

ふえらむ

Vol.2 No.12 1997

(社)日本鉄鋼協会会報

B u l l e t i n o f

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

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



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

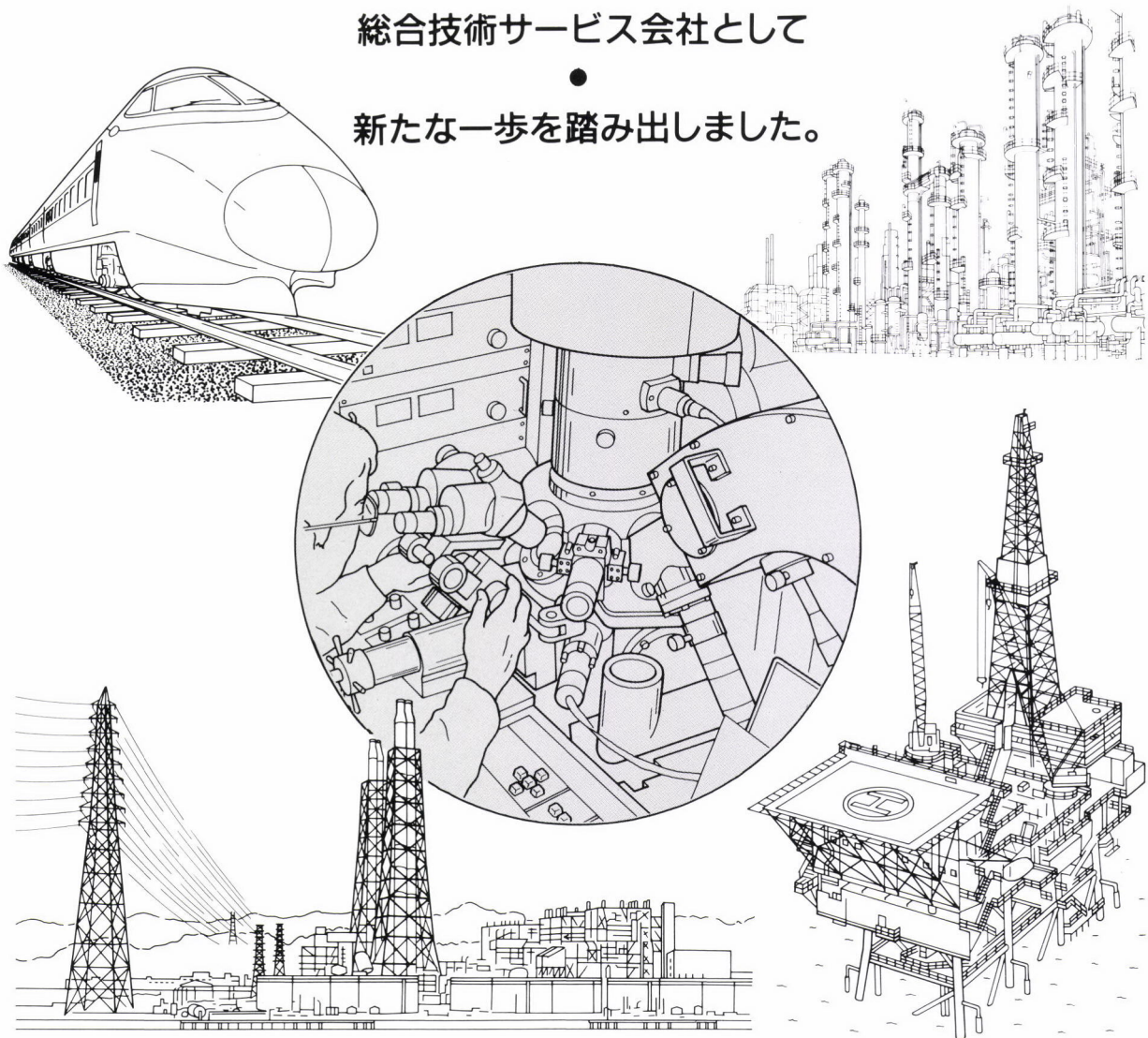
ホームページ <http://www.isij.or.jp>

まだまだ広がる テクノロジーの未来

住友金属工業株の永年の技術と経験の蓄積をバックにした

●
総合技術サービス会社として

●
新たな一歩を踏み出しました。



住友金属テクノロジー株式会社

(本社)
(受託研究事業部)
(関西事業部)
(和歌山事業部)
(小倉事業部)
(鹿島事業部)
(鉄道産機事業部)
(OCTG事業部)

(尼崎)
(大阪)

〒660 尼崎市扶桑町1番8号 TEL.06-489-5778
 〒660 尼崎市扶桑町1番8号 TEL.06-489-5779
 〒660 尼崎市東向島西之町1番地 TEL.06-411-7663
 〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号 TEL.06-466-6153
 〒640 和歌山市湊1850番地 TEL.0734-51-2407
 〒803 北九州市小倉北区許斐町1番地 TEL.093-581-3289
 〒314 茨城県鹿嶋市大字光3番地 TEL.0299-84-2557
 〒554 大阪市此花区島屋5丁目1番109号 TEL.06-466-6176
 〒660 尼崎市東海岸町21番地1号 TEL.06-409-1121

工業用既設送風機の省エネ更新及び 能力アップ更新

——— 高効率遠心送風機のNKGにお任せ下さい ———

★ 省エネ更新——— 大幅な省エネルギーと共にCO₂排出削減に貢献

既設送風機をNKG高効率送風機に置き換えることにより、今までより電力消費量が10～30%低下します。

置き換え送風機の仕様（風量、風圧、温度）を現在の運転状況に見合ったところまで縮小変更し、適正化を図れば省エネ効果は更に大きくなります。

★ 能力アップ更新——— 生産量増加、圧損増加等に対応

既設のモーターを流用し、送風機のみ更新することにより20～30%の能力アップが可能です。

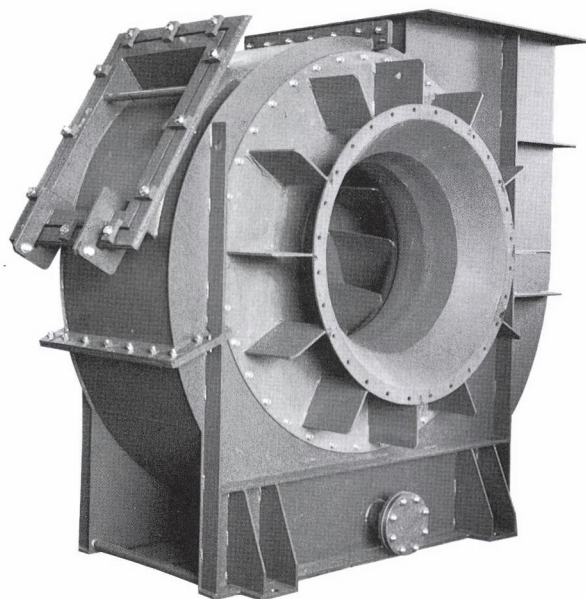
★ 既設寸法合わせ

アンカーボルト並びに出入口ダクトの取り合いを既設の寸法に合わせて設計しますので、現地工事は送風機本体の入れ替えのみで済みます。

従って、現地工事は短期間且つ安価に実施可能です。

主要納入先（順不同）

旭硝子（株）	新日鐵化学（株）
旭ファイバーグラス（株）	住友化学工業（株）
セントラル硝子（株）	昭和シェル石油（株）
日本板硝子（株）	日本合成ゴム（株）
日本製紙（株）	（株）クラレ
王子製紙（株）	花王（株）
三菱製紙（株）	吉野石膏（株）
住友大阪セメント（株）	トヨタ自動車（株）
吉澤石灰工業（株）	三菱自動車工業（株）
新日本製鐵（株）	日東紡績（株）
日本鋼管（株）	日本電気（株）
川崎製鉄（株）	森永乳業（株）
台湾プラスチック（有）	雪印乳業（株）



NKG POWER SAVING FAN

日本機械技術株式会社

本 社 〒103東京都中央区日本橋3-7-7日本橋アーバンビル

TEL03-3272-4151 FAX03-3272-1418

富士工場 〒417静岡県富士市今泉花の木626-1

TEL0545-52-5502 FAX0545-52-7418

中型自動切断機 ユニットム

Unitom



(特 徴)

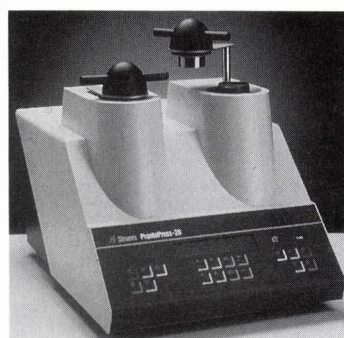
- マイクロプロセッサで制御される切断パラメータ。
- 予定されている定常な送り速度。
- マイクロプロセッサに支援された切断パラメータの拡張。
- 加圧力限界の調整による試料の保護。
- 切断ホイールが試料を通過し終えた時の自動停止。
- 近代的なデザイン。
- 耐蝕性のある切断室。
- 最高の安全性。

ユニットム

最新のプロセス制御で非常に効果的な高機能と強力な切断力を備えた自動切断機。

自動二連式埋込プレス プロントプレス-20

ProntoPress-20



(特 徴)

- 熱伝導効率を大幅に向上させた斬新なシリンダ。
- 冷却水が節約できる3種類の冷却プログラム。
- 循環冷却装置が接続可能。
- 最大φ50mmまでの6種類のシリンダ。
- 良好な埋込を支援する予熱機構。
- 再現性の高い埋込を可能にする圧力と加圧力の自動設定。
- 設定温度の自動制御。
- 最大200件の埋込データを保存できるデータベース。

プロントプレス-20

2基のシリンダを装備し、同期運転により高い処理能力を実現した埋込プレス。

卓上型高性能自動研磨装置

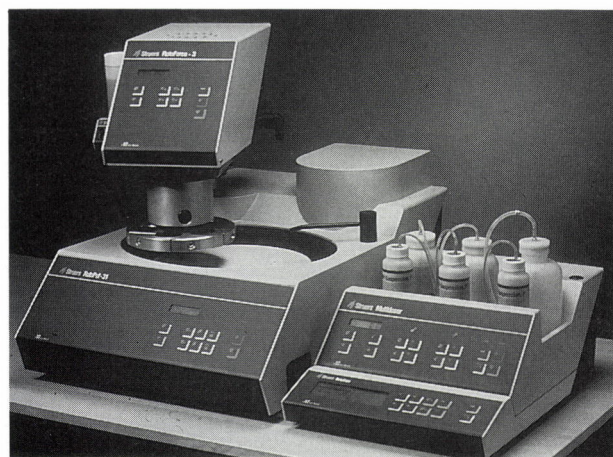
ロトシステム300

ロトポール-31 ロトフォース-3 マルチドーザ ロトコム

RotoSystem300

RotoPol-31 Multidoser

RotoForce-3 RotoCom



ロトポール-31

最大φ300mmの円板が使用でき、大きな負荷が必要な研磨に耐える卓上型研磨/琢磨装置。

ロトフォース-3

最大φ200mmの試料板の使用で、大量の試料及び大型試料の研磨が可能な自動試料回転機。

マルチドーザ

ダイヤモンド懸濁液3種、潤滑剤2種及び酸化物琢磨剤1種用の自動精密供給装置。

(特 徴)

- 各装置が独立で使用可能な装置の組み合わせで必要に応じて増設できるシステム。
- システムが完備されれば各試料独自の研磨条件を時間、圧力、回転速度及び研磨剤供給量の各項目で作業段階毎に制御。
- 使用される消耗品を画面表示。
- 附属のPCソフトウェアを使用しパソコンと接続することで保存できる研磨条件数が増大し、条件の入力もパソコンのキーボードで可能。(接続できるパソコンには制限があります。)
- パソコンからFIDによるデータの移動が可能。

ロトコム

100件の研磨条件が保存可能で、システム上の研磨工程を管理する制御装置。

掲載された各装置は弊社西川口の実験室でご覧になれます。



丸本ストルアス株式会社

本 社 〒104 東京都中央区築地二丁目12番10号
TEL(03)3546-8051 FAX(03)3546-7980
大阪営業所 〒550 大阪市西区北堀江一丁目6番5号
TEL(06)532-2661 FAX(06)532-1977
名古屋営業所 〒464 名古屋市中千種区内山三丁目17番4号
TEL(052)732-1862 FAX(052)732-2392

平成9年8月1日より社名が変わりました(旧社名 丸本工業株式会社)

15-0217

ふえらむ

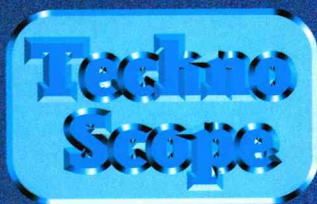
Vol.2 (1997) No.12

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	超音速旅客時代への予感	2
話題のプロダクト	遺伝子組み換え作物	10
鉄の絶景	生命を守る鉄 ～島原～	14
展 望	今後の我が国の物資・材料系科学技術に関する重点研究開発領域について 科学技術庁研究開発局総合研究課材料開発推進室長 石井利和	17
	複合経営から見た鉄鋼技術系人材の活性化 NKK技術開発本部特別主席 小指軍夫	24
	工業高等学校の現状と科学技術教育の課題 —附属工業高等学校長を兼任した大学教授奮戦記— 東京工業大学工学部金属工学科教授 入戸野修	27
鉄の歴史	戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 戦後のエネルギー危機を乗り切った日本鉄鋼業 —熱経済技術部会草創期の活動記録から— 新日本製鐵（株）技術開発本部顧問 杉田清	34
解 説	「鉄鋼スラグの基礎と応用研究会」最終報告会に参加して初心に帰る 川鉄テクノリサーチ（株）常務取締役 野崎努	43
会員へのお知らせ		48
年間索引		59

ホームページ <http://www.isij.or.jp>



超音速旅客時代 への予感

——動き出したポスト・コンコルド開発のゆくえ——



1970年代に華々しくデビューした
超音速旅客機は、
航空の主役になることはできなかった。
当時は、ワイド・ボディに代表される大量輸送へと
時代の潮流が向かっており、
乗客数が少なく、燃費も悪く、
環境適合性を欠いていた超音速機には、
時の利がなかったともいえよう。
だが、21世紀を迎えようとする現在、
人々が音の壁を超えて旅することへのニーズが、
ふたたび高まってゆくとの見通しが生まれている。
将来のニーズに応えるために、
さらに進化した超音速輸送の技術が今、必要とされている。
そして、その技術はそのまま宇宙へとつながる可能性も秘めているという。

次世代超音速から極超音速、そして宇宙へ 開発のキーワードは経済性と環境対応

これまでに超音速旅客機として世に出たのは、英仏共同開発のコンコルドと、旧ソ連のTu-144の2機種のみ。後者はすでに現役を引退している。両者ともけっして失敗作だったわけではないが、早すぎた技術が経済の波に乗り切れなかった実例という見方もできるだろう。社会的・経済的なファクターに十分に対応するには、さらに1歩踏み込んだ技術の熟成が必要とされているようだ。コンコルドやTu-144開発当時の状況をふりかえりつつ、次世代超音速旅客機の向かっている方向、さらにはその先までを概観してみる。

超音速旅客機への期待ふたたび

超音速旅客機として名を馳せたコンコルドが英国航空とエールフランスに同時就航したのは、1976年1月。約20年前のことだった。英仏の共同開発によって生まれたマッハ2.04を誇るSST（super sonic transport／超音速輸送機）だったが、現在の実働はわずかに13機（英国航空7機／エールフランス6機）。大西洋路線で黒字運行を続けてはいるが、膨大な開発コストや圧倒的な知名度に比して、その活躍ぶりはあまりにおとなしいといえるだろう。開発当初は、主要国のエアラインから79機の発注を受けたコンコルドだったが、完成を目前に次々とキャンセルが続き、当事国の英仏だけがわずかに数機ずつ採用したのみで、20年を経てそろそろ引退の声も聞かれるようになってきた。もっとも成功した旅客機のひとつに挙げられるであろうボーイング747通称ジャンボ機が800機以上生産され、今なお改良が続けられていることと比較するとそのコントラストがはっきりとしてくる。

今、コンコルドの引退を目前に、次世代SST開発の必要性が国際的なスケールで浮上してきつつある。背景にあるのはアジアを中心に大幅に伸びると考えられる航空需要と、それにもなう時間短縮へのニーズである。ある予想によれば2015年の航空需要は現在の3.5倍以上、国際路線数は4.1倍に伸びるといふ。この潮流をうまくつかんで誘発していけば、大きな経済効果が期待できる。

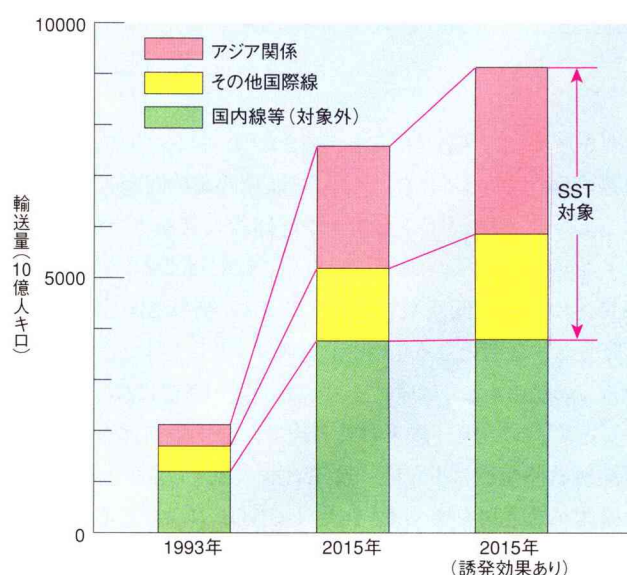
長距離の航空便の場合、乗客にとって大きな負担になるのが長いフライト時間である。たとえば亜音速（マッハ0.86前後）で飛ぶ現在の旅客機では、東京ーロスサンゼルス間は約9時間半の空の旅になる。勤め人であれば1日の勤務時間に相当する時間を、狭い座席にしばりつけられたままでやりすごさねばならないわけだ。ニューヨークまで行くとすれば、なんと12時間半。人間の心理としてイライラせずに座り続けられるのはせいぜい4時間までだろうといわれているから、フライト時間の長さが、乗客にとって心理的、肉体的に、大きな負担となってい

ることは否定できないだろう。

そこで、もしコンコルドと同様のマッハ2クラスのSSTで東京ーロスサンゼルス間を結んだ場合を想定してみよう。フライト時間は半分以下の4時間半程度にまで短縮することができる。もう少しスピードを上げれば、4時間でアメリカへ行けるようになる。旅行客の心身の負担はどれほど軽くなることだろうか。SST導入が航空需要を誘発するというのは、そうした発想によるものである。かりに2015年にSSTが導入されたと想定した場合、それによって生じる経済効果は国内で約3.8兆円、世界全体で3600億ドルになると試算されている。

だがそれならなぜ今あるコンコルドを採用しないのだろうか。実はその答えはそのままコンコルドがポピュラーになりきれなかった理由へとつながり、また次世代SSTで解決しなくてはならないポイントとなっている。

経済性と環境問題。コンコルドの悩みは、この2点に集約される。コンコルドの航続距離は6,500km、旅客数はファーストクラス100席である。この航続距離だと、たとえば東京ーロ



国際航空需要増大の見通し



現在就航している唯一の超音速旅客機コンコルド。



旧ソ連で開発されたTu-144。

所要時間の比較（単位：時間）

	B747	コンコルド	次世代 SST	HST
東京ーロサンゼルス	9.5	6.25 (ホノルル給油)	4.4	2
東京ーニューヨーク	12.5	8.5 (アンカレッジ給油)	6.5	3
東京ーロンドン	11.5	7.3 (アンカレッジ給油)	5.5	3

ス間を無着陸で運行することができない。コンコルドが大西洋航路のみに就航しているのは、この航続距離の問題も大きく影響している。もしどうしても太平洋路線に就航させたいければ、ホノルルかアンカレッジで一度給油を行わねばならない。また超音速の場合、低空飛行するとガラスが割れるほどの衝撃波が発生し、騒音となるため陸上を飛行することはできず、陸地付近での航路もしくは運行速度にも工夫が必要になる。

ジャンボの3分の1以下の乗客数で、機体価格は約2倍、太平洋無着陸飛行は不可能、騒音は並大抵ではない。また多数の機体が成層圏を飛ばせば、発生するNOxによってオゾン層の破壊をさらに促進してしまう危険もある。そうしたコンコルドの持つマイナス要素が、開発遅延によるコスト上昇と石油ショ

ックによる燃料費の高騰によって、強調されたことが、冒頭で述べた相次ぐキャンセルへとつながったようである。

開発競争の歴史、そして挫折……

かつて超音速旅客機開発が検討されたのは1950年代後半からだった。1947年に「音の壁」が破られて以来、戦闘機、爆撃機の順に軍用機の超音速化が進められてきたが、それにとともに音速を超える民間輸送機の可能性も浮上してきた。アメリカのNASAはもちろん、イギリス、フランス、旧ソ連の4国がそれぞれに開発計画を練っていたが、英仏の計画はよく似ていたため、やがて共同開発への道を歩むことになる。乗員数100席、目標速度マッハ2.2、スレンダーデルタ翼といった英仏の共通要素は、アメリカが描いていた目標速度マッハ2.7、可変後退翼（翼の付け根が可動式で速度に応じて後退角が変えられる）といったプロフィールと対照してみると、設計思想の違いがはっきりと分かる。だがむしろ当時の技術レベルでは、英仏案はともに現実路線としてギリギリの選択の上に立っており、似通ってしまったのも自然なことだった。100人という数字は胴体の空気抵抗によって、またマッハ2.2という速度はア



次世代SSTのイメージ。

ルミ合金技術で空力過熱の問題を考慮すると、必然的に落着くポイントだった。英仏共同開発がスタートして2年後の1964年に計画の実態が明らかにされた旧ソ連のTu-144がコンコルドにそっくりだったため「コンコルドスキー」などと揶揄されたが、むしろ当時の技術的制約から行き着いた結末だったのかもしれない。ただしTu-144は、最高速度がマッハ2.35とコンコルドよりも大きく、「熱の壁」対策としてチタンやステンレス鋼を多用することになった。その分、経済性の面での不利を背負い込む結果となっていた。コンコルドよりも早い初飛行、就航（貨物便）にもかかわらず、1987年には早々と運行停止になったのも、経済性でコンコルドよりもシビアな条件にあったためではないかという見方がされている。

アメリカのSST開発はコンコルドよりも数段上のスペックをめざすものであり、膨大な開発費を必要とするものだった。しかも当初、米政府は民間の航空機メーカーなどへの開発補助は行わないとの基本方針を示しており、計画はなかなか進展しなかった。しかし1963年にパンナムがコンコルドの採用を決定すると、ケネディ大統領はあわててSSTの国家プロジェクト化を発表。しかし次第に議会での環境保護派の反対が強まり1971年には計画中止となった。

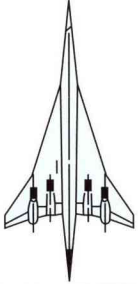
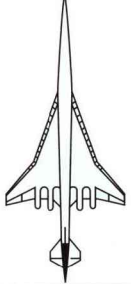
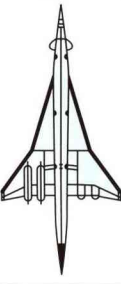
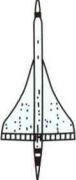
浮かび上がる次世代SSTのアウトライン

次世代SSTは需要面や2兆円をこえるといわれる開発費などから、現実的に成立するのは世界全体で1機種のみだろうといわれている。採用する立場のエアラインからは競争原理が働くためには2機種以上が必要だという意見も上がっているが、いずれにせよ企業が独自に開発できるスケールを超えているため、その開発作業は国際事業として進んでいくことになるだろうと見られている。日本では通産省、科学技術庁、運輸省の支援のもと日本航空宇宙工業会を中心に、次世代SSTのビジョンを絞り込むとともに、機体やエンジンなど、各種要素技術の国際的規模での開発体制が生れつつある。

次世代SSTで描かれるプロフィールとしては——旅客数は少なくとも300人、航続距離は10,000 km以上、運賃はせいぜいジャンボの1.4倍以内（コンコルドは3.5倍以上）、速度はマッハ2～2.5とコンコルドと同程度か少し速いくらい。ほぼこの周辺で各国とも次世代SSTのアウトラインを描いているようである。

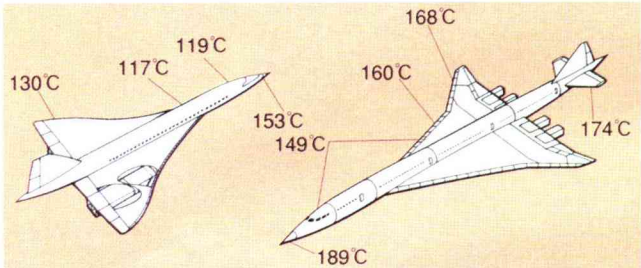
国際共同事業による開発体制では、NASAを擁する米国や、コンコルドで経験のある欧州がリーダーシップをとっていくことは十分に予想される。米国では、すでに現役から退いていたロ

各国が描く次世代SSTのアウトライン

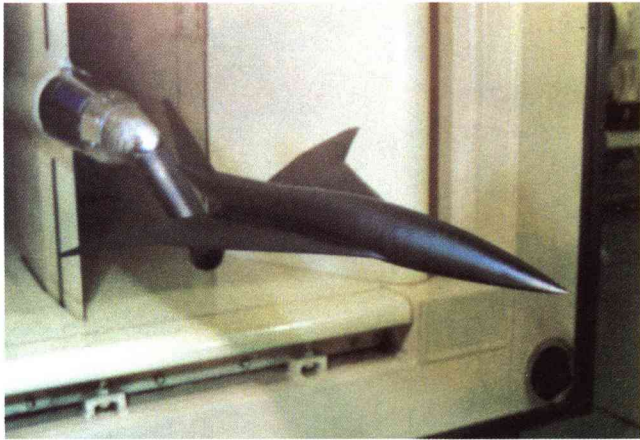
	日本	米国 (NASA)	ESRP (Aerospatiale, BAe, DASA)	コンコルド
座席数	300	304	250	100
巡航マッハ数(M)	2.2	2.4	2.05	2.04
航続距離(nm)	6,000 (11,100 km)	5,000 (9,300 km)	≥ 5,500 (10,200 km)	3,550 (6,600 km)
最大離陸重量(lbs)	889,000 (408ton)	759,300 (344ton)	749,600 (340ton)	408,000 (185ton)
翼面積(ft ²)	11,300 (1,050 m ²)	7,940 (738 m ²)	—	3,856 (358 m ²)
翼幅(ft)	150 (46m)	134 (41m)	138 (42m)	84 (26m)
全長(ft)	310 (94m)	314 (96m)	292 (89m)	204 (62m)
平面図				

コンコルド

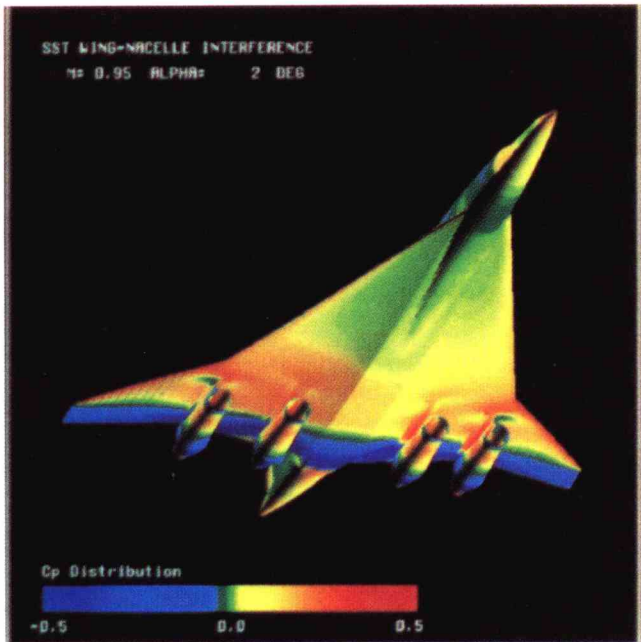
次世代SST



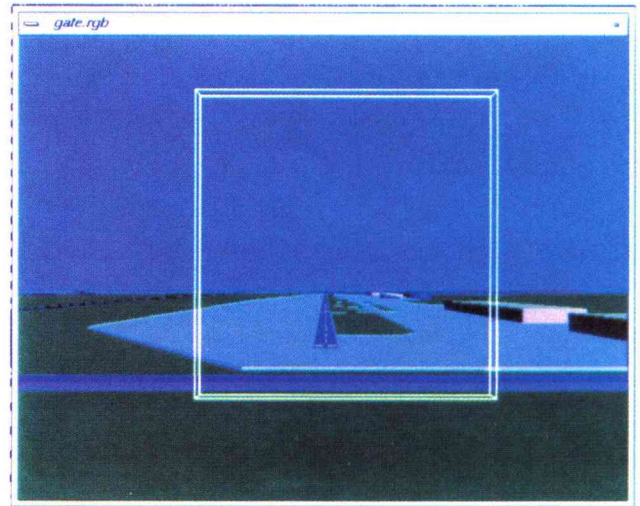
飛行中のコンコルドとSSTの機体温度。軽量で耐熱性の高い複合素材（炭素繊維強化ポリイミドなど）のローコスト製造技術が求められている。



模型を使った風洞実験の様子。



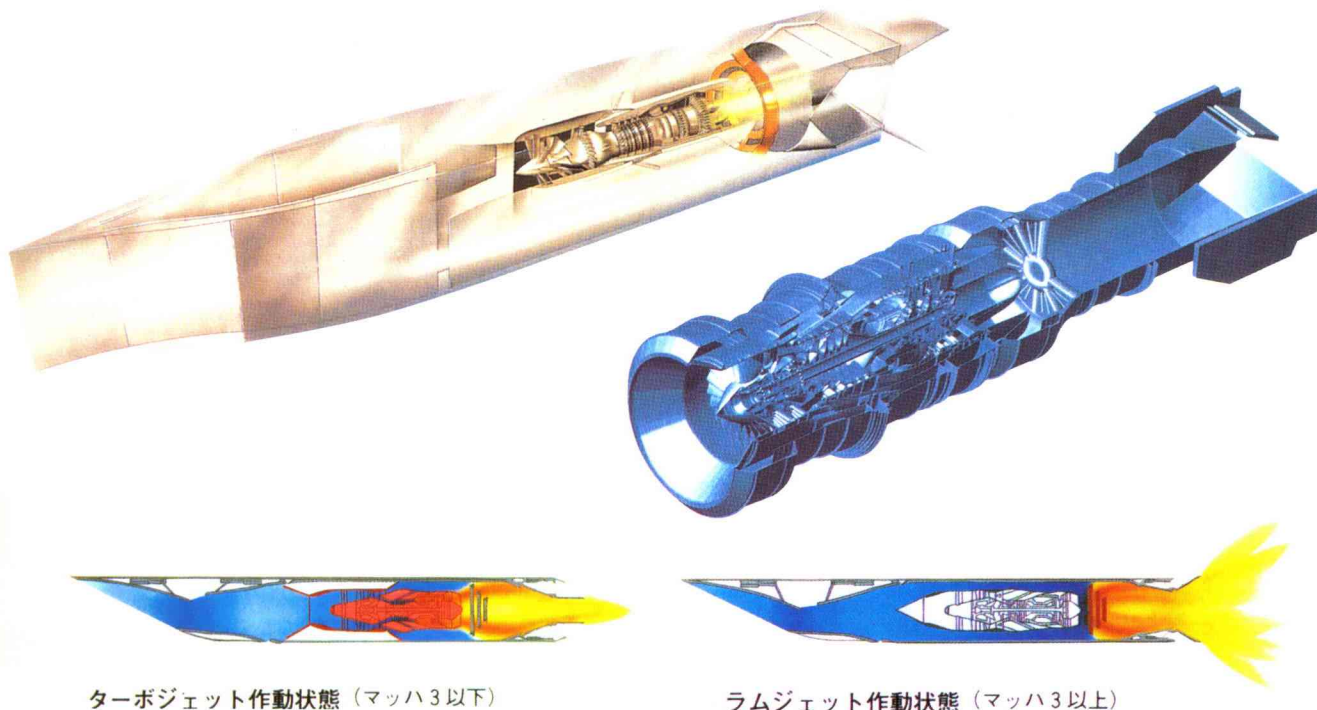
コンピュータを使った数値流体力学によって機体形状の研究が行われている。



バーチャル・リアリティによる視界確保策も検討されている。

シア保有のTu-144を1,000万ドルを投じて飛行可能に再整備し、1996年から米露共同でデータ収集を行っている。NASAの計画では2001年までに次世代SSTの機体形態を選定し、2002年から開発開始、2004年初飛行、2006年就航をめざす

というのが、予算どりの面などまだ不確定要素も多い。
こうした国際的共同開発気運のもと、今後日本がどのような形でSST開発に関わっていくかは、21世紀の国内航空産業が育っていくうえで重要なターニング・ポイントになるであろう



ターボジェット作動状態（マッハ3以下）

ラムジェット作動状態（マッハ3以上）

コンバインド・サイクル・エンジンの構造イメージ。

ことは容易に想像がつく。

国家的プロジェクトとして進む新型エンジン開発

次世代SSTでは、低騒音で、NOxの排出量が少ない、効率のよい新たな推進システムを開発することが重要なファクターになる。コンコルドもTu-144も、超音速加速時にはアフターバーナーに頼っていた。アフターバーナーとは、ジェットエンジン内で燃焼した高温のガスに再び燃料を噴射して推力を増す装置で、現在の超音速航空機はほとんどがアフターバーナーによってその強大な推力を得ている。だがアフターバーナーに頼る方法は、燃費、騒音およびNOx低減の点でかなり不利であり、次世代SSTでは新たなエンジンが求められている。

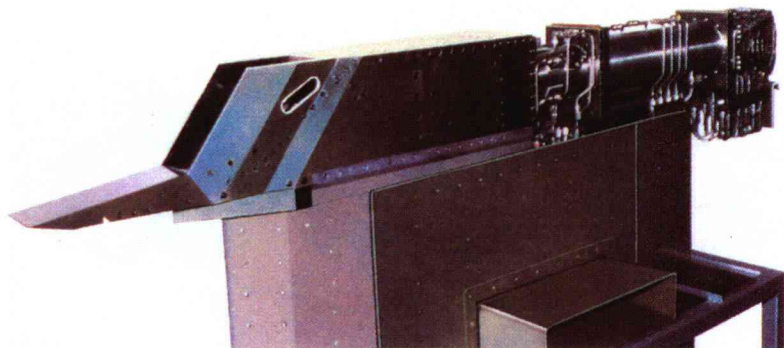
新エンジン開発のための研究は、国内ではSSTよりも、もう1世代先を行くHST（hyper sonic transport）用のエンジン研究とオーバーラップする形で進められている。SSTがマッハ2～2.5を目標としているのに対し、HSTが目指すのはマッハ5という極超音速である。高度40,000m以上の高空を弾道飛行することもあり、中距離航路には向かないが、たとえば東京－ニューヨーク間を3時間ないしは2時間に短縮することが可能になるため、大陸間旅客機として期待される。実現の時期は次世代SSTよりもさらに先の2020年～2030年頃になると考えられている。10年前にレーガン大統領が一般教書演説の中で構想を発表した「ニュー・オリエント・エクスプレス」は上記より

さらに上のスペックを目標としていたが、やはりHSTの範疇に入るものと考えられるだろう。

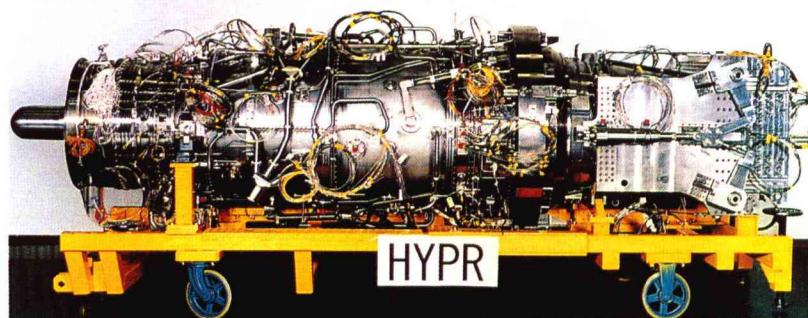
現在次世代SSTとHSTに共通する新エンジンの開発は、通産省工業技術院の産業科学技術研究開発制度（かつての大型プロジェクトを引き継ぐ制度）の「超音速輸送機用推進システム」として平成元年から平成10年までの10年計画によって推進されている。総予算280億円、NEDO（新エネルギー・産業技術総合開発機構）への委託研究という形で、国内メーカー3社によるHYPR（超音速輸送機用推進システム技術研究組合）と、海外メーカー4社が参加し、まさに国際的研究開発体制によってプロジェクトが進む。現状、これにいくつかの国立研究機関が参加し、基礎研究をバックアップしている。その成果として、来年はじめには世界初のコンバインド・サイクル・エンジンが組立てられようとしている。

コンバインド・サイクル・エンジンとは、ひと口に言えばターボ・ジェット・エンジンとラム・ジェット・エンジンの複合型エンジンである。前者はこれまでの航空機に採用されてきた一般的なジェットエンジンであり、ブレード式の圧縮機をもつもの。後者は、機械的な圧縮機をもたないジェット・エンジンで、超音速域のみで作動する。

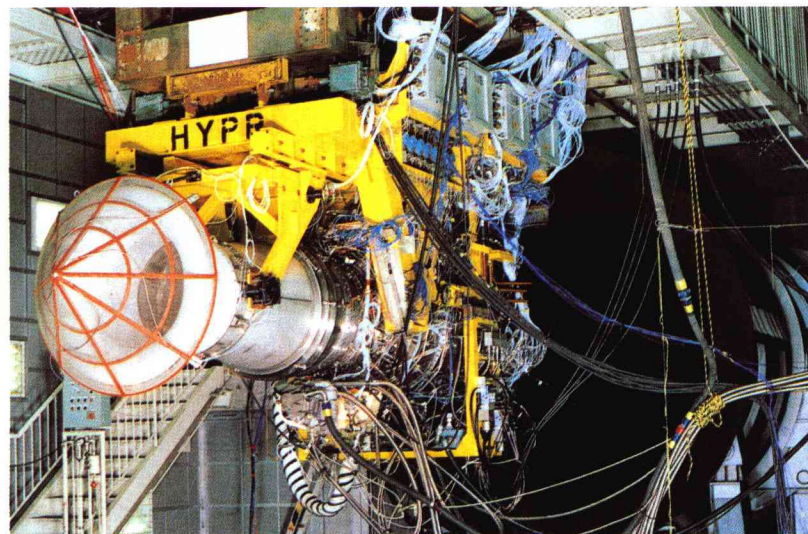
マッハ5という最高速度を想定した場合、離陸から加速の各段階で、エンジンにかかってくる流体力学的な特性は大きく変化する。マッハ3くらいまでは、これまでと同様のターボジェ



試験用に開発されたマッハ5対応のラムジェット・エンジン。



マッハ3までを受け持つ高性能ターボジェット・エンジン。



ターボジェット・エンジンの地上実験。

ット・エンジンが有効と考えられるが、それ以上になった場合、ファンはむしろじゃまになってくる。軽くせきとめるだけで衝撃波によって空気は圧縮され、燃焼可能になるからだ。しかしラムジェットは低速では作動しないから、地上から出発するには、ターボジェットと組み合わせる必要がある。そこで内部の流れを切り替えることによって、低速～マッハ3くらいまではターボジェット、それ以上ではラムジェットによって推進力を得ることができる複合サイクル型のエンジンの実現を目指そうという発想が生まれた。これがコンバインド・サイクル・エンジンである。

プロジェクトでは平成7年度にラムジェットの試験用モデルを製作、実際にマッハ5の試験環境で安定して燃焼することを実証するとともに、各種データの収集を行った。構造的にはシンプルなエンジンだが、ミサイル用には実用化された例があるものの、航空機用には世界的にも開発例がなく、具体的な形状や燃焼制御など、多くの点で新たなチャレンジとなった。

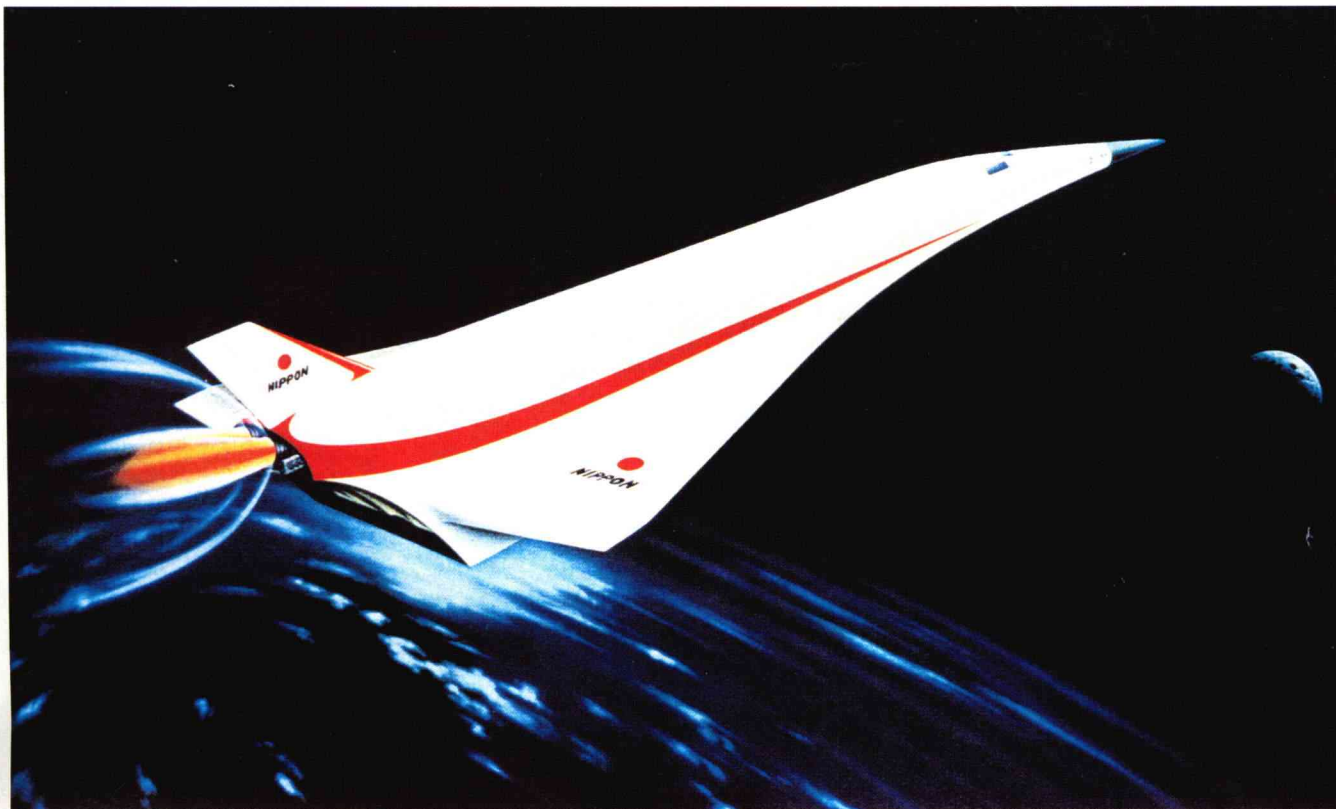
ラムジェットの開発に次いで、今年2月には、マッハ3までの飛行に対応するターボジェット・エンジン（試験機）の高空性能試験が実施された。これにより超音速輸送機に対応できるターボジェット・エンジンの要素技術も確立されたわけである。並行して先のラムジェットとこのターボジェットをつなぐための要素結合試験が行われ、今後ターボジェットの騒音試験、コンバインド・サイクル・エンジンの初回運転が行われる予定になっている。最終年度である平成10年度には、コンバインド・サイクル・エンジンの高空性能試験が行われる。

極超音速、そして宇宙へ

コンバインド・サイクル・エンジンは、HSTにとどまらず、さらにその先の技術へとつながる可能性も秘めている。つまりスペース・プレーンである。現状、宇宙往還機はスペース・シャトルのような再利用型のものでも、消耗部品が多く、宇宙開発コストを引き上げる要因になっている。宇宙船の打ち上げコストを抑えるために完全再利用型宇宙往還機の開発に期待がかけられており、米国などでは次世代シャトルといわれる単段式宇宙往還機（SSTO）が有力候補として研究されている。

だがもしコンバインド・サイクル・エンジンが成功すれば、ロケットのみで宇宙まで行くこれまでの方法論を転換し、大気圏内ではジェット、空気のない高度まで行ってからロケットに切り替えるということが可能になるかもしれない。ロケット・エンジンは、燃料に加えて大量の酸化剤を積み込む必要があり、それが大きな死荷重となってきた。よく知られるように巨大多段式ロケットの大部分は推進剤であり、その大半は酸化剤（液体酸素）だった。ジェットで十分な加速が得られれば酸化剤の量を大幅に減らすことができる。

完全再利用型の宇宙往還機では、コンバインド・サイクル・エンジンの技術をステップとして開発されるスクラム・ジ



スペース・プレーンのイメージ。

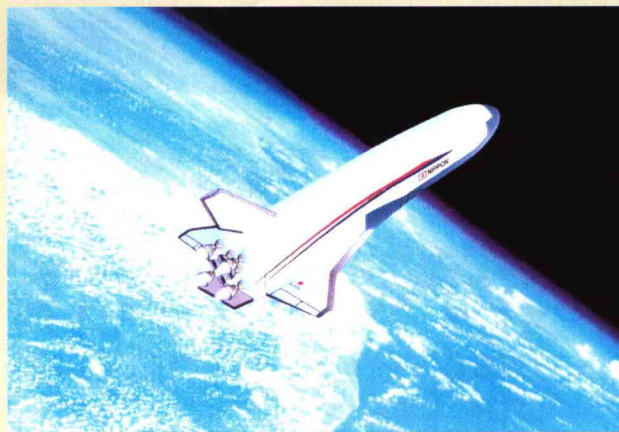
C O L U M N

宇宙輸送時代の主役は
スペース・プレーンかSSTOか

コンバインド・サイクル・エンジンとロケット・エンジンを組み合わせることで可能になるスペース・プレーンは、再利用型宇宙船のひとつと考えられるが、現在のロケット技術の延長上にあるものではなく、新たな技術革新を必要としている。そこでNASAでは次世代再利用型ロケットとしては、SSTO (Single Stage To Orbit/単段式シャトル) をポスト・スペースシャトルの有力候補として研究を進めている。

計画では翼ではなく胴体で揚力を得るリフティング・ボディを採用し、垂直打ち上げ・水平着陸するX-33と呼ばれる試験機を99年には初飛行させる予定だという。発案者である航空機メーカーでは、X-33をベースにした全長38.4mという巨大な実用機案も発表しており、ニュー・オリエント・エクスプレスには、こうしたSSTOの技術が採用される可能性もある。この技術を用いれば、

世界のどこへでも1時間程度で人や貨物を運ぶことが可能になるという。世界的物流ネットワークをつくれば、主要都市間であれば、1時間プラスアルファで荷物を届けることができるようになるわけだ。「午後からアメリカで使う商品見本をSSTO便で送っておく」などという時代がいつの日かやってくるのだろうか。



国内で描かれたSSTOのイメージ。

ェット・エンジン (エアブリージング・エンジン) により、マッハ12まで加速し、その先はロケットによって宇宙空間を飛行する。ターボジェット (出発時) →ラムジェット (高速時) →ロケット (宇宙空間) と、飛行状態の変化に応じて切り替えながら、最小限の推進剤で宇宙までを往還する。すなわち空港か

ら飛び立ち宇宙ステーションまで到達し、空港へと舞い降りる宇宙航空機の実現が視野に入ってくるのである。

取材協力・写真提供：通商産業省(機械情報産業局航空機武器宇宙産業課、工業技術院産業科学技術研究開発課)、科学技術庁(研究開発局)、(社)日本航空宇宙工業会、超音速輸送機用推進システム技術研究組合

話題の
PRODUCT

プロダクト

**遺伝子
組み換え作物**

CR3 (9DAT)

FS (9DAT)

まもなく食卓にも登場する 遺伝子組み換え作物 食糧問題解決の切り札となるか

1980年代初めにブームとなったバイオテクノロジー。
一般の目につく形での成果を上げることなくブームは去ったが、
最近ようやく農作物の品種改良の分野で成果を上げ、
市場に登場するようになってきた。
消費者が知らないうちに日本にも輸入されている
遺伝子組み換え作物の現状をレポートする。

アメリカ・カルージン社が実用化した遺伝子組み換えトマト「フレーバー・セーバー」。
従来のトマトは未熟の段階で収穫し集荷されるが、この品種ではほぼ完熟してから収穫しても、約2週間日持ちするという(写真上)。収穫後9日目における従来種のトマト(左)とフレーバー・セーバー(右)の比較。従来種では果皮にしわが出始めている(写真下)。

日本の食卓には1999年登場予定の 遺伝子組み換えトマト

1994年5月、スーパーマーケットの店頭には、世界で初めて遺伝子組み換え作物が売り出された。米国カルジーン (Calgene) 社が1985年から開発していたフレーバー・セーバー (FLAVR SAVR) という名前のトマトがそれだ。このトマトは、果実を柔らかくする酵素の働きを抑える遺伝子を組み込むことで、完熟してから収穫しても日持ちがよく、長距離輸送によっても痛みが少ないという特徴を持っている。

農産物の品種は、人間が長い年月をかけて作り出してきたものがほとんどだ。育種とか品種改良と呼ばれるこうした行為は、交配によって人為的に作り出されたり、突然変異体を固定することで実現されてきた。

1865年に発表されたメンデル (G.J.Mendel) の法則の再発見を機に、遺伝学は大きく発展した。しかしながら、遺伝子の存在が確認され、DNAの分子構造が明らかになっても、品種改良の方法は、昔ながらの方法に頼っていた。バクテリオファージやプラスミドを利用した遺伝子工学の発展は、こうした育種の方法に革命的な変革をもたらすものとの期待が大きかった。

1980年代初めには、それまで何万頭ものウシやブタから抽出していた成長ホルモンやインシュリンといった医薬品を、大腸菌に遺伝子を組み込むことで大量に生産する技術が実用化される。この時期、さまざまな企業がバイオテクノロジー分野に進出したが、バイオテクノロジーは基礎研究に膨大な時間と資金を必要とし、なかなか最終商品に結びつかなかった。企業のバイオテクブームは影を潜め、食品や発酵、医薬品といった商品開発に取り組みやすい企業のみが現在も研究を続けている。

キリンビールは、赤血球を特異的に増加させる薬理作用を持つエスポーなどの医薬品事業、キクやカーネーションといった花卉などを生産するアグリバイオ事業などで、組み換えDNA技術を開発・利用してきた。同社は、カルジーン社との間で、フレーバー・セーバーの技術と、自社が開発したカロチノイド合成遺伝子の商業利用を認めるクロスライセンス契約を結び、フレーバー・セーバー・トマトを利用した日本市場向けのトマト新品種の開発・販売を目指している。

遺伝子組み換えを行うには、何段階かの手続きをふむ必要がある。遺伝子組み換え実験に関しては科学技術庁「組換えDNA実験指針」、環境に対する安全性評価に関しては農林水産省「農林水産分野等における組換え体の利用のための指針」、さらに食品として販売するためには、厚生省「組換えDNA技術応用食品・食品添加物の安全性評価指針」に従って実験・販売を進める必要がある。もちろん各段階ごとに申請が必要だ。フレーバー・セーバーは現在、一般圃場での栽培まで進んでおり、厚生省への食品安全性評価を申請してい

る段階だ。

しかし、日本でフレーバー・セーバーを販売するには、いくつか解決すべき問題がある。アメリカではトマトを調理して利用することが多い。そのためあっさりとした味のものが多く、甘味も抑えられている。これに対して日本では生食されることが多いため、強いにおいを抑え、甘味の強い品種が好まれる。また色もフレーバー・セーバーが濃い赤色なのに対し、日本ではピンク系が好まれるという違いがある。

このためキリンビールでは、関連会社であるトキタ種苗が持つトマトの品種のいくつかにフレーバー・セーバーの形質を持たせることで、日本市場に受け入れられやすい品種の開発に取り組んでいる。

また市民グループなど消費者の反応も、重要なファクターとなる。遺伝子組み換え作物については、OECD (経済協力開発機構) が定めた安全基準に従って評価されている。その考え方の基本は「実質的同等性」というものだ。

遺伝子の働きは、それに対応したタンパク質が合成されることで発現する。新たに遺伝子が組み込まれることによって、それ以外の遺伝形質に有意な差が発生しないこと、新たな遺伝子によって産生されるタンパク質が、既知の毒素タンパク質と構造上の相同性を持たないことやアレルギーを誘発しないことが確認されれば、その作物は安全であると評価される。

少しわかりにくいのが、たとえば現在食卓に上っている従来のトマトであっても、含まれる成分がすべて解明されているわけではない。まだ人間の知らない成分が数多く含まれていると考えたほうが、より正確だろう。組み換えDNA技術によって生み出された作物が、従来の品種と比較して特別な変化が認められない以上、その作物は実質的に従来品種と同等であるとみなすというのが実質的同等性である。

この考え方は世界中で受け入れられているものだが、未知のものに対する情緒的な不安感を抱くのは仕方のないことだろう。遺伝子組み換え作物に対する消費者のPA (Public Acceptance: 社会的受容) を助けるために、正確な情報の提供が望まれる。また現在、農林水産省食品表示問題懇談会の遺伝子組み換え食品部会において、遺伝子組み換え作物の表示に関する問題が議論されており、1997年度中には結論が出される予定になっている。

増収と低農薬を実現する新しい栽培方法も可能に

キリンビールがフレーバー・セーバー・トマトを日本市場に出荷する目標時期は1999年の予定だ。しかし、すでに日本に入っている遺伝子組み換え作物が存在する。アメリカの農薬メーカーMonsanto社が開発した除草剤耐性ダイズだ。

日本は大量の農産物を輸入しているが、その大部分は家畜の飼料と食品加工用原料だ。油脂抽出用ダイズの輸出国であ



除草剤耐性ダイズの比較実験

グリホサートを有効成分とする除草剤（商品名ラウンドアップ）は、雑草が生長した段階で葉や茎に散布することで、植物が生長するために必要なEPSP合成酵素の発生を阻害し、植物全体を枯らす特性を持っている。また有効成分はアミノ酸とリン酸の化合物であるため、容易に分解され安全性も高い。しかし、ダイズなどの作物も枯らしてしまう（非選択性）ため、使用時期が限られるという難点があった。

Monsanto社では、グリホサートに耐性を持つEPSP合成酵素遺伝子を作物に組み込むことで、作物が生長した段階でもグリホサートが使用できないかと考えた。細菌でそのような遺伝子をもつものがないかスクリーニングを行ったところ、アグロバクテリウムのなかにグリホサート耐性EPSP合成酵素遺伝子を持つものが見つかった。この遺伝子を組み換えDNA技術を使ってダイズに組み込んだのが、ラウンドアップ・レディー（ラウンドアップに準備ができた）・ダイズだ。このダイズと従来種のダイズを圃場で比較栽培した結果が、上の写真である。

写真左は、除草を行わない圃場に従来種のダイズを播種した状態。ダイズは雑草に覆われてしまい、収量が大きく落ち込んでしまう。

写真中は、従来種のダイズが生育しているところへ除草剤を散布した場合。雑草とともにダイズも枯れてしまった。

写真右は、除草剤耐性を持たせたラウンドアップ・レディー・ダイズを栽培しているところへ除草剤を散布した状態。雑草は赤く枯れてしまっているが、ダイズは影響を受けずに生長している。（いずれも1995年7月、農林水産省農業環境技術研究所隔離圃場で撮影）

ラウンドアップ・レディー・ダイズは、1996年アメリカで市販され栽培が開始されている。ダイズ全体に占めるシェア（栽培面積）は約2%と少なかったが、約5%の増収が見られたため農家の栽培意欲は高く、今後1997年にはシェアがおおよそ15%程度に達すると見込まれている。

農家が実際に播種する種子は、Monsanto社と契約した種子メーカーが、自社の商品であるダイズ種子に遺伝子を組み込み供給している。種子代は従来種とほとんど変わらない。ただラウンドアップ・レディー・ダイズを栽培したい農家は、Monsanto社との間で、収穫されたダイズはすべて出荷する、除草剤としてラウンドアップを使用する、栽培面積1エーカー（約4000m²）当たり5ドルのロイヤリティを支払うといった契約書を交わす必要がある。

るアメリカで1996年、除草剤抵抗性遺伝子を組み込まれたダイズが市販され、一般農家の農場で栽培されている。アメリカでは気候や風土などを考慮して複数のダイズ品種が栽培されている。味噌・醤油などの原料となる特定ダイズと呼ばれるものを除き、流通段階ではすべてが同一に扱われる。昨年農家が試験的に導入した遺伝子組み換えダイズも、ほかのダイズと一緒に集荷され、販売されている。日本に輸出されたダイズのなかにも、当然含まれていると見るのが自然だろう。

日本で品種改良というと、米や果物によく見られるように食味を中心としたものと考えられがちだが、世界規模で見れば、増収に直接結びつくもののほうが多い。1994年から1996年ま

で14品種の遺伝子組み換え作物が商品化されているが、そのうち10種が除草剤抵抗性や害虫抵抗性を持たせた品種で占められているのだ。こうした背景には、現在55億人といわれる世界の人口が、2050年には約2倍の100億人に達すると推計されているように、食糧危機を念頭においているからだろう。

一方、現在耕作されている農地は都市化などによって転用が進み、より条件の悪い地域で耕作せざるをえなくなる。またアメリカ、欧州などでは、エロージョンと呼ばれる耕作地の土壌流亡が深刻になっている。エロージョンは、耕作ができなくなるだけでなく、蓄積されていた肥料などの化学物質や農薬などが河川に流出し、環境汚染を招くといった問題も発生して



害虫抵抗性作物

農作物に被害を与えるものはいろいろあるが、害虫被害も一つの大きな要素だ。従来は、殺虫剤を散布する以外に作物を守る方法がなかった。

バチルス・チューリンゲンシスという微生物が作るあるタンパク質は、特定の害虫にのみ殺虫効果を示すことが知られている。自然条件下では簡単にアミノ酸に分解されるこの物質は、以前からB.t農薬として利用されてきた。このタンパク質を合成する遺伝子(B.tタンパク質遺伝子)を作物の遺伝子に組み込んで、食害から守ろうというのが、組み換えDNA技術を利用した害虫抵抗性作物である。

アメリカでジャガイモに大きな被害をもたらす害虫として、コロラドハムシがある。ジャガイモの葉を食害するこの虫を防除しないと、およそ85%も収穫量が減少してしまうといわれている。

ジャガイモの遺伝子にB.tタンパク質遺伝子を組み込むと、ジャガイモ自体がB.tタンパク質を合成するため、食害したコロラドハムシは食欲が落ち、やがて死んでいく。このため農薬の散布回数を大幅に減らすことが可能になった。

害虫を駆除する際、種類に合わせて複数の薬剤を数回に分けて散

布する。ジャガイモの場合、コロラドハムシを駆除した後に、アブラムシを駆除する必要がある。これはアブラムシ自体による被害が大きいというより、コロラドハムシを駆除するため散布した殺虫剤によって、アブラムシを食べる益虫が死んでしまうことが原因だ。ニューリーフ・ジャガイモと名づけられた害虫抵抗性ジャガイモでは、B.t農薬の散布量を大幅に減らせるため益虫が増加し、それがさらに害虫を捕食するため、さらに農薬の散布量を減らすことが可能になるという好循環を生み出す。

また、トウモロコシの茎に侵入し食害するアワノメイガという害虫による被害は、年間1600万haにも達していると推計されている。この害虫がいったん作物内部に侵入してしまうと、殺虫剤による駆除が不可能なため、手の打ちようがない。作物自体にB.tタンパク質合成能力を付与することで、効果的な防除が可能になる。

写真左：コロラドハムシがジャガイモの葉を食害している様子。

写真右上：ジャガイモを食害するコロラドハムシの成虫。

写真右下：周囲のジャガイモがコロラドハムシに食害され茎だけになっているなか、ニューリーフ・ジャガイモだけは被害を受けずに生育している。

いる。

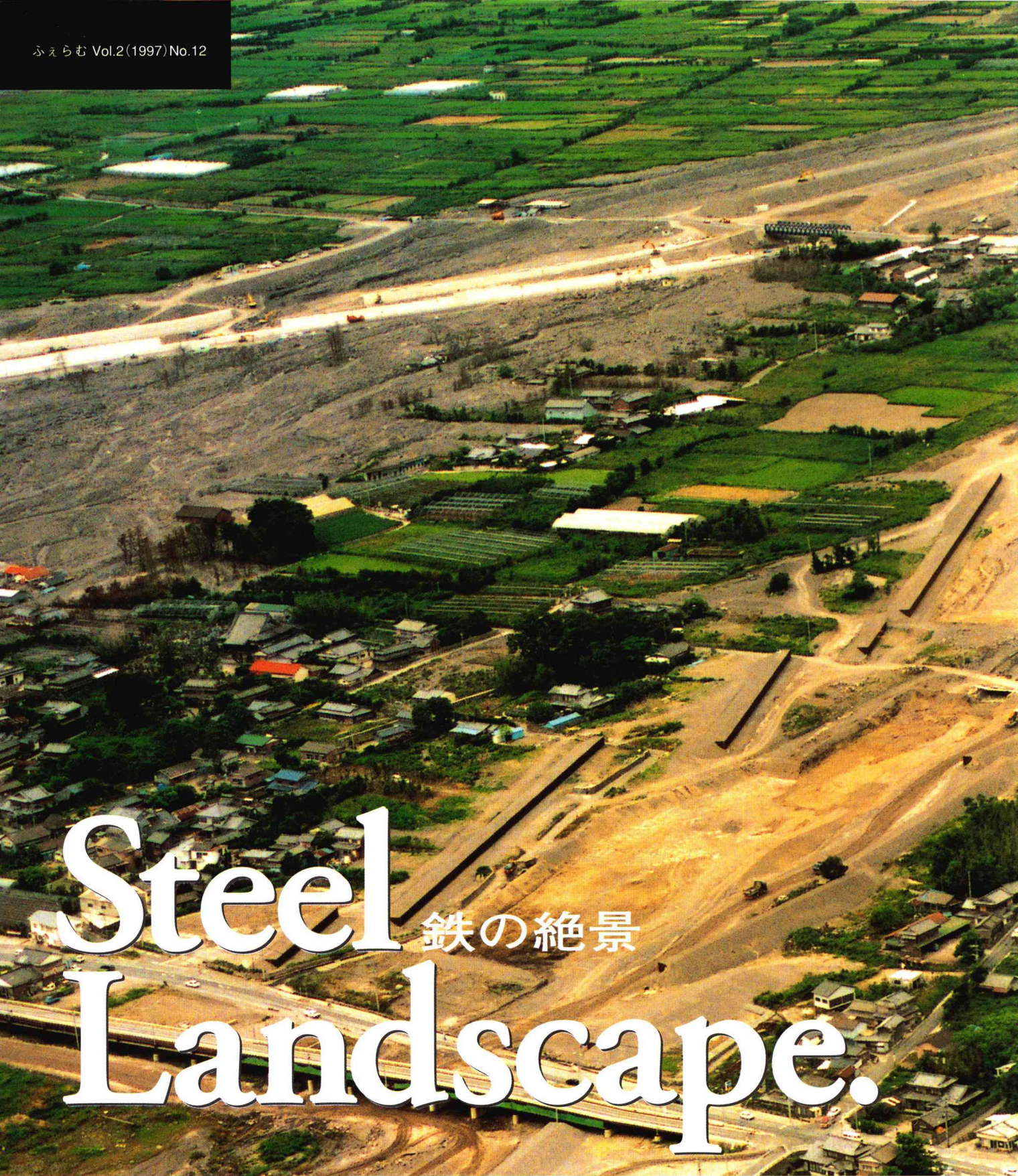
エロージョンを防ぐ方法の一つに、不耕起栽培がある。通常、畑や水田に新たに作物を栽培する際には、上にあった表土と下の土壌を反転させる(耕起)。これの最大の目的は雑草の防除にある。同時に雑草を鋤込むことで有機質肥料として利用するという目的もある。

不耕起栽培は、耕起を行わずそのまま作物を栽培する方法だ。耕起の手間がかからずコストダウンにつながると同時に、エロージョンも防げるという利点を持つが、効果的な雑草の防除方法がなく、先進国ではあまり普及していない。作物自体に除草剤抵抗性を持たせることで、効果的な雑草防除と薬

剤使用量の減少、環境インパクトの低減といった効果が期待される不耕起栽培法を実用化するためにも、組み換えDNA技術を利用した品種改良に大きな期待が集まっている。

組み換えDNA技術は農業面での利用にとどまらず、米のアレルギー物質であるアルブミン系タンパク質の合成を阻害する遺伝子を組み込むことで、米アレルギーを起こさない稲の開発や、より高カロリーで多くの栄養素を含む食料の開発、バイオ燃料の開発など、より広範囲への応用が見込まれている。今後ますます遺伝子組み換え作物が身近な存在になることは間違いないだろう。

[取材協力・写真提供：日本モンサント株式会社・キリンビール株式会社]



Steel 鉄の絶景 Landscape.

生命を守る鉄 ～島原～

雲仙普賢岳の噴火で多くの人命、家屋、田畑に被害が出たことは、各メディアが報じたとおりである。延命・除障を司るはずの普賢菩薩の名を頂く火山。そこから吐き出された大地の怒気を受け止め、人々の生命と生活とを守ったのは、鉄鋼に代表される産業技術の賜物と土木の知恵、さらにはエレクトロニクス技術だった。今回は火山災害の生命線をガードした鋼矢板による仮設導流堤にスポットを当ててみよう。





鋼矢板の打ち込み作業。(左)
仮設導流堤の外側に設けられたコンクリート・ブロック製の導流堤。(右)
内側の仮設導流堤は現在は役割を終え撤去されている。



土石流などの土砂への防波堤として築かれた仮設導流堤の全景(左)と近景(上)。

大きな被害をもたらした火砕流と土石流

寛永年間、弾圧された島原のキリシタンたちは、みせしめのため「地獄」と呼ばれる蒸気の源に吊された。悪魔の怒気のごとき高温の噴流は、信仰を貫こうとする人々の肉と骨をどろどろに溶かしたという。いまも残る30あまりの「地獄」が秋になると真っ赤な紅葉に彩られるのは、この地に染みついたキリシタンの血のためであるといい伝えられている。

温泉地としても知られるこの雲仙地獄からほぼ北の方向を見上げた位置に、雲仙連峰はある。峰の稜線が尽きるあたりから広がる島原湾は、有明海とつながって内海をなし、その水平線のむこうにはかすかに阿蘇が姿をのぞかせている。

雲仙の最高峰普賢岳は、古くは明暦3年(1657年)から記録に残っているだけでも20回以上にわたる噴火の歴史をもっている。災害としての規模がとびぬけている例としては寛政年間に死者15,000人を出したといわれる「島原大変肥後迷惑」と呼ばれるものがある。今世紀に入ってから、大正11年に27名の死者を出したが、以後198年間大規模な噴火は起こっていなかった。

「平成3年雲仙岳噴火」は、そうした長い沈黙の後、ふいに訪れた大災害だった。1990年11月、3箇所の火口が次々と噴火を起こし、翌年5月には、溶岩ドームが出現、まもなく崩壊を起こし、火砕流となって流れ下った。その少し前には、水無川で土石流が発生し、泥と砂利の噴流が、コンクリート製の橋を吹き飛ばすなどの被害も発生していた。そしてついに同6月、水無川流域に発生した大規模火砕流では、死者40名、行方不明者3名もの犠牲者を出す結果となってしまった。この時期、火砕流の発生件数はひと月に492回を記録、多数の家屋や施設、田畑などが被害を



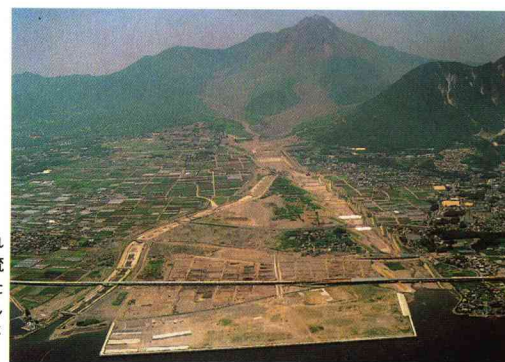
火砕流被災前の水無川流域



1991年の火砕流によって被災した水無川流域



猛然と襲う火砕流。右手前に写っている家と比べると、そのスケールが分かる。



雲仙から水無川の流れに沿って延びる導流堤。噴火がおさまった後は公共のスペースとしてグリーン・ベルト化される予定。

受けた。また相次ぐ土石流は国道や鉄道を分断し、家々を泥と岩に埋めた。高温のガスと岩塊、火山灰などが時速100kmで怒濤のように襲うのが火砕流、水と泥と岩石の圧倒的な流れが時速50km前後でおし寄せるのが土石流である。火砕流は噴火によって、土石流は火山活動により堆積した火山灰などの土砂が雨でゆるんで起きる。ともに胆を寒からしめるほどの破壊力を秘めている。

雲仙では噴火以前にも溶岩流や火砕泥流が起こっていたため、土砂災害対策として周辺に向かう河川には砂防ダム30基と流路工10箇所が建設されていた。大きな被害があった水無川にも砂防ダム5基と流路工が設けられていたが、規定量以上の土砂移動現象は、ダムでは緩和されず、人家に大きな被害を与える結果となった。

生命線を守った鋼矢板による仮設導流堤

こうした災害状況に対処するため、平成5年、建設省は雲仙復興工事事務所を設置、新たな砂防ダムの建設と、土砂を家や農地に広がらないように流すための導流堤の建設が進められることになった。まず平成5年に、一刻も早く周囲の安全を確保するために仮設の導流堤が着工された。この急を要する土木工事で活躍したのが、U型鋼矢板によるウォールダムの技術だった。7mの鋼矢板を地盤に打ち込み、その背面に土砂で盛り土をするもので、そうしてできた土手を下流に向けて逆ハの字型に並べ、ところどころに遊砂地を設けていった。さらに上流には

砂防ダムを築き、大量の土砂を一度せき止めて、少しずつ流すことが可能な構造と設備を築いた。上流で土砂が発生した場合、まず砂防ダムがその流れをせき止める。流れの規模が大きく、ダムを乗り越えた場合には、導流堤が周辺への流出を食い止める役割を果たすというわけだ。延々と連なる凸凹に組み合わされた鋼矢板が、自然の猛威に対する盾として、人々の生命線を守ったのである。

平成6年度には、仮設導流堤の外側に、コンクリートブロック製のより強固な導流堤の建設が始められ、仮設導流堤は順次撤去されつつあるが、鋼矢板の施工性と機動力が一刻を争う場面で、活躍した例として記憶してよいだろう。

こうした土木工事に加え、現在は監視カメラ、小型レーダー雨量計などのネットワークによって構成される土石流監視システムが導入され、土砂に強い高架式の国道57号島原深江道路の建設も着工されるなど、自然の猛威と共存可能な地域の整備と復興とが進んでいる。

雲仙一帯がわが国で初めて(昭和9年)指定された国立公園であり、自然美溢れる景勝地であることは、一連の報道の中ではあまり見えてはこなかった。噴火から7年。春はツツジ、夏はヤマボウシ、秋は紅葉、そして冬は霧氷と、四季折々の豊かな表情をもち、数々の文化遺産と温泉に恵まれたこの地に、旅情を求める人々の姿がもどってきているという。噴火によって出現した溶岩ドームは「平成新山」と命名され、今や新たな観光資源になった。

[取材協力・写真提供:建設省九州地方建設局雲仙復興工事事務所]

展望

今後の我が国の物質・材料系科学技術に関する 重点研究開発領域について

石井利和

Toshikazu Ishii

科学技術庁 研究開発局 総合研究課
材料開発推進室長

The Priority Domains and Subjects for Research and Development
on Materials Science and Technology toward the Next Century

1 はじめに

物質・材料系科学技術は、数々の科学技術の中で万物の基本性能に係わる基盤的な分野として我が国の科学技術全体の進展と経済社会の発展に大いに寄与してきた。また、この分野の特質は、凡そ全ての物質や状態を対象とすることから幅広く、さらに物質の根元的現象にも迫ることから非常に奥深い。従って、科学技術および経済社会にとって基盤的な存在である本分野に関して、我が国が世界のフロンランナーの一角を担うようになった現状に照らし併せ、また眼前に迫った21世紀の我が国の社会を見据えて、今後特にどの領域を研究開発の柱にすべきか、どのような方針でこの分野の研究開発を推進していくべきか等についての見通しを立てることが一層重要になってきている。

幸い今般、物質・材料系科学技術に関する我が国の研究開発基本計画たる「諮問第14号に対する答申」に関するフォローアップが科学技術会議にてなされ、前稿¹⁾でその要約を紹介したように研究開発の状況分析や今後さらに配慮すべき視点等が提言された。

また、このフォローアップ作業とほぼ同時期に、当庁研究開発局長が主催する「物質・材料系重点研究領域懇談会」を開催し、本分野でご活躍中の産学官の専門家に、今後強化すべき重点研究領域等に関して自由活発な議論をして頂いた。その場での議論を土台に、今後10年程度を見通した中長期的な視点から、物質・材料系科学技術において重点的に研究開発を推進すべき領域を当室にてとりまとめた結果についてここに紹介する。

2 新世紀を眼前にした我が国の物質・材料系科学技術の研究開発を巡る情勢

2.1 我が国が直面する国内外の情勢

我が国は、世界のフロンランナーの一員として国際的な位置づけを得るに至ったが、これは経済活動面からの評価としては十分に認められても、質の面とりわけ科学技術の面においては未だ努力すべき余地が大きいと言わざるを得ない。即ち、キャッチアップ型の研究開発の終焉が叫ばれて久しく、また技術開発における改善主義の行き詰まり感が指摘されながらも、オリジナリティと波及効果の両面で大きなインパクトを有する基礎技術に関する成果発信は未だ十分とは言い難い。これからはこのジェネリックなテクノロジーの発信に注力することが必要である。

一方、バブル経済の破綻後、我が国の経済主体である民間部門の活力が急速に減退し、かつこの悪経済環境が長期化している。この結果、民間の研究開発への投資はコスト削減に伴い急峻な縮小傾向にある。今までは経済後退からの復歸に有効であった既存技術改善もその効果の余地は残り少ないと考えられている。グローバルコンペティションの波も趨勢的に激化が見込まれるなか、これまでのコスト削減・効率改善主義から脱し、科学技術による発展的なブレイクスルーを行うことが強く求められている。

2.2 新世紀に向けての社会的情勢と物質・材料系科学技術の役割

数年後に差し迫った次世紀を眺めると、初頭において図1²⁾に示すように高度経済成長期に施設された基幹的なインフラ設備が半世紀を経て順次更新または大規模な改修を迎える時期にさしかかる。また、長寿命化・少子化社会を反映し急速に人口構成が上方へシフトすることから、ひと・ものを問わない高齢化社会の到来³⁾(図2)が予見される。

試算前提:
 (1) 公的資本形成伸び:
 ~2000年3.0%、2001年~1.5%、2011年~0.75%
 (2) 更新成長率: 6%

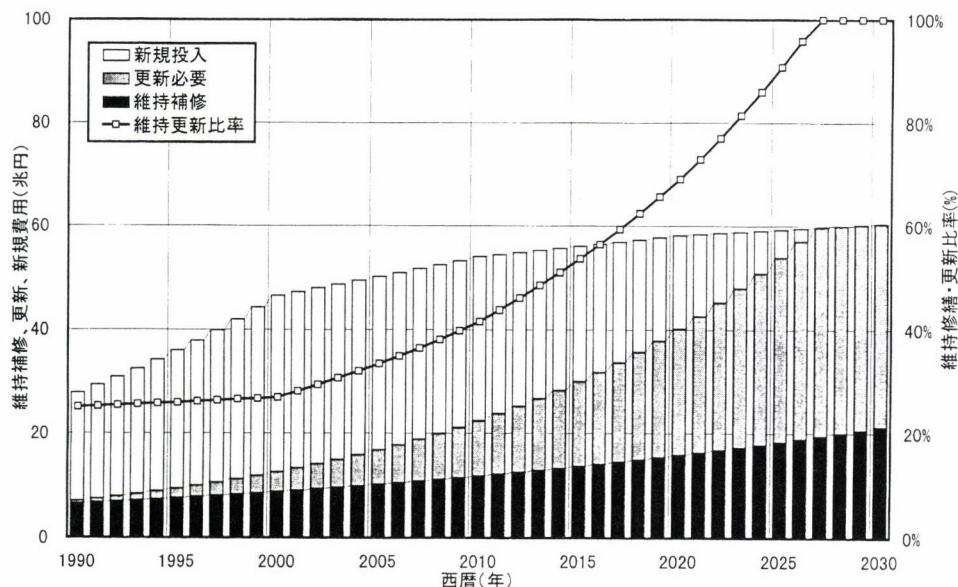


図1 21世紀初頭から増加する公共設備の維持更新費用

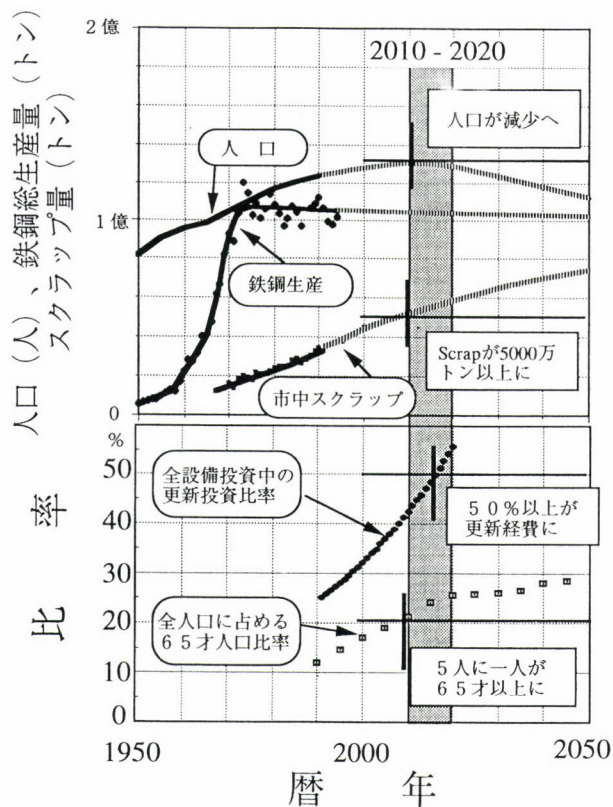


図2 我が国のひと・ものの老齢化事情

国力の総合的な低下が強く危惧されるような厳しい状況において、より快適で、より安全で、より豊かでかつ新鮮さを失わない高度な福祉社会を求める社会的要請に応えるためには、持続可能で健全な発展を保証する社会基盤の実

現が大きな社会的命題となる。

もとより資源・エネルギーに乏しい我が国は、科学技術によってこそこの社会的命題の解決を図っていかなければならず、科学技術創造立国の具現化は焦眉の急である。構造物やあらゆるシステムの基本性能を規定する物質・材料系技術は、経済・社会発展への寄与のみならず、他の科学技術を進展させる総合的な基盤科学技術であり、科学技術創造立国具現化への原動力として重要な任務を果たさなければならない。

2.3 ニーズに対する物質・材料科学技術の現状ならびに国への取組への期待

上述の要請に対し、我が国ではこれまでの研究開発を通じ、幸いにも重要な物質・材料系科学技術において多くの優れたシーズを蓄積してきた。例えば、①全く新しい機能・性能を有するシステム構築を可能にする新超伝導材料技術、②次世代の新たな社会基盤を文字通り支えることが期待される構造材料技術、③安心して快適に暮らせる社会に貢献する生体・環境親和性材料技術、④高度情報化社会の実現を担うナノ領域結晶制御による新型半導体等の各種先進機能性材料技術、などで高いポテンシャルを有するに至っている。

また、材料の評価・安全性・信頼性に関する研究ポテンシャルも世界トップレベルにあり、新材料の国際標準化研究においても中心的役割を果たしている。さらに近年では、先進的な研究開発に必要な極限環境発生技術や解析・評価

技術、計算科学技術など共通基盤的な研究開発の支援に関して世界トップレベルの研究施設整備等も充実しつつある。

このように世界に比肩しても優れた技術シーズや環境を活用し、科学技術全体の深化と経済社会の発展の両者を支え、科学技術創造立国実現の鍵を握る戦略的な重点研究開発分野として本分野を改めて認識し、次世紀にむけて鋭意推進することが極めて重要である。

従って、社会情勢を敏感に察知し、新しい社会・経済基盤の構築に資する研究開発課題を国策として設定し、強力なリーダーシップと柔軟な研究体制の整備によって時宜を失することなく鋭意推進していくことが強く望まれる。

当然ながら、更なる技術シーズの創生・深化についても同時に推進すべきである。とりわけ、リスクが高い未踏領域への挑戦や特定の目的に直結しない共通の各種データベースの構築、さらには新材料の国際標準化等に関する研究活動等国として主体的に行うべきである。これらは、引き続き世界のフロントランナーの一員として我が国が積極的に貢献していくことが強く望まれている領域である。

3 物質・材料系研究開発の特徴からみた将来展開の方向

3.1 材料開発なしにラディカルイノベーションはない

上記フレーズに表徴されるように、物質・材料系科学技術は、まさしく世界のフロントランナーたる国々が追求すべきオリジナリティーと画期的な波及効果をもたらすジェネリックなテクノロジー創出の鍵を握る分野である。同時に、社会と知識の両ストックの拡大に資する分野であり、閉塞状況を打破することのみならず、次世紀に向けた各種の新社会基盤の創生、新社会資質への転換に大きな役割を果たすと期待されることから、戦略的かつ重点的に研究開発を推進すべき分野である。

ところが研究者の立場からすれば、幾多の学術領域にもまたがり広大かつ深淵で、全体を見渡しにくい分野である。また、開発されたものは用途が見いだされなければ何の価値もなく、特に民間企業においては、コストパフォーマンスを含めた市場適合性の見通しを立てることが一般的には容易ではないことから、開発リスクが高いと評価されがちな分野でもある。このように、新たな材料が生まれる研究フロントからそれが製品として社会に広く普及する市場エンドに至るまでに長大なパスが存在し、その途上にある様々な不確定要因を克服しなければならない分野であることを十分に留意する必要がある。

3.2 今後の物質・材料系科学技術の目指すべき方向ならびにその推進体制

従って、今後の物質・材料系科学技術の推進に際しては、その学術的な進捗〔発見〕と社会への合目的的な成果の発信〔普及〕を相乗的に図る視点が極めて重要となる。言い換えれば、各研究主体の有する個性・能力・専門性等を十分に発揮して物質・材料系科学技術を深化させながら、広大かつ深淵な本学問分野への社会性や総合性の付与を同時に追求していかなければならない。もとよりこれは容易なことではない。欧米の公的な研究機関や大学においては、各々の社会的な位置付けを認識し、それらに応じてセクターを越えた共同研究や技術移転を積極的に支援する体制を再構築（図3）したり、研究員の任期付き採用を徹底する等、我が国に比べて先進的かつ具体的な取り組みによってこの困難な命題の解決に当たろうとしている例が見られる。

いずれにしても重要なポイントは、個々の研究者及び研

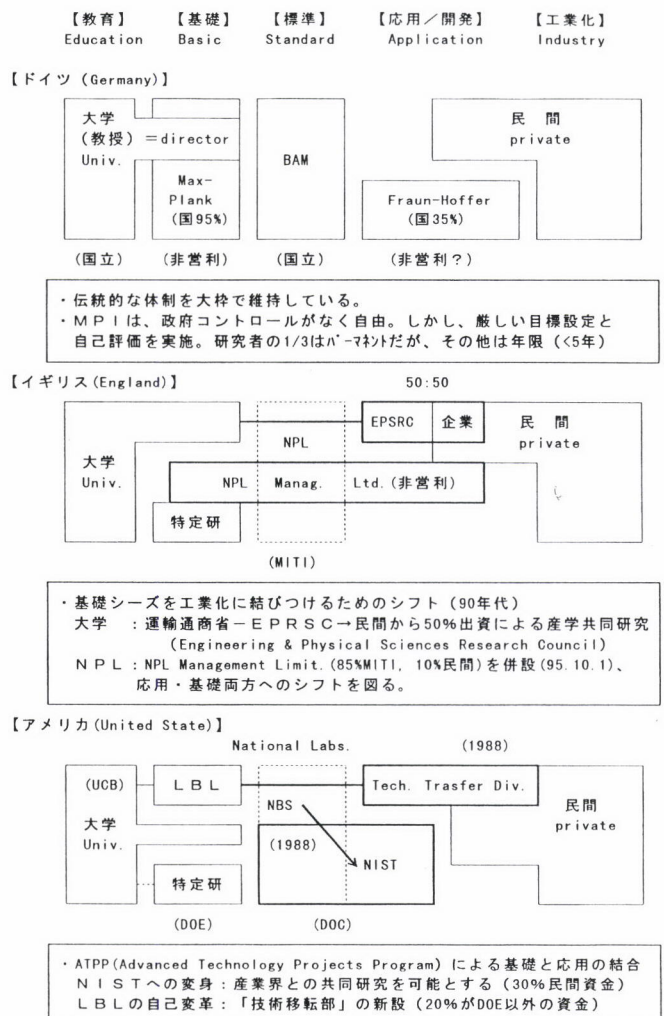


図3 欧米諸国における物質・材料系研究体制
(科学技術庁 材料開発推進室調査)

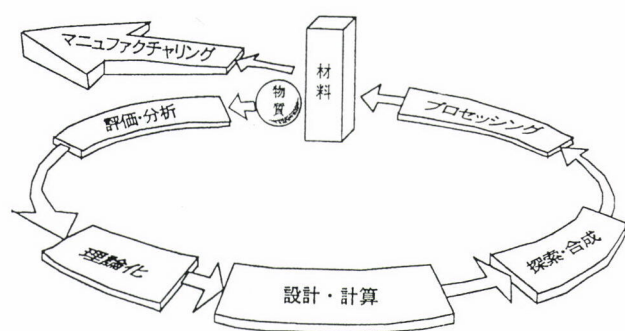


図4 スパイラル・ダイナミズムの概念図

究機関等の各研究主体が、その研究目的や研究の意義等について自ら問い続け、組織内部はもとより他の研究機関や広く社会へ向け情報や人材等の交流を積極的に展開していくことにある。そのためには各研究者は所属する機関やセクターに拘わらず、材料開発の円環状ステージである「分析・評価→理論化→設計・計算→合成・探索→プロセッシング→マニファクチャリング→…」という専門要素を結ぶスパイラルなサーキットの一員であるとの共通認識にたち、また各研究機関はこのサーキットに沿った情報交換やタスクの受け渡しを通じ研究の深化と成果の発信の両者を追求する総合的な研究開発方式（スパイラル・ダイナミズム、図4）の推進が可能な体制の構築、整備が重要である。

3.3 国として取り組むべき施策の方向

とりわけ国としては、個別の研究機関内部における研究課題に則したスパイラル・ダイナミズムの追求よりもむしろ、各機関やセクターを越えたより大きく本来的なスパイラル・ダイナミズムに基づく総合的な研究開発の推進に向け、人材交流、研究支援、共同研究などを機動的に可能とする制度面、資金面、情報インフラなど研究環境面での整備を科学技術基本計画に則して着実に進めていくことが必要である。

さらに、次世紀において持続可能で健全な発展を保障する社会の実現にむけて尽力することが急務であることを考えれば、特に国家的な大型の研究開発課題について、より強力かつ効率的な研究開発方式をとることが必要である。

例えば、「中核的研究拠点」（センター・オブ・エクセレンス、以下COEと略す）を目指し世界一流の研究施設を整備・公開する国立研究機関等について、任期付き任用制度等の活用により優れた頭脳〔知恵〕と技術〔匠〕を結集する新たなスタイルの集中研究開発体制を敷き、目標に向かって独創性の高いブレークスルー研究を強力に推進していくこと等が科学技術創造立国の実現に向けての大きなステップになるものと確信する。

4 第14号答申フォローアップに則した今後の物質・材料系科学技術の重点研究領域

我が国の物質・材料系研究開発は昭和62年の第14号答申以降約10年の間、本基本計画に沿って着実に進展してきた。科学技術会議では、この答申に関するフォローアップを実施し、本分野を取り巻く環境の変化や問題点等を踏まえて、今後次のような視点での配慮が必要であると提言している^り。

○社会的・経済的ニーズに則した付加価値の高い材料研究開発の推進

○世界をリードする独創的な基礎研究の積極的・継続的取り組み

○実用化を意識した研究推進体制の構築ならびに研究環境整備

○情報流通・知的基盤の整備や国際的な標準化等の国レベルでの体制整備

○効率的な研究推進のための評価システムの構築とその活用

前章までに述べた物質・材料系の研究開発を巡る情勢及び将来展開の方向を踏まえつつ、上記の提言に沿って今後我が国が戦略的に研究開発を行うべき重点領域を以下に述べる。これらの研究開発課題は、いずれも我が国の社会情勢を的確にとらえ、かつ次世紀に相応しい新たな社会的・経済的基盤の構築に資するものであり、国の強力なリーダーシップと柔軟な研究体制の整備ならびに継続・集中的な研究資源の投入等によって、タイミングを失することなく国家的なプロジェクトとして実行すべきものである。

また、先端技術シーズの深化等、ジェネリックテクノロジーの発信の観点から中長期的に重要で今後とも重点的に研究開発を推進すべき領域についても併せて述べる。

4.1 社会的・経済的ニーズに則し、今後戦略的に研究開発を行うべき重点領域

4.1.1 新世紀構造材料研究の推進

我が国の各種産業の競争力を維持し、社会のアメニティを向上させるためには、構造物や輸送、エネルギーなど現代社会を支える基盤の質の維持と発展が肝要である。その基盤要素である構造材料について、次世紀を目指しいっそうの高性能化とより効率的な生産技術の開発が求められている。この際、限られた資源・エネルギー源を最大限有効に使用し、リサイクル性の向上など環境負担を減らす対策も不可欠となる。そのような視点にたち、構造材料の使用強度向上、安全性の向上、長期使用時の信頼性の向上、使用条件の拡大等を図るとともに、高効率でリーンの製造基盤プロセス技術の開発も必要である。

(1) 高安全性 (Fail-Safe) 構造材料の開発

構造材料には基本的に強度と靱性という相反する機能の向上が求められる。強度は構造体にかかる力の尺度、靱性は構造体に許される欠陥の大きさの尺度であり、共に破壊するか否か、壊れた場合に被害を最小に抑えられるか等の安全性の尺度を直接に与えるものでもない。よって、材料の壊れやすさと破壊による損害を評価できる安全性についての新しい材料基準の検討とその基準に沿った画期的に安全な構造材料の開発が必要である。

(2) 超長寿命 (Long-Life) 構造材料の開発

構造材料は、気温、繰返し応力・変形、磨耗、腐食・酸化等の様々な環境下に長期間晒され、経年変化を生じる。この過程で当初の性能を維持できずに最終的な破壊に至る。この経年変化現象を解明し、材料そのものの寿命の延長を図ることが理想ではあるが、補修や取り替えなどの追加策が容易なシステムあるいは材料の開発も必要である。また、比較的早期に生じるマイクロボイドのような微小損傷が徐々に成長して最終的な破壊に至ることから、早期損傷を非破壊的に検出する技術が必要である。さらに、微視的損傷の生成機構の解明、成長から破壊に至るシミュレーション技術の開発等による余寿命予測技術の確立も急がれる。

(3) 広耐環境性 (Wide-Applicability) 構造材料の開発

新エネルギー開発、宇宙・海洋・大深度地下（地核）といった経済フロンティアの拡大に対応するため、超高温や極低温といった過酷環境、放射線や宇宙線等の特異環境に耐え、さらにその適用限界を拡大していく耐熱材料、高比強度材料の開発が必要である。

以上に鑑み、その一環として本年4月から金属材料技術研究所において「新世紀構造材料研究」プロジェクトを開始した。詳細な内容について引き続き次稿で報告予定である。

4.1.2 生体および環境に調和した材料の研究とその評価 技術構築の推進

医学の進歩は人類の健康増進と寿命延長に大きな効果をもたらしてきたが、高齢化や他の要因に伴う身体機能の低下、欠落を補う点では未だ遅れている。また、経済社会の発展と資源循環型社会や高度福祉型社会の構築を両立させるには、人間および地球環境に対しよりよく調和する材料の開発が必要である。

(1) 生体材料 (生体適合材料、生体融和材料)

人工臓器⁴⁾、DDS(ドラッグ・デリバリー・システム)、医療用マイクロマシンなどの材料には、安全性、生体親和性ならびに耐久性が必須である。今後も、生体力学、生体機能学、細胞生物学、免疫学等に立脚した生体材料の系統的・

定量的な基礎データの蓄積と、各種材料に関する知識・創製技術を含む総合的な視点からの研究開発が必要である。

(2) 環境負荷評価システム

持続可能な社会・経済の発展のためには、物質・材料系科学技術による効用と環境負荷を的確に把握し、負荷低減への指標を明確にする必要がある。そのためにも材料や製品のライフ全体を通じ環境負荷を評価できる環境ライフサイクル評価法の確立が必要である。

(3) エコマテリアル材料

材料の特性を保持しながら環境負荷を低減する環境調和型材料と、環境を直接浄化する機能性材料がある。

○環境調和型材料：材料の設計段階から上述の評価法を用いて環境調和性を組み込み、最低限（量）の物質で最大限の機能を引き出す材料設計手法の確立が期待される。

また、プロセス開発ではスクラップ材料の有効なリサイクルプロセス開発が必要である。

○環境浄化型材料：地球温暖化に影響を与えるCO₂やフロン_xの固定・分解、酸性雨や大気汚染の原因となるSO_x、NO_xの分解等、浄化機能を持つ材料開発が不可欠である。そのため、木材や生体系セラミクス等の天然素材の活用や、自然の分解要素を組み込んだ材料触媒機能、炭素固定機能等を有する材料開発とその機能の高度化が必要である。

4.2 新産業創出の基盤たる独創的基礎研究として研究開発を継続すべき重点領域

4.2.1 新超伝導材料およびその応用研究の推進

超伝導、中でも高温超伝導材料は、エネルギー発生とその効率的な利用に関して次世代の社会システムを根幹から変化させる可能性を秘めており、世界各国で強力に研究開発が進められている。我が国でも様々なプロジェクトが進められているが、中でも当庁が推進する「超伝導材料研究マルチコアプロジェクト」では、20T級超伝導磁石や40T級ハイブリッド磁石の開発等、世界最高レベルの研究成果が生み出されつつある。今後は超伝導研究の国際的な地位を揺るぎないものにするためにも、実用化に向けた応用展開を含めた総合的な研究推進が必要である。

(1) 新超伝導材料の高性能化に関する研究開発

より高温で超伝導現象を発現する新物質の探索を進めるとともに、単結晶化、薄膜化、線材化等の材料化の基礎技術や、磁束ピン止め力向上のための組織調整、微細構造、界面制御等の改質技術の研究開発を通じての既開発材料の一層の高性能化が必要である。また、超伝導コイルによる25T級磁界を発生する技術の早期達成が求められる。

(2) 超伝導の実用化に向けた応用展開の推進

研究成果を国民生活の向上に直接的に資するため、例えば高分解能 1 GHz NMR 装置、環境保全用磁気分離システム、医療用超精密磁界計測システム、人工衛星搭載用機器等といった応用展開が求められている。また、より低磁界で効果が得られれば、選択生成による化学反応制御、電磁気攪拌による均質化、遠心分離による高澄清化、相転移による組織制御等の高パフォーマンスな新プロセス開発も期待される。

4.2.2 各種先進機能特性を有する先端材料研究の総合的推進

近年の政府調査⁵⁾によれば、我が国の材料関連の研究開発レベルは他の先進諸国に比べ優勢さを減らすか、もしくはその差がより引き離されている(図5)。国際競争の一層の激化を考えると、材料やプロセスの理論・構造制御・解析評価といった要素技術の高度化と高度計算科学の積極的な活用により研究開発基盤ポテンシャルをさらに高め、様々な先進機能を示す新しい物質・材料の創製開発をより効率的に推進していくことが必要である。

(1) 期待される新たな機能性材料開発

○**インテリジェント材料**：知的機能の一部を材料自身に持たせ、外的条件の変化に自ら対応する機能を有する材料として、光等に対し自由度の高い非晶質物質や、生体活性効果を持った新アパタイト材料等がある。また、構造材料にセンサーやアクチュエーター等の機能を持たせ、材料自身が損傷発生等の異常を自己診断することで構造物や機械システムの一部を担うという研究開発も必要である。

○**エネルギー変換材料**：光や熱、電気、化学等の異種エネルギーの高効率な変換を行うもので、固体電池では新た

なイオン伝導体、燃料電池では低温作動する固体電解質の開発が必要である。また、光エネルギーを用いて水や炭酸ガスを高効率で分解できる半導体材料や有用物質を光合成する材料などの開発も求められている。

(2) 新材料・機能探索プログラム(プロジェクト)

シーズ発掘指向である物性研究は、従来個人中心的な研究の傾向が強かった。しかし、今後の激しい国際技術開発競争に伍してゆくため、物性研究としても持続的な研究資源の投資に裏打ちされた組織的・戦略的取り組みが要求される。そこで、研究者の独創的な発想を基盤に、長期・組織的な対応が可能な国立研究機関が中核となり、新材料機能を集中的に探索する以下のようなプログラムを設定して推進していく必要がある。

- スーパーダイヤモンド**：ダイヤモンド、窒化硼素に欠陥導入した新材料群
- フラーレン**：元素添加による特異ナノ構造の創製と系統的な物性検討
- 準結晶**：アモルファスと結晶の中間状態の創製と系統的な物性検討
- ナノスコピック構造制御に基づく新材料・機能探索**
- 超常・極限環境(後述)を利用する新材料・機能探索**

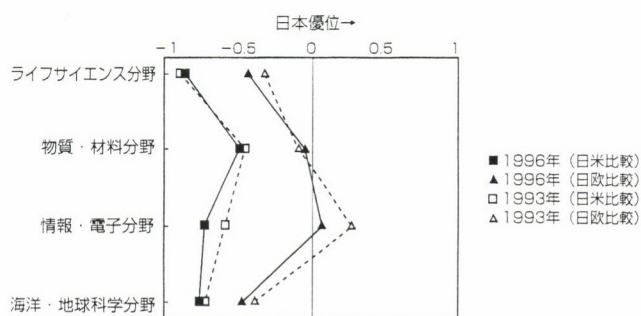
これまでに述べてきた生体融和材料、インテリジェント材料、スーパーダイヤモンド等は無機材質研究所が中心となり鋭意推進している研究プロジェクトであり、それぞれの詳細な内容についても今後引き続きご紹介したい。

4.3 極限場環境、先端的解析技術、高度計算科学など研究を支える環境の整備

(1) 超常・極限環境の積極的活用に向けたCOEの推進

国立研究所等では国際的に見て最高水準の実験設備が整備されつつあり、それら装置群を活用した水準の高い研究開発の推進により名実ともにCOEへの成長が望まれる。物質は極端なあるいは極限的な条件下で特異な物性や機能を発現させる可能性があり、以下のような超常・極限場環境を活用した新物質、新機能の探索研究の展開が必要である。

- 超強磁場**：高配向性液晶高分子、分極性高分子など
- 超高圧**：新しい構造相転移、分子の配向と分子間距離制御、多層構造など
- 極高真空**：原子配列をより高精度に制御した極薄膜、量子井戸線の創製など
- 極微量重力**：高純度結晶、欠陥の少ない単結晶、均一組成・粒径の微粒子創製など
- 超高温**：膜状高融点材料、多孔質構造物質、非平衡状態の活用など



注) 回答について、日本優位と回答した者を+1、同等を0、米国(欧州)優位と回答した者を-1として算出した得点を、評価を回答した人数で割って算出した。

図5 基礎研究水準の対欧米比較

(2) 先端的な解析・評価技術の開発ならびに高度化

極微細構造制御による量子効果を材料機能として具現化するためには、ナノスコピックなスケールの解析評価技術が不可欠である。最近、設備稼働を開始した第3世代光源の大型放射光施設SPring-8は、8GeVの電子蓄積リングによる極めて高輝度かつ広波長域の画期的な光源であり、物質の微細構造の本質的理解への意欲的な活用が期待される。

また、建設が計画されている第2世代パルス中性子源は強度が強く、非弾性散乱などの高度な測定が可能になる等、施設の実現とその高度利用が望まれる。その他、原子像直接観察(AFM、フォトンSTM等)やマイクロビーム化、超短時間分解計測技術、超微細領域熱計測技術などの開発ならびに高度化も必要である。

(3) より効率的な材料開発推進のための高度計算科学の展開

計算科学技術は理論、実験に次ぐ「第3の科学技術」とも位置付けられ、理論や実験では対応が難しい物理現象や化学反応等、様々な自然現象をシミュレートすることによってその予測や解明への活用が可能な手法として開発が進められている。各国立研究機関にもハード、ソフトの両面にわたる整備が進められており、物質・材料系分野では特に以下の領域の計算科学の積極的な導入・展開が必要である。

- 高次元の粒子系解析：第一原理、分子動力学、モンテカルロ計算など
- 熱・流体関連現象：熱力学、動力学、流体の動的シミュレーションなど
- 連続体の材料学：高度有限要素、マイクロメカニクス、ダメージメカニクスなど

4.4 情報流通・知的基盤、国際標準化など国レベルでの体制の整備とその共有化

高度化した材料研究においては、非常に専門的な知見に加え、幅広い領域をカバーする知見も重要である。そのため、材料情報を共有し相互利用するための共通基盤を整備する必要がある。材料情報を取得するための特性評価技術の標準化、材料情報ベース化、ネットワーク化等により、知的ストックとして情報の整備と研究開発の現場における材料情報の共有化が促進され、より新しい視点からの材料開発が可能となるものと確信する。

(1) 材料基盤データの整備・共有化

安全性の向上、信頼性の確立のための寿命評価法の開発、

多様なニーズに対応した材料設計や材料特性評価へのコンピュータシミュレーション開発など、効率的な研究開発のために材料の信頼性データや基盤特性データの整備、共有システムの構築が必要である。

(2) 標準化と基準物質・材料の提供

新物質の合成やその特性評価結果について普遍的なデータとして蓄積する上で、個々の手法の標準化が求められる。このための系統的な準備研究も重要であり、国立研究所が中心となってこれらを進めるに相応しい。具体的には国際標準化への対応として、先進国を中心に推進される新材料と標準に関するプロジェクト(VAMAS等)への積極的関与を継続する必要がある。

5 終わりに

眼前に迫る21世紀の我が国の社会を見据え、社会的・経済的ニーズに応え、あるいは新産業の創出に向けて、物質・材料系科学技術分野の特にどの領域を研究開発の柱にすべきなのか、あるいはどのような方針でこの分野の研究開発を推進していくことが好ましいのか等は、科学技術行政をあずかる者のみならず本分野で研究を進められる方々にとっても関心の高く、かつ重要な問題の一つである。

直近、第14号答申に対するフォローアップ結果が報告され、また時期を同じく本分野に関する学識経験者の方々に今後の重点研究領域に関して検討頂く機会を得て、これらに基づき今後10年程度を見通した重点的に研究開発を推進すべき領域をとりまとめることができた。この場をお借りして関係者の方々に厚くお礼を申し上げるとともに、各方面での今後の研究戦略の検討の際に本結果をご活用頂ければとお願い申しあげる次第である。

参考文献

- 1) 石井利和：ふえらむ，2(1997)11，805.
- 2) 科学技術庁 材料開発推進室：鉄鋼界，1997年2月号，36.
- 3) 八木晃一：鉄鋼界，1996年12月号，12.
- 4) ふえらむ，2(1997)3，152.
- 5) 科学技術庁「先端科学技術研究者に対する調査」(平成8年度)

(1997年8月29日受付)



複合経営から見た鉄鋼技術系人材の活性化

小指軍夫

NKK技術開発本部 特別主席

Isao Kozasu

Activation of Steel Human Resources in Multi-divisional Company

1 はじめに

本協会の社会鉄鋼工学会シンポジウムではじめ筆者に与えられた仮の題目は「わが社における人材育成と活性化問題」であった。本部会の技術系ヒューマンリソース研究会での各社の報告を聞く限り、多少の差はあるものの各社の育成・活性化対策は殆ど同じであり、これらは既に実施されており、それなりの成果を挙げている筈なので、改めてこれを取り上げる意義は少ないと考えた（ただし研究開発の分野に限ってであるが）。そこで、ここではすこし離れた視点から鉄鋼技術系人材の問題を、将来的、マクロ的に考察してみることにした。筆者の属する会社は鉄鋼の他に、エンジニアリング、助走中の電子デバイス事業を複合的に進めている。同一企業内でも事業部門により技術の特質がかなり異なっているので、鉄鋼技術とその特徴を、分野の比較によりあぶりだすことが出来るのではないかと考えた。以下はその試みを通して読みとれた鉄鋼技術の特徴と、その問題の解決についてヒューマン・リソースの観点から、いささか個人的な意見を述べてみる。

2 産業分野による技術のタイプと特徴

NKKの技術的事業分野は製鉄、総合エンジニアリング、電子デバイス(IC)である。これらの各事業分野の特徴は、事業のタイプ、成熟段階、製品・技術のライフサイクルなどで特徴づけられると思われる(図1)。さらに切り口を変えて一般化してみると、製造工程が設計→組立の流れになる「組立型」と、上流から下流への「もの」の流れになる「装置・素材型」のような分類もできる(図2)。ここでは省略するが、このような特徴を技術段階(成長期、成熟期)、製品・技術のライフサイクル(長、短)などで定性的に分類することもでき、時間の経過によるタイプ間の移行、収

斂が見られるようである。NKKの事業分野をこのような観点から図式化すると、図3のようになる。大雑把に、ICは「同時進行型」、総合エンジニアリングは「機能分離型」、鉄鋼は「工程・機能分離型」と考えられる。しかしエンジニアリングでもプラント建設と造船などではタイプが異なり、造船はむしろ鉄鋼に近いと考えられる。このようなタイプの違いにより、技術系(W)と現場操業系(B)の従業員の比率が異なり、当然ながら鉄鋼では技術全体として見て現場操業部門の重要性が高くなる(図4、ただし会社本体のデータ)。

3 鉄鋼技術の特徴と問題点

鉄鋼技術はかなりの程度成熟のレベルに達しており、組織、制度、運用なども既に合理的に設定されている。しかし従来技術の延長線上での高度化とスケールの拡大で「一方向的に」成熟化してきたことによる問題点も少なくないと考えられる。以下に上の分類からみた鉄鋼技術の特徴と問題点を述べてみる。

①高度の専門化

工程、役割の専門化が進みそれぞれが細かく分断されている。その結果それぞれの人が全体観を持ち難く、各セクション間の関係が希薄になっている。

②設備・操業技術の大きい役割

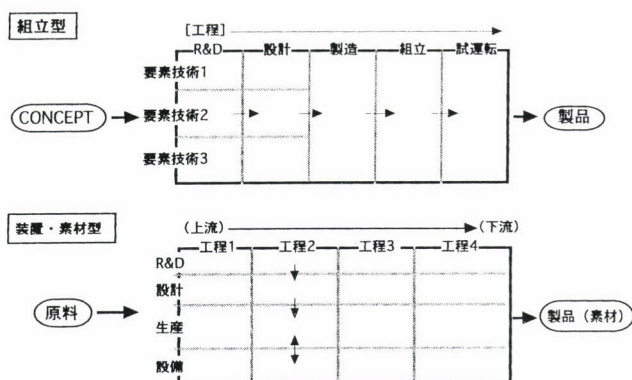
他の装置産業に例を見ない大量のマス・ハンドリング技術、高速・高精度な制御技術など完成度の高い設備・操業技術、固有技術があり、これに多数の人が関わっている。これを維持・向上させる人的要素は重要であり、このマネジメントがポイントである。分社化、アウトソーシングの比率が大きく、関連産業分野への依存度も大きい。

③技術ストック(蓄積)の重要性

成熟分野であるが故に、伝承技術の役割が大きい。技術

分野の特徴	鉄鋼	エンジニアリング	電子デバイス
タイプ	装置・素材型	組立型	情報・部品型
技術の段階	成熟	成熟/成長	成長
ライフ・サイクル	長	中	短
技術的flowとstock	stock型	stock/flow型	flow型

図1 事業部門の技術の特徴

図2 産業分野のタイプによる技術情報の流れ
(小さな矢印→は情報の流れを示す)

は基本的には個人に伝承されるため、優秀な人材イコール技術レベルと言える面がある。ハード面、ソフト面ともストックの減耗、陳腐化対策が必要になる。

④革新的技術開発の停滞

技術的成熟期に入りつつあり、従来技術の延長線上での高度化はいわゆるincrementalな効果しかなく、これと離れた新しい視点がないと革新的な効果が期待できない。また既にプロセスが巨大であり、新規開発は巨大な費用と長期間を要する。

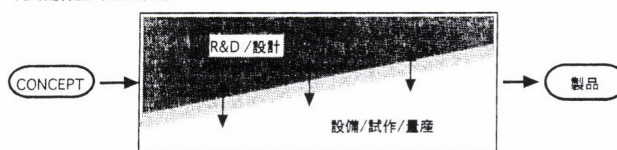
4 鉄鋼系人材活性化への対応

上に見た問題点については、現在それなりの対応策がとられている。しかし将来的問題として捉えると、これらの問題に対処するにはヒューマンリソースの観点からさらなる活性化の対策が必要になると考えられる。以下に3点に絞って問題を提起してみる。

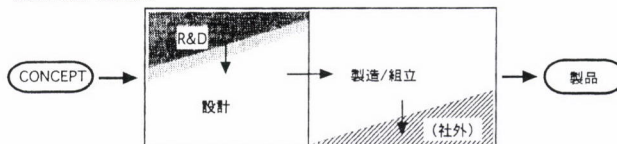
①動機づけ：全体観の回復

鉄鋼分野の専門化した現状では、ややもすると活動が局所的最適化 (local optimization) に終始する恐れがある。

同時進行型（非分離型）



機能分離型（組立型）



工程・機能分離型（装置・素材型）

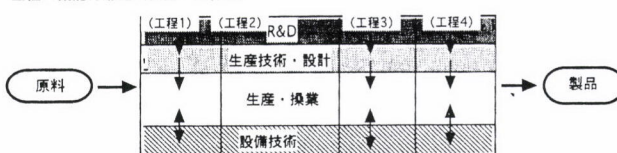


図3 開発・製造の流れの模式図

事業部	B/W
鉄鋼	5.2
総合エンジニアリング	1.4
電子デバイス	0.5
合計	2.9

図4 各事業部のB/W比率（本体）

B：現場操業系従業員

W：技術系従業員

元来品質や効率は全プロセスを一貫した問題であり、技術者も全体の中の自分の位置と役割を自覚してこそ全体的最適化 (total optimization) に真の意味で参加、貢献することが可能である。結局個々の技術者の動機づけ (motivation) をしっかりさせることが重要である。研究開発においても、革新性の高い技術は例えばプロセスと材料を総合的に結びつけたところから創製されているし、電気炉のコンパクト・ミルもプロセスを一貫して考えるところから出ている。これからはlocalからtotalへの志向が重要になると思われる。このような動機づけを強化する具体的方策はそれぞれに工夫されなければならない。例えば、ひとつの方策は既に行われているスリム化であり、一人一人の活動範囲を拡大することにより、視野が拡大して目的意識が明瞭になり、自発的創意も発揮しやすくなる。このようにして個人のレベルで、単なる与えられた業務 (assignment) の完遂から、本来の使命 (mission) の完遂へと変質させること

が可能になる*。また複数の工程への計画的・育成的配置や、全体観のあるマネージャーやリーダーの計画的育成も必要と考えられる（キャリアパスの早期明確化）。

②専門的技術者の活用

鉄鋼はストック性（蓄積性）の高い技術分野であり、技術開発の分野では既に専門職制度が広く採用されている。スリム化を踏まえれば、これを今後はさらに多くの分野に拡大させることが必要であろう。研究開発の面で捉えれば、専門職は分野の専門家であるのみならず、研究開発の手法についてのプロとしての能力を持つ人も多いため、企画やプロジェクト・マネージャーとしての能力をも活用することが大切である。今後のラインマネジメントはいかに専門職を活用し、成果を挙げたかで評価されるようになるであろう。

③操業・設備技術の維持と向上

操業・設備技術は人的要素に依存する点が大きい。これらを担う要因（B）の年齢構成（図5）を見ると技術伝承の点からかなり大きい問題に直面している。すなわち若年層の欠乏と将来の熟練層の退職である。この問題は若年層の補充・育成と年長熟練層がもつストックの操業への継続的活用と、技術伝承への活用であると言える。前者の若年層については、どのような教育レベルの層を採用するかを

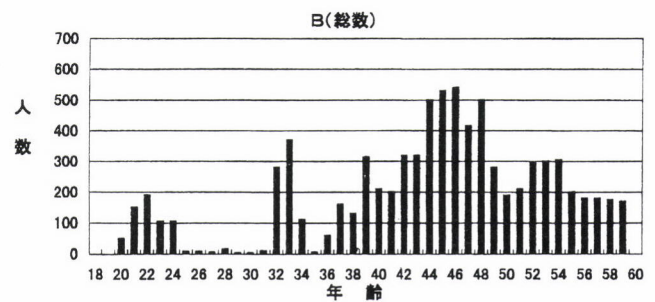


図5 現場操業系従業員(B)の年齢分布（鉄鋼）

検討する必要がある。後者の年長層については何らかの人事制度的対応が必要であろう。また工場の技術者（W）も含めた工場トータルとしてのストックの維持、向上の対策も必要であろう。例えば指揮命令系統とは馴染みにくい、工場における専門職なども制度として研究の対象になるかもしれない。いずれにしてもこれらの問題は従来あまり普遍的問題として取り上げられていないが、鉄鋼業にとっては避けて通れない問題である。

（1997年8月7日受付）

本稿は社会鉄鋼工学会シンポジウム「人間・社会・環境との新しい調和を求めて—V」（平成9年3月28日開催）の予稿。

*「精鋭で少数化」ではなく「少数化したために精鋭化」

展望

工業高等学校の現状と科学技術教育の課題

—附属工業高等学校長を兼任した大学教授奮戦記—

入戸野修

東京工業大学工学部 金属工学科 教授

Osamu Nittono

State and Problem of Science and Technical Education in a Technical High School

1 はじめに

編集委員会から標題（副題）で何か書くようにとの依頼を受けた。この機会にわが附属高校を宣伝するのも悪くはないとお引受けした。高校生たちのために、多少なりとも現場からの教育事情と一大学教授が高校生に接して感じたことを紹介することで、彼らの学生生活を間接的・部分的にサポートしたいと考えた。とは言え、わが高校は工業高等学校である。普通高校とはやはりどこかが違っているが、それはそれとして割り切ることにした。学校での主役は生徒であり、先生は彼らを支援する脇役的存在である。校長は先生から管理職と呼ばれる存在であるが、生徒は1人の先生として捉えている。だとしたら、日常接している大学生との違いを意識して行動することで、高校の先生とは異なる何かを生徒に伝えたい、そうすることで大学での教育・研究にも益するところがあるのではと奮戦している。本稿では、そうした体験談と工業高校の科学技術教育の現状と課題を述べる。

2 東京工業大学工学部附属工業高等学校のプロフィール

2.1 沿革

附属工業高等学校は、明治19年(1885)に東京商業学校(現一橋大学の前身)附設高工徒弟講習所の職工科として創立した。その後何度か変遷の後、昭和26年(1951)に歴史と所在地を異にする工芸高等学校と電波工芸高等学校とが合体して、田町地区に東京工業大学理工学部附属工業高等学校が設立され、昭和42年(1967)に現在の校名(理工学部→工学部と改称)となった。

2.2 学校の概要と特徴

現在高等学校は、普通科高校、総合学科高校、職業学科高校(工業、商業、農業等)に大別される。総合学科高校は伝統技術・地域振興・国際協力系列など幅広い選択科目を用意し生徒の個性の多様性に対応することを目標に平成6年度から設立され、平成8年度までに国公私立の45校に設置されている。工業高等学校は全国で公立高校552校、私立高校116校あり、工業高等専門学校は53校である。国立附属の工業高校は唯一本校だけである。

本校には機械科・電気科・電子科・工業化学科・建築科の5学科がある。現在はコース制を採用しており、機械デザインコース、電気・電子コース、理数・情報コース、環境・化学コース、建築デザインコースで運営されている。教員数は教諭と助手を含めて53人(普通教科26人、専門教科27人)である。生徒数は1学科(コース)40名で1学年200名、全体で600名である。女子生徒は約2割である。生徒は、主に東京都、千葉県、埼玉県、神奈川県から通学し、普通高校の生徒に比べると科学技術に対する興味・関心が比較的高く、適性もある生徒が集まっている。中学校からの推薦入学制度で約3割の生徒を、残りを一般入試で選抜している。

2.3 本校生徒の進路状況

生徒の資質は比較的恵まれており、現在は卒業生の90%以上が大学へ進学する。全国の工業高等学校の進学率は約2割であるから、高い大学進学率は、本校が工業高等学校というより実質的には理科系高等教育に継続する科学技術高校といった位置づけにあることを示唆する。

附属高校だが、現在は親大学への継続進学や推薦入学制度はない。そんな状況もあり、最近では親大学へ進むよりは、推薦制度のある国公立大学や私立大学に進学する者が多い。一方、就職する生徒は10名程度であるが、彼らは習

得した科学技術教育の成果を生かして技術系公務員になる者が多いのが特徴である。

本校の卒業生に対して、推薦入学等を実施している大学側から喜ばれ誉められていることとして、(イ)実践的な技能・技術が優秀で、モノ造りに取り組む態度が非常に良いこと、(ロ)モノ造りに対する思考力と直観力に優れていて、技術的センスが良いこと、(ハ)教育実習も優秀で、大学院に進む者も多いことが挙げられる。

2.4 教育のねらい

本校では、体験・実践を通じて楽しみながら科学技術への興味と関心を育むことができるよう工夫された独自の教育課程を設けている。これに基づいて数学、理科、工業の基礎を理論的・実際の面から学習し、これからの社会にふさわしい教養を学び、将来の科学技術の発展と社会の福祉に寄与できる思慮と実行力に富んだ人材を育成することを目指している。同時に、大学進学についても考慮し、特別な補習授業などは設けていないが、普通科目（英語、国語など）にも力を入れている。現3年生の卒業に必要な単位数は、普通教科67、工業教科20、必須選択科目8、自由選択科目0、2、4、ホームルーム・必須クラブ6で合計101～105である。

「教育目標」と「校訓」の表現は実に古い。だが、伝統もあり含蓄のある表現ということでこれまで文章はほとんど改められていない。同様に「校歌」も実に格調高い表現

で、内容を正しく理解するのはかなり難しく、ほとんどの生徒は校歌を正しくは歌えない現状である。国歌斉唱・国旗掲揚は学習指導要領で明示されており、本校でも実施している。しかし、式で校歌や国歌を皆で一緒に歌う斉唱というのは今どきの子供たちにはどうも馴染まないようである。

2.5 教育実習と教育システムの研究開発

本校は親大学の学生・大学院生・聴講生の教育実習に当たる。卒業生の教育実習生を含めて年間60名程度を引受け、6月期と9月期に2週間の教育実習を実施している。最近5年間の学科・教科別の教育実習生は1/3が数学と工業学科（職業科目）、1/4が理科で残りはその他（国語など）である。教員資格を取得するものの、実際に教員になる者の数は実習生の1/10以下である。

また、本校は職業教育に関する教育システムの実践研究を実施している。特に、昭和58年(1983)には、文部省の研究開発学校の指定を受けて、工業学科が共通履修する工業科目「技術と文化」、「情報技術基礎」、「課題研究」（大学の卒業研究の高校版といった科目、表1）の開発に組み大きな成果を挙げた。なかでも、生徒一人ひとりがモノ造りの体験を通じて科学技術への興味と関心を育み、自らの考えで課題を捉え、問題を解決できる自発的・創造的な学習態度を身につけることを教育のねらいとした「課題研究」は高く評価され、平成元年に告示された高等学校の学習指

表1 課題研究のテーマ例
(各テーマを1～10人で挑戦する。建築科は少人数の場合が多い。)

機械科	テーマ	レイト・レーザ	UHF・FM ワイヤレス・マイク
空き缶つぶしの製作	熱気球の研究および製作	焦電型赤外線センサの応用	レーザ光の応用
小たたらによる製鉄実験	低燃費自動車の製作	音源探索法の研究	握手ロボットの製作
スターリングエンジンによるアイディアコンテストへの参加		目走式プロジェクタの製作	超音波センサを用いた距離測定
ソーラーカーの製作	ロボコンテストへの参加	工業化学科 テーマ	
変わり種自転車の製作	アルミでギターを作る	炭酸ガスの固定化	硫黄センサ
竜巻の実験と研究	卵を掴むロボットの製作	カプセルテープの製作	バイセンサによるビームシートの定量
形状記憶合金による手の機構	ガラスコンテナの製作と特性実験	プラスチックの合成	植物繊維から紙を作る
電気科	テーマ	セラミックサイの製作	イソ交換樹脂の製造
電気鉄道の主制御器	50MHz 送受信機の製作	線香花火の製作	グアイモントの合成
第2種電気工事士資格取得への挑戦		七宝のゆう薬の合成	セラミックスにめっきする
オーディオアンプの製作	ビジュアルマシンの製作	口紅の分析・製作	高吸水性ポリマーの合成
電気自動車	リフトゲームの製作	建築科 テーマ	
X-Y-Z 軸移動のアーム・ロボットの製作	相撲ロボットの製作	芝浦地区の歩道と景観	木造2階建専用住宅の研究
電子レンジの製作	電動車椅子の製作	CAD による設計製図の試み	人工軽量コンクリートの性質
電子レンジの製作	リモコンカーの製作	各種設計競技会に参加する	構法から見た大仏殿の特徴
電子科	テーマ	鉄筋コンクリート蔵有孔梁の耐震性能に関する研究	
光通信の実験	デジタルカメラの製作	構造2階建住宅の骨組み模型	家屋文鏡の解釈
DTMF 信号の研究と応用	C A I 教材の作成	戦前期の建築書の出版動向	都市における水辺の役割
デジタルワープロの製作	C言語によるCGプログラムの製作	木による空間構造へのアプローチ	芝浦三丁目の建物の実態調査

導要領では、職業科の1科目として採用されている。現在も、平成7年から研究開発校に指定され、産業構造の変化や生徒の能力・適性・進路の多様化に適応する教育システムの開発と新しい教育課程と新教科・新科目「科学技術基礎」、「数理基礎」、「人と技術」の研究開発を続けている。

3 学校行事と各種会議

なんと言っても高等学校では、生徒と先生が一同に会する学校行事と会議が多い(表2)。校長が主査の会議・委員会としては、教官会議、入試会議、成績会議、卒業・進路判定会議、主任会議、研究開発委員会、企画委員会がある。大学と高校との連携を強化するための会議として附属工業高等学校企画運営協議会があり、年3回開催される。この他の会議は、副校長あるいは選出教諭が主査を務める。さらに、高校生は未成年のため保護者会、PTA(理事会、広報委員会)がある。また、本校には創立が明治32年(1898)の伝統ある専攻科もあり、ここでも入学式、卒業式や校務会議などがある。

4 校長の役割と実務

校長はほとんどの学校行事と会議に関与する。校長職とは言え親大学の教授との兼務であり、学部・大学院の講義、研究室の講究などは普通の大学教官と全く同じである。そんな訳で、筆者の場合は着任(平成7年4月)以来始業式

など特別な行事や会議がある場合以外は毎週2日(火曜日と金曜日の午後)高校に勤めることにしている。大学の教育・研究に支障なく、いつでも卒論生・院生との研究討論ができるように、居場所を書いた日程表は研究室の誰でもが目の付くところに貼ってある。また、同じ日程表を副校長、事務長、庶務掛に配布してあるので、いつでも高校から連絡が取れるようになっている。幸いに、大学の主要会議は水曜日であり、高校での会議は主として火曜日と金曜日に設定されているので、支障の少ない形で兼務ができています。とはいえ、高校(田町)と大学(大岡山)と場所の移動に最低40分は必要であるのと、両方で時間帯(昼休みは大学は12:10~13:20、高校は12:10~12:55)が異なっているので、会議予定を上手に調整するのに苦労している。

4.1 会議出席と決裁事項

高校では教官会議が最高決定機関である。教官会議では、校長は全ての報告事項は勿論のこと審議事項について実際に審議の状況を把握し最終的に決断する。通常、賛否は挙手投票で決裁される。現在では、かなり手厳しい意見も発言しやすい会議の雰囲気があり、教官会議が学校運営の決定機関として機能している。このような状況に至るまでには、校長が兼務であることを感じさせないように、また、一人の仲間であると信じて貰えるように、いろいろな努力と苦労があったことは言うまでもない。議事進行係を立てる会議形式であるので、校長もできるだけ思っていることを述べている。現在は研究開発校の指定を受けているため、頻繁に研究開発委員会が開かれている。そこでも積極的に発言し研究開発の志気が揚がるように努力している。

これらの会議への出席のほか、事務長等職員の支援の下で将来構想立案や概算要求資料作成ばかりでなく、不意に入る交渉・依頼事項などに対しての学校の態度決定や英文の証明書へのサインなどの実務を行う。決裁する重要事項等については自分の業務ノートに書き写す。決裁事項に目を通すことで、教職員の行動、たとえば、外国出張、研修参加、非常勤講師先や対外的状況などに対する具体的な情報を掴めるので、管理運営上に役立っている。

4.2 学生の停学処分

校長就任した最初に大きなショックを受けたのは懲戒処分の執行であった。生徒は未成年であるため喫煙行為や暴力行為などは学則で禁止されている。停学処分には3日間停学と無期停学がある。処分執行は校長室で生徒、保護者、クラス担任の目前で行われる。どのように対処するのが良いか悩んだ末、処分は処罰ではあるが教育指導の一様式であり、公法上の処罰ではないと思うことにした。生徒には

表2 年間行事・会議日程(平成9年度)

4月	入学式、始業式、対面式、(本科、専攻科) 教官会議、入試会議、(辞令伝達、歓送迎会) 1年生保護者会、PTA理事会
5月	体育祭、1年生校外研修、教官会議、附工企画運営協議会 研究開発委員会、(専攻科同窓会)、PTA理事会
6月	教官会議、入試会議、学校説明会、(教育実習)、PTA理事会 特別講義(親大学教官による講義)、(歌舞伎教室)
7月	教官会議、入試会議、成績会議、終業式 研究開発委員会
8月	学校見学会、体験入学、(本科同窓会)、PTA理事会 (校外クラブ活動合宿)
9月	始業式、教官会議、防火避難訓練、(教育実習対面式) 教官会議
10月	教官選考会議、(教育実習終了式)、研究開発委員会 文化祭、(全国校長会)、学校説明会、教官会議 研究開発研究発表会
11月	教官会議、体験入学、課題研究発表会、PTA理事会 進路説明会、生徒総会、附工企画運営協議会
12月	教官会議、入試会議、成績会議、終業式
1月	始業式、推薦入学試験、教官会議 修学旅行、スキー教室、PTA理事会
2月	教官会議、入試会議、一般入試、卒業判定会議
3月	教官会議、卒業式、進級判定会議、専攻科卒業式 終業式、PTA理事会

本校は自由な校風ではあるがその中でも規則があるということを読んで欲しいとの気持ちで処分する生徒に接することにした。それだけでなく、深く反省し緊張しているので、生徒には第一声で「きみは本校の校風は好きかい？」とやさしく問うことにしている。生徒はその質問に最初は戸惑っている様子であるが、「本校の自由な校風が好きです」とはっきりした返事が聞ける場合が殆どであり、そんな時は大変救われる。しかし、今年1月の修学旅行先（広島）での懲戒処分は生徒を即日帰京させるという厳しいもので心が痛かった。

現在3日間停学では、行動が発覚した日に処分を執行し、学内掲示板に生徒名を掲示する。生徒は3日間の自宅研修の後、最初の登校日に反省文と自宅研修の日記を提出し、クラス担任の指導を受ける。無期停学の処分は停学処分を2回受けた者が対象になる。実際には、教育的配慮でクラス担任が処分生徒の実情を鑑みて、できる限り早期に復学できるよう配慮している。懲戒処分としては比較的気が利いている処分様式だと思っている。現に、停学処分を受けた生徒のほとんどが復学し無事に卒業している。

むしろ問題なのは、学業成績で3科目以上に評価1（5段階評価）がある場合や欠席日数が多く結果として単位数不十分で正規に卒業できない者である。いずれも少数ながら教官の緊密な指導が不可欠で特別に注意を払っている。具体的には、各学期ごとの成績会議で将来問題になりそうな生徒に対して「校長先生のお手紙」と呼ばれる警告状を保護者宛に出し、保護者とクラス担任が協力して就学指導を行う仕組みになっている。このように生徒指導関係で教官が多くの時間を削くことになるが、本校の場合は他の高校程大変ではないようである。こんなことを言うと、本校の教官から余りにも実情を知らなさ過ぎると言われそうである。しかし、懲戒処分が年数件と少ないのは、それだけ資質の比較的良好な生徒が集まっているためであろうと思っている。

5 式辞の工夫とその効用

通常、校長は式のはじめの挨拶をする。式そのものの形になるし、教官の志気にも関係するのではと、筆者は就任以来ほとんどの式で挨拶をすることにして来ている。そうするにあたって自分に次のように言い聞かせた。式はもともと型にのっとって執り行われるものである。しかし、型式通りでは、折角の生徒と接する機会を活かすことにはならない。本来「式辞」は韻を踏み、声高に読み上げる（朗読）文章体である。日頃OHPなどを使って話者者にとっては、感動を与える朗読などとてもできるものではない。式

というやり方・作法をできるだけ損なわずに、短い時間で生徒に印象・感動を与えられる自分なりのやり方を創作しようと考えた。日頃大学生を見ていて、モノ造りの体験が少ない、しかも自然の変化に感動・関心を示すことも少ないのを感じている。そこで、感受性の高い高校生のときにこそ、できるだけ普通のやり方で科学技術に関心・興味を抱き、あれどうしてと疑問を解明したいと思わせるようなパフォーマンスを考えた。

そんなわけで、式の主役は誰か、最近何が関心事になっているかをできる限り詳しく調べ、それぞれの時期に適した話題を含めて教訓や心構えを、「科学マジック」と「科学おもちゃ」を助っ人にパフォーマンスを演じることとした。ここで言う「科学マジック」は、極くあたりまえのことをあたかもそうでないかのように示すものであり、「科学おもちゃ」は自分で考案し、手造りで、しかも仕掛けが見慣れていないものを指す。生徒には初めて見るモノを提示することこそ、モノ造りに対する関心・興味が活かせる。生徒の高い関心を得るには、提示するモノは自分で考えて造ったモノであり、しかも廃物利用など身近な材料で造ったモノであることが不可欠である。そのことを肝に銘じて新しい話しのネタと出し物を探して式に備えている毎日である。

最近、主役のマスコット「やればできる君」（図1）を登

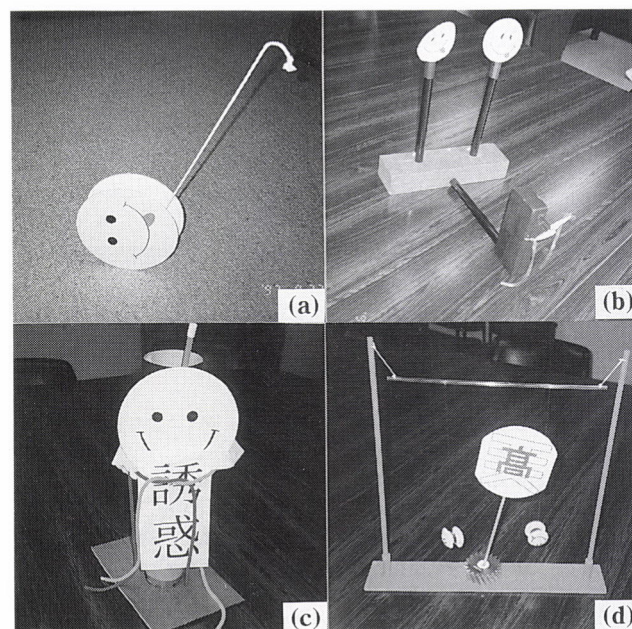


図1 「やればできる君」の科学おもちゃ。(a)ひもの引張り角度を変えると、前に転がったり、後ろに転がったりする（支点と力点の位置関係に関係したもの）。(b)2本の棒の間に紫外線が通り、その間に手を入れると前方のひもの付いたプロペラが回転するもの。(c)夏休みの「誘惑」から逃れる方法を示した科学マジック。(d)共振現象を示す装置。

場させている。マスコットを登場させることで、主役である生徒の関心もそれまで以上に高まり、教訓や心構えの話しにも敏感に反応するようになった。また、何人かの生徒は、「やればできる君」と似た図柄のTシャツを着たり、ロボットコンテストの登録者名に「やればできる君」を用いたりして来ている。校長として嬉しい反応である。

5.1 入学式での印象付け

入学式では、校長は「入学許可宣言」をするとともに、「式辞」を述べる。通常その後に来賓の学長、工学部長の挨拶がある。いつもの式とは事情が違う。祝辞には慣れておられる方が後に控えている。だが、そこで怯んでは兼務校長の名に恥じると、式辞の話題は主役の入学生のためにのみ焦点をしぼる。ここでは、平成9年度の入学式を例を紹介する。

はじめの導入は型どおりである。まず、中学校生活と高校生活との違い、これからの心構えを述べる。また、高等学校の学習は、自分の才能、あるいはまだ自分では気付いていない能力を開花させるために知識や技術、教養といったものを身につけることであること、高校はスポーツにクラブ活動に自分で積極的に行動することで人格を高め、それに相応しい知恵を体得する場であることをできるだけ平易に話す。ここまでは「式辞」ということで一寸改まった朗読調である。

次いで、原稿から離れて、「今まで話したことを簡単な実験で示して見ましょう」と切出す。取出したのは、A4版用紙を横に10枚繋げて貼った短冊。これには遠くから目立つようにいくつかの色が横縞状に塗ってある。「君達が誕生し、小学校、中学校を過ごしました。この明るい色で塗られたところは君達が楽しかったときであり、黒く塗られている部分は、苦しかったあるいは悲しかったときを示しま

す。そして、これまでの君たち生活がこのように内側にくるまるように巻込まれて現在を迎えております（色の方が内側になるように短冊を巻く）。「さて、これから君達が高校生活をいかに生きるかによって、人生がどのような色になるか、君たちの未来の樹をお見せいたしましょう」と、先の短冊に一寸細工して、「未来の樹」を成長させて見せる。さらに続けて、「個性を大切にするとこのようにひとり一人違った未来の樹が成長します（色の違う2本目の樹を成長させて手に掲げる）」。入学生も父兄も一瞬びっくりした後、何人かがカメラのフラッシュを輝かせた。そのパフォーマンスの後は、転調して、科学技術との関わり、社会の変化に主体的に対応し行動するために必要な能力を身に付けることの大切さなどを一気に話し、みなさんが楽しい3年間を送れるよう見守っておりますと結んだ。かなりインパクトがあったのではと自負している。

5.2 始業式・対面式での訓辞

在校生にとっては新学期を迎えるときでもある。今回は3つの言葉を提案することとした。まず、長期的目標と短期的目標ということで図2のようなサイコロ（一辺20cm）に書いた「目」の字を見せる。ついで、このサイコロをひとひねりして、「標」の字を出す。続いて、「挑戦」「前進」の文字を次々として、3つの言葉「目標」「挑戦」「前進」を生徒に強くイメージ付けした。

引続いて対面式（新入生と在校生の顔合わせ）である。話題は1年生、2年生、3年生との関係となる。ここではそれぞれの特徴をモデル化したおもちゃを見せた。このおもちゃは民芸玩具「返りねずみ」をヒントに改良したものである（図3）。ここでの話しの筋は、みんな自由な校風に沿って行動するが、それぞれが位相が違っているというもの。3つのマスコット「やればできる君」のうち、真ん中

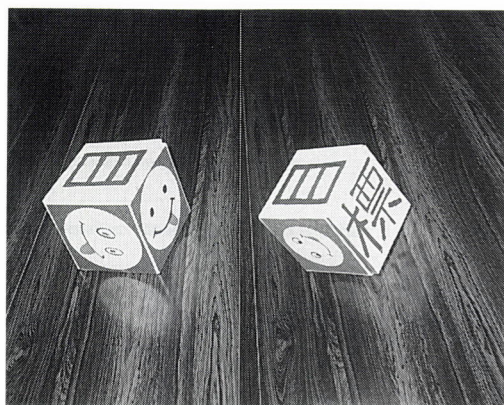


図2 いろいろな文字が出てくるサイコロ。「目標」「挑戦」「前進」の文字が次々と出てくる。1月の始業式での式辞に利用したもの。

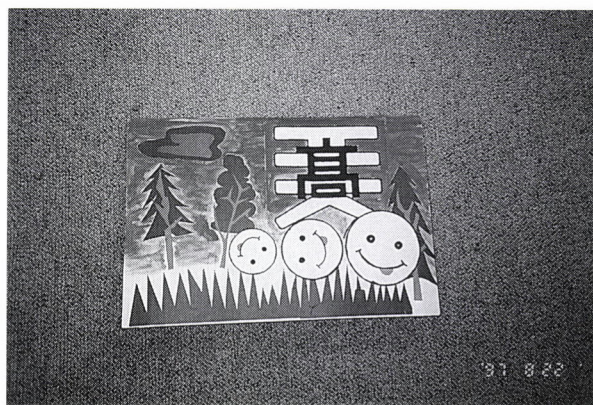


図3 3つのマスコット「やればできる君」が異なる位相で回転する科学おもちゃ。（民芸玩具「返りねずみ」を変形したもの）

の2年生が遅れて回転する様子を強調する。2年生ガンバツと励ましつつ、今度は科学マジックで3本の色ヒモ（黄色、青、黒）の輪を示し、さっとそれら3つの輪を連結した状態にする（科学マジック）。2つの輪の繋ぎ、つまり1年生と3年生とを結付けているのは2年生の輪であることを強調する。ここまで、しゃべりながらやると、最後は決まって拍手が起こる。拍手に「ありがとうございます」と応えて礼をし式を終わる。

5.3 卒業式での励まし

日頃式で壇上から接していた生徒たちが巣立つ日である。修学旅行で一緒に食事をし、京都見物した生徒たちでもある。平成9年3月の卒業式での式辞では、既に始業式などで生徒に見せたモノを敢えて利用して話しをすることにした。

型どおりの導入のあと、突然に卵を取り出す。「君たちはこの卵を見て何を思い出しますか」と問う。「2つのことを思い出しましたね。一つは、この卵が生卵かゆで卵か、君ならどうして見分けるかでしたね。私はこうしました」と左手に持っていた卵を右手で掴んで、右手を挙げて落とす仕草をする。しかし、卵は落ちない。消えてなくなっている（実はマジック）。一瞬びっくりした保護者が注目したところで、「もう一つはこれでしたね」と大きく書いた文字「啐啄（そったく）」の短冊を示す。「啐啄同機（そったくどうき）」の「啐啄」である。「啐」は卵が孵化するとき殻の中で雛が殻をコツコツとつつく音の意味で、「啄」は親鳥が外から殻をつつく意である。この両方が旨く呼応するときに雛が殻を破って出てくる。これに因んで、親、先生と生徒の両者が旨く応えあって今日晴れの卒業を迎えていることを話す。同時に、これからの社会での心構えについても話して、新しい生活への門出を祝すはなむけの言葉を添える。

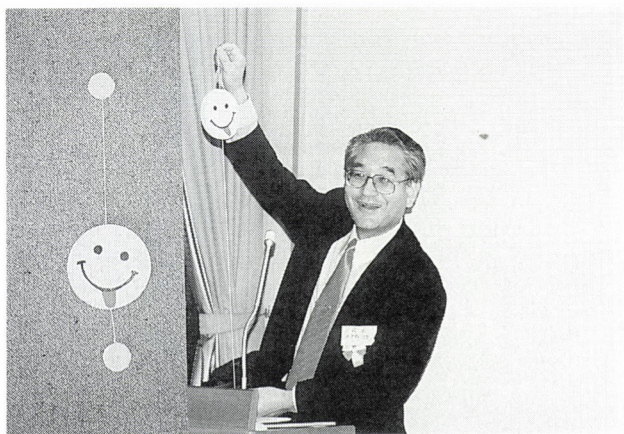


図4 下に引張られて上に登る「やればできる君」。同窓会の懇親会で乞われて披露する筆者。（2つの滑車を利用したもの）

式辞の最後では、日頃見慣れている「やればできる君」が登場する。この日のために新しく作成したもので、生徒も先生方もはじめて見る姿の同君である。「どんな境遇でも、いつも上に向かって登る」やればできる君の姿をお目にかけます」と、紐を下に引張るのに常に上へと登っていく姿を示す（図4）。拍手の中、「すばらしい君たちを送り出すことを大変誇りに思っております」と結ぶ。

6 科学技術教育の現状と課題

6.1 各国の技術教育

図5は各国の低学年における科学技術教育の実状を示す。外国での小・中・高校の技術教育の持ち時間の全体に対する割合は平均6%であるが、日本のそれはわずか1%である。日本では、中学1年生（週1時間）で「木材加工」、2年生で「電気」、3年生で週1～1.5時間で情報基礎、機械、金属加工、栽培などを学習する。イギリスでは、就学時の1～11学年まで必須科目「テクノロジー」があり、初学年で「目的⇒構想⇒実行⇒評価」を体験させ、10～11学年には設計能力を重視し、「設計素案⇒研究⇒構想⇒中間評価⇒展開⇒作業計画⇒実現⇒試験⇒評価」を実行するよう総授業時間の10%を配当している。いずれの国も、普通教育としての科学技術教育の重要性を強く意識していると言える。

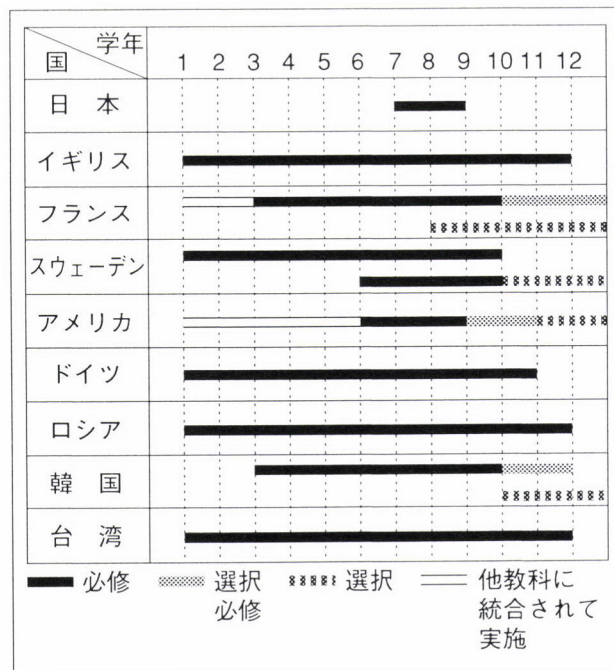


図5 世界の主要国における普通教育としての技術教育の実施状況（日本工業新聞／平成9年5月12日／「国民教育におけるテクノロジー・リテラシー育成の教育課程開発に関する総合的比較研究：田中喜美（東京学芸大）」

6.2 わが国の大学の低学年教育の在り方と課題

先日、東京の科学技術館で開催された'97青少年のための科学の祭典（1997.7.26-7.30）を見学した。会場には大勢の小・中学生が見学に来ており、各コーナーで実際に実験を体験していた。いくつかの高等学校の生徒・先生もテーマを持って参加していたが、全体に見学に来ている高校生の数は少なかった。低学年ではこれほど科学・技術に関心・興味を抱いているのだから、高校生になってそれが冷めてしまうはずはないであろうか？ 普通高校の卒業生でモノ造りの体験がない学生やモノに直接接したことがない学生が、大学の低学年で初めて実際にモノ造りを体験するような状況にあることも事実である。それにしても、著しい科学技術の進歩に即応できる若者を育てる重要性がますます増大している一方で、若者の理科離れ、モノ造り離れが顕在化している。学校教育で長期的な見通しの基で科学技術教育を充実していきたい。第15期の中央教育審議会の答申が具体的に施行され科学技術教育が充実することを強く望むものである。この意味でも、工業高校では、生徒が早期からモノ造りをしながら自分で問題を発掘し、自ら解決する体験を積むことができる教育課程を一層充実することが肝要で、多様化の時代における教育システムの研究開発はこれからますます重要になろう。

6.3 これからの科学技術教育のために

著しい科学技術の進歩に対応できる若者を確保するためには、科学技術の道へ進みたいという目的意識を持った若者を低学年のうちから優れた科学技術の教育環境の中に置いて指導し、さらに大学等の高等教育へ継続する科学技術教育システムが望まれる。若者がモノ造りに関心を抱き、科学技術に対するセンスを体得できる教育環境の構築には、高等学校での科学技術に関係した新しい教育課程の開発が不可欠である。また、これからの学校教育では全人格的教養教育と科学技術専門教育の重要性が増すであろう。一般にイノベティブな人材は「V字型人間」とであると言われる。ここでのV字型人間とは、自分の専門分野を深く掘り下げると同時に、人間の幅が広げられる、つまり化学や物理を専攻する人間が、同時に歴史学や心理学と言った質の違う学問をも修められるダブルメジャー型の人材を指す。著しい進歩の科学技術に対しては、幅広い基礎的な教養の上に立った専門知識・技能が大いに重要視される時代を迎えることになる。本校で試行している「人と技術」は

真の豊かさとは何かを学びとることを教育のねらいとしている科目である。新しい教育課程にどう生かされるかは今後の大きな課題である。

言うまでもないが、教育には教えることと、育てることの両面がある。知識とか技能は教えることができ、教えないといけないものである。一方、人間の理性、感性、創造性は教えるのではなく育てなければならないものである。そして教育の使命は、学生の好奇心を沸き立たせ、興味をもたせ、自主的に行動できるように支援することにある。

これからは社会や産業の変化をいち早く察知し、それに適応し、また、自ら問題解決する力がますます要求される。そうした生きる力を育成するためには、教えることも必要であるが、それ以上に「育てる」ことを重視した教育への転換が緊要である。こどもの自主性、感受性、論理性、思考力、自律性の発達を年齢に応じて促進する教育の在り方を開発する必要がある。そのやり方としては、長い検討時間をかける大幅な改革は適さない。生きた教育には、経験の豊富な教師による多様な試行錯誤に基づく実時間的な改善を常時積み重ねて行く様式の方が効率的である。

7 おわりに

筆者の僅かな体験からではあるが、科学技術に魅力を感じるような学校での教育・指導態勢の重要性を述べた。科学の進歩はそれに関与する人材を育成する速さに較べて著しく速い。しかし、科学技術の進歩は科学的命題に対する一つの指針を与えることはできても、価値的命題に対してはほとんど無力である。実際にできることと、それをして良いこととは本質的に違う価値判断が必要である。これからは科学的命題と価値的命題の双方に適切に対処することができる人材がますます要請される。そのような人材の育成のためには、現在社会の価値観、人口増加、地球環境問題、エネルギー問題などへの対処の仕方や基本理念を中学・高等学校での科学技術教育の中にどのような形態で取入れて行くかが今後の課題である。わが国が今後とも科学技術創造立国として世界と伍していくために、科学技術基本法と科学技術基本計画の実りある具現化とともに、中学・高校・大学が連携した科学技術教育の総合的な施策を関係省庁に促したい。

（1997年8月27日受付）



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 戦後のエネルギー危機を乗り越えた日本鉄鋼業 ——熱経済技術部会草創期の活動記録から——

杉田 清

Kiyoshi Sugita

新日本製鐵(株) 技術開発本部 顧問

The Japanese Steel Industry Survived Postwar Energy Crisis : a condensed history based on the activities of the Heat Economy and Technology Committee in its infancy

1 まえがき

鉄鋼製造技術の歴史をふり返るとき、その相当部分がエネルギー問題との対決であったといえる。世界最古の冶金書といわれる「デ・レ・メタリカ」(G. Agricola, 1556) は、金属精錬の3大必須物資として、鉱石、燃料、炉材をとりあげているが、ここでいう燃料とは還元剤を含め、まさに「エネルギー」である。

戦後のわが国の復興は、山積する難問との苦闘によって達成されたが、特に食糧、住宅、そしてエネルギーが3大隘路といわれ、とりわけエネルギー依存度の高い鉄鋼業の苦境は、想像を絶するものがあつた。それは、日本鉄鋼業が経験した最初のエネルギー危機であつた。

この非常事態を乗り越えるために、日本鉄鋼協会の共同研究会に熱経済技術部会が設けられ、エネルギー問題への中心的活動が要請された。日本鉄鋼業の復興、発展という大志のもと、果敢にくりひろげられた活動の数々には、緊迫感、使命感、さらに将来への夢と明るささえ感じられる。そして筆者には、そこに共同研究会活動の原点を見る思いさえある。

1982年4月22日、部会70回記念行事として熱経済技術部会(部会長:杉田)は、片田中・前任部会長の応援をえて、部会草創期に活躍された諸先輩(木下享日本鉄鋼協会専務理事他5氏)の回顧座談会を開催した。この小文は、主としてその当時の記録¹⁾と関連文献^{2)~4)}に基づいて構成したものである。エネルギー危機を乗り越え、発展期につながる昭和30年代末頃(1960年代前半)までの部会活動を中心に、それを支えて活躍した技術者群像を紹介してみたい。

2 石炭不足と日米技術格差

終戦の翌年(1946年)、すさむ世相をなごませるかのように「リングの歌」が大流行の頃、わが国で稼動している高炉は37基中わずか3基であつた。連合軍最高司令部(GHQ)からの強力な指示もあり、政府は鉄鋼と石炭のいわゆる傾斜生産方式を採用し、その生産を最優先したが、石炭の不足が鉄鋼生産の最大の隘路となっていた。炭坑地帯に石炭成金が輩出し、石炭は文字どおり「黒ダイヤ」になつてい

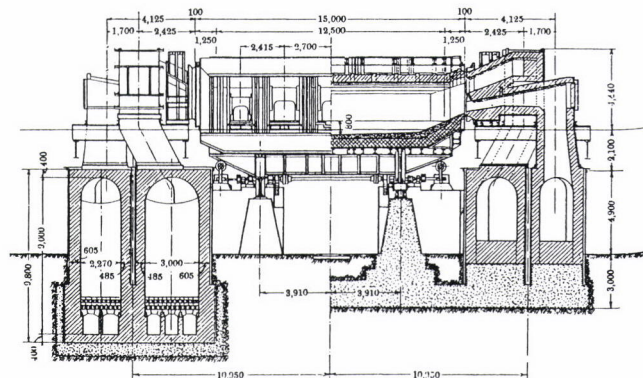


図1 傾注式平炉 (100 t)¹⁾

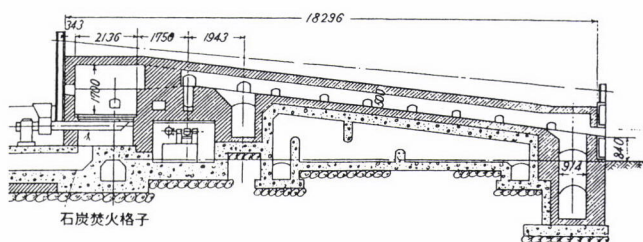
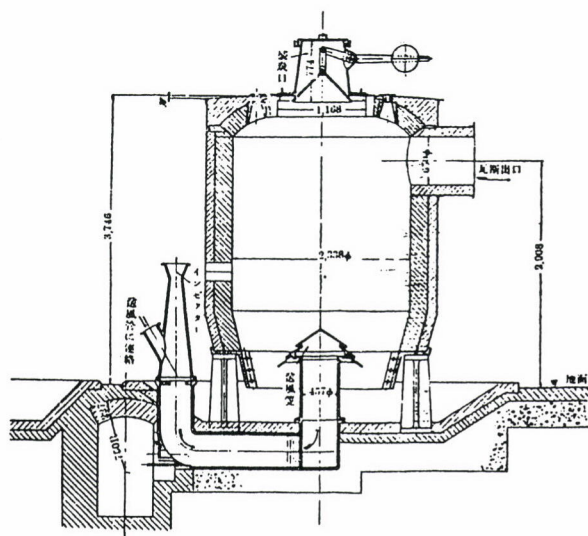


図2 石炭焚鋼片加熱炉¹⁾

図3 ガス発生炉 (ドーソン式)¹⁾

た。鉄鋼業の復興には、このエネルギー危機からの脱出が先決であった。

当時の鉄鋼生産の石炭依存度はきわめて高い。高炉は当然として、一貫製鉄所の製鋼炉すなわち平炉（図1）の過半は石炭焼き（発生炉ガス方式）で、さらに鋼片加熱炉（図2）も石炭焼きが少なかった。また非一貫の製鋼工場の平炉の殆んどが石炭焼きで、ガス発生炉（図3）が付設されていた。ただしガス発生炉方式は1950年代中頃には姿を消した。

石炭供給量の不足に加えて、問題を一層深刻にしていたのは、すべての熱設備での熱効率の極端な低さであった。たとえば1948年、わが国の粗鋼生産量が約200万tに回復した当時の平炉の熱量原単位は以下のものであった。

日本 250万～300万Kcal/t-steel

米国 90万～150万Kcal/t-steel

この数値は文献により相当のバラツキがみられるが、米国の平炉熱量原単位が、日本の約1/2である点では一致している。1963年春の日本鉄鋼協会第65回講演大会での講演³⁾で、藤本一郎部会長は終戦直後をふり返って：

「……葺合工場の平炉は日本でも優秀な平炉であると自惚れていたにもかかわらず、発生炉ガスや重油焚で、熱量原単位はいかにしても300万Kcalを切ることができなかったのである。米国の平炉は150万Kcalと聞かされ、本当にそんな低い原単位でできるものか、夢のように思われていた……」

この日米技術格差がもたらした衝撃は、深刻な石炭不足と相俟って、エネルギー危機打開への決起の導火線となった。いっこうに改善される気配のない各工場の熱量原単位に業を煮やしたGHQが、原単位実績不良の事業所には重油

の供給を停止するという通達を出したのもこの頃である。

1949年6月政府（商工省）は「鉄鋼熱経済強化対策要綱」を定めた。すでに1948年に全産業を対象として制定された「熱管理規制」とともにこの「鉄鋼熱要綱」はその後の活動拡大の基盤となった。1951年に制定された「熱管理法」、そしてあとで述べる「熱経済技術部会」の誕生もその延長線上にある。「熱管理」という呼称は戦時中から存在したが、産業界に広く使われるようになったのはこの頃からであろう。

一方、日米技術格差のショックを倍加し、後年のわが国鉄鋼業での熱管理技術の進歩に大きく貢献した“事件”がこの頃起っていた。それは、つぎに述べる米国技術者による操業指導である。

3 熱管理と計測技術の大恩人：ヘイス

1948年から1949年にかけて、GHQ顧問としてヘイス、ヒル、マクロードなど数名の米人技術者が来日し、各工場での熱管理技術について実地指導がおこなわれた。当時、スクラップ使用をはじめ、鉄鋼原材料問題の指導に元アームコ・スチール副社長C. ベリティがGHQ経済科学局次長として来日しており、彼等の日本への派遣も同氏の発案といわれている。

彼等はそれぞれ指導の実をあげたが、とくにヘイス（Fred N. Fays、カーネギー・イリノイ・スチール本社熱管理部長）は、精力的に各社の現場を巡回し、熱心に現場の技術者たちを指導した。というよりは叱咤激励したというべきであろう。彼が東都製鋼（現トピー）の平炉で指導にあたっていたときのこと。彼が熱心に炉内雰囲気プラス圧操業を指導し、その結果燃料原単位はたしかに低下した。しかし彼が少し目を離すと、プラス圧操業を嫌がっている現場の連中が、ダンパーを開けてしまう。ヘイスも怒り出し、ダンパーの開閉チェーンに目印をつけて、炉前に座りこんで動かなかった。ついに現場の頑固な反対者たちも降参したという。豊島陽三の回想である。

ヘイスの操業指導は“その時、その場で、すぐに（then and there）”が基本であった。そのため勤務時間外にまで指導時間が延長されることも屢々であったらしい。もっとも、もう一つの“夜の熱技術”の付き合いには、流石の現場の勇士たちもたじろいだようである。

当時の日本の炉操業の技術は、戦前からのドイツ式のいわゆる技能重視型の伝統を受けついでおり、操業上の判断基準は、熟練者の経験とカンに頼る面が多かった。ヘイスによる米国式の操炉法は、当時のわが国の技術者には衝撃的に新鮮で、驚きでさえあった。それに彼のもつ技術指導

への情熱、迫力が加わり、誰もが圧倒されてしまったといわれている。しかも彼は全知全能を傾けて指導に当たったといつてよい。それはGHQ顧問としての責任感からか、黄金時代の米国鉄鋼技術者の誇りからか。筆者にはあのよき時代の典型的な米国人技術者像が浮かんでくる。

ヘイスから当時の技術者たちが学びとったことは実に貴重であり、内容も多様かつ豊富であった。それらの記録の中から、特に重視され、大きな影響を残したと思われるものとしては以下が挙げられる。

- (1) 優秀工場への生産集中による効率向上の考え方
- (2) 燃料の石炭（発生炉ガス）から重油への転換推奨
- (3) 炉内圧のプラス圧保持操業への変換指導（当時の日本ではドラフトをきかせた負圧操業が主流）
- (4) 計器計測に基づく操業（カンに頼る方法の排除）
- (5) 平炉、加熱炉などの状況に応じた操業、設備改善（たとえば、蓄熱室ギッターれんがの積み方の改善）
- (6) 熱精算、炉設計法についての啓蒙的指導

そしてその成果としては、各工場での日常操業成績の改善のみならず、熱管理への関係者の意識改革にも少なからず貢献した。特に、計器測定データに基づく科学的アプローチは、わが国の熱管理の方法論に大きな変革をもたらすきっかけとなった。ヘイスの教訓「先づ測れ」は、日本の

鉄鋼製造技術における計測技術推進への出発点ともなったといわれている。その後、熱経済技術部会の中に熱計器専門委員会（のちの計測分科会）が設置された背景の一つである。

1949年7月1日、芝公園内の日本赤十字博物館講堂で、ヘイス、マクロード両講師を招いて熱管理の講演会が開かれた。この催しには、鉄鋼業界のみならず、化学、機械などの他の産業界、それに大学や各研究機関からも多数の参加者があり、総勢420名という、当時としては異例の大聴衆で、「熱管理」という新しい考え方に感銘をうけた人が多かったという。ヘイスらの影響は製鉄所などの現場にとどまらず、広く他産業や学界にも及んだといえよう。

日本鉄鋼協会は1950年2月、ヘイス、ヒル、マクロード3名の熱経済技術向上への貢献に対し、日本鉄鋼協会名誉会員に推挙して、その功績を称えた。式典に招かれたヘイス夫妻らは、多くのかつての「弟子」たちと旧交を温めたという。

4 熱経済技術部会の発足

日本鉄鋼協会の研究部会として新しく熱経済技術部会が設置されたのは、1949年7月で、「鉄鋼熱経済強化対策要綱」

54

鉄と鋼第36年（昭和25年）総目次

637

最近の耐熱材料に就て……………芥川 武…	500(10)
軟鋼の歪時効硬化問題……………吉崎 鴻造…	563(11)
軟鋼の歪時効硬化問題……………吉崎 鴻造…	622(12)

研究部会報告

日本鉄鋼協会研究部会……………湯川 正夫…	163(4)
鋼材部会概況……………湯川 正夫…	163(4)
日本鉄鋼協会研究部会……………谷口 光平…	362(8)
鑄物部会概況……………谷口 光平…	362(8)
日本鉄鋼協会研究部会……………吉川 晴十…	510(10)
製鋼部会概況……………吉川 晴十…	510(10)
日本鉄鋼協会研究部会……………木下 正…	570(11)
製鋼部会重油専焼平爐標準寸法に就て……………木下 正…	570(11)
日本鉄鋼協会研究部会……………山岡 武…	628(12)
熱経済技術部会概況……………山岡 武…	628(12)

研究部会記事

特殊鋼部会第1回第3小委員会……………	459(9)
〃 第7回第2小委員会……………	459(9)
熱経済技術部会第7回加熱爐小委員会……………	460(9)
鐵鋼二次製品部会第6回磨帶鋼分科会……………	460(9)
第11回製鋼部会……………	460(9)
鋼材部会第7回壓延理論分科会……………	460(9)
第12回製鋼部会……………	513(10)
鐵鋼二次製品部会第7回磨帶鋼分科会……………	513(10)
鋼材部会第8回線材分科会……………	513(10)

鋼材部会第7回中小形分科会……………	513(10)
特殊鋼部会第2回第3小委員会……………	513(10)
熱経済技術部会第9回加熱爐専門委員会……………	513(10)
熱経済技術部会第8回熱精算専門委員会……………	513(10)
熱経済技術部会第9回熱計器専門委員会……………	575(11)
熱経済技術部会熱計器専門委員会……………	575(11)
一檢定小委員会……………	575(11)
鑄物部会第2回鑄型専門委員会……………	575(11)
鑄物部会第2回ロール専門委員会……………	575(11)

雑

終戦後本邦鐵鋼生産情况……………	(自昭和20年至昭和25年10月)
年別及月別生産高……………	(毎號卷末)
日本鉄鋼協會記事……………	(理事會報告及協事項編集)
委員會報告及協議事項……………	(毎號卷末)
外國最近刊行誌參考記事目次……………	(9月號迄毎號卷末)
鐵と鋼第35年(昭和24年)總目次……………	43(1)
昭和25年春季日本鉄鋼協會日本金屬學會……………	46(1)
聯合講演大會案内及講演プログラム……………	132(3)
金屬電解研磨法に關する實演案内……………	236(5)
日本鉄鋼協會昭和24年度及昭和25年度……………	236(5)
收支決算書收支豫算書及財産目錄……………	287(6)
製鐵業參考資料の再刊……………	337(7)
昭和25年秋季日本鉄鋼協會日本金屬學會……………	337(7)
連合講演大會案内及講演プログラム……………	331(8)
日本鉄鋼協會第35回通常總會……………	に於ける表彰者

図4 当時の部会活動（「鉄と鋼」総目次、1950）

制定の直後である。部会新設の背景は説明を要しない。待望されての部会の発足で、GHQや政府からの強い要請もあり、格別強力な布陣がしかれた。

部会の構成と人事は、

委員長 山岡 武（鉄鋼協会会長）

熱計器専門委員長 山内二郎（東大）

熱精算専門委員長 田中清治（東大）

加熱炉専門委員長 湯川正夫（日鉄）

各専門委員会（現在の分科会）は直ちに具体的な課題に取組んだ。まず熱計器専門委員会は「熱管理用標準計測器」を決定するための調査研究を、熱精算専門委員会は「標準熱精算方式」の当面の対象として平炉と加熱炉をとりあげた。加熱炉専門委員会は「標準設計法」を作成するための文献調査、バーナーなど燃焼系の調査、炉体設計上の諸問題の整理などを開始した。当時としては、この部会にしてはじめて手がけることのできた最重要にして緊急の課題であったといわれている。

部会活動は最初からフル・スピードの回転であった。その具体例は別途紹介するとして、その活発な動きの背景には、未曾有の大難関にあたる使命感、危機感が作用していたことは間違いない。部会発足の翌年（1950）の「鉄と鋼」の総目次（図4）が示すように、同年の研究部会記事17件のうち5件は熱経済技術部会に関するものであった。

あとで触れるように、この部会の発足はその波及効果も含めてその後の鉄鋼業の発展に少なからぬ影響をもつものであるが、その成功の原因の一つは発足時の円滑な運営にあったといえそうである。そしてその発足に中心的役割を果たしたのが、当時の日本鉄鋼協会会長であり部会長であった山岡武である。1982年の回顧座談会のあとの懇親会の席上で、発足当時を語る諸先輩が異口同音に「山岡さんという最良のリーダーがおられたから……」とそのリーダーシップに敬服されていたのを筆者も覚えている。GHQまで関与した産官学の連携活動であっただけに、初代部会長の労苦はまた格別であったと思われる。

ところで、「熱経済技術部会」という名称はどのようにして生まれたのであろうか。当時の活動内容にふさわしい呼称であるが、このような委員会をもつ鉄鋼技術関係の機関はあまりないようである。ただしドイツ鉄鋼協会にはAusschuss für Energiewirtschaft und Wärmetechnik（エネルギー経済・熱技術委員会）がすでに1919年に創設されており、多分この委員会名にヒントを得て命名されたものと思われる。

5 草創期部会活動の諸相

部会設立後の数年は、熱管理思想の啓蒙普及の期間でもあった。部会の各活動は、当面の重要課題の解決に加えて、熱管理の考え方とその実施方法を初歩的な段階から普及することにも留意して進められた。そして設立後約10年で熱管理という思想は、具体的な技術と管理の方法論を伴って、わが国の鉄鋼業に定着した。

「熱経済技術調査団」と称する一種の熱管理巡回普及チームが結成され、全国の27工場の現地調査を開始したのは、部会設立の翌年1950年の4月である。政府（通産省鉄鋼局）からの要請に基づくものであったが、部会にとっては各工場との接触の好機ともなった。団長山岡武の下、4班（北海道班長福井眞、関東班長高橋正一、関西班長山内二郎、九州班長田中清治）に分れて調査が実施され、同年7月にはその調査結果に基づいて11工場が鉄鋼局長から表彰されている。当時の交通事情からみて、その精力的な活動が想像できよう。

各専門委員会（分科会）の活動は短期間に大きく進捗した。設楽正雄らの当時のメモによると、各専門委員会の開催はつぎのようにきわめて頻繁で、その活発なうごきがよくわかる。

熱計器専門委員会	18回	1949.7—1953.1
同小委員会	25回	
熱精算専門委員会	12回	1949.8—1951.7
加熱炉専門委員会	21回	1949.8—1952.10

なお、各専門委員会は、1955年の共同研究会組織の再編成により各分科会となったが、活動の実態は変わらなかった。活動の成果を各工場は、その都度日常の生産活動に吸収活用し、エネルギー問題を解決していったことはいうまでもない。

活動成果の具体例を若干示せば、熱計器分科会は、殆どどの重要設備への計器装着と計測についての標準的方法を決定した。その内容は「熱経済技術要覧—計測編」（日本鉄鋼協会編、丸善、1953、後日「工業計測」と改題）として刊行された。一方、熱精算、加熱炉の両分科会も「加熱炉の設計と実際並に熱精算の方式」（日本鉄鋼協会編、丸善、1954）をまとめて出版した（図5）。この2冊は理論と実際の両面を解説した貴重な参考書で、当時の熱管理分野のバイブル的な存在となった。特に窯炉に関する日本の技術書⁵⁾の少い時代であった。この両書をなつかしむ人々は最近まで少なかった。さらに部会主催の研究報告会や講習会も開催されたが、当時その稀少価値は高く、仲々の好評であったという。

1950年代の前半に、大部分の鉄鋼会社には「熱管理課」

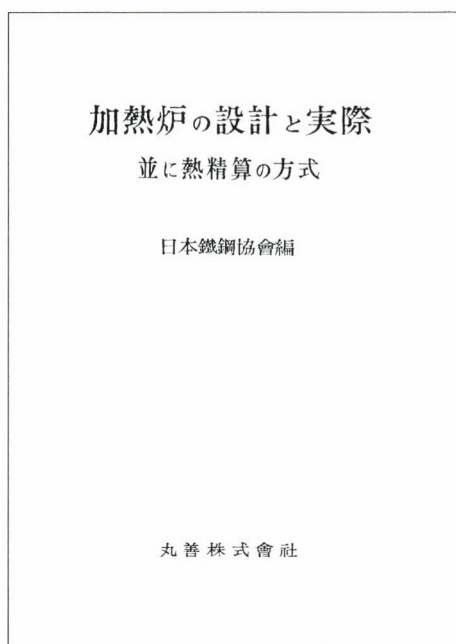


図5 刊行技術書の表紙例

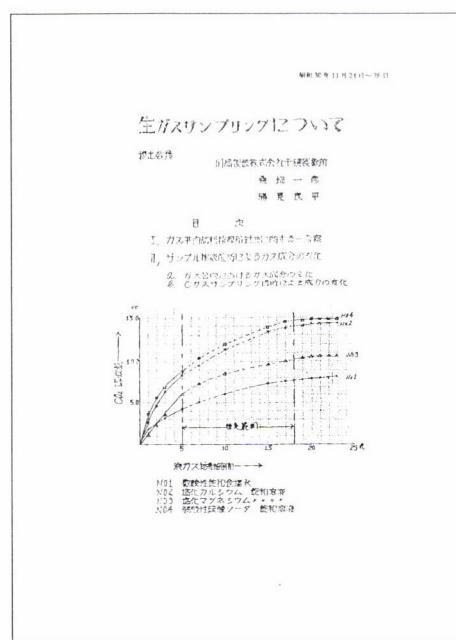


図7 当時の部会資料例 (2)

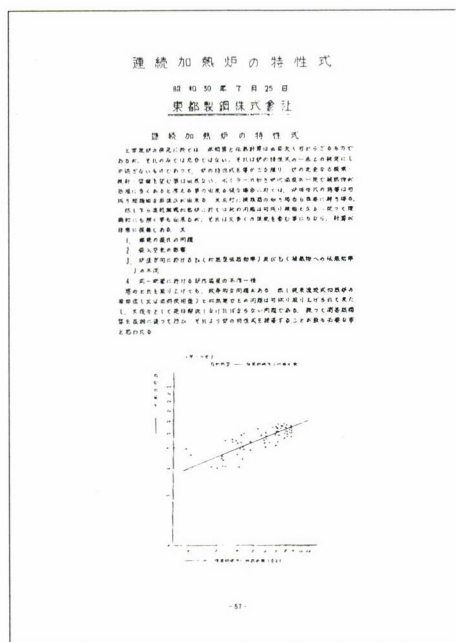


図6 当時の部会資料例 (1)

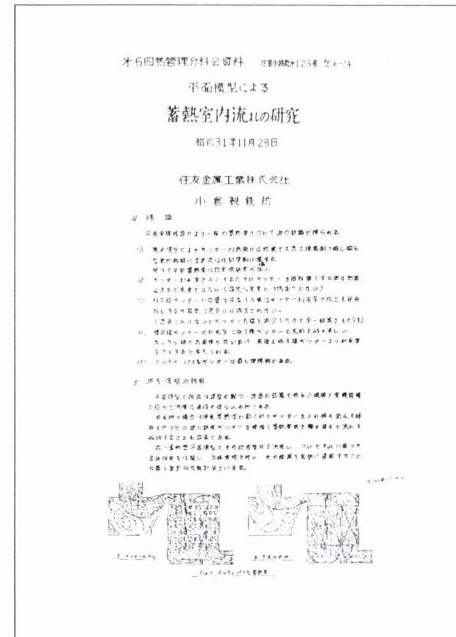


図8 当時の部会資料例 (3)

のような専任組織が設けられた。ただし、広畑・熱管理課のように戦時中（1944）に組織がつくられていたごく一部の製鉄所もあった。また各工場に「熱管理委員会」のような活動をタテ、ヨコ両面から総括推進する仕組みができるようになった。さらに、「熱管理法」に基づく資格として、国家試験による「熱管理士」制度が採用された。これらの産業界での熱管理活動への姿勢の積極化が、部会活動を一層効果的なものにしたといえる。この時期、熱管理は花形技術分野となっていた。

部会活動は、鉄鋼業の枠を越えて、他の産業分野にも波及した。特に計装メーカーとの共同研究は、多くの新しい装置の開発実用化につながった。また8t/H、14t/Hのモデル加熱炉の設計を試みたことが発端となって、工業炉メーカーとの協力関係も密接に保持され、今日の炉工業の成長に基盤を提供した。因みに粉生宗幸（中外炉工業元社長）は当時の熱心な研究協力者の一人である。断熱材料をはじめ各種の耐火物の開発にも部会活動は関与している。たとえば、均熱炉用セラミック・レキュペレーターの技術導入

や国内開発は、この部会活動と密接に関連している。

6 草創期活動の教訓

今日の状況に比べれば、この種の活動は多くの点で、きわめて不自由な時代であった。会議報告用の資料ひとつにしても、その作成にはいわゆるガリ版印刷（図6、7、8）を使用するのが普通で、コピー機などはもちろん存在しない時代であった。しかし、その活動内容は充実したものであり、当時としての最先端にあった。実際に「役に立つ」と同時に、教育的効果の大きい有意義なものが多かったという。

まず第一に、参加者全員がきわめて明確な形で問題意識と目標を共有できたことが、その成功の背景にある。「我々がやらなければ」という使命感と自負も作用している。各専門委員会のメンバーは精々30人で、学界、メーカーも含めた多様な構成であり、この少数精鋭方式にも注目する必要があるだろう。

印刷資料を補うために、口頭での説明に時間をかけたことが、参加者の少人数と相まって、深まった討論に発展したといわれる。深夜におよぶ技術上の議論が、いつの間にか「将来の鉄鋼業のあり方」論に発展し、挙句の果ては大酒宴（といっても大したご馳走はなかった時代のこと）になってしまったこともあったようである。

「あの集りは、とにかく楽しかった。」との多くの諸先輩の述懐に、部会活動の原点のようなものを筆者は実感した。「われわれは、熱管理時代をつくった戦友どうし。」という言葉のうしろには、一時代を築いた誇りと達成感を共有できる友情がある。

問題点も、反省として指摘されている。特に注目されるのは、「熱経済技術」というものは一体になのか、という疑問である。それが一つの複合技術体系であるとすれば、その要素となる、あるいはその基盤となっている科学、工学はなになのか。今後の進歩のためには、その技術体系をより明確に、強固なものとしていく必要がある、という意見である。それは、技術の研究開発や進歩向上のみならず、技術の蓄積、伝承そして人材の育成とも関連する問題であるからであろう。

たしかに、科学技術、大学教育、学協会構成などすべてにタテ割り型が主体であったこれまでの実態からみれば、「熱経済技術」は異質な存在であったと思われる。しかし、横断的、ヨコ割り型の技術体系の重要性が叫ばれる昨今からみれば、それは時代を先取りした技術体系であったともいえる。いづれにしてもその中味の議論をさらに深める必要があると思われる。

技術推進の方法論の問題もある。研究室におけるラボ・スタディよりも、実際に稼動している実機での計測などによるフィールド・スタディに重点をおく取組み方に、この分野の一つの特色がある、という意見が少くない。上記の技術体系とあわせて技術推進の方法論も、さらに検討される価値があらう。

7 当時の主要技術課題と実績データ

広範囲にわたる当時のエネルギー関連の部会活動の実態を集約することは容易ではない。しかし、部会の諸記録から当時とりあげられた主要な技術課題を、部会活動の具体的なイメージをうる意味で分類して例示するとつぎのようにならう。

①燃焼制御・燃料吹込：

高炉への重油吹込、平炉バーナーでの燃焼制御など多方面にわたる。バーナー設計や石炭から石油へのエネルギー源変換も含まれる。

②熱・流体計測：

測温、ガス分析など基本的なものから、燃焼制御の自動化検討まで、当時の先端技術がもちこまれた。計測部会活動の助走期でもあった。

③熱交換・熱回収：

高炉付属熱風炉、平炉蓄熱室、均熱炉レキュペレーターなど、その設備設計も含めて検討された。タイルレキュペレーターは、耐火物分科会設置（1966）のキッカケとなった。

④炉設計の方法：

操業条件をとりこんだ設計手法が、特に圧延用加熱炉を対象に検討され、モデル設計からモデル実炉にまで発展した。

⑤熱精算の方法：

当初からの最重要課題の一つで、比較的早く標準法が設定されたが、その後の鉄鋼プロセスの変化にあわせて検討はつづけられた。鉄鋼用熱設備の大部分について一応標準方式が作成された。

⑥環境対策技術：

煙突からの排出ばい煙、ダストの問題は1950年代末からとりあげられ、測定方法、集塵装置などの検討がおこなわれたが、この時期には未だ環境問題は本格化していない。SO_x、NO_xも含めて本格的な取組みが始まるのは、1960年代の後半（1968年：大気汚染防止法）からである。

⑦エネルギー総合管理：

当時の熱管理的アプローチは設備毎、工程毎の個別管理から積上げる方式であったが、次第にエネルギー・バランスを考慮した総合管理に変化し始めていた。そして1959年完成した戸畑エネルギーセンター（八幡製鉄所）を皮切りに、

多くの一貫製鉄所にエネルギーセンターが設置された。管理スタイルの変化と関連して、「熱管理部門の組織」も併行して議論された。

つぎに、この時期のエネルギー関連実績の主要なマクロ指標をみてみる。まず一貫製鉄所でのエネルギーの過半を消費している製鉄分野の重要指標の一つであるコークス比は大勢として低減しつつ、出鉄比は増加しつつけた(表1)。図9は比較のためより長期間のコークス比の推移⁶⁾を示したものである。戦後のそれらの実績向上の背景には、エネルギー問題への業界あげての真剣な対応努力があり、具体的には、鉬石の整粒、送風温度の上昇、また成長期の初期には重油吹込、高圧操業など、さらに炉容の拡大、酸素の利用など、つぎつぎと新しい技術が適用された経緯がある。

製鋼分野におけるエネルギー問題の改善もきわめて顕著である。1940年代には平炉熱量原単位が200万Kcal/t-steelを切ることは予想もできなかった。しかし1950年代に入ると100万Kcal/t-steelを切るようになった(表2)。この背景

表1 コークス比、出鉄比の全国平均推移

年	コークス比 (kg/t)	出鉄比 (t/m ³ ・day)
1953	838	—
1954	751	—
1955	711	—
1956	727	—
1957	715	—
1958	664	0.820
1959	632	0.989
1960	617	1.090
1961	598	1.159
1962	544	1.187

(文献中のグラフ³⁾から作成)

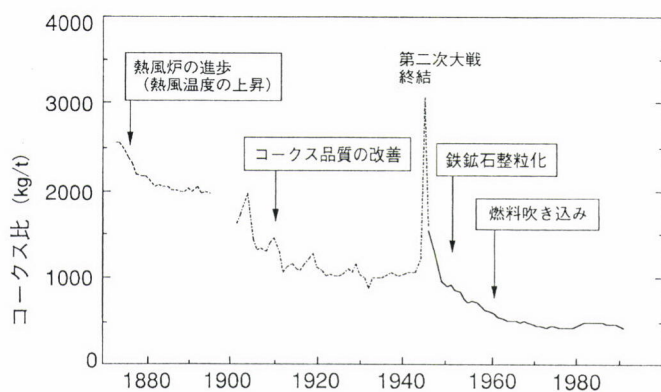


図9 コークス比の推移

1873年～1895年：イギリスの平均（ベック『鉄の歴史』より作成）
1901年～1946年：八幡製鉄所平均（八幡製鉄所八十年史より作成）
1947年以降：全国平均（鉄鋼連盟資料より作成）

としても、すでに述べたようにプラス圧操業の導入、燃料源の変更、酸素製鋼の適用など多くの新技術がある。

さらに、純酸素上吹転炉(LD法)というエネルギー消費の面からも革新的な製鋼プロセスが、1957年(八幡・洞岡)を皮切りに普及し始めた。ただし、もう一つの革新的プロセスである連続鋳造法の普及が本格化するのには、1970年代に入ってからである。

圧延分野では、均熱炉、圧延加熱炉ともにその熱量原単位に改善がみられた(表2)。溶融状態での精錬反応のないこの分野の炉は、最も早くから燃焼管理が進展し、計測制御技術の応用も普及した。またレキュペレーターなどによる廃熱回収もよく研究された。均熱炉の操業管理でのトラックタイム管理が効果を出し始めたのもこの頃で、物流管理と熱量原単位の密接な関連が実証された。また加熱炉の炉型式(たとえばバッチ式、連続式)によるエネルギー消費の相違も明確に把握できるようになり、炉設計の重要性が確認されるとともに、スキッドパイプの保温など、きめ細かい対策が種々実施された。

自家発電は、停電時の保安電源としてのみでなく、発生する余剰エネルギー(BFG、COG)の有効利用という点で、当時すでに重要なエネルギー源であった。その設備の近代

表2 全国平均熱量原単位(×10³Kcal/t-steel)

年	平 炉	均熱炉	圧延加熱炉
1953	1,357	402	567
1954	1,157	327	528
1955	1,044	282	506
1956	1,025	272	426
1957	995	271	389
1958	842	266	417
1959	758	253	379
1960	702	240	356
1961	673	236	360
1962	628	252	378

(文献中のグラフ³⁾から作成)

表3 製鉄所発電ボイラ設備の変遷³⁾

	昭和26年以前建設のもの						昭和27年以後建設のもの					
蒸気圧力	28～54kg/cm ²						27～108kg/cm ²					
蒸気温度	385～465℃						485～540℃					
蒸 発 量	20～120t/hr						70～260t/hr					
燃 料	S	P	G	S.G	P.G	O.G	S	P	G	S.G	P.G	O.G
	10基	10	10	15	55	—	—	—	—	—	10	90

S; 石炭機械焚ボイラ、P; 微粉炭燃焼ボイラ、G; 瓦散焚ボイラ、O; 重油焚ボイラ

化（大型化、高効率化）も進められた。その変遷を表3に示す。

総合エネルギー原単位 (Kcal/t-steel) の全国平均値の推移は図10のとおりで⁶⁾、この時期での激減状況を確認することができる。また、1960年代前半でのコークス炉を有する一貫工場での部門別エネルギー種別消費割合は表4のとおりで、石油の使用量が急増するのは1960年代の後半からである。

戦後のエネルギー危機の最大原因となった石炭不足も、1950年代半ばには解消した。石油への転換と石炭増産の結果で、1961年度の全国出炭量は戦後最高の5540万tを記録したが、それ以後は減産、閉山がつづく。1970年頃には80%以上が輸入炭となる。偶然の符合ではあるが、本稿執筆のための文献調査中の1997年3月下旬、新聞が三井三池炭鉱の閉山を報じていた。

8 高度経済成長期の熱管理

熱管理の思想と手法が、各社の生産現場に浸透し、やっと定着した1960年前半には、日本の鉄鋼業は完全にエネルギー危機から脱出し、高度成長期を邁進していた。粗鋼生産量は熱経済技術部会発足時の約10倍 (40,532,236t、1964年) に達していた。

欧米からの導入技術による設備拡張と増産の時代となり、熱管理の重要性は理解されながらも、そこにはかつての新鮮さや緊迫感はなくなりつつあった。「熱管理作業月報」といった種類のデータ整理作業や各種の熱管理キャンペーンも形骸化し、風化していく感じさえ出ていた。各社の熱管理部門の戦力から設備の建設企画部門や開発部門への転進者が増加し始めたのもこの頃で、熱管理に「冬の時代」がくるようにも思われた。

各社の平炉の煙突から天高く吐き出される七色の煙をみて感動した木下恵介監督が、映画「この天の虹」(主演：田村高広ほか) をつくったのは1958年頃である。筆者自身は

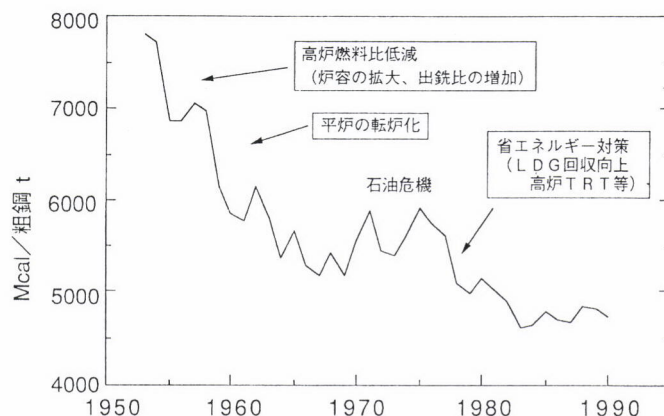


図10 粗鋼トン当たりエネルギー原単位の推移(鉄鋼業平均)
(鉄鋼連盟資料より作成)

その映画のロケーションもみたが、八幡製鉄所を舞台としたこの映画には、頼もしく躍進をつづける鉄鋼業のシンボルとしての「煙突」への畏敬がみられた。事実、当時の北九州市民も工場の煙に希望を託し、それを誇りにさえしていたように思われる。

しかし、つぎにのべるように、間もなく歴史の風向きが変る。煙突は公害のシンボルへと変身しはじめる。皮肉にもそれが沈滞していた熱経済技術活動に新しい排戦を求めることとなった。

9 第二の大波：公害とオイルショック

熱管理の時代はもう終わったと思われたこの時期、1960年代の前半に、新しい大波の襲来を予感させる問題が発生しはじめた。煙突からの排出ばい煙への規制 (1962) にはじまる一連の環境問題であった。熱管理と環境管理が業務としても融合し始めたのはこの頃である。そして、日本の粗鋼生産が1億tを超えた翌年 (1973)、オイルショックがやってきた。歴史は繰返す。まさに第二のエネルギー危機を迎えた。公害とオイルショックという第二の大波を、わが鉄鋼業がどのように乗り越えたかは、その直後の部会活

表4 一貫製鉄所の部門別エネルギー種別消費割合 (1960年代前半)³⁾

部門 エネルギー種別	製 銑	製 鋼	圧 延	動 力	工 作	運 輸	化 工	其の他	放 散	外 販	計
石 炭	40.3	—	—	1.3	—	0.1	—	0.1	—	0.3	42.1
コ ー ク ス	26.7	—	—	—	—	—	—	0.5	—	0.6	27.8
重 油	0.2	1.8	0.6	0.3	—	—	—	—	—	—	2.9
高 炉 ガ ス	4.9	—	1.0	3.1	—	—	—	0.4	1.2	—	10.6
コークス炉ガス	1.6	1.1	3.3	1.0	0.1	—	0.1	0.4	0.1	0.2	7.9
蒸 気	1.4	0.2	0.3	3.7	—	—	0.2	0.4	0.1	0.1	6.4
電 力	0.3	0.1	0.7	0.3	—	—	—	0.3	0.1	—	1.8
其 の 他	0.1	—	0.1	0.1	—	0.2	—	—	—	—	0.5
計	75.5	3.2	6.0	9.8	0.1	0.3	0.3	2.1	1.5	1.2	100.0

表5 熱経済技術関連年表

	熱経済技術部会	参 考 事 項
1945		第二次大戦終結
1946		高炉37基中3基稼動
1948		熱管理規則制定 ヘイス、マクロード技術指導開始
1949	熱経済技術部会発足（7月）	鉄鋼熱経済対策要綱制定（6月）
1950	熱経済技術調査団（4月）	
1951		熱管理法施行
1953	「熱経済技術要覧：計測編」刊行	
1954	「加熱炉の設計と実際並びに熱精算の方式」刊行	ガス事業法公布（3月）
1955	部会再編成（専門委員会を分科会に）	連続鑄造開始（住金）
1956	欧米視察団（技術管理専門）	
1957		LD転炉稼動（八幡）
1961	計測部会独立；第20回部会	国内出炭量最高記録（5540万 t）
1962		ばい煙排出規制法施行
1966	耐火物分科会	
1967		公害対策基本法施行
1968	第40回部会	大気汚染防止法施行
1975	耐火物部会独立	

動報告⁴⁾に集約されているが、いづれあらためて歴史的視点からの分析が本誌に紹介されることを期待したい。

第二のエネルギー危機では、GHQやヘイス顧問らの応援はなかったが、復興期の多くの豊富な経験は、各種の管理技法も含めて存分に活用されたといってよい。ただし、20年間の急速な成長の結果として、生産規模や技術内容は、第一次危機とは大きく相違し、また戦後に活躍した関係技術者も少なくなっていた面はあったといわれている。用語も「熱管理」から「省エネルギー」に変わり、同時に、その取組み方も個別工程・設備でのエネルギー節約を中心とする従来の方法から、工程の省略、連続化などを含むより総合的、戦略的なものに発展した。またそのエネルギー源も「石炭から石油へ」から「石油から石炭へ」と石炭への回帰がみられた。NO_x規制などの環境問題とエネルギー問題が交錯し、不可分の関係になったのもこの時期からである。

部会が創設されてからの4半世紀をみても、部会をとりまく情勢変化は大きく、その活動内容と部会の組織構成にも種々の変遷が認められる(表5)。当部会内の分科会が分離独立して計測部会(1961；現・制御技術部会)、さらに耐火物部会(1975)が生れた。したがって熱経済技術部会を含めて、これら現存する3部会の源流は、大戦直後のエネルギー危機であったということになる。

10 あとがき

歴史から学ぶべきことは多い。しかしそれは、必ずしも過去を踏襲することを意味しない。本文の随所にみられる

とおり、戦後のエネルギー危機との対決は、過去にこだわらず、「ゼロからの出発」によって成功したともいえる。その意味で、過去すなわち歴史との決別もまた歴史の教訓である。当時の諸先輩の勇氣と英知にあらためて深甚の敬意を表するものである。

本稿の執筆にあたっては、史実としての正確さに格別留意したつもりであるが、重要な事項や人名の欠落を含めて、記述の不備は多いと思われる。半世紀という時間の経過に免じてお許しをいただきたい。

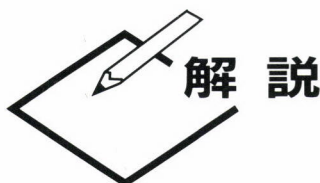
エネルギーと環境の世紀といわれる21世紀が間もなく訪れる。わが日本の鉄鋼業は、その新しい荒波も必ずや乗り切っていくであろうことを確信して筆を擱く。

資料調査に協力いただいた新日本製鐵(株)・熱流環境プロセス研究センターの各位に感謝する。

引用文献

- 1) 私信(第70回熱経済技術部会記念誌, “熱とともに—熱経済技術部会70回の歩み—”, 編集委員長: 森孝, 1982)
- 2) 山岡 武: 鉄と鋼, 36 (1950), 627.
- 3) 藤本一郎, 桑畑一彦: 鉄と鋼, 50 (1964), 962.
- 4) 片田 中: 鉄と鋼, 62 (1976), 1449.
- 5) たとえば, 橋本 享: 銅片加熱炉, 修教社, (1951); 矢木 栄, 国井大蔵: 工業窯炉, 共立出版, (1953).
- 6) 私信(杉田 清, 林 順一: 第90回熱経済技術部会特別講演資料, 1992)

(1997年7月4日受付)



「鉄鋼スラグの基礎と応用研究会」 最終報告会に参加して初心に帰る

野崎 努

川鉄テクノリサーチ(株) 常務取締役

Tsutomu Nozaki

Remembering the Early Days of Organizing "Research Group on Fundamental and Application of Steel Making Slags"

1 スラグ研究会発足前の川鉄の状況

川崎製鉄は戦後、西山初代社長が命運を賭して作り上げた今でも語られる千葉製鉄所の旧工場を閉鎖し、さらに海側を埋め立てた西工場に製鋼と圧延の両工場を新設する計画を1990年に発表した。この西工場リフレッシュ計画が提案された当時、筆者は鉄鋼プロセス研究部長を担当しており、今回上工程に新設採用された種々のプロセス開発に従事していた。開発プロセスでは、溶融還元を応用したダスト処理炉(STAR炉)¹⁾、遠心分離タンディッシュ(Centrifugal Flow Tundish)²⁾、Flow Control Mold (FCモールドと称す)³⁾、Cr鉱石の溶融還元を利用するステンレス鋼精錬法⁴⁾などである。

このような数々の新プロセスの開発研究には力が入っていた。ところが、製鉄プロセスで副生するスラグやれんが屑をどのように処置すればよいか、都市型製鉄所に脱皮するというキャッチ・フレーズを真剣に遂行しようとする、スラグと耐火物の問題は避けては通れない。鉄鋼プロセスの上記開発が順調に進むにつれ、脳裏から離れなくなってきた。

そこで、研究本部長や本社担当部署に上記スラグ等の課題を率直に答申したところ、大多数というよりは全ての人々が賛成と回答した。スラグを真摯に研究する部門を設立することが決まり一安心し、プロセス研究開発の仕上げを立派に完遂しようと鉄鋼の担当研究員に伝えた。

一安心した後、びっくりすることが起こった。発案の通りスラグや耐火物を主体に研究する「耐熱無機材料研究部」を誕生させるので、最初に言い出したものが責任を取り、部長を担当せよとのことであった。言い出して、採用された後で私はやりたくありませんとは言えない。解りましたやりましますと云う返事しか用意されていなかった。

耐熱無機材料研究部長を拝命したのは1992年1月1日で

あった。集まった研究員は6名、殆どがセラミックスの研究者であり、スラグなど知りませんと言う集団で、この難しいスラグの研究の端緒に付いた。

2 スラグ研究会発足の主旨

期せずして耐熱無機材料研究部を担当することになったが、今まで研究してきた製鋼分野とかなり異なる分野を担当することになり、研究のアプローチ方法の模索が始まった。耐火物に関しては、黒崎窯業殿、品川白煉瓦殿、大光炉材殿などのご協力により、研究所を隈無く見学させて頂いたお陰で、耐火物生産の側ではなく、使用する立場からの必要な研究項目や研究機器の設備仕様の準備が出来上がった。

反面、スラグに関しては各製鉄所の置かれた環境、立地条件があり、独自の研究展開が必要であることが認識された。しかし、スラグを販売するためのエージング技術やその基本を構成するフリー・ライムの分析法などまだ確定したとは言えない技術も多数存在し、この分野の統一・統合の重要性を感じた。このような不安を抱いた時期に、「鉄と鋼」のお知らせ欄に特定基礎研究会テーマの公募記事を見て、これに応募するしかないかと決断した。公募記事によると研究テーマの性格は、「鉄鋼企業が必要とする重要な基礎研究で、大学・国公立研究機関及び企業の共同推進が適当なテーマ」とあり、スラグの研究は正しくこれだと直感した。

そこで、色々な人達に応募したい旨を述べ、賛成して貰えると思っていたところ、1977年4月から1981年3月までの4年間特定基礎研究会で「スラグの有効利用に関する基礎研究部会」が過去に活動したと否定的な反論を受ける始末であった。活動を完了した10年後に、再び同じ研究会を設立することはおかしいという意見が多かった。筆者はこの意見にスラグ研究の異常さを感じた。製鋼精錬や凝固に

関しては毎年同じようなテーマで研究会を鉄鋼協会や学振で取り上げ実行しているのに、なぜスラグの研究会が10年前に存在したからと言って研究会設立に反対するのか、10年前の研究会と異なった展開をすれば良いし、10年前とは社会情勢がさらに厳しくなっていると反論した。

そのような背景の下ではあったが、特定基礎研究会に応募したところ、8件の応募があり4件に統合したとの報告を受けた。幸運にも筆者提案の「鉄鋼スラグの物理化学と再資源化プロセスの研究」が1993年度実施のテーマとして選ばれた。

これ以外にもスラグの研究会の必要性を提案された諸氏がおられ、以下の応募があった。

- ・横川敏雄（北大理教授）
「スラグ融体の熱力学的測定と評価」
 - ・平沢政宏（名大工講師）
「還元性ガス吹き込みによる溶融スラグ中酸化鉄の還元反応の速度論的研究」
 - ・肥田行博（新日鐵製鉄プロセス研究部主任研究員）
「多成分系高FeOx融体の流動特性」
 - ・山岡洋次郎（日本鋼管第一研究部長）
「製鋼スラグの改質と利用技術の研究」
 - ・大門正機（東工大工教授）
「転炉スラグと高炉スラグを原料とする鉄セメント」
- 1993年実施の研究テーマとして、上記5氏のスラグ関係テーマは応募者/共同研究希望機関の直接協議テーマに分類された。

3 スラグ研究会発足当時

日本国内では、あらゆる産業に於いて都市型を意識した企業活動を行う必要がある。素材製造業である製鉄業も例外ではなく、むしろ先駆的に環境問題に取り組む姿勢が重要な業界である。特に、高級品質の鋼を製造する一方で、製鉄過程で必ず発生する大量のスラグに対し、どのように取り組みを行うかは、今後の日本の鉄鋼業の最重要課題といえる。

一般にスラグを再生利用するには、製品として安定した物性を持たせるための処理が必要である。しかし、製鋼スラグは、金属の中でもっとも安価な鉄（0.07円/g）⁵⁾を製造する際に発生する副生物であることから、鉄よりさらに安い製品である。したがって、スラグを現実的に有効に活用することは、産業的にもコスト的にもきわめて困難が伴う。ただし、近年は産業廃棄物処理技術やリサイクルなどに対する注目度が高まっており、これらの技術を活かして懸案の環境問題に対処しようという機運が各産業にも浸透して

きている。

さらに近年、社会情勢は一段と厳しくなり、地球環境問題が議論され、また省資源と資源の再利用を織り込んだ経済社会への転換を目指した「再生資源の利用の促進に関する法律」が1991年10月に既に施行された。そこで、この法律を意識して、鉄鋼スラグの内、問題の多い製鋼スラグに焦点を当て、(1)スラグのリサイクル、再資源を念頭に置いた精錬プロセスやスラグの基礎物性の見直し、(2)リサイクル技術の開発、(3)再資源としての製品化技術の開発、が求められているとして、これらを本研究会の課題目標として掲げることに決定した。

本研究会の主旨は横川先生（北大理）、幹事長は永田先生（東工大）にお願いし、科学的にスラグを研究する部会が発足した。

4 製鉄スラグの発生状況

4.1 高炉スラグ

日本全国で副生する鉄鋼スラグ（高炉スラグ＋製鋼スラグ）は1995年度で37,100kt発生し、高炉スラグの発生量は約23,000kt（全体の62%）である。生成原単位で見ると1tの鉄生産で310kgの高炉スラグが発生することになる。転炉スラグと電炉スラグを合わせた製鋼スラグは14,000kt（全体の38%）である。高炉スラグの水砕化率は63%に達し、高炉水砕スラグ及び高炉徐冷スラグともに全量が有効利用されている。九州地区では高炉スラグの殆どが水砕スラグとして処理されるが、関東地区では碎石が不足しているために、鉄道用バラスや道路用建材として徐冷スラグの需要も高い。しかし、徐冷スラグを製造するには、広大な土地が不可欠であるために、スラグに要するコストは高価なものになる。

高炉スラグは、非常に安定で利用しやすい特徴を有しており、その活用率は100%である。主な用途としては、(1)高炉セメント（64%）、(2)路盤材（22.5%）、(3)ロックウール、(4)肥料、等が挙げられる。この中で路盤材には徐冷スラグが主に使用されている。高炉スラグは全般的に安い値段で利用されている現状であるが、黄水発生など以前問題となった点が解決されたために、利用率は高い。

4.2 製鋼スラグ

溶銑中のPやSを転炉精錬以前に低下させる、いわゆる溶銑予備処理法は現在では精錬の必須プロセスとなって来た。この溶銑予備処理では脱Si、脱P、脱Sの工程があり、各工程で特有のスラグが発生する。さらに、転炉スラグや鍋スラグも製鋼工程で発生するので、これらを合計すると

156kg/粗鋼tのスラグが発生する。したがって、1tの粗鋼を製造するためには、高炉と転炉の合計として約460kg/tのスラグが副生され、日本で年間約1億tの粗鋼が生産されることから一貫製鉄所と電炉メーカーから産出されるスラグ量は約37,000ktの規模となる。

現在、製鋼スラグは高炉スラグの倍以上の処理費用をかけて製品化もしくは処分している状況にある。製鋼スラグの用途としては、(1)土木用 (35%)、(2)肥料・土木改良材 (20%)、(3)高炉へのリターン (19%)、(4)路盤材 (13%)、(5)埋め立て (9%)、(6)セメント原料 (4%)、である。

埋め立ては、処理業者に委託する場合もあり、製鋼スラグは全てが製品として活用されているとは言えず、高炉スラグに比較して利用及びリサイクルするための課題が多い。

その最大の理由は、高炉スラグの塩基度 (CaO/SiO_2) が約1近傍であるのに比べ、製鋼スラグの塩基度は4ないしそれ以上もあり、未反応のCaOやMgO量が多いため、十分なエージングを要する。エージング処理が不十分な場合には膨張などの変質を起こし、路盤材として使用した道路に亀裂が入ったり、道路が波打ってしまうなどのこともかつてあった。

5 製鉄スラグ発生の抑制

鉄鉱石の還元工程を行う高炉、それに引き続く溶銑中Cの脱炭反応を行う転炉工程に於いて大量のスラグ発生がある。この膨大に発生するスラグに対し、根本的な有効利用、もしくはリサイクルの方策が確立していない現状では、むしろスラグ発生量を抑制する研究が重要である。

より効率的な製鉄プロセスを構築するためには、次の4点に注目した精錬反応の研究が重要と考えられる。(1)溶銑と処理剤との反応効率の向上、(2)溶銑の温度低下防止、(3)銑鋼間の物流の効率化、(4)反応機構の解明。このうち、(2)

は、脱P工程以外の全ての反応が低温になるほど進行が困難なためであるが、次の脱炭工程を順調に行うには温度低下防止は重要と考えられる。脱Pは石灰系フラックス主体で処理しているが、脱Sを確実に実行するためには、ソーダ系あるいはマグネシウム系フラックスを必要とする。このとき、脱P、脱S反応と溶銑中の酸素濃度の関係を解明することで、より反応機構を理解できると考えられる。酸素濃度分布測定の実験により⁶⁾、脱Pは脱P剤吹き込み位置が最も酸素分圧が高く、取鍋上部に向かうほど酸素分圧が低くなり、脱S反応サイトになっていることが判明した。

現在このような反応解析を基にして、脱P・脱Sについては石灰系フラックスを用い、厳しい規格のS値が望まれる場合は、石灰系で脱P・脱S処理した後にソーダ系あるいはマグネシウム系フラックスを用いる脱S工程が行われる。

このように製鉄反応の高効率化を行うことが出来れば、使用する反応剤はそれだけ使用量を抑制できるので、スラグ発生量の抑制に著しい効果をもたらす。スラグの発生が抑制されるようになれば、スラグの利用及びリサイクルも量的に容易になってくるものと期待される。

6 スラグ研究会中間報告会⁷⁾の内容

1995年11月4日、日本鉄鋼協会秋季講演大会に併設で鉄鋼スラグ研究会の中間報告会が開催された。広い教室にもかかわらず立ち席が出るほどの盛況であり、内容及び討議も現在の鉄鋼界が抱える一つの重要課題であるとの認識を強く感じた。プログラム構成は、(1)電気炉・製鋼スラグの現状と研究課題、(2)スラグ発生量の低減とリサイクル使用、(3)電気炉・製鋼スラグの基礎研究、(4)スラグの利用用途と高温改質、が報告及び討論され、セッションはスラグ研究の課題項目に準じ吟味された印象を受けた。

この中で森永と呉は表1に示す転炉スラグ、予備処理スラグ、電気炉スラグ、LFスラグ、高炉スラグを対象に、スラグの組成表示法としてCaO当量塩基度B値を提案した。このB値を用いて各スラグを見ると、ガラスの実験結果からB値が0.6以下では水分との反応が必要ではない。逆に図1のB値が0.6以上のNo. 1, No. 3, No. 4, No. 5, No. 6のスラグはエージングの必要があると推定している。実用的で使用可能な指針を含んだ発表であった。

7 最終報告会⁸⁾の印象

1993年から開始し、1996年度に亘る研究会の最終行事として「製鋼スラグの発生量低減と資源化」と題するシンポ

表1 Composition of Iron- and Steel-making Slags

(wt%)									
No.	Kind of Slags	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MgO	MnO	P ₂ O ₅	Total
1	BOF Slag	48	13	2	24	6	5	2	100
2	De-Si Slag	49	37	4	4	3	3	-	100
3	De-P Slag	57	13	2	12	2	8	6	100
4	De-PS Slag	58	15	2	8	2	8	7	100
5	EF Slag	29	15	10	31	7	8	-	100
6	LF Slag	54	24	9	-	13	-	-	100
7	BF Slag	44	35	14	-	7	-	-	100

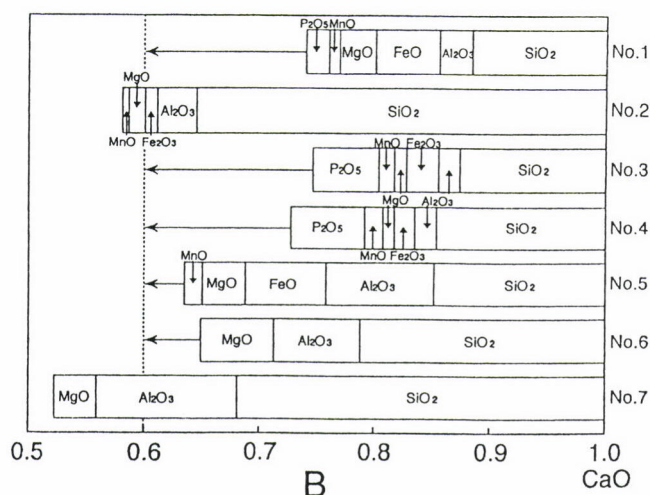


図1 Relation between water vapor aging of steel-making slags and basicity parameter B

ジウムが1997年5月19日、東京工業大学百年記念館フェライト会議室で開催された。シンポジウムには110名ほどの参加登録があり、盛況であった。韓国からも10名ほどの参加者があり、このテーマの今日性を如実に示していた。

第1部の製鋼スラグの発生量では徳田先生（東北大）から「溶鉄脱磷スラグの回生法を中心として」という基調講演に引き続き、スラグのリサイクルによる最終排出量の低減、予備処理の実状、また製鋼スラグによる脱磷の物理化学の基礎的研究の報告があった。

第2部の製鋼スラグの資源化では鉄鋼スラグ協会から「電気炉・製鋼スラグの資源化と課題」と題する全国視野の解説の後、水渡先生（東北大）による「スラグ資源化に関する従来の研究と課題」の特別講演があり、明確にフリー・ライムの定義が提出された。続いて、スラグのエージングに関する基礎研究と技術研究の報告、利用化技術の実例が報告された。佐々木先生（早大）は「Fe-Niスラグの水質浄化剤への利用」と題する特別参加の講演では、スラグの超微粒子のブラウン運動を利用した浮遊液滴の凝結を促進する浄化作用という興味ある研究成果を紹介した。

時間的な制約から、全委員からの発表はなかったが、約300ページの報告書が成果報告として出版された。地域的なスラグ排出の制約の厳しさから小出氏（住金）から転炉スラグの加圧式蒸気エージングが周到な基礎実験を踏まえて、図2に示すように、1回のスラグ処理量が50tで、3時間のサイクル処理で12,000t/月のエージング設備を世界で初めて完成させ、運転開始後2年を経過した状況が報告され、スラグ処理の取り組みの具体例として印象づけた。

もともとスラグの研究は地味であり、この研究会で皆を驚愕させるような成果を期待してはいけないう。しかし、スラグ研究の問題の所在は、スラグのリサイクルを計

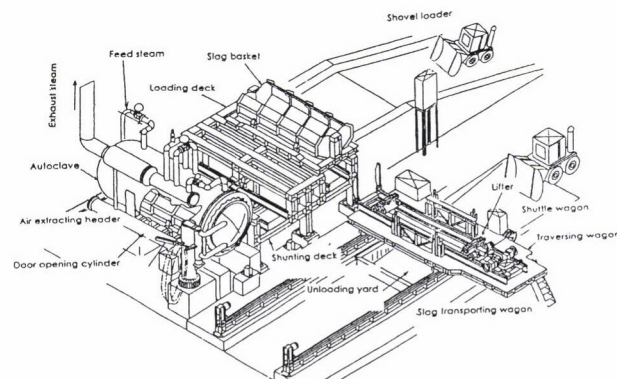


図2 General View of Wakayama SKAP (Sumitomo Kawasaki Aging Process) Plant

ることと、付加価値の高い資源として工場から送り出すことにあることは再確認できた。

さらに、予備処理が通常プロセスとなった今日では、予備処理を含めた製鋼プロセスの徹底的な見直しが次の研究課題であろう。これに加え、スラグを廃棄物としてではなく製品の一部とする素材産業を目指すことなど、来るべき次の研究会の課題が抽出されたと評価できた。

8 結言

川鉄千葉では、スラグやダストから有価金属の回収とスラグの有効利用を目的に、図3に示される斬新な溶融還元プロセス（STAR炉）¹⁾を完成させるなど、廃棄物ではなく逆に有効成分の回収に高能率を計る努力をしている。今後、より広範な技術普及とリサイクルなどの啓発により、産業界として副生物の利用に関し方向付けて行くことが肝要である。

さらに、鉄鋼界は製鉄スラグのみならず環境問題としてCO₂、NO_x、SO_x、産業廃棄物に積極的に取組む必要があり、スラグを産業廃棄物の範疇に入れないための研究が必要である。むしろ、高付加価値化のための一つとして減量化を図るなど、真剣な研究の積み重ねが要求される。

1996年の一年間をかけて製鋼部会は各プロセスを見直し、反応効率を高めることで製鋼スラグをミニマムにする研究会の必要性を検討し、1997年度からこの研究会を鉄鋼協会の高温プロセス部会の中に発足させ、活動を開始した。スラグ・ミニマムのためには、溶鉄中に存在する不純物元素とCaOとの反応効率を上げて、スラグ発生量を抑えることが製鋼プロセスに必要であり、これに対する基礎的な研究の進歩を期待したい。

製鉄業が続く限りスラグの副生は避けられず、製鉄・製鋼プロセスの専門家がスラグをミニマムにする精錬を意識したことは大きい。また数年を経過したとき、その時代背

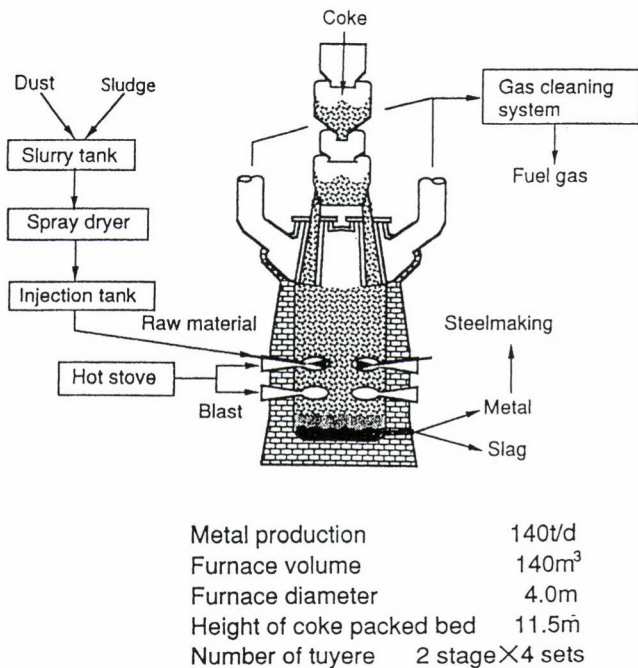


図3 Process flow of commercial plant of smelting reduction furnace in Chiba Works

景を反映したスラグの取組みを行う研究会が新たに発足することを切望したい。

本研究会の実行と成果を上げるため深甚なる努力を傾けられた横川主査、永田幹事長その他幹事と委員の皆様に厚く感謝申し上げます。筆者は研究会発足直後に関連会社に

出向となり、この研究会を提案しただけで実績はなく、研究会諸氏からひんしゅくを買い、最終報告会打上げ式では懺悔させられたことを記し、スラグ研究会発足当時の心境を締括ります。

引用文献

- 1) H. Itaya, Y. Hara, S. Taguchi, S. Hasegawa, M. Nomura and Y. Matsumoto : Rev. de Metall., (1997) 1, 63.
- 2) 三木祐司, 北岡英就, 藤井徹也, 斉藤滋之, 駒村宏一, 桜井美弦: 材料とプロセス, 7 (1994), 1200.
- 3) 井戸川聡, 戸澤宏一, 竹内秀次, 反町健一, 桜谷敏和, 杉澤元達, 森脇三郎: 材料とプロセス, 5(1992), 36.
- 4) 竹内秀次, 仲村秀夫, 桜谷敏和, 藤井徹也, 野崎 努: 鉄と鋼, 76 (1990), 1847.
- 5) 日本興業銀行: 1985年3月現在の調査
- 6) 竹内秀次, 小沢三千晴, 野崎 努, 江見俊彦, 大谷尚史: 鉄と鋼, 69 (1983), 1771.
- 7) 日本鉄鋼協会: 「鉄鋼スラグの基礎と応用研究会」中間報告書, (1995).
- 8) 日本鉄鋼協会: 「鉄鋼スラグの発生量低減と資源化」最終報告書, (1997).

(1997年8月20日受付)

本会情報一覧

記事内容	掲載号
学生会員向け'98年カナダの大学・研究所・鉄鋼会社めぐり参加者募集案内	本号894頁
「わが国における鉄鋼生産技術の歩み」掲載号変更のお知らせ	本号894頁
(財) 谷川熱技術振興基金平成9年度熱技術賞	本号894頁
計測・制御・システム工学部会フォーラムのご案内	本号895頁
計測・制御・システム工学部会賞候補者推薦募集	本号896頁
講習会「設備技術者のための実用設備診断技術」開催案内	本号896頁
材料の組織と特性部会「自主フォーラム」設置の募集	本号897頁
会費等納入についてお願い	11号830頁
ISS主催行事予定	11号830頁
第135回春季講演大会 一般講演募集案内	11号831頁
第135回春季講演大会 予告セッションへの講演申込のお誘い	11号833頁
講演大会参加方法のご案内	11号834頁
第135回春季講演大会 討論会講演募集案内	11号834頁
第135回春季講演大会 学生ポスターセッションでの発表のお誘い	11号836頁
第13回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会および第2回学生セミナーのお知らせ	11号837頁
平成10年度俵・澤村論文賞候補論文推薦に関するお知らせ	11号840頁
日本鉄鋼協会ホームページ東京ミラーサイト設置のお知らせ	11号841頁
日本鉄鋼協会専務理事交替のお知らせ	10号765頁
サイエンス・ボランティア募集案内	10号765頁
平成9年度重点研究採択結果のお知らせ	10号766頁
GALVATECH'98国際会議アブストラクト募集の案内	9号693頁

学会部門

計測・制御・システム工学部会フォーラムのご案内

当部会では計測、制御、システム各分野の基盤技術の中から現時点における最重点テーマを取り上げてフォーラム活動を行っています。本年度は「品質計測における信号処理技術」、「鉄鋼プロセスの制御モデル」、「鉄鋼業のCIM・FA化のためのシステム技術—分散環境化における生産情報の統合制御技術」の3フォーラムが活動中ですが、はじめの2つは2月に終了します。それに代わって次年度からは「計測におけるロバスト化技術」および「鉄鋼プロセスのモデリングと制御」の2つが3年間の予定で発足します。多数の会員の方が参加下さいますようご案内いたします。(ただし、モデリングと制御のフォーラムについては、現在、詳細を検討中ですので、確定され次第ご案内します。)なお、フォーラムに参加ご希望の方は申込み先まで参加フォーラム名・氏名・所属・役職・連絡先・TEL・FAX・E-mailをお知らせ下さい。

「計測におけるロバスト化技術」フォーラム

座長 藤村貞夫(東大) 代表幹事 上杉満昭(NKK)

鉄鋼プロセスにおける計測技術は、コンピュータ化されたプロセスの中で不可避免的に高信頼性を要求されることから、市販のセンサでは対応しきれない要素を強く孕んでおり、鉄鋼メーカー自身が測定原理からシステムアセンブルまでフルターンキーの開発を進めざるを得ない状況が常に存在します。こうしたセンシングシステムの方式開発においてキーとなるのが、材料ノイズやプロセス性外乱に対する計測方式・計測技術としての「ロバスト性」です。特に、近年の需要家からの高度な品質要求に対して、今後鉄鋼業界が取り組むべき微小欠陥・軽欠陥に対する高感度品質計測、あるいは品質作り込みのための高精度プロセス計測の実現など、新しい計測技術開発の中では、自ずとそのウェイトが高くなります。本フォーラムでは、鉄鋼計測における各シーズ技術分野毎に「ロバスト化」という視点に立って、以下のようなテーマで現状の計測方式を整理し課題を抽出します。さらに、官学・他業種から同じシーズ技術分野での関連技術を紹介いただき、これらを踏まえて、今後の鉄鋼計測が進むべき開発の方向を見極めるとともに、共通研究課題を発掘します。

- 1) シーズ技術分野でのロバスト化の現状と課題：光ファイバ応用計測、微小磁気計測など
- 2) ロバスト化計測の手法：パタン化、センサフュージョン、パルス圧縮など
- 3) 鉄鋼計測における信号とノイズ：鋼板表面性状とノイズ、材料物性とノイズなど

小安ビル 6 階

Tel.03-5818-6765 Fax.03-5818-6726

第178回塑性加工シンポジウム 「最近の塑性加工用金型技術」

1. 日本塑性加工学会、他
2. 1998年2月6日(金)10:00~17:00
3. 大阪大学基礎工学部国際棟シグマホール
豊中市待兼山町1-3 Tel.06-850-6196
4. 日本塑性加工学会
〒106 東京都港区六本木5-2-4
第2トリカッビル7階
Tel.03-3402-0849 Fax.03-3402-0965

HPI技術セミナー

第21回「石油等貯槽技術基準と安全性」

1. 日本高圧力技術協会
2. 1998年2月19日(木)、20日(金)
3. 自動車会館 2階大会議室(市ヶ谷)
4. 日本高圧力技術協会
〒101 東京都千代田区神田佐久間町1-11
Tel.03-3255-3486 Fax.03-3255-3488

第27回FRPシンポジウム

1. 日本材料学会
2. 1998年3月17日(火)~19日(木)
3. 同志社大学工学部(田辺キャンパス)
4. 日本材料学会「FRPシンポジウム」係
〒606 京都市左京区吉田泉殿町1-101
Tel.075-761-5321 Fax.075-761-5325

行事等予定

太字は本会主催の行事

開催期日	行事(開催地)	締切	掲載号及び頁
1997年			
12月 5日	「品質計測における信号処理技術」フォーラム見学会(つくば)	1997/11/21	11号839頁
5日	東北支部 湯川記念講演会(秋田)		11号840頁
9日	第177回塑性加工シンポジウム「冷間鍛造:精度はどこまであげられるか」(東京)		11号842頁
8, 9日	第20回材料講習会「設計者のためのこれからの材料選択」(大阪)		本号900頁
12日	東北支部 東北地区講演会(仙台)		本号897頁
12日	シンポジウム「表面・界面の新しい解析法」(東京)		本号900頁
1998年			
1月 20, 21日	第13回環境工学連合講演会「循環・共生・参加」(東京)		本号900頁
20, 21日	第47回システム制御情報学会講習会「最近のロボット技術の動向と今後の展望」(大阪、東京)		本号900頁
21日	第10回分析化学フォーラムー21世紀の分析化学を目指してー(東京)		本号900頁
22, 23日	北海道支部 平成9年度総会・評議員会・講演大会(札幌)		本号898頁
22, 23日	第26回ガスタービンセミナー(東京)		本号900頁
23日	金属学会シンポジウム「高速変形と衝撃破壊」(東京)		本号900頁
26, 27日	第6回機械・構造物の強度設計、安全性評価に関するシンポジウム(京都)		本号900頁
27, 28日	第5回超音波による非破壊評価シンポジウム(東京)		本号900頁
27, 28日	HPI技術セミナー「圧力容器関連規格の国内外動向」(東京)		本号900頁
28~30日	第70回塑性加工工学講座「圧延加工の基礎と応用」(東京)		本号900頁
29, 30日	講習会「設備技術者のための実用設備診断技術」(神戸)		本号896頁
2月 6日	第16回技術セミナー「事例で学ぶ淡水腐食とその防止」(東京)		本号900頁
6日	第178回塑性加工シンポジウム「最近の塑性加工用金型技術」(大阪)		本号901頁
19, 20日	HPI技術セミナー第21回「石油等貯槽技術基準と安全性」(東京)		本号901頁
3月 4~6日	第2回学生セミナー(知多)	1998/1/19	11号838頁
6, 10~12日	第13回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会	1998/1/19	11号837頁
6~16日	学生会員向け'98年カナダの大学・研究所・鉄鋼会社めぐり	1997/12/25	本号894頁
16日	第14回塗料・塗装研究発表会(東京)	1997/10/20	10号771頁
17~19日	第27回FRPシンポジウム(京都)		本号901頁
4月 1~3日	第135回春季講演大会(東京)	1998/1/8	11号831頁

編集後記

富士山(3776m)は何と流麗な姿をして聳えているのであろう。いつ見ても美しさに感嘆する。平安時代既に頂上に登った記録が都良香の「富士山記」に書かれているそうである。人間が到達した最高峰のその記録は約800年以上もやぶられる事なく、1523年ポポカテペテル(5452m)登頂まで続いたとのことである。この事実を知り尚一層感動した。日本人は自然の美しさや神秘さに対し、繊細な感受性を備えている。

1997年の師走を迎え、21世紀がまた一步近づいた感じがする。そして何かを期待している。一方、21世紀の世界的課題は、地球環境、資源、エネルギーである。「ふえらむ」

もそれらに少しでも役立っていけたらどんなに有意義かと思う。

かけがえのない美しい自然環境を守るために、日本の科学技術は世界に貢献することが出来る。1960年代の公害問題を克服した実績は自ずとそれを物語っているように思う。

最近「環境ホルモン」という言葉を耳にする。ダイオキシンもその例である。フロンによるオゾン層の破壊、炭酸ガスによる温暖化等々、人類の叡智がこれらの難問を解決していきますように、そして未来に希望が持てますように。

(H.O.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

副委員長 近藤 隆明 (NKK)

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

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000円 (消費税等込・送料本会負担)

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

1996年5月10日第三種郵便物認可 1997年12月1日印刷納本・発行 (毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館内 内仲康夫

印刷人/印刷所 東京都新宿区三栄町20-3 (新光オフィソーム) (株ニューマーケット)

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

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021 (代)

学会部門事務局: 03-3279-6022 (代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023 (代)

FAX: 03-3245-1355 (共通)

郵便振替 口座東京 00170-4-193 番

(会員の購読料は会費に含む)

© COPYRIGHT 1997 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

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

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

Copyright Clearance Center, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

表紙デザイン 出澤 由野

ふえらむ Vol.2 (1997) 年間索引

I. 著者別索引・・・905頁

II. 原稿種類別索引・・・906頁

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

I. 著者別索引

【あ】

- 赤沼 英男：鉄の歴史 “みちのく”の地から中世の鉄をみる (1) 44
- 浅井 滋生：報告 科研費申請にあたっては細目の決定が大切 (10) 763
- 浅井 恒雄：展望 科学技術に対する過信と不信—世紀末の科学技術と21世紀への提案「海洋開発」(3) 170
- 東 千秋：特集記事 工学・技術の生涯高等教育—放送大学産業と技術専攻の場合— (2) 108
- 足立 裕彦：展望 量子力学を応用した材料設計の将来 (3) 177
- 荒木 透：名誉会員からのメッセージ 生まれ変わる鉄鋼材料への期待 (6) 399
- 井内 徹：入門講座 計測技術編-4 非接触温度計測技術—放射測温法— (9) 661
- 石井 利和：展望 科学技術庁 金属材料技術研究所ならびに無機材質研究所における長期研究計画について (10) 725
- 石井 利和：展望 諮問第14号「物質・材料系化学技術に関する研究開発基本計画について」に対する答申の科学技術会議フォローアップ結果について (11) 805
- 石井 利和：展望 今後の我が国の物質・材料系科学技術に関する重点研究開発領域について (12) 863
- 石川 泰：鉄の歴史 灼散回顧—コークス技術抄史1945-1965— (7) 515
- 市井 康雄：解説 熱間圧延におけるエンドレス圧延の誕生 (11) 824
- 一色 孝史：報告 理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会を振り返って (2) 133
- 伊藤 茂一：特集記事 工業高校における材料技術教育 (2) 103
- 今井 健彦：解説 捕る漁業・育てる漁業 (7) 534
- 植之原道行：展望 研究開発の生産性と人材育成 (11) 800
- 内田 盛也：展望 歴史的転換期に対応する科学技術体系の再構築 (10) 719
- 宇都宮 裕：報告 石原・浅田研究助成金交付に対する報告書 延伸抑制圧延法による異形線の成形 (5) 358
- 梅本 実：入門講座 専門用語—鉄鋼材料編3 結晶粒度番号と結晶粒径 (10) 731
- Sven Eketorp：名誉会員からのメッセージ Ideas and Experiences as a Teacher in Process Metallurgy (7) 495

- 岡見 雄二：解説 伸び続ける電磁銅板 (1) 52
- 小野 修二：解説 近年の船舶の技術動向と材料関連技術 (3) 191
- Michel Olette：名誉会員からのメッセージ Fruitful Culture Mixing and New IRSID (8) 578

【か】

- 梶原 正憲：入門講座 専門用語—鉄鋼材料編2 相変態と熱力学・入門 (8) 597
- 川合 保治：名誉会員からのメッセージ 雑感—戦後50年の鉄鋼生産の推移と若い研究者へのメッセージ (4) 241
- 川上 正博：報告 北欧鉄鋼業事情 (平成9年度日本鉄鋼協会若手会員北欧研修旅行報告) (8) 616
- 岸田 宏司：解説 薄鋼板への成形性付与技術の進歩 (9) 679
- 岸田 壽夫：鉄の歴史 和魂洋才—戦後の特殊鋼製鋼技術の進歩 (1945~1965)— (9) 668
- 北川 孟：入門講座 計測技術編-2 品質評価のための計測技術 (5) 336
- 北森 俊行：入門講座 計測技術編-1 制御のための計測技術 (4) 262
- 久保田正郎：鉄の歴史 溶融亜鉛めっき鋼板の発展を促進した技術開発—終戦後から昭和30年代、トタン板の成長物語— (8) 603
- 小指 軍夫：展望 複合経営から見た鉄鋼技術系人材の活性化 (12) 870
- Lucien Coche：名誉会員からのメッセージ Technical Development Prediction : How Far Can We See ? (5) 317

【さ】

- 斉藤 正洋：解説 近年の船舶の技術動向と材料関連技術 (3) 191
- 坂本 幸一：特集記事 科学技術基本計画の策定と学術研究の振興 (2) 91
- 柴富 信博：解説 製鉄向けプラント設備・装置 (10) 748
- 新宮 秀夫：特集記事 大学院エネルギー科学研究科の創設 (2) 113
- 杉田 清：鉄の歴史 戦後のエネルギー危機を乗り越えた日本鉄鋼業—熱経済技術部会草創期の活動記録から— (12) 880
- 鈴木 朝夫：報告 必ず通る研究費申請書の書き方 (10) 761
- 鈴木 弘：名誉会員からのメッセージ 深根細根の勧め—日本の衰退の防止のために— (3) 167

【た】

館 充：名誉会員からのメッセージ 戦後原料 政策史のエピソード	(3) 169
田中 良平：名誉会員からのメッセージ 研究と開 発EFSC	(5) 318
土屋 利江：展望 生体材料としてのステンレス鋼 とチタン合金	(7) 508
轟木 信也：特集記事 小学校における科学教育－ 主として材料の教育について－	(2) 97
豊田 利夫：入門講座 計測技術編-3 設備診断 のための計測技術	(8) 592
豊田 政男：解説 不均質材力学の現状と材料開発 への展開－材料学と力学の融合を求めるインター フェイスメカニクス－	(4) 268

【な】

中澤 寛：報告 97年ISIJ学生会員のための北欧 研修に参加して	(9) 687
中村 爲昭：特別講演 メガコンペティション時代 へ向けての日本鉄鋼業の在り方	(9) 655
B.R.Nijhawan：名誉会員からのメッセージ The Iron and Steel Institute of Japan -World Renowned Institute. A Tribute and a Challenge	(1) 33
二階堂英幸：解説 熱間圧延におけるエンドレス圧 延の誕生	(11) 824
西沢 泰二：特別講演 組織制御学の進展	(8) 573
西野 誠：報告 第33回白石記念講座報告	(8) 618
入戸野 修：展望 工業高等学校の現状と科学技術 教育の課題－附属工業高等学校長を兼任した大学 教授奮戦記－	(12) 873
野坂 康雄：鉄の歴史 日本の鉄鋼生産における計 測・制御の進展	(11) 812
野崎 努：解説 「鉄鋼スラグの基礎と応用研究 会」最終報告会に参加して初心に帰る	(12) 889

【は】

浜中 人士：展望 生体材料としてのステンレス鋼 とチタン合金	(7) 508
林 昭二：報告 ガス還元炉について－国際会議 「予備還元生産物と欧州」の話題	(7) 538
林 明夫：展望 21世紀の日本鉄鋼業 第1回 需要と競争力の変化－大競争時代に向けた新たな 挑戦－	(4) 245
林 明夫：展望 21世紀の日本鉄鋼業 第2回 地球環境問題の顕在化と鉄鋼技術の進歩	(5) 320
林 明夫：展望 21世紀の日本鉄鋼業 第3回 21世紀の製鉄プロセスの展望	(6) 401
林 明夫：展望 21世紀の日本鉄鋼業 第4回 日本鉄鋼業の将来展望	(7) 497
林 明夫：展望 21世紀の日本鉄鋼業 第5回 鉄鋼技術政策の現状と展望	(8) 580
林 明夫：展望 次世代街区構想－SI21－ －安全で安心して暮らせる環境調和型長寿命住 空間の提案－	(11) 793

樋口 正昭：鉄の歴史 戦後から昭和30年代の製鉄 発展史	(10) 737
平松 博之：解説 ステンレス鋼の多様化と広がる 需要分野	(5) 343
藤井 克彦：入門講座 制御技術編-1 制御技術 の歴史と制御理論の発展	(1) 37
藤井 克彦：入門講座 制御技術編-2 製鉄業に おける制御理論の応用	(2) 125
藤井 克彦：入門講座 制御技術編-3 人に学ぶ 制御技術とその応用	(3) 183
藤原 俊朗：1996年鉄鋼生産技術の歩み－革新的製 造プロセスへの挑戦	(1) 21
堀川 一男：名誉会員からのメッセージ 日本海軍 の装甲鋳物語	(1) 35

【ま】

増本 健：報告 科学技術研究推進と研究費の現 状	(10) 755
三宅 苞：特集記事 企業における技術者教育	(2) 121
村 外志夫：解説 マイクロメカニクスの発達史	(7) 527
森 一美：名誉会員からのメッセージ 技術の萌 芽	(4) 243
森本 忠志：鉄の歴史 底吹き転炉とマグネシア・ カーボンレンガ	(6) 419

【や】

矢崎 陽一：展望 技術系図書出版の現状と今後の 課題	(6) 412
山岸 和夫：解説 陽極酸化カラーチタンの製造技 術	(4) 276
山崎陽太郎：展望 日本で発見され工業化された酸 化物磁性材料「フェライト」	(5) 332
山本 広一：解説 形鋼製造のプロセスメタラジー	(5) 351
百合岡信孝：解説 製造業を支える溶接・接合技術 の最近の進歩	(6) 430
横川 敏雄：報告 国際純正・応用化学連合第14回 化学熱力学国際会議に出席して	(4) 283

【わ】

渡辺 純夫：解説 ステンレス鋼の多様化と広がる 需要分野	(5) 343
渡辺 伸生：解説 鉄骨建築物における鋼材とその 利用技術	(3) 198
渡辺 洋一：展望 社会情勢変化の中で鉄鋼短期大 学はどのように変わったか	(4) 255

II. 原稿種類別索引

【グラフ記事】

新春鼎談 日本鉄鋼協会'97の展望と話題	(1) 2
Techno Scope 新素材の夢と現実	(1) 10
「理工系離れ」を追う	(2) 76

人工臓器の夢	(3)	152
砂漠工学が拓く希望	(4)	226
極限ロボットへの挑戦	(5)	302
地上1000mに挑む超々高層の技術	(6)	384
母なる海へ	(7)	480
抗菌のテクノロジー	(8)	558
高齢化社会を支えるテクノロジー	(9)	640
地熱エネルギーの将来を探る	(10)	704
科学・技術に貢献するシミュレーション	(11)	778
超音速旅客時代への予感	(12)	848

話題のプロジェクト・プロダクト

ヘリックス研究所	(1)	14
多チャンネルCSデジタル放送	(2)	84
電気自動車	(3)	160
ヘッド・マウンテッド・ディスプレイ	(4)	234
メガフロート	(5)	310
DVD(Digital Video Disc)	(6)	392
マイクロマシン	(7)	488
特報 産業技術歴史展テクノフェスタ21開く	(8)	566
デジタルカメラ	(9)	648
電子マネー	(10)	712
核融合	(11)	786
遺伝子組み換え作物	(12)	856

鉄の絶景 Steel Landscape

海を渡る鉄 神奈川～千葉	(1)	18
地中深くもぐる鉄～大阪～	(2)	88
情報を発信する鉄～東京～	(3)	164
生まれる鉄～西オーストラリア～	(4)	238
人を呼ぶ鉄～大阪～	(5)	314
聳える鉄～北海道～	(6)	396
集いの鉄～東京～	(7)	492
人の暮らしを支える鉄～全国～	(8)	570
夢を現実に変えた鉄～北海道・本州～	(9)	652
歓声を浴びる鉄～神奈川～	(10)	716
極寒の中に聳える鉄～北海道～	(11)	790
生命を守る鉄～島原～	(12)	860

【特別講演】

組織制御学の進展／西沢泰二	(8)	573
メガコンペティション時代へ向けての日本鉄鋼業の 在り方／中村爲昭	(9)	655

【鉄鋼生産技術の歩み】

1996年鉄鋼生産技術の歩みー革新的製造プロセスへ の挑戦／藤原俊朗	(1)	21
---------------------------------------	-----	----

【名誉会員からのメッセージ】

The Iron and Steel Institute of Japan -World Renowned Institute. A Tribute and a Challenge ／B.R.Nijhawan	(1)	33
日本海軍の装甲鉄物語／堀川一男	(1)	35
深根細根の勧めー日本の衰退の防止のためにー ／鈴木弘	(3)	167
戦後原料政策史のエピソード／館充	(3)	169
雑感ー戦後50年の鉄鋼生産の推移と若い研究者への メッセージ／川合保治	(4)	241

技術の萌芽／森一美	(4)	243
Technical Development Prediction : How Far Can We See ?／Lucien Coche	(5)	317
研究と開発EFSC／田中良平	(5)	318
生まれ変わる鉄鋼材料への期待／荒木透	(6)	399
Ideas and Experiences as a Teacher in Process Metallurgy／Sven Eketorp	(7)	495
Fruitful Culture Mixing and New IRSID／Michel Olette	(8)	578

【「理工学教育最前線特集」特集記事】

科学技術基本計画の策定と学術研究の振興／ 坂本幸一	(2)	91
小学校における科学教育ー主として材料の教育につ いて／轟木信也	(2)	97
工業高校における材料技術教育／伊藤茂一	(2)	103
工学・技術の生涯高等教育ー放送大学産業と技術専 攻の場合ー／東千秋	(2)	108
大学院エネルギー科学研究科の創設／新宮秀夫	(2)	113
企業における技術者教育／三宅苞	(2)	121

【展 望】

科学技術に対する過信と不信ー世紀末の科学技術と 21世紀への提案「海洋開発」／浅井恒雄	(3)	170
量子力学を応用した材料設計の将来／足立裕彦	(3)	177
21世紀の日本鉄鋼業 第1回 需要と競争力の変化 ー大競争時代に向けた新たな挑戦ー／林明夫	(4)	245
社会情勢変化の中で鉄鋼短期大学はどのように変わ ったか／渡辺洋一	(4)	255
21世紀の日本鉄鋼業 第2回 地球環境問題の顕在 化と鉄鋼技術の進歩／林明夫	(5)	320
日本で発見され工業化された酸化物磁性材料「フェ ライト」／山崎陽太郎	(5)	332
21世紀の日本鉄鋼業 第3回 21世紀の製鉄プロセ スの展望／林明夫	(6)	401
技術系図書出版の現状と今後の課題／矢崎陽一	(6)	412
21世紀の日本鉄鋼業 第4回 日本鉄鋼業の将来展 望／林明夫	(7)	497
生体材料としてのステンレス鋼とチタン合金／浜中 人士・土屋利江	(7)	508
21世紀の日本鉄鋼業 第5回 鉄鋼技術政策の現状 と展望／林明夫	(8)	580
歴史的転換期に対応する科学技術体系の再構築／ 内田盛也	(10)	719
科学技術庁 金属材料技術研究所ならびに無機材質 研究所における長期研究計画について／石井利和	(10)	725
次世代街区構想ーSI21ーー安全で安心して暮らせる 環境調和型長寿命住空間の提案ー／林明夫	(11)	793
研究開発の生産性と人材育成／植之原道行	(11)	800
諮問第14号「物質・材料系科学技術に関する研究開 発基本計画について」に対する答申の科学技術会 議フォローアップ結果について／石井利和	(11)	805
今後の我が国の物質・材料系科学技術に関する重点 研究開発領域について／石井利和	(12)	863
複合経営から見た鉄鋼技術系人材の活性化／		

小指軍夫	(12) 870
工業高等学校の現状と科学技術教育の課題－附属工 業高等学校長を兼任した大学教授奮戦記－／ 入戸野修	(12) 873

【入門講座－制御技術編】

1 制御技術の歴史と制御理論の発展／藤井克彦	(1) 37
2 製鉄業における制御理論の応用／藤井克彦	(2) 125
3 人に学ぶ制御技術とその応用／藤井克彦	(3) 183

【入門講座－計測技術編】

1 制御のための計測技術／北森俊行	(4) 262
2 品質評価のための計測技術／北川孟	(5) 336
3 設備診断のための計測技術／豊田利夫	(8) 592
4 非接触温度計測技術－放射測温法－／井内徹	(9) 661

【専門用語－鉄鋼材料編】

2 相変態と熱力学・入門／梶原正憲	(8) 597
3 結晶粒度番号と結晶粒径／梅本実	(10) 731

【鉄の歴史】

“みちのく”の地から中世の鉄をみる／赤沼英男	(1) 44
底吹き転炉とマグネシア・カーボンレンガ／ 森本忠志	(6) 419
灼骸回顧－コークス技術抄史1945-1965／石川泰	(7) 515
溶融亜鉛めっき鋼板の発展を促進した技術開発 －終戦後から昭和30年代、トタン板の成長物語－ ／久保田正郎	(8) 603
和魂洋才－戦後の特殊鋼製鋼技術の進歩（1945～19 65）－／岸田壽夫	(9) 668
戦後から昭和30年代の製鉄発展史／樋口正昭	(10) 737
日本の鉄鋼生産における計測・制御の進展／ 野坂康雄	(11) 812
戦後のエネルギー危機を乗り切った日本鉄鋼業－熱 経済技術部会草創期の活動記録から－／杉田清	(12) 880

【解 説】

伸び続ける電磁鋼板／岡見雄二	(1) 52
近年の船舶の技術動向と材料関連技術／小野修二・ 齊藤正洋	(3) 191

鉄骨建築物における鋼材とその利用技術／渡辺伸生	(3) 198
不均質材力学の現状と材料開発への展開－材料学と 力学の融合を求めるインターフェイスメカニク ス－／豊田政男	(4) 268
陽極酸化カラーチタンの製造技術／山岸和夫	(4) 276
ステンレス鋼の多様化と広がる需要分野／渡辺純夫 ・平松博之	(5) 343
形鋼製造のプロセスメタラジー／山本広一	(5) 351
製造業を支える溶接・接合技術の最近の進歩／ 百合岡信孝	(6) 430
マイクロメカニックスの発達史／村外志夫	(7) 527
捕る漁業・育てる漁業／今井健彦	(7) 534
薄鋼板への成形性付与技術の進歩／岸田宏司	(9) 679
製鉄向けプラント設備・装置／柴富信博	(10) 748
熱間圧延におけるエンドレス圧延の誕生／ 二階堂英幸・市井康雄	(11) 824
「鉄鋼スラグの基礎と応用研究会」最終報告会に参 加して初心に帰る／野崎努	(12) 889

【現場技術報告】

冷延コイル無人搬送システムの概要／ 吉原敦・藤原圭三・橋本寿一郎・芝尾健・脇坂毅	(9) 684
---	---------

【報 告】

理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会を振り 返って／一色孝史	(2) 133
国際純正・応用化学連合第14回化学熱力学国際会議 に出席して／横川敏雄	(4) 283
石原・浅田研究助成金交付に対する報告書 延伸抑 制圧延法による異形線の成形／宇都宮裕	(5) 358
ガス還元炉について－国際会議「予備還元生産物と 欧州」の話題／林昭二	(7) 538
北欧鉄鋼業事情（平成9年度日本鉄鋼協会若手会員 北欧研修旅行報告）／川上正博	(8) 616
第33回白石記念講座報告／西野誠	(8) 618
97年ISIJ学生会員のための北欧研修に参加して／ 中澤寛	(9) 687
科学技術研究推進と研究費の現状／増本健	(10) 755
必ず通る研究費申請書の書き方／鈴木朝夫	(10) 761
科研費申請にあたっては細目の決定が大切／ 浅井滋生	(10) 763

ふらむ Vol.2 No.12 広告目次

表2 住友金属テクノロジー(株)

試験分析サービス

前1 日本機械技術(株) 遠心送風機

前2 丸本ストルアス(株) 試料準備機器

後1 本誌広告目次

TEP(株) カルシア

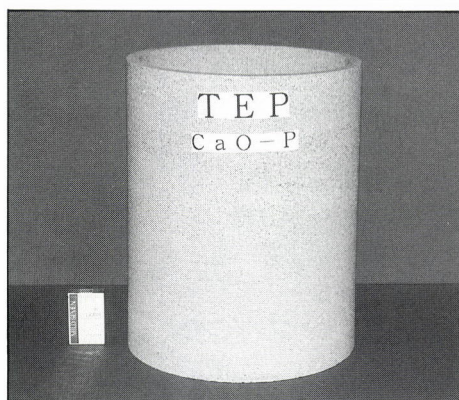
後2 大野ロール(株) 各種圧延機

表3 (株)大同分析リサーチ 試験分析サービス

表4 日本アナリスト(株) 炭素分析装置

本誌広告取扱 (株)協会通信社 TEL.03-3571-8291 FAX.03-3574-1467 / (株)共栄通信社 TEL.03-3572-3381 FAX.03-3572-3590 / (株)スノウ TEL.03-3257-9565 FAX.03-3257-9568

多孔質“カルシア”セラミックス CaO-P



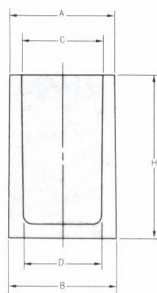
φ360×φ320×h460(上図サイズ)

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

【用 途】

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

るつぽ標準規格 寸法表▶



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

規格寸法以外もご相談に応じます。

熱の総合メーカー

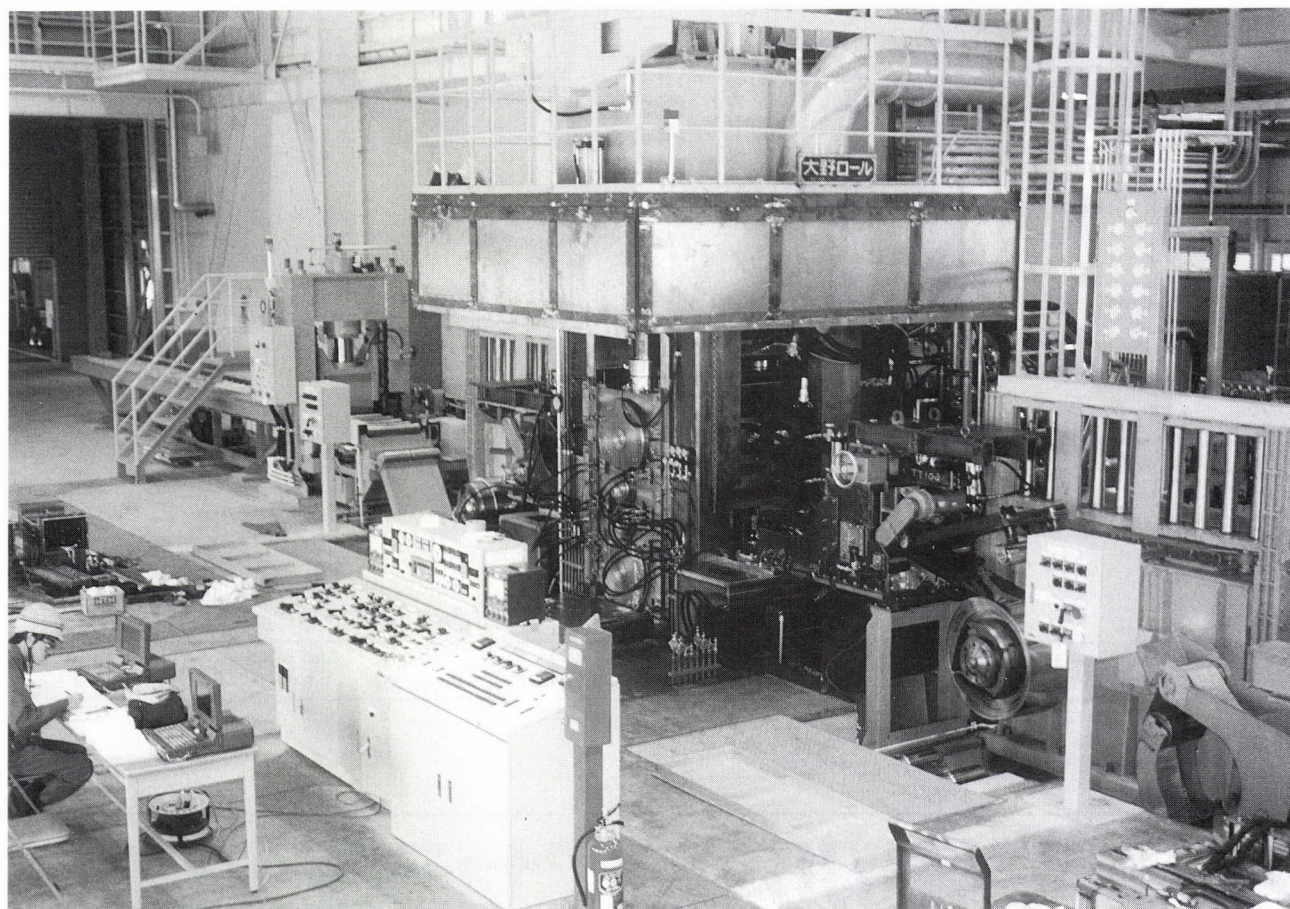
TEP株式会社

本社

〒124 東京都葛飾区小菅2-20-4

TEL (03)3602-2992(代) FAX (03)3601-5120

生産用に、研究用に。 技術と経験が役立ちます。



24型 2/4段 圧延機

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

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

機械の選定・探索テスト
に御利用下さい。

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



大 野 ロール 株 式 会 社

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

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

—— 80年の歴史と実績 ——
大同特殊鋼グループ

プロの目で お応えします。

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

材料解析

実施例／各種材料の
破断原因調査

腐食試験

実施例／金属、ステンレス等の
沸騰試薬腐食試験

分析調査

化学成分分析

実施例／鉄鋼、非鉄金属の
成分分析

環境分析

実施例／産業廃棄物の分析
工場排水の測定

大同特殊鋼グループの総合試験分析研究会社



株式会社 大同分析リサーチ

DAIDO BUNSEKI RESEARCH, INC. ; DBR

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

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

E-MAIL: jshimogo@dbr.daido.co.jp

米国 LECO 社製 WC-200

— 最新型 —

炭素分析装置

高炭素含有量域の精度向上

分析対象物質：各種セラミックス・耐火物(SiC、TiC)
鉄、鉄鋼、フェロアロイ、非鉄金属、鉱石、触媒等



本体寸法／W700、H775、D600mm

製造プロセスの工程管理や製品の品質管理に威力を発揮します。

■ 広く高精度な分析範囲

測定範囲：40ppm～4.0% (1g試料)

測定範囲は、試料重量を変えることにより広がります。

分析精度：20ppmまたは0.15%RSD

(いずれか大きい方)

■ 分析時間 3 分以内

■ 高周波燃焼法/赤外線吸収方式

姉妹炭素分析装置

IR-412型

高感度(0.1ppm)分析用

C-400、C-200型

ルーティン分析用

日本国内では、日本アナリストの定評あるサービス態勢がLECO分析装置の精度・信頼度を一層高いものにしています。
本社(東京五反田)には、常設展示場と分析研究室があり、分析技術のご相談を承っております。



日本総代理店

日本アナリスト株式会社



ISO-9001
No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

本 社 〒141-0031 東京都品川区西五反田3-9-23 ☎(03)3493-7281代 FAX(03)5496-7935
大阪支店 〒560-0023 大阪府豊中市岡上の町2-6-7 ☎(06) 849-7466 FAX(06) 842-2260
九州営業所 〒804-0003 北九州市戸畑区中原新町2-1(北九州テク/センター) ☎(093)884-0309 FAX(093)873-1190