の歴史の中で最近の圧延操業技術の研究開発を概説したものとする。どのような圧延技術厚板製造技術が行われていて、寸法精度を中心にどのような事を行っているか、今後どのような商品をつくるためにどのような厚板圧延技術が変化していくか、等を重点に解説する。

2 厚板の製造プロセスと圧延技術の進歩の現状

2.1 厚板の製造プロセス

厚板の受注から出荷までのプロセスは、

(1) 需要家から注文をうけ、製造工場に注文内容を送るまでの営業部門、第1次品質設計部門、納期調整部門

(2) 製作依頼をうけとり、製造に結びつけるまでの製造工場における詳細品質設計部門、製作命令（素材設計を含む）の準備を行う部門

(3) 製造命令により実際の製造を行う部門、製鋼、分塊、あるいは連続鋳造、圧延部門

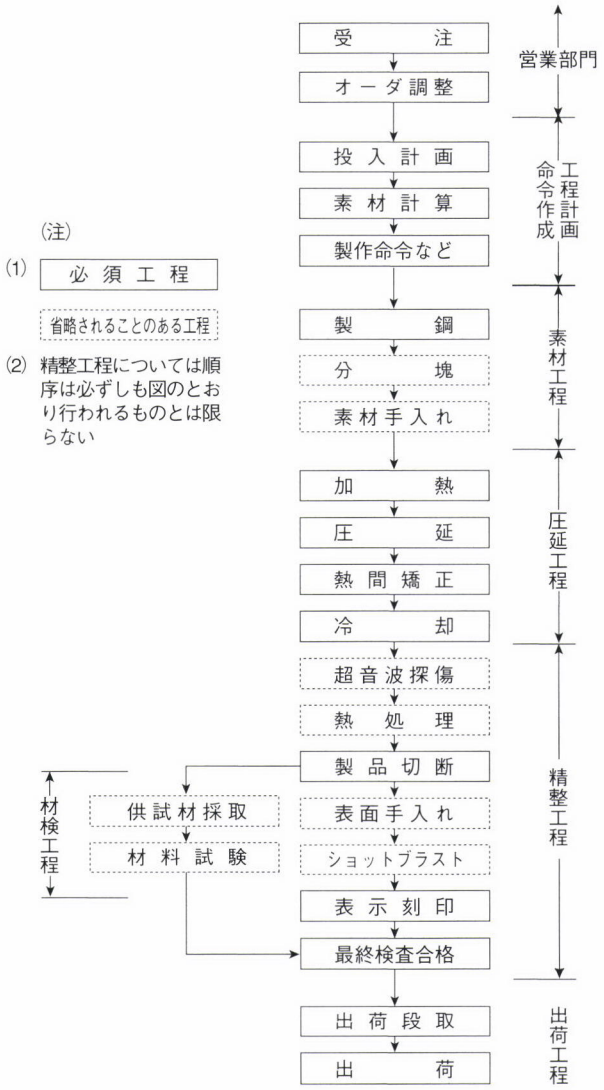


図4　厚板製造工程図

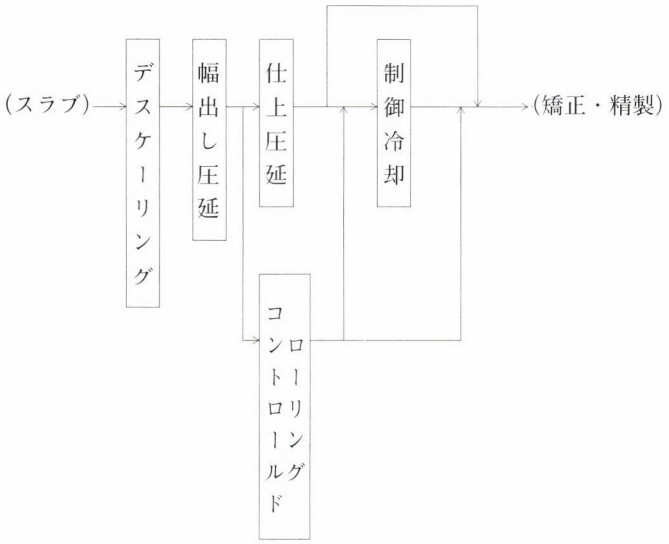


図5　圧延作業手順

(4) 製作されたものを検査、出荷するまでの検査部門、納期出荷管理部門

に大別される部門を通過する。厚板の圧延を語る時受注段階まで示したのは、多品種・寸法の同時生産の制約のもとでコンピューターを駆使して材料計画を行い、スラブを圧延機まで供給しなければならぬためである。図4が詳細工程となる[5]。

2.2　厚板の圧延プロセス

厚板の製造プロセスの中で、多種の寸法をどのような方法で圧延しているか。又現在圧延機1基方式又は、粗仕上の2圧延機方式が厚板の圧延プロセスである。巨大な圧延機で種々の機能を1台又は2台の圧延機に装備し、4.5mm～350mmという種々の厚さと巾1000～5500mmの各種の巾の厚鋼板を圧延する手順を次に述べる。

厚板の寸法精度や品質は、前段の加熱炉とこの圧延機、制御冷却設備、熱間矯正機で決定づけられるが、特に圧延機は重要である。

2.2.1圧延作業[5]

厚板圧延作業は、主たるものは図5のようになる。加熱炉で生成する一次スケール、あるいは圧延中にできる2次スケールを除去するデスケーリング、素材の幅あるいは長手を圧延幅に見合う寸法まで引延す幅出し圧延、最終的な製品の厚みを出し形状を整える仕上げ圧延があり、さらに仕上げ圧延後特定の温度まで制御した冷却速度で冷却する制御冷却により成り立っている。

(1) デスケーリング：デスケーリングは最近では2000MPaに近い高圧水をノズルにより噴射し、スラブや圧延中の鋼板に衝突させることにより行われる。

(2) 幅出し圧延：厚板の圧延作業の大きな特徴の一つは、圧延作業中に圧延素材の軸に対して軸方向に圧延したり、軸と直角に圧延したりすることが可能なことである。これは、圧延機の前後面のテーブルのテーパードローラにより素材を転回し行っているが厚板のように定尺寸法の注文が少なく、設計図面指定寸法が主体の場合、圧延幅が自由に変えられることは必須条件である。図6に幅出し圧延の概略を示す。この図では、素材の幅W_0を最終的に必要な幅W_1に延ばす作業、即ち素材の軸の方向が最終製品の長手方向と一致するタテ圧の場合の例を示したが、素材の幅W_0と最終必要幅W_1の差が大きすぎる場合は、圧延能率や幅出し後の形状が悪くなるので、素材の長さ方向を最終製品の幅方向に転換して圧延が行われることもある。

(3) 仕上げ圧延：幅出し圧延が完了したのち素材は製品厚、規格、品質設計により決定される目標厚みまで圧延される。この作業は圧延機および原動機の能力の範囲内で最大の圧下量がとりうる部分と、製品の形状をよくし厚み偏差

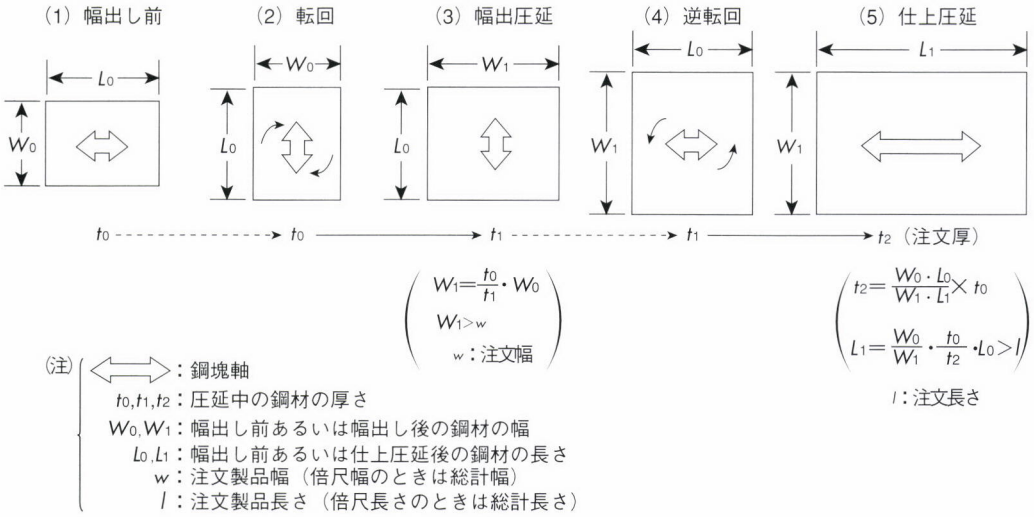


図6　厚板幅出し圧延作業

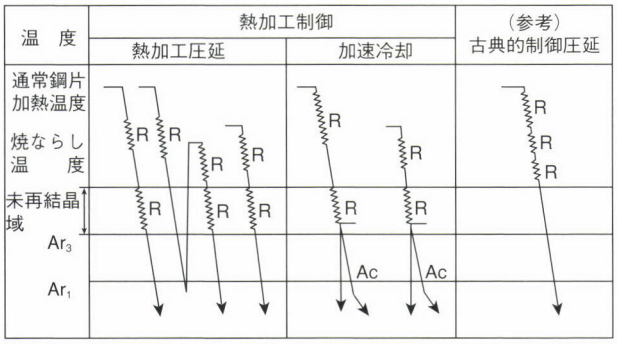


図7　TMCP（熱加工制御）説明図

を小さくするためにロールクラウンと圧延荷重および素材の厚さ、温度などによって圧下量が調整される部分とに分けられる。

仕上げ圧延の目的は厚み偏差がなく、平坦度のよい鋼板を圧延することである。圧延材の板厚偏差はワークロールクラウンと圧延時のロールのたわみの総合された結果として生ずる。

(4) コントロールドローリング（Controlled Rolling）と制御冷却：圧延中の素材温度を調整し、最終パスの温度を低めに抑えると製品の組織が微細化し、強度の上昇と大幅な靱性の改善をはかることが出来る。このような圧延方法をコントロールドローリングと呼び広く行われている。

又、圧延後急速に（3℃/sec～20℃/sec）冷却し、500～700℃で冷却停止を制御する方法は、制御冷却と呼び、これも強度の上昇と靱性の改善を行うことができる。

これらを総称してTMCP（Thermo Mechanical Controll Process）と呼び1980年代に日本で開発された特筆すべき材質制御技術である。様々な組み合わせにより、各種の優れた高張力鋼板が生み出されている。そして殆どの厚板工場で現在広く採用されている。

図7にTMCPの模式図を示す[6]。圧延の温度を低下させて圧延すると当然圧延荷重が大きくなり、強力な圧延機が必要とされる理由の一つともなる。又素材の板厚中央に、水素の影響で内部ワレを起こしやすくなるためTMCPを適用する厚板の鋼には、脱ガス処理が必須となる。

2.2.2　圧延ロール組替作業

厚板圧延を行っていく時、圧延ロールは工具の役目として極めて大切である。ロール組替えを必要とする第1の原因はワークロールの摩耗により、圧延軸中心部と端部との板厚偏差が大きくなるため、幅広物が圧延できなくなる点である。第2はロールの表面の肌荒れによるもので異物のかみ込みキズ、はがれキズ、亀甲状の熱ワレなどがある。ロール組替えは自動組替えで10分程度で行われる。

これに対し、バックアップロールは磨耗や表面肌あれが圧延製品に与える影響が少ないので、連続使用期間は2週から1ヵ月あるいは2ヵ月に達する。ロール組替えも1回当たり数時間かかるので普通は定期修理日などを利用して行われる。

ロールの材質もワークロールでは遠心鋳造ロールが主流となり、バックアップロールは、大型鍛造ロールが使われている。

3　厚板圧延の操業プロセス技術の進歩

厚板の品質の9割方は圧延により決定づけられる。そして、同時にコストを左右することにもなる。技術の進歩を裏付ける指標として図8に歩留まり（出荷製品重量÷圧延素材重量×100%）の向上推移を示す。

この20年間に日本の厚板の歩留まりは10%以上向上しているが、その達成に貢献した典型的な技術の改善を示す[7]。

3.1　板厚高精度化技術

1970年直前にコンピュータコントロールが導入された。初期の重要な課題は、圧延の圧下スケジュール計算であった。板厚が厚い段階では噛み込み制約やトルク制約、次いで荷重制約、製品板厚付近ではクラウン比率一定の制約下で圧下が決められるが、圧延能力を上げ、かつ所定の板厚、形状クラウンを得るための計算アルゴリズムが検討された。板厚制御については初期は板内の板厚変動を減少させるロックオンAGC（Automatic Gauge Control）が主体であったが、1975年以降、高性能大容量の油圧サーボバルブが使用可能となり、油圧圧下による高応答制御が行えるようになり、目標板厚を確保する絶対値AGCが開発された。更に近年では、厚さ計の改

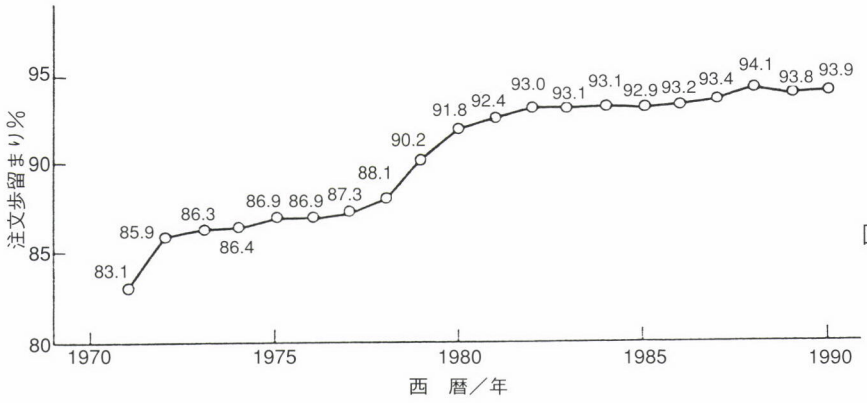


図8　日本における厚板の歩留まり向上推移（全国平均）鉄共研：鋼板部会　厚板分科会高炉5社
第31回（S46年5月）～第39回（H2年5月）厚板分科会工場操業状況による

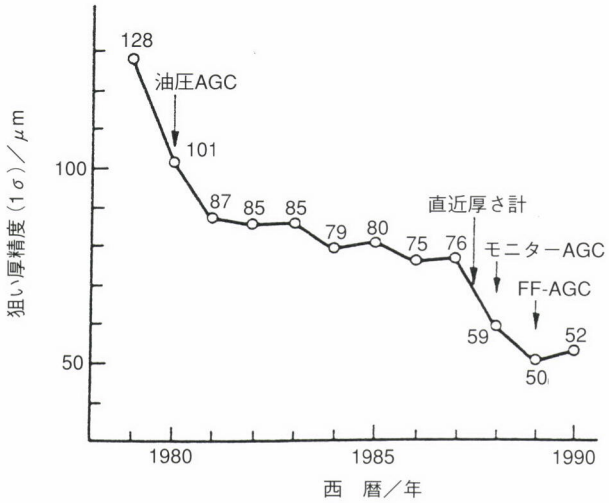


図9　厚板圧延における板厚精度推移（某ミルの例）

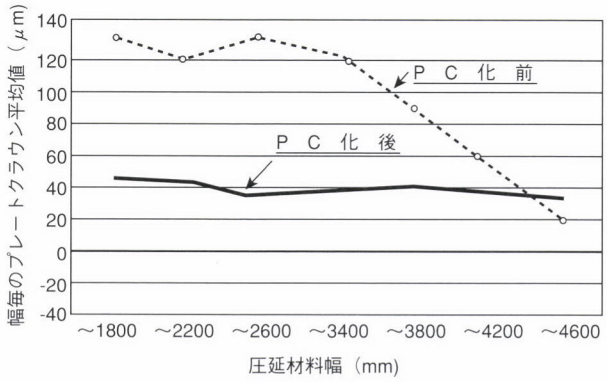


図11　ペアクロス（PC）ミルでの板幅別クラウン

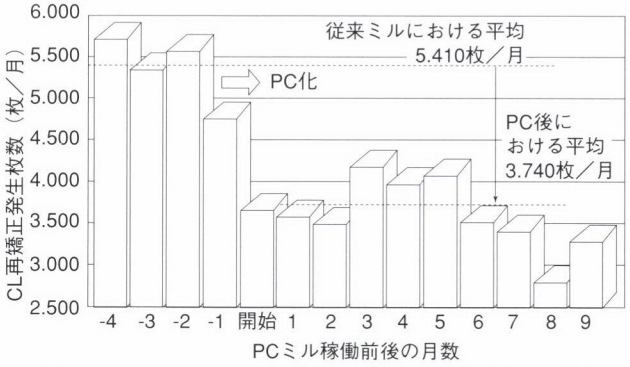


図12　ペアクロス（PC）ミルでの圧延形状の改善

善も取り入れ、FF（フィードフォワード）AGCなど、AGCの改良が加えられている。図9に板厚精度推移の例を示す[8)～10)]。

3.2　平面形状矩形化技術

四角な直方体のスラブを上から圧下を加えると、塑性変形により周辺が舌状に迫り出し、たいこ形状の厚板ができ上がってしまう。この欠点を取り除くため、従来はバーティカルエッジャーを使っていたが効果不充分であった。1970後半にはDBR（Dog Bone Rolling）圧延法又はMAS（Mizushima Automatic plan view pattern control System）圧延法といわれる平面形状矩形化技術が開発された。この原理は圧延形状を予測し、その変形量を相殺するようにスラブ厚さのプロフィルをドッグボーン（犬の骨状）に変化を与えることにより、鋼板のトップ、ボトム形状を矩形化することができる。強力で大ストロークかつ応答性の良い油圧圧下による絶対値AGCを実用化することによりなし遂げられた。歩留まりの向上は2%以上を得られた画期的な技術といえる[11),12)]。

3.3　形状制御ミルの実用化

圧延後の鋼板の平坦度を良好にするためには、形状と密接な関係にある板クラウン（板端と、板巾中央の板厚差）を所定の値に制御する必要がある。又ロールチャンススケジュールフリー（「いつでも圧延可能なこと」という意味）を達成するためには、ロールのプロフィルを制御することが必要不可欠である。板クラウンは①ロールのメカニカルクラウン（摩耗と熱膨張）②圧下荷重によるロールのたわみ変形③ロールの偏平変形などにより構成される。これら諸因子の解析に基づき板クラウンを定量的に把握し形状を制御するため、1985年にはNKK福山製鉄所厚板工場にワークロールシフト付圧延機が導入され[13)]、ワークロールシフト量とベンダー圧力を制御することによりクラウン制御が可能となり、仕上パス付近での圧延荷重が大きくとれるようになった。又、絶対値AGCで生じる圧延荷重変化による形状クラウン変化をダイナミッ

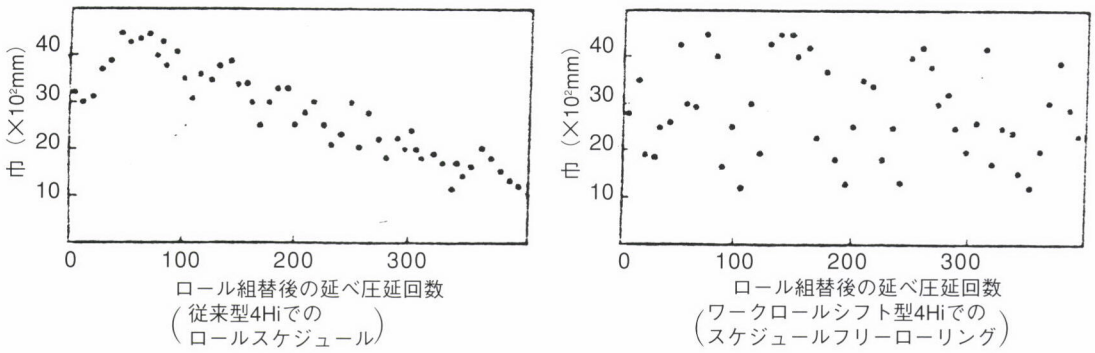


図10　ワークロールシフトミルでのスケジュールフリーローリング

クに制御することが可能となった。これによってスラブヤードにおけるスラブの並べ替え、圧延巾順に圧延する、いわゆるロールスケジュールから解放された。図10にその例を示す。

その後、新日本製鐵君津製鉄所厚板工場にはペアクロスミルが導入された[14]。この導入結果もプレートクラウン低減、能率の向上、圧延形状におおいに成果を上げている。（図11、図12）今後の厚板圧延機においても、形状クラウン制御機能は、益々不可欠になる。

3.4 高機能材圧延技術

形状や用途に新しい分野を開拓するため、新しい機能が開発されている。その主なものは、ステンレスクラッド鋼板やチタンクラッド鋼板、コンクリート充填用鋼管の原板となるリブ付厚鋼板[15]、造船や橋梁用として用いられるテーパ厚鋼板など、高精度な圧延制御によってのみ製造可能なものである。

4 終わりに

日本の厚板は、今後も世界の供給基地の座を守りつづけると考える。その設備の巨大さのため設備投資リスクが大きく、中進国でもその設置には時間がかかるためである。又、単一ミルとして色々な機能を持たせる必要があり、且つ高精度でなければこれからの需要家の厳格な要望に対応しにくいためでもある。

厚板の生産技術は、アジアを中心とする今後の社会資本整備の動きと相俟って、更に高生産性、高目的性に富んだものとなっていく。その中心である厚板の圧延技術はその起爆薬として、日本に求められて来るものと思う。

そのためにも研究者・技術者のこの分野での活躍の場を広げるとともに、読者の各層の方々が多少なりとも興味をもって何らかの面で参画して頂ければ望外の幸せである。

参考文献

1) 鈴木　弘：塑性加工,（1961）, p. 94, 裳華房
2) 日本鉄鋼協会　ホットストリップ分科会報告, 特別報告書 No. 23,（1975）, p.1
3) 川崎　尅：戦後鉄鋼業論,（1968）, p. 513, 鉄鋼新聞社
4) 楠原裕司：第159・160回西山記念技術講座,「新しい時代を創造する高性能厚板」,日本鉄鋼協会,（1996）, p. 3
5) 持舘　肇：鉄鋼製造法第3分冊加工（2）,（1972）, p.507, 日本鉄鋼協会
6) JISハンドブック1-1　鉄鋼Ⅰ,日本規格協会,（1995）, p. 27
7) 日本鉄鋼協会　鋼板部会厚板分科会,（私信）
8) 鎌田正誠：日本塑性加工学会50回記念講演大会テキスト,（1992）, p.11
9) 井上正敏：塑性と加工, 32-363,（1991）, p. 404
10) 鈴木和裕：鉄と鋼, 80,（1994）, p. T136
11) 芳賀行雄・小川幸文・山脇満・村上史敏・松尾敏憲・升田貞和：日本鋼管技報, No.98,（1983）, p. 13
12) 柳沢忠昭・三芳純・坪田一哉・菊川裕幸・池谷尚弘・磯山茂・旭一郎・馬場和史：川崎製鉄技報, 11-2,（1979）, p. 168
13) 石原慶明：鉄と鋼,（1986）, p. S1112
14) 西岡潔・堀裕二・水谷泰・久冨木行治等：圧延理論部会第100回記念シンポジウム,日本鉄鋼協会（1994）, p. 67
15) 有泉　孝：材料とプロセス, 2,（1989）, p. 1479

（1996年5月14日受付）

現場技術報告

コークス炉作業機械の無人化

The Unmanned System of Operating Machines in Coke Oven in Plants

関西熱化学(株)加古川工場　小柳寛太郎*・松田和清

1. 緒言

コークス炉作業機械の無人化は、「コークス製造コストの低減」および「魅力ある近代的コークス工場の構築」を主眼に、加古川工場において、第1次の「無人化技術の確立」と第2次の「No.1～4炉無人化の完成」の計画を推進している。加古川工場コークス炉のレイアウトをFig.1に示す。

現在、No.1,2 炉を対象としてガイド車(2台)、装入車(1台)の第1次工事を完成し、94年1月にガイド車運転4名の省力化を行った。また、No.3,4 炉を含めた全炉を対象とした第2次工事は、97年4月完成を目標に推進中である。

今回、これら無人化計画の概要と第1次工事完了後における無人化運転状況について報告する。

2. 無人化計画

2.1 目標とする無人化計画

無人化計画の概要をTable 1に示す。

No.1～4炉(248門)で300本／日の窯出しを2チーム×3交替で行うものとし、運転要員は3名／チームを目標としている。すなわち、

(1) 押出機は、有人(1名)とし、作業状態監視および炉内監視業務を行う。

(2) フリーマン2名を配置し、機械点検、小トラブル処置および付帯作業を行う。

本計画に於ける無人化前後運転要員は、5.5名／チーム×4直×2チームから3名／チーム×4直×2チームとなり、20名の要員削減が可能となる。なお、無人化前のガイド車側(Coke Side,C/S)作業者は、No.1～4炉の2チームで1名／直を配置している。

2.2 無人化へのステップ

No.1～4炉の無人化へのステップは、第1次：No.1,2炉と第2次：No.3,4炉に分けて実施する。

2.3 操業上の必要条件

(1) 生産能力および最高稼働率維持のため平均窯出サイクルは、8.0分／回以下であること。

(2) 無人化率は、作業負荷増回避のため98%以上であること。

(3) 走行速度は従来ベースとし、目標停止精度は各機械オペレータのゲージ合わせ精度とした。詳細をTable 2に示す。

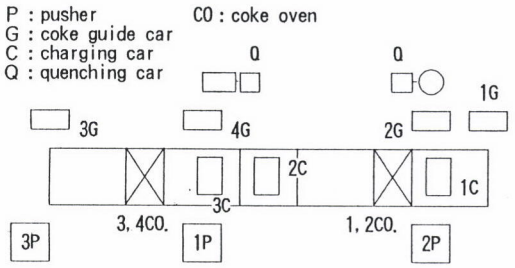


Fig.1. Layout of operating machines.

Table 1. The first and second steps of unmanned system for No.1～4 coke ovens.

	first step	second step
	establishment of unmanned technology	completion of unmanned system for No.1～4 coke ovens
applied coke oven	No.1,2 coke ovens	No.1～4 coke ovens
applied machine	・No.1,2 pushers ・No.1,2 coke guide cars ・No.1 charging car	・No.1,3 pushers ・No.3,4 coke guide cars ・No.2,3 charging cars
reduction in operators	①No.1,2 coke guide cars:-4 persons	②No.3,4 coke guide cars:-4 persons
	③No.1～3 charging cars:-8 persons ④coke side operator in No.1～4 coke ovens :-4 person	

Table 2. Travel speed and target accuracy of stop position.

	pusher	coke guide car	charging car
travel speed[m/min]	80	60	100
target accuracy of stop position [mm]	manual	±10	±20

1996年4月26日受付（Received on Apr.26,1996）

*Kantaro Koyanagi （Kakogawa Works , The Kansai Coke and Chemicals Co., Ltd., 7 Kanazawa-cho Kakogawa 675-01）

3. 自動運転制御

3.1 自動運転システムの概要

自動運転システムの内容をTable 3およびFig 2 , 3に示す。

(1) システム構成にあたっては、低コストで且つメンテナンスが容易に行えることを考慮し、高性能汎用シーケンサー主体に、これを構成した。

(2) 地上設備は、窯出スケジュール装置・誘導無線地上局・信号分配盤を設置し、各作業機械の運転に必要な窯番・作業内容等のデータを作成・伝送する機能、更には、CDQ・上昇管・集塵機等各設備との信号授受機能を持たせている。

(3) 窯出スケジュール装置には、工業用パソコンLM-7500 を採用した。現在は、炉作業の状況把握および対応の早さから炉側制御室に設置しているが、第2次工事完成時は中央制御室からNo.1～4炉への伝送を考えている。

(4) 車上設備としては、誘導無線車上局・走行速度制御装置(1次電圧制御)・各工程制御用プログラマブルコントローラー(PC.)を搭載した。なお、走行速度制御に1次電圧制御を採用した。理由は、走行速度制御装置が故障した場合でも2次抵抗器の使用で有人で運転継続が可能な点にある。

Table 3. Comparison of automatic operation before and after application of unmanned system.

machine	content	before unmanned system	after unmanned system
pusher	signal transmission	double-cable type induction radio	without alternation
	travel stop method	traveling with a controller	①automatic travel by a touch roller ②oven registering by the manual inching
	driving control	interlock in a car :manned	without alternation
coke guide car	signal transmission	double-cable type induction radio	induction radio cable
	travel stop method	・traveling with a controller ・automatic travel by a touch roller	orientation stop by the induction radio cable
	driving control	interlock in a car: manned	①command to start the door lifting from the pusher ②interlock on the ground ③retry system
charging car	signal transmission	double-cable type induction radio	induction radio cable
	travel stop method	①automatic travel by a touch roller ②oven registering by the manual inching	orientation stop by the induction radio cable
	driving control	interlock in a car: manned	①command to start the door lifting from the pusher ②interlock on the ground ③charging monitor system

3.2 自動運転フロー

自動運転フローをFig.4に示すが、

(1) 窯出スケジュール装置 (LM-7500)に入力された各勤の窯出スケジュールは、信号伝送装置を経由して各車上へ転送されるが、押出機については、窯出、均し、小蓋クリーナ毎に窯番を受信する。

(2) 押出機、ガイド車および装入車は、誘導無線(IR)ケーブルにより位置検出し、窯合わせ走行および窯芯合わせを行う。押出機の最終窯芯合わせは、オペレータによる手動インチングで行う。

(3) 各機械の工程は、押出機操作盤上に設置した表示モニターの「現在窯番」「工程」表示と自動放送により確認する。また、故障発生時もこのモニターに表示される。

(4) 押出機の操作盤上のガイド車および装入車「蓋取り」操作スイッチ(PB.) をオペレータが操作して行う。その後の工程は、各機械が独自に各工程を確認しながら進行する。

(5) 電車、ガイド車および押出機の現在窯番を照合し、オペレータのラム起動操作により押出を開始する。

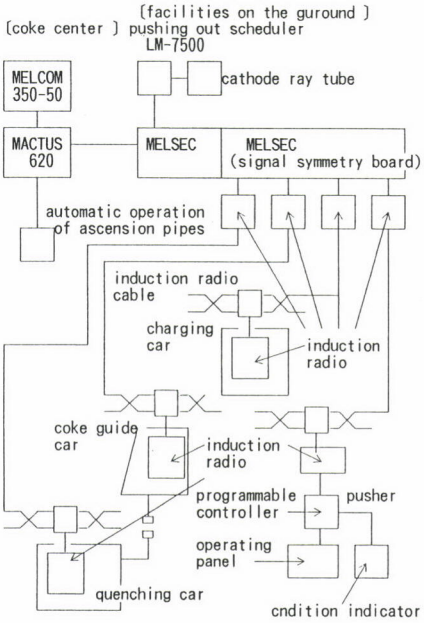


Fig.2. Outline of signal transmission system.

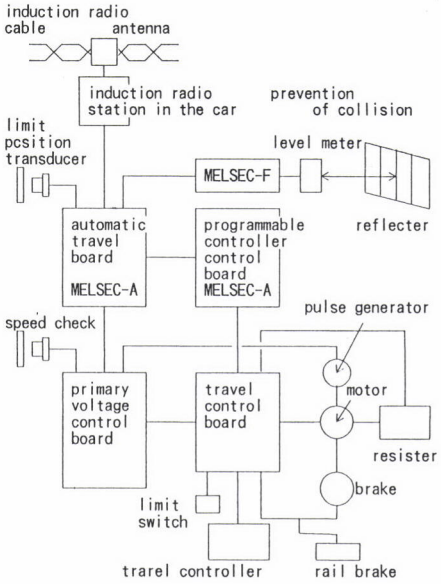


Fig.3. Automatic travel system of coke guide car.

(6) アンラッチングレバー（閂レバー）動作確認リミットスイッチ(LS.) と閂入確認検出（閂自体の入動作を検出）LS. の動作により蓋装着完了としている。

3.3 安全対策

今回は、既にガイド車および装入車の自動走行を実施しており、従来実施していた項目の強化を計り安全性の向上に努めた。その詳細をTable 4に示す。

4. 無人化運転状況

4.1 作業機械の停止精度

位置検出精度は、ガイド車の窯合せ：5㎜幅,装入車窯合せ：10㎜幅で設計した。現状の停止状況は、設計値を満足し、季節変動もなく稼動中である。また、ガイド車格子合せおよび装入車炭槽合せは共に15㎜幅とした。

4.2 窯出サイクル

1ブロック（24本）の窯出サイクルをFig.5に示した。各機械が定位置からスタートして再び定位置に返って来るまでの平均窯出サイクルは、炉団替り回数により差が生じ、8分05秒から8分19秒／回である。

また、No.1とNo.2ガイド車の1回当りの窯出所要時間を比較するとツーポイント式のNo.2ガイド車が長く、今後も窯出サイクル短縮対策を実施し、目標である8分／回以下を達成する。

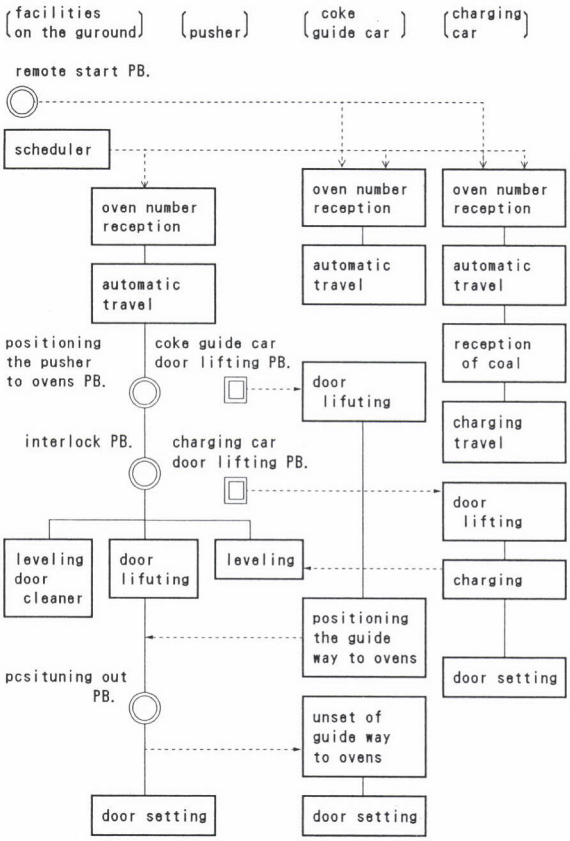


Fig.4. Automatic operation flow.

4.3 自動化率実績

Fig.6に無人化スタート時の自動化率推移を示す。ガイド車は94年1月無人化をスタートさせ、平均無人化率は、No.2ガイド車の向上により98%以上を維持している。また、No.1装入車自動化率は、スタート当初より98%が維持できた。95年以降の自動化率も大きな変動もなく、目標の98%以上を継続している。自動化率は、人の介入の有無により次式で算出した。

$$\text{自動化率〔\%〕} = \frac{(\text{窯出使用本数} - \text{人の介入本数})}{(\text{窯出使用本数})} \times 100$$

4.4 無人化向上対策

現在まで実施した内容をTable 5に示す。

Table 4. Items of safe counterplan execution.

◆additional items for unmanned system this time

No.	item	content
1	prevention of unusual travel motion	①limitation of the travel area(H/W, S/W) ②duplex of the speed reduce check(S/W) ③establishment of a trolley in the coke oven battery ・charging car ・◆coke guide car
2	collision prevention	①collision prevention devices ・pusher ・◆coke guide car ・◆charging car ②travel alarm, flusher of the travel indicator ③◆detection of the contact ④removal striker of an emergency stop
3	keeping out of coke side service homeme	◆keeping out of the oven operated duringthe unmanned operation
4	emergency stop operation	①around machines(4points/P, C, G) ②pulling rope switch(C)
5	operation condition announcement	◆automatic announcement from outside speakers to the car
6	others	◆coke side service home, ITV monitors of the coke oven top

Table 5. Counterplan items for more improved system.

machine	item
pusher	①supplying of industrial water at pushing out time ②improving the opening and shutting mechanism of the door for leveling
guiding car	①extending the working extent of the door cleaner ②increasing the confirmation device of a lock pin ③changing into the no-contact switch ④automating the supply of industrial and service water ⑤changing into the electromagnetic brake
charging car	①installing a magnetic hammer to prevent coal from blocking in the lower hopper ②improving the confirmation device for the damping door ③adopting the door lifting machine(swing type)

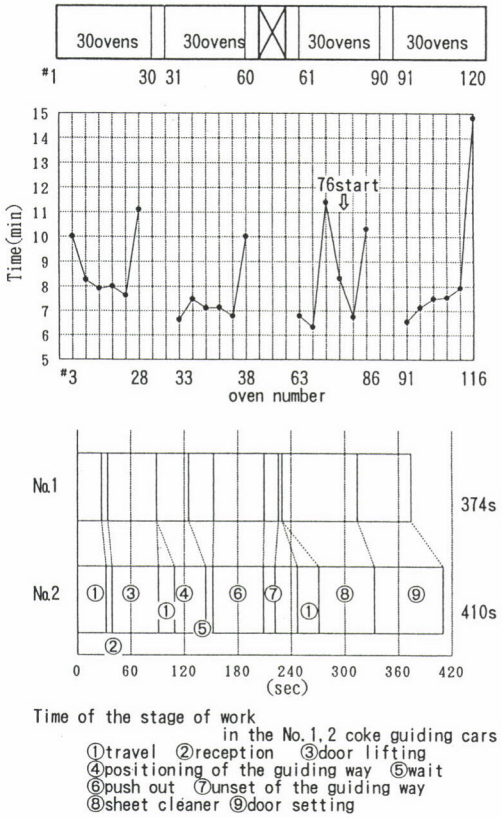


Fig.5. Pushing out cycle

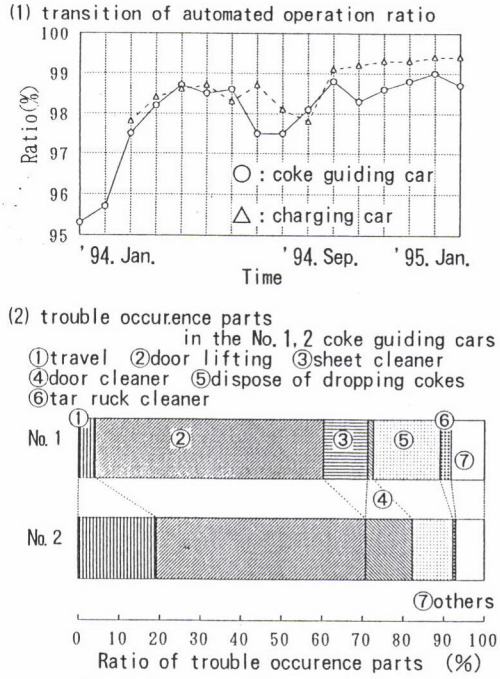


Fig.6. Automated operation ratio.

Table 6. Maintenance organization.

organization	frequency	member	content
meeting about unmanned operation	everyday	・leader in charge of the construction work in coke section ・leader in maintenance section	①trouble content report ②counterplan investigation and execution
facility inspection	everyday [30min.]	coke and maintenance section staff	
weekly construction and process conference	once a week	・leader in charge of the construction work in coke section ・maintenance section ・subcontractors	adjustmont of the next week construction

5. 今後の改善実施事項

5.1 無人化支援メンテナンス体制

無人化率の維持、向上は、いかに日々発生するトラブルを再発させないか、であるとの考えからTable 6の体制でオペレータの教育を含め実施している。

5.2 無人化支援技術の開発

押出機オペレータの情報により、早期に対応することが可能であるが、万全ではなく今後は次の技術開発を進めて行きたい。

(1) 各工程作動時間監視システム

(2) トラブル情報および故障部位伝達システム

(3) ラム倒れ等押出時および均し時状況情報

5.3 炉廻り附帯作業の改善

省力化を推進する上で炉廻り附帯作業の軽減が必要不可欠であり、No.1～4炉の無人化完成に合わせM/S（Machine Side)、C/S（Coke Side）のクリーナー関係を主体に次の改善を進める。

(1) M/S, C/S タールパンクリーナー設置

(2) M/S ソールプレートクリーナー設置

(3) C/S サービスホームクリーナー設置

6. おわりに

今回のガイド車、装入車の無人化および押出機の自動走行化は、特別な技術・装置等は導入せず、当社が培ってきた自動化、無人化の技術を集結させての無人化第1次工事は、ほぼ目標どおりに完成した。

今後は、無人化率高位安定維持のため自動化機器以外のトラブル対策と高窯出本数確保のための更なる窯出サイクル短縮対策を検討、実施して行く必要がある。

これらの結果を無人化第2次計画に反映させると共に、メンテナンス体制の強化および教育の充実を図り、No.1～4炉の作業機械無人化を完成させたい。

現場技術報告

製鐵所における溶射技術の応用

Application of Thermal Spray Technology in Steel Making Plants

新日本製鐵（株）名古屋製鐵所　龍田昭一・佐藤信治*・津村康浩
澤雅明・大堀潤二

1. 緒言

膨大な装置群で構成される製鐵プロセスでは、直接、生産能力と製品品質を左右する設備機能の向上、および膨大な保全費削減の観点から、設備メンテナンスが重要な課題である。機械設備の殆どの課題は、摩擦・摩耗・潤滑のトライボロジー問題であり、機械装置の表面機能化を行う溶射技術は、不可欠なキーテクノロジーとなっている。

名古屋製鐵所においては、これまで、プロセスロールなど多様な装置に溶射を応用し大きな成果を上げてきた。溶射技術を成功裡に応用するためには、摩耗現象・原因の解明、最適材料の開発、最適溶射装置の応用・施工条件の確立の三位一体が非常に重要である。

本報告では、名古屋製鐵所における最新の溶射応用例と、併せて今後の方向について紹介する。

2. 製鐵プロセスにおけるコーティング適用技術開発の進展

2.1 当所でのコーティング適用技術開発の歴史

当所では、メンテナンス革新が急速に進展しており、その一つとして材料技術・コーティング技術による設備長寿命化・設備高機能化を強力に推進している。10年前より、先端ファインセラミックス応用を展開し、ZrB_2製の熱電対保護管を開発し世界に先駆けて溶銑溶鋼の連続測温技術[1]を確立したり、いち早くSIALONセラミックスを機械部品へ適用し、設備長寿命化の成果を得てきた。しかし、セラミックスの脆さ・製造寸法制約等の欠点から、応用にも限界があり、特にニーズの高いプロセスロールへの適用が遅れていた。そこでバルクセラミックスの応用からコーティング技術へと新たな展開を図ってきた。その理由は、①表面にのみ必要な特性を付与すれば機能を向上できる、②大きさに制限がなく対象に広がりがある、③自由に組成が選べる、からである。

コーティング技術の適用開発は、応用開発途上にあったプラズマ粉体肉盛り溶接(PTA)や複合メッキと共に成熟溶射技術である粉末フレーム溶射、プラズマ溶射(APPS)装置を導入し、主として粒子分散型材料開発やそのコーティング技術の適用開発から始まり、溶射技術、周辺技術の高度化と共に最新鋭の溶射装置を導入しつつ材料・コーティング技術蓄積を図り、研究から実現主義へ立ち、現在では、Fig.1に示すように溶射適用拡大途上にある。

2.2 溶射適用による成果例

これまでの溶射適用により、メンテナンスコスト削減、製品品質向上、生産能力向上などに、多大な成果を得ている。

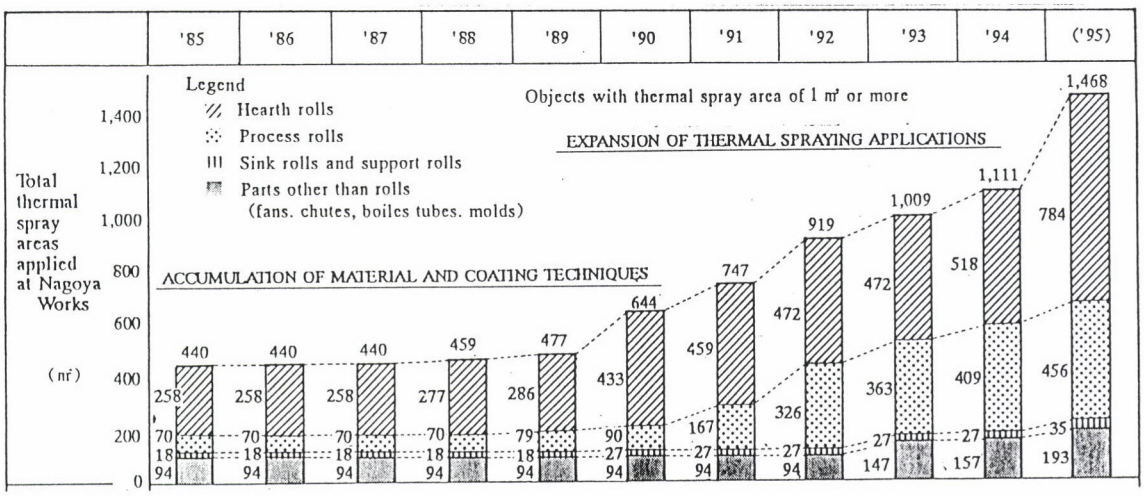


Fig.1. Expansion of thermal spraying applications at Nagoya Works.

1996年6月5日受付（Received on June 5,1996）
*Shinji Sato (Nagoya Works, Nippon Steel Corp., 5-3 Tokaimachi Tokai 476)

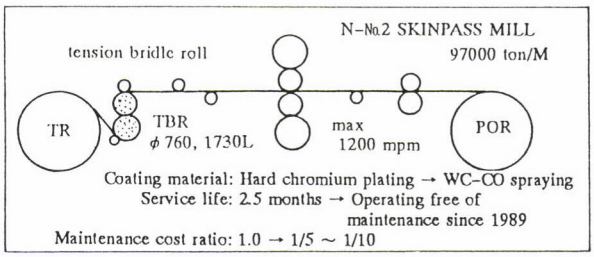


Fig.2. Benefits of thermal spraying process rolls.

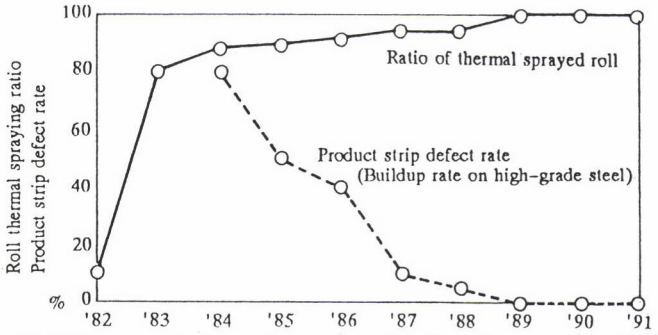


Fig.3. Changes in thermal spraying ratio of continuous annealing furnace rolls and defect rate of product strip.

一例として、Fig.2は、長寿命化・メンテナンスコスト削減例、Fig.3は、製品品質向上例を示す。

3. 最新の溶射適用開発事例

3.1 CAPL,CGLハースロール

冷間圧延工程や表面処理工程の連続焼鈍炉は縦型で、900℃前後の高温かつ還元雰囲気下で、鋼板が上下に配置されたハースロールにより搬送される。炉内では鋼板表面酸化層または圧延工程で生じた付着鉄粉が、還元・活性化し、Fe,Fe-Oxide(Fe_3O_4,FeO主体) またはその複合物がロール表面へ拡散または凝着し成長した鉄系のビルドアップ(以下BUと略) が生じる(Fig.4)。ロール表面に生じたBUは鋼板の押し疵の原因となり、品質低下をもたらす(Fig.5)。

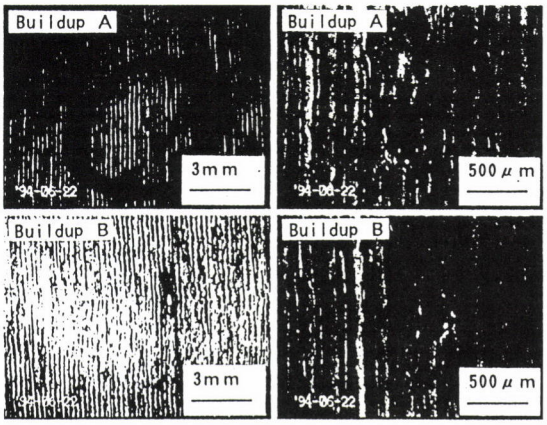


Fig.4. Examples of buildup formed on hearth rolls.

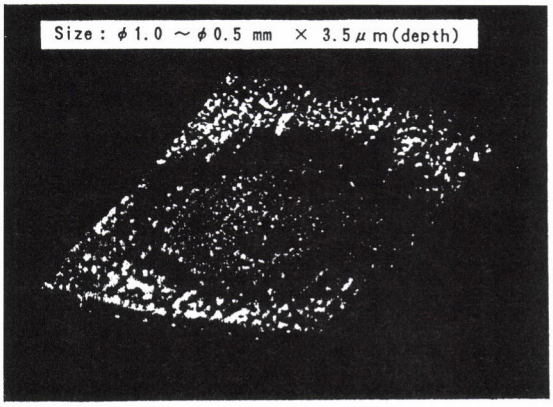


Fig.5. Example of dent caused by buildup on strip surface.

このためハースロールには耐熱・耐摩耗性と同時に耐BU性という特性が要求される。ハースロールへの溶射は、15年程前から実施されており、Fig.3に示すように、BU防止に大きな効果を上げている。主に用いられていた溶射材料は、SiO_2-ZrO_2系セラミックスまたはMCrAlY系サーメットである。溶射皮膜寿命は、スポーリングや表面粗度低下により、それぞれ1.5 年、3年程度の寿命で、メンテナンスコストや交換休止損失などの短寿命の問題があった。そこで当所ではこれ迄に、耐BU性を維持向上しつつ長寿命化を狙った溶射材料を開発し[2]、爆発溶射法で実機化した。開発材料は、MCrAlY合金にY_2O_3微粒子をMechanical Alloying 法で分散強化し、さらに硼化物セラミックスを複合させたものである。その性能評価結果をFig.6に、実機稼働状況をFig.7 に示す。開発溶射ハースロールは、既に稼働6年目に入りつつあり、大幅な寿命延長により、メンテナンスコスト低減に貢献している[3]。

連続焼鈍炉は、今後さらに生産性向上目的に、高速安定通板要求があり、鋼板の蛇行やスリップ問題発生が必至で新たな表面機能が求められつつある。即ち、安定搬送に必要なグリップ力・摩擦係数の確保である。そこで現在高速通板シミュレーターにより、各種材料・表面性状の摩擦力速度依存性の評価[4]を実施している。プロセス全体の機能向上には、多面的トライボロジー評価がますます重要になっている。

3.2 CGLシンクロール

連続溶融亜鉛メッキライン(CGL)では、460～500℃の溶融亜鉛ポット内に、シンクロール、シンクロール軸受、及びその支持部材など機械装置が配置されている。溶融亜鉛による著しい腐食を受け、軸受けは、腐食摩耗により極端に寿命が短く、2週間程度である。シンクロールは、摺動摩耗はないが、ロール表面が、亜鉛腐食により荒れ、メッキ鋼板の押し疵の原因となるため、寿命が1～2ヶ月と短い。

ライン高機能化には、これらの課題に総合的に取り組む必要がある。軸受は、Fig.8に示す亜鉛浴中軸受けシミュレータ

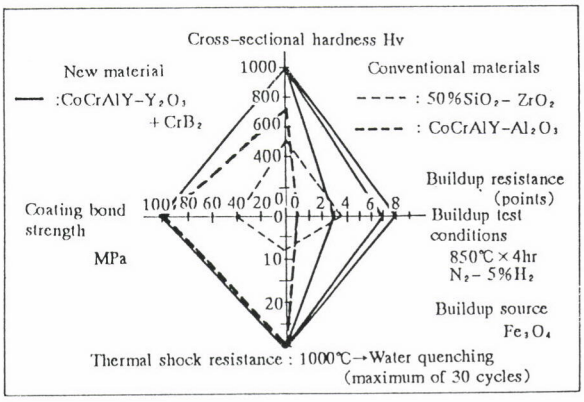


Fig.6. Performance of new hearth roll thermal spraying material.

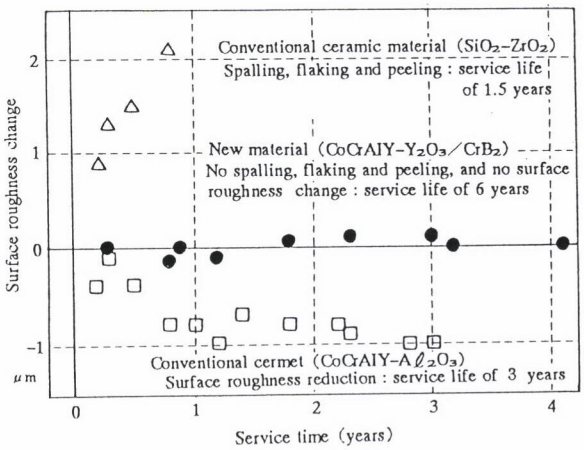


Fig.7. Service life of hearth rolls coated with new thermal spraying material.

ーにより、耐亜鉛腐食・耐摩耗の新材料開発と軸受摺動抵抗を低減する軸受を開発[5]し、従来寿命の5倍に延命した。シンクロールは当初、耐剥離性からCo基自溶性合金(Co-SFA)やWC-Coを分散したCo基SFAが使用されてきたが、現在では浴浸漬前のロール予熱などの使用方法改善で、より亜鉛耐食性のよいWC-Co系サーメット材料を超音速系溶射機で溶射しているのが、主流である。しかし溶射皮膜の部分的微小剥離や亜鉛浴組成との相互拡散反応による合金層生成で製品疵発生問題があり、溶射皮膜寿命が1～2ヶ月と短い。当所では、これ迄の開発結果で、従来比2倍の寿命延長を達成している。ロール母材は、耐食性と皮膜膨張係数を考慮してマルテンサイト系ステンレスとし、溶射材料は皮膜膨張係数差を緩和するため複層とし、最表層に新規耐亜鉛耐食材料を配置している。現在、適用拡大中で、良好な結果を得ている。

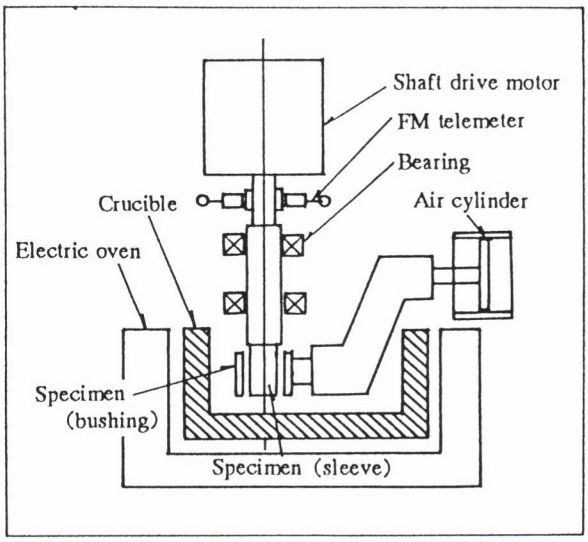


Fig.8. In-molten zinc bath sink roll bearing simulator.

3.3 CCモールド

連続鋳造設備（CC）の中の水冷銅板からなる鋳型は、凝固シェルとの摺動摩耗を受ける。シェルとモールド銅板間には、潤滑パウダーが投入されている。モールド銅板への耐摩耗溶射の課題は剥離防止で、Ni基自溶性合金(SFA)溶射が主流である。Ni基SFA は、従来のNiメッキに比べ5倍以上の長寿命効果をあげている。更に耐摩耗性向上を狙って、従来材料に、Cr_3C_2 を分散複合化させた新溶射材料を開発[6]し、適用推進中で、そのラボ性能評価方法および結果例をFig.9、Fig.10に示す。CCは、高速鋳造化による生産性向上やメンテナンスフリー化ニーズから、更に優れた高性能モールドが望まれており、CCパウダーをも含めたトライボロジーやFusingなどの溶射周辺技術の総合的取組みがより重要視されている。

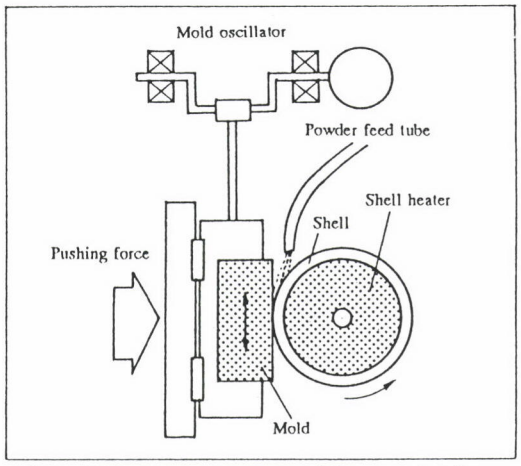


Fig.9. High-temperature mold wear simulator.

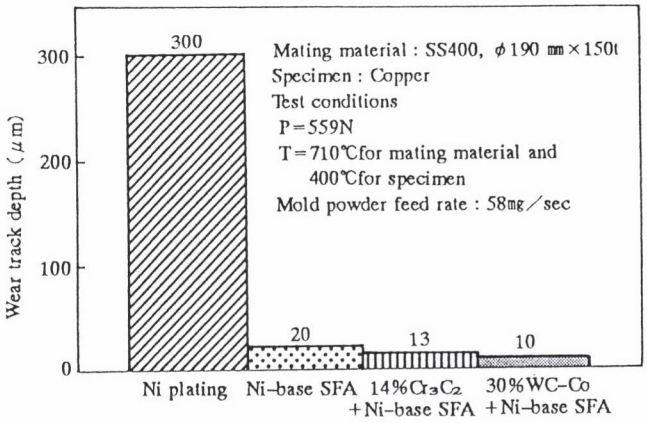


Fig.10. Wear track depth of hight-temperature mold wear simulator.

3.4 ボイラーチューブ

石炭焚きボイラーでは、アッシュカットによるボイラーチューブの摩耗減肉が発生する。チューブ交換による設備休止は多大なデメリットが生じるためチューブ保護が、重要な課題である。摩耗対策は、高温環境から、Cr炭化物サーメット溶射が主流である。当所では、Cr_3C_2-25NiCr材料の超音速系溶射機による現場溶射を実施している。膜厚は、200μm以上で、総面積53m²(1.6m²/1箇所×33箇所)の範囲である。溶射皮膜の摩耗速度は、平均30μm／年で、チューブ母材に比べ1/10～1/15に低減し、延命効果を発揮している。エネルギープラントの設備休止は、損失金額が膨大で大容量の迅速現場溶射施工技術がより重要となっている。

4. 溶射技術適用拡大の今後の方向と課題

更なる溶射技術の適用拡大・普及化を図るためには、①汎用技術化、②総合的アプローチ、③溶射適用周辺技術開発、④皮膜設計技術の確立等があげられる。

4.1 汎用化技術

今後適用対象を広げるには、徹底的なローコスト化と極厚溶射が課題である。溶射化が可能で効果が期待されながらイニシャルコスト高で投資回収年数が長く普及が進まない事例が数多くある。また摩耗速度は小さいが膜厚が薄く結果として対摩耗性が不十分な部位も数多くある。これらへの対応として当所では、溶射コストの半減、1mm越えの厚膜化を図り更なる溶射適用拡大中である。例えば、ロール以外の上工程の土砂摩耗部位で焼結工場の造粒粉鉱石のアブレッシブ摩耗を受けるシュートライナー、グリズリーバーなどや、含塵ガスのダストカットを受けるシンタリングファン、クーラーファンなどがある。

4.2 総合的アプローチ

事例に示したように、設備機能向上課題は、複雑困難な問題となっており、摩耗防止から摩擦制御などのトライボロジー的視点がより重要で、プロセスシミュレーターなどによる評価・解析技術と最適材料の開発、最適溶射装置の応用・施工条件最適化の三位一体で、プロセス全体課題に取り組む必要がある。

4.3 溶射周辺技術開発

溶射は、密着力が低いことが最大の欠点で、密着力を補完する周辺技術が求められる。例えば、Fusing技術を自溶性合金(SFA)から汎用材料へ拡大することや、無変形のFusing技術などがあげられる。また、最終表面加工技術もトライボロジー面から重要で、新たなSurface Texturing 技術が必要となっている。例えば、既にレーザー彫刻などの技術が出現しているが溶射皮膜変質問題から酸化物溶射皮膜が対象となっており、溶射材料に制限がなく、かつ安価に実現できることが必要である。

4.4 皮膜設計

応用課題として皮膜設計技術の確立もあげられる。皮膜品質の信頼性が低いことや皮膜物性・機械的性質の解明が不十分である。同じ材料成分でも溶射粉末形態や溶射機種で皮膜品質が大きく異なり、更にそれを規格化や品質保証できていない。加えて試料調整が困難なこともあって、皮膜物性や機械的性質のデータ蓄積・公開ができていない。また従来より指摘されてきた皮膜の非破壊検査技術確立も信頼性を高めるために不可欠な技術で早急な技術確立が求められる。

5. 結言

機械装置の表面機能化を行う溶射技術は、生産設備に不可欠なキーテクノロジーとなっており、今後益々進歩発展していくものと確信している。

文献

1) 四阿佳昭, 大堀潤二, 森英朗, 三輪英一, 酒井恒蔵, 林篤：鉄と鋼, 72（1986）, S1023
2) 澤雅明, 大堀潤二, 佐藤信治, 白井勝之, 河村伸彦：材料とプロセス, 4（1991）, p.1576
3) 澤雅明, 大堀潤二, 佐藤信治, 白井勝之, 内山輝之：トライボロジー会議（1994）, p.815
4) 小寺孝正, 田中康治：トライボロジー会議（1994）, p.371
5) 澤雅明, 大堀潤二, 津村康浩：トライボロジー会議（1994）, p.765
6) 森英朗, 岩崎好孝, 大堀潤二：ITC,（1990）, p.1749

「鉄をつかう」形を変えていく金属
ー科学技術週間青少年特別企画

金属材料技術研究所　宗木政一

エジソンの生まれた4月18日を含む一週間を科学技術週間と定め、全国各地でいろいろな催しが毎年行われています。金属材料技術研究所においては、4月17日の一般公開に引き続き4月20日に青少年を対象とした特別企画の行事が行われました。この青少年行事の当日は、午前中嵐のような大雨・午後からようやく回復の兆しを見せるという天候に恵まれ(?)、過去最高の232人が参加されました。例年ですと、隣の宇宙センターで模型ロケットが打ち上げられるため、大勢の子供たちが流れてしまうのですが…

それはさておき、青少年行事の内容を紹介しますと、今年は金属の中でも最もポピュラーな鉄を中心に取り上げることにしました。鉄の生まれから使われていくまでの形を変えていく様子を金属材料技術研究所の装置を使用してわかりやすく説明しながら、子供たちに科学のおもしろさの一端を体験してもらおうという主旨で行われたものであります。

はじめに、鉄がどのようなところで使われているのかをOHPで示し、続いて、鉄以外にもたくさんの金属があり、周期表の見方や、磁石につく金属がどれくらいあるかなーといった質問を通して、話が一方通行にならないように注意しながら、少しずつ金属に関心を持ってもらうことにしました。金属に対する関心が高まってきたところで、直径と長さを揃えた丸棒状の金属や合金を12種類用意し、「金属の名前当てクイズ」をしてもらいました（下表参照)。このクイズでは磁石と重量計とヒント集だけを頼りに、その金属の名前を当ててもらおうというもので、とても人気があり、時間を忘れて夢中になる付きそいの大人も必ず何人かいらっしゃいます。

金属の名前あてクイズの解答用紙。
ノーヒントで挑戦する人には、金属の名前と元素記号だけの解答用紙が配られた。

金属の名前を当てよう

箱の中の太さも長さも同じ12本の金属の棒は、次のどれでしょう？番号で答えましょう。

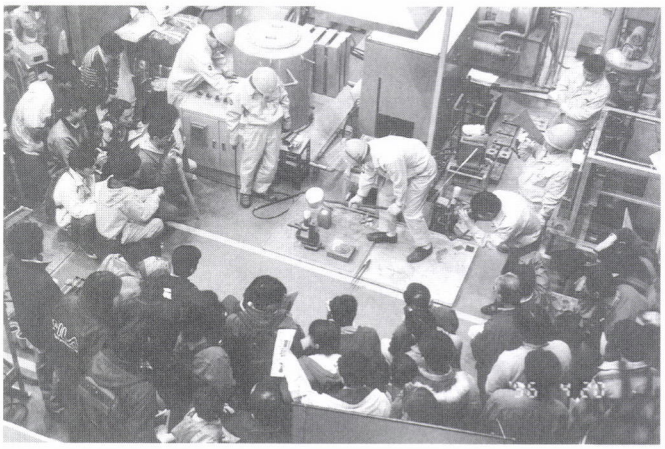
金属の名前 元素記号	ヒント	融点	磁石につく	比重	答の番号
鉄 Fe	機械、橋、線路などに多量に使われている。強いがさびやすいため、ペイントを塗ったり表面処理をする。	1,536℃	○	7.9	
銅 Cu	赤銅色をしている。電気をよく通すので、電線などに使われる。（10円硬貨）	1,083℃	×	8.9	
アルミニウム Al	軽くてやわらかい。窓枠、やかん、鍋、缶などに使われる。（1円硬貨）	660℃	×	2.7	
チタン Ti	軽くて丈夫なので、眼鏡のフレームに使われる。強い耐食性があるので、化学装置などに使われる。（形状記憶合金）	1,680℃	×	4.5	
鉛 Pb	重くて、やわらかい。放射線を通しにくい。蓄電池の電極や、釣のおもりに使われる。	327℃	×	11.3	
亜鉛 Zn	青白色で、もろい。乾電池の一極に使われている。この金属を鉄板にメッキしたものをトタン板という。	420℃	×	7.1	
スズ Sn	やわらかで、よく延びて箔にすることもできる。この金属を鉄板にメッキしたものをブリキ板という。	232℃	×	7.3	
ニッケル Ni	熱やさびに強い合金をつくる。いん石に入っている。（形状記憶合金）	1,455℃	○	8.9	
銀 Ag	金属のうちで電気及び熱の伝導率が最も大きい。装飾品、貨幣、感光材料などの製造に使われる。	961℃	×	10.5	
タングステン W	金属のうちで一番融点が高い。そのため、電球のフィラメントに使われている。	3,387℃	×	19.1	
黄銅	金色で、しんちゅうともいう。銅と亜鉛の合金。（5円硬貨）	955℃	×	8.4	
18-8ステンレス鋼	鉄に18%のクロムと8%のニッケルを加えた合金でさびない。スプーンやナイフ、流し台などに使われる。	1,500℃程度	×	7.8	

◎正解の数　12：すばらしい。あなたは金属に関しての天才です。　8～6：よくできました。
11～9：たいへんよくできました。あなたは金属博士です。　5以下：ヒントを読んでもう一度チャレンジしよう。

「形を変えていく金属」では、機械加工、熱間加工と鋳造の3つの例を見学してもらいました。まず機械加工では、あらかじめプログラミングしておいたNC旋盤を使ってしんちゅうに複雑な溝加工やねじ切り加工を施すという作業で、子供たちには旋盤のスイッチを押してもらうことにしました。

熱間加工は、ビレット状にあらかじめ加工したインゴットを均熱処理後、プレスおよび圧延で、粘土のように見事に変形して見せました。

鋳造は、砂型の作り方とその型を使って湯を流し込み、風鈴などのいろいろな形のものを作り出し、製品を配りました。



「鋳型でものをつくる」コーナー

できあがった鉄を様々の分野に利用するには、その鉄の性能を調べておく必要があります。そこで、20トンの万能試験機を用いて大型試験片による引張試験を行いました。引張試験中の変形の様子や、破断したときの大きな音を聞いてびっくりしてもらいました。このように、どの実験も「見て、わかる」ように工夫しました。

「たたら製鉄」の実演

そして、今年のメインエベントは、初めて取り上げた砂鉄と炭から玉鋼を作り出す「たたら製鉄法」の再現でした。1000℃以上の高温で長時間加熱を必要とするので、すすや火の粉のことを考えて建物に囲まれた中庭で行うことにしました。当日の天候が心配でリハーサルをビデオに撮り、雨天ならそのビデオで紹介することにしていましたが、結局写真のような雨避けの屋根を張って実験することになりました。火入れは当日朝9時、ケラ出し予定時刻は午後3時としました。炉内の温度を熱電対で計測しながら、煙突の上から砂鉄2キロと松炭をかぶせるという作業を10回繰り返し、タイミングをはかってノロ出しを数回行い、水を張ったたらいの中に、できあがったケラをジャボンと浸けて完了となりました。このケラ出しの際には炉をこわしてしまいますのでやり直しができません。衆人監視の中で炉底から煉瓦と一緒にケラを取り出し、作業は無事終了しました。たらいに入った塊から金属光沢している玉鋼らしきものをハンマーで割っているのを見た子供たちが手を伸ばして「頂戴、頂戴の人垣」ができました。来年はもう一ひねりするかと関係者一同燃えています。準備も含めて大変でしたが、企画室中川さんをはじめ、行事を担当してくれた皆さんご苦労様でした。

(1996年5月22日受付)

次号目次案内

ふぇらむ Vol.1 (1996) No.10掲載記事

リサイクルを進める　IRON & STEEL

話題のプロダクツ

スチール缶

鉄の絶景－高知編

特別講演

化学計測技術の高度化に関する研究　大河内春乃（金属材料技術研究所）

展望

21世紀はメンテナンスの時代　沢出稔（清水建設（株））

最近の科学技術情報分野における情報検索の動向と今後　諏訪秀策（日本科学技術情報センター）

入門講座

鉄鋼プロセス編－7

鉄鉱石が鉄に変わるまで－溶銑製造は酸素を除くドラマ　奥野嘉雄（新日本製鐵(株)）

解説

薄鋼板の新しいプレス成形技術　松居正夫（(株) 豊田中央研究所）

鋼管製造におけるプロセスメタラジー　為広博、他（新日本製鐵（株））

現場技術報告

千葉原料ヤード制御システムリフレッシュ　冨永太志、他（川崎製鉄（株））

＊掲載記事及び題目は変更になる場合があります。

本会情報一覧

記事内容	掲載号
平成8年度重点研究採択結果のお知らせ	本号 721頁
高温プロセス部会・社会鉄鋼工学部会・創形創質工学部会　集会（仮称）のご案内	本号 721頁
高温プロセス部会モデリング研究グループWWWホームページ開設のお知らせ	本号 721頁
高温プロセス部会「材料における非線形現象」研究グループ　第3回研究会開催案内	本号 722頁
計測·制御·システム工学部会セミナー「大規模反応プロセスのモデリングと制御」開催案内	本号 722頁
創形創質工学部会数理モデリングフォーラム「数理モデリング汎用ソフト最前線」開催案内	本号 723頁
機械翻訳推進の現状および今後の計画のお知らせ	本号 724頁
製銑部会　4流体の移動現象研究会成果報告会開催案内	本号 725頁
21世紀の鉄鋼業を考える集い	本号 727頁
高校生向け材料科学PRパンフレット完成・配布のお知らせ	本号 729頁
日向方斉メモリアル国際会議助成の募集案内	8号 642頁
第132回秋季講演大会　懇親会のお知らせ	8号 642頁
第132回秋季講演大会　工場見学会のお知らせ	8号 643頁
学会部門からの評議員候補者推薦募集案内	8号 644頁
シンポジウム「新鉄源の最近の動向」開催案内	8号 645頁
シンポジウム「鉄鋼製精錬プロセスにおける界面物理化学の基礎と応用」開催案内	8号 645頁
シンポジウム「人間・社会との新しい調和を求めてⅣ～材料開発・創製とエコバランス、CO_2排出抑制を中心として～」開催案内	8号 646頁
シンポジウム「耐震性向上のための構造・材料・加工技術」開催案内	8号 646頁
シンポジウム「鉄鋼の粉末冶金における新しい展開」開催案内	8号 647頁
シンポジウム「表面・界面解析の最近の進歩」開催案内	8号 647頁
シンポジウム「パフォーマンスから見た建材用ステンレス鋼板」開催案内	8号 648頁
シンポジウム「熱プラズマの環境技術への応用」開催案内	8号 648頁
セミナー「熱プラズマ材料プロセシングの基礎と応用」開催案内	8号 649頁
セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」開催案内	8号 650頁
材料の組織と特性部会「自主フォーラム」発足のご案内	8号 650頁
7th International Symposium on Physical Simulation 開催日変更のお知らせ	8号 651頁
第164回西山記念技術講座「地震と鋼材－阪神・淡路大震災をふまえて－」開催案内	8号 652頁
平成8年度理事、監事、並びに評議員の選挙結果報告	7号 559頁
「鉄と鋼」「ISIJ International」投稿規程・執筆要領	6号 442頁
入会案内	1号　73頁

編集後記

編集委員になってから、なぜか休日博物館に足が向くようになり、先日は化石展に出かけた。約1億年前のオウム貝（英名：ノーチラス）が、大パノラマを展開している。感激の一瞬。オウムの嘴に似ていることから名付けられたオウム貝は生きた化石の仲間でもある。ノーチラスといえば、ジュール・ベルヌの小説「海底二万哩」で活躍したノーチラス号、アメリカ海軍初の原子力潜水艦の登場が思い出される。一日にして1億年の昔から、少年時代、はたまた昔を懐しみ佇む現実へと、タイムカプセル巡りの探検だ。少年時代に抱いた夢、硬い殻に閉じ込められていた希望への思いが一気に開花する。心のタイムカプセルを開く、この喜びで胸がざわめく。

「ふぇらむ」は、鉄をベースにした専門家向けの会報である。読者に夢と希望に胸をときめかせた時代へと誘い、若者に将来への夢、希望に向かうチャレンジ精神を湧かせることに思いを馳せている。読者の皆さんも、胸ときめかしながら読んでおられることと思いながら、楽しく編集作業に取り組んでいる。次の休日、どんなタイムカプセルの扉を開く機会に遭遇できるかを楽しみにしている。 (S.H.)

連絡先

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

ふぇらむ（日本鉄鋼協会会報）　定価　2,000円（消費税本会負担）
Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan Price:￥2,000（Free of seamail charge）
1996年5月10日 第3種郵便物認可　1996年9月1日印刷納本・発行（毎月1回1日発行）
編集兼発行人　東京都千代田区大手町1-9-4　経団連会館内　島田 仁
印刷人/印刷所　東京都新宿区三栄町20-3(新光オフィソーム)　(株) ニューマーケット
発行所　社団法人日本鉄鋼協会　〒100 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館3階
TEL：総合企画事務局：03-3279-6021（代）
学会部門事務局：03-3279-6022（代）
生産技術部門事務局：03-3279-6023（代）
FAX：03-3245-1355（共通）
郵便振替　口座東京00170-4-193番（会員の購読料は会費に含む）

行事等予定

太字は本会主催の行事

開催期日		行事(開催地)	締切	掲載号及び頁
1996年				
9月	10,11日	講習会「化学工学基礎講座ー大気汚染物質発生と制御の理論ー」(東京)		8号 659頁
	12,13日	先端制御理論とその応用(大阪)		8号 659頁
	17日	第5回計装エンジニア公開討論会「次世代DCSはどうあるべきか」(東京)		本号 734頁
	17,18日	溶接法セミナー「アーク溶接の自動化技術」(東京)		本号 734頁
	18日	**創形創質工学部会　切削・切断フォーラム　討論会・見学会(埼玉)**	1996/9/4	7号 563頁
	18～20日	'96国際真空産業展(東京)		7号 570頁
	19,20日	SICEセミナー「古典制御入門ーなぜ古典論は使えるのか?」(東京)		8号 659頁
	19,20日	第40回日本学術会議材料研究連合講演会(京都)		本号 734頁
	20日	腐食防食シンポジウム「画像処理を用いた腐食および塗装劣化の診断」(東京)		本号 734頁
	24日	日本混相流学会混相流レクチャーシリーズ「基礎から最前線まで」(大阪)	1996/9/17	8号 660頁
	24日	ステンレス鋼溶接施工技術の実際とその応用(仙台)	1996/9/13	本号 734頁
	27日	**シンポジウム「熱プラズマの環境技術への応用」(札幌)**	1996/9/10	8号 648頁
	27日	**第164回西山記念技術講座「地震と鋼材-阪神・淡路大震災をふまえて」(神戸)**		8号 652頁
	28～30日	**第132回秋季講演大会(札幌)**	1996/7/11	5号 382頁
	28日	**第132回秋季講演大会　懇親会(札幌)**	1996/9/18	8号 642頁
	28日	**シンポジウム「人間・社会との新しい調和を求めてIV」(札幌)**		8号 646頁
	28日	**シンポジウム「鉄鋼の粉末冶金における新しい展開」(札幌)**		8号 647頁
	28日	**シンポジウム「表面・界面解析の最近の進歩」(札幌)**		8号 647頁
	29日	**シンポジウム「新鉄源の最近の動向」(札幌)**		8号 645頁
	29日	**シンポジウム「耐震性向上のための構造・材料・加工技術」(札幌)**		8号 646頁
	29日	**シンポジウム「パフォーマンスから見た建材用ステンレス鋼板」(札幌)**		8号 648頁
	30日	**シンポジウム「鉄鋼製精錬プロセスにおける界面物理化学の基礎と応用」(札幌)**		8号 645頁
10月	1日	**第132回秋季講演大会　工場見学会(苫小牧・室蘭)**	1996/9/10	8号 643頁
	3日	第50回シンポジウム「再結晶・集合組織の解析と制御」(東京)		本号 734頁
	8,9日	**第9回日本・ドイツセミナー(デュッセルドルフ)**		
	9日	第46回科学講演会「ポリマーサイエンスの新潮流」(東京)		本号 734頁
	11日	SICEセミナー「プラントCALSにみる次世代情報処理技術」(東京)		本号 734頁
	15日	腐食防食シンポジウム「住宅環境における表面処理鋼板の寿命予測」(大阪)		本号 734頁
	16～18日	第39回標準化全国大会(東京)		8号 660頁
	17日	**21世紀の鉄鋼業を考える集い(東京)**		本号 727頁
	17,18日	HPI技術セミナー「圧力設備の材料、設計、施工、維持管理」(大阪)		7号 570頁
	18日	**セミナー「熱プラズマ材料プロセシングの基礎と応用」(東京)**		8号 649頁
	18日	**セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」(大阪)**	1996/10/4	8号 650頁
	18日	第16回疲労講座「疲労の基礎、強度評価と設計の実際」(名古屋)	1996/10/11	本号 734頁
	18日	成果発表会「メカニカルアロイングによるアルミニウム非平衡相の創製」(大阪)	1996/9/30	本号 734頁
	19日	**セミナー「大規模反応プロセスのモデリングと制御」(大阪)**	1996/10/9	本号 722頁
	21,22日	SICEセミナー「現代制御理論入門」(東京)		8号 660頁
	22日	北陸支部　平成8年度総会・連合講演会(石川)	1996/9/30	本号 734頁
	24,25日	**製銑部会　4流体の移動現象研究会成果報告会(東京)**	1996/10/18	本号 726頁
	25日	関西支部　「材料セミナー:表面分析」(京都)	1996/9/27	8号 659頁
	28日	**高温プロセス部会　材料における非線形現象研究グループ　第3回研究会(名古屋)**		本号 722頁
	29日	関西支部　「材料セミナー:組織観察」(神戸)	1996/9/27	8号 659頁
11月	8日	関西支部　「材料セミナー:X線回折」(高槻)	1996/9/27	8号 659頁
	13～15日	**第4回鉄鋼工学アドバンストセミナー(神戸)**	1996/9/2	7号 564頁
	19,20日	関西支部「材料セミナー:化学評価」(大阪)	1996/9/27	8号 659頁
	22日	北陸支部　平成8年度総会・連合講演会(石川)	1996/9/30	本号 734頁
	26日	**数理モデリングフォーラム「数理モデリング汎用ソフト最前線」(千葉)**	1996/11/19	本号 723頁
12月	5,6日	第2回流動層シンポジウム(東京)	1996/8/31	8号 660頁
	13日	第2回分子動力学シンポジウム(大阪)	1996/8/19	8号 660頁
1997年				
1月	20～24日	**7th International Symposium on Physical Simulation(つくば)**	1996/4/1	8号 651頁
3月	27～29日	**第133回春季講演大会(東京)**		

ふぇらむ Vol.1 No.9 広告目次

本誌広告取扱 株式会社 協会通信社 〒104 東京都中央区銀座7丁目3番13号 TEL03(3571)8291・FAX03(3574)1467

本誌広告取扱　株式会社 協会通信社　〒104 東京都中央区銀座7丁目3番13号 TEL03(3571)8291・FAX03(3574)1467