

ふえらむ

Vol.2 No.10 1997

(社)日本鉄鋼協会会報

Bulletin of

The Iron and Steel

Institute of Japan



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

ホームページ <http://www.isij.or.jp>

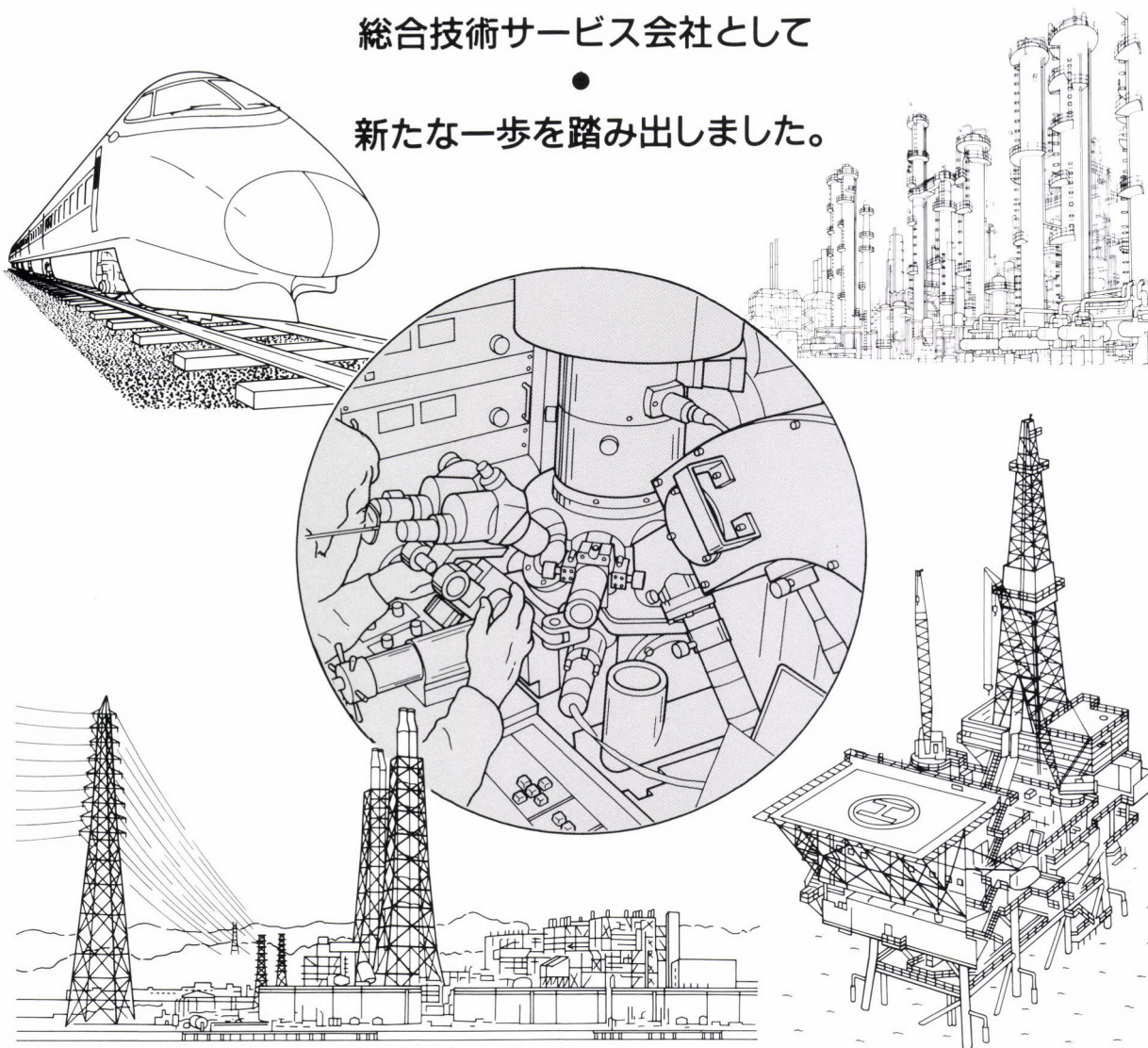
まだまだ広がる

テクノロジーの未来

住友金属工業株の永年の技術と経験の蓄積をバックにした

●
総合技術サービス会社として

●
新たな一歩を踏み出しました。



住友金属テクノロジー株式会社

(本社)
(受託研究事業部)
(関西事業部)

(尼崎)
(大阪)

(和歌山事業部)
(小倉事業部)
(鹿島事業部)
(鉄道産機事業部)
(OCTG事業部)

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



人と社会と環境へ。計測と制御。

INTERMAC'97 (国際計測工業展)

INTERMAC'97

INTERMAC'97

INTERMAC'97

INTERMAC'97

INTERMAC'97

INTERMAC'97

INTERMAC'97

INTERMAC'97

10/21 (火)~24 (金) 10:00~17:00

東京ビッグサイト

[有明・東京国際展示場]

■入場無料

■基調講演／新技術説明会

- 主催  社団法人 日本電気計測器工業会
- 後援 外務省/通商産業省/科学技術庁/日本貿易振興会
- 〈同時開催〉 社団法人 計測自動制御学会主催 シンポジウム

基調講演 参加料:各5,000円 (事前登録制)

- ① 日 時: 10/21 (火) 13:00~15:00
テーマ: 「光通信の未来とそのキーテクノロジー」
講 師: 工学博士 西澤 潤一氏
(東北大学名誉教授)
- ② 日 時: 10/22 (水) 13:00~15:00
テーマ: 「プロセスオートメーションの将来とフィールドバスの動向」
講 師: Mr. John Berra
(フィールドバス協会会長)

新技術説明会 参加料無料

10/21 (火)~24 (金) 11:00 ~ 17:00

■お問い合わせ先: 〒105東京都港区虎ノ門1-9-10 TEL: 03-3502-0601 FAX: 03-3502-0600 URL <http://www.jemima.or.jp>

**あなたの事業に
ぴったりの提案を、
世界のどこへでも
お届けできる
パートナーを
お望みですか？**

**ご相談ください、
私たちに。**

**工業用ガスのイノベーター「エア・リキード」なら、
あなたのご要望に添った生産性向上策を
世界のどこへでもお届けします。**

エア・リキードは、工業用ガスではトップのシェアを誇る世界最大のイノベティブ・グループです。60数カ国に及ぶサービスネットワークを通じて、全世界100万社以上のお客様に、個々のご要望

に添った様々な解決策を提供してきました。

規模の大小や、業種・エリアにかかわらず

「工業ガス」のことならどんなご相談にもお応えできる、エア・リキードならではのグローバルスケールの

集積ノウハウをご活用いただいています。もちろん、あなたのケースにも、お近くのエア・リキードが、きっとお役に立ちます。日本ではテイサンがご相談にお応えします。 <http://www.jp.airliquide.com>



AIR LIQUIDE

TM

提案します、明日が見える生産性。

テイサン株式会社（日本エア・リキード）



ふえらむ

Vol.2 (1997) No.10

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	地熱エネルギーの将来を探る	2
話題のプロジェクト	電子マネー	10
鉄の絶景	歓声を浴びる鉄 ～神奈川～	14
展 望	歴史的転換期に対応する科学技術体系の再構築 (社)日本工学会副会長 内田盛也	17
	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 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	23
入門講座	結晶粒度番号と結晶粒径 豊橋技術科学大学工学部生産システム工学系教授 梅本実	29
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 戦後から昭和30年代の製鉄発展史 元製鉄部会長 樋口正昭	35
解 説	製鉄向けプラント設備・装置 三菱重工業(株)広島製作所製鉄機械設計部部長 柴富信博	46
科学研究費補助金の申請に向けて	科学技術研究推進と研究費の現状 (財)電気磁気材料研究所所長 増本健	53
	必ず通る研究費申請書の書き方 高知工科大学副学長(工学部長) 鈴木朝夫	59
	科研費申請にあたっては細目の決定が大切 名古屋大学工学研究科材料プロセス工学専攻教授 浅井滋生	61
本会情報		62

ホームページ <http://www.isij.or.jp>

地熱エネルギーの 将来を探る

——地球の体温を利用する技術——

地球の内部には、
どろどろに溶けた高温の物質がつまっている。
地上のわれわれには、火山の噴火という形でしか
目にはすることはできないが、
膨大な熱エネルギーが地下に眠っていることは、
疑う余地のない事実である。
もし、このエネルギーを自在に取りだし、利用できる技術が開発できたなら。
二酸化炭素による温室効果、
資源的な枯渇、
薄氷を踏むとき国際情勢——といった不安から自由な、
自給・再生可能なエネルギーが得られるはずである。
しかし、現実には容易ではない。
地熱発電の技術は、比較的古くから開発され、実績もあるとはいえるものの、
現在、全国16カ所にある地熱発電所の総出力を合計しても
火力や原子力の大型発電所約半基分程度にすぎない。
だが地球のエネルギーとは、本当にその程度のものなのだろうか。
地熱発電の実態を再見するとともに、
その可能性を探ってみる。

写真：イメージ/
キラウエア火山の噴火

地熱はポスト化石燃料の主役になりうるか？

—炭酸ガス排出量が少ない 大出力クリーン・エネルギーへの道—

CO₂（炭酸ガス）の削減が国際的な重要課題となっている昨今、さまざまな新エネルギー開発にかけられる期待は大きい。しかし現状、それらの新エネルギーが、全需給量のなかで大きな割合を負担できる可能性は見出せていない。そうした中で、出力規模、また資源量という点で、大きなポテンシャルを秘めているといわれるのが地熱エネルギーである。比較的古くから実用化が進んできたこともあり、ハイテクイメージはむしろ稀薄な感のある地熱発電の技術だが、将来へ向けての新たなテクノロジーの芽も生れようとしている。地熱発電の現状と将来性を概観してみよう。

古い開発の歴史をもつ地熱発電

1904年、イタリア・トスカナ地方ラルデレロで、ピエロ・ジノリコンティが、この地に発生する天然の蒸気を利用して発電機を回すことに成功。これが世界初の地熱発電とされる。この時は3/4馬力の発電機を用いて5個の電灯を点したのみにとどまったが、1913年にはこの地に世界初の地熱発電所（出力250kW）が建設されることとなる。

日本では、戦前に太刀川平治博士らが別府で1.3kWの地熱発電実験を行ったのが最初とされ、1925年、すなわち大正14年のことだった。ラジオ放送が開始され、国内で最初のトーキ

ー映画の試写が行われた年である。地熱発電の歴史はそれほどに古い。とはいえ、国内で本格的な地熱利用への取組みがなされるようになっていったのは、戦後の電力不足の時代になってからだった。復興への原動力として、各地で小規模な試験発電が行われるようになり、1966年岩手県松尾村に日本重化学工業の松川地熱発電所（出力9,500kW）が完成した。

その後オイルショックを迎えると、純国産エネルギーとしての地熱発電への関心は一挙に高まった。この時期、経営多角化へのステップとしても多くの企業が地熱開発に関心を寄せた。国内で得られ、国際情勢や産油国のおもわくに左右されず、自給が可能なエネルギー源である点に期待が集まったようだ。また将来の石油資源枯渇に対する警鐘が発せられ始めたこともあり、なかばブームのように地熱発電が脚光を浴びることとなった。

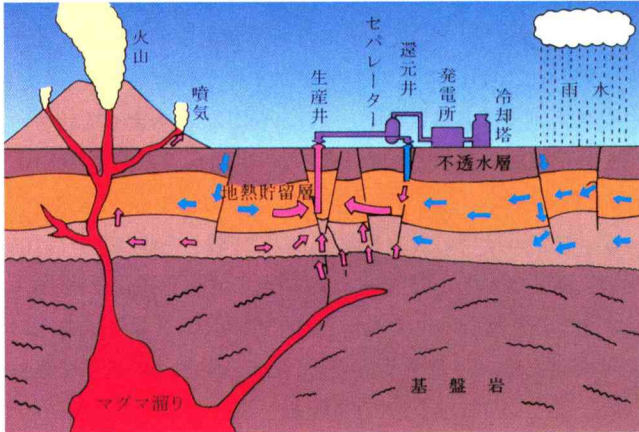
この時期、多くの地熱発電所の調査・開発が行われたが、皮肉なことにその後1980年代に入ってからのは為替の変動相場制、円高などの影響により、輸入エネルギーの原価が大きく低下してゆき、地熱のコスト競争力が、相対的に弱いものになってしまった。近年、地熱発電所が続々と完成し、平成8年に

日本国内で稼働している地熱発電所

	発電所名	発電部門	蒸気供給部門	認可出力 (kW)	運転開始
電気事業用	大岳	九州電力(株)	九州電力(株)	12,500	1967.8.12
	鬼首	電源開発(株)	電源開発(株)	12,500	1975.3.19
	八丁原1号、2号	九州電力(株)	九州電力(株)	55,000(1号) 55,000(2号)	1977.6.24 1990.6.22
	葛根田1号	東北電力(株)	日本重化学工業(株)	50,000	1978.5.26
	葛根田2号		東北地熱エネルギー(株)	30,000	1996.3.1
	森	北海道電力(株)	道南地熱エネルギー(株)	50,000	1982.11.26
	上の岱	東北電力(株)	秋田地熱エネルギー(株)	28,800	1994.3.4
	山川	九州電力(株)	九州地熱(株)	30,000	1995.3.1
	澄川	東北電力(株)	三菱マテリアル(株)	50,000	1995.3.2
	柳津西山	東北電力(株)	奥会津地熱(株)	65,000	1995.5.25
	大霧	九州電力(株)	日鉄鹿児島地熱(株)	30,000	1996.3.1
	滝上	九州電力(株)	出光大分地熱(株)	25,000	1996.11.1
自家用	松川	日本重化学工業(株)	日本重化学工業(株)	23,500	1966.10.8
	大沼	三菱マテリアル(株)	三菱マテリアル(株)	9,500	1974.6.17
	杉乃井	(株)杉乃井ホテル	(株)杉乃井ホテル	3,000	1981.3.6
	霧島国際ホテル	大和紡観光(株)	大和紡観光(株)	100	1984.2.23
	岳の湯地熱	廣瀬商事(株)	廣瀬商事(株)	105	1991.10.19
合計				530,005	

開発が具体化しているもの

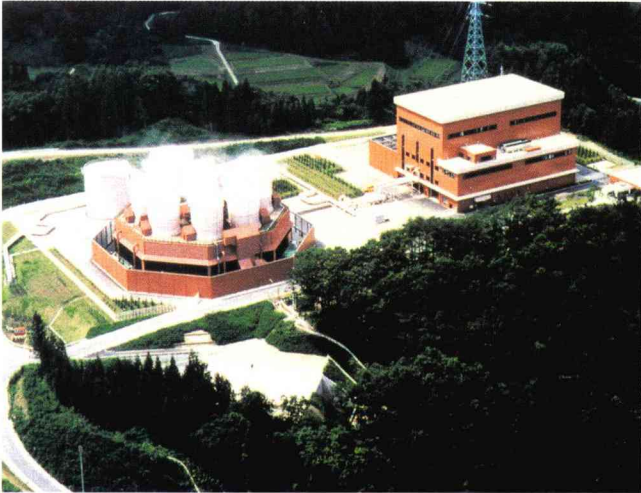
地点名	発電部門	蒸気供給部門	開発目標 (kW)	運転開始予定
八丈島	東京電力(株)	東京電力(株)	3,300	1999
小国	電源開発(株)	電源開発(株)	20,000	2000



地熱発電の概念



日本で最初の本格的地熱発電所である日本重化学工業・松川発電所。30年にわたり安定した稼働率で運転が続けられている（23,500kW）



国内最大規模の出力をもつ柳津西山発電所（65,000kW）

は関係団体が「地熱発電50万kW(国内合計)達成記念事業」を開催したが、相次いで完成した地熱発電所の大半は、オイルショック後の頃に調査が始められたものだった。

現在国内では、電気事業用11、自家用5、合わせて16カ所の地熱発電所が運転されている。その出力合計は約53万kW。1発電所の最大のものでは6万5,000kWくらいの規模となっている。電気事業用の火力や原子力では1基あたりの出力は100万kW前後のものが多いから、現時点で地熱発電は全国16カ所すべての発電所の出力を合わせても、火力・原子力などの大規模発電所の半基分程度だということになる。それでも目下のところ太陽電池が数100kW級、風力が数1,000kW級であるのにくらべると、地熱はポスト化石エネルギーのポテンシ



世界最大の地熱地帯ガイザースにある地熱発電所（写真提供：東芝）



フィリピンのパリンピノンにある地熱発電所（写真提供：富士電機）

平均的発電コストの比較

電源種別	建設単価 (kW当たり)	耐用年発電原価 (送電端) (kWh当たり)
一般水力	64万円	13円
石油火力	19万円	11円
石炭火力	23万円	10円
LNG火力	20万円	10円
原子力	31万円	9円
地熱	60～70万円	13～16円 (補助金付)

NEDO資料より



地熱の掘削に使われるトリコーンビット。タングステン・カーバイト製の3つの刃先を回転させることで岩盤を掘削する

ルとしては、きわめて大きな可能性を秘めているといえる。発電コストにしても、火力や原子力には劣るものの、15年間の利用を前提に割り出した地熱電力の発電コストは約13円/kWhと、水力発電にほぼ匹敵する数値となっている。しかし、いまや開発への動きは鈍く、現在建設中の設備として小規模な発電所2基があるものの、新たな地熱発電所建設への動向はない。むしろ新たな開発よりは既存発電所の容量アップを目指すという雰囲気が強くなってきているようにも見える。

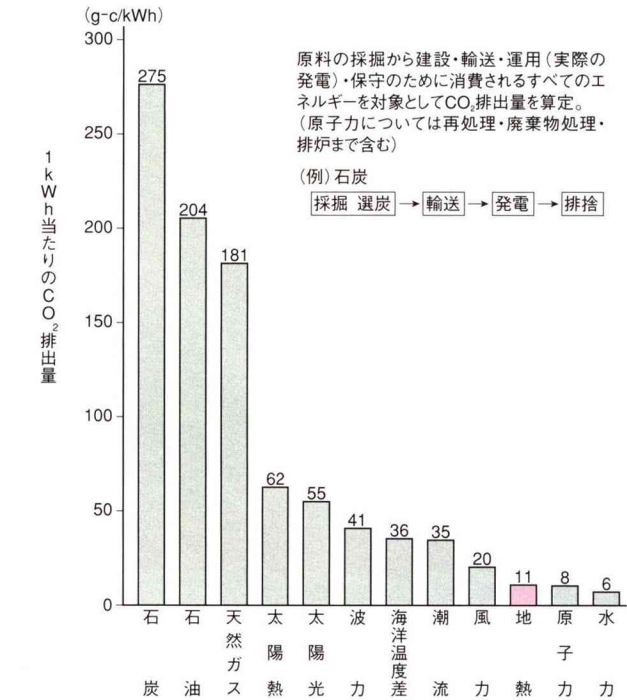
地熱発電では、蒸気が出るまでを担当するディベロッパーと、それを購入して発電を行う電力会社関わってくる。前者にとっては、当たり外れがあって開発のリスクが高いことが、また後者にとっては地元との調整などで他の発電所と同様の手間がかかるわりに発電規模が小さいということが、マイナスに働いているようだ。長期におよぶ調査・開発のリスク負担を軽減して地熱開発を促進していくために、現在はNEDOが調査の工程を受け持つ体制になっているが、開発期間、発電所運転開始までの期間の短縮は、いまだ地熱開発にあたっての重要な課題となっているようである。

海外で運転されている大出力の地熱発電所

いわば手間がかかるわりには比較的小さな出力しか得られないことが、地熱開発の足踏み状態の原因となっているわけだが、海外へ目を向けてみると、きわめて大出力の地熱発電設備も現実に存在していることがわかる。米国カリフォルニアのガイザースは、約80km²にわたる地域にいくつもの発電設備が散在する世界最大規模の地熱地帯であり、1960年に1万1000kWの発電所が建設されて以来、着々と開発が進められてきた。その発電設備容量は最大時の1989年には、200万kWに達していた。広大な地域に分散するすべての発電設備の総容量ではあるが、原発2基分に相当する電力が地熱によって得られていたことになる。その後、ガイザースでは蒸気の取り過ぎによって蒸気生産量が減衰して、1995年には110万kW程度となってしまう、発電量回復が目下の課題となっている。しかし相当量の電力を地熱から得ることが可能だということは、ガイザースの例から学ぶことができそうだ。

アメリカはガイザースを中心に全国で約285万kW（1996年現在）の地熱発電の設備容量を持っている。それに次ぐのはフィリピンで、総計140万kWに達する。フィリピンの場合、驚くべきは地熱発電の比率が国内全電力設備の20%以上を占めていることだ（日本は0.3%程度）。米国や日本とは電力需要量自体が違うとはいえ、地熱が現時点で1国の電力エネルギーの2割を負担しているという事実には着目してもよさそうだ。フィリピン最大級の地熱発電所パリンピノンIIは、合計出力80万kWに達する。いくつかの発電設備の合計とはいえ、この出力は、火力や原子力の100万kWという数字と比べても、見劣りするものではないだろう。

総出力ではフィリピンに次いでさらにメキシコ、イタリアと続き、日本は現状、地熱発電を行っている22カ国中5番目の位置につけている。日本は世界有数の火山帯であり、世界の活火山の7.8%がこの狭い日本に集中しているといわれる。至るところに散在する温泉も、日本が地熱資源に恵まれた国であることを示唆している。にもかかわらず、日本には大出力の地熱発電所が建設できないのだろうか。



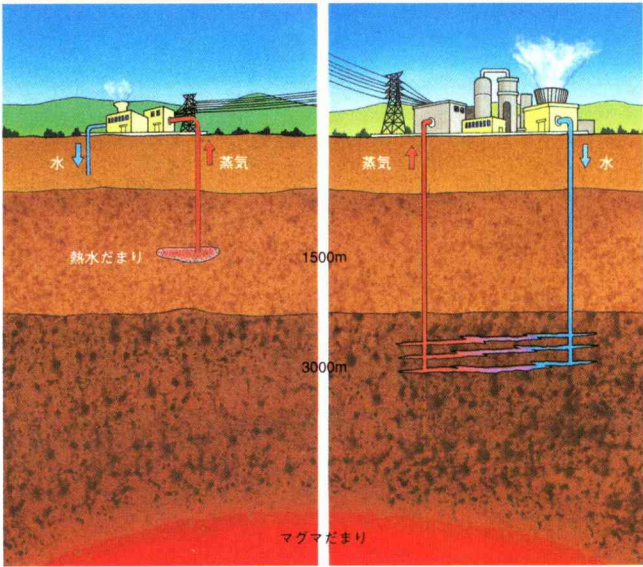
各種電源のCO₂排出量（電力経済研究No.29より）

これは現状、地熱資源というものが、①熱源②地下水脈③貯留構造の3つの要素が揃っていることで初めて成立することに関連している。3拍子揃ったポイントを探し、長期間の調査を行ったうえで先述したような立地的な調整という問題に当たらねばならないのである。

使える可能性のある地熱エネルギーそのものは、日本にはどのくらいあるのだろうか。資源量評価については、NEDO（新エネルギー・産業技術開発機構）が、①地上調査にもとづくものと、②坑井での計測数値をもとに絞り込んだものと、2とおりの数値を算出している。前者の地上調査にもとづく評価では全国204地域の地下3kmまでを対象とした場合、6,930万kWの発電が可能な高温熱水資源（150℃以上）が日本国内に眠っているという推定値が出された（1989年）。現在の日本の総発電設備量は約1億7,000万kW（電力10社／平成7年度）とされているから、この値によれば国内で使われる電力の約40%以上に匹敵する地熱資源が、開発可能かどうかは別として、存在はしていると考えられる。

また坑井調査結果をもとにさらに具体的な数字として試算した例では、地熱調査のための坑井がすでに3本以上ある全国34地域を対象に行ったが、この結果では2,459万kWだという（1990年）。調査のための坑井がある地域に絞っているため、地上調査の時に比べると数値は半分以下になっている。

これとてかなり豊富な資源であるには違いないが、地熱エネルギーとは、ほんとうにこの程度のものなのだろうか。地下に人為を圧倒するような巨大なエネルギーが閉じ込められている



既存の浅部地熱発電（左）と高温岩体発電（右）



NEDO 肘折実験場での高温岩体発電の実験風景。蒸気が盛んに噴出している

ことは、三原山や雲仙でも見せつけられているはずだが、それを利用するすべは21世紀を迎える現在もなお存在していないのだろうか。

資源量4億1000万kW！高温岩体発電への道

こうした疑問に応えるものとして、高温岩体発電なる技術の研究が進められている。先にあげたように、現在の地熱開発は、熱源、地下水脈、貯留構造の3要素を必要とする。自然のうちに3拍子揃った土地を探すことは難しい。だが熱だけを探すとすれば、対象地は広がる。そこで熱源だけを探し、貯留構造は人工的に作り出し、水を流し込んでやろうというのが、高温岩体発電の発想である。地下で熱せられた岩盤を利用することから、この名称がある。貯留層を人工的につくるため、設計次第で1基20万kW相当という大出力の地熱発電所が建設可能になるという。

高温岩体発電を行うためには、まず地下数kmまで岩盤を掘削し、高温な岩盤の部分に約1km四方ものスリット状の亀

裂を何層かにわたって設けてやる必要がある。数mmという薄い亀裂だが、この層が人工貯留層となり、いわば「釜」の役割を果たす。とんでもなく大きいか横に平べったく薄い「釜」が何層か重ねられてマグマの「かまど」にかけられた状態—をつくりだすわけだ。ここに地上から水を注ぎ込むと、高温高压になった熱水と蒸気が吹き上がってくる。この蒸気圧や熱を発電に使う。

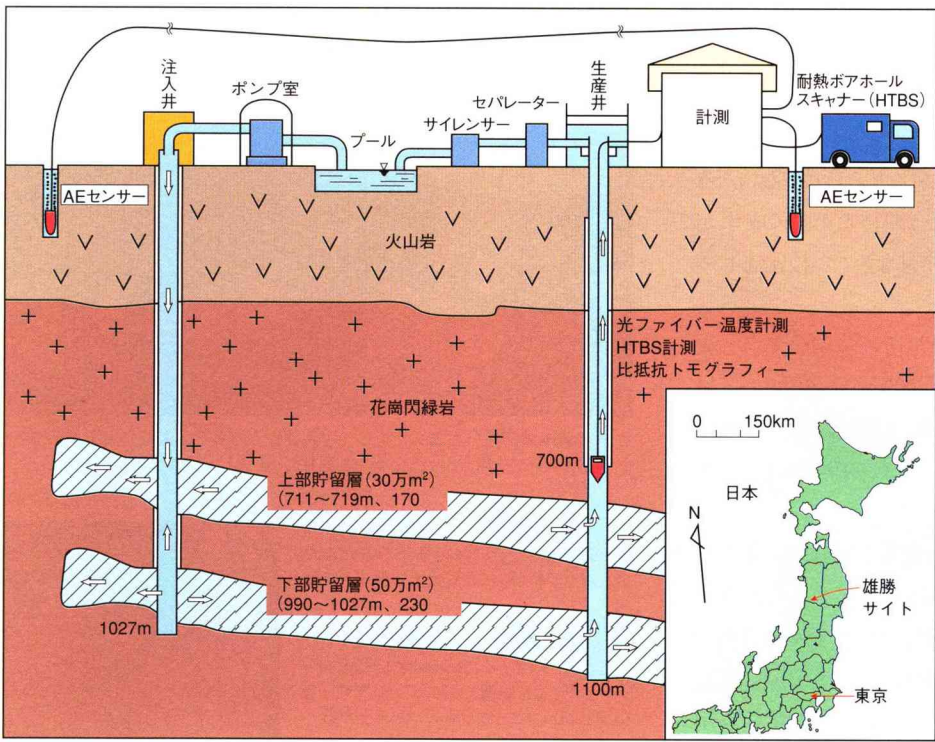
高温岩体発電を対象にした場合、地熱資源量は格段に大きく見積もることができる。(財)電力中央研究所の試算によると、深度3kmまで掘削し(岩盤温度300℃)、その下部の約1kmの岩盤にスリットを入れて発電に利用するという条件では、日本全国で約1億5,000万kWに相当する資源量が期待できるという。これは先述した日本全土の発電設備量にほとんど匹敵する数値である。さらに深度を下げて地下4kmまで掘削し(岩盤温度400℃)、その下部の2kmの岩盤を発電に利用することを前提に試算すると、約4億1,000万kWの電力が得られるという。

高温岩体発電ではコストに見合った掘削ノウハウさえ得られれば、深部のよりホットな岩盤を自在に選択して利用することが可能になる。もちろん資源量と開発可能量とは別のものであるが、仮に数パーセントが開発できたとしても、相当の資源であると考えられるだろう。アメリカでもエネルギー省が高温岩体発電資源量を試算しているが、全対象地で深さ4kmまでを利用した場合、その資源量は54億kWにのぼるという。

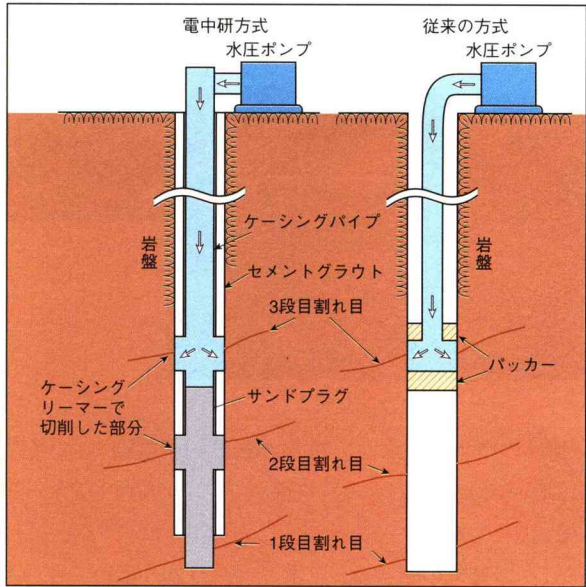
日本で考案された「われ目」づくりの技術

高温岩体発電のコンセプトは、1972年にアメリカ・ロスアラモス国立研究所で生まれ、1974年からニューメキシコ州のフェントンヒルで初期の実験が開始された。この頃から国内でも「火山発電方式」として研究が開始され、1978年には岐阜県焼浜で小規模な実験が行われている。1981年からはフェントンヒルで行われた共同研究(日米独)に参加した。1985年からは山形県大蔵村の肘折地区にNEDOの高温岩体発電用実験設備が設けられ、地下約1.8kmの人工貯留層に水を注入して蒸気・熱水の回収実験(循環試験)が行われた。1995年～1996年には、さらに深部(地下2.2km)での循環試験が行われている。

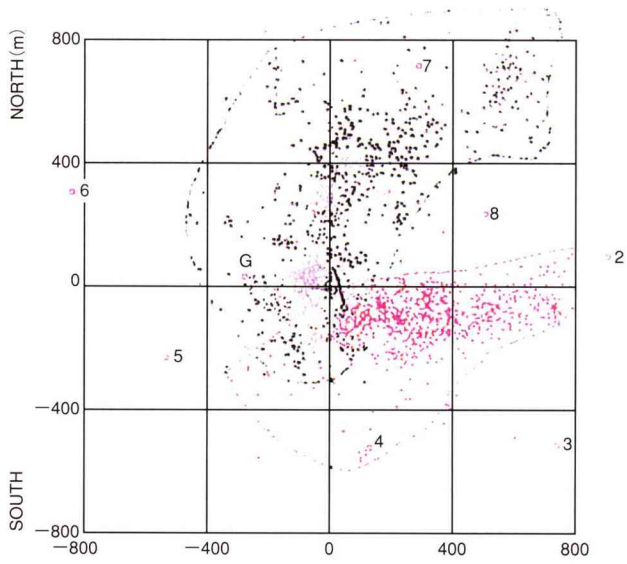
高温岩体発電の実用化にあたって鍵となるのは、岩のわれ目を複数層にわたってつくる技術である。深部で岩を割るには、水圧を利用するが、当初アメリカなどでは、掘削した穴に注水パイプを下ろし、その周りをゴム製のパッキング部品で覆い、掘削穴の口を密閉して水圧をかけるという方法をとっていた。しかしゴム製パッカーは、強度が弱く、耐熱性の点でも問題があり、深さを変えながらいくつもの層を重ねてつくっていくには難点が多かった。



電力中央研究所の高温岩体発電・雄勝実験場
概念図。世界で初めて複数層の貯留層造成に
成功した



高温岩体発電のための岩体への亀裂造成法。右が米国で考案された方法だが、パッカーの耐熱性に問題があった。左のCRSP方式が開発されたことで、複数の亀裂造成が実現した。



AE法図面の例。音の発生地点をマッピングしていくことで、できた亀裂の広がり
が視覚化される。赤点が上部亀裂、黒点が下部亀裂によるもの。上下方向の分
布を立体的に見ることもできる。散在する数字は観測地点

1970年代中頃から高温岩体発電の研究を進めてきた電力中央研究所の堀義直氏（現・特別研究員）は、10年前に複層の人工貯留層をつくるシンプルで画期的なノウハウを考案し、高温岩体発電への道を拓いた。CRSP法（Casing Reamer Sand Plug／電中研式多重岩盤破碎法）といわれるこの独自のノウハウは、銅管と砂を利用して岩に何段ものスリットを入れていくというもの。堀氏は1991年から実際にこのCRSP法を適用し、秋田県雄勝で世界で初めて、深さの違う2層の人工貯留層をつくることに成功した。

雄勝実験場で造成された「岩のわれめ」は、それぞれ上が30万m²下が50万m²もの広がりをもつ。東京ドーム10個分の底面積を持つ釜が2枚重ねでできたことになる。この「われ目」がどう入っているかを測定する方法として、地表ネットAE法と呼ばれる方法が開発された。「われ目」をつくる際に発生する小さな音を数箇所の観測点で測定し、音の発生地点をマップ上にポイントしていくと、その集合状態によって「われ目」の平面的・立体的広がりが視覚化できるという方法である。「原理としては地震計を精妙にしたものと考えれば分かりやす

いでしょう」(電中研主任研究員・海江田秀志氏)

「最初は方々で笑われましてね」堀氏はCRSP法を手を実験を後押ししてくれるコンサルタント会社や研究所などを探してまわった10年前をふりかえる。「そんな方法じゃ、坑井の口のところから吹き上がってしまって、岩を割るどころじゃないだろう、と……」。しかしやってみると、ほぼ期待どおりの成果が得られ、いまや高温岩体発電にはなくてはならない技術として国際的にも認められるようになった。

現在、雄勝実験場では、2層の人工貯留層を用いて、さまざまなデータ収集を行っている。注水した冷水は160℃の蒸気と熱水となって1生産井で約24%が回収されている。今後は生産井を4本に増やすことで、80%の回収率が得られることを実証していく段階にあるという。

「シミュレーション上では、高温岩体発電によって安定した電力が得られることは、十分に分かっています。しかし、長期間運転して温度が下がらないことを現実に行って見せなければなりません」(前出・堀氏)。雄勝実験場ではこれまでに最長で5カ月間の循環実験を行っており、今後は加速実験(実用



雄勝実験場の全景。左奥のやぐら(注入井)から水を注入し、右手前のやぐらから熱水と蒸気を取り出している(生産井)。中央に見える小屋はポンプ室

CRSP法の考案者である電力中央研究所・堀義直氏。うしろに見えているのは吹き上がってきた熱水と蒸気を分離する装置

蒸気は高温高压のため、吹き上がるときに大きな音が出る。それを緩和するためにサイレンサー(消音装置)が設けられている。循環実験時にはここから蒸気が吹き上がる。



COLUMN

中低温熱水を利用した発電を可能に —バイナリー発電システム—

現在の地熱発電は、フラッシュ方式といわれ、沸騰した水蒸気を利用してタービンを回転させている。この方式だと地下の熱水はかなりの高温高压でなければ発電に利用できない。だが熱水資源にはもう少し温度の低い、中低温(80~150℃)のものも存在している。それらを利用する発電法として注目されているのが「バイナリー発電」システムである。

原理としては、熱水でフロンやアンモニアなどの沸点が低い媒体を沸騰させ、その圧力でタービンを回す。比較的小規模な発電システムとして有望だと考えられているようだ。温泉旅館などでの自家発電システムといったイメージだろうか。現在、NEDOによって100kW級、500kW級のそれぞれのシステムが実証運転に入っている。出力が小さいため、設備費用を十分に償却していけるだけのコストダウンが実用化への鍵になると考えられる。



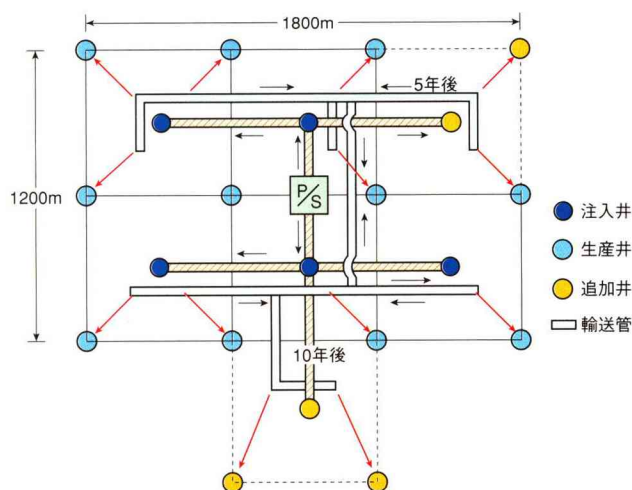
実証運転中の500kW級バイナリー発電システム

の何倍かの冷水を注入し、冷却されやすい状況にして長期運転に相当する条件を与える)を重ねつつ、実現性をアピールしていきたいという。

高温岩体発電の研究は、アメリカ、日本のほかにも、イギリス、フランス、ドイツ、ロシアがそれぞれに取り組んでおり、過去3回にわたる国際フォーラム開催など、研究者どうしの国際的な交流も活発なようである。研究者間の認識によれば、現在、高温岩体発電に必要な最低限の要素技術は揃ってきており、今後は実用化の際のコストをどこまで低減できるかが課題になるという。また各国ともにモデル発電実験をいつどのような規模で行うかが注目されている。アメリカでは民間企業の実験にエネルギー省が50%の補助を考慮しており、欧州では欧州連合への共同研究案が提出されている。

火力に競合しうる発電コスト低減も可能?

問題となる高温岩体の発電コストだが、NEDOと電力中央



高温岩体発電による24万kW級発電所の平面概念図。最初は実線部分に配置された生産井を用い、5年後、10年後に生産井を増やしていく。この仕様で15年間使用した場合を想定して発電コスト試算が行われ、ダブルフラッシュ方式（蒸気を2段階に利用する）なら12.7円／kWhにできるとの結果が出された。

高温岩体発電のコスト試算

発電出力 [万kW]	利用深度 [km]	発電単価 [円/kWh]	建設単価 [万円/kW]	備考
1	2	28.3	118.0	NEDO (1994)
3	2	22.0	90.0	NEDO (1994)
7.5	3	18.0	64.4	電中研 (1986)
24	4	12.7	53.4	電中研 (1990)

研究所が出力や深度など、いくつかの異なる条件で試算している。そのデータからは大出力にするほど、1kWhあたりの単価は抑えられることが分かった。電力中央研究所では1990年に試算研究会を結成して検討した結果、深さ4kmまで掘削し、段階的に建設を進めて24万kWの規模にしていくという条件では、12.7円／kWhまで下げることができるという結論を得た。既存の水力発電よりも低い数値である。「アメリカでの試算結果では、もう少し安くできるとされています。なぜかというので調べてみたんですが、どうやら掘削機械などの稼働率が大幅に違う。アメリカでは同じ機械が石油の掘削にも使われ、それも含めて償却されているからなんです。日本でも地熱開発の件数が増えれば、掘削費が下がる可能性もあるのかもしれない」（前出・海江田氏）。国の補助金などが導入されれば、さらに11円／kWh前後にまで下げることが可能だという。

「将来、石油やガスなどの価格が上昇していくと、どこかで交差するポイントが出てくるかもしれません。しかし地熱開発の場合、調査から初めて10年かかりますから、10年前にその分岐点を予測しておかないと対処が遅れるかもしれませんね。かなり難しいことでしょうが……」（前出・海江田氏）

石油資源の将来的な枯渇や環境対策といった視点から、さまざまな新エネルギーが研究されているが、高温岩体発電を含

めた地熱の開発は、その中でもとりわけ実現可能性が高く、大きな出力が期待できるものと見る事ができるだろう。

C O L U M N

地熱発電所建設は、地域振興プロジェクトとタイアップして……

—地熱を用いた理想郷・ジオサーモピア構想—

地熱発電では、発電に使用した後の熱水が大量に発生する。この熱水は通常、還元水として地下へ戻すが、その温度は70～100℃とかなりの高温を保っている。かりに高温岩体発電の成功によって24万kWの地熱発電所が建設された場合、1時間に約3,000tもの大量の熱水が発生することになる。これをそのまま地下に戻す法はない。

近年、山村などでは過疎化が進み林業分野では後継者不足に悩んでいるが、地熱資源はこうした山間部や島しょにも多い。そこで地熱発電所建設をその熱水を利用した村おこし、街おこしのプロジェクトに結び付けていこうというアイディアが出されている。

本文中に登場する電力中央研究所の堀氏は熱水利用の地域振興策を、「ジオサーモピア構想」として提案し、検討会を結成して詳細なビジョンをまとめた。

近頃の野菜は石油でできているといわれるように、昨今では農業にも大量のエネルギーが投下されている。地熱発電による熱水を利用すれば、野菜づくりに石油はいらなくなるだろう。そのほか魚介類の養殖、熱水のエネルギーを利用した工場経営、研究施設誘致など、多角的な利用が考えられる。暖房・給湯設備やコミュニティ施設への利用はいうまでもない。電気を起こしたうえで、人工温泉を利用できれば、地域にとってのメリットも大きいだろう。

発電に限定せずに熱水を2重にも3重にも利用できるという意味で、こうした利用法は、地熱の利用効率を引き上げる効果がある。また地域振興というその副次効果への期待から、地熱発電所建設に対する歓迎ムードをつくっていくうえでもプラスになりそうだ。

ある産油国の資産家が、日本は石油のかわりに温泉が出るというて、うらやましがったとか。地熱エネルギーは石油にたよらない新たな文明創造の動力源となりうる——？



〔取材協力・写真提供：新エネルギー・産業技術総合開発機構、
(財)電力中央研究所、(株)東芝、富士電機株〕

話題の PROJECT

プロジェクト

電子マネー



グローバルな電子商取引を可能にする 電子マネー

各国で実用化に向けたトライアル進む

エレクトリック・コマースとか電子マネーといった言葉がマスコミで躍っている。商品の受発注にとどまらず決済までをふくめたあらゆるビジネス情報をすべてネットワークで済ませてしまおうという試みが着々と進んでいるのだ。一方、偽造の横行やマネーロンダリングに悪用されるのではないかとといったセキュリティ上の問題点も指摘されている。電子マネーとはどういうものなのか、各種トライアルの概略を追ってみた。



英国庶民の憩いの場所であるパブの支払いには、注文ごとにカウンターで支払う必要がある。小銭のいらぬモンデックスカードはなかなか便利だ（スウィンドン／撮影：杉浦信之・朝日新聞社）

意味する。一般的にはICカード型、ネットワーク型の2つに分類される。

通常、電子的バリューは再充填が可能だが、1996年のアトランタ・オリンピック開催時に実施されたVISAキャッシュの実証実験では、テレホンカードなどと同様の使い捨てタイプが使用された。

ICカードタイプの代表的なものとして、「モンデックス（Mondex）」がある。モンデックスは、1995年7月から英国の地方都市スウィンドン（人口約17万人）で実験が開始され、マスコミでも数多く取り上げられた。

モンデックスは、英国ナショナル・ウェストミンスター銀行（National Westminster Bank：ナットウエスト銀行）が1993年12月に発表した小口電子決済システム。

このシステムでは、1国に1つオリジネーター（originator）と呼ばれる電子的バリューの発行体が設立される。オリジネーターは、メンバー銀行（モンデックス加盟銀行）に対して、銀行預金と引き替えに、同額の「モンデックス・バリュー」を発行する。ちょうど日本銀行などの中央銀行に相当するものだ。

モンデックスカードの保有者（消費者）は、ATM（automated teller machine：現金自動預け入れ支払い機）などを使って、自分の口座から電子的バリューをカードに移し替え、商品購入などに利用できる。1枚のICカードにチャージできる電子的バリューは、スウィンドンの実験では500ポンド（約8万円）に制限されている。

小売店やレストランなどはメンバー銀行と加盟店契約を結び、専用POS（point of sales：販売時点情報管理）レジスターを設置する。消費者がモンデックスカードで支払う場合、カードを専用レジスターに差し込むことで、電子的バリューが消費者のカードから、小売店のカードに移し替えられる。またワレット（電子財布）と呼ばれる携帯型機器を使うことで、個人のカード同士でも電子的バリューを移動することができる。たとえば親が子供に小遣いを渡すような場合でも、現金ではなく電子的バリューでやり取りするような使い方が可能になる。

スウィンドンでは、ナットウエスト銀行とミッドランド銀行（Midland Bank）の口座開設者（約5万人）を対象に実験が行われた。技術的実験であったため、カード保有者は約1万3000人に制限され、参加店舗数は約750店となっている。

1996年7月には、ナットウエスト銀行、ミッドランド銀行、ウェルズ・ファーゴ銀行（Wells Fargo Bank）、香港上海銀行などが出資して、モンデックス・インターナショナルが設立され、グローバルレベルでの展開が進んでいる。

香港では、1996年10月から3つのショッピングモールで商業実験が開始され、開始当初4万人ほどだったカード保有者が1997年中には100万～数百万人に達するのではないかと予想されている。

ICカード間で〈価値〉をやり取りするモンデックス

現在、電子マネーや電子商取引（electronic commerce：EC）、電子決済システムといった言葉がビジネスの世界で飛び交っている。しかし「電子マネーとは何か」という明確な定義すら定まっていないのが現状だ。

たとえば電子商取引というと、一般には受発注・契約・決済を電子ネットワークを使って行うことと考えられているが、ECという言葉は、ビジネスのあらゆるプロセスを電子化し、通信網で接続して自動化する方法といったかなり広い概念で使われている。またECと電子マネーという言葉が混在し、明確に区別されずに使用されていることも多い。

電子マネーを最も狭義にとらえると、専用ICカードやパソコン内に電子的な貨幣価値（バリュー）を蓄え、その範囲内で物品の購入代金やサービス料金を支払う現金代替システムを



モンデックスのワレットは、カードをロックしたり、暗証番号の変更、個人間の電子的バリューの移動などを行うための電子財布だ

モンデックスカードで公衆電話もかけられる（スウィンドン／撮影：杉浦信之・朝日新聞社）



このほかニュージーランドでは、ウエストパック銀行（Westpac Bank）の行員を対象に、社内での支払いにモンデックスを利用する構内トライアルが実施されており、アメリカ、カナダ、オーストラリアでも、スウィンドンと同様の実験が行われている。

ネットワーク上に〈価値〉が存在するe-キャッシュ

ネットワーク型電子マネーの代表例には、オランダのデジキャッシュ（DigiCash）社が開発した「e-キャッシュ（e-Cash）」がある。

デジキャッシュ社は、暗号理論の専門家デビッド・チャウム（David Chaum）博士が1989年に設立したベンチャー企業。1994年10月、デジキャッシュ社はインターネット上でe-キャッシュの実験を開始した。このときは、e-キャッシュは現金とはまったくリンクされず、参加した仮想店舗のみで使えるおもちゃの紙幣のようなものだった。

翌1995年12月、アメリカ・ミズーリ州にある地方銀行マーク・トウェイン銀行（Mark Twain Bank）がアメリカ・ドルとリンクしたサービスを開始し、大きな注目を集めた。

e-キャッシュでは、貨幣単位を一定の規則に従って並べられた数字の組み合わせで表現し、ファイルとして記録する。たとえば1ドルが〈111001999〉、10ドルを〈111010999〉とすると、〈111001999〉が5個、〈111010999〉が3個あれば、合計35ドルあることになる。

一方モンデックスでは、ICカード内に記録されているのは電子的バリューの残高であり、支払いのときにカード間でやり取りされるのは、片方の残高を減らし、もう一方の残高を同額増やせという命令がやり取りされる。電子的バリューがファイルとして転送されるわけではない。

消費者がマーク・トウェイン銀行に預金口座を開くと、e-キャッシュ（マーク・トウェイン銀行では「サイバードル（Cyberdollar）」と呼んでいる）を利用するために必要なソフトウェアのダウンロード方法を説明した電子メールが送られて

くる。

消費者は、自分の口座から希望する預金額を「ミント（MINT）」と呼ばれるe-キャッシュ専用の口座に移し替える。さらに必要な額のサイバードルを自分のパソコンのハードディスクに引き出すことで、インターネット上の仮想店舗で支払いが可能になる。

e-キャッシュを利用できる仮想店舗のホームページにアクセスし商品購入を指示すると、自動的にe-キャッシュ利用アプリケーションソフトが起動し、本当に支払ってよいか尋ねてくる。〈OK〉ボタンを押せば自分のハードディスクからe-キャッシュが相手のハードディスクに転送されて支払いは完了する。ショップが受け取ったe-キャッシュは、銀行に持ち込めば本物のドルと交換してもらえる。

マーク・トウェイン銀行がサービスを開始して以降、フィンランドの主要銀行が取り組んでいる「EUnet」プロジェクトにe-キャッシュが採用され、ドイツ銀行がe-キャッシュとドイツ・マルクとの交換を開始すると発表するなど、グローバル展開が進んでいる。

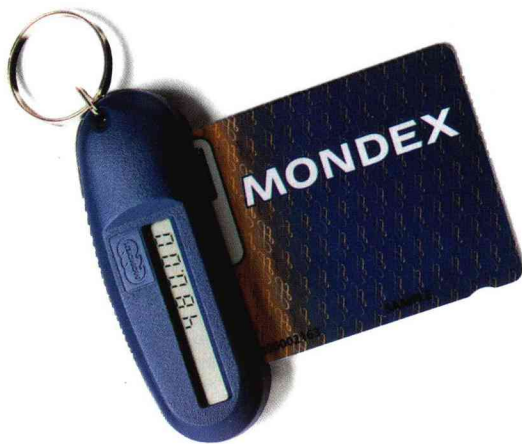
もともとICカード型の電子マネーは、リアルワールドでの支払いを意識して開発され、ネットワーク型はインターネットなど通信での利用を前提に開発されてきた。しかし、こうした差違は急速になくなってきている。モンデックスをインターネット上の決済に利用する試みが、現在アメリカで進められているし、またe-キャッシュをICカードに記録する試みも進んでいる。

ハードウェアが先行する日本の現状

日本での動きはどうなっているのだろうか。

1997年7月、郵政省はインターネット上で「電子マネー」の実験を、1998年夏から開始すると発表した。参加予定企業・団体は34、ICカード8000枚を使って全国規模で行われる。実験では、ビジネスとしての将来性や安全性について、3～4年をかけて検証することになっている。

また1996年10月から長野県駒ヶ根市の商店街が主体とな



IC カードの残高を確認するための残高表示器

り、「つれてってカード」というサービスを行っている。このサービスは、IC カード型の電子マネー機能を有しているが、商店街で買い物をしたときにもらえるスタンプの代替機能を中心に開発された経緯があり、カード使用の習慣が定着していなかったことと相まって、電子マネーの実証実験という性格は薄い。このほか早稲田大学があさひ銀行、松下電器と協力して、大学生協での購買に使えるプリペイド型電子マネーの実験を行っている。

このように電子マネー・システムの開発に関しては、いくつか日本独自の試みはあるものの、海外に比べて一步も二歩も後れをとっている感は否めない。

一方、アトランタで使い捨てタイプの実験を行ったクレジット会社のVISA インターナショナルは、1998年6月～1999年9月までの予定で、東京都渋谷区で大規模なVISA キャッシュの実験を予定している。発行されるIC カードは約10万枚、JR渋谷駅周辺の百貨店、商店街、映画館、自動販売機、駐車場といった幅広い施設で実験が行われる。

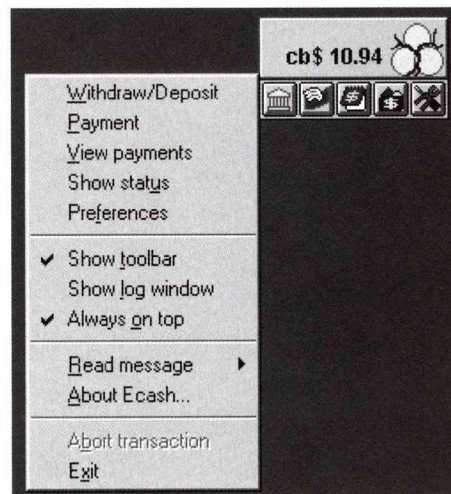
ところで、モンデックス・システムのIC カードに搭載されているチップやATM機器、専用POSレジスターなどは日立製作所が製造している。またワレットなどの個人用機器は松下電器、沖電気なども供給しており、IC カード自体は大日本印刷が製造するなど、汎用性のあるハードウェアに関しては、日本企業の強さが目立つ結果となっている。

このように、一部実用化はしているものの、電子マネーはまだ実験段階といえる。今後普及が進むにつれ、懸念される問題点もある。

最大の課題がセキュリティ問題だろう。数年に一度は現金の偽造事件が発覚しているが、電子的バリューは現金に比べて複製が容易であるという欠点をもっている。このため電子マネーには、さまざまなセキュリティ技術が施されている。

e-キャッシュでは、一つ一つの電子的バリューに発行銀行による発行証明印のようなものが電子的に捺印されている（暗号化技術を応用した「ブラインド署名」と呼ばれる）。また、す

Windows用e-キャッシュ・アプリケーションのポップアップ・ウィンドウを開いた状態



べての電子的バリューには固有のシリアルナンバーが割り振られており、銀行に戻ってきたときデータベースと照合される。過去に換金されていることがわかれば、不正使用と判断され換金は行われない。

IC カード型の電子マネーでは、カード盗難などによる不正使用の危険性が考えられる。モンデックスでは、カードに搭載されているICチップに暗号化が施されており、電子的バリューを不正に増額することが困難になっている。またチャージ限度が少額に抑えられていることも、不正使用を抑止する効果がある。

もう一つの問題点として、発行主体の信用問題がある。電子マネーを発行した企業などが倒産したりサービスを停止した場合、口座預金と引き替えに電子的バリューを受け取った消費者の利益を損なうことになり、大きな社会問題を引き起こす。

また過剰に通貨が発行されるとインフレーションを招くが、疑似通貨である電子マネーが大量に発行された場合、1国の経済にどのような影響を及ぼすかは、まったく未知である。中央銀行が通貨発行を一元的に行うことで維持されている現在の通貨制度を、根本的に見直す必要に迫られるといった事態が発生しないとも限らないのだ。

さらに現在、多くの企業が電子マネーの実証実験を行っているが、将来異なる電子マネー間でのリンクという問題も課題に上ってくるかもしれない。

現在、大蔵省は電子マネーに対して、「民間の技術開発、事業推進の意欲をそがないように見守っていく」姿勢をとっている。複数のシステムが開発されるなかから、デファクト・スタンダードが決まればいいという考えのようだ。

ビジネスの世界でグローバル化がいわれて久しい。ECが一般化すれば、その動きをさらに加速することは間違いない。電子マネーは、国家という枠組みの最後の垣根を飛び越える大きなパネになるかもしれない。

【取材協力：日立製作所、大蔵省銀行局総務課金融市場室】
【写真提供：杉浦信之、朝日新聞社サイアス編集部】

Steel 鉄の絶景 Landscape.

歓声を浴びる鉄
～神奈川～



今年10月、日本最大のビッグスタジアム、「横浜国際総合競技場」が落成する。明治維新以後、つねに日本の近代化と国際交流の先端を切り開いてきた都市、横浜がスポーツという世界共通のコミュニケーションに夢を託して今また次代に向けて一歩先を歩み始めた。

感動と興奮のビッグゲームに向けて

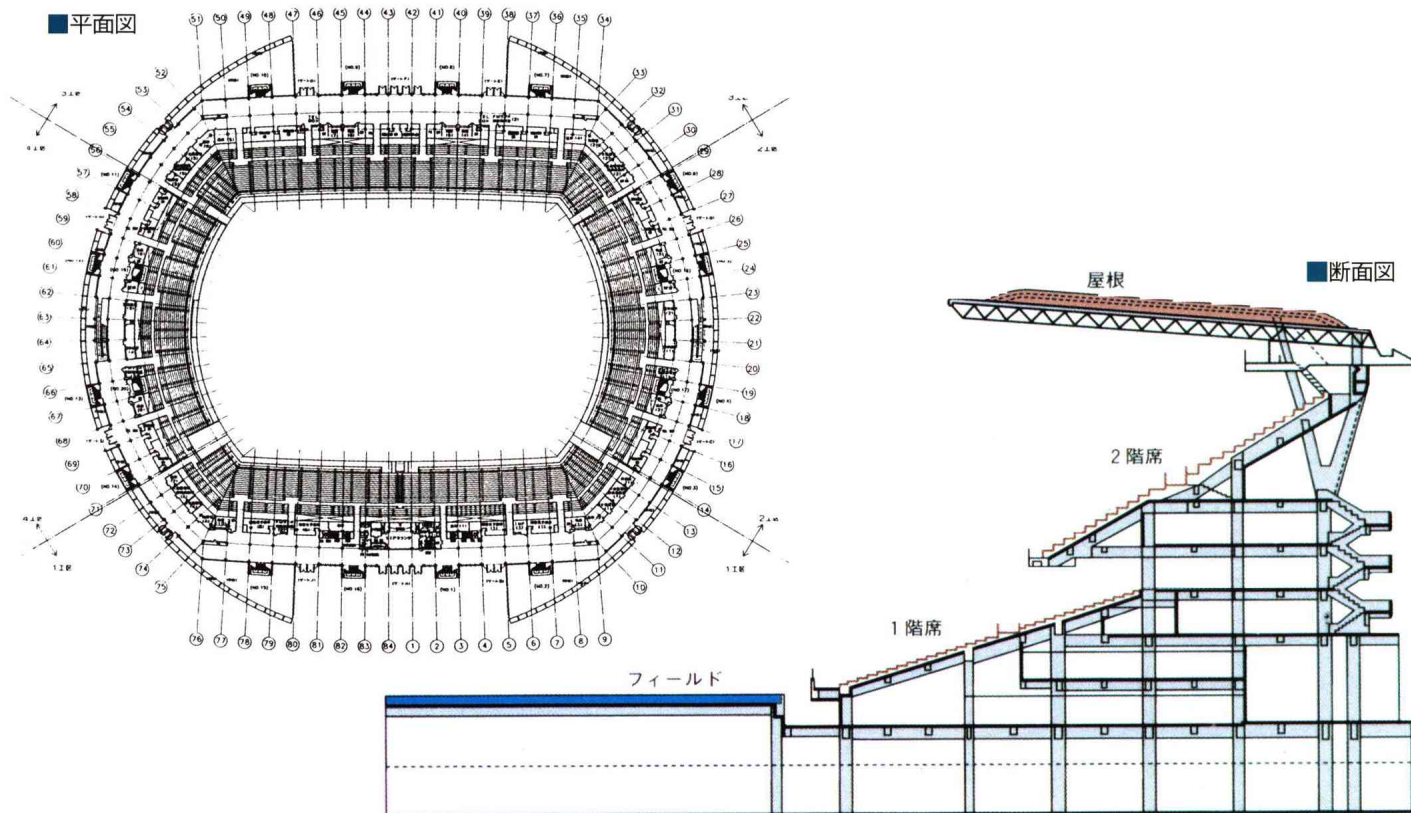
野球とサッカーを例に挙げるまでもなく、横浜市はスポーツに熱狂的な都市といえよう。その横浜市が平成10年の神奈川国体、また、2002年のワールドカップサッカーの開催候補地として、さらに大きな感動と興奮の中心地となろうとしている。

そして、文字どおりその情熱の坩堝となるのが、日本最大のスポーツスタジアム、「横浜国際総合競技場」だ。サッカーグラウンドを内包する400mトラック、9レーンのフィールドは、日本陸上連盟第一種の認定を受け、さらにワールドカップサッカー開催のために、国際サッカー連盟、FIFAの数々の規定をクリアして、この巨大

なスタジアムは今年10月の落成に向けて急ピッチで最後の仕上げにとりかかっている。

プレーのしやすさ、観戦のしやすさに主眼をおいて建設

収容人員70,000人、延床面積約166,000m²、高さ約52m、建築面積約64,000m²、という数字は、いくら巨大だ、日本最大だ、といってもたやすく想像できるものではない。このスタジアムは、そうした数字が示す大きさよりもプレーのしやすさ、観戦のしやすさに主眼をおいて建設されていることが特長である。陸上競技場としては、わが国初の2層式観客席を採用したため、後方の客



席がいちだんとフィールドに近くなり、前と後ろの差がせばまった。最前列はフィールドと同じ高さで、いっそう迫力のあるプレーが間近で観戦できる。

そして、このスタジアムの最大の特長となるのが観客席の2/3を覆う鉄骨造の屋根である。サッカーグラウンドに張られた天然の芝のために、ドーム型ではなく開放型の屋根が採用されたのだが、そのゆるやかな曲線は晴天時の防眩や雨天時の快適な観戦に充分配慮されている。素材はステンレス制振鋼板で、耐候性があり、雨音も響かない。数字の話に戻ってしまいが、屋根材の総重量はなんと1,300t。これを約5,000tの立体トラス鉄骨が支えている。つまり、合計で6,300tの巨大屋根なのだ。実際に観客席に立つと、プレーヤーと観客の一体感をコンセプトに建設されたというとおり、他の野球場などよりもフィールドがとても近く感じられる。さらに、いたるところに配置されたTV放送用のカメラアングルや大型マルチビジョンなど、報道との一体化もはかられている。

スタジアムと周辺環境との調和

スタジアムのすぐ横を鶴見川が流れる。このあたりは以前から多目的遊水地として整備が進められており、スタジアムの建設もその一環として進められてきた。

フィールドと観客席は2階よりも上に建てられ、1階部分は空洞になっているのだが、万一、大雨などによって鶴見川が氾濫した場合、その水がここに溜められる。つまりスタジアム全体が巨大な水上施設となるのである。また、フィールドの天然芝の散水には、鉄骨屋根に降った雨を貯溜して利用し、トイレの洗浄も雨水と近くの下水处理場から送水されてくる下水処理水を利用する。電力も環境事業局都築工場の排熱を利用、さまざまな技術が導入されている。

選手と観客が一体化するだけでなく、まさに自然と調和したスタジアムなのだ。

そして来春、いよいよフィールドに歓声が響く。

横浜国際総合競技場のこけら落としとなるのは、来年3月に予定されている第4回AFCダイナスティカップである。極東アジア各国が繰り広げるサッカーの激しい戦いと熱い応援は、春一番よりも早くこの銀傘に吹きつけるだろう。スポーツの情熱を運ぶ風は、今までも、そしてこれからも、必ずハマから渡ってくる。

取材協力：横浜国際総合競技場建設工事調整事務局
写真提供：横浜市緑政局横浜総合運動公園整備室



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 (社)日本工学会 副会長

Moriya Uchida

Restructuring of Science and Technology System at a Major Turning Point in History of Humankind

1 歴史的転換期にある産業社会

第二次世界大戦後の世界を大きく分断していた東西冷戦が終結して、それまでの西側先進諸国約8億人の主導による経済活動から、全世界の約30億人といわれる国々が工業生産活動に参加するようになった。自由化、脱規制、国内

市場の国際競争への開放などを特色とする激しい競合状態、すなわち経済大競争(Mega-Competition)が始まった。

こうした中で、各国政府は産業の国際競争力が国家の基盤であり、その強化による国民雇用の維持拡大を国家目標に掲げ、科学技術政策と産業経済政策を両輪として国家経営戦略を立て、その推進を行うようになった(表1)。

表1 日米欧の科学技術政策

比較項目	日 本	米 国	ド イ ツ	イ ギ リ ス	フ ラ ンス	E U
科学技術における国家目標	1.活力ある豊かな国民生活の実現 2.人類が地球・自然と共存する持続的な発展 3.安心して暮らせる潤いのある社会の構築 4.基礎研究の積極的な振興	1.雇用を創出し環境を保護する長期経済成長 2.生産性が高く、国民のニーズを敏速に叶える政府 3.科学、数学、工学での世界的リーダーシップの発揮 〔国家利益における科学(1994)〕		1.国富の形成 2.生活水準の質的向上 〔可能性の実現〕(1993)	1.雇用創出のための経済競争力強化、そのための技術発展の推進 2.社会ニーズへの対応 3.学際化の推進 4.民生用及び軍事用の大規模計画の推進 5.産業発展のための基礎研究活動の推進	1.競争力および経済成長の回復 2.市場の地理的拡大および新たな社会ニーズへの対応 〔マーストリヒト条約(1993)〕 経済成長、競争力及び雇用に関する白書(1993)
科学技術政策の目標	1.新たな研究開発システムの構築 2.望ましい研究開発基盤の実現 3.科学技術に関する学習の振興と幅広い国民的合意の形成 4.政府の研究開発投資の拡充 〔科学技術基本計画〕(1996)	〔技術政策の目標〕 1.米産業の競争力強化及び雇用の創出 2.技術革新の活性化 3.政府の技術マネジメントの調整 4.各関連主体の密接なパートナーシップ 5.経済成長に貢献する技術の重視 6.技術の基盤となる基礎科学の推進 〔科学政策の目標〕 1.科学の最先端でのリーダーシップの維持 2.基礎研究と国家目標との結合強化 3.資源の有効活用を促進する連携の強化 4.未来の最優秀な科学技術者の育成 5.国民の科学技術理解力の向上	1.イノベーションの基盤である先端技術の推進 2.研究政策のイノベーション化 3.研究による将来への備え 4.研究基盤の強化とネットワーク化 5.東独地域の研究基盤の拡張 6.国際共同研究の促進 〔連邦研究報告〕(1996)	1.関連主体の連携の強化 2.科学技術基礎の強化及び人材の育成 3.国際研究協力の強化 4.科学技術の国民への普及と経済発展への寄与 5.政府援助の効果と効率の確保	1.研究成果普及のために産官共同研究所設置促進 2.研究機関の活動能力の保持 3.産官の連携の強化 4.研究組織の創造力の確保と若年研究者の確保 〔予算法案：研究・技術開発の現状〕(1996)	〔競争力、経済成長〕 1.技術移転メカニズムの構築 2.公的研究機関間の調整 3.民間企業の調整 4.研究費の対国内総生産比3%の達成 〔市場・社会ニーズ〕 1.太平洋地域等との協力強化 2.開発途上国への技術移転メカニズム構築 3.経済成長に貢献するニーズへの対応

国際政治においても、従来の安全保障問題から経済問題及びそれに関連する国際通商、知的財産権、先端技術などへと比重が大きく移ってきている。

1994年1月、米国、カナダ、メキシコ三国による北米自由貿易協定 (NAFTA)、欧州共同市場 (EC) と欧州自由貿易連合 (EFTA) の15カ国による欧州経済地域 (EEA) との二つの巨大な経済圏が誕生した。いずれも国内総生産 (GDP) 約7.3兆ドル、人口約3.7億人の規模であった。

米国は、このNAFTAを中南米全域へ拡大するために、米州サミットのマイアミ宣言 (1994年) で、米州34カ国全体の自由貿易圏の創設を2005年までに行うことを構想している。

欧州連合 (EU) は、中東欧やバルト三国への拡大を展望すると共に、1995年11月地中海諸国と自由貿易圏を2010年までに実現することで合意した。その年12月の欧州サミットでは、南米南部共同市場 (MERCOSUR) との自由貿易圏創出を決定した。

また、米国とEUは、大西洋共同市場をめざす内容の大西洋憲章に、1995年12月調印した。こうした全世界の市場ブロック化の潮流の中で、世界貿易機構 (WTO) が1995年1月発足した。

一方、アジア・太平洋経済協力 (APEC) は、加盟18カ国・地域を合わせると、面積で全世界の32%、人口約40% (約21億人)、GDP約56% (約13.1兆ドル) を占め、1994年のボゴール宣言で、先進国経済は2010年、発展途上国は2020年までの自由化をめざすことになっている。そのほかアジアや中南米などの各地域毎に、さまざまな経済市場統合への動きがあり、全世界は重層的な地域経済統合の進行する時代となっている。

これら経済圏の形成は、通貨及び商取引の一元簡素化、産業基盤インフラとしての電力、通信、運輸等の低コスト化の実現、産業競争秩序と知的財産権制度の整備による技術移転と投資インセンティブの拡大、人材育成・専門家職業資格の相互承認などによる高度な能力実務家活動の広域的拡大、それらによって世界的経済競争におけるイニシアティブを取ろうとする動きでもある。

こうした全地球的な新しい経済・産業・技術・市場・公正な競争などの国際秩序形成が進行しつつある中で、我が国は明確な国家戦略を発動するに至っていない。早急にその策定と、自発的構想提案による国際的なイニシアティブの発揮が必要となっている。

日本は資源小国である。しかし強みは技術にある。

世界経済フォーラム (スイス) による世界各国・地域の競争力ランキングの97年版報告では、58カ国中第14位である。80～90年代にかけて首位を独走した日本は、93年に3

表2 世界競争力ランキング (97年)

1 (1) シンガポール	9 (10) マレーシア
2 (2) 香港	10 (7) ノルウェー
3 (4) 米国	11 (5) ルクセンブルグ
4 (8) カナダ	12 (17) オランダ
5 (3) ニュージーランド	13 (18) チリ
6 (6) スイス	14 (13) 日本
7 (15) 英国	15 (30) インドネシア
8 (9) 台湾	[カッコ内は96年順位]

位に転落その順位を下げ続けている (表2)。

同フォーラムの競争力の定義は、「1人当たり実質所得で高い成長率を維持できる能力」として、8項目にわたって今後5～10年間の成長力を評価している。

日本の強みは、「企業経営」6位、「社会基盤」7位、「技術力」8位で、最悪は「対外開放度」37位で順位低下の最大要因となっている。次いで「政府」20位、「金融」15位と総合1位のシンガポールの半分程度の評点でしかない。

自国の強みを更に強くし、その力を国際基準として受け入れさせる国家戦略政策が必要であり、一方において弱点の分野については、早急に環境を整える対応策が必要になっている。これからわかるように、日本は産業技術による国際競争力強化が一番必要な国家なのである。



わが国の経済社会と科学技術を巡る情勢

現在日本は大変動期にある。それは経済のグローバリゼーションの進展であり、一方明治以来の欧米キャッチアップ型の体制から、世界のフロントランナー型への体制の変革でもある。

日本企業の海外進出は、2010年には全世界GDPの約6割を発展途上国が占め、中でも中国、インド、インドネシアがビッグ3と巨大市場圏となると見られ、その市場確保のためのビジネス拠点作りのためであり、製造業の空洞化は確実に今後も進行し続ける。日本自体は、より知的生産性の高い国家体制へと変貌させ、知的資本の創出と生活者主導型経済に適合した新商品の開発による経済フロンティアの開拓をすべき宿命に直面している。

平成7年12月1日閣議決定された「構造改革のための経済社会計画—活力ある経済・安心できる暮らし—」によると、現在の若年層が社会を担う21世紀初頭のわが国の姿を次のように書き出している。

「自由で活力があり、豊かで安心でき、地球社会に参画する経済社会が実現することが期待される。そのような社会においては、知的資本の整備が進み、創造的な研究開発が行われており (科学技術創造立国)、また、情報通信の効

率化、高度化により、くらしの仕組みや産業経済活動も大きく変革されていく（高度情報通信社会）ものと期待される。また、そうした社会においては、人々は、生涯を通じて能力開発を図ることが可能となっており（能力開花型社会）、必要に応じて活用できる社会的支援システムが構築され（自立的福祉社会）、老若男女の意欲と能力に応じた社会参加が可能となっている（老若男女共同参画社会）ものと期待される。また、その社会は内外に開かれたものであり、地球社会の発展に積極的に貢献している（地球社会参画型国家）ものと期待される。」

こうした経済社会実現のための基本方策として、①人材の育成、②科学技術の創造、③情報通信の高度化、④社会資本整備の推進が示され、2000年には210兆円の新規産業を作り、250万人の新たな雇用を生むため、今後5年間に科学技術関係の予算を倍増、科学技術創造立国実現によって、「強靱な日本経済の再建」を果たすことを目標としている。

橋本龍太郎首相は、1996年1月施政方針の中で、「21世紀にふさわしい創造性あふれる経済社会をつくって行くために、わが国の最大の資源である人間の頭脳、英知を十二分に活用し、未来を支える有為な人材の育成や知的資産の創造を行い、経済のフロンティアの拡大を図ることが必要である。」との認識を示した。さらに、第139回国会（平成8年11月29日）の所信表明演説において、政治、行政、経済、社会の「変革と創造」を挙げ、国民一人一人が将来に夢や目標を抱き、創造性とチャレンジ精神を存分に発揮できる社会を目標とすると述べられ、平成9年年頭その実現のために、行政・経済構造・金融システム・社会保障構造・財政構造の五改革に教育改革を加えた六大改革の推進をうたえている。

さらに、「産業界は就職の際、どういう視点から人を選ぶのか、それを明確にしなければどんな教育改革を叫んでも事態は進展しない」と、産業変革を見据えた教育改革に取り組む意欲を示した。

産業界が大学に求めるものについて、日本学術会議が経済団体連合会会員会社を始め各業種を代表する民間会社1600社に対して行ったアンケート調査（約400社回答）における人材育成項目では、次のような結果が得られている。

21世紀に向けて産業技術を伸ばすための人材育成の変革の必要性については、96.3%と殆んどすべての企業が「変革が必要である」としている。

教育改革が必要である理由として、

- ①独創的産業技術創出への指導が無い、62.6%
- ②グローバルな視点の欠如、14.6%
- ③産業技術への興味を持つ指導が無い、13.2%
- ④先端的な基盤技術教育の欠落、4.9%

となっており、以上の結果から見ると、日本の大学卒業生は、職業人として高等技術者としての素養も能力も与えられていないという衝撃的な調査結果であった。

企業のグローバル化については、現在海外展開を図っている72.3%の企業の中、82.2%が増大を計画し、海外展開を図っていない27.7%の企業の中、53.9%が展開を始めるとしており、また展開している部門は、製造・営業部門がそれぞれ50%を超え、開発・研究部門は10数%程度であるが、今後は開発・研究部門が増加するとしている。さらに海外展開の70%以上の企業が、それらの動きは、マーケットニーズの把握に有利という見解を示している。

このように、技術者の国際的活動は増大する一方であり、それに対してわが国大学の工学教育が殆んど対応できていないという産業界と大学教育界との驚くべきギャップが存在していることがわかった。

産業界から大学側への人材育成についての要望は、

- ①先端の基盤技術のきちんとした教育、30.7%
- ②複合的分野にまたがる技術教育、30.0%
- ③産業技術の実態を良く教えること、17.2%
- ④物作りの楽しさの分かる教育、12.4%

その他全般的意見として、専門が好きになる環境作り、研究開発の楽しさを教えて欲しい、中小企業では人材育成に投資出来ない、行政の資金援助が必要などの指摘があった。

こうした事態の中で、わが国が科学技術創造立国として、人類社会と日本の将来発展に貢献することを唱った「科学技術基本法」（平成7年11月15日、法律第130号）の制定は、明治維新でわが国が近代国家建設に、更に第二次大戦後わが国の復興に、国を挙げて取り組んで来たことに匹敵する、新しい国家建設への挑戦に基本的理念を与えた重要な事柄である。

明治期に、山尾庸三が「人を作れば其人工業を見出すべし」と工部省を設立、工業人材の育成を最大の責務として「工学寮は工部省の所管にして工部に奉職する工業士官を養成する学校なり」と、先進技術の導入移植と自立的研究開発機能を現業密着型で発展させた。また高橋是清の勸業・特許政策により、伝統的職人技能尊重と実用新案法制定などの中小企業育成振興が、わが国を工業立国として成功させ、比類無き経済国家として発展させた源泉となった。

戦後灰盡と帰し、米国の30分の1のGNP国家となった最貧国日本の再建は、基礎知識と高等教育で学んだ技術者が、全世界の英知を学び、先進技術を導入移植・消化改良・自立開発へと生産現場と密着し、現場作業員と一体となったOn the Job Trainingを通じて相互啓発のもとに、日本独特の工学技術体系を作り上げてきたことに依存していた。

いずれも「人づくり」と「物づくり」を基礎としている

のである。最新科学知識を基盤とする高度専門技術者の育成であり、知的拠点の大学と、最先端技術と国際競走場裡の物づくりの現場を持つ企業との協力の中で、戦場ともいえる厳しい体験と訓練によって新時代を築く若者が育つのである。明治の旧士族子弟による「サムライ・エンジニア」、戦後の国家危機に延身した志ある若者と同様に、未来を担う若者へ夢と情熱と志を与える国家経営がいま始まったのである。

3 大学は未来社会創造の源泉

日本経済が閉塞感を強めつつあるときに、社会システムに革新をもたらす知的源泉としての大学の役割に期待が集ってきている。その役割としては、

- ①起業家候補としての卒業生の送出
- ②共同研究を通じた企業側での起業の促進
- ③教授陣、大学研究者の大学内部からの起業活動がある。

本来ベンチャー企業の創出には、科学者と産業社会の未来ニーズを結び付けた科学的冒険による価値の創造と、それが自由に発表して企業化される仕組みが必要で、大学はそうしたシーズを一番作り易く集積の高い場所なのである。米国では、東海岸の大学は伝統的総合的な知識を生かし強力な企業と協力して、組織的に新技術を形成する工学系学問による創業力に強い。一方西海岸の大学は、シリコンバレーに代表されるように独立性の高い個人による分散ネットワーク型の創造的科学（情報科学・生命科学等）による創業力の形成に向いている。

研究者はプロの世界の勝負で鍛えられる。基本的に大学院生の教育は、大学間を動くのが欧米では一般的であるが、日本の場合、学部大学院一貫教育が理想像として一時期強調され、大学院生は学生だから教育を受けるものという発想がある。企業が日本の博士の受け入れを望まず研究者を米国大学へ留学させPhDとなるべく訓練してきた動向も、ここに一つの原因がある。

米国の研究大学の活性化は、レーガン政権の政策、スチープンソン・ワイドラー技術革新1980年法に始まる数多くの産学官共同研究支援のための制度改革、ベイ・ドール1980年法による連邦政府資金による大学の研究成果から得られた特許の大学への授与などが極めて有益に機能して達成された。

大学の研究は萌芽の技術を生むもので、1980年代初頭は丁度新しい科学進展の発芽期にあたり、新しい哲学による創造的科学が開花した。もう一つ重要な事は、大学の研究者に知的財産権への価値観と未来産業の展望への関心を深

表3 日米の大学別特許取得比較（1994年）

日本の大学(公開公報件数)	米国の大学(登録件数)
1. 東海大学 24	1. カリフォルニア大学 180
2. 大阪大学 11	2. マサチューセッツ工科大学 108
2. 名古屋大学 11	3. テキサス大学 99
4. 近畿大学 8	4. スタンフォード大学 62
5. 早稲田大学 7	5. ウィスコンシン大学 51
5. 東京工業大学 7	6. カリフォルニア工科大学 46
7. 東北大学 6	7. コーネル大学 41
8. 広島大学 5	8. ペンシルバニア大学 38
8. 名古屋工業大学 5	9. アイオワ州立大学 37
10. 松本歯科大学 4	10. ニューヨーク州立大学 36
総件数 124 (特許庁調査)	総件数 1862 (テクノマート調査)

める意識改革を与えたということである。

この連邦政府の政策によって、大学に与えられた特許権は、1980年以来増加し、約10年間に約5倍となっている。

日本は公開公報件数で審査を必要とし、世界的パイオニア発明は米国特許に出願されることから、日米大学の知的資本意識の格差は大きい。しかも膨大な国費を投入している国立大学については問題点であろう（表3）。

科学技術基本計画（平成8年7月閣議決定）によって、今後5年間に約17兆円の科学技術関係投資が行われるが、国民の公共財として知的資本化する義務も研究者にあると思われる。

大学の研究成果を知的財産権とすることは、新事業創設のために必要であるばかりでなく、学生は起業意識を与え、研究開発への魅力を与えるためにも必要である。

創造的行為には、先づ人々の心に意欲を持たせ動機付けをして、行動への良き環境を与えることが必要で、そのチャンスを与える場は大学である。

カリフォルニア大学の特許権によるロイヤルティ収入は5,000万ドル（全米大学首位）である。東京大学が日本で最高額の研究費を使っているが、外部資金74.6億円（寄付金59.9億、受託研究11.4億、共同研究3.3億）と比較してみても、知的創造の実力の差がわかる。米国MITの財務報告によると、約65%が受託研究収入で、授業料収入は約15%に過ぎない。研究機関が教育を行っており、研究所の組織ぐるみで成果を挙げ、世に評価され、それなりの研究収入を得て研究の府としての大学の主体性ある社会的地位を確立している。

MITでは、教壇に立たない教授も過半数であり、MITの施設、サービスシステム、信用の基礎の上に研究成果を挙げ大学に貢献している。教育に秀でている教官は、ティーチングプロフェッサーとして立派な教育をし、大学と社会に貢献している。

これに比べて日本の大学は、研究機関と名乗るには研究収入があまりにも少ない。個々の教官が自分の好きなテ

マを自己のペースで研究しており、大学院生を安価な研究労働者とする状況にあり、大学が組織体として研究経営をしているケースは極めて少ないと思われる。特に私立大学では、研究収入が10%以上の大学は絶無であろう。

科学の未踏峰を極める科学のための科学は、人類共有の資産として重要なことは言うまでもないが、国民の科学技術への期待は、健康、環境、災害対策、高齢者や身障者の問題など国民生活に立脚した課題も多く、これらへの科学技術的努力の注力を求めている。

米国では、納税者のアカウントビリティの要求に対応して、知識の細分化、個人的専門性、すべての研究に重点を置くシステムから、専門性の高度化と共に総合性に重点を置き、国富の増加、国民生活の向上への還流を期待した科学技術投資へと政策を変化させてきている。このように、知の創造と伝承、経済フロンティアの開拓と雇用の維持、国民年金、健康福祉、社会資本整備などへの原資を生み出す基盤投資としての科学技術予算の投入なのである。これに対する明確な国家戦略の策定がいま必要とされている。

4 新しい科学技術体系と国家戦略の策定

今日では、新分野の学術知識の創造には、基礎科学相互の関連、基礎科学と先端産業技術との接近共鳴が必要となっている。原子・分子レベルの科学の段階に入って、化学・量子力学・分子生物学はつながり、計算機科学は基礎科学の焦点を明確にし、物質工学が機能と部材を設計し、産業社会システム全体との調和を求める総合工学がそれぞれの分野で発達しつつある。従って、新知識の創出と共に、迅速な知識移転 (Knowledge Transfer) が必要となっている。それにこたえるには、産・学・官の総力を挙げたグローバルな視点での科学技術者と民間活力主導型の各省庁を横断する国家戦略の策定による科学技術活動振興が必要である。それは創造者と起業家意識の高まりの中で、国民的期待をこめた構想提案型の国家経営政策なのである。科学技術基本法制定において、国会論議の中で、「科学技術がわが国政策の中で初めて基本的人権を得た」との趣旨が述べられているが、これまで科学技術は国や企業での手段としての認識が強かったが、これからは知的資本として経営の支柱の一つとなる時代となったと認識しなくてはならない。

日本学術会議は、第16期 (平成6年7月～9年7月) において、第一に超党派議員立法による科学技術基本法制定を強力に支援し、第二に戦略的基盤研究推進のコンセプトを打ち出し、産業社会分野へのインパクトを期待する7省庁の公募型研究推進制度への結実をうながした。第三に科

学技術基本計画 (平成8年7月閣議決定) に対して、第5部会員及び関連学協会の意見をまとめ、科学技術会議へ情報提供し、すべての課題が計画に折込まれるに至った。同時に5年間に17兆円の科学技術投資も決定された。第四に学協会の位置付けを明確に科学技術基本計画に明示することを得た。これに対応して、第125回総会 (平成9年5月28日) において、「学術団体の支援について」(要望) を採択し、添付資料として「第5部報告 学術情報発信基地：学術団体の強化・支援に向けて」(平成8年5月27日) と共に、関係省庁大臣と科学技術会議にその対応を求めて提議を行った。第五に工学教育改革による能力開花型社会に適応出来る人材育成の産学連携の在り方について審議を行ってきた。

今後の最重要課題は、科学技術政策大綱 (平成4年4月閣議決定) の抜本的改訂による科学技術国家戦略が具体的に平成10年6月までに策定される。それに対して、科学技術者主導による提議を行うことである。

工学系学協会は、科学技術の知識を創造する研究者の情報発信、切磋琢磨、国際交流、産業社会への知識移転と啓蒙などを通じて国民生活の基盤を整備し、経済フロンティアの開拓、産業国際競争力の形成、雇用の充実などへの寄与の側面を持つと共に、理学、農業、医薬学とも深い関連を有する。

また、経済・経営、産業秩序及び法律・制度、文化芸術的側面にもかかわりを持っている。従って裾野が広く、国民レベルからは身近で産業社会における専門家集団による中核的科学技術活動機関として位置付けられ、特定の企業・大学・団体の利益代表ではない。専門深化の学協会の連合体としての(社)日本工学会は、特定の専門分野の利益代表ではあり得ない存在であることも中立的かつ公平性の面から国家として利用価値が高い。

工学系学協会のもう一つの特長は、組織的に大きい学会 (会員数万人から数千人) が数多く存在し、それぞれの学協会が自力で学術政策の推進を行う力を持っていることである。日本学術会議第5部は、研究連絡委員会の抜本的改組を行い、第17期から学協会からの提議を審議し、对外報告とする道を開いた。日本学術会議は、「学者の国会」と言われるように審議勧告機関であり、政策の推進活動の機関では無い。それらは学協会の役割・使命の一つであろう。

日本工学会では、指導的学協会を中核とする学協会連合 (ユニオン) のグループ化を進めており、一方、日本学術会議第5部は、各専門委員会の連合 (ユニオン) による課題別研究連絡委員会を設置活動することを決定している。

この両者が連絡を取りあって、科学技術基本政策策定作業と連動して、産・学・官連携による民主導型の構想提案

型科学技術政策システムが創出されることを期待している。それによってこれまでの政策立案システムに対する補完機能として、国民の理解がより得易くなるものと考えている。

「人づくり」については、青少年の科学技術教育のために、日本工学会は「青少年科学技術フォーラム協議会」（会長有馬朗人元東京大学総長）の創設・運営に貢献している。それは全国連合小学校校長会、全日本中学校校長会、全国高等学校校長協会、全国工業高等学校校長協会、国立高等専門学校協会、主要関連学協会、全国産業教育担当指導主事協会、産業教育振興中央会、その他理科・技術科教育などの研究会等の会長の方々の協議会で、科学教育関連団体を網羅している。

高等教育から専門技術者となる過程への改革のために、「国際的に適用するエンジニア教育検討委員会」が、(社)日本工学教育協会と(社)日本工学会との協力によって、平成9年6月10日初会合を持った。会長に吉川弘之日本工学教育協会会長（前東京大学総長）が就任し、土木学会、日本建築学会、日本鉄鋼協会、化学工学会、日本機械学会、電子情報通信学会等の指導的学協会会長の方々と、これまで推進をはかられてこられた日本学術会議会員の方々に

よって、本会の発足が決議された。約30の学協会が内部体制を整えて、二名の代表者派遣を申し出られていることを受けて、グループ毎の協力体制を作り、平成9年7月28日総会を開催し活動を開始した。

これらの組織体制は、いずれも科学技術政策審議に対応する学協会連合とリンクされて運営することが構想されており、学協会独自活動、専門的ユニオン、課題別ユニオン、また日本学術会議の勧告権との連動、あるいは実行機関として産・官・政への働きかけを行うなど、柔軟にそれぞれの分野別問題提起やその進展状況、産業社会や国際動勢への変化に対応して活動出来る協力体制作りが考慮されている。

これは21世紀へ向けての新たな試みであり、民主導型科学技術政策提案ルート構築の壮大な実験とも言える。欧米型の伝統的王室や国家権力主導の学会体制ではない、産・学・官の科学技術者共同研鑽型のユニークな日本の工学系学協会ではなくては出来ないことととらえている。関係各位の理解と協力によって建設的な新しい科学技術政策体系の道が開かれることを願っている。

(1997年7月3日受付)

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

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

Framework Programme of Research and Development at National Research Institute for Metals and
National Institute for Research in Inorganic Materials, Science and Technology Agency

1 はじめに

数々の科学技術の中でも、物質・材料系科学技術は、あらゆるものの基本性能に係わる基盤たる研究分野であり、従来から我が国の科学技術全体の進展ならびに経済社会の発展に大いに貢献してきた。鉄鋼材料分野に関しては(株)日本鉄鋼協会の貢献も多大なるものと評価される。今後とも眼前に迫った21世紀社会を見据え、技術革新の原動力として大いにその役割を果たしていくことが期待されている。

一方、科学技術庁は、我が国における科学技術の振興を図り、国民経済の発展に寄与するため、科学技術に関する行政を総合的に推進することがその主たる任務であり、当材料開発推進室においても、関係行政機関の科学技術に関する総合調整に関する事務のうち物質・材料系科学技術の分野に関すること、及びこれらの科学技術に関する基本的な政策の企画・立案及び推進を行ってきた。

また、この分野における当庁国立研究機関である金属材料技術研究所ならびに無機材質研究所における研究開発を中心に、さらには科学技術振興調整費、創造科学技術推進事業、理化学研究所におけるフロンティア研究システム等により、基礎から応用にわたる広範な材料の研究開発を推進している。

両研究所では今春に、昨年閣議決定された「科学技術基本計画」に則り、両研究所において今後10年程度の物質・材料系科学技術に関する研究の方向を展望し、国立研究所としての責務をより効果的に果たす目的で、当面5年間の研究活動の基本方針たる長期計画を改訂した。本稿はそれらの概要を紹介するものである。金属材料技術研究所の長期計画は5年ぶり、無機材質研究所の長期計画は4年ぶりの改訂であり、前長期計画からは科学技術基本法、科学技術基本計画の制定、金属材料技術研究所の筑波移転の完了等、両研究所を取り巻く目まぐるしい環境の変化も踏まえ

検討がなされた。以下、両研究所毎に位置づけ、長期計画の背景、目的、内容等について順を追って紹介する。

2 金属材料技術研究所

2.1 金属材料技術研究所の沿革

金属材料技術研究所(岡田雅年所長、所員415名うち研究者328名)は、昭和31年7月に東京目黒に設置されて以来今日まで、金属材料技術に関する唯一の国立総合研究機関として、優れた性能を有する新材料の開発、その新材料をはじめとする各種材料の精製や成形加工に関する新技術の開発ならびに安全性及び信頼性確保のための材料評価に関する研究等を行ってきた。この間、昭和53年の筑波支所開設に端を発し、平成7年度には閣議決定たる「国の行政機関等の移転について」に基づく筑波地区への移転を完了した。また、同年度には研究所における国際共同研究の核たる強磁場ステーションと精密励起場ステーションからなる『極限場研究センター』を設置、さらに翌年度には極高真空場

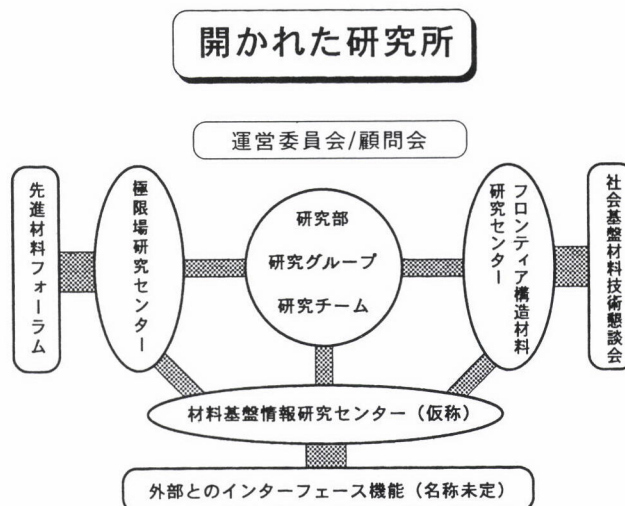


図1 金属材料技術研究所の組織概要

を利用した材料研究を推進する極高真空場ステーションを追加設置した。

今年度には、21世紀における新たな社会基盤構築のための基幹材料の開発を念頭においた新世紀構造材料（超鉄鋼材料）の研究を推進する『フロンティア構造材料研究センター』を新設し、独特な研究推進体制を図るべく新たな3つのステーションを組織している（図1）。

これらの他、新超伝導材料やインテリジェント材料といった高性能・新機能を有する新材料の開発に関する研究、機器や構造物の信頼性・安全性を確保し、さらに高度化していくための材料信頼性の確立に関する研究、等を強力に推進している。

2.2 第5次長期計画の策定

5年前に策定した本研究所の前長期計画の基本的考え方は、「基礎科学に立脚した材料研究の推進、国際的に開かれた研究所への展開」であり、この計画に基づき現在までに極限場研究センターの創設、中核的研究拠点（センターオブエクセレンス、以下COEと記す）の指定を受ける等積極的な研究活動を行ってきた。

しかしながら、この間の「新しい研究所の創設」をスローガンとした筑波全面移転の完了とあいまって、科学技術基本法や科学技術基本計画等の制定やその他諸状況の変化に伴い、今年度に長期計画を見直し新たなものにした。

新長期計画は、従来の基本方針である「材料科学の基礎的・先導的研究の一層の推進」、「国際的な研究開発拠点としての基盤構築」に、「社会的・経済的ニーズへの積極的な対応」を加えた3つを基本的な考え方とし、その実現にむけ以下の5つの視点に基づく施策を設定、強力に推進していくことをうたっている。

○材料科学の基礎的要素技術・材料特性に関する研究の推進

○目標達成型基礎研究の推進

○大型実験施設を利用した基礎研究の推進

○長期的展望に基づく材料基盤情報に関する研究の推進

○国際的研究開発拠点としての基盤の構築

2.2.1 材料科学の基礎的要素技術・材料特性に関する研究の推進

本分野におけるトップランナーとして、未踏領域における独創的・先端的な研究を推進するため、蓄積してきた研究成果や技術ポテンシャルを基盤に、基礎的要素技術や材料特性に関する研究に取り組む。そのため、材料科学研究に必須な「基礎・基盤研究」、そこから生まれたシーズに基づき新たなブレークスルーをもたらす「材料開発指向型総合研究」さらには緊急を有し研究内容の特殊性から戦略的

に取り組むべき「萌芽的・戦略的研究」の3つの観点から、それぞれに固有の部、グループ、チームという組織が相互に連携しながら当研究所の技術コアを構成する。

(1) 「材料科学の基礎・基盤研究」：研究部体制による基盤の構築

基本的物性の発現機構を予測・解明し、そこから材料創製を試み、その新材料の特性を確認する、という材料研究の基本的な流れに対応した「計算材料科学」「材料プロセス」「組織・構造解析」の3研究領域に加え、材料に要求される重要な物性を考慮した「強度特性」および「電子物性」に関わる2研究領域を設定、5つの研究部それぞれが有機的に連携（スパイラルダイナミズム；後述）して総合力を発揮する。

(2) 「材料開発指向型総合研究」：研究グループ体制による推進

材料開発の目標が明示できる分野として、「超伝導材料」「原子力用材料」「先進耐熱材料」「インテリジェント材料」及び「エネルギー変換材料」の研究開発を推進する5つの研究グループを構築する。新産業の創出、地球規模の諸問題の解決に資する研究開発を5年の期間で実施し、5年間で課題や体制を見直す。

(3) 「萌芽的・戦略的研究」：戦略的・機動的な研究チームの結成

「生体融和材料関連」と「エコマテリアル関連」の既設2研究領域に、新たに「非周期系物質・材料関連（アモルファス、準結晶等）」を設定する。これらの3つの課題は、材料研究の様々な専門領域の知識の結合が不可欠であることから、研究所の既存の組織にとらわれない機動的な研究チームを結成し、柔軟な体制で研究を行うこととする。

(4) 研究推進のための新たな概念の導入：スパイラルダイナミズム

国内外において材料科学研究の中核機関としての責務を果たしていくためには個別の専門能力を十二分に発揮するとともに、組織を越えた横の連携を強化して目標の達成に向けて研究所としての総合力を高めていくことが必要である。このため、個々の研究開発要素機能を同一の研究課題で円環的に結合させて、相互の情報とタスクの受け渡しを重層かつ連続的に履行させる（スパイラルダイナミズム）ことにより、個々の専門性の深化と結果的に創製される材料の高度化を同時に満たす新たな研究体制を研究推進の基本方針とする。上述の研究部、グループならびにチームの3者が基盤研究に関するコアとしてのスパイラルダイナミズムを構成し、さらに後述するフロンティア構造材料および極限場の両研究センターとの間においてもスパイラルダイナミズムを構成する。

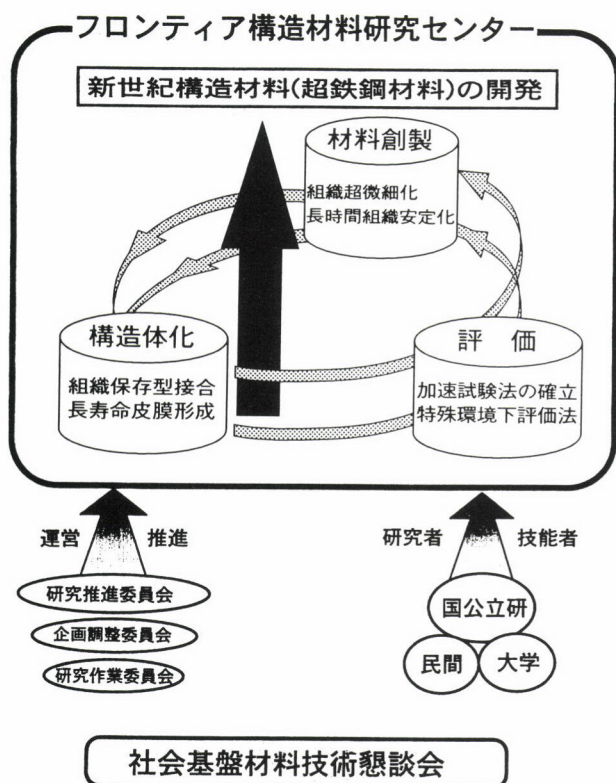


図2 フロンティア構造材料研究センターにおけるスパイラルダイナミズム

2.2.2 目標達成型基礎研究の推進：『フロンティア構造材料研究センター』

より一層安全で快適な社会の実現という社会的・経済的ニーズに対応、革新的な発展やブレークスルーが喫緊に必要とされる分野として、社会に与えるインパクトの大きい構造材料を選定、従来の鉄鋼の2倍の強度・寿命を有する「新世紀構造材料(超鉄鋼材料)」の実現を念頭におき、素材特性としての高強度化とともに、構造体としての長寿寿命化に向けた総合的な基礎研究を実施する。そのために、「材料創製、構造体化ならびに評価」という研究領域に該当する3つのステーションを設置、それぞれがスパイラルダイナミズムによって相互に啓発しながら目標達成にむかって研究を推進する(図2)。

本研究に関しては、所内に新設した『フロンティア構造材料研究センター』に所内の研究者約80名を配置するとともに、任期付き任用や客員研究官、構造材料特別研究員(非常勤職員、新設)等あらゆる制度を活用して大学及び民間企業の優秀な研究者を当センターに結集することにより、産学官で約100名の研究体制を整え、国家レベルでの集中かつ効率的な研究開発を実施していく。

表1 極限場研究センター 強磁場ステーションの保有するマグネット仕様

	提供磁場 (T)	口径 (mm φ)	備 考
大型マグネット			
ハイブリッドマグネット	28	30	He ³ /He ⁴ クライオスタット
	25	50	He ³ /He ⁴ クライオスタット
水冷銅マグネット	25	32	平成9年度完成予定
21T超伝導マグネット	21	50	超流動ヘリウム運転
パルスマグネット			
ロングパルスマグネット	60	15	液体窒素冷却、パルス幅100ms
水冷パルスマグネット	40	60	開発中、パルス幅20ms
精密超伝導マグネット			
20T精密超伝導マグネット	20	52	希釈冷凍機付(試料空間:20mm φ)
16T精密超伝導マグネット	16	65	希釈冷凍機付(試料空間:25mm φ)
固体NMR用超伝導マグネット	15.5	70	He ³ /He ⁴ クライオスタット
溶液NMR用超伝導マグネット	11.75	89	永久電流モードで常時運転(500MHz)
小型超伝導マグネット			
20T超伝導マグネット	20	52	He ³ /He ⁴ クライオスタット
15T超伝導スプリットマグネット	15	(44)	径方向ギャップ34mm
14T超伝導マグネット	14	30	
無冷媒10T超伝導マグネット	10	100	縦・横置
無冷媒10T超伝導マグネット	10	100	縦・横置、平成8年度整備予定

2.2.3 大型実験施設を利用した基礎研究の推進：『極限場研究センター』

材料科学技術の発展に伴い、材料の構造や特性をよりミクロな原子のレベルで制御することが可能となり新たな材料や特性が見いだされとの期待が高まっている。この点から、材料の性質を決定する電子の状態を把握することがますます重要となるが、極限的な実験環境場はこの材料研究にブレークスルーをもたらす可能性が高い。

当研究所のCOE対象研究分野でもある「強磁場、精密励起場、極高真空場」の3つの極限場について、世界最先端の研究環境を具現化することを目的として『極限場研究センター』にて大型実験設備の開発整備を推進しつつ(表1)、各極限場の連携を強化、複合極限場研究としての深化を図るとともに、共同研究体制を確立して施設を広く世界中の研究者に開放し、積極的な共同研究を通じて効率的な基礎研究を推進する。

2.2.4 長期的展望材料基盤情報に関する研究の推進

社会的、経済的ニーズに対応し、新産業の創出にも貢献しうる独創的な研究の推進には、研究開発の共通基盤となる質の高い貴重な情報の整備が不可欠である。このため、当研究所として、クリープデータシート等材料特性データを継続的に生産、データベースを構築するとともに、データ解析・評価技術のインテリジェント化、材料特性の基準化や試験評価法の標準化を念頭においたプレスタンダード研究を遂行する。これらの実現のため『材料基盤情報研究センター(仮称)』の創設を目指しつつ、材料データベース整備等を長期的展望により推進する。

2.2.5 国際的研究開発拠点としての基盤構築

「国際的に開かれた研究所への展開」は前長期計画から続く基本的考え方であり、独創的かつ高水準の研究開発を促進するため、国際的な連携・交流を図るとともに、国内外の研究者にとって魅力ある環境にむけた整備を推進する。具体的には、研究所の運営体制の強化、規格・調整機能の充実、多面的な研究評価の厳正な実施とその活用、研究支援体制の強化、人材の育成・確保、情報化の促進・有効活用、研究交流の積極的推進等、全所的な体制整備を図る。

3 無機材質研究所

3.1 無機材質研究所の沿革

無機材質研究所(猪股吉三所長、所員163名うち研究者117名)は、昭和41年4月に設置され、それ以来我が国の非金属無機材質の創製に関する研究の中心機関として、エネルギー・エレクトロニクス・航空宇宙等の多様な要請に応えて、新超伝導材料をはじめ耐熱材料、超硬材料ならびに電子技術用材料等の研究開発を行ってきた。昭和47年には国立試験研究所では第1号として筑波研究学園都市に移転を完了した。

固有の材質研究を行う研究期間が設定された13研究グループ、特有の要素機能的2ステーション(超高圧力ステーション、超微細構造解析ステーション)、プロジェクト研究のための2センター(先端機能性材料研究センター、

未知物質探索センター)が連絡・協力を図る機構や運営面でユニークなシステムを構築し(図3)、研究スタッフの充実や研究施設・設備の整備と併行させて、独創的な材料研究や新機能のシーズ創出といった積極的な研究の推進につとめている。

平成5年度には、COE構築プロジェクトの我が国最初の実施機関の一つに選定され、「超常環境を利用した先端材料研究」をその対象領域に、「超高圧力・超高温・超微細構造解析」の3分野において、最先端の研究を展開中である。

3.2 長期計画の改訂

前長期計画は平成5年4月に策定され、最も重要な研究として「超高圧領域、超高温領域、および超微細構造解析領域」の3つの領域を設定した。同年度に、COE化推進の最初の国立試験研究所として選定されたことも大きく貢献して、この4年間にn型半導体ダイヤモンド薄膜等をはじめとして新しい画期的な研究成果を得るに至っている。また、先端機能性材料研究センター棟等の研究施設の拡充や、研究支援室の新設等の運営面での改善も図ってきた。しかしながら、科学技術基本計画の策定に伴い予想される今後の急速な研究環境の変化を配慮しながら、所としての新しい研究展開を可能にするために長期計画を見直した。

新長期計画では、研究所を超高純度無機材質をはじめとした新物質の創製を軸に「セラミックスを中心に無機材料の分野におけるブレイクスルー型研究を遂行する組織」として明確に自己規定し、研究領域と対象を分類してそれぞれの重点目標を設定した。

3.2.1 基本的な研究領域・対象として取り上げるべき課題

無機材質研究所では従来から、研究対象たる特定材料に関して一定期間内、チームを組んで研究を行う特徴的なグループ研究体制を採用してきた。研究課題はその都度研究者が提案し、審査の結果課題が採用される仕組みとなっており、常に最新の研究状況を背景にした新規課題が提案される利点から、研究所の創造力の源泉となっている。しかし一方で、応用展開や実用化等を目指した長期的な課題の事前設定が難しく、研究所の重点研究領域が設定しにくいという側面もあった。このことから、新計画ではあらかじめ研究領域と研究対象をある程度網羅的に列举し、それぞれにおける近い将来での重点目標を設定した。同所が先導的に研究を行うべき研究領域(研究手法による分類)は以下の4つである。

○新物質や新素材の創製・探索；

高純度物質、新結晶成長技術、新プロセス制御等



図3 無機材質研究所における研究組織概要

- 極端条件の発生技術とそれを用いた新物質合成；
超高压力、高エネルギー粒子、超高温、各種重力場、無塵等
- 先導的計測、解析、評価；
電子線・イオン利用、X線・放射光利用、中性子利用、分光利用等
- 物質の性質・現象および物性予測；
微小領域、表面・界面、電子構造、フォノン構造、計算手法等

これらの研究領域の中で、これまでに蓄積された研究ポテンシャルとグループ研究という研究運営の特徴を活かし、社会からの要請や最新の科学動向を視野にいたした基本的研究対象(具体的な物質・材料)を以下の3つに分類した。

- 先進特性・機能を有する物質〔新組成、新構造、新組織あるいは新しい物性を帯びると予測される未知または既知無機化合物〕；
原子・分子制御による薄膜、高純度・高品質大型単結晶、イオン・プラズマ利用による新物質、極端条件下で合成される物質等
- 複合特性や連携機能を有する物質〔異なる性質・形態を複合した物質〕；
混成(ハイブリッド)構造物質、サイズ効果に基づく物質、インテリジェント物質、宇宙および原子力

■あらゆる物質を超えるスーパーダイヤモンドの特性

	スーパーダイヤモンド	Si	スーパーダイヤモンドの特徴
	立方晶BN	ダイヤモンド	
硬さ (ヌーブ, Kg/mm ²)	5,000	10,000	1,000 ●物質中最高の硬度
熱伝導率 (W/cm・K)	13	25	2 ●最高の放熱性
バンドギャップ (eV)	7	5.4	1.1
●発光波長限界 (μm)	0.18	0.23	1.1 ●短波長レーザー
●耐熱温度 (℃)	1,000	1,000	200 ●高温で働く半導体
正孔移動度 (cm ² /V・S)		2,100	450 ●超高速処理半導体
耐放射線性	極めて安定	極めて安定	不安定 ●可動な環境で動作する半導体

■広がるスーパーダイヤモンドの未来



図4 主要プロジェクト 機能性スーパーダイヤモンドの特性

関連材料等

- 生体および環境に調和した物質〔生体機能代替、環境保全、省資源等社会的要請に応える物質〕；
生体類似機能物質、資源リサイクル、過酷な環境に耐える高強度物質、将来のシステムを支える高効率・高機能化材質等

3.2.2 重点的に取り上げるべき研究課題

上記の分類とは別に、社会的な要請等から重点的に研究することが求められている課題を設定し、できるだけ早期に研究所がミッションとして進めるべき重要課題を以下のように設定した。

- (1) 超常環境を利用した新高原子密度物質の創製・材料化
 - ①超高压力発生技術の開発と新高原子密度物質の合成
 - ②機能性スーパーダイヤモンド(図4)
 - ③超微細構造解析
- (2) 生体・環境調和材料
医療福祉への貢献を目指した生体調和セラミックスの研究開発
- (3) SPring-8を利用した材料の超精密解析
SPring-8への専用ビームライン設置(図5)による材料評価技術の高度化
- (4) 高度計算材料科学
- (5) 物質・材料の知的基盤整備
- (6) 高機能電気伝導性酸化物の開発(新超伝導性物質)
- (7) ソフト化学プロセッシング

これらの研究開発は、無機材質研究所の真価を世に問うものとして強力に推進していく。

3.2.3 研究推進体制の整備・強化

- (1) 研究推進のための組織形態

SPring-8無機材研専用ビームライン構想

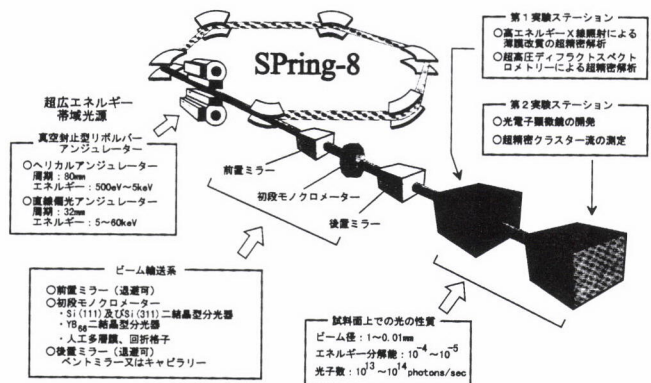


図5 SPring-8の専用ビームラインの仕様一覧(案)

より良い研究環境への改善は研究成果を挙げる上で重要であるため、グループ研究体制の柔軟化、所内横断的なチーム編成によるプロジェクトの効果的推進、外部開放型研究組織の導入、放射光利用研究組織の新設等を順次進めて行く計画である。

(2) 開かれた研究組織

特に外部開放型研究組織については、外部との研究交流を一層促進するために導入するもので、所内で調達・育成が困難な専門分野の知識を持つ研究者を外部から招聘し、一定期間所内で研究活動を行う試みを検討している。これにより研究所がカバーする専門分野が拡充されるだけでなく、人事交流による知的触発や一層の競争的環境の確保といった効果も大いに期待される。

(3) 研究推進のために必要な方策ほか

研究環境の改善に加えて、さまざまな制度運用も重要なポイントとしてあげており、新計画では研究推進のために必要な新しい方策を掲げている。若手を中心とした人材の確保、厳正な研究評価及びその活用、外部との研究交流、フレキシブルな経費の確保等を検討している。特に人材の確保に関しては、定員・定員外を含め所内で常時250人程度の研究者（現在の研究職員の定員117名）が必要とみこみ、民間や大学等からの研究者の受入れ、フェローシップ制度

の活用等の種々の方策に配慮している。これらは科学技術基本計画に則して、研究者の流動化や産学官の連携等を拡充するためにも、無機材質研究所が早急に採るべき方策として焦点を充てたものである。

以上に掲げた新計画が着実に達成された暁には、研究所は無機材料研究の世界的なCOEとしてのプレゼンスをより確かなものにすることができる。

4 新長期計画の着実な推進にむけて

本稿で紹介した新長期計画は、今後10年程度の材料科学技術ならびに両研究所の研究の方向を展望し、当面5年間の研究活動をより効率的に推進する前提として、両研究所が国立研究機関としての責務を果たし、材料科学研究の中核機関となるための活動基本方針を示す目的から策定された。したがって、本計画の策定には、それぞれ所内で討議をすすめるだけでなく、外部の多数の有識者から貴重なご意見・ご助言を頂くことに特に留意した。この場をお借りして関係各位に厚く御礼申し上げると同時に、今後新計画の着実な実行にむけて、両研究所へのさらなるご協力とご支援をお願い申しあげる次第である。

(1997年7月4日受付)



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

梅本 実

豊橋技術科学大学工学部生産システム工学系 教授

Minoru Umemoto

Grain Size Number and Grain Diameter

1 はじめに

金属を適当な腐食液で腐食して光学顕微鏡で見ると、網目に似た組織が観察される。これは結晶粒界と呼ばれるものであり、それに囲まれた部分が結晶粒である。1つの結晶粒は、1個の単結晶であって、それぞれの結晶粒の中で原子は規則正しい配列をしている。

一般の金属は多くの結晶粒からなる多結晶体である。金属の機械的、物理的、化学的性質の多くは結晶粒の大きさに依存するので、多くの材料において結晶粒径を制御する努力がなされている。例えば材料の強度と靱性は結晶粒径が小さくなる程向上する。特に降伏強度が結晶粒径の $-1/2$ 乗に比例することはホール・ペッチの関係として良く知られている。また結晶粒径を小さくすると粒界すべりにより超塑性が発現する場合がある。一方高温用材料では粒界すべりのためクリープが起りやすくなるので、結晶粒を大きくする努力がなされている。また機能材料においても結晶粒径は熱伝導や、残留磁束密度などの物理的性質にも影響を与えることが知られている。最近では結晶粒径をナノサイズにすることにより、これまでにない新しい特性をもった材料を作ろうという試みが盛んになされている。このように金属材料にとって結晶粒径は最も身近で重要な組織因子の一つである。

さて“結晶粒径”というと、その意味は非常に明解のように思える。しかし、結晶粒径を定量的に表現しようとすると、その寸法のとり方には種々な方法がありえることがわかる。例えば結晶粒径を結晶粒1個の平均の体積に等しい球の直径にするとか、多結晶体を同じ大きさの14面体の集合と考えて結晶粒径を14面体の相対する正方形の間の長さとするなどである。したがって材料の技術者や研究者が“結晶粒径”を扱う場合、共通の定義に従う必要がある。

本稿では結晶粒径の規格に関する話などをまとめてみた。まず結晶粒径の測定方法と、それに関連して定義され

た粒度番号、公称粒径などについて述べ、次に計量形態学から導かれる結晶粒に関したいくつかの幾何学上の関係式を紹介する。そして結晶粒に関した種々の量の間の相互関係についてまとめた。最後に光学顕微鏡以外の結晶粒径測定方法を紹介した。ただし本稿で取扱ったのは単相で等軸的で、大きさのだいたい揃った整粒の場合である。その他の場合については文献¹⁾を参照されたい。なお本稿は著者らが以前に熱処理協会機関誌に書いた技術解説²⁾に加筆修正したものである。

2 ASTMおよびJISにより規定された結晶粒度測定方法

2.1 ASTMにより規定された粒度測定方法

ASTMは結晶粒度の測定に関してつぎの3つの方法を規定している³⁾。

(1)比較法：100倍の倍率で試料の顕微鏡写真を取り、これを標準粒度図と比較することにより決定する。これは半定量的な方法である。

(2)求積法 (Jeffries法⁴⁾、面積計量法)：顕微鏡写真または顕微鏡のすりガラスのスクリーン上に面積既知の円もしくは矩形を描き、適当な倍率で、円もしくは矩形の周線と交わる粒の数と、図形内に完全に含まれる粒の数を別々に数える。周線と交わる粒の数の $1/2$ と、内部に含まれる粒の数の和を、その面積内に含まれる粒の数とする。用いた倍率における平方インチ当たりの粒の数を計算し、次式によりASTM粒度番号に換算する。

$$G = \log_2 n + 1 \quad \dots\dots\dots(1)$$

ここに

G ：ASTM粒度番号

n ：倍率100倍における1平方インチ当たりの粒の数
つまりASTM粒度番号は倍率100倍において1平方インチ当たり粒が1つある場合を粒度番号1とし、粒の数が2

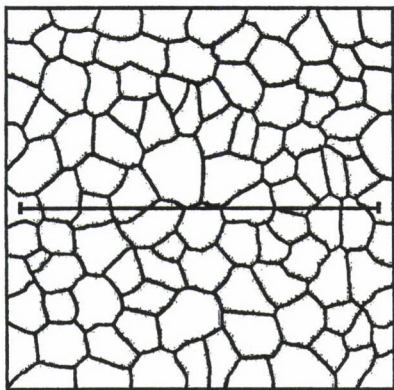


図1 切断法による平均結晶粒切片長さの測定

倍増えるごとに粒度番号が1つ増えると定義している。この定義をメートル単位で表わすと、つぎのようになる。いま倍率1倍における1平方mm当たりの粒の数を n_a とすると、 $1\text{inch}=2.54\text{cm}$ であるから

$$n_a = n / (0.254)^2 \quad \dots\dots\dots(2)$$

したがって粒度番号は n_a を使って表わすと

$$\begin{aligned} \therefore G &= \log_2 n_a + \log_2 (0.254)^2 + 1 \\ &= \log_2 n_a - 2.954 \quad \dots\dots\dots(3) \end{aligned}$$

となる。(JIS規格では $N = \log_2 n_a - 3$ としている) また試料面上での粒1個の平均面積 $\bar{a}(\text{mm}^2)$ は

$$\bar{a} = 1 / n_a \quad \dots\dots\dots(4)$$

で与えられる。この $\bar{a}$ を使ってASTMは公称粒径 $d_n(\text{mm})$ を

$$d_n = \sqrt{\bar{a}} \quad \dots\dots\dots(5)$$

で定義している。つまり公称粒径は試料面上での平均結晶粒面積と等しい面積をもつ正方形の一辺の長さということになる。この公称粒径は、その定義からもわかるように、直感的に考える粒径よりも小さい。例えば粒1個の平均体積と等しい体積の球の直径と比較すると、その約7割ほどの大きさである。

(3)切断法：この方法は顕微鏡写真またはすりガラスのスクリーン上に図1に示すように既知の長さの直線を引き、これと交わる粒の数を計算する方法である(切断法のうち直線を使うものを特にHeynの方法⁵⁾というが、他に円を使う方法もある⁶⁾)。今倍率100倍における平均結晶粒切片長さを $\bar{L}(\text{mm})$ とすると $\bar{L}$ と粒度番号 G との関係は、つぎのように定義されている。

$$G = 10.00 - 2 \log_2 \bar{L} \quad \dots\dots\dots(6)$$

切断法による粒度番号をこのように定義しているのは求積法によって求めたものと一致させるためである。その基本的関係としては、求積法で求めた $\bar{a}$ と倍率1倍の平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}(\bar{L}=100\bar{\ell})$ との関係を付録に示す理由から

ASTMでは $\bar{\ell} = (\pi \bar{a} / 4)^{1/2}$ を与えている。この関係から公称粒径 d_n を平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}$ で表わすと

$$d_n = \sqrt{\bar{a}} = (2/\sqrt{\pi}) \bar{\ell} = 1.13 \bar{\ell} \quad \dots\dots\dots(7)$$

となる。また倍率1倍における1平方mm当たりの粒数 n_a は平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}$ で表わすと付録に示す関係から

$$n_a = 1/\bar{a} = \pi/(4\bar{\ell}^2) = 0.785 \bar{\ell}^{-2} \approx 0.8 \bar{\ell}^{-2} \quad \dots\dots\dots(8)$$

となる。(ASTMおよびJIS規格では $\pi/4 \approx 0.8$ と近似している。)

以上がASTMで規定された3つの粒度測定方法である。半定量的な比較法は別として求積法と切断法は同一試料に対して、同じ測定結果を与えるよう考慮されている。したがって平均粒切片長さ $\bar{\ell}$ や公称粒径 d_n の間には、原理的にはのちに一覧表で示すような一義的な関係が与えられる。もっとも厳密には $\bar{\ell}$ と d_n の関係などは、粒の形状に依存するので、求積法で求めた粒径と切断法で求めた粒径は多少異なることもありえる。

2.2 JISにより規定された粒度試験方法

結晶粒度に関するJIS規格には「鋼のオーステナイト結晶粒度試験方法」⁷⁾と「鋼のフェライト結晶粒度試験方法」⁸⁾がある。この二つの規格の内容は基本的に同じであり、ASTMの方法に準じて作られている。JISにおいて結晶粒度番号は「顕微鏡の倍率100倍における25mm平方中の結晶粒の数が1の場合を粒度番号1とし、結晶粒の数が2倍増える毎に粒度番号に1を加え、1/2に減る毎に粒度番号を1減らす」と定義されている。(ASTMでは1インチ(25.4mm)で定義しているがJIS規格では25mmを使っている。) JISに規定されている結晶粒度測定法を簡単にまとめると次のようである。

(1)比較法：顕微鏡で測定した粒度を標準図と比較してその相当する粒度番号を判定する。

(2)切断法：一定の長さの直交する二つの線分で切断される結晶粒の数を測定し、次式により粒度番号に変換する。

$$N = \frac{\log n}{0.301} + 1 \quad \dots\dots\dots(9)$$

$$n = 500 \left(\frac{M}{100} \right)^2 \left(\frac{L_1 \times L_2}{L_1 \times L_2} \right) \quad \dots\dots\dots(10)$$

ここに N ：JIS粒度番号 (ASTM粒度番号 G と同等)

n ：顕微鏡の倍率100倍における25mm平方中の結晶粒の数

M ：顕微鏡の倍率

L_1 (又は L_2)：倍率 M 倍の写真上に引いた互いに直交する線分のうち1 (又は2) 方向の線分の長さの総和 (単位mm)

I_1 (又は I_2)： L_1 (又は L_2) によって切断された結晶粒数の総和

(10)式において $L_1/(MI_1)$ は1方向の平均結晶粒切片長さ

$\bar{\ell}_1, L_2/(MI_2)$ は2方向の平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}_2$ である。今、 $\bar{\ell}_1 \times \bar{\ell}_2 = \bar{\ell}^2$ とすると倍率1倍における1平方mm当たりの粒数 n_a は $\bar{\ell}^2$ を使って表すと、付録に示す関係から

$$n_a = 1/\bar{a} = \pi/(4\bar{\ell}^2) \quad \dots\dots\dots(11)$$

これを使って倍率100倍の写真上で25mm平方あたりの結晶粒数は

$$n = (25/100)^2 n_a \quad \dots\dots\dots(12)$$

従って倍率 M 倍の写真上で総和の長さが L_1 と L_2 の直線による切断法を行った場合の n を求める式は

$$n = \left(\frac{M}{100}\right)^2 \times 25^2 \times \frac{(I_1 \times I_2)}{(L_1 \times L_2)} \times \frac{\pi}{4} \quad \dots\dots\dots(13)$$

となる。ここで $\pi/4=0.785$ であるので、これを0.8と近似し、 $25^2\pi/4 \div 500$ とすると(13)式は(10)式になる。(JISの解説⁸⁾には「ただし、0.8の係数については明確ではなくASTMに問い合わせても返事は得られなかった」とある。0.8を用いる理由は本稿の付録でも明かなように、求積法と切断法で求めた結晶粒度番号を同じにするために導入した係数である。

以上のようにJIS規格では結晶粒度番号を決めることを主体に規格が作られている。結晶粒度番号は単位面積当たりの粒数、つまり結晶粒の平均面積を基準にしている。そしてこれを補完する形で切断法が規定されている。しかし、切断法によって求められる平均結晶粒切片長さはその測定が容易であるだけでなく、次に述べるように、結晶粒界面積を厳密に与えることが出来るので、物理的意味も結晶粒面積より明確である。近年画像解析装置の発達によって、結晶粒の定量化がおこなわれているが、そこでは切断法が主流となっている。従って、平均結晶粒切片長さを基準として、結晶粒径や粒度番号を規定する新しいJIS規格が必要と思われる。

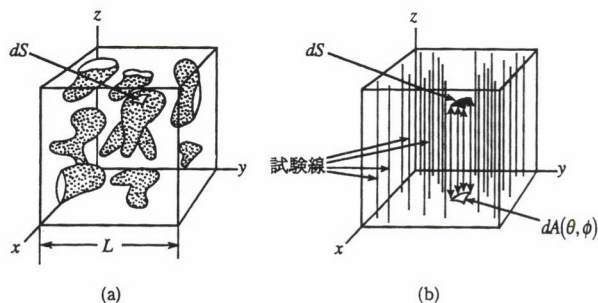


図2 平行な直線群による3次元構造の標本抽出。
(試験線はこの体積中の表面要素の投影を意味している(文献¹⁾より))

3 単位体積当たりの粒界面積と粒数の求め方

結晶粒の大きさは上述のようにその基本寸法の取り方に任意性があるが、単位体積当たりの粒界面積や粒数は一義的に決定できる物理量である。ここでは計量形態学的に求められる粒界面積 S_V と平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}$ との関係、そして単位体積当たりの粒数 N_V と切断面上での平均結晶粒面積 $\bar{a}$ との関係について述べる。

3.1 単位体積当たりの粒界面積 S_V と平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}$ との関係

単位体積当たりの粒界面積は金属のさまざまな性質に大きな効果を及ぼす。例えば相変態や析出においては粒界が優先的な核生成場所となるので、粒界面積の大小は核生成速度に大きな影響を与える。また結晶粒界が障害として作用するような諸性質、例えば硬さ、降伏強度、あるいはクリープのような結晶粒界の移動と結びついた性質にとっても粒界面積は重要な因子である。ここでは単位体積当たりの粒界面積 S_V が平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}$ を使って粒の形や分布によらず厳密にかつ簡単に表現できることを示す。

S_V と $\bar{\ell}$ の関係はSaltykov⁹⁾によって最初に導かれた。いま図2に示すような実体 dS の xy 面上への投影を $dA(\theta, \phi)$ とする。試験線が標本空間中に一様に分布しているとすれば試験線が粒界要素 dS と交わる確率 P_r は

$$P_r = dA(\theta, \phi)/L^2 \quad \dots\dots\dots(14)$$

となる。試験線の数 F とすれば、粒界要素 dS との交点の数は $F[dA(\theta, \phi)/L^2]$ で与えられる。また試験線の全長は FL であるから、試験線の単位長さ当たりの交点の数は

$$dN_L(\theta, \phi) = \frac{1}{FL} \left[\frac{FdA(\theta, \phi)}{L^2} \right] = \frac{dA(\theta, \phi)}{L^3} \quad \dots\dots\dots(15)$$

となる。また上の図より

$$dA(\theta, \phi) = dS |\cos \theta| \quad \dots\dots\dots(16)$$

dN_L を方位に関して平均すれば、位置および方位に関して一様に分布した試験線の単位長さ当たりにできる交点の数の平均値について次式を得る

$$d\bar{N}_L = \int_0^\pi \int_0^{2\pi} \frac{dS}{L^3} |\cos \theta| \frac{\sin \phi d\theta d\phi}{4\pi} = \frac{1}{2} \frac{dS}{L^3} \quad \dots\dots\dots(17)$$

この結果は組織のサンプル内の各面積要素に対して適用できるから組織中の全部の面でできる交点の数は

$$\bar{N}_L = \iint_s \frac{1}{2} \frac{dS}{L^3} = \frac{1}{2} \frac{S}{L^3} \quad \dots\dots\dots(18)$$

右辺の S/L^3 は単位体積当たりの全粒界面であり、これを S_V で表わせば

$$\bar{N}_L = (1/2) S_V \quad \dots\dots\dots(19)$$

また

$$\bar{\ell} = 1/N_L \dots\dots\dots (20)$$

したがって

$$S_V = \frac{2}{\bar{\ell}} \text{ (mm}^{-1}\text{)} \dots\dots\dots (21)$$

この式はその導出方法からもわかるとおり、結晶粒の形や分布にはまったく影響されない。つまり平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}$ を測定すれば単位体積当たりの粒界面積がこの式を使って厳密に求められるということである。

3.2 単位体積当たりの粒数 N_V と切断面上での平均結晶粒面積 $\bar{a}$ との関係

単位体積当たりの粒数 N_V を粒径などと結びつける方法として、Gulliver¹⁰⁾ は試料中の粒数と平均結晶粒面積とを結びつける簡単な式を導いている。図3に示すような高さ H 、断面積 A の円柱状の試料を考え、円柱内の結晶粒の総数を N_t とする。結晶粒の平均直径（粒に内接および外接する2つの球の直径の平均）を d とすると、平均結晶粒体積は $k(d)^3$ と表わせる。ここでは k は形状因子である。この円柱を h の幅で分割したとする。その断面上での平均結晶粒数が n_b であったとすると、各小片の片側の面上の結晶粒数の合計は

$$n_b \times (\text{sliceの数}) = n_b \cdot H/h \dots\dots\dots (22)$$

あるいは

$$N_t \times (\text{粒1個当たりの切断面の数}) = N_t \cdot \bar{d}/h \dots\dots (23)$$

となる。(22)(23)式より

$$n_b \cdot H/h = N_t \cdot \bar{d}/h \dots\dots\dots (24)$$

$$n_b = N_t \cdot \frac{\bar{d}}{H} = \frac{A \cdot H}{k(\bar{d})^3 H} = \frac{A}{k(\bar{d})^3} \dots\dots\dots (25)$$

したがって平均結晶粒面積 $\bar{a}$ は

$$\bar{a} = A/n_b = k(\bar{d})^2 \dots\dots\dots (26)$$

となる。したがって単位体積当たりの結晶粒数 N_V は

$$N_V = 1/k(\bar{d})^3 = \sqrt{k}(\bar{a})^{-3/2} \dots\dots\dots (27)$$

平均して12の面を持つ密な多面体における k の平均値が

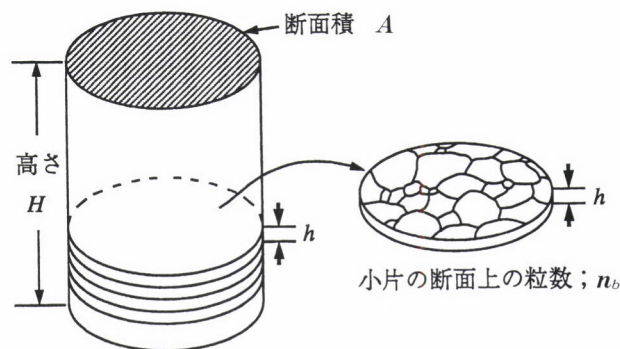


図3 結晶粒の平均体積とある断面上での平均結晶粒面積との関係

0.48であることからGulliverは $\sqrt{k} \approx 2/3$ ($k \approx 0.44$) と近似できるとして

$$N_V = 2/3(\bar{a})^{-3/2} \dots\dots\dots (28)$$

を与えている。この式を使うと試験面上である与えられた面積中の結晶粒数を数えることにより、単位体積中の結晶粒数が求められる。ただしこの $\bar{a}$ と N_V の関係は厳密には結晶粒の形や分布により変化する。

4 結晶粒の幾何学的諸量間の関係

表1に結晶粒に関する幾何学的諸量同士の関係をまとめて示す。表中の各記号はそれぞれつぎのものを示す。

G : ASTM粒度番号

N : JIS粒度番号

n : 倍率100倍における1平方インチ当たりの粒数

(1/inch²)。JIS規格では倍率100における25mm平方当たりの粒数

$\bar{a}$: 試料面上での平均結晶粒面積 (mm²)

d_n : ASTM公称粒径 (mm)

$\bar{\ell}$: 試料面上での平均結晶粒切片長さ (mm)

この表で各行（縦の並び）と列（横の並び）の交わるとこ

表1 結晶粒度と粒径に関する諸量間の関係

	$G(\text{or } N)$	n	$\bar{a}(\text{mm}^2)$	$d_n(\text{mm})$	$\bar{\ell}(\text{mm})$
G or N		$1 + \log_2 n$	$1 + \log_2 \frac{(0.254)^2}{\bar{a}}$	$1 + 2 \log_2 \left(\frac{0.254}{d_n} \right)$	$10 - \log_2 (100 \bar{\ell})^2$
n	2^{G-1}		$\frac{(0.254)^2}{\bar{a}}$	$\left(\frac{0.254}{d_n} \right)^2$	$\frac{(0.254)^2 \pi}{4 \bar{\ell}^2} \div \frac{0.05}{\bar{\ell}^2}$
$\bar{a}$	$\frac{(0.254)^2}{2^{G-1}}$	$\frac{(0.254)^2}{n}$		d_n^2	$\frac{4}{\pi} \bar{\ell}^2 \div 1.25 \bar{\ell}^2$
d_n	$\frac{0.254}{2^{(G-1)/2}}$	$\frac{0.254}{\sqrt{n}}$	$\sqrt{\bar{a}}$		$\frac{2}{\sqrt{\pi}} \bar{\ell} \div 1.13 \bar{\ell}$
$\bar{\ell}$	$2^{(10-G)/2} \times 0.01$	$\frac{0.254 \sqrt{\pi}}{2 \sqrt{n}} \div \frac{0.225}{\sqrt{n}}$	$\frac{\sqrt{\pi \bar{a}}}{2} \div 0.89 \sqrt{\bar{a}}$	$\frac{\sqrt{\pi}}{2} d_n \div 0.89 d_n$	

ろにそれぞれの列の物理量を物理量で表現した場合の結果が示してある。例えば n の行の G の列のところには n を G で表現したもの、つまり $n=2^{G-1}$ が与えられている。この表を使って、ある量から他の量への変換ができる。

5 光学顕微鏡以外の結晶粒径測定方法

ASTM規格やJIS規格では結晶粒度を求める方法としては光学顕微鏡を念頭においている。しかし、光学顕微鏡による観察は試料の研磨と腐食という操作が必要なため、オンラインでは使えない。また最近の研究はサブミクロンやナノサイズの結晶粒径が対象となっている場合が多く、光学顕微鏡はこのサブミクロンの領域には適用できない。ここで光学顕微鏡以外の結晶粒径の測定方法の主な物をまとめておく。

1) 走査型電子顕微鏡 (SEM)

光学顕微鏡では可視光を使っているため、分解能は可視光の波長である $0.5\mu\text{m}$ が限界である。したがって結晶粒径が μm 以下になると、光学顕微鏡ではもはや観察できなくなる。走査型電子顕微鏡 (SEM: Scanning Electron Microscope) では $0.1\mu\text{m}$ 程度の結晶粒径のものまで測定が可能である。ただし結晶粒によって化学組成が異なる場合は2次電子のコントラストの違いから粒界を比較的容易に判断できるが、同一組成の場合は粒界を腐食しておく必要があり、結晶粒径が小さくなるほど腐食は難しくなる。

SEMとelectron channelingを組み合わせたEBSD (electron Back Scattering Diffraction) は各結晶粒の方位が測定でき、亜粒界と大傾角粒界を区別しながら結晶粒径を決定することができる。原理としては $1\mu\text{m}$ 程度に絞った電子ビームを試料にあて、その部分の結晶方位をchanneling patternによって決定する。この操作を試料上である間隔で行うことにより、試料面上での結晶方位の分布図ができ、同一方位の場所を一つの結晶粒とみなすことにより、亜粒界と大傾角粒界を区別した結晶粒径が決定できる。識別できる結晶粒の最小の大きさは、ビーム径と測定場所の密度で決まるが、現在市販されている装置では $1\mu\text{m}$ 程度である。

2) 透過電子顕微鏡

(TEM: Transmission Electron Microscope)

従来の透過電子顕微鏡および高分解能透過電子顕微鏡はサブミクロンの結晶粒径の測定には最も信頼性の高い方法である。ただし透過電子顕微鏡では結晶粒のコントラストを得るにはBragg条件を満足させる必要があり、すべての結晶粒が同時に明瞭に見えるのはまれである。また、粒界が投影された形で観察されるため、試料表面に対して斜め

に入った粒界は幅を持って見え、観察場所の上下方向に複数の結晶粒がある場合は粒界同士の重なりが起こる。

3) X線回折

X線を利用して結晶粒径を測定する方法には2つの方法がある。その一つはデバイ-シェラー環のX線強度の相対標準偏差を測定して粒径を求める方法で、数十 μm 程度の粒径測定に使用される。複数の検出器を特定の結晶面からの反射位置に配置し、各検出器には少なくとも数個の斑点が入るようにしておく。各検出器で回折強度を測定し、計測値の相対標準偏差 D_m を求める。粒径 d と D_m にはよい相関関係があり、これを利用して粒径を求める¹¹⁾。もう一つの方法は回折線の拡がりから結晶子の大きさを求める方法で $0.2\sim 0.002\mu\text{m}$ の粒径測定に使用される。結晶子(crystallite)が $0.2\mu\text{m}$ より小さくなると回折線の幅が広がる。そしてこれが $20\text{\AA}$ 程度以下になると、いわゆる非晶質の回折図形を示す。したがって結晶子がそれらの中間の大きさであれば、回折線の幅を測定して結晶子径を求めることができる¹²⁾。Scherrerは結晶に歪がなく結晶子の大きさが均一で、回折線の幅の拡がりから結晶子の大きさだけにと仮定して次式を導いた。

$$D_{hkl} = \frac{K\lambda}{\beta \cos \theta} \quad \dots\dots\dots (29)$$

ここで D_{hkl} は (hkl) 面に垂直方向の結晶子の大きさ($\text{\AA}$)、 λ はX線の波長($\text{\AA}$)、 β は回折線幅(rad)、 θ は回折角($^\circ$)、 K は定数である。ただし、多結晶体の個々の結晶粒は一般に複数の結晶子の集合体であるから、電子顕微鏡などで観察する粒径に比べて小さい場合が多い。

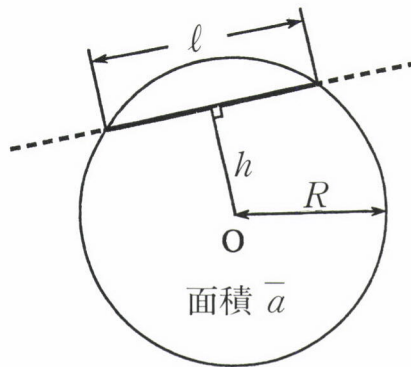
4) 超音波

超音波は多結晶材料内を伝搬する際、結晶の弾性異方性のため、結晶粒界面による散乱をうけてエネルギーを失い、振幅が小さくなる。この原理を使って縦波超音波パルス多重反射法により $3\sim 35\text{MHz}$ の周波数域で減衰定数を測定することにより、結晶粒径を測定することができる¹³⁾。

6 おわりに

“結晶粒の大きさ”は金属組織を扱っているものにとつては非常に身近な量であり、その概念があまりにも単純で明確に思えることから、普段はほとんど注意が払われていないようである。しかし、よく調べてみると、粒径は定義をして初めて意味をもつこと、結晶粒の大きさは測定方法から規格化されていること、単位体積当たりの粒界面積は簡単に測定でき、粒径よりも物理的に明確な量であることなど、に気付かされる。

今回粒径の話をもとめてみたが、JIS規格では結晶粒度



付図 平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}$ と平均結晶粒面積 $\bar{a}$ との関係

による表現が主流であり、結晶粒径についての規格は見あたらない。実用材料にとっては粒径よりも粒度の方がなじみがあり、おそらくそれで支障がないものと思われる。しかし、研究の分野ではサブミクロンやナノサイズの結晶粒径が対象となっており、光学顕微鏡を主な道具として測定する結晶粒度は、このサブミクロンの領域には適用できない。サブミクロンの結晶粒径に対する規格の制定がいずれ必要になろう。現状では世界の研究者の間で、結晶粒径の算定方法を少なくとも統一しておく必要がある。本稿が結晶粒径を測定するときの参考になれば幸いである。

付録

試料面上での平均結晶粒切片長さ $\bar{\ell}$ と平均結晶粒面積 $\bar{a}$ との関係

この問題は面積 $\bar{a}$ の円に任意に引いた直線が交わってできる弦の長さの平均値を求める問題に近似できる。いま付図のように面積 $\bar{a}$ の円の半径を R とすると、中心から h の距離を通る弦の長さ ℓ は

$$\ell = 2\sqrt{R^2 - h^2} \quad (\text{付-1})$$

中心から h と $h + dh$ の間を直線が通る確率は dh/R であるから、弦の平均長さ $\bar{\ell}$ は

$$\bar{\ell} = 2 \int_0^R \frac{\sqrt{R^2 - h^2}}{R} dh = \frac{\pi}{2} R \quad (\text{付-2})$$

円の面積は $\bar{a}$ であるから $R = (\bar{a}/\pi)^{1/2}$ であり、したがって

$$\bar{\ell} = (\pi \bar{a} / 4)^{1/2} \quad (\text{付-3})$$

ところで $\bar{\ell}$ と $\bar{a}$ に式 (付-3) の関係が成立すると G と $\bar{L}$ の関係は

$$G = 1 + \log_2 \frac{(0.254)^2}{\bar{a}} = 9.985 - 2 \log_2 \bar{L} \quad (\text{付-4})$$

となり本文の(6)式が近似できる。

参考文献

- 1) 例えば、計量形態学、牧島邦夫監訳、内田老鶴圃新社
- 2) 梅本実、田村今男：熱処理、24 (1984)、p.334
- 3) ASTM Designation E 112-82
- 4) Z. Jeffries, A. H. Kline and E. B. Zimmer : Trans. AIME, 54 (1917)、p.594
- 5) E. Heyn : Metallographist, 5 (1903)、p.37
- 6) 例えば、J. Hilliard : Metal Progress, 85 (1964)、p.99
- 7) JISG 0551-1977
- 8) JISG 0552-1977
- 9) S. A. Saltykov : "Stereometric Metallography" 2nd ed. (1958)、p.446, Metallurgizdat, Moscow
- 10) G. H. Gulliver : J. Inst. Metals, 19(1918)、p.145
- 11) 星野和夫、伊藤健次郎、藤岡外喜夫、円山弘、荒木宏侑、熊沢昭二：鉄と鋼、73(1987)、p.621
- 12) 加藤誠軌：X線回折分析、内田老鶴圃(1990)、p.247
- 13) 関口昭一、井内徹、松田昭一、高藤英生：鉄鋼協会第3回マイクロ組織センサー研究部会、(1992)

(1997年7月31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

戦後から昭和30年代の製鉄発展史

樋口正昭

元製鉄部会長

Masaaki Higuchi

Progress of Ironmaking Technologies in Japan from after the War to 1965

1 終戦直後

1.1 終戦直後の高炉の稼動状況

昭和20年4月頃から空襲は激しさを増し、加えて7月には室蘭の艦砲射撃もあり、日本全土は空と海からの攻撃にさらされた。大きな都市と工場地帯は、ほとんど甚大な被害を受け、日本全体が麻痺状態になりつつあった。高炉は12工場34基の内、終戦直後の昭和20年8月末には、被爆と石炭不足により、輪西、仲町、広畑、東田、洞岡、戸畑の日鉄だけ僅か6工場11基が稼動しているに過ぎなかった。さらに、終戦後ひどくなった石炭欠乏、敗戦による不安等から、輪西第2、戸畑第2、輪西第3、第4、広畑第2、仲町第1、洞岡第4の各高炉計7基が次々と休止した。そして、昭和21年5月からは仲町第2、東田第2、第4、洞岡第2の各高炉の僅か4基のみが、日本の敗戦直後の鉄鉄生産高炉として、稼動している状況であった(表1、図1参照)。

一方、戦後の出炭事情は、敗戦による不安、食糧難及び労働組織の崩壊が重なり、どんどん悪化して、昭和20年11月にはこれまでの15%前後の55万トン¹⁾まで減少した。

鉄鋼界への配炭は僅か10~13万トン²⁾前後で、たった4基の高炉の操業維持にも事欠く始末であった。この惨状に八幡³⁾と輪西は、人手不足の炭鉱に従業員を派遣して、これによる出炭増を枠外として配分してもらい、かろうじて最低操業を維持する状態であった。鉄鋼界に配分される石炭の内、日鉄向けは8万トン前後であったが、これを総花的に各製鉄所に分配しては能率が上がらないとして、日鉄⁴⁾

は昭和21年6月所長会議を経て、7月の本社経営協議会で、石炭を八幡に集中することを決め、即刻実施することになった。従って、仲町⁵⁾の第2高炉は9月2日に休止するの止むなきに至った。これは日鉄の大英断であったろう。この結果、稼動高炉は八幡の3基だけ、内容積計1882m³のみになった。その昭和21年の八幡の鉄鉄生産は僅か約13万トン⁶⁾である。

業界及び政府⁷⁾は、復興のための鋼材の輸入を、総司令部に懇請したが、世界の鋼材不足を理由に許可は下りず、実現に至らなかった。これに代えて、政府は最も必要な石炭と鉄鋼の傾斜生産⁸⁾を、最重点施策とし昭和22年から実施した。

政府、炭鉱関係者の必死の努力により、さしもの出炭も徐々に好転して、約6ヶ月ぶりの昭和22年3月18日には、輪西第4高炉に火を入れ再開のスタートを切った。これが戦後火入れの第1号である。

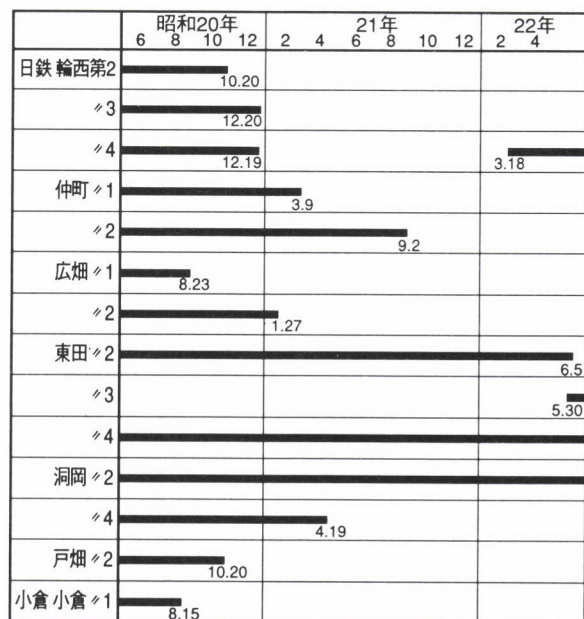


図1 終戦直後の高炉稼動状況

表1 昭和20年の製鉄所と高炉総基数

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
工場	輪西	仲町	釜石	広畑	東田	洞岡	戸畑	小倉	尼崎	船町	川崎	鶴見
高炉総基数	4	3	3	2	6	4	2	1	1	1	5	2

1.2 占領軍の鉄鋼管理政策

日本は、昭和20年8月15日に全面降伏し、ポツダム宣言を受諾したが、終戦直後の日本は虚脱状態と混乱が暫く続いた。

昭和20年9月22日⁹⁾に初めて、「降伏後に於ける米国の初期の対日方針」が発表された。その目的は、日本国の完全な武装解除、並びに非軍事化であり、経済、生産部門もその圏外ではなかった。加えて、余剰設備を撤去賠償することであった。つまり、重工業の生産活動は、将来の平和的需要の範囲とされ、生産活動も極めて苛酷な条件が課せられるであろうと予想された。その上、米国¹⁰⁾には日独国を農業国にしてはという案もあったりして、急激なインフレと食糧難に加えて、占領政策への不安は鉄鋼業にとっては深刻なものであった。

昭和20年秋にエドウィン・ポーレーを団長とする日本賠償調査団が来日し、その年の12月7日には、ポーレー案¹¹⁾が中間報告として発表された。鉄鋼企業については、年産250万屯の製鋼能力を越える設備を撤去するというものであった。

極東委員会¹²⁾は昭和21年6月12日に、ポーレー案に基づいて若干ゆるやかな、銑鉄200万屯、鋼塊350万屯を越える設備を撤去し賠償に当てるという、「対日中間賠償計画」を発表した。そして、8月24日には、鉄鋼22工場に対して総指令部より賠償指定が行われた。終戦直後の占領政策は非常に苛酷で、鉄鋼業の存続も危ぶまれ、昭和22年初めまでは、混乱と不安の中に生き残るための方策を考えながら、その日暮しの会社運営を続けるしかなかった。

しかし、そうこうしているうちに、終戦直後からあった米ソの微妙な対立関係が、昭和22年3月ギリシャ内乱¹³⁾を契機として、米国政府の態度が鮮明化し、ソ連、東欧と欧米の二つの世界の対立がはっきりとしてきた。この必然の結果として占領政策も大きく変わり、日独両国を自由諸国として利用する政策に変わってきた。

米ソ対立の鮮明化により、占領政策は急速に緩やかになった。これは、昭和22年後半に日本を調査し、昭和23年3月に発表されたストライク調査団報告¹⁴⁾にはっきりと表れた。

ストライク報告は2部からできており、第1部は極東委員会案とほぼ同様の内容である。しかし、第2部では、日本を経済失調にしておくより、日本を工業国として、極東の平和に対して貢献させた方が良くと述べ、特に賠償を受け取る権利のある各国に、日本の設備で生産した物資を供給し、物資不足を緩和した方が得策であると述べている。そして、昭和28年の鋼材488万屯（普通鋼材420万屯）という生産量を提示した。

このストライク報告は、設備の撤去、賠償という最も深

刻な問題の解決策を示し、さらに、日本の鉄鋼業への将来の方向を示し、復興に大きな希望と弾みを与えた。

最初のポーレー案は、国内資源のみで銑鉄生産をして、銑鉄の不足分を輸入し、平炉で製鋼するようになっていた。これに対して鉄鋼協議会は、昭和21年6月、「鉄鋼業再建の諸方策」¹⁵⁾を提出して、銑鋼一貫作業でなければ、品質、コストに於いて日本の製鉄業は成り立たないと強調し、鉱石と石炭の輸入の必要性を述べて、諸方面に働きかけた。

1.3 企業の経営者の交替

先にも述べた「降伏後における米国の初期の対日方針」にのっとり、財閥解体、軍協力者の公職追放についての考え方は非常に厳しいものであった。財閥解体の通知に次いで、昭和21年1月4日軍国協力者の公職追放¹⁶⁾の覚え書、さらに、2月27日に公職追放各項がGHQから発表された。製鉄業各社では、このGHQの発表と相前後してトップの交替が行われた。大手の具体例¹⁷⁾を示すとつぎのようである。

日鉄・21年3月渡辺社長辞任、阿部社長代行。5月三鬼社長就任。

鋼管・21年4月末浅野社長辞任、渡辺社長就任。22年5月河田社長就任。

川重・21年12月鑄谷社長辞任、五氏の合議制、25年8月川鉄発足、西山社長就任。

住友・21年1月春日社長辞任、柳沢社長就任、22年4月広田社長就任。

神戸・20年9月田宮社長辞任、浅田社長就任、21年12月町永社長就任。

このように昭和22年には、大部分の製鉄会社の経営者が交替し、新陣容を整え発足した。

1.4 昭和23年、24年

傾斜生産の実施により、出炭は昭和22年から急ピッチで回復に向かった。また、日本の占領政策が緩和に転じたお陰で、海外からの原料の輸入申請も、ようやく総指令部の許可がおりて、昭和23年2月には海南島鉄鉱石の輸入¹⁸⁾が再開された。そして、4月以降米炭、カナダ炭、及び米国ユタ鉱、他各種鉄鉱石の輸入が開始された。すなわち、昭和22年半ばからは製鉄原料に明るい見通しが出てきたと言える。

このように、内地の石炭の増産、占領政策の緩和、会社の新陣容の活動開始、原料の輸入の開始等により、高炉の火入れの態勢も徐々に整ってきた。すなわち、昭和22年1基、23年4基、24年2基の高炉が増稼動して計10基となり、漸く鉄鋼界の生産活動も軌道にのり始めた（図2参照）。

終戦直後は、全ての状況が不安な上に、国内炭は量、質共に極端に悪化し、鉱石もまた同様で、国産のものだけで

の操業は、経験したことのない苦労の連続であった。

八幡製鉄所¹⁹⁾のコークスの灰分は昭和20年には、23.97%まで上がり、強度DI15で85弱、鉬滓比は1,530kg/tと、現在からは想像もできないほど悪化した。この条件下における操業は、棚吊り、炉冷、滓出不良が頻繁に起こり、想像を絶する困難の連続であった。

存続の不安と食糧難におびえ、加えて最悪の原料で高炉操業を守られた輪西、東田、洞岡の三製鉄所の従業員の不屈の闘志に、筆者は頭の下がる思いを禁じ得ない。また、傾斜生産の最中に、高炉²⁰⁾を止めてその石炭で平炉を稼動した方が有効なのではないかの意見が出された。八幡は、高炉鉄がなくては軌条、型钢の生産はできない。また、高炉を止めても、平炉の発生炉用石炭が確保できる補償はないとして、高炉の稼動継続を訴えた経緯もあり、高炉を守る日鉄八幡の関係者の努力は、血の滲む思いであったろうと想像される。

もし、この時高炉の火が消えていたら、占領政策の緩和があっても高炉の再火入、鉄鋼業の復興は、相当に遅れたのではないだろうか。僅か3基の高炉であったにしろ、火が消えなかったことが、石炭の傾斜生産に必要な鋼材の供給に寄与し、加えて、占領政策の緩和にも即応できて、鉄鋼業の戦後の復興に非常に役立ったと思う次第である。

さしもの悪条件も、石炭、鉬石の輸入が増加してきた昭和24年には、下記の図3で示すように、コークスと鉬石の質が急激に改善されて、コークス比は昭和20年の最悪の3,841kg/tから戦前、戦時中とほぼ同じの1,000~1,100kg/tに戻った。

2 第1次合理化時代（昭和26年～30年）

2.1 第1次合理化時期の時代背景

昭和22年、米国は、マーシャルプラン²¹⁾を提唱し、欧州の反共陣営の経済援助を強めて復興を支援した。極東方面にも同じ趣旨の政策を進め、日本の生産規制を弛めて、日本に経済自立への道を邁進させるようになった。そして、昭和24年3月には、インフレの克服と円の安定を一举に図ろうとするドッジライン²²⁾の提案となった。さっそく、日本政府は均衡予算を組み実行に移した。円ドルの交換レートは360円に固定した。この引締政策により国内の景気は沈滞し、鉄鋼各社は国内原料の有効利用を推進し、輸入炭、輸入鉬石の節約を図り、合理化を押し進めた。

その国内原料の有効活用の一環として、コーライトコークスが取り上げられた。コーライトコークス²³⁾は明治41年の下村孝太郎氏の特許で、300~600℃で低温乾留したものである。日鉄は昭和4年から戦前、戦後も研究を続け、0.3

mm以下にすればさらに効果が上がる知見を得た。これを昭和24年から27年まで、仲町と八幡で使用し、輸入炭の節約に大きく貢献した。その後、安価な米炭の輸入が増加したので、コーライトコークスの使用を中止した。

	22年 6 12	23年 6 12	24年 6 12	25年 6
日鉄 輪西第3		6.1		
◇ 4	3.18		9.12	
仲町 ◇ 3			9.13	
釜石 ◇ 10		5.15		
東田 ◇ 1			4.1	
◇ 3		5.30		10.19
◇ 4	17.12.21		6.11	
◇ 5			6.15	
洞岡 ◇ 1		7.30		
◇ 2	19.5.12		6.18	
◇ 4			6.20	4.17
NKK 川崎 ◇ 5		4.1		
◇ 4			6.15	

図2 昭和24年末高炉稼動状況

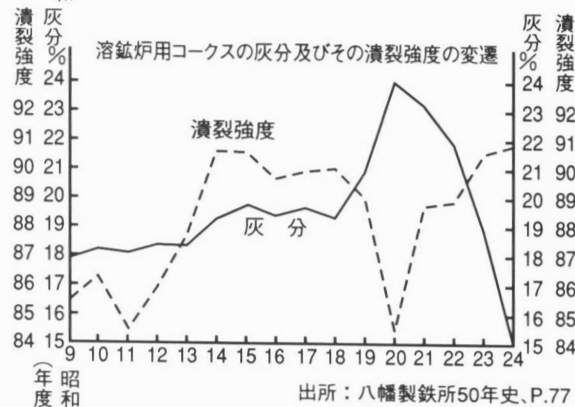
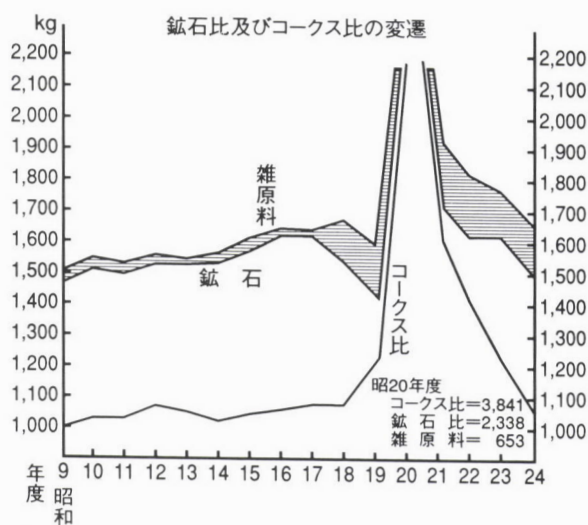


図3 八幡製鉄所のコークス比と諸元

一方、鉄鋼の国内需要は落ち始め、次第に国内在庫が増加した。しかし、幸いにポンド²⁴⁾地域の鉄鋼の需要が強く、北欧の購入が支えとなって、日本の鉄鋼生産はあまり落とさずに持ちこたえていた。ところが、突如として昭和25年6月²⁵⁾に朝鮮動乱が勃発して、世界中の鉄鋼の需要が急上昇し、買い手市場が再び売り手市場に戻った。国内はいわゆる特需景気で潤い、輸出量もまた飛躍的に伸び、価格の急上昇と併せて、会社の経営はいっぺんに改善された。

昭和25年11月には、中共が朝鮮動乱へ介入したので、開らん炭²⁶⁾の輸入が止まり、米炭に切り替った。これが幸いして、コークスの灰分が下がり強度が増した。これの高炉への好影響は著しく、炉況は安定して出銑量は増加し、コークス比は下がった。このことから全国の高炉関係者は、高炉の操業にはいかにコークスの影響が大きいかを一様に体感した。この経験はその後の高炉用石炭の銘柄を決めるのに、例えようもないほどの大きな影響を及ぼした。そのお陰で、日本の鉄鉄の増産に拍車がかかり、米炭の使用が、日本の鉄鋼増産のスピードを早めた大きな要因の一つあると言っても過言ではない。

このような背景の中で、鉄鋼業の第1次合理化計画²⁷⁾が作製され、26年度を初年度として実行に移し、鉄鋼業の復興に弾みがついた。

第1次合理化は、圧延設備の新設、増強が鉄鋼業全体の資金の50%以上を占めたが、製鉄部門は、高炉、コークス工場、焼結工場の復旧が主で、これに加えて、原料の事前処理設備の新設増強が行われた。

この時、創立間もない川鉄は、千葉新製鉄所を開設し、昭和28年6月17日に、第1高炉に火を入れた。これが日本の新立地、新鋭製鉄所建設の草分けとなった。既設の高炉の稼動が半分にも満たない時期の、千葉の建設認可及び建設工事は、大変な苦労であったろうと推察される。

2.2 製鉄部門の展開

2.2.1 設備の復旧

昭和20年代は、高炉を中心にコークス炉・焼結工場が復旧し、高炉は昭和30年末には11工場21基が稼動し、賠償、閉鎖におののいた戦後から完全に脱却して立ち直った(表2参照)。

昭和25年の朝鮮動乱は世界の鉄鋼需要を呼び起こし、特需と輸出が日本の重工業の立ち直りのきっかけとなったが、実状は復帰、復興が精一杯で、高炉の炉容はほぼ戦時中のままの火入れであった。また、シャフトの鉄皮、鉄帯はそのままの復旧が多く、室蘭、釜石、川崎、東田、洞岡製鉄所には、鉄帯の高炉が再稼動した。鉄帯は煉瓦積み時の固定にてこずり、また、火入れ後のシャフトのガス洩れ

表2 昭和30年末の高炉稼動状況

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
工場	東田	洞岡	小倉	広畑	釜石	室蘭	尼崎	船町	川崎	鶴見	千葉
高炉稼動基数	3	4	1	2	2	2	1	1	3	1	1

および異常膨張に、操業者は一苦勞したものだった。

もう一つ苦勞したものがある。川崎の各高炉の朝顔部は薄壁式煉瓦積みであった。おそらく、戦時中は、操業度も低く炉内の温度も比較的低かったので、経済的な煉瓦積みであったのだろう。しかし、米炭の入荷でコークスの品位が上がり、高炉の操業度が上がった戦後は、朝顔部の煉瓦の寿命が短く、朝顔部鉄皮の亀裂、変形が激しく亀裂部への鉛、銅詰め、朝顔鉄皮の溶接、撒水強化が休風修理の大きな項目となった。

しかし、内容積、鉄皮はともかく、可能な限り設備は良くしようと、復旧設備資金の乏しい中から、各社それぞれに知恵を絞り最大限の改良を行った。その主な内容は、次のようなものであった。

1) 耐火…煉瓦昭和25年頃から、酸化鉄の少ない原料を使用し、高圧成型、高温焼成した、寸法精度の高い米国の耐火煉瓦を輸入使用するところが出てきた。(例・昭和27年火入れの釜石第10、29年の釜石第8各高炉²⁸⁾)これは、国産煉瓦の質的向上の気運を促し、外国産原料の輸入及び設備の輸入に繋がり、一気に国産煉瓦は向上した。

2) 炉体の冷却…戦時中朝顔部、シャフト下部に必要最少限度挿入されていたが、終戦直後の復興から、できるだけ鉄製解放型や銅製密閉型のものを増設して、炉体の冷却強化に努めた。そして羽口²⁹⁾、滓羽口は昭和23年頃よりアルミ製を銅製に変更した。

3) カーボンブロックの採用…昭和26年、炉底破損対策³⁰⁾として洞岡第3高炉の炉底にカーボンブロックを採用したのを契機として、急速に炉底への使用は各社に普及した。そして、昭和30年には、早くも洞岡第1高炉は朝顔部にカーボンブロックを使用した。

4) 電動マッドガン採用…昭和26年、広畑第2高炉³¹⁾は出銑口開孔機、電動マッドガンを採用して、炉前作業のネック解消を目指した。

5) 2 鑄床 2 出銑口及び炉底冷却…改良ではないが、鋼管川崎の各高炉は昭和11年建設火入れ以来、2 鑄床 2 出銑口であった。さらに、ポンドの上に鑄鉄製の台と定盤を置き、その上に高炉が建設されており、炉底は真下から水冷却される構造になっていた。

2.2.2 原料の事前処理

1) 破碎・篩設備…昭和17年7月東田第3高炉³²⁾で塊鉱(整粒鉱27~70mm)のみの操業試験を行った。その効果として、通気性が向上し、出鉄量の増加など、鉱石処理の有効性を十分に認識したが、大型設備が伴わず戦時中は知識のみで終わっていた。昭和26年、エトナ使節団の勧告、さらに、団員の一人であり特に鉱石予備処理に熱心な、Dr. T. L. Josephの講演³³⁾が同年7月に東大で行われた。これらの影響もあって、鉱石の予備処理の気運が盛り上がり、昭和28年には、本格的なクラッシャープラント³⁴⁾が広畑に、塊鉱ベッディングプラント³⁵⁾及びペレットプラントが千葉に設備され、原料予備処理の幕開けとなった。各社の技術者は、この二つの設備の成果に期待し注目した。

そして、焼結鉱の開発、多量使用と共に、原料予備処理設備が、昭和30年代に各社共急ピッチで整備され、高炉の通気性の改善、生産性の躍進の原動力的役目を果たした。特に、千葉の昭和28年のペレットは日本の草分けであり、各社はその効果を注意深く見守った。そして、昭和40年の半ばまで焼結鉱かペレットかの検討が続けられた。

2) 焼結工場…高炉の稼動と共に復旧していった。新設、増強は釜石その他の製鉄所で逐次行われた。昭和28年11月に、洞岡³⁶⁾に空冷装置、ホットスクリーン、自動化装置のついた、ドワイト・ロイド式最新鋭焼結工場が登場した。これが焼結工場の近代化の幕開けとり、その後の焼結工場は全てこの方式になった。

なお、昭和17年6月、日鉄・清津製鉄所第1高炉³⁷⁾で、わが国初の焼結鉱100%の試験が行われ、それ以後も80%使用は継続された。試験結果、並びにその後の効果は原料が硅酸質のためもう一歩というところであった。

また、大正15年鞍山製鉄所³⁸⁾で石灰焼結鉱を生産し、昭和14年には、川崎で高燐石灰焼結鉱³⁹⁾を生産し、さらに、昭和27年に、トーマス鉄用自溶性焼結鉱⁴⁰⁾を生産し使われた。しかし、硫酸滓、国内褐鉄鉱の配合が多く、焼結鉱の強度、粒度に問題があり、高炉の成績を上げるまでには至らなかった。それでも、焼結機の通気性は改善され焼結生産性は向上することが確認された。このように、戦前、戦時中から焼結鉱の開発並びに使用については、先輩の努力が続いていた。

2.2.3 戦後入社の技術員の教育

1) 設備の復旧…各製鉄所とも昭和30年までに約60%の高炉が復帰した。すなわち、昭和22年より30年末までの僅か9年間に、改修、新設等火入れは32基、吹卸しは14基もあって、戦後の新入社員の建設、火入れ、吹卸操業の恰好の実地訓練の場となった。当時は、戦後休止していた高炉を次々と復

旧しなくてはならぬので、新入社員といえども改修班の一員として組み込まれ、勉強かたがた改修を担当させられた。

筆者も昭和23年に入社して、三交替、あるいは、マッドの改良担当をさせられた後、僅か入社2年後には、扇町第3高炉の解体、改修、火入れの一員として活動させられた。

まだ三交替の操業技術の習得も終わらぬうちではあったが、空襲で破損したまま5年間も放置された高炉、熱風炉の解体、そして高炉の復旧、補修、煉瓦積み、填充、火入れは、貴重な経験の宝庫であった。2年間の解体、建設が終わり、昭和26年末の火入れの頃には、いっばしの技術屋になったような気持ちであった。建設に従事したお陰で各セクションの材質、肉厚、構造も空んじてしまったので、故障の箇所の理由もすぐ分かり、図面でのチェックも容易であった。耐火物の知識も一通りは身に付け、最も大切な填充も経験し、火入れ操業で高炉に対する愛着も湧き、普通操業に移ってから操業は丁寧になった。このように全国各社の数十人の新学卒が、9年の間に吹卸し、解体、建設、火入れの技術を、実地で訓練され育成されていった。これだけの学卒が復旧に従事しながら一挙に実習育成できたことは、昭和30年以降の鉄鋼業の発展にいかんにか役に立ったことか計り知れない。勿論、焼結工場、コークス工場の技術者も同様であった。

2) 三交替…筆者は入社した当時の課長から、係長になるまで三交替を勤めるものだと言われたが、実際は高炉の復旧が忙しく何回となく三交替は中断された。しかし、この三交替で、湯面の見方、滓の見方、風熱の上げ下げ、配合計算、棚落としの仕方、送風、休風の仕方、炉冷への対応、羽口の溶損対策、出鉄口の破損対策、滓湧きの処理、ガス洩れ対策、停電対策、製鋼との連絡等々、昼間は上司から指導を受け、夜間は一人で対応することで理論と実践と度胸を身につけることができた。

2.2.4 タールマッドの改良と普及

昭和23年の頃は、一般的には水練りマッドで、釜石と川崎がタール練りマッドを使用していた。しかし、出鉄口の破損は日常茶飯事に起こった。川崎は、昭和24年後半マッドの改良に着手した。耐火材には水分は禁物という一点に絞り、簡単な焼成試験を繰り返して、購入耐火材料の水分制限を行った。そして、バインダーとしての生タール(水分4~12%)を無水加工タールに変更し、ピッチ分を指定し、マッドを保温するようにしたら、確実に出鉄口の破損が減少した。この基準は若干の変更はあったが、昭和41年に大手耐火物メーカーに、マッドの製造を引き継ぐまで継続使用された。

電動マッドガンを採用した高炉は、昭和28年、洞岡第3高

炉⁴⁾を皮切りにどんどんタールマッドに切り替えられ、出鉄口事故と出鉄後の閉塞減圧は急速に減っていった。

2.2.5 技術員への品質管理技術の導入及び大型計算機の利用

昭和25年頃から、日本科学技術連盟の品質管理講習会が始まった。6ヶ月間の講習であったが、鉄鋼業界は積極的に参加して、各職場の統計技術と品質管理の向上に努めた。お陰で、多重相関や分布図の現場への利用が盛んとなり、操業解析が進み、操業のアクションの個人差がなくなり、操業技術を高めるに至った。また、給与計算、その他の事務計算に各社共大型コンピューターを設備した。これを契機に技術の解析にもオフラインで使い始め、大量のデータの一括処理と技術解析を高めた。

2.2.6 鉄鋼協会製鉄部会結成

製鉄部門の復帰が軌道に乗ったところで、製鉄部会が結成され、昭和30年5月に鉄鋼8社によって第1回の製鉄部会が開催された。各社との技術交流が円満の内にも真剣に行われ、以後年に2回のペースで開催され、時を経るに従って盛大になった。

この部会は、各社の技術のレベルアップに寄与し、また、技術

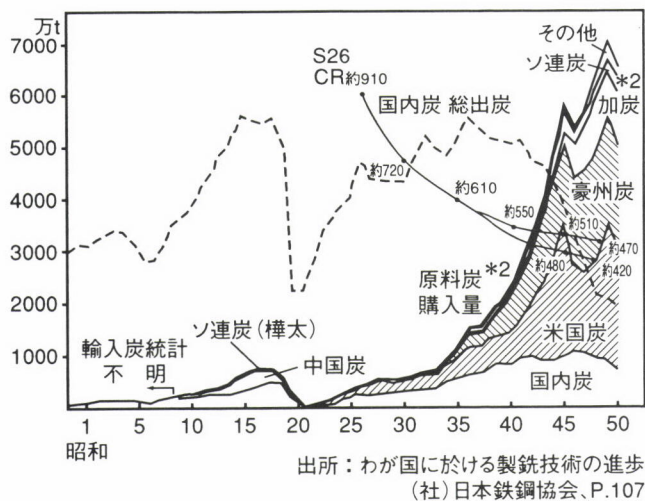
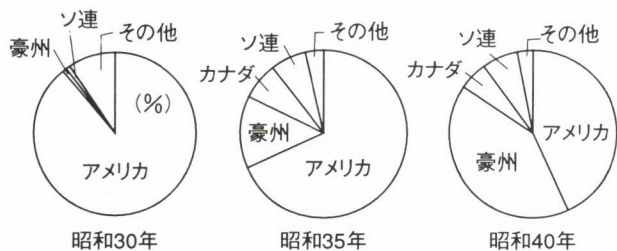


図4 原料炭使用の変遷



出所：第33・34回西山記念技術講座
(社)日本鉄鋼協会、(1975)

図5 原料炭の国別輸入推移

員に刺激を与え、各社の技術員の円満な交流を盛んにした。

さらに、先にも述べた通り朝鮮事変以後は、コークス用の低揮発分の強粘結炭、及び中揮発分の中粘結炭は、急速に米炭に切り替わり、昭和29年までに輸入炭の90%以上のものが米炭になってしまった。すなわち、日本では米炭無しでは高炉用の良質のコークスはできないと思われるくらいの一時期があった(図4、図5参照)。そして、コークスの品質の向上によって、コークス比は、昭和29年には、700~750kg/tに低下した(図6参照)。

このように昭和25年から5~6年間、実務をやりながら訓練、教育を受け、また、良質の石炭の効果を肌で感じて育った技師達が、30年以降の第2次合理化、また、その後の飛躍に大きく活躍し貢献するのである。

3 第2次合理化時代(昭和31~35年)

3.1 2次合理化期の概要

日本は、朝鮮動乱の特需景気で弾みのついた経済の立ち直りにより、戦災で壊滅に近い打撃を受けた都市の復興と工業の再構築も軌道に乗り、鉄鋼の需要も急速に増加した。

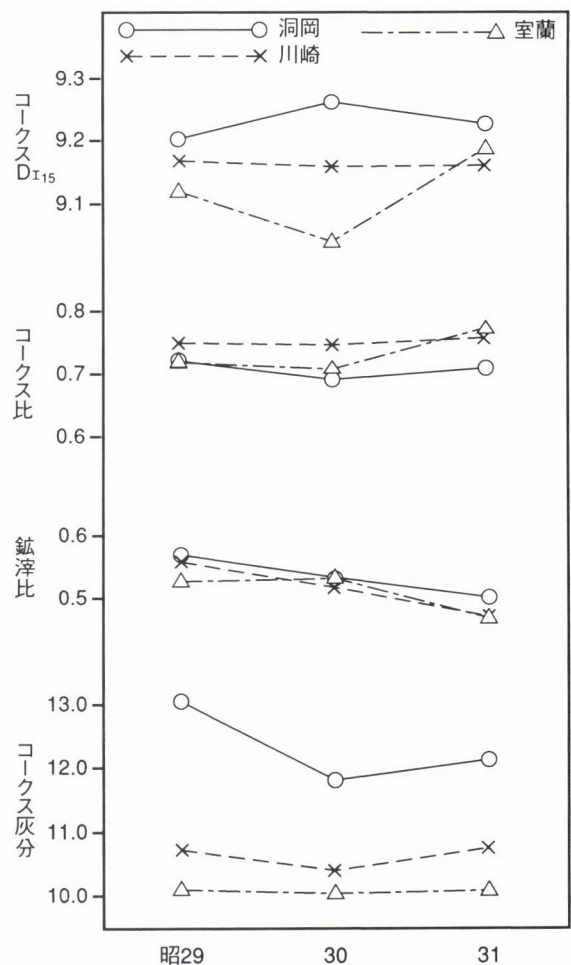


図6 昭和29~31年のコクス比

昭和21年年間60～70万屯に落ちた粗鋼も、昭和28年には戦前最高の680万屯（昭和18年）を抜き去り、この鉄鋼業の復興振りには目を見張るものがあった。

第2次合理化は、いわゆる、神武、岩戸景気を背景に、工業立国として日本の重化学工業化が推進された。また、昭和35年、池田首相の劇的な所得倍增計画の発表もあり、鉄鋼部門では既存の製鉄所の近代化の実行と、新立地に新製鉄所を設けることを真剣に企画立案し、鉄鋼各社は、一斉に全国に用地を獲得する活動を始めた。

第2次合理化で最も画期的な出来事と言えば、純酸素上吹転炉⁴²⁾の各社の導入である。昭和31年6月技術導入契約が成立し、昭和32年9月には実働開始された。そして、日ならずして製鋼の主流となり、急速な粗鋼生産拡大に大きく貢献した。

そして、表3に示す新しい第3、第4製鉄所の敷地の決定は、ほとんど昭和37、8年頃までには終わり、28年の千葉製鉄所に続いて、34年には神戸、戸畑、西島の新製鉄所の第1高炉が稼動し、新技術の導入、大型新鋭製鉄所の競争時代に突入した。製品では自動車用鋼板の開発、自動車用鋼板のシェア争いが大きな焦点となってきた。

3.2 製鉄部門の発展

3.2.1 高炉炉体

- 1) シャフトの構造…昭和20年代は復旧するだけで、シャフトの鉄帯はそのままであったが、昭和31年以降、ガス洩れ、異状膨脹等を改善するため、全部鉄皮に改められた。
- 2) カーボンブロックの積み方…カーボンブロックは、急速に炉底、湯溜、朝顔部のシャモット煉瓦にとって代わるようになったが、昭和35年、川崎第5高炉は、炉底カーボンを下、シャモットを上として炉底からの冷却効果のアップの構造とし、近代カーボンブロック積みを確立した。
- 3) 炉底の冷却…炉底冷却はポンドの上に台と定盤を置き、その上に高炉が建っていた川崎の高炉以外には、昭和20年代、炉下からの冷却はなかったが、昭和34年、川崎第2高炉の蛇管強制通水を初めとして、自然通水、強制通風、自然通風の諸法が開発された。しかし、時が経つにつれ、次第に蛇管強制通水に収斂されていった。

3.2.2 大型高炉、内容積1500m³の出現

戸畑第1高炉が、昭和34年、1603m³の高炉を火入れし、大型高炉建設の火蓋は切って落とされた。

3.2.3 ベルトコンベヤー装入設備出現

昭和35年、大阪製鋼・西島第1高炉は、画期的なベルトコンベヤーで、装入物を炉頂まで搬送するシステムを開発

表3 戦後新設された製鉄所

製鉄所名	1号高炉稼動時期
川崎製鉄・千葉	昭和28年 6月
神戸製鋼・神戸	◇ 34年 1月
新日本製鐵・戸畑	◇ 34年 9月
住友金属・和歌山	◇ 36年 3月
日本鋼管・水江	◇ 37年11月
新日本製鐵・名古屋	◇ 39年 9月
新日本製鐵・堺	◇ 40年 6月
日本鋼管・福山	◇ 41年 8月
川崎製鉄・水島	◇ 42年 4月
新日本製鐵・君津	◇ 42年 7月
神戸製鋼・加古川	◇ 45年 8月
住友金属・鹿島	◇ 46年 1月
新日本製鐵・大分	◇ 47年 1月

出所：第33・34回西山記念技術講座、
(社)日本鉄鋼協会、(1975)

し、設備した。この開発は大量輸送の先鞭となり、大型高炉の装入設備の解決策を示した。

3.2.4 装入物分配板設置（ムーバブルアーマー）

昭和34年、川崎第3高炉に電動駆動分配版を4枚設置した。駆動そのものには問題はなかったが、分配板の円周に対する面積比が少なかったためか、効果の確認は今一歩であったが、炉頂の装入物分布の改善を目的とした目新しい設備であった。

3.2.5 熱風炉の蓄熱室容量増の改造

寿命のきた蓄熱室の再開発、または、蓄熱アップのため、各炉次々とキューン型からフライン型の蓄熱煉瓦に積み替えて、高風熱の態勢を整備していった。

3.2.6 切り替え装置設置

昭和28年千葉第1高炉の熱風炉の切替装置が最初と思うが、それ以後、空気式、電動式、半自動、全自動を取り入れていった。

3.2.7 調湿設備の本格的採用

昭和29年の八幡の試験操業の結果が良かったこと、設備が比較的簡単なこと、熱風炉の改造が進んで高風熱が可能になったこと等により、昭和32年広畑第1、第2高炉⁴³⁾の採用を皮切りに、あっと言う間に日本全部の高炉は調湿操業になった。夏冬の湿度差の大きい日本に於いては当然のことであると思う。

3.2.8 自溶性焼結鉱普及

焼結原料に石灰粉を配合して焼く試みは、前章でも述べ

たように、早くから行われた。しかし、硅酸質分が多い、結合水が高い、粘着性が強い、適正な粒粉でない等様々な理由で、十分な強度の焼結鉱が生産されなかったが、それも輸入鉱の配合による原料の改善で解決された。そして、昭和32年、小倉第1高炉⁴⁴⁾で自溶性焼結鉱100%使用試験操業の成功により、一挙に各社各高炉の自溶性焼結鉱の配合率がアップした。この自溶性焼結鉱の多量使用によって、高炉原料の画期的な改革が行われた。これは、日本の高炉の操業成績の飛躍的改善がなされる一原動力となった。

3.2.9 酸素富化操業試験実施

昭和34年、広畑の高炉⁴⁵⁾、西島第1高炉で、相次いで酸素富化操業を実施して、増産に良い効果をもたらした。この結果、送風機及び風熱に余裕のない高炉は、次々と酸素富化の実施に踏み切った。そして、昭和43年には全高炉が酸素富化操業をするようになった。

3.2.10 装入方法の改善

コークス、焼結鉱等が改善されて炉況が良くなってきたら、装入方法の是非が論ぜられるようになった。

CC/OO/、C/O/C/O/、CO/CO/、COMIX/COMIX/、及び適性装入層厚の検討は各社、各炉繰返し実炉で実験が行われた。そして次第に、還元効率の良いCC/OO/に収斂されていったようである。なお、層厚は各炉の内容積、炉口径を加味して適正な厚みに改善されていった。

3.2.11 操業

昭和28～31年に、コークスは米国炭30～40%の配合のものになり、強度DI15は92、灰分は10～12%となった。お陰で、高炉のコークス比は殆ど700kg/t台となり、コークスの有難味を十分に満喫した。

鉱石もアジア、印度系の輸入鉱が主体となった。懸案の鉱石処理プラントも逐次設置され、粒度、ステッキ性も改善された。

昭和20年代に実地教育を受けた技術陣が、統計的手法及び外国より得た知識で、理論通りに稼働させようとする気運を醸し出した。そして、新技術の導入と多くの改善に積極的に取り組み、高炉の操業を着実に向上させた。そして、昭和30年代後半には、出鉄比、コークス比は、先進国と肩を並べ、或いは凌駕するところまできた。なお、各社は、高圧高炉の諸情報も入手して検討に入り、昭和35年には、室蘭第3、東田第1、水江第1の各高圧高炉の建設を決定した。

このようにして、戦後には想像もしなかった世界の鉄鋼基地を目指して、第3、第4製鉄所の構想も真実味を増してきた。

3.2.12 製鉄部門の研究

戦後昭和20年代は時代を反映して、硫酸滓、砂鉄、磁鉄鉱石等未利用資源の研究、貧鉄石の研究及びペレットの研究等、製鉄原料に関するものが多かった。それが、昭和30年代に入ると、製鉄業の隆盛の気運に合わせて、高炉の通気性の研究が盛んとなった。すなわち、充填層モデル実験⁴⁶⁾が行われ、通気性指数が開発された。また、原料面では、自溶性焼結鉱、高塩基度焼結鉱、及びその他の装入物⁴⁷⁾の熱間性状の研究が行われ、その成果は高炉の実操業に適用されていった。さらに、各社共研究室の充実が図られ、その後の研究の内容が多彩になった。

3.2.13 鉄鋼界戦後最大の49日のストライキ

製鉄の技術発展と直接の関係はないが、昭和34年に、戦後最初にして最後の高炉を止めるという大きなストライキが発生した。たまたま、筆者は組合側の川崎製鉄支部技術統制部長として、ストライキの善悪如何に拘らず、大きな渦に巻き込まれ、実に戦場のような生臭い闘争に明け暮れる貴重な体験をした。

戦後日ならずして、労働組合は各社各所に結成され、戦後の混乱期、復興期に、様々な労使関係を経て労使共に成長していった。いわゆる神武景気に入った昭和31年頃より、組合の賃金交渉も組織的になり、年々交渉も大型となって昭和34年を迎えた。鉄鋼労連も、長期化を予想しながら、スケジュール闘争に入っていた。高炉は、聖域か否かの白熱の議論が何回となく繰返されたが、遂に高炉もストライキスケジュールに組み込まれてしまった。

昭和34年2月25日、各製鉄所は一斉にストライキに突入した。解決の延びた富士広畑、釜石、室蘭と鋼管川崎、鶴見は、49日の長いストライキとなった。この間、ストライキをしては交渉、そしてまた、ストライキと息継ぐ暇もなかった。休風、減圧の繰返しで炉況は下降線を辿り、炉冷、棚吊り、溶鉄処理で四苦八苦した。

最後の約2週間、筆者は製鉄支部技術統制部長として、技術屋の良心に誓いながら行動する日々であった。この紛争で労使共に大きな教訓を得、この大紛争を最後に、鉄鋼界は労使協調が基調となり、業界は躍進的な発展を遂げた。鉄鋼界は、昇り坂でのストライキであったが、昭和35年の三池炭鉱のストライキは、下り坂での100日のストライキであった。今年平成9年3月の三池炭鉱の閉鎖で、日本の炭鉱は2ヶ所となり、年間620万屯の出炭になるという。昭和20年11月、日本の出炭が最悪の月産55万屯になり、エネルギー情勢は麻痺した。そして、昭和22年から、石炭と鉄鋼は必死の増産に励み、日本の産業復興の道を開いた。それから様々なことを思い合わせると、何とも言い様のない時代

の流れをひしひしと感ずる。感無量である。

4 第3次合理化（昭和36～40年）

4.1 昭和30年代後半概略

日本はもう戦後ではないという言葉が、あらゆる所で聞かれるようになった。昭和39年に開かれた東京オリンピック、それに合わせて開通する新幹線等、焦土と化した昭和20～21年の日本の惨澹たる状況からは、想像もつかない復興振りである。さらに、工業立国を目指して、また、先進国の仲間入りを期待して、日本全体が躍進している姿は若々しかった。鉄鋼業は昭和36年に、粗鋼生産（2800万吨）で英国と肩を並べ、昭和39年には、ドイツの4000万吨の出鋼を抜いて、米国、ソ連に次いで世界三位に躍り出た。終戦当時、このような発展を誰が想像し得たであろうか。

鉄鋼界は、第1次合理化期に千葉、第2次には、神戸、戸畑、西島各製鉄所に引き続き、第3次には、和歌山、水江、名古屋、堺の4大型製鉄所が誕生した。これらは、昭和40年代の超大型製鉄所ほどではないが、その時代の世界的最新鋭の製鉄所であった。この第3次合理化の建設、操業が基礎となり、昭和40年代の超大型製鉄所の華々しい建設、操業の成功に繋がるのである。製鉄部門は既存製鉄所の改修整備と、原料事前処理設備の設置もほぼ完了して、新鋭製鉄所にふさわしい大型高炉、大型熱風炉、大型焼結機、炉毎の大型計算機、斬新的なコントロールルーム等が導入された。さらに、3基の高压高炉も稼動した。このように、製鉄設備と操業技術の近代化は一段と進んだ。

操業的には、重油、タールの吹き込みと共に複合送風が基調となり、全体熱バランスよりセクション別熱バランス理論が台頭し、操業理論も飛躍した。そして、日本は操業度、コークス比共に世界の最右翼の成績を修めるようになった（図7参照）。

原料炭は、米炭一辺倒から豪州へ比重が移り出し、鉱石はアジア、印度から、南米へ、そして豪州の開発の方向へと進んだ（図8参照）。また一方、ペレットの輸入が本格化して、鉄鉱石原料も一大転機の時を迎えた。

4.2 製鉄部門

4.2.1 重油吹き込み

重油の高炉吹き込みは、昭和14年、釜石⁴⁸⁾で試みたが、低風熱、低炉熱等により、炉頂から黒煙が濛々と噴き出し成功しなかった。

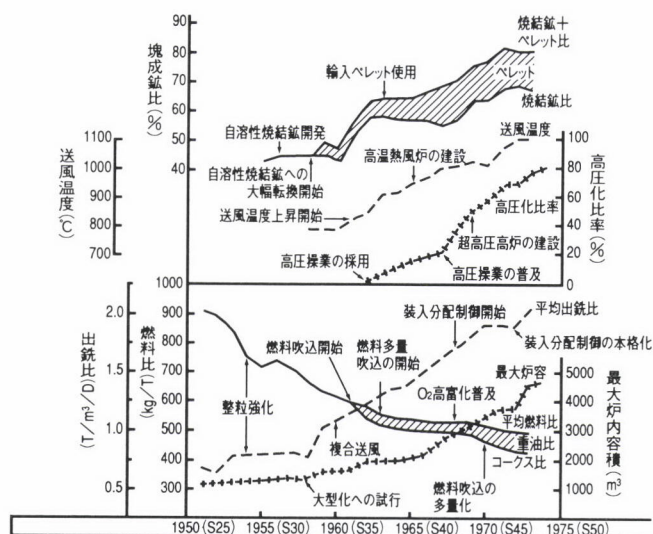
外国の高炉が比較的簡単に重油を吹き込んでいるのを見聞して、熱風炉の整備、鉱石予備処理、調湿操業の次に話題に上がった。昭和36年、川崎第3高炉⁴⁹⁾で重油吹き込み試

験操業、東田第5高炉でCOガス吹き込みを実施して、まずまずの成果を上げた。昭和37年には、仏国・ボンペイ社⁵⁰⁾より鉄鋼12社協同で重油吹込技術を導入し、ほとんど各社一斉に吹き込みを開始した。また、川崎第4高炉⁵¹⁾はタール吹込試験も実施した。この重油吹き込みで大幅にコークスの節約ができた。

4.2.2 高压高炉

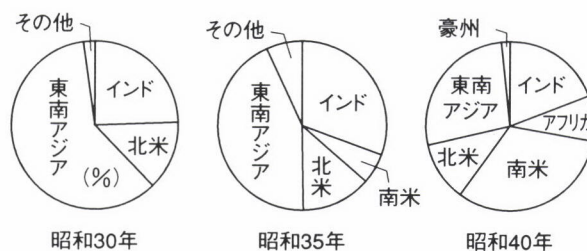
昭和37年8月1日に東田第1高炉892m³、昭和37年11月16日に水江第1高炉1,709m³、昭和38年1月10日に室蘭第3高炉1,219m³、この3基の高压高炉が、ほとんど同時に火入れになったことから、日本は一挙に高压高炉の時代に突入した。筆者は水江第1高炉の建設に最初から携わり、また、約2年間係長として操業を行い、水江に約4年半勤務した。その後、昭和39年秋から福山製鉄所建設本部に移った。

この昭和30年代の高压高炉は、①大ベル摩耗、②ベルロッド摩耗、③大ベルガスシール、④旋回ベルガスシール、



出所：鉄と鋼、62（1976）3、p.436

図7 戦後の高炉操業の進歩



出所：第33・34回西山記念技術講座
(社)日本鉄鋼協会、(1975)

図8 鉄鉱石の国別輸入推移

⑤羽口破損、⑥出銑荒出等、改良解決しなくてはならない設備、作業が多々あり、各社は修理、改良に多忙の日々を送った。

しかしながら、コークス品質、原料整備、复合送風等の導入技術を消化した後の高圧操業は、僅かの炉頂圧でも効果があり、次の時代の強力な技術であることを高炉関係者は十分に理解できた。従って、日本の鉄鋼メーカー、重工業各社は、スムーズな操業を維持するために、意欲的に設備の開発、改善に努めた。そして、昭和40年代前半には、早くも2ベル1バルブ、4ベルと、日本独特の高圧用装入設備を発明し、日本の超高圧操業の優位性を確立した。

昭和35年に、高圧高炉の技術導入に海外出張する頃までは、我々は、外国高炉の成績に目を見張ったものであった。ところが、日本の3基の高圧高炉の操業成績は、世界のレベルを遙かに越えてしまった。昭和39年秋に室蘭第3、昭和40年春に水江第1の各高炉の稼動後の操業成績を米国で発表したところ、大きな反響並びに賞賛を受け、日本の高炉操業成績は世界の最右翼となり、注目を浴びようになった(表4参照)。

4.2.3 滓処理・ドライピット

水江第1高炉の熱滓処理の方策として、炉の近くにドライピットを設けた。これで、大量の溶滓が安心して処理できるようになり、大型高圧高炉の最大の問題点の一つが解決された。

4.2.4 ペレット

南米の超微粉鉄鉱石の利用法としてペレットが大きくクローズアップされた。しかし、炉内分布、還元後の強度が問題になり、原料部門の大きなテーマとして、長い間、研究が続いた。その結果焼結鉱の有利性には今一步及ばず、日本においては焼結鉱が高炉原料の主体となった。

4.2.5 外燃式熱風炉

川崎第4高炉の熱風炉として、昭和39年⁵²⁾コッパース式外燃式熱風炉が、初めて建設された。これが、大型保熱熱風炉としての最初の国内モデルである。

4.2.6 炉熱モデル制御

大型計算機が各所に設備され、主に事務計算の簡素化、迅速化が図られたが、この計算機を利用して技術的な、大量のデータも処理できるようになり、熱制御システムがつくられるようになった。川崎第5高炉⁵³⁾でSi制御操業試験が行われ、各社各炉もこれに続いて熱制御モデルの採用が盛んになった。また、この第3合理化期には、水江第1高炉

表4 水江第1高炉操業成績

水江No.1 BF (1709m²)

昭和37年11月16日火入れ

年 月	出鉄量 t/月	出鉄量 t/日	出鉄比 t/dm ²	風圧 g/m ²	炉頂 g/cm ²	風温 (°C)	焼結配合 %	燃料比 コークス比 (kg/トン)
S37. 11	12.595	900	0.53		90		68.8	796
12	39.524	1275	0.75		105		70.3	581
S38. 1	51.566	1663	0.97	1230	193	709	70.7	558
2	54.357	1941	1.14	1376	193	794	70.8	548
3	62.010	2000	1.17	1380	300	943	74.0	532
4	58.100	1937	1.13	1493	300	1014	74.8	496+25
5	63.155	2037	1.19	1420	300	1050	72.7	470+36
6	64.506	2150	1.26	1514	300	1053	81.0	473+40
7	67.115	2165	1.27	1600	300	1050	81.1	472+36
8	68.695	2216	1.30	1657	300	1050	69.2	470+44
9	71.016	2367	1.39	1882	383	1049	68.3	472+51
10	78.521	2533	1.49	1882	467	1050	78.9	461+49
11	84.075	2803	1.64	1805	417	1050	78.5	467+49
12	89.279	2880	1.69	1816	400	1050	70.4	464+49
S39. 1	85.529	2858	1.67	1908	400	1050	73.2	466+49
2	88.432	3049	1.78	1843	394	1050	54.1	464+48
3	92.313	2978	1.74	1833	426	1050	54.5	470+48
4	90.956	3032	1.77	1826	399	1050	65.6	470+48
5	97.802	3155	1.85	1857	400	1050	60.8	467+48
6	91.133	3155	1.85	1911	400	1050	62.0	467+48
7	97.681	3151	1.84	1917	379	1050	63.8	449+48
8	88.849	2962	1.73	1855	365	1050	63.8	474+47
9	90.328	3011	1.77	1881	378	1050	64.0	468+49
10	104.434	3369	1.96	1839	400	1070	66.4	459+51
11	93.465	3223	1.89	1907	400	1070	64.6	463+52
12	103.112	3326	1.95	1956	400	1081	63.7	459+54

NKK 高炉作業表より

や他の高炉に、炉別の計算機の導入が始まった。

4.2.7 2 鑄床・2 出銑口

昭和37年に戸畑⁵⁴⁾第3高炉、及び38年に和歌山第2高炉に採用され、初めてNKK川崎以外にも出現した。まさに1基の高炉で大量出銑を行う、多出銑口の口火であった。

4.2.8 製銑部会

高炉の稼動基数が増えるにつれて部会は益々盛大となり、製銑部門の大きな問題は全て部会の共通議題として取り扱われた。毎年、各社の研究結果や実際操業データを提出して、真剣な討議が行われ、製銑技術の発展に大いに寄与している。

以上昭和20年から40年までの製銑技術の発展について駆け足で述べたが、日本は、昭和30年代に、ほとんどの新しい技術の導入を終えた。そして、超大型の対応と導入技術の改良、及び新技術の開発は、昭和40年代に持ち越された。

敗戦で壊滅しかかった日本の高炉を必死に支えた諸先輩、そして自由諸国の一員になったこと、朝鮮動乱によって巧まずして米炭の優位性を実地に知ったこと等のお陰で、急速に日本の製銑技術は進歩した。そして、日本はさらに躍進して世界1、2を争う製銑国に上りつめた。

その理由は多々あろうが、その一端を述べさせて頂いた。短い調査期間と筆者の浅学のために十分に意を尽すことができなかったと恐縮している次第である。もしこの拙文に誤りがあったら、ご容赦願いたい。しかし、筆者は、この

20年間の蓄積が昭和40年以降の超大型時代の基礎になった
 と思っている。決して一挙には超大型時代に進めたとは思
 っていない。

最後に、文献の収集にあたり新日本製鉄（株）技術総括

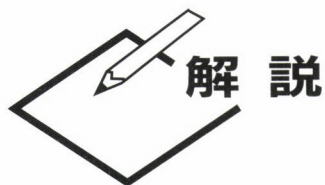
部、NKK製鉄技術開発部、日本鋼管テクノサービス（株）、
 日本鉄鋼協会、に大変お世話になったことを深く感謝申し
 あげる次第である。

参考文献

- 1) 戦後鉄鋼史, (社)日本鉄鋼連盟, (1959)
- 2) わが国における製鉄技術の進歩, (社)日本鉄鋼協会, (1997)
- 3) 最近に於ける製鉄技術の展望, (社)日本鉄鋼協会 製鉄部会, (1957)
- 4) 各製鉄所における製鉄設備の展望, (社)日本鉄鋼協会 製鉄部会, (1957)
- 5) 八幡製鉄所 80 年史, 新日本製鉄(株) 八幡製鉄所, (1980)
- 6) 八幡製鉄所 50 年史, 八幡製鉄(株) 八幡製鉄所, (1959)
- 7) 釜石製鉄所 70 年史, 富士製鉄(株) 釜石製鉄所, (1955)
- 8) 室蘭製鉄所 50 年史, 富士製鉄(株) 室蘭製鉄所, (1958)
- 9) 千葉製鉄所 15 年の歩み, 川崎製鉄(株) 千葉製鉄所
- 10) 川崎製鉄株式会社 25 年史, 川崎製鉄(株)
- 11) 日本鋼管株式会社 40 年史, 日本鋼管(株)
- 12) 日本鋼管株式会社 50 年史, 日本鋼管(株)
- 13) 水江製鉄所第 1 高炉の建設と火入れ, 堀江重栄他: 日本鋼管技報, No.28 (1963)
- 14) 水江製鉄所概要・製鉄関係, 堀江重栄他: 日本鋼管技報, No.30 (1955)
- 15) 鉄鋼部門戦後建設史, 日本鋼管(株), (1982)
- 16) 西岡邦彦: 太陽の化石: 石炭, アグネ社
- 17) 前田一雄: コーライト配合による製鉄用, 本邦コークス工業最近の進歩
- 18) コークスの製造試験, 燃料協会, (1950)
- 19) 小野田武夫: 鉄と鋼, vol.37 (1951), P.71
- 20) 鉄鋼対策技術委員会報告書概要, 三島徳七他: 鉄と鋼
- 21) T. L. Joseph: 鉄と鋼, vol.37 (1951), P.481
- 22) 浅田譲: 鉄と鋼, vol.38 (1952), P.966
- 23) 和田亀吉他: 鉄と鋼, vol.40 (1954), P.181, P.755
- 24) 浅田譲: 鉄と鋼, vol.41 (1955), P.702
- 25) 和田亀吉: 鉄と鋼, vol.41 (1955), P.714
- 26) 小野田武夫: 鉄と鋼, vol.36 (1950), P.523
- 27) 佐伯正夫: 鉄と鋼, 釜石第 10 高炉改修工事について
- 28) 製鉄部会: 製鉄部会資料 1 ~ 5 回
- 29) 山田龍男, むろらんの高炉と共に
- 30) 樋口正昭: ひとすじ

引用文献リスト

- | | | |
|-----------------------------|--|--|
| 1) 戦後鉄鋼史, (社)日本鉄鋼連盟, (1959) | 20) 文献 1), P.26 | 37) 文献28), P.4・33 |
| 2) 文献 1), P.22 | 21) 日本鋼管(株)50年史, 日本鋼管(株), P.229 | 38) 文献28), P.84 |
| 3) 文献 1), P.16 | 22) 文献21), P.240 | 39) 文献28), P.84 |
| 4) 室蘭製鉄所50年史, (1958), P.224 | 23) 西岡邦彦: 「太陽の化石: 石炭」, P.141~142 | 40) 文献28), P.84 |
| 5) 文献 4), P.225 | 24) 日本鋼管(株)50年史, P.224 | 41) 文献28), P.195 |
| 6) 八幡製鉄所80年史, (1980) P.12 | 25) 文献21), P.221 | 42) 文献28), P.44 |
| 7) 文献 1), P.22 | 26) 文献21), P.252 | 43) 文献28), P.195 |
| 8) 文献 1), P.22 | 27) 文献21), P.300 | 44) 文献28), P.195 |
| 9) 文献 1), P.5 | 28) わが国における製鉄技術の進歩, (社)日本鉄鋼協会, (1977), P.195 | 45) 文献28), P.195 |
| 10) 文献 1), P.6 | 29) 文献28), P.195 | 46) 文献28), P.49 |
| 11) 文献 1), P.6 | 30) 文献28), P.195 | 47) 文献28), P.49 |
| 12) 文献 1), P.11 | 31) 文献28), P.195 | 48) 文献28), P.32 |
| 13) 文献 1), P.28 | 32) 文献28), P.194, P.41~42 | 49) 文献28), P.196 |
| 14) 文献 1), P.28~29 | 33) 文献28), P.38・41 | 50) 文献28), P.196 |
| 15) 文献 1), P.18~20 | 34) 文献28), P.41 | 51) 文献28), P.196 |
| 16) 文献 1), P.14 | 35) 文献28), P.4・57 | 52) 文献28), P.5 |
| 17) 文献 1), P.14~15 | 36) 文献28), P.4 | 53) 文献28), P.5 |
| 18) 文献 6), P.12 | | 54) 各製鉄所における製鉄設備の展望, 日本鉄鋼協会製鉄部会, P.204 |
| 19) 文献 6), P.11 | | (1997年 4 月28日 受付) |



製鉄向けプラント設備・装置

柴富信博

三菱重工業(株) 広島製作所 製鉄機械設計部部長

Nobuhiro Shibatomi

Plant Facility and Equipment for Iron and Steel Manufacturing

1 はじめに

我が国の製鉄機械設備技術は、戦後の復興期には欧米先進国からの技術導入でスタートし、1955年以降の高度成長期には粗鋼生産の増大に伴う大量生産能力、容量アップの要求に対応し、先の導入技術の改良・工夫を加えて、大規模一貫製鉄所向けに各種のプラント設備・装置が納入された。

しかしながら、1973年以降の2度にわたるオイルショックを経て低成長期になると、鉄鋼技術も大きな転換を迫られた。鉄鋼各社は大量生産指向から省資源・省エネルギー指向へと方向を転換し、競争力強化のためのプロセス開発と製品開発を図った。最近では、円高によるコスト競争力低下とエンドユーザーの高品質指向により、更に一層のプロセス合理化と高品質製品の開発へと移行している。

このような状況に対応して、設備技術もある場合には鉄鋼各社との共同で、またある場合には設備メーカー独自で、鋭意開発がすすめられてきた。

本稿では、以下、鋼板製造工程を主体にして、主要な製鉄機械設備を、一設備メーカーの立場から紹介する。

2 製造工程における主要設備

高炉－転炉プロセスにおける、薄鋼板の概略の製造工程とその主要設備を図1に示す。

まず、製鉄・製鋼工程では、高炉において主原料である鉄鉱石と石炭から鉄鉄をつくり、転炉において鉄鉄中の不純物を除去して鋼をつくり、連続鑄造設備で溶けた状態の鋼を連続的に凝固させ、圧延素材であるスラブをつくる。

次に熱間圧延工程では、スラブから連続熱間圧延設備で厚さ約1～32mmのホットコイルをつくる。

その後、冷間圧延工程では、まず連続酸洗設備においてホットコイルの表面スケールを除去し、連続冷間圧延機、あるいは可逆冷間圧延機で厚さ0.15～3.2mmの冷延鋼板をつくる。次に、連続焼鈍設備で冷延鋼板を連続的に焼鈍し、強靱で加工性に富む鋼板をつくる。その後、連続亜鉛めっき設備あるいは電気亜鉛めっき設備などで、冷延鋼板にめっき処理を行い、鍍に強いめっき鋼板をつくる。

以上、概要を記したが、次に主要設備について述べる。

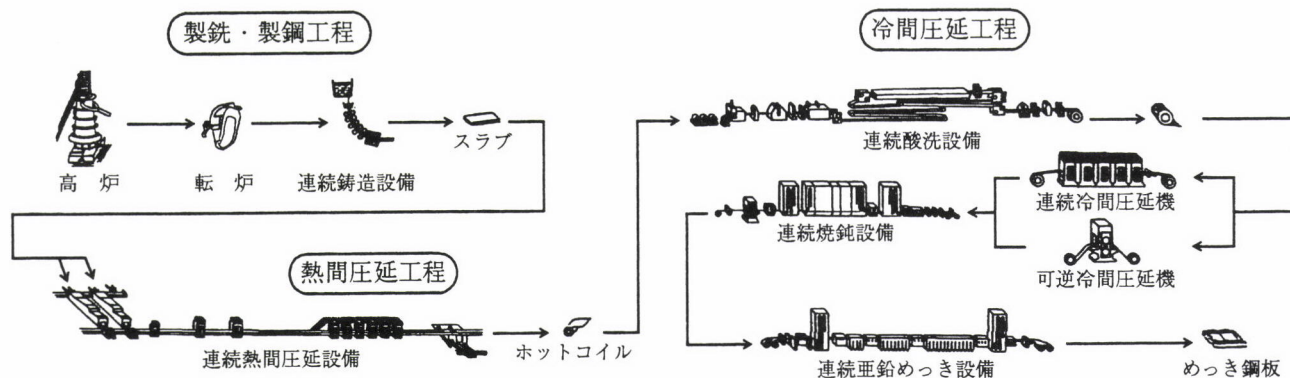


図1 製造工程と主要設備

2.1 連続鋳造設備

近年この連続鋳造設備は、さらに高速鋳造化をめざすとともに、より最終製品に近い形状の鋳片を鋳造する技術（Near Net Shape Casting）が各方面で盛んに研究されている。熱間圧延工程での粗圧延を省く薄スラブ連鋳^{1),2)}や、更には仕上げ圧延までも省くストリップ連鋳^{3),4)}が開発されている。図2に、ストリップ連鋳実証試験設備を示すが⁴⁾、1997年秋には実機運転開始が予定されている。

形鋼分野においても、鉄鋼各社では更なる高速鋳造化のニーズが高まっている。ピレット連続鋳造設備において、高速鋳造のキーとなるモールドに対し凝固・歪解析が行われ、図3に示すように、モールドの下部コーナを切欠き、鋳片を直接スプレー冷却により凝固を促進させ、かつ鋳片とモールドの接触を向上させる構造により、従来の約2倍の速度である5 m/min以上の高速鋳造が可能になっている⁵⁾。

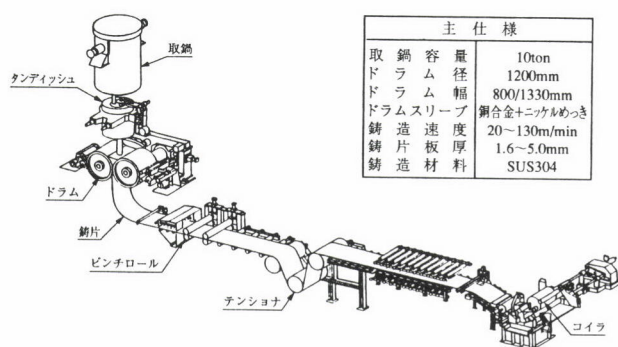


図2 ストリップ連鋳実証試験設備

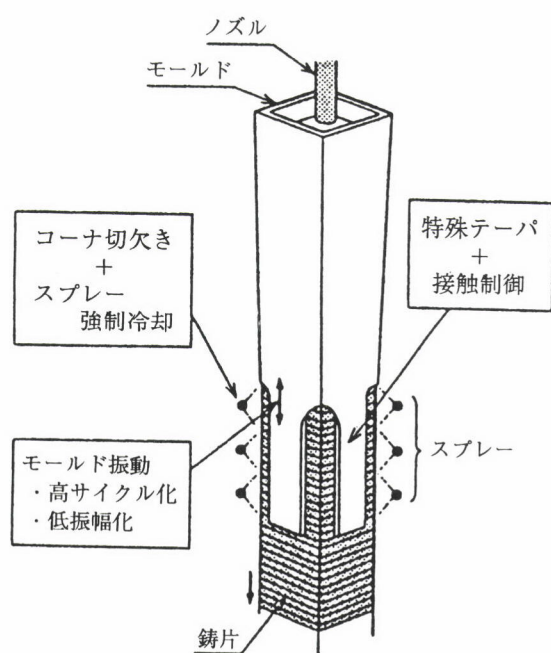


図3 高速ピレット連鋳機の特徴

2.2 熱間圧延設備

本設備においては、生産性と省エネルギーを維持しつつ、少量・多品種、高品質帯鋼を製造するスケジュールフリー圧延技術が注目を浴びている。このニーズに呼応し、従来のロール原単位を維持し、ロールを交換することなく用途に応じた製品が圧延できるロール・カーブ・フリー技術として、材質温度、圧延荷重、板幅条件に応じた形状制御能力の大きいペアクロス（PC）ミルが開発された^{6),7)}。PCミルの原理は、図4に示す様に上下のロール群をペアでクロスさせたときに生じる上下ワークロール間の隙間が、ワークロールに凸状のロールクラウンを付けたのと等価になることを利用したもので、熱間圧延機のほか、厚板圧延機に適用され⁸⁾、図5に示すように、厚板圧延での板クラウン減少効果を得ている⁹⁾。さらに最近ではステッセルミルへも適用されて稼働を始めている。

$$Cr = \frac{b^2}{2D_w} \theta^2$$

ここで

b : 圧延材の幅=1500mm

θ : ロールクロス角

D_w : WR直径=φ700mm

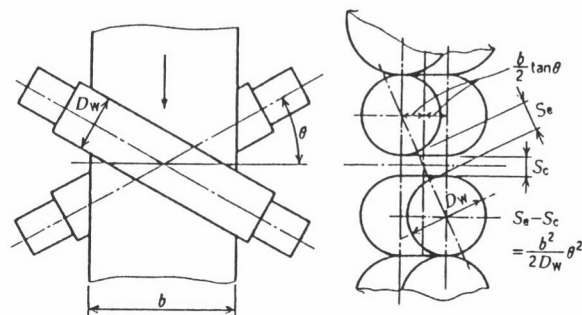
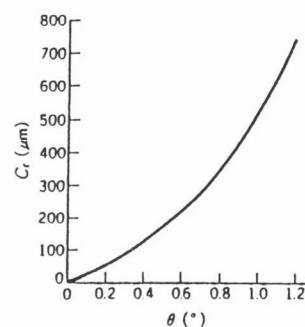


図4 PCミルのクロス角と等価ロールクラウンの関係

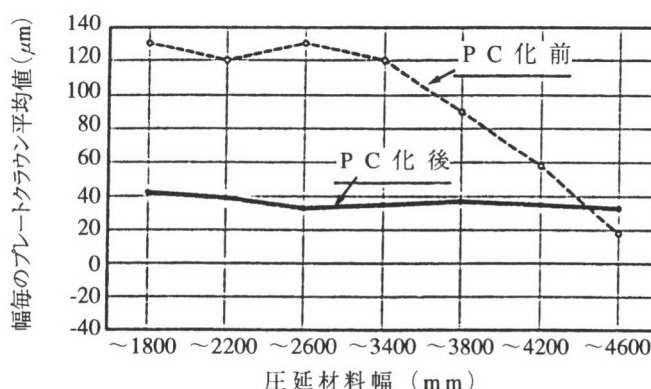


図5 厚板PCミルでの板幅別クラウンの改善状況

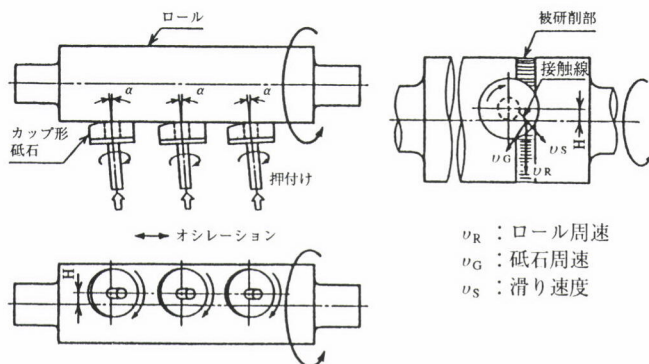


図6 ORGの研削原理

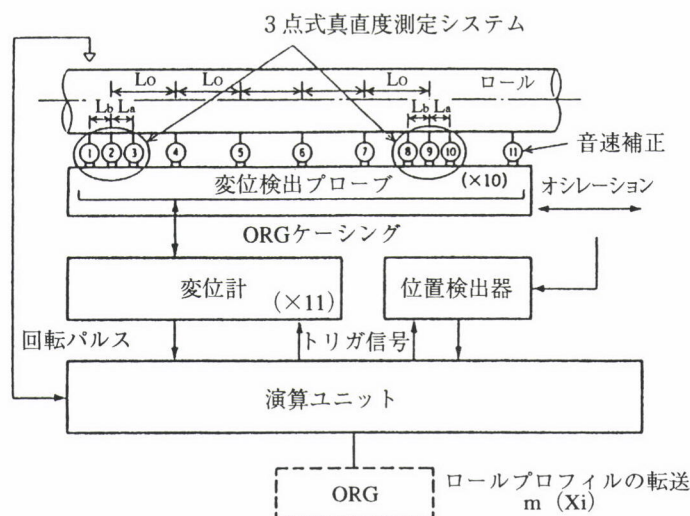


図7 OPMシステムの概要

スケジュールフリー圧延のもう一つの要素である板幅フリー圧延技術として、板道の段差部を解消するとともにワークロールの摩耗を平滑化できるオンライン・ロール・グラインダー (ORG) が開発された¹⁰⁾。図6に示すように、ORGは砥石の回転軸とワークロールの回転軸との間についたオフセット量により、駆動装置なしでロール表面を研削できることが特徴であり、ロール表面を修正研削してロール組替え周期を延長できる効果は大きい¹¹⁾。また、このORGに複数の超音波式変位計を設置して、3点式真直度測定法を応用したオンライン・プロフィール・メーター (OPM) が開発されており^{12),13)}、このOPMシステムの概要を図7に示す。圧延機内という過酷な環境下でも高精度でロールプロフィールを測定し、ORGにフィードバックして所定のロール形状に研削するシステムが実機化されている¹¹⁾。また、最近では、仕上ミル後段あるいはハイスロール対応として、高速回転可能な駆動式ORGも開発され、実機稼働を始めている。

薄鋼板の熱間圧延では、コイルの先後端で非定常になり

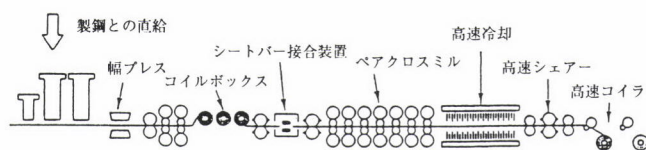


図8 川崎製鉄千葉第3ホットストリップミルの概要

表1 エンドレス圧延における効果

項目	効果	
品質	ストリップ全長にわたり板厚変動がほとんどない	±30 μm 板厚変動 96% → 99.5%
	ストリップ全長にわたり板幅変動がほとんどない	板幅マージン 6 mm → 3 mm
	ストリップ全長にわたり板温度変動がほとんどない	±30℃ → ±15℃
生産性	生産性の増加	20%増加
	絞りこみに伴う突発のロール替え時間の排除	90%減少
歩留り	先端部と尾端部における形状不良の大幅な減少	80%減少
	絞りこみマークによる表面欠陥の大幅な減少	90%減少

やすく、品質上、また操業上問題があった。これを解決する一つの技術として、図8に示すように仕上ミル前でシートバーを接合し、仕上げ圧延を連続的に行ういわゆる完全連続化があり¹⁴⁾、そのキーの一つであるシートバー接合装置が開発された。1996年より稼働開始している。表1に示すような品質、生産性などの向上のほかに、従来製造困難であった0.8mmまでの極薄物も製造可能であり、又コイル全長にわたり強潤滑、強圧下圧延や高精度高速冷却が可能なため、新材料特性を持った製品への期待もある¹⁵⁾。

2.3 連続酸洗設備

一般に、冷間圧延前に熱間圧延工程で生じた酸化スケールを酸液で除去する必要がある。これには連続酸洗設備が使用される。本技術のポイントは、省エネルギーで短時間に酸化スケールを除去することにある。

冷延鋼板の主要需要先である自動車業界および家電業界では、加工性の優れた極低炭素鋼を使用しているが、一般鋼に比べ酸洗時間が2～3倍と長く、生産量が伸びないため、酸洗時間の短縮が課題となっていた。これを解決すべく噴流酸洗方式が開発されている¹⁶⁾。この方式は、その構造を図9に従来の浸漬方式と併せて示すが、噴流ノズルからの噴流と上下面のせきによる境界層厚さの低減化により、酸洗の促進効果がもたらされ、図10に示すように、必要ライン長は従来の浸漬方式に比べ噴流方式で約65%、スーパ噴流方式で約55%に短縮可能となる。鋼種と生産量に応じ、各種方式が選択可能である。最近では特殊鋼などの難脱スケール

ル材にも適用が拡大されている。

2.4 冷間圧延設備

自動車用鋼板を主体として、冷延コイルに要求される品質は一段と高級化しており、しかも自動車の軽量化を狙って、硬質化と薄肉化が指向されている。このようなニーズにこたえるためには高圧下機能とストリッププロフィール改善（エッジドロップ低減）機能が必要となる。このような必要機能に対し、熱間圧延設備で実績を有するPCミルが非常に有効ことがわかり、連続冷間圧延設備の前段3スタンドに実機適用された^{8),17)}。その効果を図11に示す¹⁷⁾。

ステンレス鋼に代表される特殊鋼は変形抵抗が大きく、そのため高圧下を目的として、小径ワークロールを形状制御に優れた中間ロールと特殊機構のバックアップロールで支持した12段クラスタータイプの圧延機であるクラスターロール（CR）ミルが開発され^{18),19)}、特殊鋼向けに実績をあげてきている²⁰⁾。CRミルの形状制御システムのハード構成を図12に、CRミルの外観を図13に示す。

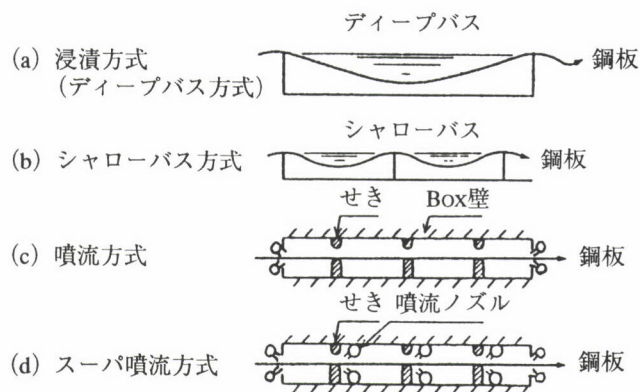


図9 各酸洗方式の構造

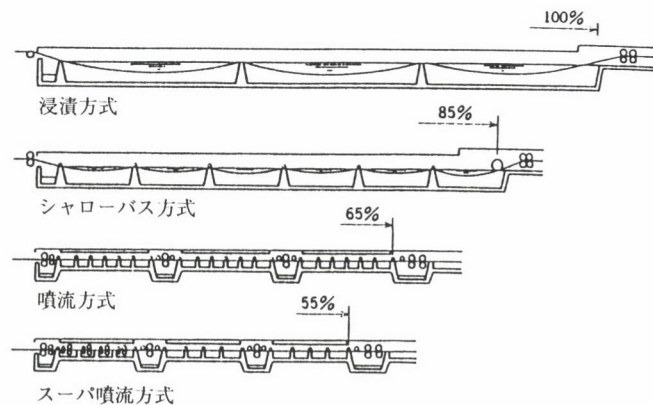


図10 各酸洗方式の必要ライン長の比較

2.5 連続焼鈍設備

最終板厚に圧延された薄板は、その用途に応じ各種の処理を施し仕上げられる。最も一般的な工程の中で重要な工程は、加工工程で生じる内部ひずみや内部組織を調整する焼鈍工程である。本工程はコイルごとに焼鈍していたバッチ方式から連続方式に切替わり、画期的な生産効率向上と

試験条件

ストリップ 圧下率	低炭素鋼, 4.0 → 1.1' × 1200' mm No.1-3スタンド: 30%, No.4スタンド: 20% No.5スタンド: 1% (ダルロール)				
圧延速度	50m/min (No.5スタンド)				
スタンド	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5
Case	クロス角/°			目標ストリップ形状	
1	0.60	0.75	0.71	中伸び	平坦 (自動)
2	0.60	0.75	0.71	平坦	
3	0.60	0.75	0.50	平坦	
4	0.60	0.40	0.50	平坦	
5*	0.35	0.40	0.50	平坦	
6	0	0	0	端伸び	

* Case 5 は従来レベルの条件

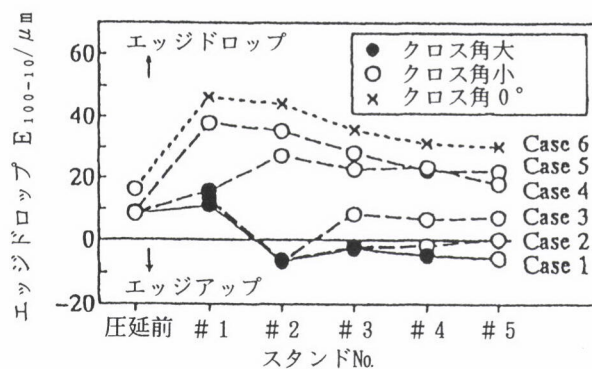


図11 冷延PCミルのエッジドロップ低減効果

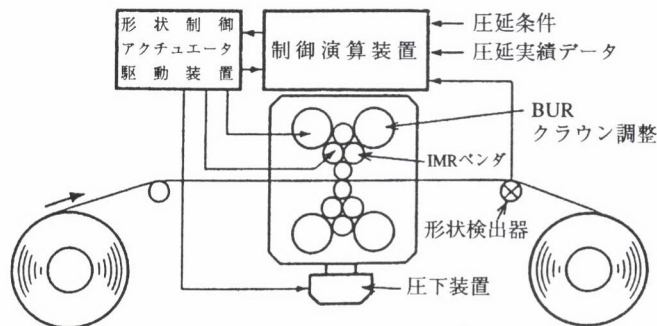


図12 CRミルの形状制御システムのハード構成

品質向上が達成された²¹⁾。連続焼鈍設備の技術上の重点は、板の加熱と冷却方法であり、各種の方法が考案された。最近では、設備のコンパクト化と省エネ化を狙い、焼鈍材に錆を発生することなく加熱できる直火加熱バーナ、従来法よりさらに冷却性能の良いサクショ冷却ロール等が開発され、実用化されている²²⁾。図14に直火加熱バーナとして開発されたインピンジングバーナの基本構造を、図15にサクショ冷却ロール装置の概要を示す。

2.6 連続めっき設備

銅板へのめっきは、用途に応じてめっき金属が異なり、めっき方法も溶融浸漬、電気、真空蒸着と各種あるが、主体は亜鉛を溶融浸漬または電気でめっきする方法である。

溶融浸漬法においては、亜鉛浴中の浸漬ロールを浴中フ

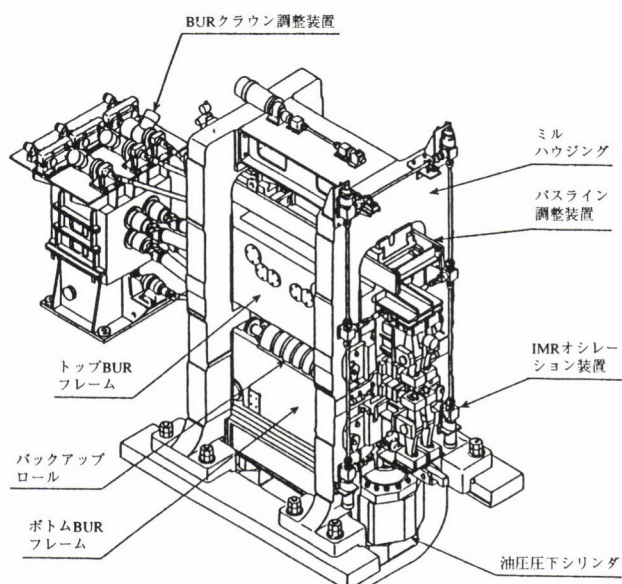


図13 CRミルの外観

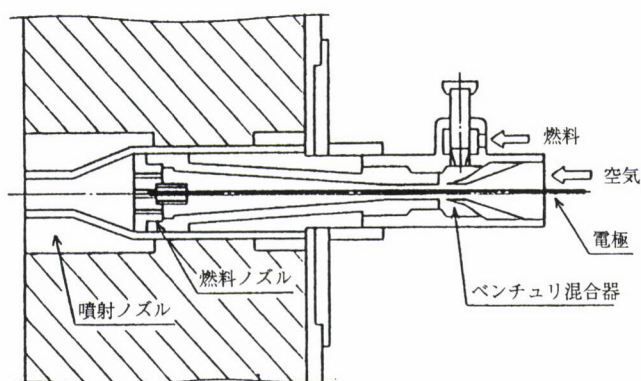


図14 インピンジングバーナの基本構造

ロータで代替し、非接触で方向転換することが開発されている²³⁾。図16に連続亜鉛めっき浴中フロータの構成を示す。また、銅板の制振法^{24),25)}とめっき後の合金化を効率よく行う合金化炉が開発され^{26),27)}、本設備の改善が図られている。図17に銅板制振装置のシステム構成を、図18に合金化加熱装置でのコイルを示す。

真空蒸着設備では、多段差圧排気方式で真空を維持しながら連続で銅板を搬送できる連続真空蒸着設備が開発された^{28),29)}。図19にそのライン構成を示すが、本設備は薄目付から厚目付めっき銅板までを高い生産性でできるなどの特徴を有する。

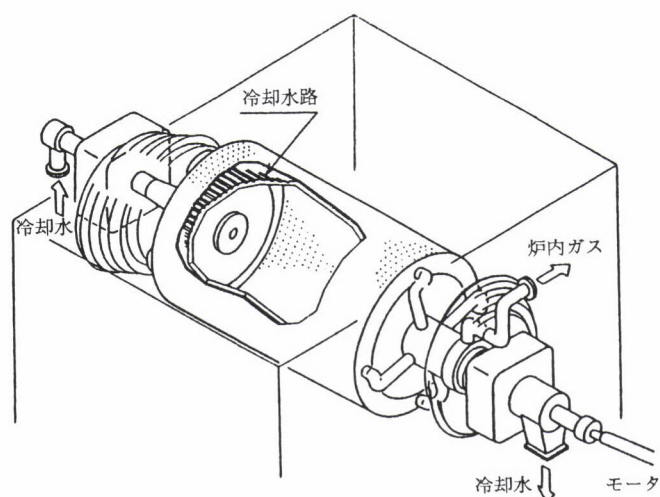


図15 サクショ冷却ロール装置の概要

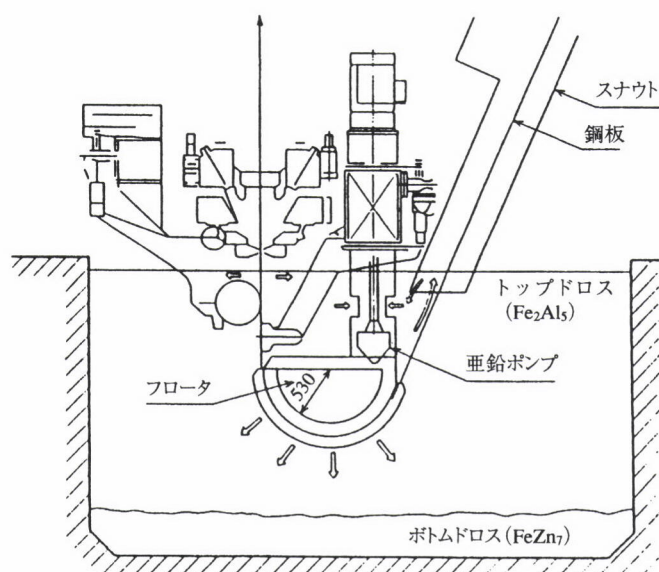


図16 連続亜鉛めっき浴中フロータの構成

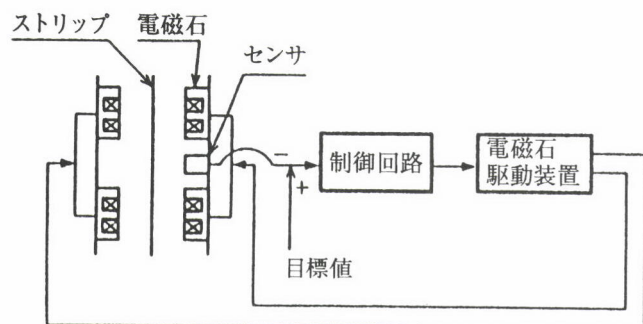


図17 鋼板制振装置のシステム構成

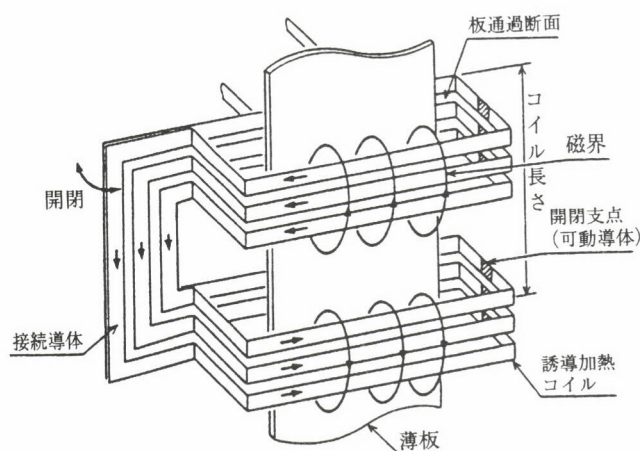


図18 合金化加熱装置のコイル

3 おわりに

現在の高炉－転炉プロセスに代表される大規模一貫製鉄所での大量生産プロセスは、今や成熟化の域にあり、将来への新たな模索が懸命に行われている。

かたや海外では、革新的な技術である薄スラブ連铸設備が開発、実用化され、高炉設備を持たないで、電炉－薄スラブ連铸－ホットストリップミルのいわゆるミニミルプラントが稼働し始めており、設備費廉価という大きな特徴を持っている。更には、良質の鉄源を安価に得るプロセス、プラントも開発されつつあり、これら一連の上流製鉄での動向は極めて注目すべきである。

中長期的に、我が国の国内鉄鋼需要は大きな伸びは期待できないが、開発途上国も含めた世界的視野では逐次増大傾向にある。

このような状況下で我が国の設備技術が国際競争を勝ち抜くには、高付加価値製品とそのプロセス開発が必須であり、そのためには単なる従来技術の延長だけでなく、新たな発想に基づくブレークスルーが必要に思える。

本稿は、製鉄機械設備の一端の紹介になったが、今後と

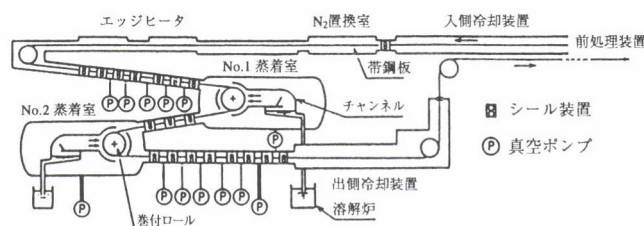


図19 真空蒸着亜鉛めっきライン構成

も更なる新技術ならびに新設備の開発が強く望まれる。

文 献

- 1) 岡田力美, 山本利樹, 片平圭一, 大野剛正, 樫尾茂樹, 長田修次, 米田順吉, 平田耕一: 材料とプロセス, 7 (1994), p.1187
- 2) H. Fujioka, K. Taii, H. Nakajima, K. Hirata, S. Kasio and N. Kanai: SEAIISI 40 CONFERENCE, Vol. No.2 (1996), SESSION 5: PAPER 3
- 3) 新井貴士, 山田衛, 桐原端史, 中島啓之, 竹内英麿, 山上靖博, 柳謙一, 山本恵一, 佐々木邦政: 材料とプロセス, 6 (1993), p.254
- 4) 柳謙一, 山本恵一, 佐々木邦政, 竹内英麿, 中島啓之: 三菱重工技報, 32 (1995) 3, p.207
- 5) 中嶋宏, 山本恵一, 佐々木邦政, 藤岡宏規: 三菱重工技報, 34 (1997) 2, p.124
- 6) 中島浩衛, 川本利治, 波多江誠亮, 大森舜二, 塚本穎彦, 日野裕之, 荒谷博史: 三菱重工技報, 21 (1984) 6, p.809
- 7) 西山泰行, 芝尾信二, 島津智, 青田英樹, 辻勇一, 小川茂: 圧延理論部会第100回記念シンポジウム, (1994), p.79
- 8) 中野恒夫, 大園隆一, 荒谷博史, 塚本穎彦, 森本和夫: 三菱重工技報, 29 (1992) 1, p.3
- 9) 西岡潔, 堀裕二, 水谷泰, 久富木行治, 霍茂則, 小川茂: 圧延理論部会第100回記念シンポジウム, (1994), p.69
- 10) 山本国雄, 林寛治, 塚本穎彦, 江川庸夫, 後藤崇之: 三菱重工技報, 25 (1988) 4, p.352
- 11) 増田健一, 藤田文夫: 圧延理論部会第100回記念シンポジウム, (1994), p.55
- 12) 林寛治, 島筒博章, 西崎純一: 三菱重工技報, 29 (1992) 1, p.13
- 13) 島筒博章, 増田堅司, 林寛治, 垣野義昭: 精密工学会関西支部創立50周年記念学術講演会講演論文集, (1991), p.63

- 14) 江本寛治：鉄鋼界，45 (1995) 11, p.40
- 15) 二階堂英幸，磯山茂，野村信彰，林寛治，森本和夫，坂本秀夫：川崎製鉄技報，28 (1996) 4, p.26
- 16) 柴富信博，谷口信行，坂成人，板野重夫，古沢雄二，手柴東光，樋野悦司：三菱重工技報，29 (1992) 1, p.24
- 17) 浜田龍次，鎌田俊二，江藤学，梶原哲雄，橋本正一，松田裕：塑性と加工，38 (1997) 437, p.71
- 18) 福原明彦，加地孝行，葉山安信，寺戸定，阿部光博，福山五郎：三菱重工技報，25 (1988) 4, p.331
- 19) 中野恒夫，福山五郎，有田一豊，梶原哲雄，森本和夫：三菱重工技報，29 (1992) 1, p.8
- 20) 井上美智正，兼安信太郎，佃宣和：圧延理論部会第100回記念シンポジウム，(1994)，p.115
- 21) 福島丈雄：第88・89回西山記念技術講座，(1983)，p.137
- 22) 深谷保博，橋本律男，新屋謙治，福島丈雄，三原一正：三菱重工技報，29 (1992) 1, p.30
- 23) 平井悦郎，三原一正，進 修：三菱重工技報，32 (1995) 6, p.437
- 24) 森井茂樹，川田則幸，井上淳司，藤岡宏規，片山圭一：電気学会第4回シンポジウム，電磁力関連のダイナミックス講演論文集，(1992)，p.429
- 25) 森井茂樹，川田則幸，井上淳司，末盛秀明，佃和弘：三菱重工技報，32 (1995) 2, p.128
- 26) 加藤光雄，鶴崎一也，三原一正，福島丈雄：第29回日本伝熱シンポジウム講演論文集，(1992)，p.237
- 27) 加藤光雄，鶴崎一也，長井直之，花本幹夫，三原一正：三菱重工技報，30 (1993) 2, p.157
- 28) 前田正恭，森田直彦，古川平三郎，和気完治，下里省夫，柳謙一，加藤光雄，和田哲義：三菱重工技報，21 (1984) 6, p.873
- 29) 古川平三郎，柳謙一，加藤光雄，平井悦郎，伊藤武彦，愛甲琢哉：真空，30 (1987) 10, p.11

(1997年6月20日受付)

科学研究費補助金の申請に向けて

科学技術研究推進と研究費の現状

財団法人 電気磁気材料研究所 所長 増本 健

1 はじめに

最近、科学技術研究に対する重要性が強く認識され、文部省を初めとして各省庁の動きが活発になっている。それは、昨年に閣議決定した科学技術基本計画によって、平成8年から5年間で約17兆円の研究資金が投入されることになっているからである。この中における文部省関係の研究資金は約7.95兆円にのぼっている。この答申には、科学技術振興のための研究基盤の整備・充実および先端的、独創的研究の促進が提言されており、現在、科学技術会議を中心として具体的な実施計画が纏められつつある。これらの中で最も特徴的なことは、大学・研究機関等を主体とした基礎分野の科学研究を強力に推進する必要性が指摘されており、これに対する大学・研究機関等の適切な対応が強く求められている。ことに、任期制度や評価制度の導入、兼業許可の緩和、多額の研究費に伴う研究者のモラル、国際化に対する対応、などの種々の課題に対する受入れ側の早急な検討が重要になっている。このことから、科学技術関連の現在の状況について概説し、さらに、このような急激な変革に伴って問題になっている諸点について述べる。とくに、次世代の我が国の発展を支える最先端の科学技術の開拓が不可欠であり、これに対する大学・研究機関等の役割が極めて重要であることを認識する必要がある。

2 科学技術基本計画の内容とその背景

平成7年11月15日に科学技術基本法が制定され、次いで平成8年7月2日に科学技術基本計画が閣議決定されて以来、我が国の科学技術に関する研究費は急速に伸長している。この背景は、戦後、日本の科学技術の大幅な遅れを取り戻すために、民間企業は欧米の基盤技術を積極的に導入し、一方、大学・研究機関等の研究者は当時の欧米の先端科学知識を学ぶことによって達成されたことに対する強い反省からである。我が国が経済大国になり、欧米と対等な地位を確立するに従って、このような我が国のキャッチアップ体質が批判されるようになり、独自の基盤技術の欠如と学問上の独創性の欠如が指摘されるようになった。その上、図1に見るように、最近は、一時接近していた米国の科学技術が再び日本を引き離しつつあり、また、ヨーロッパではEU諸国の統合とともに戦略的な科学政策が積極的に推進され、日本に迫っていると言う状況が起り始めている。

一方、東南アジア諸国は、急進する経済発展に伴って、先端科学技術の国家的育成が強力に推進されつつある。

このような世界の状況は、21世紀を迎える我が国の将来を危機的な立場に追い込むものとして危惧されている。従って、我が国独自の科学技術と産業基盤の育成が極めて重要になっているという認識の基に、ようやく科学技術基本計画が策定されたのである。

その目標には、基礎研究として、新しい法則・原理の発見を重視し、新しい方法論の確立、新しい知識・技術の体系化、先端的学問領域の開拓等を促進すること、開発研究としては、来世紀を目指した新しい基盤・システム技術、耐環境・省資源重視技術、合理的情報・通信システム、福祉社会対応技術の確立などを促進することが挙げられている。これらの目標を達成するには、産学官の強力な協力の下に、これまで余り重視されなかった研究環境の整備・充実、研究人材の確保・育成、研究者の交流促進、国際交流の促進、科学教育の重視と振興、地域の特徴重視と振興、産学官共同研究の促進の必要性が指摘されており、これらの科学技術研究の成果は積極的に社会へ還元されることが重要であると述べられている。そして、政府研究開発投資の抜本的拡充を計るために、平成8年より平成12年までの5年間の科学技術関係経費の総額を約17兆円（1年に12.4%の上昇）とし、その内、文部省関連研究費を約7.95兆円（1年に12.4%の上昇）とすることが予定されている。

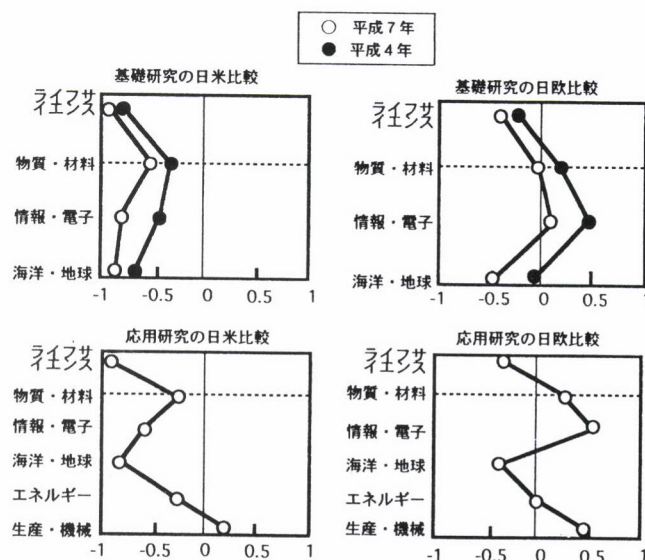


図1 日本と欧米との研究水準の比較（平成4年および7年）

3 平成9年度の科学技術研究費の状況

最近の我が国の科学技術関係研究費の年代による推移を図2に示す。総額の中で最も割合の多い民間企業による投入研究費はここ数年次第に回復の兆しを見せているが、それとは対照的に、額は少ないながら、特殊法人と国立研究機関等の研究費はいずれも昨年度に引き続き大きく伸長している。表1は平成9年度の家計の科学技術関係研究費の内訳と伸び率を示してある。総額は約3兆円を越える規模に達している。ここでの特徴は、一般会計の伸びがとくに著しいことであり、特別会計とほぼ同額になっていることである。これは、増額された研究費の大部分が政府出資金に依っているためである。表に見るように、研究資金の拡充費および研究開発プロジェクト費が増加すると共に、省庁横断型研究費と制度改革関連費が新たに追加されている。これらの内、大学に関連する科学研究費は、従来の「科学研究費補助金」と平成7年度から開始された「各省庁の出資金制度を活用した研究費」からなっている。この出資金の平成9年度の具体的内容は、表2に示すように、文部省の未来開拓学術研究促進事業ほか6省庁（今年から運輸省が参加）であり、いずれも各省庁の外郭団体の特殊法人を経由して、主に大学・研究機関等を対象とした大型プロジェクトへの研究費である。この研究費総額の年代による変化を見ると、図3に示すように、科学研究費補助金

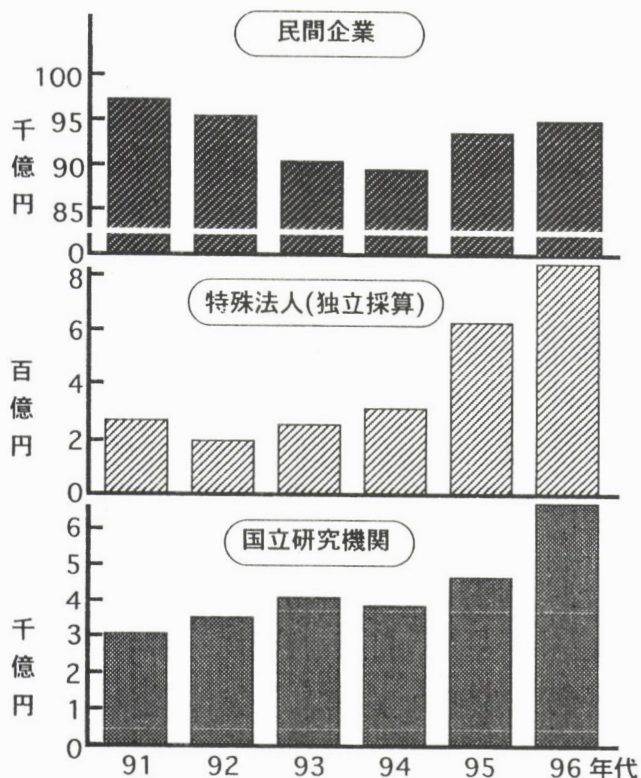


図2 年代による組織別科学技術研究費の推移

表1 平成9年度科学技術関係研究費の内訳と伸び率

科学技術関係研究費の総額	30.025 億円 (6.8%)
一般会計	14.807億円 (10.3%)
特別会計	15.218億円 (3.6%)
[研究資金の拡充]	
◇ 公募型研究費 (通産、科技など七省庁)	569 (77.8)
◇ 科学研究費補助金 (文部省)	1,122 (10.2)
◇ 科学技術振興調整費 (科技)	250 (16.0)
◇ 重要技術競争的研究開発費 (通産)	22 (新規)
[研究開発プロジェクト]	
◇ 産業科学技術研究開発制度研究費 (通産)	281 (6.4)
◇ ニューサンシャイン計画研究費 (通産)	428 (0.5)
◇ がん克服新10年戦略経費 (厚生)	24 (3.8)
◇ 産官学の連携開発研究費 (農水)	9 (新規)
[省庁横断型研究]	
◇ 脳科学研究費	149 (304.0)
◇ 標準など知的基盤整備費	30 (新規)
◇ 地球環境保全の国際的枠組み作り費	83 (31.7)
[制度改革関連]	
◇ 研究評価制度の導入費	1 (新規)
◇ 任期付き研究員の活性促進費	3 (新規)

表2 平成9年度各省庁の出資金を活用した研究費助成制度

省庁名 (実施機関)	制度名	出資金額 (単位:億円)
文部省 (日本学術振興会)	◇未来開拓学術研究推進	206
科学技術庁 (科学技術振興事業団)	◇戦略的基礎研究推進	240
通産省 (新エネルギー・産業技術総合 開発機構)	◇独創的産業技術研究開発	47
厚生省 (医薬品副作用被害救済・研究 推進調査機構)	◇保険医療分野基礎研究推進	29
農水省 (生物系特定産業技術研究 推進機構)	◇新技術・新分野創出基礎研究推進	36.1
郵政省 (通信・放送機構)	◇創造的情報通信技術研究開発	8
運輸省 (運輸施設整備事業団、仮称)	◇運輸分野基礎研究推進	3

合計 569.1億円

は6年間でほぼ倍増して今年1,122億円に達し、また、出資金研究費は平成7年度に補正予算で開始されて以来、本年度の総額は569.1億円に及んでいる。この結果、本年度の大学関係機関へ投入される研究費の総額は約1,680億円となっている。

(1) 文部省科学研究費補助金の充実と改善

文部省は、平成8年度に科学研究費補助金が1,000億円を突破したことから、これまでの科学研究費補助金制度の検討を始め、その枠組みの変更を行っている。とくに、日本学術振興会に平成8年度から新設された未来開拓学術研究推進事業の開始と共に、文部省の科学研究費補助金の見直しを行い、平成8年度から表3に示すような新項目を設定した。すなわち、項目名を「基盤研究」とし、総合研究を

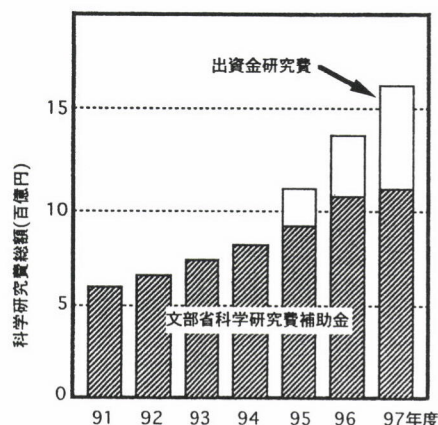


図3 大学等の主要な科学研究予算の伸び

企画調査に、一般研究 (A,B,C) を基盤研究・一般 (A,B,C) に、試験研究 (A,B) の内の中小型研究を展開研究 (A,B) に、その大型研究を廃止して未来開拓学術研究へ移動するなどの変更を行った。また、従来から大学研究者の要望が強かった、科学研究費補助金による外国出張や外国研究者の招聘を可能にしたこと、研究期間を最低2年として予算の単年度制の欠点を間接的に改善したこと、申請研究費の適切な増額を計ったこと、ポストドクター制度の充実を計ったこと、若手研究者のための萌芽的研究の予算の増額を計ったこと、などの従来の制度の全面的な改善を行った。さらに、平成10年度からは、重点領域研究の内容の見直しを行って、従来の公募研究を含む重点領域研究 (A) に加えて、新たに公募研究を含まない計画研究を主体とする小型の重点領域研究 (B) を新設することになっている。この様に、ここ数年間に文部省科学研究費補助金制度について大学研究者の立場に立った充実と改善が進められている。

(2) 各省庁の出資金研究費の新設と内容

平成7年度の補正予算において、科学研究費投資も国家

的な公共事業であると位置づけ、科学研究費に政府出資金を投入する道が開けてから、平成8年度は6省庁が、平成9年度は7省庁が特殊法人を受け皿とした政府投資資金による科学研究費制度を新設した。その主旨は各省庁によって異なっており、その支援対象機関、選考方式、採択数と予算額、研究期間などに関する内容を表4に纏めてある。これらの投資資金は、いずれも大型プロジェクト研究であり、3～5年の長期間に億単位の研究費が投入されるという画期的な制度である。そして、独創と先端を重視した独自の基礎研究を育成することが重要視されており、その成果は我が国の社会的貢献と産業基盤形成に還元されるべきことが強く要望されている。これは、出資金としての性格から、基礎研究といえども次世代の我が国の経済発展と産業振興や国際的貢献に寄与することが求められているからであり、文部省の科学研究費補助金とは性格が異なっていると言える。従って、人文・社会関連の研究、数学・天文・宇宙などの純粋物理の研究、知的興味からの基礎研究のような学術分野の基盤となる研究に対しては、文部省の科学研究費補助金の充実によって対応することになっている。

平成8年度の大学等へ配分された主な各省庁の大型科学研究費を纏めたものを表5に示してある。文部省関係研究費としては、新プログラム研究費、中核的研究拠点形成プログラム研究費、特別推進研究費、重点領域研究費および未来開拓学術研究費があり、また、科学技術庁関係の戦略的基礎研究費、通産省関係の独創的産業技術研究費がある。なお、ここではその他の省庁については、金額が小さいので省略してある。これらの各研究費は何れも特徴的な内容を持っており、その採択件数、1件当たりの平均研究費、選定されている特定の研究領域を示してある。平成8年度に採択された研究は188課題であり、研究費の総額は約350億円である。これらの項目の中で、文部省関連の新プログラム研究、中核的研究拠点形成プログラム研究、未来開拓

表3 平成8年度以降実地される科学研究費の変更計画

旧項目名	新項目名	変更点	
		研究期間	金額
特別推進研究	▶ 特別推進研究 (A)	3年～5年	5000万円以上約3億円
重点領域研究	▶ 重点領域研究 (A) 計画研究と公募研究	3～5年	2億円～6億円
	▶ 重点領域研究 (B) 計画研究のみ	【新】 3～5年	2000万円～2億円
総合研究 (A)	▶ 【基盤研究】企画調査 (B)	1年	300～1000万円⇒500～2000万円
総合研究 (B)	▶ 【基盤研究】企画調査 (C)	1年	300万円以下⇒600万円以下
一般研究 (A)	▶ 【基盤研究】一般 (A)	1～4年⇒2～4年	1000～5000万円⇒2000～5000万円
一般研究 (B)	▶ 【基盤研究】一般 (B)	1～3年⇒2～4年	300～1000万円⇒500～2000万円
一般研究 (C)	▶ 【基盤研究】一般 (C)	1～3年⇒2～4年	300万円以下⇒500万円以下
萌芽的研究	▶ 萌芽的研究	1年～3年	300万円以内
奨励研究 (A)	▶ 奨励研究 (A)	1年⇒2年	120万円以下⇒300万円以下
奨励研究 (B)	▶ 奨励研究 (B)		
試験研究 (A)	▶ 未来開拓学術研究【学術】	【新】 5年	約5億円～10億円
試験研究 (B)	▶ 【基盤研究】展開研究 (A)	1～4年⇒2～4年	1000～5000万円⇒2000～5000万円
	▶ 【基盤研究】展開研究 (B)	1～3年⇒2～4年	300～1000万円⇒500～2000万円
国際学術研究	▶ 国際学術研究	特になし	特になし

表4 平成9年度各省庁の出資制度による研究費

	文部省	科技厅	通産省	農水省	厚生省	郵政省	運輸省
実施機関	日本学術振興会	科学技術振興機構	新エネルギー・産業技術総合開発機構	生物系特定産業技術研究推進機構	医薬品副作用被害救済・研究振興調査機構	通信・放送機構	輸送施設設備事業団(仮)
事業名	未来開拓学術研究推進事業	戦略的基礎研究推進事業	新規産業創造型企業公募制度	新技術新分野創出のための基礎研究推進事業	保険医療分野における基礎研究推進事業	創造的情報通信技術研究開発推進制度	運輸分野における基礎研究推進制度
対象機関	大学等学術研究機関	大学・国研・公試・特法・公法	大学・国研・公試・特法・公法	大学・国研・公試・特法・公法・民間	大学・国研・公試・特法・公法	大学・国研	大学・国研・公試・特法・公法・民間
選定方式	半公募・推薦方式	公募方式	公募方式	公募方式	公募方式	公募方式	公募方式
採択数	110課題程度	60課題程度	60課題程度	20課題程度	15課題程度	7課題程度	10課題程度
予算額	206億円	240億円	47億円	36.1億円	29億円	8億円	3億円
研究期間	5年限度	原則5年	3年以内	原則3～5年	5年限度	最長5年	原則3年
研究概要	21世紀に向けて知的資産の形成を促す大規模な学術研究	21世紀に向けた重要な研究領域に開くシームレスな基礎研究	新規産業創造に資する産業技術分野の先進的な研究開発	生物機能の高度利用等を促進するための基礎研究	医薬品・医療用具等を対象とした基礎研究	通信・放送技術等を対象とした基礎研究	21世紀に向けた交通サービスの高度化・多様化等に資する基礎研究

学術研究はトップダウン方式の性格の強い大型研究費であり、親委員会によって設定された特定領域委員会が中心となって研究課題が選定され、適任の代表研究者が推薦されるという新しい方式が取られている。今後、このタイプの大型プロジェクトが推進される可能性が高いが、この傾向に対して、厳正で公平な審査方法、研究の中間・終了後の評価方法、評価の反映方法を十分に検討して、有効な体制を確立すべきであることが強く指摘されている。

4 科学研究費の増加に伴う諸課題

文部省科学研究費補助金の予算総額は、平成8年度より一千億円を突破したが、一方、申請件数もその増加とほぼ比例して増加しており、そのために採択比率はほとんど変わらない状況になっている。しかしながら、この多額の研究費の投入に対して、審査および評価を含めて適正な配分が求められている。

(1) 情報公開に対する各省庁の対応

文部省では、平成9年度から積極的に科学研究費補助金に関する情報の公開を進めることとしており、まず本年度は、大型研究(特別推進研究、重点領域研究、基盤研究(A)等)の審査結果・内容の公開および各審議会、委員会等の議事録の大部分の公開を実施している。このような趨勢は、研究者の研究意欲の昂揚を計る上で極めて重要であることから、他省庁においても次第に実施されつつある。また、文部省学術国際局研究助成課では、本年から、科学研究費補助金の配分額、採択率などの機関別ランキングに関する情報を公表した。科学研究費補助金が一千億円を越えたことによって、これらの多額の研究費がどのように、また何処へ配分されたかを知る必要があるという観点からの情報公開である。この種のデータは、意図に反して大学の格差とランク付けが進められる危惧がある。しかし、一方、配分額に応じた研究成果を総合的に評価するためにも必要である。

(2) 研究に関する評価の実施方法

現在、文部省においてすでに実施されているのは、大型研究費の事前、中間、事後の評価であるが、総ての評価を同一の審査委員会が行っており、また、事後評価のその後の反映が行われていないなどの問題が指摘されている。この問題に関しては、今後、事前と中間および事後の評価委員会の分離、外部研究者を含めた公正な評価委員会の設置、評価基準の明確化、評価のその後の反映を計るための方策、等の諸点を中心に討議されることになっている。

表5 平成8年度大学等へ配布された主な大型科学研究費

名称	文部省研究費				日本学術振興会	科学技術振興事業団	通産省
	新プログラム研究	中核的研究拠点形成プログラム	特別推進研究	重点領域研究	未来開拓学術研究	戦略的基盤研究	独創的産業技術研究
採択件数	2件	7件	14件	21件	60件	45件	39件
研究費額	約5億円	約20億円	約12億円	約21億円	110億円	150億円	26.5億円
研究領域	★社会系 0件 ★理工系 2件 ★生物系 0件	★社会系 1件 ★理工系 5件 ★生物系 1件	★社会系 0件 ★理工系 9件 ★生物系 5件	★社会系 2件 ★理工系 1件 ★生物系 8件	★産学協力研究 3件 ★物質・材料 7件 ★高度プロセス 3件 ★電子スケール系ミクス 6件 ★後継世代プロセス 3件 ★情報処理・高度情報処理 5件 ★未来社会システム 5件 ★マテリアル・マイクロシステム 4件	★生命現象(脳の機能) 6件 ★生命活動 8件 ★生体防御 6件 ★生態系現象(電子レベル) 6件 ★極限環境現象 6件 ★環境健康型社会システム 7件	★産業科学技術領域 9件 ★材料プロセス 5件 ★バイオテクノロジー 4件 ★電子情報技術 3件 ★機械システム 2件 ★医療機械 2件 ★人間生活工学(技術) 2件 ★資源技術 2件 ★高エネルギー環境技術 9件
平成八年度の採択件数： 188件 平成八年度の研究費額： 約350億円							

一方、本年5月に、科学技術会議政策委員会・評価指針策定委員会において、各界の意見を聞きながら纏めた「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法の在り方について」が答申されている。また、文部省学術審議会においても、学術全般の評価に関して討議されており、最近、答申が行われた。国費によって実施される研究開発全般を対象として、早急に評価の基本的考え方を纏めると共に具体的な実施方法と実施体制を明確にする事が検討されている。その内容の概要は次のようである。

[評価システム構築の基本的考え方]

各省庁等の評価実施主体において、評価対象、評価目的、評価時期、評価者、評価方法および評価結果の活用と反映方法を、それぞれ明確にした評価システムを構築する必要がある。この評価システムの構築に当たって特に留意すべき事項は、

- ◇「明確な評価システム」の整備：外部からもその実態が判る透明性のある明確な評価システムを整備することが必要。評価の公正さ、信頼性、継続性を確保し、実効性の有る評価を実施。
- ◇「外部評価」の導入：評価実施主体にも評価対象にも属さない第三者を評価者とした外部評価を導入することが必要。
- ◇「開かれた評価」の実施：国の研究開発についての国民の理解を得るため、評価結果等を積極的に公表することが必要。
- ◇「研究評価の結果の適切な活用」：公平な評価結果を研究開発活動に十分に活用する方策と実施方法の確立。

なお、大学等における研究に係わる評価の実施に当たっては、上記の基本的考えを踏まえつつ、研究者の自主性の尊重、研究と教育との間の関係等の重要性など、その効果にも十分に配慮することが重要であることが指摘されている。

(3) 科学研究費の機関別配分と地域別配分

図4は、平成8年度に採択された大型研究費（表5）の188課題の研究機関別、大学別、地域別の配分状況を示している。この図から判るように、大型プロジェクトの件数と研究費は国立大学に集中し、その中でも旧帝国大学が大きな割合を占めていること、また、地域別で見ると関東地域に約6割が投入されていることが判る。

また、平成9年度の公募型研究費である科学研究費補助金の機関別配分データを図5に示した。全国における各大学・専門学校・研究機関等の機関数とは大きく異なって、研究費の採択件数と配分額の約3/4が国立大学に集中していることを明瞭に示している。この研究費においても、関東地区への研究費の集中が顕著である。これらのデータから、極めて深刻な問題は、大学・研究機関に明瞭な格差が生じており、また東京一極集中が学術研究分野においても顕著になっていることである。政治・経済分野のみならず、個人の発想が重要な学術分野においても極端な不均衡が進んでいることは極めて深刻な問題であり、将来憂慮すべきことであると言える。

(4) 科学技術推進における主な制度の検討

さらに、科学技術推進に際して障害になっている多くの規制を緩和する必要があると、逐次検討され、実施されることになるであろう。

[兼業許可基準の見直しと制度化]：これまでに、すでに科学技術会議において検討され、公表された項目は、国家公務員の勤務時間外の兼業許可基準であり、その概要を表6に示してある。今後、大学教官も民間企業を含めた他機関との共同研究が容易になり、研究の社会への還元が一層促進されることが期待されている。

[任期制の導入と制度化]：国家公務員に対する任期制の導入については、昨年の7月に閣議決定された科学技術基本計画において、国立研究機関にその導入の必要性がうたわれており、一方、大学に関しては、大学審議会の答申を踏まえて所要の整備等を人事院の勧告と共に検討することになっていたが、昨年の10月に、大学審議会から、大学教員の任期制についての答申がだされ、本年6月に法制化された。その内容には、大学の教員への任期制の導入は人事の流動性を促進し、それによって教官自身の能力を高め、大

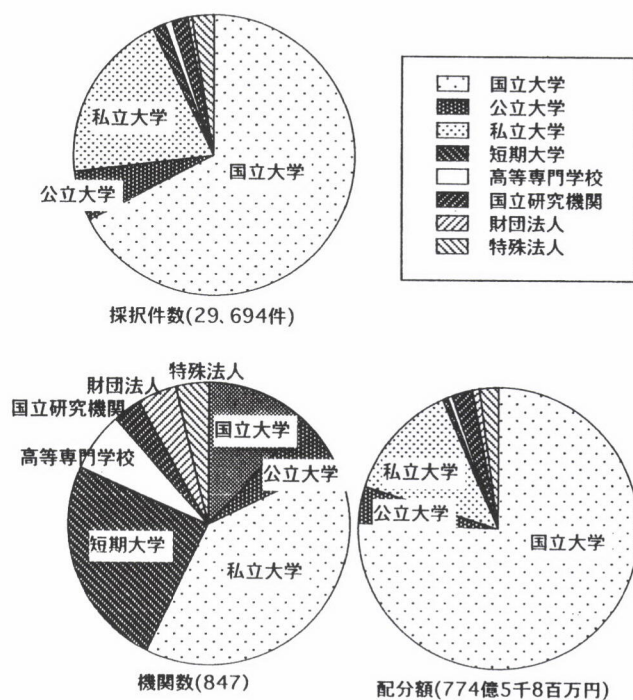


図5 平成9年度科学研究費補助金の機関別配分

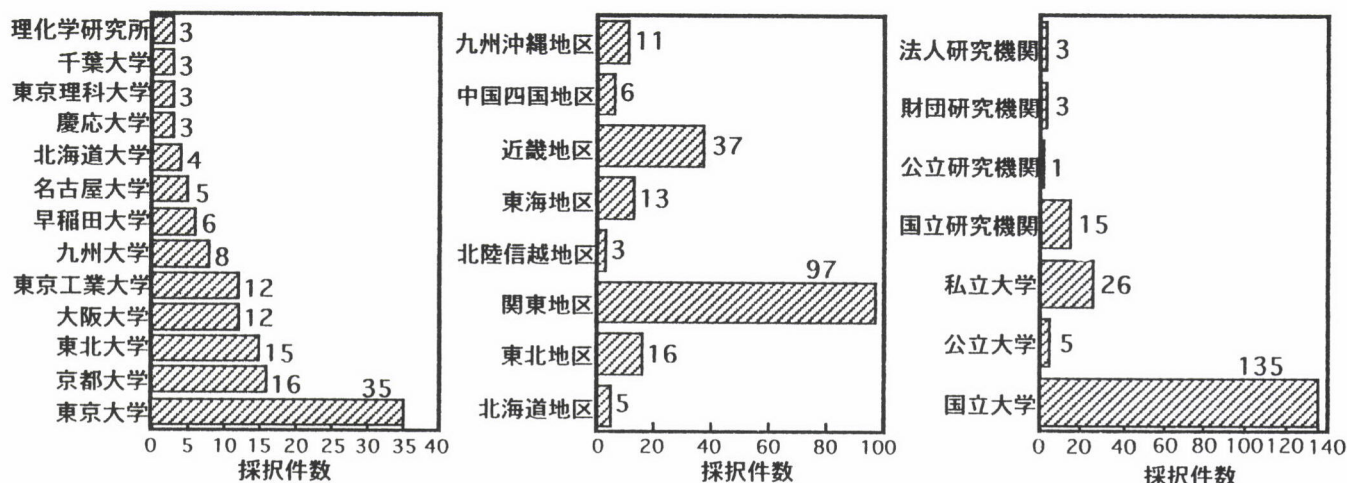


図4 平成8年度大型研究費の採択件数の分布（採択総件数：188件）

学における教育研究の活性化を図ることができ、極めて大きな意義があると述べられている。しかし、大学への導入に当たっては、各大学の自主性を重んじる「選択的任期制」とすることが適当であるとしている。この答申に対して、多くの大学、関連団体からは厳しい批判が出されている。今後、その適切な運用と公平な評価が重要になると考えられる。

5 おわりに

平成8年に閣議決定された科学技術基本法の内容と、それに伴う最近の科学技術関連研究費の実状とその問題点について、最近の情報とデータを基に概説した。しかしながら、多額の科学研究費の投資につれて、その成果が問われると共に、大学の見直しと規制緩和、有効な研究費の使用、厳正な外部評価、研究者のモラルの高揚などへの対応が強く求められている。研究機関の間での良い意味の競争は、自己浄化効果と研究高揚効果を生むものと信じている。

一方、最近は、行政改革と共に財政再建が重要な課題になっており、科学技術関連予算の初期計画からの減額がす

表6 国家公務員の勤務時間外の兼業許可基準の内容
(平成9年4月1日施工)

	招聘型任期制	若手育成型任期制
兼業許可要件	研究業績等に優れた外部研究者を招聘して、当該研究分野に係わる高度の専門的知識、技術等を必要とする研究業務に従事させる場合(所長、学部長等を除く)	独立して研究する能力があり、研究者として高い資質を有すると認められる者を一層の研究能力をかん養する研究業務に従事させる場合
兼業任期	原則5年以内(特に必要がある場合には7年まで可能)、期間を隔ったプロジェクト研究では10年まで可能	原則3年以内(特に必要がある場合には5年以内)、再任は不可、研究者生活の中で1回に限る
兼業間の給与	新たな俸給表を設定(特に極めて高度の実績を有する研究者の招聘する場合、特例的な最高額の俸給月額を定めることが可能)、また、特に顕著な研究業績を挙げた場合に限っては一時金の支給が可能	新たな俸給表を設定、また、特に顕著な研究業績を挙げた場合に限っては一時金の支給が可能
勤務時間	特に勤務時間を割り振りを行わないで職務に従事させる「裁量勤務制」とする事ができる	一般の勤務時間制度(フレックス制を含む)による

でに言われ始めており、決して予断を許さない状況になっている。今後、科学研究費の効果的な重点配分や社会への還元が厳しくなる傾向が強くなることを懸念している。このような逆風を吹かせないためにも、大学における研究費の有効な配分と目に見える大きな成果が重要になってくると考えられる。

(1997年 7 月22日 受付)

科学研究費補助金の申請に向けて

▶ 必ず通る研究費申請書の書き方 ◀

高知工科大学副学長(工学部長) 鈴木 朝夫

会員の皆さんがこれを読んで、この通りに、見易い、分かり易い、インパクトのある申請書を書いた時には、どれが採択されるのだろうか。このように書けば必ず通るとは言えなくなる。何のために書くのか不安になってくる。

あぶら蟬は土の中で7年間を暮らし、7年目の夏に出てきて交尾を終わって死ぬことを、中学生のときに生物の先生から習った。あぶら蟬は年毎に異なる7種類が居ると確信して、先生に質問したことがある。答えはなかった。アメリカでの暑い夏の一晩、泊まったモーテルで蟬の大コーラスを聴いたとき、これが17年毎に出てくる17年蟬であることを知った。そして先の結論に確信を持つことが出来た。モーテルのおばさんに、去年は出たか、来年はどうなるかを聞いてみたところ、非常に少ないが出るという答えが返ってきた。疑問の全てが氷解したのである。

会員の全てがこのように書くことはない、ゆらぎは必ずあると考えて、またこれを越えるユニークな書き方もあると考えて、私流の「必ず通る研究費申請書の書き方」を編集者の依頼に従って述べることにする。さらには、これを読まない研究者の居る領域を越えての分科や細目に挑戦することが条件になるだろう。

タイトルには最大限の努力を尽くす

審査員は少なくともタイトルは読んでくれる。次の研究目的を読ませるためにもインパクトのあるタイトルが必要である。副題を付けるのも良い方法である。ベストセラーの映画や著書のタイトルを考えれば自明のことである。最近の洋画のネーミングには工夫が足りない。「ダイハード」、「ターミネータ」などのようにカタカナにしかけたタイトルが多くなっている。日本人の英語の理解力が向上したのか、原題があまりにも優れているためかは分からないが。

アピール度の高い題目を苦心しながら考えて行けば、思わぬ副産物が生まれる。その研究のstatus (位置づけ) やcontext (筋立て) が極めて明快に頭の中に浮かんでくることになる。後から論文を書くときに大いに役立つのである。

申請書でも、論文でも、「…に関する研究」、「…について」などはタイトルとして論外である。冗長の何者でもない。このようなタイトルは査読者が注意するので、学会誌では見当たらない。しかし、申請書、卒業論文、修士論文、博士論文には多くなっている。

(ケーススタディ 1)

スタンフォード大学のシャービー教授の講演内容を翻訳したときの和文のタイトルの工夫。

原文のタイトルは「Damascus steel is rediscovered?」である。直訳すれば「ダマスカス鋼の再発見か?」となるし、講演当日のピラもこれであった。彼は遠慮しながらも確信を持って、すでに人類が忘れ去ってしまった超高炭素鋼の超塑性現象を利用した加工方法を自分が再現したと言いたいのである。この直訳のタイトルには、疑わしいと言った意味が含まれているように思えてならなかった。これをタイトルとしては使いたくなかったのである。「よみがえったダマスカス鋼」、「甦ったダマスカス鋼」、「ダマスカス鋼がいま甦った」、「今、再現されたダマスカス鋼」、「ダマスカス鋼の再現」などなど、このとき考えたタイトルは20以上になる。

ひらがな、カタカナ、漢字の順序に並んでいる「よみがえったダマスカス鋼」を選んだ。こんなに考え抜いたタイトルとは知らずに、不用意にも査読者は原題と違うとクレームを付けてきた。長文の反論を書いたことは勿論である。

申請用紙は絵のように美しく画く

決められた枠内に少しのマージンを付けて、多くも少なくもない分量で、字間と行間の割合を適正に保って記入することが必要である。申請書を生け花を造るような感覚で、ポスターを画くような感覚で書く。最近インターネットが普及したために、字間と行間の割合がかなり乱れているように思える。会報の組み方を参考にすれば良い。速読の容易さを持つ和文の特徴を最大限に生かす工夫が大切である。カタカナとひらがなと漢字の組み合わせを目に付きやすいように変えるのである。

また、パラグラフを論旨に基づいて適切に設ける必要がある。例えば、科学研究費の申請書の研究目的欄では、2～3のパラグラフが必要であろう。研究方法欄などでは、箇条書き、系統図、ポンチ絵などを適宜に加えるのも有効である。

(ケーススタディ 2)

この文章そのものがケーススタディ。箇条書きにして見易くしたつもり。例えば、1)、2)を付けることも有効な方法である。イタリックや立体や無用な文字飾りは多用しない方がよいようである。英文ではカンマ(,)の使用法は厳密に決められているが、和文では臨機応変である。多用しないようにすることが必要である。英文を念頭に置けば

使用頻度を少なくすることが出来るだろう。

繊維強化複合材料の強みは縦方向

装置や設備の必要性が優先する研究費申請もときには必要である。プロジェクト研究への応募の場合には、自分の研究のスタンスをこれに合わせなければならない時もある。いずれも、木に竹を継ぐことに苦心するケースである。学位論文を書く場合にも当てはまることであるが、これを弱点と考えている限り良い解決策に到達することはあり得ない。繊維強化複合材料の横方向の弱さを気にしているようなものである。縦方向は最強と考えるべきである。

(ケーススタディ 3)

私の学位論文のタイトルを良くない見本として示す。高炭素工具鋼の焼入れや焼戻しによる寸法変化、低炭素の機械構造用鋼の焼戻し脆性、および炭素を全く含まないマルエージ鋼の析出硬化挙動と相互に必然性もなく、関連もない内容の3つの研究を1つに括る作業が必要であった。せっかく行った研究なので、出来るだけ多くを学位論文に盛り込みたかったのである。「マルテンサイト」、「時効挙動」、「強さの向上」などが共通のキーワードである。題目は「マルテンサイト組織鋼の時効挙動、硬化機構ならびに熱処理変形に関する研究」とした。今になって考えるとより良いタイトルがあるように思える。「マルテンサイト組織鋼の相安定性と強靱性」くらいにしておけばと思っているが、さらに重要なことは割愛する勇気を持つことである。

進水式の直前の研究を提案すること

かなりの実験データが蓄積されたとき、文献やデータベースの事前の調査からある程度のことが分かってきたとき、確認の追加実験を行えば完成すると思われるとき、このような状態にある研究を申請することが得策である。必然性のある、迫力のある申請書を書くことが出来る。

研究を開始するときに完成時点のイメージを造っておくことである。縦軸と横軸に何を採り、どのような図面を作るかの思考実験が必要である。得られた結果は予想と異なることも多い。学生が申し訳なさそうに、先生の予想のようになりませんとやってくる。このようなときには手順を間違えていないことの確認はするが、困ったと思うよりも先に、面白くなりそうだと喜ぶことにしている。予想外の発展につながる可能性を秘めているからである。予想どうりの結果になれば喜びが得られる一方で、当たり前であり実験する必要もなかったと気が抜けてしまう。

仕込みを早くして、熟成を待つこと

申請書の様式は少しの変更があるだけで、基本的に毎年同じである。4月頃からワープロに入れ始めるべきである。夏休み前には大方の構想と文章が出来上がっていなければならない。実りの秋の提出期限の直前には熟成して、美味

しさは最高になっている。

データが沢山あっても論文を書かない人がある。確実なものにしたいと云って追加実験ばかりしている人である。これを熟成とは云わない。書かないことの言い訳に過ぎない。締切がある申請書では、逆に十分な推敲もせずに駆け込み申請になることが多い。しかし、審査員にはすぐ分かってしまう。

(ケーススタディ 4)

ショートノートで出した論文の内容をドイツの研究者に説明したところ、彼は「素晴らしい研究成果だ。何故フルペーパーにしないのか。自分が編集責任者をしている雑誌ならば、このレベルの論文は直ぐに掲載可だ」とのことである。この雑誌に投稿すれば、直ちに掲載可になる状態が続いた。サーキュレーションが良くて、投稿から掲載までの時間が短いので、その後は大いにこの雑誌を活用した。しかし、これは大変である。十分に推敲しないと出せなくなってしまった。

素人に分かる平易な表現を心掛ける

重点領域のようなプロジェクト研究の場合には、ある専門的レベルから説き起こした記述でもよい。しかし、広域的な申請の場合（一般研究など）はかなり低いレベルから解き起こす必要がある。結果はどのように役に立つか、何が明らかになるのか、は素人にも理解できるように書くべきである。

専門用語、とくに略号は末尾に簡単な解説を付ける位のことはずべきである。専門に分化している細目の中であっても、審査員は素人同様であると心得ること、大量の申請書を短時間に見る役割を負っている可哀想な人と心得ることが大切である。いつも答案の採点を行っている教員なのだから、採点者の身になることは楽な筈である。

自分の経験したことをケーススタディとして示した。本来ならば、駄目な例を具体的に示した方が分かり易いとは思ったが、差し障りが多いのでこのようにした。

今年採択されたから次年度は当たらないと言うことはない。なお、科学研究費は応募件数で分科や細目への配分総額が決まると聞いている。従って、採択された次の年は採否に関わらず、ここに示したような書き方でなくても良いから、同じ細目へ申請すべきである。パイを大きくすることに貢献すべきである。

繰り返しになるが、吟味を重ねて熟成した状態に持っていけば、研究のstatus（位置づけ）やcontext（筋立て）が極めて明快に頭の中に浮き彫りになる。これが講演発表に移すとき、論文にまとめていくときの大きな副産物である。（日本金属学会会報「まてりあ」、36(1997)7, pp.672-673より転載いたしました）

科学研究費補助金の申請に向けて

▶ 科研費申請にあたっては細目の決定が大切 ◀

名古屋大学工学研究材料プロセス工学専攻教授 浅井 滋夫

日本鉄鋼協会の皆さんの内、大学関係の方々におかれては科学研究費申請書作成に忙しいこの頃と思います。会員の皆様の多くは「材料工学」の分科で申請されると思いますので、「材料工学」分科の審査の仕組みについて述べます。

基盤研究など（基盤研究、萌芽的研究、奨励研究（A））は二段審査で審査されます。「材料工学」分科は表1に示す

表1 材料工学分科の細目と幹事学協会

分科	細目	幹事学協会
材料工学	金属物性	日本金属学会
	無機材料・物性	日本セラミックス協会
	複合材料・物性	日本化学会
	構造・機能材料	日本金属学会
	材料加工・処理	日本金属学会
	金属生産工学	日本鉄鋼協会

ように6細目から成っており、それぞれの細目には幹事学協会が決められております。幹事学協会は細目の内容にふさわしい所定の関連学協会から審査委員の推薦を受け、関連学協会間の了解を得て審査委員候補者を決め、文部省に上申します。細目毎に3－6人の審査委員が第1次審査にあたります。この審査は個人の責任と良識によって評価がなされ、合議は禁じられております。第2段審査は第1段審査の結果に基づき、2名の審査員が合議により、広い立場より総合的判断を行い、採択候補課題を選定します。第2段審査は細目間の調整作業が主となりますから、第1段審査結果が大切であることは言を待ちません。

「材料工学」分科の幹事学協会は日本鉄鋼協会、日本金属学会、日本化学会、日本セラミックス協会ですが、その内、日本鉄鋼協会と日本金属学会が幹事学協会となる4細目は主に金属関係学協会（日本鉄鋼協会、日本金属学会、資源・素材学会、日本鋳物協会、表面技術協会、溶接学会、日本非破壊検査協会、粉末粉体冶金協会、軽金属学会、日本塑性加工学会、日本熱処理技術協会、腐食防食協会）から審査委員候補が出ます。

各分科、細目への科学研究費の配分は、当該分科および細目への申請件数と総申請額によって決まる仕組みとなっております。ちなみに最近の細目別申請件数は表2のとうり推定されております。申請件数に応じて審査委員の数も

表2 細目別申請件数

細目	平成8年度	平成9年度
金属物性	206	199
無機材料・物性	273	301
複合材料・物性	128	137
構造・機能材料	316	326
材料加工・処理	431	448
金属生産工学	244	239

変更されるようで、平成10年度は「無機材料・物性」と「構造・機能材料」で審査委員が3名から6名に変更になるようです。「金属物性」と「金属生産工学」の細目で申請件数が僅かではありますが、減少いたしております。関係の先生方におかれましては、なお一層のご奮起をお願いします。

研究課題の新規採択率は15－30％前後ですが、前年度の採択、不採択に拘わらず、「材料工学」分科の「金属物性」、「構造・機能材料」、「材料加工・処理」、「金属生産工学」の細目に、積極的に、できるだけ多く、しかも必要経費を十分盛り込んだ申請をすることが、金属系材料分野への配分総額を伸ばし、ひいては会員皆様の研究課題の採択数増加に繋がります。このことをよく頭に入れて細目を選びましょう。

なお、基盤研究、萌芽的研究、奨励研究（A）以外は上記とは別に審査されます。

(1997年7月17日受付)

名 誉 会 員 追 悼



故 名誉会員 久松 敬弘 君

社団法人日本鉄鋼協会名誉会員、元会長、東京大学名誉教授、久松敬弘先生は、平成9年7月22日ご逝去されました。享年75才でした。先生のご業績を偲び、謹んで追悼の辞を捧げます。

先生は東京大学工学部長、日新製鋼株式会社副社長、静岡理工科大学学長等を歴任され、昭和58年11月には藍綬褒章、平成7年11月には勲二等瑞宝章を受章されました。また先生の多くの学術上の業績に対して、財団法人本多記念会から本多記念賞(平成2年)、本会からは依論文賞(昭和56年)、西山賞(昭和60年)が贈られております。他に日本金属学会、表面技術協会、伸銅技術協会、腐食防食協会等から数多くの功績賞、論文賞、技術賞等を受賞されておられます。

本会の関連では、会長(昭和61年4月～昭和63年3月)、特定基礎共同研究会「鋼材の表面物性に関する研究」部会長、「鉄鋼の応力腐食割れ」部会長、第一回「亜鉛および亜鉛合金めっき表面処理鋼板に関する国際会議(GALVATECH)」組織委員長(平成元年)などの他、長年にわたり評議員として本会事業の推進に貢献されてきました。本会の他には表面技術協会、電気化学会、腐食防食協会、の会長を務められ、鉄鋼工学、金属表面工学、腐食防食学、などの広い分野において学術の発展に尽力されました。また文部省、科学技術庁、通商産業省等の各種審議会専門委員会等を通じて、我が国の科学技術行政に大きな貢献をされました。

先生は、昭和34年に「金属のアノード溶解に関する研究」により、東京大学より工学博士の学位を授与され、金属電気化学という新しい学問分野を切り拓かれました。金属材料が環境中で劣化する現象の機構解明を通じて、材料の耐環境信頼性を確保するという材料学の中心的課題に対する先生の寄与は、計り知れないものがあります。基礎理論に裏付けられた独創的な研究手法の考案から生み出された研究成果としては、耐候性鋼におけるさび層テクスチャーの機能、方位性ピットの生成条件の確立、単一食孔法によるステンレス孔食機構の解明、すきま腐食に関する臨界電位概念の提唱、ステンレス鋼の応力腐食割れにおける溶解の局在化現象に対する限界サイズの存在の指摘など、多くをあげることができます。いずれも世界に先駆けて新しい研究の方向を開拓した、卓越した業績であります。

先生は昭和48年に「金属材料を使用する上での信頼性というものが大きな社会的意味を持つ時代が来る(鉄と鋼：第59年8号)」と書かれています。今まさにこのような時代に直面しております。先生の先見性のある明晰な御意見が必要とされるこの時期に先生が突然他界されましたことは大きな損失であり、大きな悲しみであります。

名誉会員久松敬弘先生の鉄鋼技術の発展に尽くされました偉大なご業績を偲び、会員一同心から追悼の意を捧げ、謹んでご冥福をお祈り申し上げます。

平成9年7月

社団法人日本鉄鋼協会 会長 野田 忠吉

記事内容	掲載号
日本鉄鋼協会専務理事交替のお知らせ	本号 765 頁
学術功績賞受賞候補者の推薦募集	本号 765 頁
サイエンス・ボランティア募集案内	本号 765 頁
平成 9 年度重点研究採択結果のお知らせ	本号 766 頁
学会部門からの評議員候補者推薦募集	本号 767 頁
シンポジウム「センシングと信号処理技術の最新動向」開催案内	本号 768 頁
セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」開催案内	本号 768 頁
ステンレス鋼の耐候性試験自主フォーラム研究会開催案内	本号 769 頁
第 165・166 回西山記念技術講座「鉄源の多様化とその展望ー21 世紀の溶鋼製造技術の方向ー」開催案内	9 号 688 頁
GALVATECH'98 国際会議アブストラクト募集の案内	9 号 693 頁
最終報告会「コークスプロセスにおける石炭加熱下現象とモデル化」開催案内	9 号 695 頁
シンポジウム「日本圧力容器研究会議 (JPVRC) 設立 20 周年記念」開催案内	9 号 695 頁
日向方斉メモリアル国際会議助成の募集案内	8 号 619 頁
日本鉄鋼協会助成金受給者決定のお知らせ	8 号 621 頁
ISS主催行事予定	8 号 622 頁
科学技術振興調整費における「総合研究」への新規課題提案について	8 号 623 頁
材料の組織と特性部会「自主フォーラム」発足のご案内	8 号 625 頁
出版案内	7 号 555 頁
ISIJ International 特集号「Recrystallization and Related Phenomena」原稿募集案内	5 号 371 頁

平成 9 年度重点研究採択について 7 月 11 日開催の学会部門会議で慎重に審議の結果、次の 2 件に決定しました。

研究テーマ名	製鉄プロセスを基礎としたエクセルギー抽出	高強度ポース鉄合金の創製と応用
研究代表者	八木順一郎 (東北大学素材工学研究所)	中嶋英雄 (大阪大学産業科学研究所)
研究分担者	高橋礼二郎 (東北大学素材工学研究所) 秋山友宏 (宮城工業高等専門学校機械工学科) 埜上 洋 (東北大学素材工学研究所) 張 興和 (東北大学素材工学研究所)	村上健児 (大阪大学産業科学研究所) 中田芳幸 (大阪大学産業科学研究所)
研究期間	2 年間	2 年間
交付金額	750 万円	600 万円

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			
10月 6日	原子力施設の運転経験から学ぶ技術とその展開（東京）		本号771頁
8日	第115回腐食防食シンポジウム（東京）		9号698頁
8日	第52回シンポジウム「新しい用途を開く軽金属材料」（東京）		本号771頁
9日	第166回西山記念技術講座「鉄源の多様化とその展望—21世紀の溶鋼製造技術の方向—」（神戸）		9号688頁
9日	東海支部 見学会		9号696頁
16日	最終報告会「コークスプロセスにおける石炭加熱下現象とモデル化」（東京）		8号627頁
13,14日	SICEセミナー—現代制御理論入門—（大阪）		9号698頁
16,17日	Sensing Forum—センシング技術の新たな展開と融合—（長崎）		9号698頁
21~24日	INTERMAC'97 SICE（東京）		本号771頁
22,23日	東海支部 第23回若手材料研究会「環境と自動車材料」（愛知）		本号769頁
23,24日	HPI技術セミナー「第7回圧力設備の材料、設計、施工、維持管理」（大阪）		本号771頁
24日	数理モデリングフォーラム「計算工学と材料加工のための新しいモデリング」（東京）	1997/10/20	8号624頁
24日	セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」（東京）	1997/10/17	9号692頁
24日	東海支部 湯川記念講演会（名古屋）		本号770頁
27~30日	第10回国際超電導シンポジウム（岐阜）		本号771頁
30,31日	金属学会セミナー「界面科学と材料接合」（東京）		本号771頁
31日	第20回制御技術部会研究会「最適化制御」（京都）		本号771頁
11月 4日	関西支部 材料セミナー「組織観察：走査型電子顕微鏡による破面観察とその解析」（神戸）	1997/10/17	9号696頁
4日	第5回メゾ材料シンポジウム「複合材料のメゾメカニクス」（京都）		本号771頁
5~7日	第11回アコースティック・エミッション総合コンファレンス（岐阜）	1997/10/20	9号698頁
6日	関西支部 材料セミナー「X線回折：集合組織の測定・解析と材料への応用」（高槻）	1997/10/17	9号697頁
6,7日	第14回セラミック・セミナー（東京）		本号771頁
7日	関西支部 材料セミナー「界面・微小部分析：透過型電子顕微鏡の測定原理と評価解析技術」（大阪）	1997/10/17	9号696頁
7,8日	1997年度材料技術研究協会討論会（東京）	1997/9/1	8号630頁
8,9日	シンポジウム『生きている鉄』（島根）		本号771頁
12日	シンポジウム「日本圧力容器研究会議（JPVRC）設立20周年記念」（東京）	1997/10/17	9号695頁
12日	シンポジウム「センシングと信号処理技術の最新動向」（川崎）	1997/10/31	本号768頁
12日	International Seminar on Molecular Dynamics Simulations（大阪）		7号549頁
13日	第176回塑性加工シンポジウム「ステンレス鋼の素材製造および加工方法」（山口）		本号771頁
14日	セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」（大阪）	1997/10/17	9号692頁
14日	九州支部 湯川記念講演会・本多記念講演会・講演討論会（熊本）		本号770頁
17,18日	第23回腐食防食入門講習会（東京）		9号698頁
18,19日	セミナー「画像処理・コンピュータビジョンの新しい潮流」（東京、大阪）		9号698頁
19~21日	第5回鉄鋼工学アドバンストセミナー（千葉）	1997/9/1	7号542頁
25日	東北支部 プロセス工学研究会「製鉄プロセスにおけるエネルギーと環境」（仙台）		本号770頁
26,27日	関西支部 材料セミナー「化学評価：金属材料の耐環境性評価—講義と実習」（大阪）	1997/10/17	9号697頁
28日	ステンレス鋼の耐候性試験自主フォーラム研究会（東京）		本号769頁
29日	北陸支部 平成9年度総会・連合講演会（福井）	1997/9/29	9号697頁
12月 4,5日	第35回高温強度シンポジウム（長崎）	1997/9/4	8号630頁
1998年			
3月 16日	第14回塗料・塗装研究発表会（東京）	1997/10/20	本号771頁
31~4月2日	Environmental Innovation in the Metals Industry for the 21st Century（Pittsburgh, Pennsylvania）	1997/10/1	8号630頁

編 集 後 記

毎月、「ふえらむ」が郵便受に届けられ、何気なく目を通し、気が向けば、記事をどこかにファイリングしていました。少し前までは、その程度の読者でした。ところが、この1ヶ月あまりで事態は一転しました。

前任者との引き継ぎを終えると、そこには編集委員会、企画、原稿執筆者選定、依頼、査読等々の仕事がありました。必然的に熱心な読者に豹変し、バックナンバーを繰りながら、これまでの記事内容や傾向を頭に入れ、今後のあり方はどうかといった大それたことを考えてみたりもします。挙げ句の果ては、家族にまで「ふえらむ」の宣

伝をしたりしています。自身の変わり身の早さにあきれている今日この頃です。

毎月、「ふえらむ」が郵便受に届けられるのが待ち遠しく、何はさておいても、まず「ふえらむ」を読みます。何らかの事態でしばらく「ふえらむ」を読めないと、イライラして仕事が手につきません。このような読者の方々大勢に囲まれた（家族会員制度があってもいいかもしれません）会誌になりつつあると思います。新委員で、まだ要領も得ませんが、努力いたします。

(T. K.)

会報編集委員会（五十音順）

委員長 雀部 実（千葉工業大学）

副委員長 近藤 隆明（NKK）

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

ふえらむ（日本鉄鋼協会会報） 定価 2,000円（消費税込・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10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)㈱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 No.10 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2 テイサン(株) エア・リキード	後2 (株)トライメート スラブ切断装置他
前1 (社)日本電気計測器工業会 国際計測工業展	後1 本誌広告目次 (株)協会通信社 広告案内	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) 各種分析装置

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

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

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANÉ

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

日本鉄鋼協会講演論文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

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

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

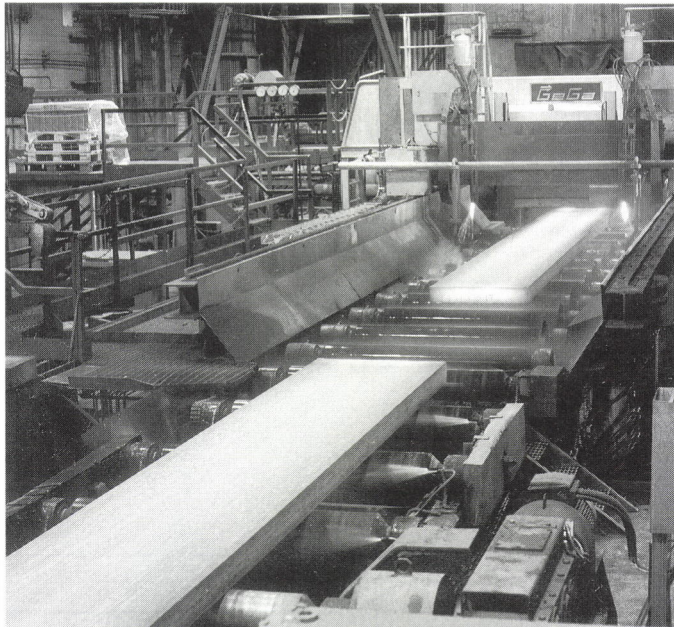
*For more Information,
Write or Facsimile.*

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

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

ドイツのアイディアで、先進技術の日本にも貢献を!

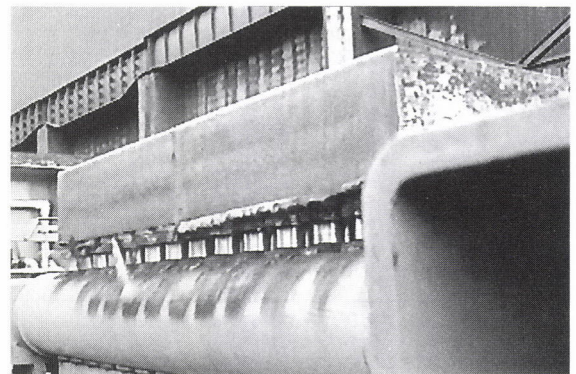
GeGa



最新型 GBMスラブ切断装置

連続鋳造用ガス切断装置として、ブルーム／ピレット用で910台、スラブ用で380台、幅分割用で140台などなどの納入実績を有するドイツのゲガロツ社は、常に最新の技術で世界の製鉄製鋼業界のご要望に対応しております。

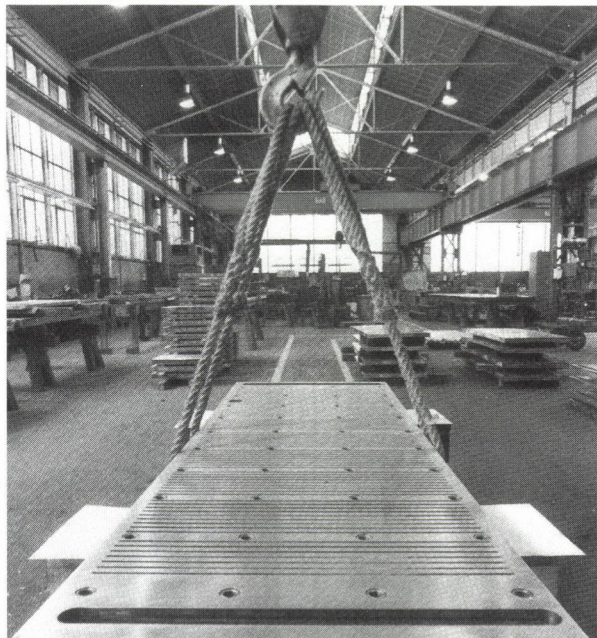
さらに機械方式によるバリ除去装置も開発し、好評を得ております。このバリ除去装置は、多数の刃型ナイフにより、鋳片端面に付着しているバリをきれいに除去します。しかもバリ除去の際、粉塵や騒音などは発生しません。これらの点でも、良好な作業環境の維持に寄与しております。



新たに開発した機械式ノロ除去装置

KME

用途に応じて、KMヨーロッパメタルは最適な素材で製品を提供いたします。以下にそれぞれの素材の特性を示します。



スラブ用モールドプレート

素 材 の 種 類			脱 酸 銅		銀入り銅		特殊合金銅(ELBRODUR)	
諸 特 性		単 位	DHP-Cu	DPS-Cu	G(CuCrZr)	BN(CuCo/NiBe)		
化学組成		%	Cu 99.9 P 0.03	Ag 0.09 P 0.006 Cu 残	Cr 0.65 Zr 0.10 Cu 残	Co 3.0 Be 0.15 Zr 0.15 Cu 残		
	電 導 性	m/Ω mm ²	48	55	47	35		
物理的 特性	% IACS		83	95	81	53		
	熱 伝 導 性	W/m・K	322	370	315	233		
	熱膨張係数 (20-300℃)	10 ⁻⁶ /K	17.7	17.7	18	17		
	再結晶温度	℃	350	370	700	(720)		
	半軟化温度	℃			500	520		
	弾 性 率	10 ³ N/mm ²	120	125	128	138		
		温度(℃)	単 位					
機	0.2 %	20	N/mm ²	265	265	300	570	
	耐 応 力 (Rp0.2)	200		235	235	280	560	
		350		(190)	(190)	240	540	
		500		(30)	(30)	165	430	
械 的 特 性	抗張力 (Rm)	20	N/mm ²	275	275	410	750	
		200		240	240	380	710	
		350		(195)	(195)	320	650	
		500		(90)	(90)	200	460	
性	伸縮率 (A 5)	20	%	25	15	18	17	
		200		9	9	17	12	
		350		(10)	(10)	19	8	
		500		(40)	(40)	20	5	
	硬 度 (HB2.5/62.5)	20		85	90	125	200	
用 途			チューブ		チューブおよびプレート			

GeGaおよびKM Europa Metal製品についてのお問い合わせは：

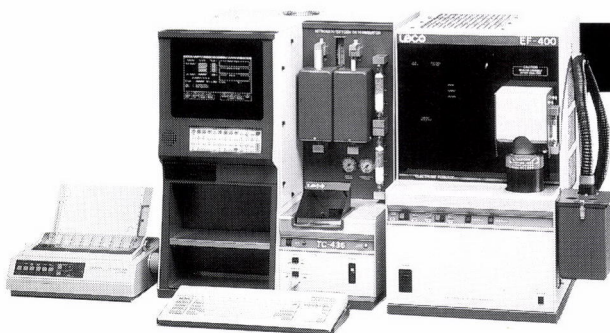


株式会社 **トライメート**

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



金属・鉱石・無機物・セラミック中 C・S・O・N・H 分析装置各種



TC-436

酸素窒素同時分析装置

(鉄鋼, 非鉄金属, 電子材料, 炭素繊維等
各種セラミックス (Si₃N₄, AlN, BN, SiC, TiC)
SiO₂, Ba₂ YCu₃ O_{7-y}等)

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

電子天秤: プリンター内蔵
オプション: 昇温抽出プログラム

姉妹機

TC-136 O-N分析

TN-414 N分析

RO-416 O分析

TN-114 N分析

CS-444

炭素硫黄同時分析装置

(鉄鋼, 非鉄金属, 特殊合金, 鉱石等)

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

電子天秤, プリンター内蔵

オプション: オートクリーニング

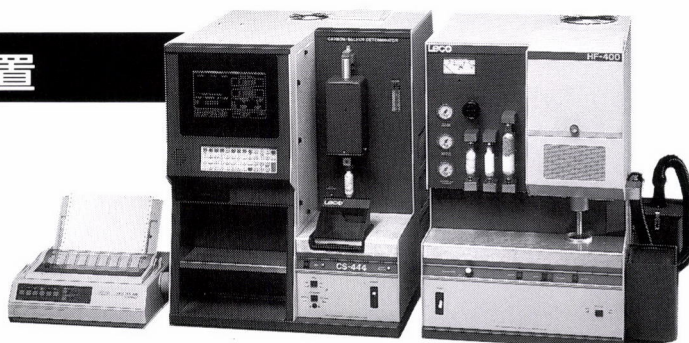
オートローダー, ルツボ空焼器

姉妹機

CS-244 C・S分析 EC-12 C分析

IR-412 C・O分析 IR-432 S分析

WR-112 C分析 IR-232 S分析



RH-404

水素分析装置

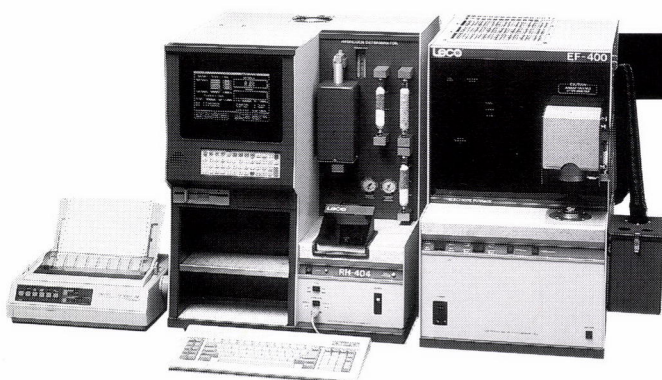
(鉄鋼, 銅, チタン等)

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

姉妹機

RH-402 水素分析

DH-103 水素分析



常設展示中 分析方法その他
御相談承ります。



日本総代理店

LECO CORPORATION
U.S.A.

日本アナリット株式会社



ISO-9002

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

<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