

ふえらむ

Vol.2 No.11 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>

中型自動切断機 ユニットム

Unitom



(特 徴)

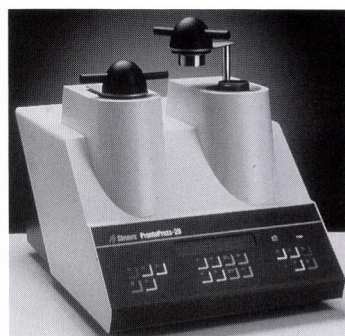
- マイクロプロセッサで制御される切断パラメータ。
- 予定されている定常な送り速度。
- マイクロプロセッサに支援された切断パラメータの拡張。
- 加圧力限界の調整による試料の保護。
- 切断ホイールが試料を通過し終えた時の自動停止。
- 近代的なデザイン。
- 耐蝕性のある切断室。
- 最高の安全性。

ユニットム

最新のプロセス制御で非常に効果的な高機能と強力な切断力を備えた自動切断機。

自動二連式埋込プレス プロントプレス-20

ProntoPress-20



(特 徴)

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

プロントプレス-20

2基のシリンダを装備し、同期運転により高い処理能力を実現した埋込プレス。

卓上型高性能自動研磨装置 ロトシステム300

ロトポール-31 ロトフォース-3 マルチドーザ ロトコム

RotoSystem300

RotoPol-31 Multidoser

RotoForce-3 RotoCom



ロトポール-31

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

ロトフォース-3

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

マルチドーザ

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

(特 徴)

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

ロトコム

100件の研磨条件が保存可能で、システム上の研磨工程を管理する制御装置。

掲載された各装置は弊社西川口の実験室でご覧になれます。



丸本ストルアス株式会社

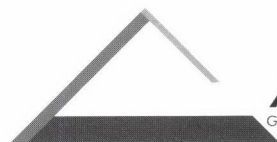
本 社 〒104 東京都中央区築地二丁目12番10号
TEL(03)3546-8051 FAX(03)3546-7980
大阪営業所 〒550 大阪市西区北堀江一丁目6番5号
TEL(06)532-2661 FAX(06)532-1977
名古屋営業所 〒464 名古屋市千種区内山三丁目17番4号
TEL(052)732-1862 FAX(052)732-2392

平成9年8月1日より社名が変わりました(旧社名 丸本工業株式会社)

15-0217

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

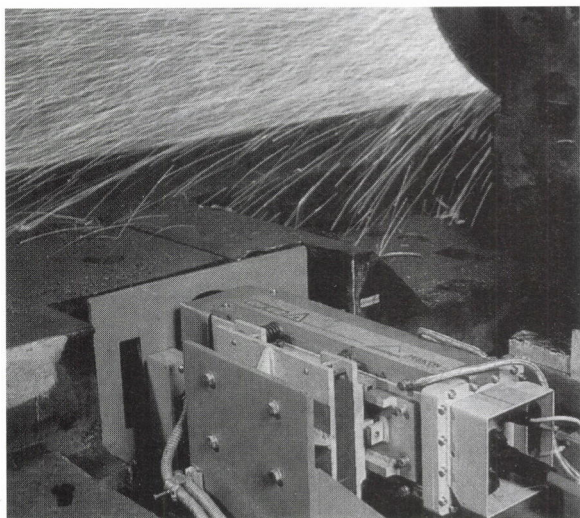
ドイツ/メザコン社 高精度レーザー測定器



MESACON
GESELLSCHAFT FÜR MESSTECHNIK MBH

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

☆レーザー長さ計、速度計 LV503型



主仕様例

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

☆オンラインレーザー形状測定装置 Mesameter P型

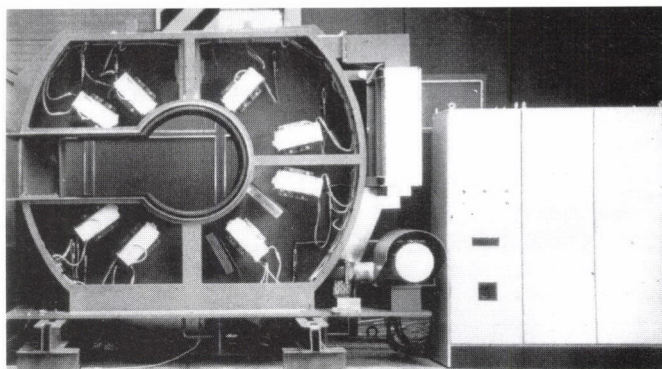
主仕様例 右図装置の場合

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

応用例：型鋼寸法測定

棒鋼寸法測定

スラブ寸法測定(オフライン)



MESAMETER P

(ドイツPreussag社納入のH鋼形状測定装置)

これからも世界の先進技術をご紹介します。

日本総代理店

株式会社 **マツボー** プラント2部

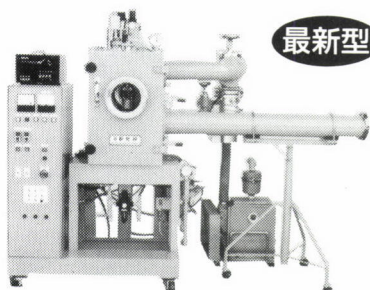
〒105 東京都港区虎ノ門3丁目8番21号
TEL.03-5472-1746 FAX.03-5472-1740

国内メンテサービス

株式会社 **タウ技研**

〒224 神奈川県横浜市都筑区佐江戸町181番地
TEL.045-935-0721 FAX.045-935-0731

液体急凝固装置
NEV-A05型
非晶質金属作製機構
金属ガラス作製機構

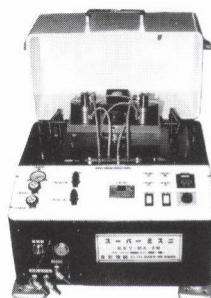


最新型

超小型
高性能
超低価格

- 特徴 ①高周波電源、真空室、制御盤、全て自社設計製作の為総合技術力を持っている。
②ロール回転駆動は当社の特許によるマグネットカップリング方式で高真空を保てます。
③ロール回転振れは10 μ m以内で高精度、ノズルチャック部はノズルの交換が容易
④ロールとノズルのギャップ調整精度0.05mm

メカニカルアロイング装置スーパーミスニ
NEV-MA8型



やってみたい!!

容器の加熱
容器の超冷却
容器のガスフロー

- 特徴 ①真空又は、雰囲気中でボールミルが出来ます。
②容器を水冷しながらボールミルが出来ます。
③各種ガス雰囲気中でボールミルが出来ます。
④床振動が少ないため非常に静かです。
⑤条件設定時に容器の中が目視出来ます。

■オプション 容器の加熱 MAX 300°C 可
容器超冷却(液体窒素)
ガスフロー機構

高周波誘導加熱電源

超小型

(トランジスタ・MOS方式)

高効率

写真は
出力50kW



■特徴

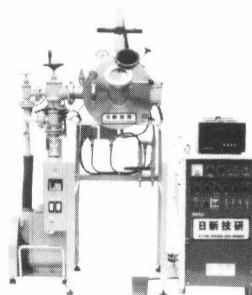
- ①コンパクト・軽量
出力50kWで机より小さく2人で乗用車に積みこめます。
②高効率
マッチングボックスを加熱部の直近に設置し、負荷に応じた高効率の運転ができます。
③保護回路
素子の保護には、直列共振回路を採用し、逆変換側で行う為、放電や異常時に高速で確実に保護する事ができます。

超小型真空アーク溶解装置

超小型

NEV-AD03型

超安値



手軽な母合金

小型…高性能

小型…設置小さい

- 特徴 ①非常に小型で操作性が良い。
②電極は球面軸で非常に軽い。
③正面扉開閉の為作業性が良い。
④水冷ハースはセットしたまま清掃できます。
⑤試料は雰囲気のまま反転できる。(特許)
⑥アーク位置決め機構。(特許)

営業品目

1. 酸化物単結晶引上装置
2. 磁性薄膜作製装置
3. TSSG炉
4. Sic結晶成長炉
5. SicCVD装置
6. FZ装置
7. ゾーンメルト装置
8. 真空アーク溶解装置
9. トリアーク式単結晶引上炉
10. 高圧LCE炉
11. 各種焼成炉
12. 高周波発振機(3kW~200kW)
13. 非晶質作製装置
14. 急冷粉末作製装置
15. 真空ホットプレス装置
16. 真空連続铸造装置
17. 急冷薄片製造装置
18. ガスアトマイズ装置
19. 水アトマイズ装置
20. 液中紡糸装置
21. ウラン精製装置
22. メカニカルアロイング装置
23. 高速精密铸造装置

▶新工場落成移転のため
右記の住所、電話番号
に変わりました。

技 日新技研株式会社

〒358 埼玉県入間市狭山ヶ原碑の前384
TEL. 0429(35)1411 FAX. 0429(35)1390

ふえらむ

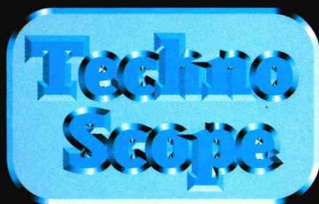
Vol.2 (1997) No.11

C O N T E N T S

目 次

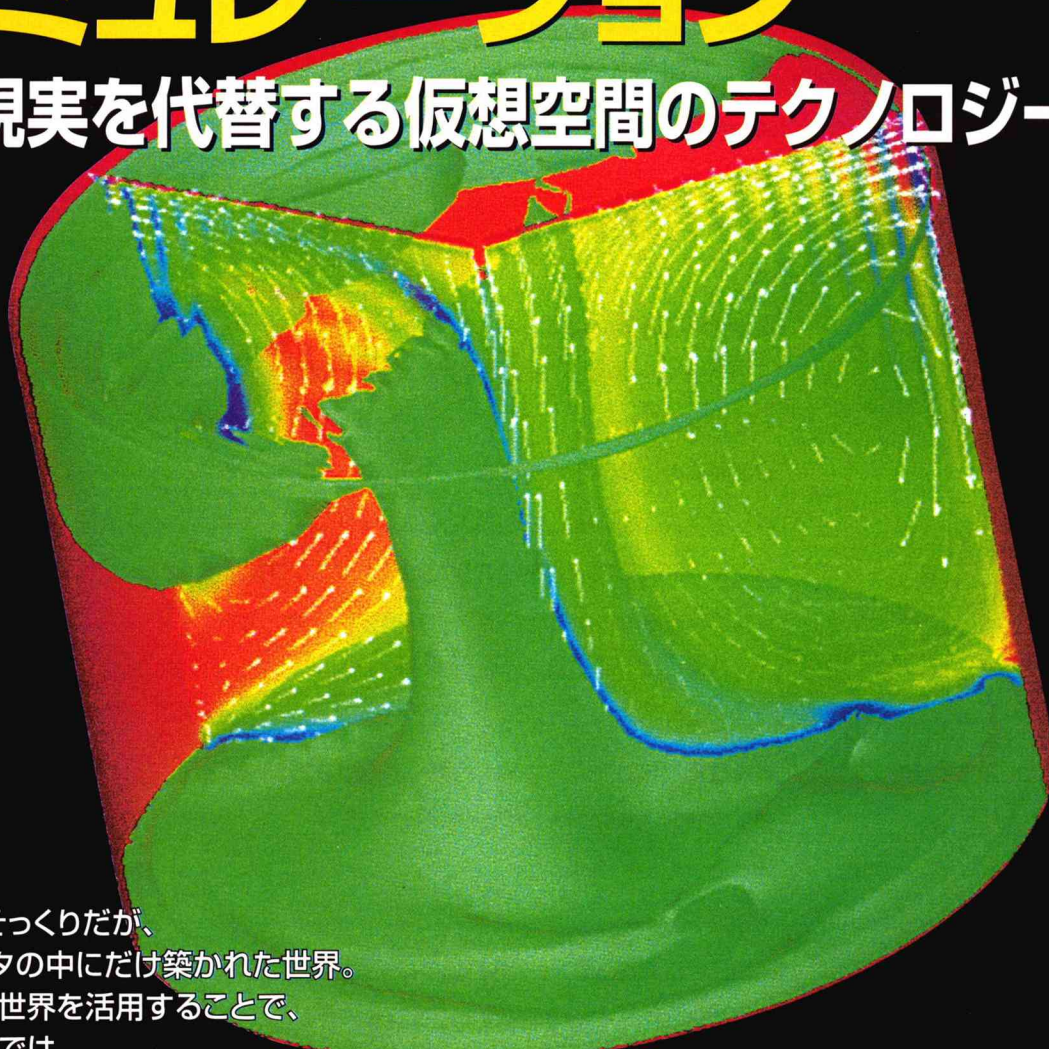
Techno Scope	科学・技術に貢献するシミュレーション	2
話題のプロジェクト	核融合	10
鉄の絶景	極寒の中に聳える鉄 ～北海道～	14
展 望	次世代街区構想 — SI21 — — 安全で安心して暮らせる環境調和型長寿命住空間の提案 — 調査検討部会会長（通商産業省） 林明夫	17
	研究開発の生産性と人材育成 前日本電気(株)顧問 植之原道行	24
	諮問第14号「物質・材料系科学技術に関する研究開発基本計画について」 に対する答申の科学技術会議フォローアップ結果について 科学技術庁研究開発局総合研究課材料開発推進室長 石井利和	29
鉄の歴史	戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 日本の鉄鋼生産における計測・制御の進展 元計測部会長 野坂康雄	36
解 説	熱間圧延におけるエンドレス圧延の誕生 川崎製鉄（株）千葉製鉄所熱間圧延部熱延技術室主査 二階堂英幸 制御技術部制御技術室主査 市井康雄	48
本会情報		54

ホームページ <http://www.isij.or.jp>



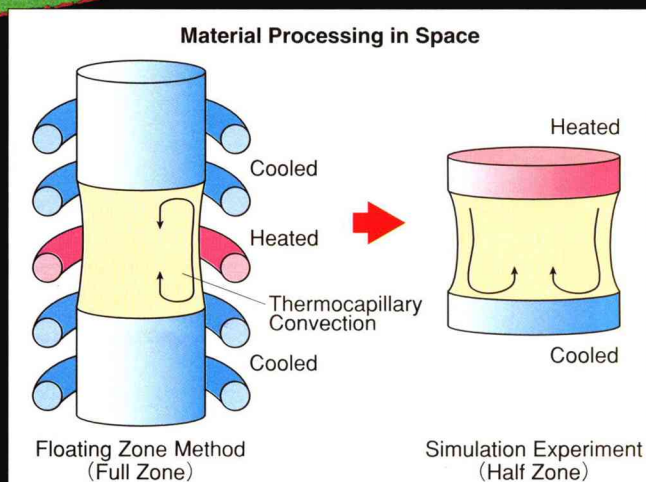
科学・技術に貢献する シミュレーション

——現実を代替する仮想空間のテクノロジー——



「現実」にそっくりだが、
コンピュータの中にだけ築かれた世界。
そんな仮想世界を活用することで、
科学の分野では、
い今まで見えなかったものに光があたり、
産業技術の分野では、
より合理的な製造技術が可能になる。
活用のしかたによっては、
科学・技術の新しい地平を
切り開いていくほどの可能性を秘めているのが
仮想現実—コンピュータ・シミュレーション技術である。
今回はその先進的な応用技術の例を、
いくつかの切り口からとりあげてみる。

写真：宇宙空間で金属を溶解した際に液柱の中で生じるマランゴニ対流の等温面
と流速ベクトルをシミュレートした映像。



シミュレーションが科学に 新たな地平を拓く

理論科学と実験科学に次ぐ第3の方法論—計算科学の驚異

あまりに特殊な環境での実験、あまりに複雑すぎる対象をあつかう実験、あまりにマクロな、あるいはあまりにミクロな……これまでは不可能だと考えられてきた現象をあつかう有力なノウハウとして、コンピュータ上での仮想空間に物理特性を再現して実験を行い、シミュレーション映像を通じて観察を行うという方法論がコンピュータの目覚ましい発達にともなって可能になってきた。こうした「計算科学」といわれる新たな分野での先端の研究例を通じ、シミュレーション技術の可能性を探ってみる。

実現困難な実験環境を仮想空間に構築

最近「バーチャルリアリティ」という言葉を頻繁に耳にするようになった。コンピュータを中心に、大型映像や3D映像、シミュレーターと呼ばれる体感装置など、いくつかのテクノロジーを組み合わせることによって現実には存在しない仮想の世界を体験可能にしようというものである。

ゲームセンターにひしめく航空機、列車、レーシングカーのシミュレーション・ゲームやアミューズメント施設の仮想空間を体験するアトラクション、さらにはコンピュータネットワーク上にある仮想の店舗や銀行など、いまやさまざまな形で「バーチャル」な文化が浸透してきている。

この「バーチャル・リアリティ」の発想や方法論が、実は科学や技術の分野での研究に画期的な手段をもたらそうとしている。これまでの科学の方法論は、「理論科学」と「実験科学」という2つの大きな柱によって成り立ってきた。コンピュータの膨大な計算処理能力は、いまこの2つの方法論を融合あるいは止揚するかのような「計算科学」という手段を科学にもたらそうとしている。

首都圏のある私立大学では、文部省の「私立大学ハイテクリサーチセンター」のひとつに選定されたのを機に、計算科学フロンティア研究センターとして高度なコンピュータ・シミュレーション・システムの設備を充実させ、「計算科学」のノウハウ確立に力を注いでいる。文部省との連携によって進められているこのプロジェクト、正式名称を「高速計算機仮想空間内実験プラットフォームの構築と先端計算科学の開拓」といい、これまでは困難であると考えられていたさまざまな実験環境をコンピュータによる仮想空間の中に構築するためのノウハウ開発をめざしている。それにより、これまでは「人の目」には見えなかったさまざまな現象を観察可能にしようというものだ。いわばシミュレーションによって、実験に代わる観察結果を得

ようという発想で生まれた、コンピュータの中に存在する「バーチャル」な実験室なのである。ちなみに現実には困難だが、仮想空間で可能になる実験とは、どんなものなのだろうか。これについては具体例を見ていくほうが理解が早いだろう。

たとえば無重力空間での溶けた金属（溶湯）の挙動を見たという場合。無重力（現実には微小重力）状態を地上でつくりだすのはとても困難である。重力の働く地上では溶けた金属は熱による比重の違いにより対流を起こすことが分かっているが、重力がほとんど働かない宇宙では、浮力に起因する熱対流は起こらないものの、表面張力によって流れが起こることは避けがたい（マランゴニ対流）。表面張力は温度によって変化するため、温度差が大きい場所ではカオスといえる不規則性の流れが生じる。宇宙では地上とは大きく異なった流れが生じるのである。この動きを数学的に把握するにはあまりに複雑すぎ、実験と観察を経ずに解答を得ることは困難だ。

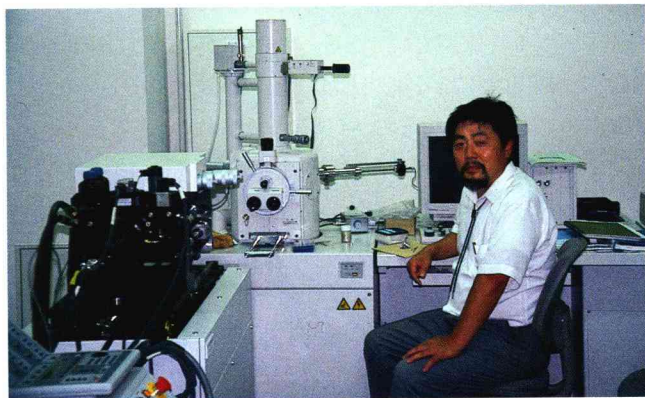
現在、微小重力状態を得るには、落下塔、航空機、実験ロケットなどによる自由落下を利用する方法があるが、それぞれ10秒、20秒、6分というように、ごく限られた短時間の微小重力状態を得るのがせいぜいである。しかもそれにかかるコストはきわめて大きく、時にはリスクも大きい。繰り返しの実験や長期にわたる実験を気軽に行うことはできない。もし微小重力下での仮想空間をコンピュータ上に再現し、そこで納得がいくまで実験が行えれば、現実の実験にはいたらないまでも、得られるものは決して小さくない。

宇宙空間で金属材料を製造することによって、地上では不可能な高機能金属をつくりだすことができるかもしれないという話題は、本誌Vol.1 No.12（IRON & STEEL）でも紹介したが、溶湯の挙動は、地上と宇宙とは大きく異なり、その実態をつかんでおくことが「夢の金属」を実現するうえでも重要になる。

計算科学フロンティア研究センターでの研究例の中には「仮



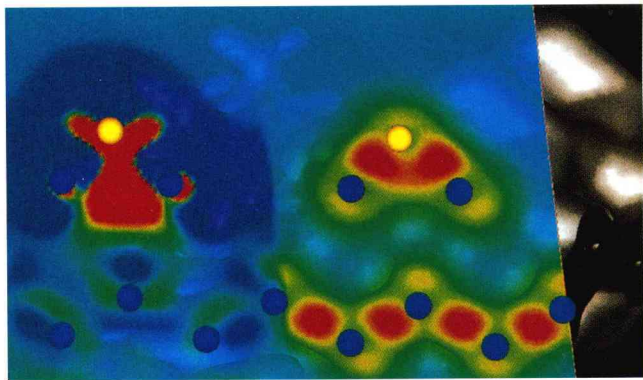
仮想空間表示室の内部。
3D眼鏡によって画像を立
体として観察できる。



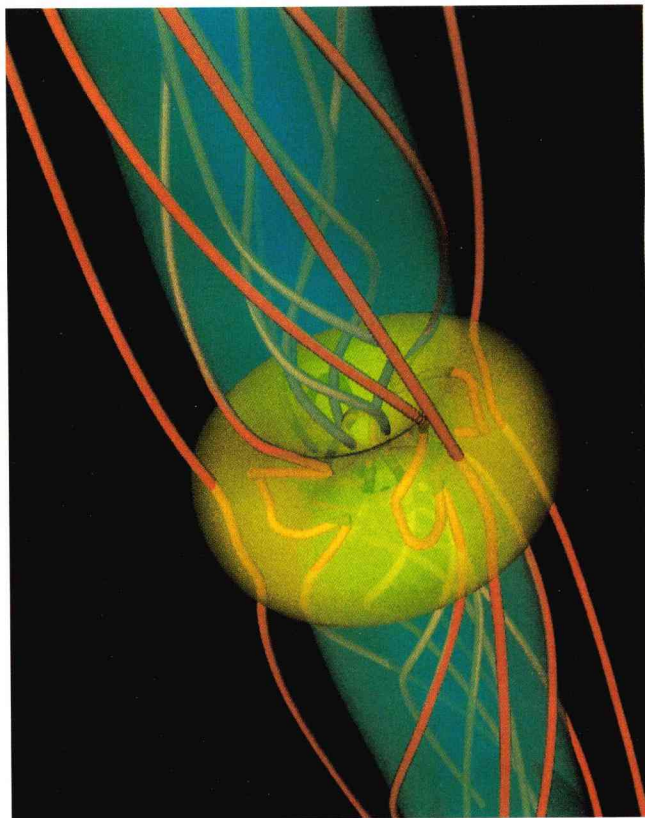
仮想空間表示室と連携して機能する実空間実験室に装備された3次元画像処理機
能つき走査型電子顕微鏡。

想実験室」に宇宙空間と同様の疑似空間をつくりだし、空間に浮かせた状態で溶解した金属液柱中での溶湯の挙動をシミュレーションで視覚化するという仮想実験によって、宇宙空間材料を研究しようというものがある。宇宙空間材料の研究は将来、日本も参加が決定している国際宇宙ステーションでも実験が予定されているが、そこへ行き着くまでのステップとしても、現状のシミュレーションを使った実験は不可欠なものであるという（扉ページのコンピュータ・グラフィックは液柱を半分に切った中での流れ方をシミュレートしたもの）。

計算科学フロンティア科学センター内の仮想空間表示室には、こうした仮想実験によるシミュレーション画像を3次元画像として見ることのできる設備が用意されている。市販のシステムではあるが、二重に映したCG画像を左右異なる液晶シャッター付きの眼鏡で見ることにより左右の視差をつくりだし、平面ではなく立体として観察することができるものである。計算結果をリアルな画像として観察することで、数字を眺めているだけでは気づかないことを、視覚を通じて発見することができるという。



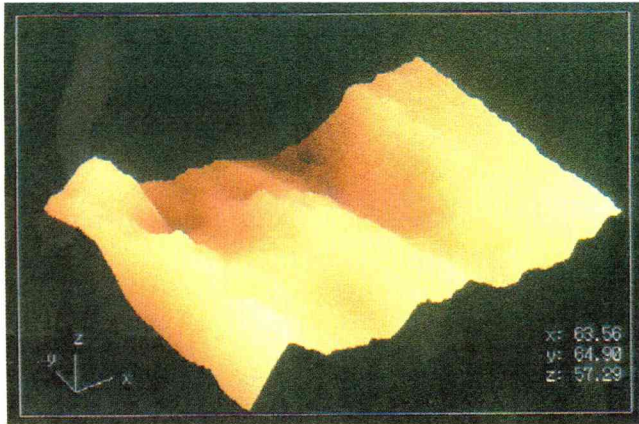
量子力学を基礎にして、コンピュータ上に原子スケール構造をつくりだし、原子核や電子の動きを視覚化。原子スケール物質の構造、電子やイオンの状態、拡散、振動などの様子を目で観察することができるようにした映像で量子系計算科学部門の研究テーマのひとつ。そのほか中性子を出さない核融合や金属・合金の電析機構に影響をおよぼす液体構造解明などの研究が行われている。



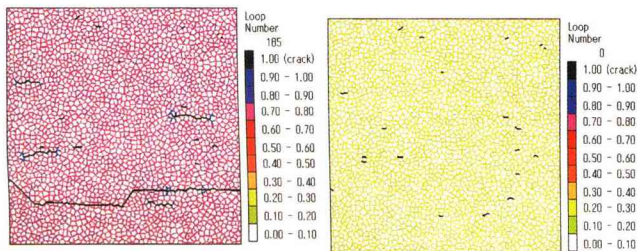
ブラックホールの電磁流体シミュレーション。実験が不可能な巨大な宇宙現象もシミュレーションで検証ができる。他には木星のオーロラ現象などが研究対象としてあがっている。

仮想実験を3次元画像で観察

センターには仮想空間表示室とならんで「実空間実験室」という部屋もある。ここには日本に数台という3次元画像処理機能付きの走査型電子顕微鏡が設置されている。電子線を当てて3次元画像情報を得ることのできる電子顕微鏡だが、この装置は仮想実験室を組み合わせた材料破壊の研究に使用される。たとえば金属材料に力をあたえて金属疲労試験をしながら、破断する瞬間をこの電子顕微鏡でとらえ、そのデータを仮想空



破壊断面の3次元シミュレーション画像。実際にはアニメーションで経時的に破壊の様子を観察できる。

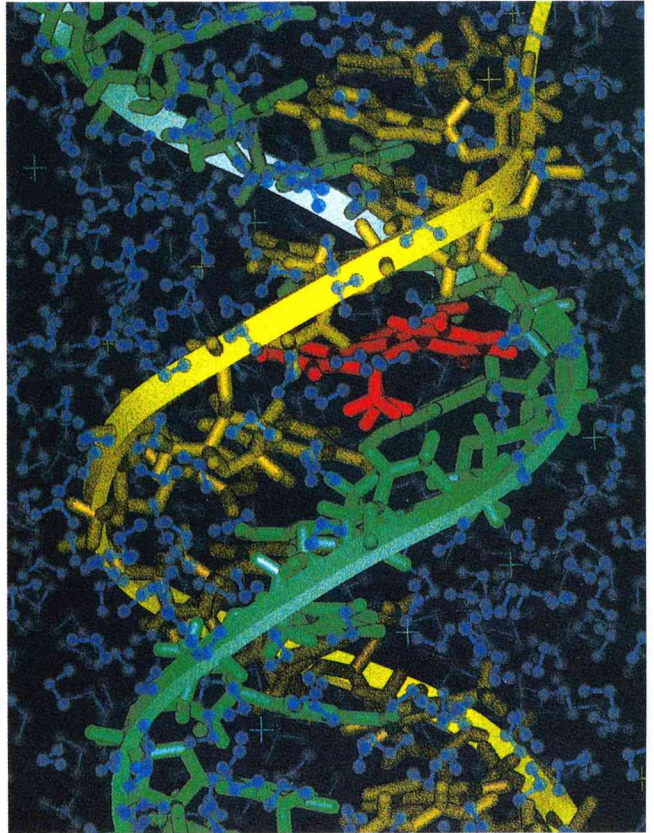


結晶粒界に亀裂が入る疲労過程のシミュレーション。初期には複数の亀裂がばらばらに発生し、そのうちのあるものだけが成長し破壊に至る過程が観察できる。

間実験室で映像化する。材料の破断は、たとえば外部から見て片側から反対側へと亀裂が走ってふたつに割れるように見える場合でも、破断面が片側から反対側へ連続して成長するといった単純な動きでは決してとらえきれない。周囲にはつながった部分を残しながら、中央部分が破断して穴（ボイド）となり、それがいくつかつながり合って破断面が成長するといった複雑な動きである場合が多いのである。こうした破壊の挙動も、3次元アニメーションとして表示すれば、きわめて観察が容易になる。

科学の「影の部分」を解決する計算科学

金属疲労による破壊のメカニズムを明らかにすることは、たとえば原子力発電所の圧力容器や、航空機などの破壊事故を防いだり、あるいは疲労の起こりにくい材料を考えたりするうえで重要な意味をもっている。近年ではコンピュータのチップを留めているハンダが通電の繰り返しによる熱応力で疲労を起こすことが伝えられている。もしわれわれの生命にかかわるような制御システムのハンダが熱疲労でブツリと断線するようなことがあったら……。巨大テクノロジーを使いこなしていく時代の危機管理のためにも、破壊のメカニズムを研究する必要性がそこにある。また複合材料などでは、異粒子が偏って多くなっている部分から破壊が起こることが分かっているが、その力学的なメカニズムを解明するのにも3次元アニメーションは有効だと考えられる。研究が進めば、より高度な構造を持った複合



遺伝子や蛋白質などの複雑な生態分子を分子動力学をもとに再現し、3次元映像としたもの。生命の謎を解明するために有効なアプローチとなる。

材料の誕生も夢ではなくなるかもしれない。

「20世紀は科学の時代」といわれたように、科学の輝かしい成果が次々と実を結んできた。それはいわば光の部分だが、予想もしなかった影の部分もずいぶんと生まれた。この影の部分に対処していくには、とてつもなく複雑でからみあった要素を正確に緻密に解いていかなくてはならない。このセンターに代表されるような高度なシミュレーション技術は、こうした「あまりにも複雑にからみあった問題」を解決するための有効なノウハウといえるだろう。資源渇渴、環境問題、南北問題などといった現代科学の「影」の部分は、まさに機械的な合理主義では解決のつかない、あまりにも複雑にからみあった相関関係を分析しなくてはならない命題である。

仮想空間実験室は、こうした既存の科学のノウハウだけではとらえきれなかった「何か」をつかむことを可能にするものなのだろうか。

「計算科学」は「理論科学」と「実験科学」に次ぐ第3の科学であるといわれる。デカルトとベーコンによって導かれた現代科学の2つの源流が融合しあって、いま新たな地平が拓かれようとしているということなのだろうか。仮想空間実験室に代表されるシミュレーションの技術がこれまで手の届かなかった領域に科学の光を当ててくれることに期待したい。

【取材協力・写真提供：東京理科大学・計算科学フロンティアセンター】

シミュレーション化によってコスト削減

——巨大構造物の仮組みをコンピュータ内で実現

前段では、現実には再現が難しい条件を仮想空間に構築する研究の最前線での例をご紹介したが、シミュレーションの技術は、製造業の現場でも、実作業の代替をすることでコストやリスクを低減するために役立っている。ここでご紹介するような巨大な構造物の仮想模型をコンピュータ中に構築し、実作業の代わりとするシステムは、いわばその代表例といえるだろう。



鋼製橋梁の工場での仮組み省略が可能に

鋼製の橋を建設する場合には、製作工場で部材単位に工作した後、現地でのトラブル防止や、製作寸法精度、部材相互の取り付け状態を確認するため、工場で仮組みを行って、間違いなくできあがっていることを確認しておかねばならない。仮組みをしてみても誤差が大きければ即座に修正作業が行われるというわけだ。

仮組みとはいえ、巨大な橋梁の鋼製部材を組み立てるには、広い仮組み場所と大きなクレーンなどの設備が不可欠であり、人員、時間なども当然必要になる。したがって、もし仮組み作業を省略できれば、コスト削減にはおおいに効果的ということになる。この仮組み省略のための新たなノウハウとして近年、コンピュータ・シミュレーションを用いる方法が採用され始めている。

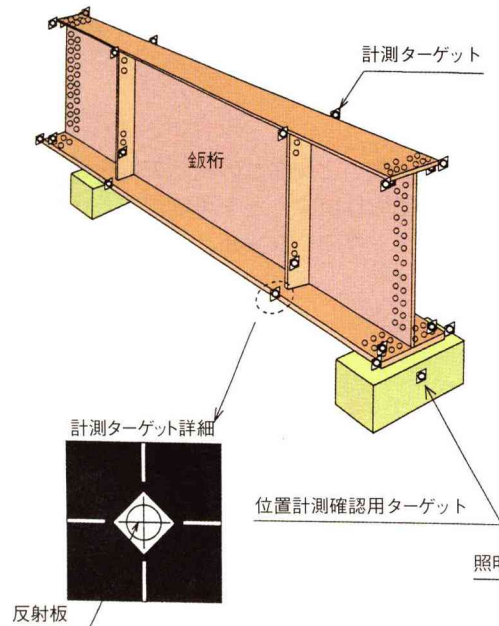
大手橋梁メーカー数社では、3次元計測システムによって橋梁部材を自動計測し、そのデータを用いて組み立て時のシミュレーションを行うことのできるシステムを開発、自社工場内で配備し、一部では外部に対しても販売を開始している。

この種の橋梁仮組みシミュレーションの特徴は、膨大な測定データを整理して、調整が必要な部分の加工指示書とNC

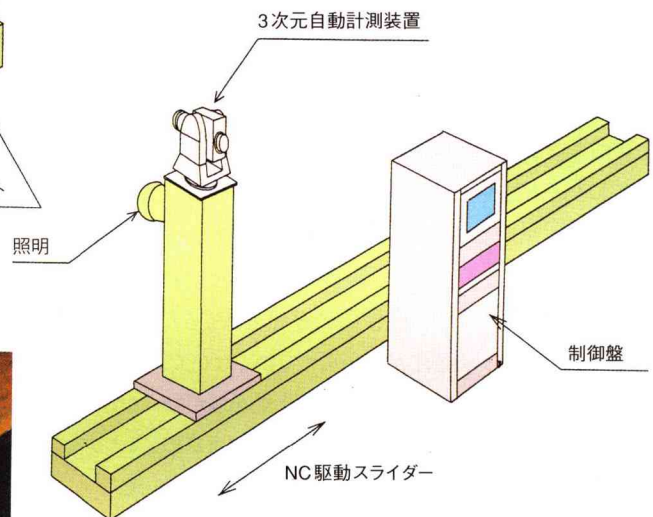
加工データも作成してくれるというもので、結果をワイヤーフレームによる画像表示と数種の成績書として表示してくれる。橋梁メーカーの工場では鋼材メーカーから搬入されてくる鋼材をNCデータによる生産ラインを用いて切断・溶接・加工し、橋梁部材として仕上げるが、そうしてできあがった部材を、図のようなCCDカメラを搭載した3次元計測機を使って計測し、そのデータを用いて仮組みシミュレーションを行っている。

あるメーカーの例では、計測はシステムに対象物のNCデータを読み込ませておけば、あとはコンピュータ上の対話式画面にしたがって操作することで、カメラが駆動テーブルの上を移動して各寸法（高力ボルトによる取り付け穴も含めて）を測定してくれるようになっている。この作業によって対象物が3次元的にどんな広がり（座標）を持っているのかを、システム上に読み込む。部材には計測ターゲットと呼ばれる射的的のようなものが取り付けられる。このターゲットをカメラがキャッチする。従来、こうした部材の測定は人が3脚で立てた測定機を移動させながら目視で行っていたが、この装置では、すべてが自動化されている。

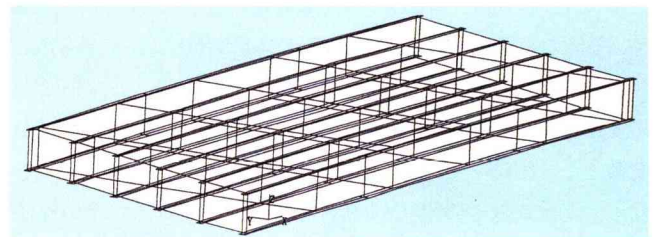
こうした作業を部材ごとに行い、最後にデータを合成して橋全体でしっかりと組み上がることをシミュレートしていくのである。橋全体では測定ポイントはきわめて多くなり、大量のデー



3次元自動計測装置による計測の様子



3次元自動計測装置による計測の様子



ワイヤーフレーム画像の例

タが一覧表になって出力されるが、誤差が許容範囲にあるかどうか（適合・不適合）は一覧表によってきわめてスピーディに確認でき、そのデータは現場での作業にも流用される。シミュレーションのやり方は、添接板のボルト孔を一連の製作工程の中で先にあける場合と、シミュレーションの結果にもとづき後であける場合があり、システム上いずれかを選択するようになっている。シミュレーションは、橋軸方向、橋幅方向、全体合成という順番で行われ、各部材の傾きや、あらかじめ与えてあるそりなどが適正に出ているかどうかを診断してくれる。

将来は橋梁以外的大型鋼製構造物にも

シミュレーションでの仮組みが実現することになった背景には、CAD/CAMが普及したことによって、部材の製作過程が

NC（数値制御）化され、精度が向上したということがあるという。設計段階から加工の工程まで大半がコンピュータ制御によって行われるようになったため、加工上の誤差が出にくくなってきているというわけだ。

橋梁メーカーでは、将来は同種のシミュレーションを大型建築物にも適用していくことを考えているという。同様に造船分野への適用も考えられるだろう。鋼製大型構造物の仮組みは、コンピュータ・シミュレーションによって行うことが近い将来には、ごく当たり前になる日が来るのかもしれない。

[取材協力・写真提供：川崎重工業(株)]

ブラック・ボックスだった鋼の凝固過程をシミュレーションによって画像表示

——金属の凝固現象シミュレーション

鋼の鑄造の際の凝固現象では、多数の要素が絡みあって成分の偏析や微小空洞などの内部欠陥を生み出す。この凝固過程をコンピュータでシミュレートし、ケースごとに画像データとして取り出すことを可能にするノウハウが実用化されようとしている。複雑で膨大な数量をいとも簡単に処理するコンピュータのパワーが、金属製造過程のブラック・ボックスに光を当てようとしている。

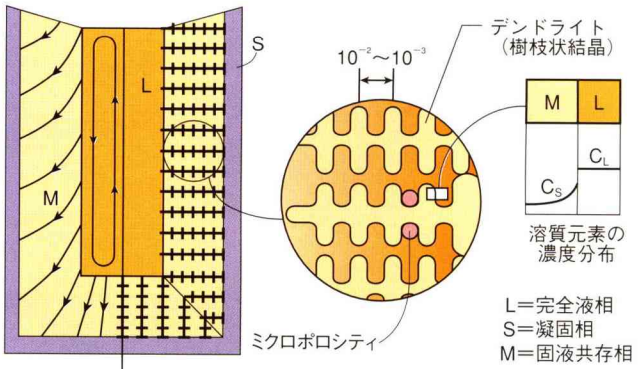
n+6個すべての変数を計算するシミュレーション

鑄造過程で、合金成分が偏って析出するマクロ偏析や、微小空洞（ミクロポロシティ）などの内部欠陥の生成は、連続鑄造や大型鑄造品製造の現場で問題にされてきたが、そのメカニズムは、関連してくる要素が複雑すぎることもあり、ほとんどブラックボックスのまま、簡便的に処理されてきた。

しかし鋼材に高度な機能性が求められていくなかで、合金設計からのズレや欠陥に対するより正確な情報をつかむノウハウはぜひとも必要なものだった。材料科学・工学関連のエンジニアリングシステムの研究開発を行う^{えびす}（株）エビスの戎嘉男社長（工学博士）らは、こうした潜在的ニーズに応えるものとして、コンピュータによって鑄造時の凝固過程をシミュレートできるシステムの開発に取組み商品化に成功した。

凝固過程の解析に関連してくる要素は、注ぎ込みや熱対流による流れ、固化過程で成長するデンドライト（樹枝状結晶）のすき間に生じる凝固収縮による流れ、そこで生じる液相圧力の変化や合金成分の濃縮など、多岐にわたる。これらすべてが変数として相関してくることで、しかも時間の経過にともなって固化が進む段階で刻一刻と状態は変化する。その様子を見るにはn+6個の変数（温度、液相温度、液相流速ベクトル3つ＝xyz方向、液相圧力＋炭素、ケイ素、リン…など溶質の数分の液相中溶質濃度）の連立方程式を解く必要があり、時間の経過ごとの解を短時間で取りだしビジュアル化する必要がある。

エビスのシミュレーション・システムは、凝固過程で相互に作用しあう（連成する）すべての変数を計算し、収束解を求めるもので、さらにその解をホストプロセッサと呼ばれる表示用プログラムによってビジュアル表示することができる。このプログラムを用いれば、流し込み後の任意の時間と場所での凝固や流れの状態、マクロ偏析、微小空洞（ミクロポロシティ）の状態、液相－固液共存相－固相のでき方など、鑄造時の凝固過程に起こってくる現象を、さまざまな角度から視覚的にシ



液相では熱対流によって流れが生じ、固液共存相では凝固収縮による流れが生じる（矢印）。固液共存相ではデンドライト（樹枝状結晶）を形成しつつ凝固収縮が進むが、枝のまたの部分に空隙ができやすくなる（ミクロポロシティ）。このメカニズムにのっとったよりリアルなシミュレーションを行うためには、下表に示すn+6個の方程式を解く必要がある。

物理変数		支配方程式
温度	T	エネルギー保存式
液相中の溶質濃度	CLn	溶質再分布式（溶質保存則）
液相温度	TL	温度と固相率の関係式 （非線形系多元合金モデルによる）
液相の流速ベクトル	VL	運動方程式（Darcyの式を含む）
液相の圧力	P	圧力式
変数の数	n+6個	式数n+6個

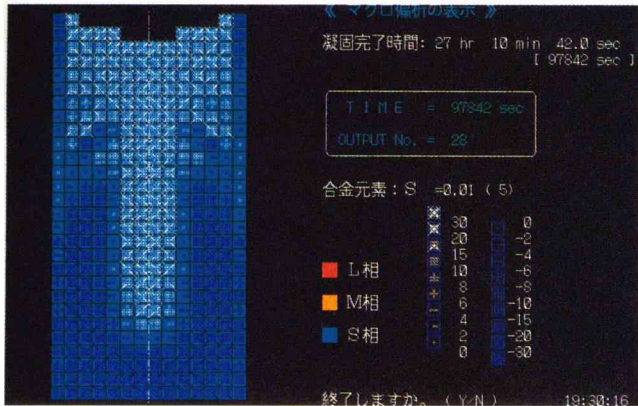
物理変数と支配方程式の関係（nは合金元素数）
鑄造時のシミュレーションはこのn+6個の連立方程式をコンピュータ上で解くことによって得られる。

ミュレートすることができる。

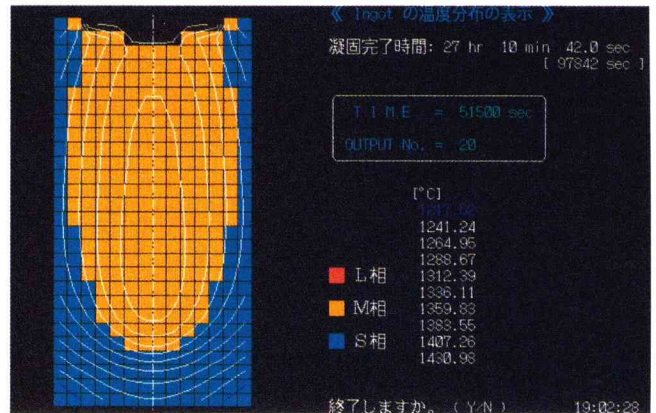
連続鑄造時の内部欠陥防止対策に貢献

たとえば、流し込みの型の形を設定し、そこに特定の成分をもった鋼を流し込んだ場合、各タイムステップごとに、流れ（流し込み・対流・凝固収縮によるもの）、凝固の進行状況、成分ごとの偏析状況……etc.をパソコン画面上で見ることができる。

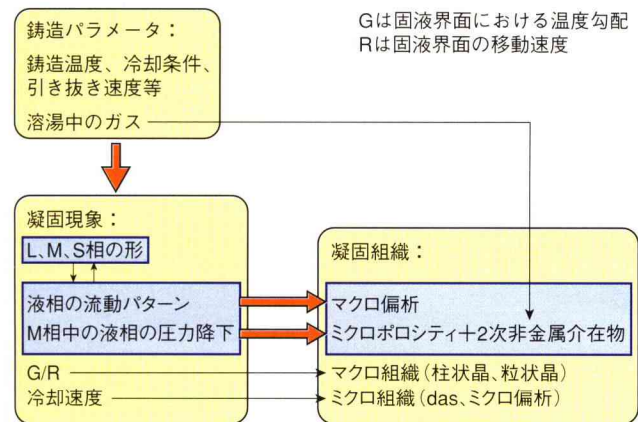
ケースごとに、入力情報を入れてやることで、これまでは温



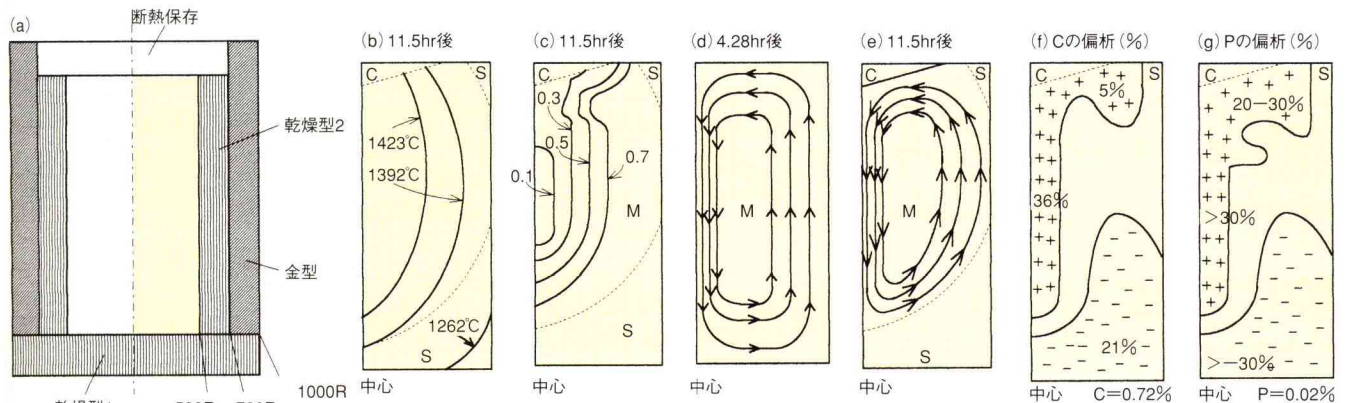
表示画面の一例／インゴットの温度分布



表示画面の一例／合金元素（ここでは硫黄）のマクロ偏析分布



凝固パラメータと凝固組織の関係



大型鋼塊（直径1m×高さ3m）の解析例

度や流れなどからごくおおまかに予測するしかなかった凝固過程を即座に画面表示して多角的に解析できるようになった。これまで実験的には見ることのできない凝固現象がシミュレーション情報として得られるようになったことは、マクロ偏析や内部欠陥の解決ノウハウの探求面でも役に立つという。戎氏は、このシミュレーションを用いて、連続鋳造時に発生するマイクロポロシティをとまなうV状偏析を解析し、その対策として電磁力を加えて欠陥を追放する方法を開発、国際特許を申請している。プラントに採用されれば、生産性も大幅に向上する

という。

「医者なら、病名が特定できれば治療法が分かります。むしろ正確な診断すなわち、発病のメカニズムを知ることこそが難しいでしょう。シミュレーションを用いれば、（凝固過程での）中のストーリーが分かります。原因が分かれば対策は立てられるものです」（戎氏）。

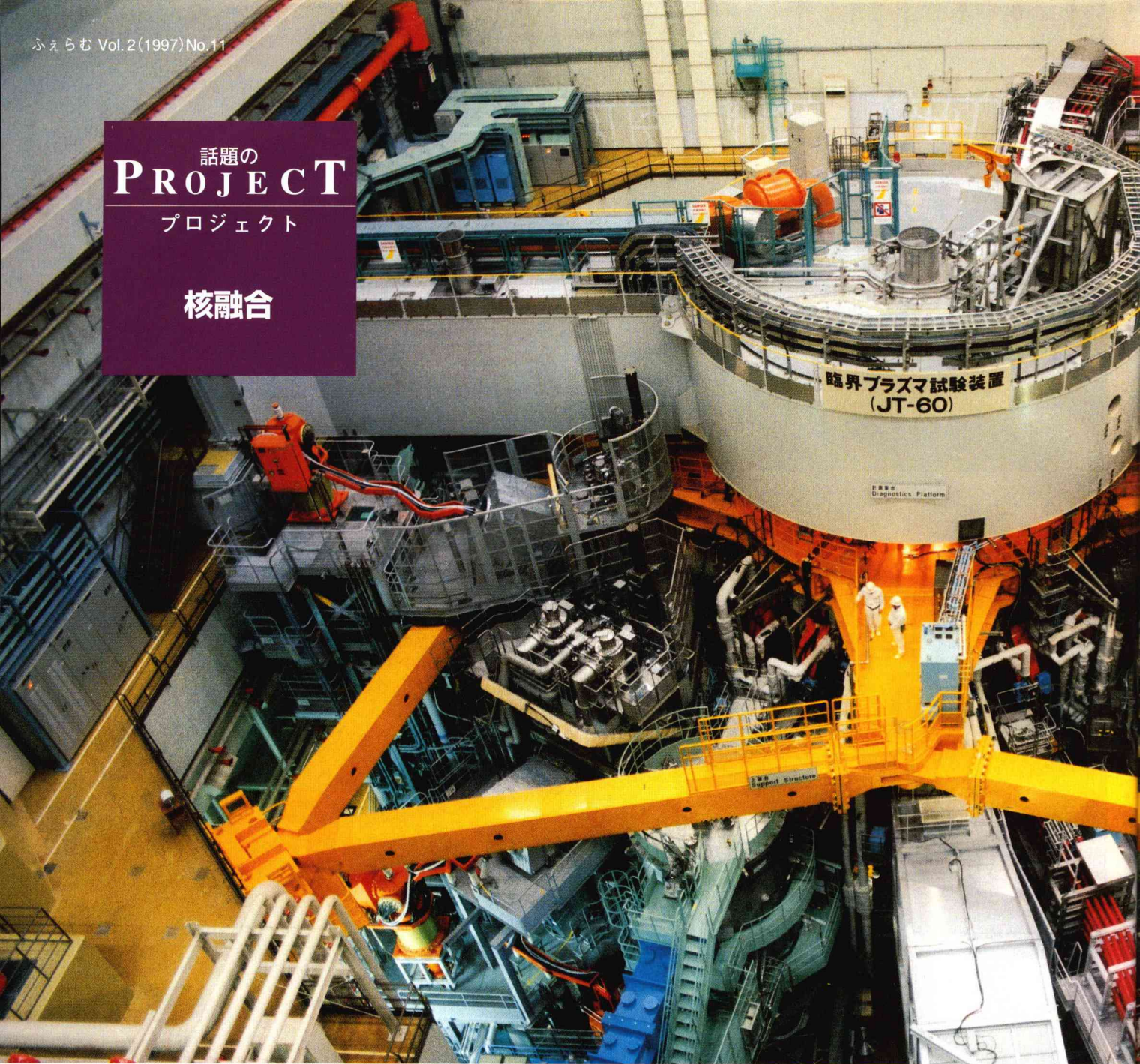
シミュレーションの技術は、より高度で機能的な鋼材の製造という場面でも、活躍している。

[株式会社エビス 神奈川県相模原市新磯野5-10-6 Tel 0462-53-5593 (代)]

話題の
PROJECT

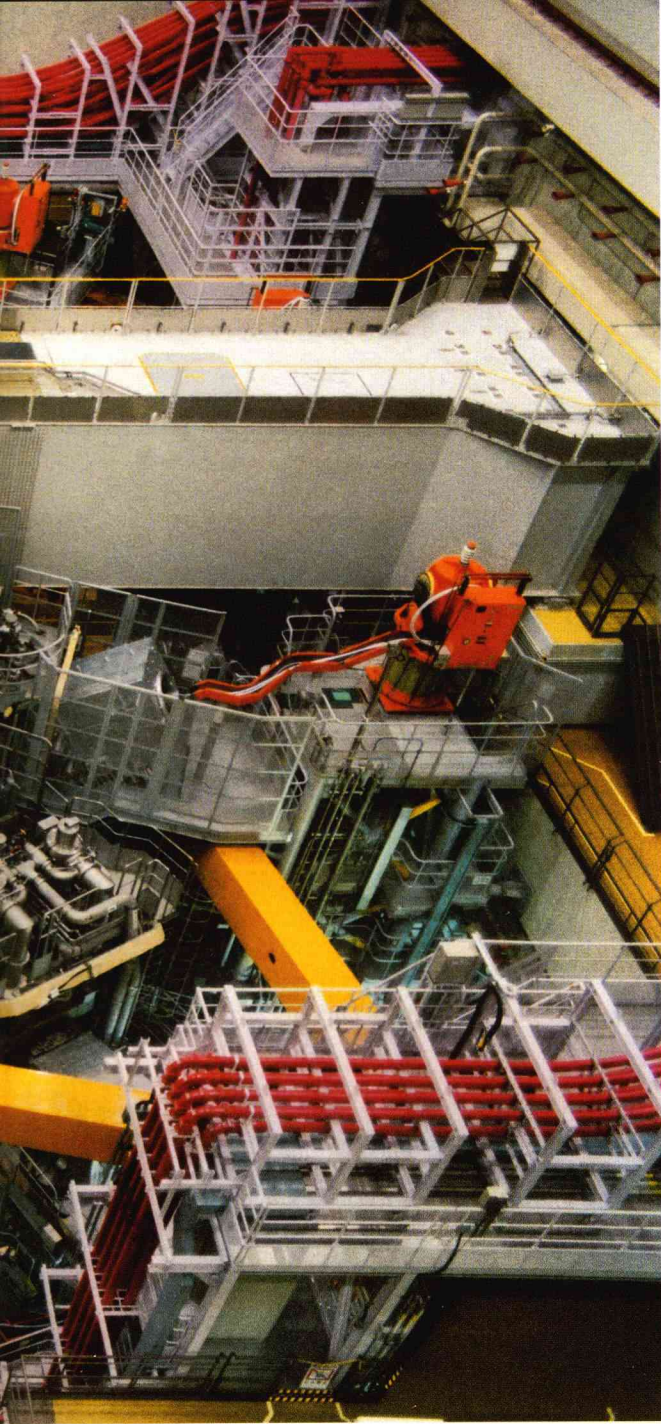
プロジェクト

核融合



究極のエネルギーと期待の高い核融合 実用化は次の世代になってから

1987年から始まった核融合炉開発の国際協力事業・ITER。
その設計が終盤にさしかかり、いよいよ実際の建設地を決定する時期が迫ってきた。
開発が進むにつれ、必要とする資金量が
どんどん膨らんでいくと指摘される核融合開発だが、
最先端の科学技術が蓄積されるという誘致国のメリットも捨てがたい。
基礎科学分野での貢献が少ないと、なにかと批判を受ける日本だが、
果たして誘致に名乗りをあげるのだろうか。



1985年に実験運転を開始した日本原子力研究所那珂研究所のJT-60。世界3大トカマクの一つとして、多くの知見を生み出している。1997年6月にはITERで使われる予定の新型ダイバータ(真空容器内のプラズマを純化する装置)の改造が終了した。

究極のエネルギー・核融合

1985年、ジュネーブで当時のレーガン米大統領、ゴルバチョフ・ソ連共産党書記長が会談し、核融合の国際共同開発を提唱した。これに応じて、世界中の主な核融合研究グループは1987年に協定を結び、「国際熱核融合実験炉」(international thermonuclear experimental reactor : ITER)計画がスタートした。

それから10年、ITERは1988～1990年の概念設計段階を終え、1992～1998年までの工学設計活動に入っている。協定では、米国、EU、ロシア(協定に調印したのはCIS：独立国家共同体)、および日本の4極が共同して研究にあたり、その成果をもとに2005年には実験炉を建設する予定だ。

核融合は、究極のエネルギーといわれる。1930年代後半、コーネル大学のベーテ(Hans A. Bethe)が星や太陽が輝くのは核融合反応によることを明らかにして以来、科学者たちは実験室内でこのプロセスを再現し、工業利用の可能性を探ってきた。

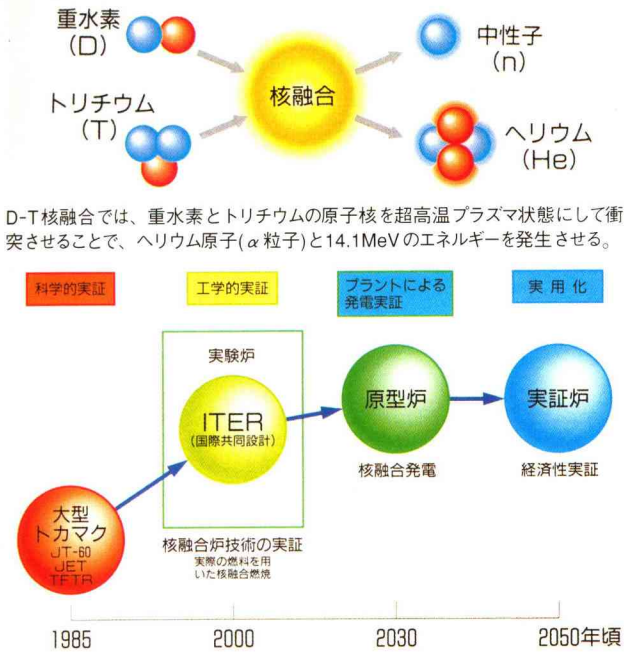
太陽は、強力な重力によって原子を圧縮し高密度化している。ある試算によると、こうした「重力閉じ込め核融合」を可能にするためには、およそ太陽の100万分の1の質量が必要になるという。しかし、地球上でこうした重力を作り出すことは不可能だ。そのため、さまざまな核融合反応実験が試みられてきた。

人為的に核融合反応を起こすには、水素の同位体が使われる。特に重水素(D : deuterium)と三重水素(T : tritium)の組み合わせは、比較的反応が起こりやすいことから関心が高い。重水素とトリチウムを使って核融合を起こす方法には、一方をガス化し、そこへもう一方をイオンビーム化して打ち込むビーム核融合、プラズマ化したD-Tを磁気によって閉じ込め、核反応を起こす条件を与える磁気核融合、固体化したD-T混合物に何本もの強力なレーザービームを照射して爆縮させる慣性核融合、電子の代わりに素粒子であるミューオンを用いて「ミューオン原子」をつくり、大きな運動エネルギーを与えなくてもD-T間のクーロン力を弱め核融合を起こすミューオン核融合などがある。このうち、現在もっとも有力なのが磁気核融合だ。

重水素とトリチウムを使って核融合を起こすには、D-T原子核間の衝突頻度を高め、高い相対速度を得る必要がある。このため、プラズマ化したD-T粒子群を少なくとも10keV(約1億度)以上の温度に保ち、プラズマ密度を高くする必要がある。しかし、プラズマを長時間、安定した状態に保つのは非常に困難だ。

主流はトカマク型核融合炉

磁気を使ってプラズマを閉じ込める方法も、いくつか考案さ



れてきた。しかし現在進められている核融合実験では、主にトカマク（Tokamak）方式と呼ばれる実験炉が使われている。トカマク方式とは、1950年代初頭、ソ連の物理学者サハロフ（Andrei D. Sakharov）とタム（Igor Y. Tamm）が提唱した方法。なかが空洞になったドーナツ状（torus：トーラスと呼ぶ）の真空容器にプラズマをつくり、縦方向にトロイダル磁場コイルを配置することで容器内にプラズマを閉じ込める。またトーラスと同方向に周回するポロイダル磁場コイルによって、プラズマ電流を発生させたり、プラズマ断面を安定させるなどの制御を行う。

現在、イギリス・アビンドンにあるカラム研究所のJET（Joint European Torus）、アメリカ・サンディエゴにあるプリンストン大学のTFTR（Tokamak Fusion Test Reactor）、茨城県那珂町にある日本原子力研究所那珂研究所のJT-60が世界3大トカマクと呼ばれている。これらの実験炉で蓄積されたデータやノウハウが、設計の最終段階にあるITERに生かされることになる。

核分裂炉では、核分裂によって発生する中性子が次の核分裂を誘発する反応の連鎖が成立している（臨界）。核融合においては、反応によって発生するエネルギーそのものが連鎖の媒介することになる。連鎖が始まり、自己増殖的に核融合反応が拡大しはじめる状態を自己点火と呼ぶ。核融合炉では、プラズマが自己点火状態に達するまでに膨大なエネルギーを投入する必要がある。

こうしたエネルギーは、プラズマ自身に大電流を流すことで発生するジュール加熱、DまたはTを中性粒子ビームに変換して高速でプラズマ内に打ち込むビーム加熱、高周波の電磁波をプラズマに入射する高周波加熱などの方法によって供給されている。

1993年、JETはD-T核融合反応によって1MW以上の出力を2秒間発生させることに成功した。1994年にはTFTRで

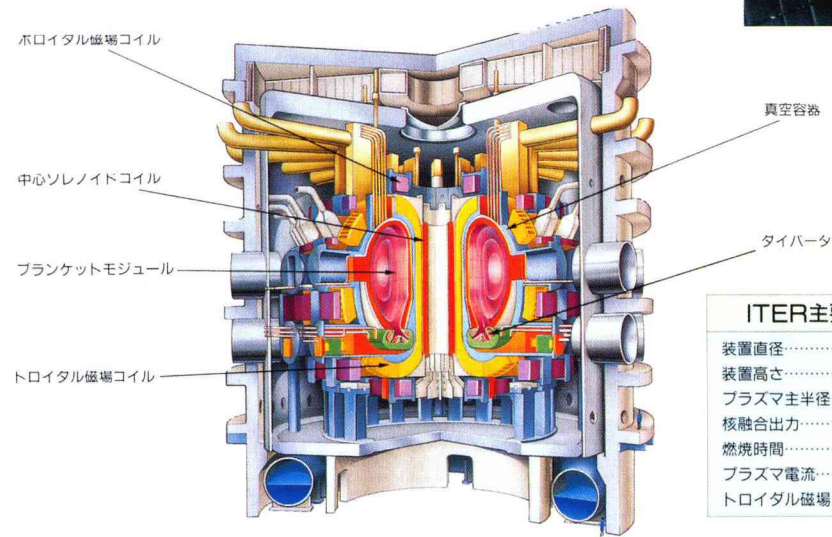
10MW以上の核融合出力を0.5秒間発生させることに成功。1996年にはJT-60が閉じ込め時間1秒、プラズマイオン温度1.7億度、プラズマ電子密度100兆個/cm³という世界最高水準のプラズマをつくることに成功している。実験の成果は、臨界プラズマ条件をすでに達成し、自己点火へと近づいてきているのだ。

実用化は30年後

実は、2005年からの運用が予定されているITERは、発電を目的とした核融合炉ではない。プラズマや核融合に関する基礎研究はかなりの程度進んできたが、核融合を安定して長時



1997年6月に改造が終了したJT-60の内部。全面に炭素繊維複合素材（カーボンファイバー）製のタイルが敷き詰められている。今回の改造は、D-T核融合反応によって生じるα粒子や壁面から発生する不純物、燃料全体のおよそ20％しか利用されないトリチウムの回収などを行うプラズマ純化装置（ダイバータ）の改良などが目的。



ITER主要諸元	
装置直径	約30m
装置高さ	約20m
プラズマ半径	8.1m
核融合出力	150万kW
燃焼時間	1000秒
プラズマ電流	2100万A
トロイダル磁場	5.7テスラ

1988～1990年にわたって行われたITER概念設計で、建設される核融合炉のおおよそが決定された。現在、第二段階である工学設計活動も終盤を迎えており、より細部にわたってための作業が行われている。特に超伝導コイルや、放射性物質であるトリチウムの取り扱い技術、プラズマ加熱技術、放射化した真空容器を補修・交換するための遠隔操作機器の開発などが主要な課題だ。

間反応させ続けることにはまだ成功していない。ITERは、プラントによる発電実証を行う原型炉の前段階、核融合炉をつくるために必要な技術を工学的に実証するための実験炉なのである。

ITERの設計目標値は、核融合出力150万kW、プラズマ燃焼時間1000秒を設定している。さらに発電能力を有する最終実験炉が実現するのは30年後という予想がある。核融合炉実現への道のりは、まだまだ遠いといわざるを得ない。ITERを4極が共同して行わなければならないほど、この技術はまだ確立されておらず、膨大な資金を必要とするのだ。

核融合炉実現に必要な工学的課題は、非常に多岐にわたっている。このため、トカマクに限らず世界中のあらゆる核融合が研究の成果が投入されることになる。これまでITERの設計開発に中心的な役割を果たしてきたのは、ドイツ・ガルヒンのマックスプランク・プラズマ物理研究所、米国カリフォルニア大学サンディエゴ校、日本原子力研究所那珂研究所だ。

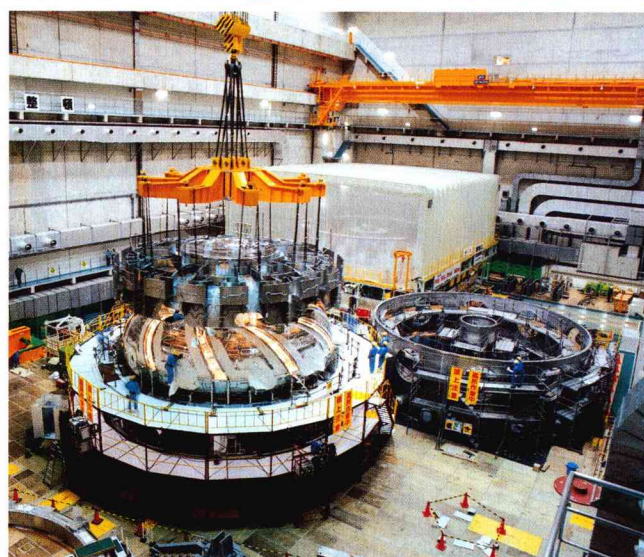
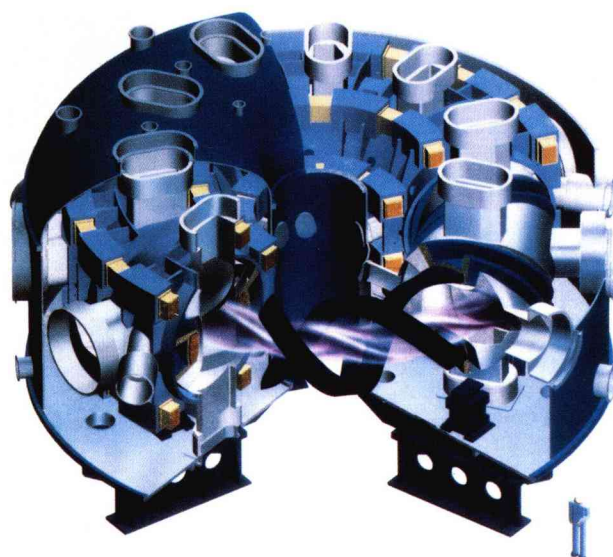
たとえば真空容器内のプラズマは、磁場の揺動や不純物の過剰な混入などにより、突然消滅する現象（disruption）が知られている。このため真空容器は大きなダメージを受け、塑性変形を起こす。また反応により発生した中性粒子が壁に当たって不純粒子を生んだり、放射化するという問題にも対処しなければならない。このため真空容器内壁は、スペースシャトルで使用されているような炭素繊維複合材のタイルが敷き詰められている。また、トロイダル磁場コイル、ポロイダル磁場コイルを従来の銅素材で構成した場合、コイルの通電に要する電力が出力の何倍もかかってしまうことがわかっている。このためコイルには超伝導体を使用されている。

解決すべき課題が山積している核融合開発だが、2005年に実験を開始するためには、そろそろITER設置国を決定しなければならない。当初の予定では1997年中に決定することになっていた。しかし、アメリカが誘致しないと表明するなど、国際情勢は微妙になってきている。現在カナダ、イタリアが誘致の意志を表明しているが、実際には模様眺めの様相が強い。日本も当然、誘致を検討しているが、膨大な開発費をどのように負担するのか未定の部分も多く、決定は若干ずれ込むかもしれない。

いずれにしても、石油や石炭、天然ガスといった化学燃料資源は、このままではあと数十年から数百年で枯渇すると考えられる。ウランを利用する核分裂型原子力発電がそれにとって代わると考えられるが、最近の核燃料リサイクル計画の破綻状況を見ていると、不安を感じないではいられない。

「地上に太陽を!!」というキャッチフレーズのもと、核融合の研究・開発が始まっておよそ30年。次の次を見据えた研究開発の必要性が高まっているのかもしれない。

[取材協力・写真提供：日本原子力研究所、文部省核融合科学研究所]

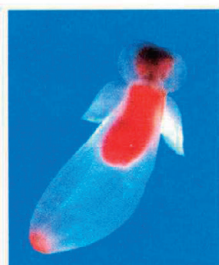


現在、岐阜県土岐市で建設が進められている文部省核融合科学研究所の大型ヘリカル装置。トロイダル磁場コイルを使用するトカマク型と違い、ヘリカル型核融合炉は、真空容器に2本の螺旋状(helical)コイル(写真上)を巻き付け、同一方向に電流を流すことによって生じるヘリオトロン磁場でプラズマを閉じ込める。トカマク型に比べ安定性に優れ、連続運転に適していると考えられている。写真下は上部電磁力支持構造物を組み込んでいるところ。実験運用は1997年度末にも開始される予定だ。

Steel 鉄の点景 Landscape.



極寒の中にそびえる鉄 ～北海道～



流水の下を舞う、海の天使
「クリオネ・リマキナ」。

北海道の紋別市に、平成8年2月、
流氷観測施設「オホーツクタワー」が完成した。
春から秋、時には吹き荒ぶ潮風と荒波を受け、
そして、冬には押し寄せる
流氷の圧力が襲いかかる。
一年を通じて、想像を絶する環境と戦う鉄の姿が、
さいはての地に、あった。



オホーツクタワー全景

し、厳しい気候に一変する。

流水によって海が閉ざされると同時に、港湾活動や漁業は停止し、すべての船舶は陸へ上架、もしくは他港へ回航する。

そして、オホーツクの豊かな水産資源を生活の中心にしていた人口約30,000人の街は、流水の到来とともににぎやかな観光の街へと変貌する。

流水の観察と研究の拠点、オホーツクタワー

今までは、流水がやってくると、人々は海から隔絶された生活を送るしか術がなかった。

ところが、長年にわたる経験や観測などから、流水は漁や天候と密接に関わっていることが、徐々にわかってきた。

そうになると、さらに深い研究や観察を続けていけば、この人の手を阻む流水は、逆にさまざまな恩恵をもたらす有益な自然現象として利用価値が生まれてくる。

その観測の中心基地として昨年2月に完成したのが「オホーツクタワー」である。

1986年、科学技術庁によるアクアマリン計画において紋別市が提案したオホーツクにおける技術計画が採択され、タワーを中心に氷海海洋科学技術の観測、実験を行うシステムの開発が始められた。

このプロジェクトを実現するために、紋別市はタワーに先駆けて、この地域一帯をガリヤ地区と名付け、流水科学センター「ギザ」、真冬でも泳げる「ステア」を完成させた。

単なる観測施設だけでなく、防波堤や人工海水浴場、アザラシの飼育施設など、観光目的をも含めて今後も整備されていく予定である。

先端技術を満載したフロア

タワーは防波堤から40m沖合の水深8.9mの位置に建設され、防波堤とは渡海橋によって、接続している。

海中部は鉄筋コンクリート構造で、流水の圧力などを受ける海面付近は鋼とコンクリートのハイブリッド構造となっている。また、この部分には防食対策としてチタ

水産と観光の共存できる街へ

日本最北端の宗谷岬と知床岬のちょうど中間に位置する紋別市は、オホーツク海と真正面に向き合った、いわずと知れた流水の街である。

気候は比較的穏やかで、晴天率も全国のトップクラスの地域であるが、毎年1月から3月にかけてやって来る流水とともに、平均気温は時によって一気に10度以上も低下

シラッド鋼によるライニング工法も採用された。

地上、いや水上3F、水面下1Fの4階構造で、訪れる人が全身で流水を体感できるように配慮されている。

最上部の3Fは、知床連山と見渡す限りのオホーツク海を一望できるパノラマ展望室。

2Fは海洋科学の最先端を披露するフロアで、流水のレーダー画像、温度分布カメラなどの気象、海象観測画像がリアルタイムで表示される。

1Fは渡海橋からのエントランスホール。タワーが建設されるまでの記録映像などが見られる展示ホールでは、ときには流水の写真や絵画展なども開催される。

そして圧巻なのが、流水を海の底から観察できる海底階。観察窓からは四季を通じてオホーツクのさまざまな魚が泳ぐ姿が見え隠れし、冬場には、海面に広大に広がるダイナミックな流水の裏側を眺められる。天井にライトアップされたルミライトアートの美しい流水の映像は、ほんとうに流水の底でダイビングしているような錯覚に陥る。

それぞれのフロアごとに、観察テーマが絞り込んでレイアウトされているので、4階層を通じてオホーツクの海が立体的に感じられる。

恵みは流水とともに

最先端の技術を導入しての観察や研究により、流水はたくさんのプランクトンを育んでいることや、さまざまな気象情報をもたらしてくれることがわかってきた。

「北の海」「流水」と聞くと、鉛色の凍てつく風景ばかりを想像しがちだが、人間界と自然とのあいだに幕を引くかのようなこの流水は、豊饒な海の恵みと情報をたたえた、北の海からのプレゼントなのである。

流水の観察はオホーツクタワーがベースとなることによって、今後もさらなる有益な恵みへとつながっていくことだろう。

[取材協力・写真提供：株式会社オホーツク流水科学研究所]



3F／パノラマ展望台



2F／科学技術プレゼンテーションフロア



1F／エントランスホール



海底階/水中観察フロア



流水に照明がひとときを映える夜のオホーツクタワー

展望

次世代街区構想—S I 21— —安全で安心して暮らせる環境調和型長寿命住空間の提案—

林 明夫
Akio Hayashi

調査検討部会 部会長
(通商産業省 環境立地局 環境指導課長)

The Initiative for Sustainable Open Buildings and Blocks in the 21st Century

1 はじめに

「住まい」は、我々の日常生活を形づくる基本的な要素である。しかし、先の阪神・淡路大震災で明らかになったように、我が国の住宅密集地域は防災面で大きな問題を抱えており、生活の基盤となる住環境の安全性を高め、その内容を充実させていくことが、切実かつ焦眉の課題となっている。そのためには、我が国固有の都市基盤に即した安全な都市づくりを目指し、高齢化社会や地球環境問題に臨みながら、安心して暮らせる質の高い住環境を21世紀に向けて供給していくことが求められている。

「次世代街区構想—S I 21—」は、このような状況の下で、住民が大きな負担なしに豊かで安全な住生活を享受できるよう、住宅供給から街づくりに到る一連の仕組みを提案するものである。本構想の狙いは、従来のように短いスパンで建築的基盤が更新されるのではなく、100年スパンをひとつの指標として長寿命型の基盤整備が行われるところにある。大都市圏のなかで防災面や環境条件の劣悪化に直面している人々にとって、本構想は、公共による基盤整備を活用し、ゆとりある生活を実現するための有効な方策となり得ると考えられる。

本構想の特徴は、以下の点に要約される。

- 1) 長期耐用の躯体部分（サポート）と、居住者のライフステージに応じて変更可能な住戸部分（インフィル）とを構造的に分離したS I 集合住宅の方式をとる。
- 2) 素材としての「鉄」の機能や特性を最大限に活用する。
- 3) この集合住宅を、既成の住宅密集地域内の合意が得られた比較的小規模敷地に建替えによって導入し順次、街区、スーパー街区へと成長させていく。
- 4) これらの導入方策として、定期借地を活用した利用権分譲方式（賃借権自由転売型分譲住宅）を採用する。

このような方法によって、土地の高度利用、防災性の向上、環境への調和が促進され、また、従来相反するとされた集合化と資産維持の側面が両立すると考えられる。

本構想は、(社)日本鉄鋼協会調査検討部会の下に、広く関連の有識者に参集いただき、我が国の新たな住環境と都市のビジョンを論議する中でまとめあげたものである。

2 住宅密集地域が抱える諸問題と住民の期待

2.1 住民の意識 —防災上の不安と集合化への障壁—

我が国の大都市圏における密集市街地は、一部の歴史的街区を除けば、建築後30年、40年と経過し老朽化の度合いを増した建築物が相当程度を占めるようになってきた。東京や大阪の中心部をやや外れた古い住宅地は1960年代ないしはそれ以前に建築された木造密集市街地となっており、例えば阪神・淡路大震災の例にみられるように防災面での脆弱性という何よりも大きな弱点を抱えている。これに加えて、

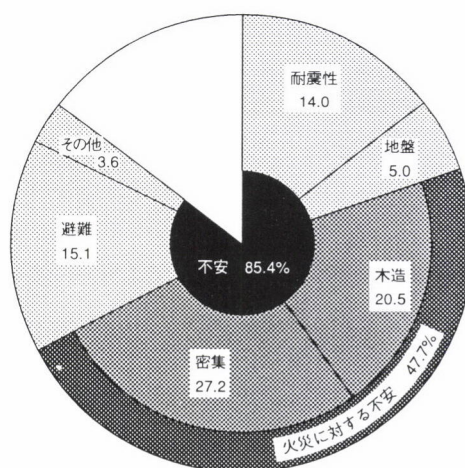


図1 居住者の防災上の不安

都市のヒートアイランド現象等、環境問題も深刻化しつつある。

このような木造住宅密集地域の環境改善は、その地域にすむ住民の判断にかかっている。こうした地域住民がどのような意識をもって、地区の改良の可能性を考えているのかについて、アンケート調査が実施された（1996年度、芝浦工大調査。アンケート先は東京の山の手の密集市街地で、回答者は130名）。

その結果をみると、密集市街地の抱える防災上の問題点については、85%の人が不安を感じている（図1）。しかし、不安を解消するための方法は、リフォームなど部分的な改修の範囲にとどまっていた、現状では、防災面での性能向上が期待される集合住宅への建替えについては、70%以上の人々が反対で、抵抗はかなり高いものとなっている。

2.2 住民の期待 —新しい住居環境への転換の可能性—

どのような条件が揃えば集合化に賛成するかについて調査されたところ、次のような条件が揃えば、集合住宅へのマイナス要因もプラス意見に変化し、木造密集地域で集合住宅への建替えに反対する住民は30%以下となることが明らかとなった（図2）。

- 国や自治体が無償で建て替えを行ってくれる
- 国や自治体が集合住宅の管理を行ってくれる
- 自分の土地が、50年後に自分のものに返る
- 自分の住宅の間取りを自由に決められる
- 現在の住まいの規模よりも大きな空間に住み替えられる

これらの条件を如何に満足するかが、老朽化した既存の木造住宅の集合住宅への建替え促進、即ち、密集市街地において安全で安心して暮らせる住環境を創出していく上でのキーポイントとなる。

2.3 木造密集市街地の広がり と建替え需要

それでは、実際に建替えの対象となる木造密集地域が、東京や大阪などの大都市において、どの程度の規模で広がっているか見てみよう。東京を例にとると、図3に示すように都心を中心に同心円状に木造密集地域が広がっている。面積的にも、またそこに暮らす人々の人口集積の度合いの面からもこれら地区の占める割合は高く、防災面からその建替えが喫緊の課題であることがわかる。

統計数字からもその概要を把握することができる。

我が国には全国規模では約2700万戸の木造住宅のストックがある。京浜葉大都市圏についていえば、約660万戸のストックがあり、そのうち、1970年以前に建築された建物は約180万戸に達する（全体の28%）。

集合住宅についての住民意識（集合化の問題点と解決の方向）
回答者130人、複数回答可

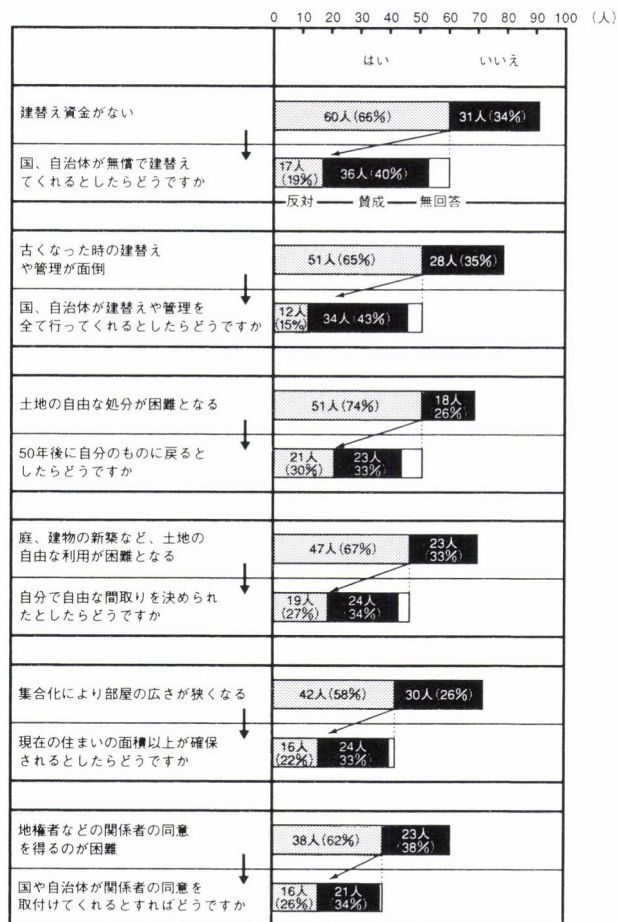


図2 集合住宅についての住民意識（集合化の問題点と解決の方向）

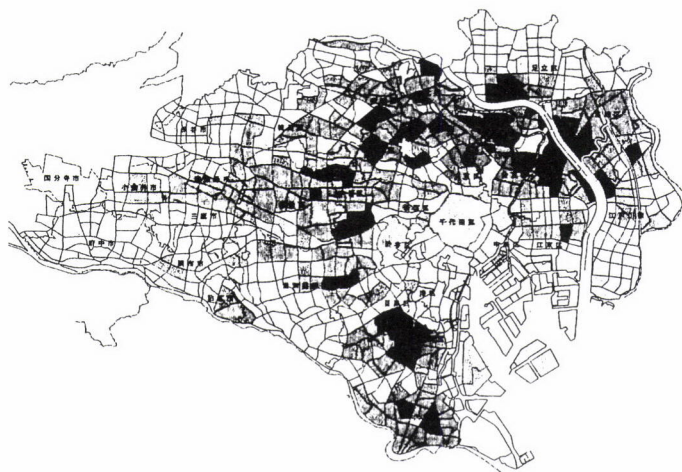


図3 木造密集地域の東京における広がり

それらは既に築25年以上経過しており、老朽化の度合いも大きい。個々の住宅の耐震性や耐火性の向上のためにも、建替えが望まれる住宅である。

木造住宅のストックの中で、用地地域の関係で防火区域内に存在する木造住宅のストックについてみると、同じように京浜葉大都市圏についていえば、約310万戸が該当する（木造住宅の1/2が該当する）。30年程度で入れ代わるとして約10万戸/年の建替え需要がある、という見方もできる。住宅市場では21世紀に入り、新規の住宅着工件数は全国規模で概ね100万戸/年程度で推移する、といわれており、木造住宅の防火地域での建て替え需要（10万戸/年）は極めて大きな可能性を秘めていることを示している（図4）。

3 住民の期待に応える次世代建築システムの提案

3.1 100年寿命の新集合住宅 —SI 21—

防災性向上や環境負荷低減のためには、集合化が有効な手段となるが、集合化を進めるためには、建替えや維持管理に係る将来の不安定性・不確実性を取り除くことが必要である。

長期耐用性という面からいえば、100年スパンの生活スタイルの変化に耐える集合住宅システムを構築するために、個人や家族の価値観の多様化、あるいは具体的な家族構成の変化に、柔軟に対応できる住空間をつくる必要がある。そのためのシステムとして、長期的に空間利用が可能で建物を構造的に支える固定的部分と、ライフステージに応じて間取り等を変更できる可変的な部分とを区分することが考えられる。

本提案では、建設システムやモジュール、工業化などの動向も考慮して、固定的な部分「サポート」と、可変的な部分「インフィル」とを分離することにより、建物の長期耐用性を確保しつつ、住み手の自由な生活スタイルや家族構成の変化などに自在に対応できる住空間を実現しようとしている（図5、図6）。

本方式により建設される住棟と外部環境に調和したイメージを一例として図7および図8に示す。

3.2 SI集合住宅を支える素材と技術

—資産性を確保する「鉄」の活用—

新しい集合住宅には、防災面や環境保全、資産維持といった観点からの機能が求められると同時に、如何に経済性を確保するかが重要なポイントとなる。これらの相反する要請を統合、両立させるのが素材としての「鉄」のもつ性質

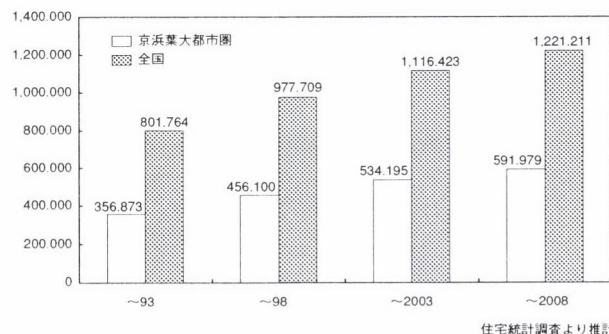


図4 防火地域・準防火地域内の木造住宅ストックの建替え需要推計

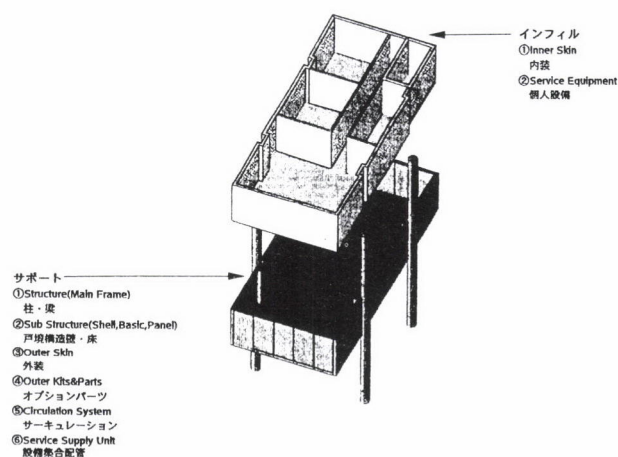


図5 サポート／インフィル概念図

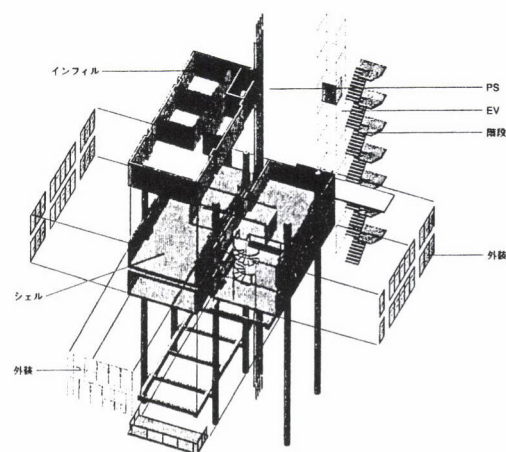


図6 サポート／インフィル・システム構成図

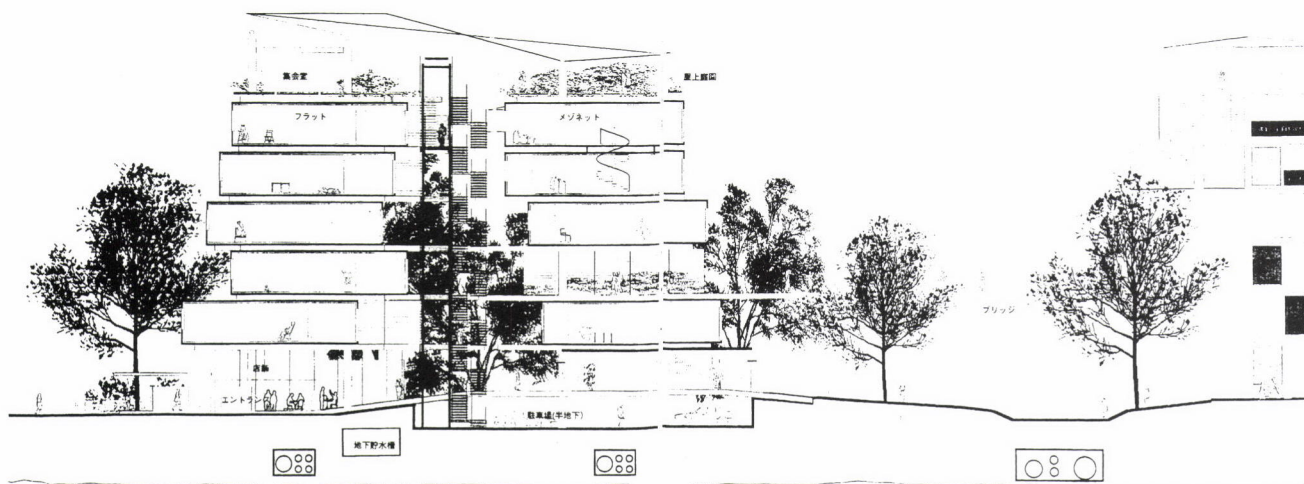


図7 「集合住宅-SI 21-」モデル住棟断面図

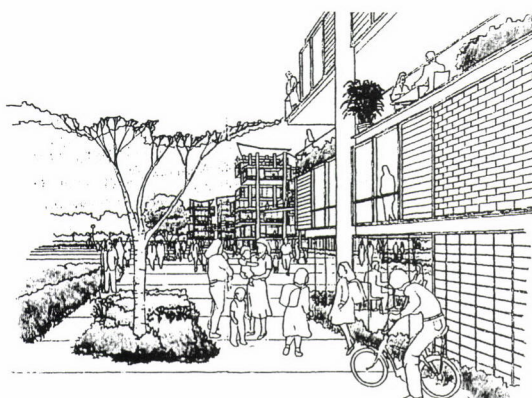


図8 緑あふれる住環境

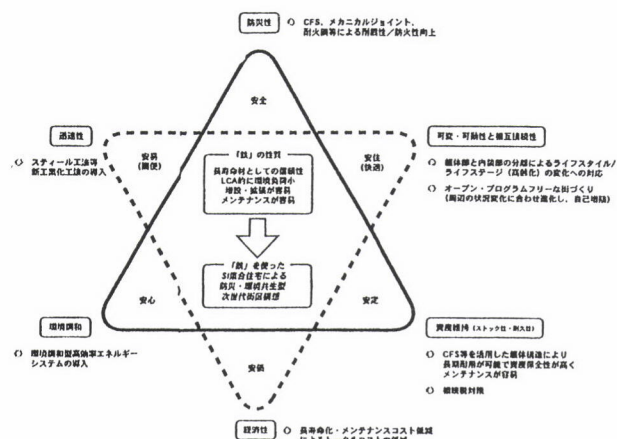


図9 「鉄」を活用した「集合住宅-SI 21-」の基本コンセプト

であり、「鉄」を使った次世代の集合住宅の存在意義がそこにあるといえる。図9に「鉄」を活用した「集合住宅-SI 21-」の基本コンセプトを示す。

更に、その特徴を以下に列挙する (図10)。

(1) 安心・安全な住宅

- ・骨組みにCFT (コンクリート充填鋼管)、CFS (コンクリート充填鋼)、耐火鋼などの耐火材を使用した耐震設計
- ・万一の被害にも、検査・修復が容易で迅速
- ・外壁に耐火材・不燃材を使用
- ・地下貯水槽 (雨水) で、防火用水・万一の生活用水を確保
- ・太陽電池パネルにより、被災時の電源を確保
- ・インフィル毎の免震構造化が可能

(2) 拡張性に優れ、フレキシブル

- ・間取りの変更が自由
- ・当事者間の合意により戸境壁、戸境床も変更可能

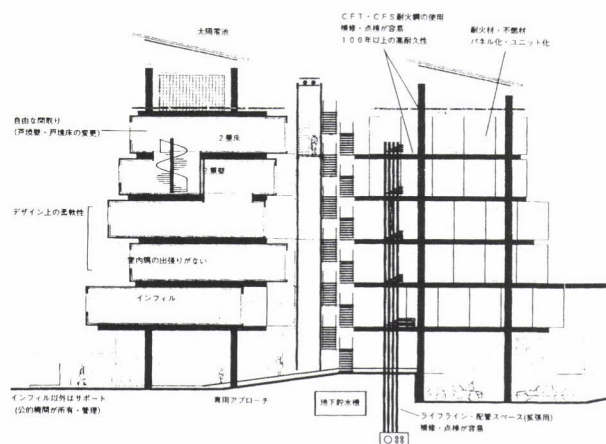


図10 「鉄」を活用した「集合住宅-SI 21-」の特徴

- ・インフィル部の自由な設計・補修が可能
 - ・広域エネルギー供給システムの導入に備え、拡張配管スペースを確保
 - ・隣接街区と2階ないし3階レベルでデッキによる接合が可能
- (3) 公的機関によるサポートの所有、維持管理
- ・サポートの建替えや維持管理に居住者の合意が不要
- (4) 短工期
- ・乾式工法のため短工期
 - ・無足場工法等の省仮設工法
- (5) 戸建て感覚の集合住宅
- ・二重床、二重壁の採用による、遮音性、耐衝撃音性の向上
- (6) 環境負荷の低減
- ・屋上緑化、結合デッキの緑化によるヒートシンク化
 - ・屋根、外壁パネルへの太陽電池の採用
 - ・耐久性向上によるライフサイクルを通じた二酸化炭素の発生量の低減
 - ・鉄骨造のため建替え時の建設廃材の量が減少
- (7) サポート、設備のメンテナンスが容易
- ・骨組部分が「鉄」製であるため、建物診断やメンテナンスが容易

- ・サポート、インフィルの分離により、設備の交換、補修が容易
- (8) デザイン上の柔軟性
- ・支柱と住戸ユニットの結合位置が変更可能
 - ・斜線規制への対応が容易
- (9) 経済性の確保
- ・部材の標準化、工業化による工期短縮とコストの低減
 - ・インフィル、サポートの分離に伴うコスト増を、新工法の導入・標準化・パネルの使用により吸収

4 街区への発展—「プログラムフリー方式」による安全な街区の形成—

都市の木造密集地は、土地が細分化され、再開発を共同で推進するための条件が、意思統一を含めて整っておらず、そのため多くの地区が未整備のまま取り残されてきた。

今回の提案は、細分化された土地を前提に、地権者の意思統一が可能となることから、順次、防災にも強い建替えが実施され、結果的に地区全体が整備完成する、という方式に則っている。所与の全体計画に依拠するわけではなく、いわば自然発生的に建替えが進む「プログラムフリー方式」による安全な街区形成の提案である。

表1 「集合住宅—SI 21—」の防災性評価

延焼防止性評価		
	次世代街区 SI 21	木造密集市街地
住戸構造	・全て準耐火レベル（6階）	・全て老朽化（1～2階）
火災状況	・壁、天井不燃化、急激延焼なし ・無傷の避難 ・隣室への延焼遅延（全体に火が回るまで数十分、倒壊せず）	・壁、天井可燃、数分で火災本格化 ・火傷を負い脱出 ・数十分で家全体が炎上、倒壊
道路状況	・6m道路確保 ・消防車接近可	・道路幅4m未満、類焼危険大 ・消防車接近不可
消防活動	・消防隊到着、直ちに消火開始	・消防隊到着遅れ、消火活動遅れ
近隣住戸	・45分耐火の外壁で延焼防止（網入りガラスの窓を閉めて防炎、カーテンに火がつくが近所の人も協力しバケツの水で消火）	・外壁の防火措置なし（隣戸に延焼、強風に煽られ手がつけられない） ・向かいの家に着火
避難	・出火住戸のみ避難	・街区全員が避難
街区全体	・1時間ほどで鎮火、延焼なし	・1時間ほどで街区全焼、なお延焼

耐震性評価		
	次世代街区 SI 21	木造密集市街地
構造種別	・スチールフレーム	・木造在来工法
耐震設計	・地震力800galに対応 ・非構造部材、設備も耐震対応	・耐震配慮なし
中地震時	・家具は固定、被害ほとんど無し	・タンス、書棚等家具の転倒 ・窓の歪み、ガラス破損 ・ブロック塀倒壊
大地震時	・スケルトンの被害軽微、修理容易 ・一部の家具転倒、物品散乱 ・重傷者無し ・設備は応急修理で使用可	・75%が倒壊又は修理不能の破損 ・倒壊家屋に閉じ込め ・死傷者発生 ・水道破損、ガス漏れ発生
大地震後	・継続居住可能（※自立性）	・街区全員が避難所生活

避難安全性評価		
	次世代街区 SI 21	木造密集市街地
住戸避難	・6階建、バルコニー有り	・1～2階建、バルコニー無し
道路幅員	・6m道路確保（大地震時通行不能率30%以下）	・4m未満の狭小道路（大地震時通行不能率30%）
倒壊危険	・道路沿いの危険要素なし	・ブロック塀有り
街区通路	・6m以上幅の道路が貫通	・街区内通路無し
避難広場	・公園	・無し

自立性評価		
	次世代街区 SI 21	木造密集市街地
生活用水	・耐震受水槽、非常用井戸（飲料水等3日分）	・住戸内備蓄のみ
消防用水	・消防用水槽（雨水貯留）	・無し
非常電源	・太陽光発電、蓄電設備その他	・懐中電灯
食料その他	・共同備蓄倉庫	・住戸内備蓄

5 防災・環境面での効果

5.1 防災性の向上

「鉄」を活用した「集合住宅—SI 21—」により構成される街区と既存の木造密集市街地の防災性について比較したのが表1である。延焼防止性、耐震性、罹災時の避難安全性、自立性等、何れをとっても格段に向上することが見て取れる。

5.2 環境面での効果

長寿命化を目指すSI集合住宅と既存のSRC集合住宅のライフサイクルエネルギーの比較を、建設省建築研究所の開発した「ライフサイクル分析プログラム」を利用し試算した。結果は、図11のとおりである。

横軸のライフサイクルエネルギーは、従来の集合住宅がトータルで㎡あたり154Mcal/年であるのに対して、次世代住宅システムでは113Mcal/年である。環境への負荷という点で、次世代住宅システムのもつ効果が顕著に現れている。

同様に二酸化炭素についても次世代住宅システムは既存のタイプに比較して、2割強減少することがわかる。環境面での効果は、木造戸建て住宅と比較してもその優位性は

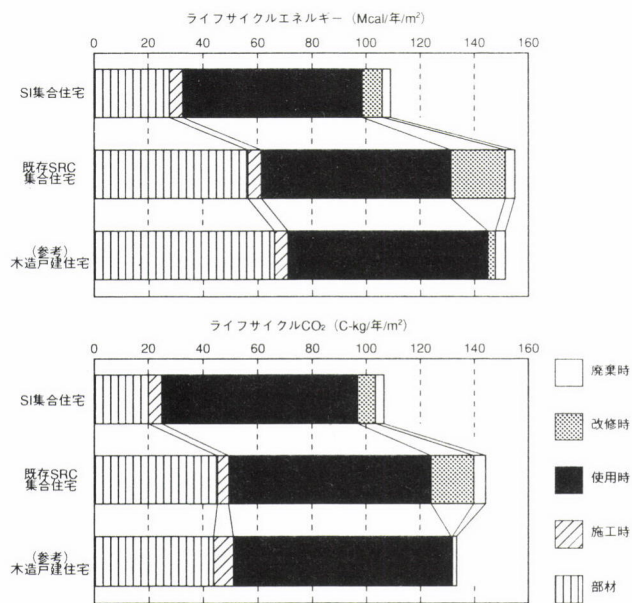


図11 SI集合住宅と既存SRC造集合住宅の
ライフサイクルエネルギー、CO₂の比較

変わらないといえる。

次に、市街地環境に優しい住宅システムになりうることも重要な要素である。ヒートアイランド現象への対処についても、建物や外構の緑化や、外壁などの緑覆率の向上、あるいは太陽エネルギーの積極的な導入、パッシブな空間処理などを、盛り込むことも容易である。植物による日射の遮蔽効果、植物からの水分蒸発による温度低減効果は大きい、屋上緑化などによって、野鳥が訪れる環境も実現できる。

本提案であるSI集合住宅では、サポートとインフィルが分離され、予備スペースが確保されてるため、熱供給のための配管やコジェネなどのシステムを後から付加することが他の建設手法に比較して容易である。そのため、本提案は居住時における省エネルギーや環境負荷の低減に寄与するシステムであるといえる。

6 実現に向けて —「利用権分譲方式(賃借権自由転売型分譲住宅)」の提案—

SI集合住宅については、これまで、住宅都市整備公団のフリープラン賃貸住宅、大阪府住宅供給公社の二段階供給方式による住宅、大阪ガスの実験集合住宅NEXT21、つくば方式による住宅等、いくつかの実現例があるが、これらは、制度的な制約等から必ずしも市場において普及するには至っていない。そこで、これらの制約要因を打開するための新たな方法として、「利用権分譲方式(賃借権自由転売型分譲住宅)」について提案する。

6.1 利用権分譲方式(賃借権自由転売型分譲住宅)の提案

提案する利用権分譲方式とは、「公的機関が複数の地主から定期借地し、サポート・インフィル分離型集合住宅(SI住宅)を建て、その利用権を分譲する方式」である。

- ① サポートは公的機関が所有し、これを賃貸する。
- ② 居住者は、「利用権」に相当するサポートの長期賃借権を取得するとともに、インフィルを所有する。
- ③ 土地は、定期借地とする。

(1) 利用権分譲方式の法的解釈 —自由転売型の「利用権」の実現—

譲渡自由な「利用権」という権利が現行法制の中で当然に認められている訳ではない。しかし、サポートを賃貸する公的機関がサポートの一定の空間を区分し、その賃借権を登記し、かつ自由な譲渡や転貸を包括的に認めることにより、実質的に自由転売可能な利用権を実現することは可能であると思われる。

(2) 利用権分譲方式のメリット

この方式のメリットを整理すると、以下のように考えられる。

- ① サポートを公的機関が建設・所有・保守管理することにより、入居者はサポートの建替、修繕が不要。また、被災したとしても公的機関が復旧するので安心。
- ② 土地を定期借地とすることにより、集合住宅化についての地主の同意を得やすい。
- ③ 入居者は通常に分譲住宅より少ない費用で、長期間の賃借が可能。
- ④ 譲渡自由な「長期賃借権」を導入することにより、自由転売できる利用権をつくり出すことが可能。この利用権とインフィルとを組み合わせた複合資産を流通させることにより、資産価値の形成が可能。

6.2 導入方策

本方式で提案しているプログラムフリーともいえる市街地整備を具現化していくためには、小規模敷地の集約化、共同有効利用にインセンティブを付与するような一部建築制限の緩和措置と事業実施に当たっての支援措置が必要であるとともに、住民に解り易い説明を行いながら、事業を進めていく組織が必要となる。そのためには、街づくりと住宅づくりについて十分なノウハウや信用力を有する公的機関が中核となって事業化を推進することが望ましい。

6.3 事業資金収支バランス

都区内の地区をモデルに、木造住宅を「集合住宅—SI21」に建て替える場合の資金収支バランスについて試算した。結果を表2に示す。試算例から、公的機関の事業資金

表2 収支バランスの試算例

1. 前提条件	2. 事業資金収支バランス
地価：60万円／m ²	土地面積：138m ² （建替前：147m ² ）
道路売却率：6%	専有延床面積：330m ²
階数：地上6階（半地下駐車場付き）	(1) 地主の資金収支バランス
建ぺい率：50%	収入：道路用地への売却益 500万円
容積率：300%	定期借地権売却益 3,300万円
レントブル比：80%	（合計） 3,800万円
建設コスト：18万円／m ² （標準インフィルを含む）	支出：利用権購入費（165m ² ） 3,800万円
定期借地権価格：24万円／m ²	(2) 公的機関の資金収支バランス
（地価の40%）	収入：利用権売却益（地主：165m ² ） 3,800万円
地主への利用権分譲価格：23万円／m ²	利用権売却益（一般：165m ² ） 6,400万円
（サポートの利用権と標準インフィルの購入代金）	共用部建設補助金 500万円
新規購入者への利用権分譲価格：39万円／m ²	（合計） 10,700万円
（サポートの利用権と標準インフィルの購入代金）	支出：定期借地権購入費 3,300万円
	「集合住宅-SI 21-」建設費 7,400万円
	（合計） 10,700万円

収支バランスを担保した上で、地主、新規購入者ともに、これまでにない低価格で、防災性に配慮した長期耐用で間取りの変更が容易な都心集合住宅に長期間居住することが可能となることがわかる。

7 おわりに

以上、平成8年11月から平成9年6月までの間、調査検討部会において関係各界の有識者を交え論議した結果得られた次世代街区構想の内容について概説した。しかしながら、実際にはその内容は技術論から法制論まで多岐に亘り、紙幅の制限もあり、全てを網羅的に紹介するには至っていない。6月末にまとめた報告書「次世代街区構想—SI 21—」等をもってそれを補うこととした。

なお、7月に東京都で開催された日本・フィンランド都市セミナーにおいて本構想の紹介がなされ好評を博したこ

と、更には、鉄鋼各社が建築研究所との共同研究を開始したこと、本構想を実現するためのハード面の研究・試作、法制面の検討を行う母体としての産学官からなる「次世代街区フォーラム」の設立へ向けた準備会が発足したこと等、構想の具現化へ向けた諸活動が開始されていることについても付言しておく。

これらの活動の結実として、既存の木造集合住宅密集地域が安全で安心して暮らせる環境に調和した長寿命型の住空間に形成されていくことと、それに際し「鉄」の新たな需要が本分野において創成されることを大いに期待したい。

引用・参考文献

(社)日本鉄鋼協会調査検討部会：次世代街区構想—SI 21—
1997年6月

(1997年8月8日受付)



研究開発の生産性と人材育成

植之原道行 前日本電気(株) 顧問
Michiyuki Uenohara

R&D Productivity and Human Development

1 はじめに

厳しい国際競争の中で生き残り、健全に発展して行くためには、欧米に先行指標を求め、安くて品質の良い製品の生産で大きく発展してきた80年代前半までの研究開発だけでは通用しなくなってきた。海図なき航海に乗り出したのと同じ状況にある。そのような航海を断行せざるをえなくなった船の艦長は、あらゆる必要な情報を収集して進路を決め、緻密な航海計画を立案し、気象や障害物に的確に対応しながら航海を続けるのである。会社丸、そして日本丸を安全かつ早く目的地に到着させる艦長のブレインに、研究開発は匹敵すると例えることができるであろう。

日本電気の元名誉会長、故小林宏治氏は、小林語録の中で、「会社経営の秘訣は、事業環境を、時間軸と空間軸にしっかりと位置付けて考慮することである。それを実現するためには、より正確に判断するためのメンタル・コンパスを持たなければならない。すなわち、(1)海図なき競争における現状を認識できるコンパス、(2)10年から20年先の将来像を描けるコンパスである。」と述べている。研究開発は、この10年から20年先の将来像を経営トップに描かせるための基本的情報を提供する細く永い活動である。とともに、その成果を会社事業に有効に寄与させるために、市場の現状を認識して、事業戦略を整合させながら開発を推進する活動でもある。

研究開発の生産性の向上は、事業活動を支援する側面だけでなく、より基礎よりの研究段階から、研究マネジメントは一貫して配慮しなければならない。研究開発の生産性が向上すれば、会社の業績は当然向上する。研究資源にゆとりが生じ、将来を指向した研究投資が可能となる。研究開発の生産性を高めるためには、研究開発に関与する各層のブレインと実行力が重要である。特に中間管理層以上のマネジメントの創造力によって、生産性は大幅に向上する。

すなわち、マネジメントの創造力が鍵であり、そのためには市場と技術の相関が読める人材の育成が必要である。研究開発のマネジメントも、科学技術だけでなく、社会環境、経済環境、政治環境の変化の底流を把握する能力を培うとともに、市場の動向に敏感であることが、的確な研究開発の方向付けと計画を推進し、成果を事業に有効に生かし、研究開発の生産性を向上させる鍵である。

2 研究開発の生産性の定義

事業計画が明確な最終製品開発を除いては、研究開発の生産性は測定が不可能に近いものとして、永く定性的評価の域をでなかった。最近、技術経営の一貫として、いろいろな研究¹⁾が推進されている。これから説明するものは、筆者が永年NECの研究開発の生産性向上を目的として研究し、試行してきたもの²⁾を更に修正したものである。

後で詳しく説明するが、研究開発の生産性は、シナジー(synergy) ネットワークの構成とその的確な活用によって大幅に変わるものである。そこで、研究開発の生産性を定義するにあたって、研究開発マネジメントに有効に寄与することを目的として、筆者の経験から導出した次の3つのマネジメント機能を仮定する。

- (1) 研究開発の生産性は、研究成果をいかに多くの製品に役立てるかいなかによって決まる。
- (2) 共通基盤技術をいかに広く活用するかいなかは、リーダーの広く深い市場と技術の相関知識で決まる。
- (3) したがって研究開発の生産性は、優れたマネジメントの創造力と実行力で左右される。

企業における研究開発の成果は、いかに学界で高く評価されても、売れる製品として付加価値を生まなければ価値はない。したがって、研究開発の出力は、製品の売上高 P に貢献係数 α を掛けた αP とするのが最も妥当である。入

力である研究開発投資を I とすると、研究開発の生産性 η は、次式で表現できる。

$$\eta = \text{出力} / \text{入力} = \alpha P / I \cdots \cdots (1)$$

研究開発の生産性評価の経営への活用の観点から、総合生産性 η_t 、プロジェクト生産性 η_p 、研究生産性 η_r を定義する。

総合生産性：技術創造型事業を前提とすると、企業戦略を具現化するために、永年布石されてきた研究の成果を事業化に向けて開発し、事業戦略遂行のために製品化したものを生産し、販売することによって価値が創造させる。このプロセスを総合して評価するのが総合生産性で、次式で定義することにする。

$$\eta_t = \{\text{売上貢献額}(\alpha P)\} / \{\text{R\&D投資額}(I)\} \cdots \cdots (2)$$

$$= f(\eta_r, \eta_d, \eta_p, \eta_m, \eta_a) \cdots \cdots (3)$$

上式で η_r = 研究生産性

η_d = 開発生産性

η_p = 製品化プロジェクト生産性

η_m = 生産ライン生産性

η_a = 販売、一般管理生産性

を示す。

総合生産性を、変数 $\eta_r, \eta_d, \eta_p, \eta_m, \eta_a$ の関数として表現したのは、それぞれが密接な相関を持ってマネジされて研究開発の成果は売上という価値を生むもとであり、研究開発のマネジメントに、生産現場だけでなく、販売活動やスタッフの生産性向上にも積極的に協力することが必要なことを強調するためである。 η_m は厳しく定量評価して管理されてきたが、他の生産性は主に定性的評価に止まっている。'80年代までは、生産ラインの生産性向上のための投資が、常に全研究開発投資を遙かに上回ってきた。しかし'90年代に入って逆転し始めてきた。研究開発の生産性を向上するために、定量評価によってマネジメントの向上を推進しなければならない。

研究生産性：基礎よりの研究になればなるほど、その成果が事業に貢献するまでに永い歳月がかかり、また多くのグループや製品開発部門を経て、その成果は付加価値を生むことになる。そのために生産性の評価は大変困難であり、未だに普遍的な手法は確立されていない。また生産性評価は好ましくない評価であるとも言われてきた。それは研究担当者レベルに対する評価の問題であって、マネジメントの向上のためには、研究の生産性は定量的に評価する努力が必要である。

大小各種の研究オーダー（研究計画が承認され、予算が計上された研究活動単位）が毎年走っている。その大部分は前年からの継続研究で、その表面的なテーマ名は変わっても、創造しようとする基盤技術は同じである。その典型的

な研究オーダー（No.1）の生産性は、次式で定義する貢献係数、あるいはシナジー係数、すなわち

$$\alpha P = \sum_{i=1}^n \alpha_i P_i \cdots \cdots (4)$$

を用いてつぎのように定義する。

$$\eta_{r1} = (\sum_{i=1}^n \alpha_i P_i) / R_1 \cdots \cdots (5)$$

上式で、 R_1 は研究オーダー（No.1）の研究投資の累積であり、 $\alpha_i P_i$ は後で述べるシナジーネットワークを通じて、研究成果が $(SBU)_i$ の売上に貢献した付加価値である。貢献したSBU（Strategic Business Unit）の数が多ければ多いほど、研究生産性は向上することがわかる。これが研究、すなわち共通基盤技術という知的創造物の特長である。シナジーマネジメントこそが、生産性向上の鍵であることを示唆している。

プロジェクト生産性：開発研究の生産性は、研究生産性と同質と考えてよいので、生産性の定義も定量評価も生産の生産性に近い最終製品の開発生産性、ここではプロジェクト生産性と呼ぶ、について検討しよう。最終製品の開発は、過去の研究開発の成果と、より顕在化してきた市場のニーズに対して、緻密な計画のもとに必要な資源を限られた期間に集中して行なわれるのが通常である。そのために、プロジェクトの入力と出力は比較的に定義が容易であり、また測定も容易である。

プロジェクト（No.m）のプロジェクト生産性を、つぎのように定義する。

$$\eta_{pm} = P_m / I_m \cdots \cdots (6)$$

上式で $P_m = \epsilon P_m + i P_m$ で、 ϵP_m はプロジェクトの成果が売上高に貢献した評価額で、 $i P_m$ はプロジェクトで得られた知的財産権収入による貢献額である。入力 I_m は、プロジェクトに直接投資された I_{m0} と他の組織からの技術支援 I_{me} の和、 $I_m = I_{m0} + I_{me}$ である。 I_m は、

$$I_m = \sum_{i=2}^n \beta_{mi} D_i + \sum_{i=1}^n \alpha_{mi} R_i + \sum_{i=1}^n \gamma_{mi} IT_i + \sum_{i=1}^n \delta_{mi} OT_i \cdots \cdots (7)$$

で表現する。

上式で

D_i = 開発プロジェクト（i）への直接投資

R_i = 研究プロジェクト（i）への直接投資

IT_i = 開発プロジェクト（i）への社内他部門技術の活用費

OT_i = 開発プロジェクト（i）への社外技術導入費

また $\beta, \alpha, \gamma, \delta$ はシナジー効果係数である。

製品開発プロジェクト（No.m）の直接投資 I_{m0} は D_m で、 β_{mm} は1であり、通常 $\beta_{mi} (i \neq m)$ と α_{mi} は1よりかなり小さな値である。式(7)から単純に判断すると、 I_m は D_m より大きいから、他からの技術支援を受けない方が生産性が高くな

ると誤解されやすい。しかし、もしマネジメントが悪く、製品開発がプロジェクト組織内だけで実行され、他の組織からの支援を受けなかった場合は、必要な技術を開発するために I_{m0} は増大し、また開発期間が大きく延びる場合が多い。この場合の I_{m0} を $\overline{I_{m0}}$ とすると、つぎの関係式が一般に成立する。

$$\overline{I_{m0}} > I_m > I_{m0} \dots\dots\dots(8)$$

シナジーネットワークを有効に活用して推進する製品開発プロジェクトは、開発期間も短く、直接投資も少なく、しかも生産段階で発生する信頼性、歩留り問題も少なく、生産性は大幅に向上することがわかる。

3 基幹技術プログラムによる人材育成

NECにおいては、事業戦略と技術戦略の整合を計り、基幹事業の健全な発展を推進するために、1975年から基幹技術プログラムを中心として研究開発を推進してきた。このプログラムマネジメントは、技術と市場の相関が読める中間管理者の育成に大きく役立ただけでなく、社内の複雑なシナジーネットワークを構築することができた。また分散と集中の戦略によって、シナジーマネジメントを大きく向上し、研究開発の生産性を大きく向上した。つぎに基幹技術プログラムの概念、基幹技術の選定、集中と分散の戦略について概略説明する。

基幹技術プログラムとは：基幹技術プログラムは限られた研究開発資源をもとにして、会社を健全に発展成長させるために不可欠な技術の柱をどの分野に確立するか、事業戦略を先取りして長期研究開発方針を示し、具体的に研究開発を運営するための枠組みを提示するものである。

事業戦略を先取りして長期研究開発方針を立案するためには、企業戦略を十分に理解し、市場動向と科学技術の動向を調査分析しなければならない。その結果から、将来10年間にわたって、いかなる製品がどのようなタイミングで事業化されなければならないかを想定し、それに必要な新技術を抽出する。莫大な数の基盤技術を戦略的に優先度の重み付けを行ない、同一専門家グループが、大きく専門を変更することなく創造し、確立可能な基盤技術を束にしたものが基幹技術である。会社の戦略事業分野の基盤を確立するために不可欠な基幹技術を、持てる資源と増強可能な資源を想定して設定し、それぞれの基幹技術に対して、戦略目標と創造すべき重要共通基盤技術の視点を提示したものが基幹技術プログラムの骨格をなしている。

基幹技術プログラムを推進するには、多くの戦略的活動を総合して運用しなければ、期待する成果をあげることは困難である。図1に、基幹技術プログラムの総合的運用を

図示してある。人材の育成は重要な位置を占めている。

市場と技術の相関分析：基幹技術プログラムを立案するための基盤は、市場動向と科学技術の動向を調査分析し、その相関図を作成する作業である。会社が事業を展開する実市場を調査分析することは、大変難しい作業であり、また大変な工数を費やす割には成果は少ないのが通常である。研究所の成果の直接の市場は、社内の事業部門、すなわちSBUであるので、市場動向の調査分析は、SBUの調査分析を対照とした。科学技術の動向は、研究者自ら日常行なっているもので、その情報を戦略的に総合し分析した。

各研究所から、約50名の優秀な中堅管理者を選抜して研究企画室に兼務させ、半数は市場分析を残りの半数は技術分析を担当させ、その結果を図2に示すような市場—技術相関マトリックスに凝縮させるのである。この作業は、概念的には簡単であるが、実際には大変な考察力と忍耐力を必要とする作業である。システムズ・エンジニアリングの概念³⁾を教育し、SBU幹部との交流によって、競争力ある将来新製品の企画力を育成することが必要であった。

中堅管理者は、本来担当する研究分野については十分な情報を持っているが、関連する事業部門以外の事業分野については無知に近い。市場調査で、今まで関心がなかったSBUも広く調査し、SBU幹部に鍛えられ、新製品候補の絵を描き、重要基盤技術候補を提案するうちに、今まで関心がなかったSBUにも、自分のグループの研究成果が大変貢献する可能性が大きい事実を認識できるように進歩するのである。これは大変な効果であり、シナジーマネジメントを推進するために重要な基盤となるのである。またSBU幹部との広く濃厚な交流が、シナジーネットワークの布石に大変役立ったのである。

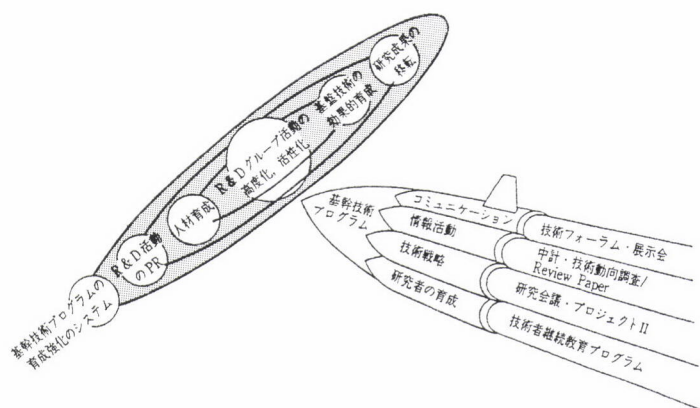


図1 基幹技術プログラム推進のしくみ

図2の縦軸は市場、ここではSBUで、横軸は基幹技術である。SBUの現市場規模の左に示してある記号は、事業ポートフォリオ分析の象限のスター事業(★)、金のなる木事業(¥)、問題児事業(?), 負け犬事業(X)である。最上段にSTD (Strategic Technology Domain) が幾つかの基幹技術を纏めて示してあるが、これは戦略的事業分野の略で、主に指向すべき事業分野を提示したものである。二重丸は、戦略上不可欠な技術を示し、一重丸は、重要な技術を示す。印のない技術は、既にSBUが確立している基盤技術で事足りるか、社外に依存しても戦略上問題が生じる可能性が非常に小さいものである。

二重丸の数が多い基幹技術は、会社の事業戦略上大変重要な技術である。またたとえ研究上のリスクは大きくとも、成功すれば大変インパクトが大きい技術である。研究所のマネジメントの観点からは、成果を事業に生かすリスクは非常に小さく、研究者としては挑戦的でやり甲斐のある研究である。一方、二重丸が特定のSBUのみについている基幹技術は、研究としてはリスクが小さくても、成果を事業に生かすリスクは大変大きい。このような技術への投資は、SBUと真剣な戦略上の検討を行なう必要がある。負け犬事業のSBUにも少なからず二重丸がついていることは、他の有力事業を主な対照として投資した研究の成果をうまく流用すれば、スター事業や金のなる木事業に活性化できる可能性を示している。もし活性化を実現すれば、研究開発の生産性は大きく向上することになる。

分散と集中の戦略：事業戦略と技術戦略を整合させ、研究開発の成果を効果的かつタイムリーに事業に役立てるために、基幹技術プログラムを運用してきた。この運用を実効あらしめるために、分散と集中の戦略が大きな効果を発揮してきた。

図3に分散と集中のマネジメントを簡略化して図示してある。左端は研究所で、基幹技術プログラムで設定した共通基盤技術を、それぞれの専門グループが中心となって、創造し確立する分散活動を示している。細く永い、強い動機と忍耐の活動である。右端はそれぞれのSBUが、市場のニーズに直結した最終製品の開発を行なう分散活動を示している。両端の分散活動には大きな時間差があり、研究が開発研究段階に前進して、事業グループの開発研究所の活動とは時間差が殆ど無くなって、相互に入組んだ協力が展開される。この活動が中央の集中の活動分野となるが、生産性を大きく向上するために、C&C (Computers & Communications) 横断プロジェクト制度にもとづく複数SBUとの共同開発を行なっている。

このC&C横断プロジェクトは、複数のSBUと単一あるいは複数の共通基盤技術グループが、それぞれの特長技術と

	STD	基幹技術	I				II				III...	
			a	b	c	d	e	f	g	h	i	j
SBU	市場	Size										
★	¥Mill.	1	○	◎	○		○	◎	◎	○		◎
★		2	○	◎	◎	○	◎	○	○			◎
★		3	○	◎	◎	◎		◎	○		○	○
¥		4		◎			○		◎	◎		○
¥		5	○	◎					○	○	◎	◎
¥		6	◎	○		○			◎		◎	○
?		7	○	◎	○	◎	◎	○	◎	◎	○	◎
X		8	○	◎					◎			◎
		・										
		・										
		・										

図2 基幹技術と市場の相関マトリックス

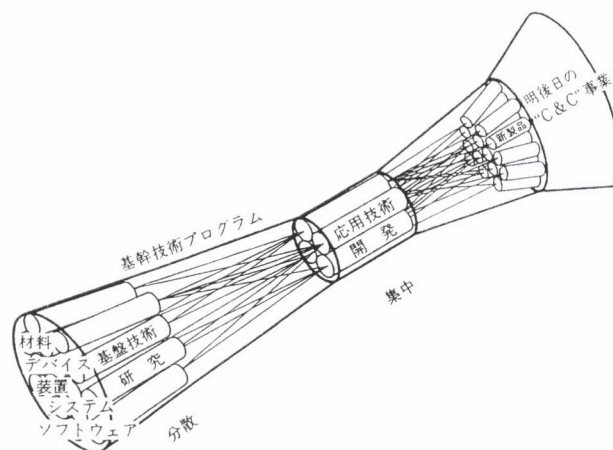


図3 分散と集中のマネジメント

技術者を集中して、それぞれのSBUの最終製品開発に役立つ製品基本モジュールを共同開発するもので、最終製品を開発するプロジェクトではない。このプロジェクトを提案する研究リーダーは、有力プロジェクト・メンバーとなりうるSBUの近未来新製品候補を分析し、これらのSBUに魅力ある製品基本モジュールを提案できる能力を持たなければならない。

それぞれのSBUは、このプロジェクトで共同開発した幾つかのモジュールの組合せによって製品の大部分を完成し、最終製品に独特な技術と応用ソフトウェアを開発すれば、最終製品が短期間で開発可能である。モジュールの組合せで、多くの新製品の開発が可能となる。個々にSBUに協力していた時に比べ、研究グループは同時に複数のSBUに技術移管することができ、SBUはお互いの経験を共有することが可能となり、研究開発の生産性は大きく向上できた。

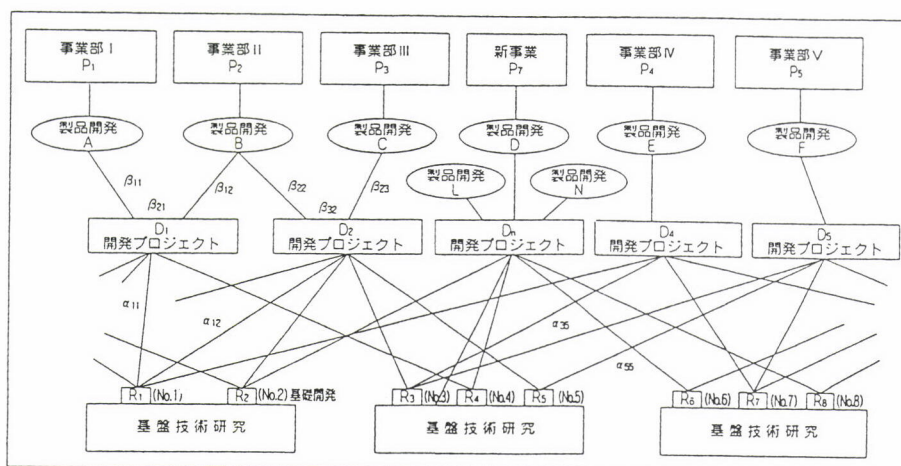


図4 研究開発活動のシナジーネットワーク

4 生産性向上のマネジメント

情報技術が進歩発展し、情報技術製品のみでなく、製品開発に占める情報技術の比率の増大、そして生産、組織運営、販売にまでも情報技術や情報ネットワークが重要な役割を果たすようになって、技術革新も市場のニーズで大きく誘導されるようになってきた。技術革新は画期的新技術を核として芽生える確率よりは、異分野、異業種、学際的な知識や技術の融合による新技術によって芽生える確率が増大し、研究開発から事業化までの速度が急速に早まりつつある。このような環境変化の中では、研究開発の生産性向上にマネジメントが果たす役割は非常に大きなものがある。

今まで各所で、いかにシナジー効果を向上するシナジーマネジメントが、研究開発の生産性向上に効果を発揮するものであることを述べてきた。研究者の研究成果を向上するマネジメントについては、永く広く論じられ、大変な努力が傾注されてきた。しかしながら、マネジメントの創造性によって、研究開発が大きく向上することについては余り論じられてこなかった。筆者が強調したかったことは、いかに優れた研究者が優れた成果をあげても、その成果を生かすも殺すもマネジメントであって、マネジメントが研究開発の生産性向上に大きな役割と責任を持っているということである。

図4は、大変複雑なシナジーネットワークを単純化して示したものである。このシナジーネットワークを構成し、効果的に機能させるのも、主力はマネジメントの役割であり、責任である。その責任を果たすためには、中堅管理者以上は、真剣に市場と技術の相関が読める能力を身につける努力をしなければならない。この能力がシナジーマネジメント力を向上し、シナジーネットワークの構成と効果的活用を可能とし、研究開発の生産性を大きく向上することになる。そのためには、企業における技術の価値は市場が決めるもので、技術者が決めるものでもなく、会社が決めるものでもない現実を認識し、謙虚に市場のニーズに学ぶことが重要である。第一線の研究者は、学界で高く評価される技術の創造に挑戦してもよい。その成果を市場のニーズに答えるように集大成するのはマネジメントの実力である。

参考文献

- 1) 生産性研究所社会経済生産性本部：「研究開発と知識生産性」，1997年3月
- 2) 植之原道行，篠田大三郎：「研究・技術マネジメント」16章，コロナ社，1995年10月
- 3) 文献2) —13章

(1997年8月18日受付)

展望

諮問第14号「物質・材料系科学技術に関する研究開発基本計画について」に対する答申の科学技術会議フォローアップ結果について

石井利和

科学技術庁 研究開発局 総合研究課
材料開発推進室長

Toshikazu Ishii

The Follow-up to the Recommendations for Inquiry No.14, "Basic Plan Research and Development on Materials Science and Technology" by the Council for Science and Technology



はじめに ー我が国の物質・材料系の研究開発に関する基本計画ー

我が国の科学技術政策を総合的に推進する目的から、内閣総理大臣を議長に関係閣僚や有識者から構成される科学技術会議が昭和34年2月に設置された。主たるミッションは「科学技術一般に関する総合的な政策の樹立に関すること」、「科学技術に関する長期的かつ総合的な研究目標の設定に関すること」等について審議し、内閣総理大臣に答申あるいは必要に応じて意見を申し出ること、昨年度までに23件の答申が行われている¹⁾。

物質・材料系科学技術分野に関しては、昭和62年8月に個別科学技術分野のトップを切って、諮問第14号「物質・材料系科学技術に関する研究開発基本計画について」に対する答申（以下、第14号答申と略する）がなされた。そこでは10年間程度を展望した重要研究開発目標ならびに研究開発の推進方策などの基本計画が立案されている。

科学技術会議では、自らの答申についてその達成状況や問題点を自己分析し、意見の追加や内容の見直しを図ることが重要であるとし、会議の常設機関である政策委員会においてフォローアップを行うこととされ、先般、答申以降10年の歳月が経過したこの第14号答申のフォローアップ報告がとりまとめられた。

本稿では、始めに第14号答申の基本計画の概要を述べ、次に物質・材料系分野の研究実施状況と問題点の分析ならびに今後の基本的な考え方等について、上記フォローアップ報告に沿いつつ、その要点の紹介を試みたい。また、これらの検討結果を考慮しつつ、当該分野において、今後重点研究領域として推進すべき課題等を当室にて整理し、次稿にて紹介することとしたい。



第14号答申による研究基本計画の概要

第14号答申は、物質・材料系科学技術を「数多い科学技術の中であらゆるものの基本性能に係わる基盤で、21世紀の人類社会の発展に向けた技術革新の原動力として重要な研究分野」と位置づける一方、当時の我が国の状況を「材料利用技術を中心として世界的にかなり高いポテンシャルを有するものの、革新的なシーズ創出の源泉たる基礎的研究への取組は全体としてなお不十分」と指摘した。そこで「今後は新しい概念に基づく手法を駆使しつつ、革新的な機能を有した物質・材料の創製を目指した研究に重点をおくべき」との基本的考え方をまとめ、さらに今後進めるべき研究開発の方向を次の4つに集約し、それぞれに関して爾後10年間程度を展望した具体的研究開発目標を提示した。

- ①「新現象の探索と諸現象の理論的な解明」に関する研究開発
- ②「革新的な機能を有する物質・材料の創製」に関する研究開発
- ③「ニーズに対応した材料技術」の開発
- ④「共通・基盤的技術」の開発

このほか、人材の確保、研究費の充実、研究開発の基盤整備や国際交流・協力の推進等「研究開発の推進について必要な方策」についても指摘している。



第14号答申のフォローアップ報告の要点

3.1 フォローアップの進め方

政策委員会の下に、産学官からの有識者からなる主査、専門委員で構成された「研究開発基本計画等フォローアップ委員会」が設置され、平成8年1月から約1年半をかけ

てフォローアップがなされた。具体的には、関係省庁への本分野の研究開発に関する取組のヒアリングや、科学技術庁の科学技術政策研究所によって実施された研究者アンケート調査結果³⁾等を参考に、上記の4つの方向に沿った研究開発の実施状況ならびに問題点の分析を通じて、答申への意見の追加等の検討がなされた。まず分析に先立ち、答申以後の10年間の状況変化がまとめられている。

3.2 第14号答申以降10年間の科学技術を取り巻く状況変化

第14号答申がなされた昭和62年(1987年)は、前年に始まった平成景気の中で国民一人当たりのG N Pが世界一になる等、活気ある年であった。しかし、翌々年のベルリンの壁崩壊に続く東西ドイツの統一、ソ連の崩壊による東西冷戦の終結など、その後の国際情勢は目まぐるしく変化し、国内においてもバブル景気崩壊や急激な円高に伴う経済成長の減少や、阪神大震災やサリン事件といった安全神話の崩壊等の変化が押し寄せた。

科学技術に関しても、前年の昭和61年3月に「科学技術政策大綱」が閣議決定されたが、その後内外情勢の変化に伴い、大きな状況変化がいくつか訪れた。例えば、戦後一貫して増加してきた民間研究開発投資がバブルの崩壊により92、93年度と2年連続して減少した。またグローバル化による大競争時代の到来に対応すべく、民間企業の生産拠点の海外移転が進行し、産業の空洞化や雇用の減少が懸念され始めた。

このような状況は、従来我が国の研究開発の大きな牽引力であった民間企業に対し、リスクが高い研究への投資を一層抑制させる結果となった。そのため、国内産業の空洞化を補完する新産業創出の観点と併せて、ブレイクスルー型の研究開発による成果の発信を政策的に求める声が一層強くなっている。

また、高齢化の急速な進展に伴う労働力確保や生活環境整備への対応、世界的な資源・エネルギー・環境・食糧といった地球規模の諸問題への対応等に関連し、我が国が全地球的な視点からどのように寄与できるかも鋭く問われるようにもなった、とまとめている。

3.3 第14号答申による基本計画の実施状況とその分析

フォローアップ委員会は、第14号答申を「新たな手法に基づく物質・材料の創製に力点をおきつつ、物質・材料系科学技術に関する研究開発を推進するために総合的かつ基本的な方向性と目標を提示した計画」と認識し、結果的に、我が国の物質・材料系科学技術は総じて進展し、経済社会や産業の発展に大きく寄与してきたと高く評価している。

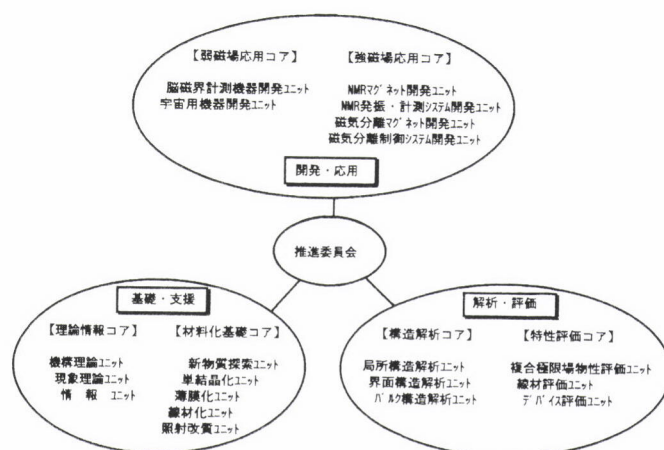


図1 超伝導材料研究マルチコアプロジェクト第2期研究推進体制

以下、第14号答申に示された4つの研究開発の方向に沿って、それぞれの実施状況ならびに問題点の分析結果を要約する。

3.3.1 「新現象の探索および諸現象の理論的解明」に関する研究開発

画期的な新物質・新材料の発見等につながる最も基本的な領域であり、今後の斬新な展開への期待からもその重要性は高い。

(1) 実施状況

政策的に研究を重点化して進めてきたものの一つに高温超伝導材料がある。科学技術庁の「超伝導材料研究マルチコアプロジェクト」(図1)や通産省の「超伝導材料・超電導素子研究開発プロジェクト」等にて、理論の解明、新物質の探索を基礎に、材料の線材化・バルク化、超伝導の利用までを含めた総合的な研究開発が推進されている。大学においても、科学研究費補助金等を用いた超伝導体の物性、その理論的研究が行われ、超伝導メカニズムの解明が進みつつある。

また、基本計画の策定を契機に研究環境の整備等が促進され、ミクロなレベルでの機構解明や物性等を予測する理論の精緻化、材料設計手法の高度化も図られつつある。

(2) 問題点等

我が国の物質・材料系科学技術では、材料の実用化に向けた応用研究や、材料の製造や高品質化・高信頼性に関する技術では、国際的な定評を得るに至ったものの、諸現象の理論的解明やそれらの知見に基づく新規物質・材料の開発の観点からは、相対的に不十分な感が否めないとしている。その幾つかの理由として、

①巨大磁気抵抗の発見やメソスコピック領域の物理現象等の成果はあがっているが、それらをより体系化し、普遍的

な考え方へ展開していく環境・体制整備が充分ではないこと、②励起ビームや極限環境の利用(後述)、それらのハイブリッド化等のインフラ整備は進みつつあるが、大規模な装置に関するユーザーニーズへの対応が充足されておらず、それらの改善が必要であること、などを挙げている。

3.3.2 「革新的な機能を有する物質・材料の創製」に関する研究開発

基礎面でのブレークスルーが強く求められている領域である。創製される物質・材料を、将来的には機能性材料として実用化することを視野に入れた研究を進める必要性をまず指摘し、具体的に以下のように分析している。

(1) 実施状況

○**酸化物超伝導体**：高温超伝導体が発見された以降も、大学、国立研究機関ならびに民間において前述の2つの大きなプロジェクト等を通じ精力的な研究が行われた結果、電子型・梯子型超伝導体やビスマス系の高温超伝導体(図2)など新物質の約半数が日本で発見され、この分野では我が国が牽引車的な役割を果たしている。

○**フラーレン(C_{60})**：1970年に我が国の研究者がその存在を予言、85年に英米の共同チームが存在を確認し、90年に独の研究者が大量合成法を開発した。以降我が国でも精力的な研究を展開している。カーボン・ナノチューブは、我が国の民間の研究者が発見した革新的な物質である。日欧米において急速に研究が進展し、他にも様々な形状のものが作製できる可能性も高く、将来への応用が期待

される。

○**インテリジェント材料**：ハイブリッド化された材料の中で、材料自身が環境の変化に対応できる機能を有するもの(図3)で、我が国が打ち出した新しい概念として世界的に高く評価されている。現在、金属、セラミクス、高分子、電子材料、薬品、生体材料等広範囲な分野において、この概念に基づく新たな展開が進められている。

○**傾斜機能材料**：組成ならびに組織を空間的に漸次変化させたもので、現在、耐熱高強度材料として具現化されつつあり、我が国が世界をリードしている。その製造プロセス技術は熱電変換素子にも応用され、エネルギー変換効率の向上に寄与している。

(2) 問題点等

励起ビームや極限環境等を用いた反応制御による材料創製、結晶構造制御や表・界面制御等による材料特性の向上等について、我が国は欧米に比較して同等もしくは優位な立場にある。一方で、革新的な物質・材料の創製およびそれに密接にかかわる上述の新現象の発見やその理論的な解明という点では、未だ散発的で十分な成果を挙げるに至っていない。

これらの理由として、以前から基礎研究の重要性について声高に叫ばれているにもかかわらず、革新的な概念の提示やその的確な選別の土壌が十分ではなく、一部を除いてブレークスルーにつながる研究開発が行われにくい状況にあるためと指摘している。

とりわけ選別力の不足については、フラーレンの発見以

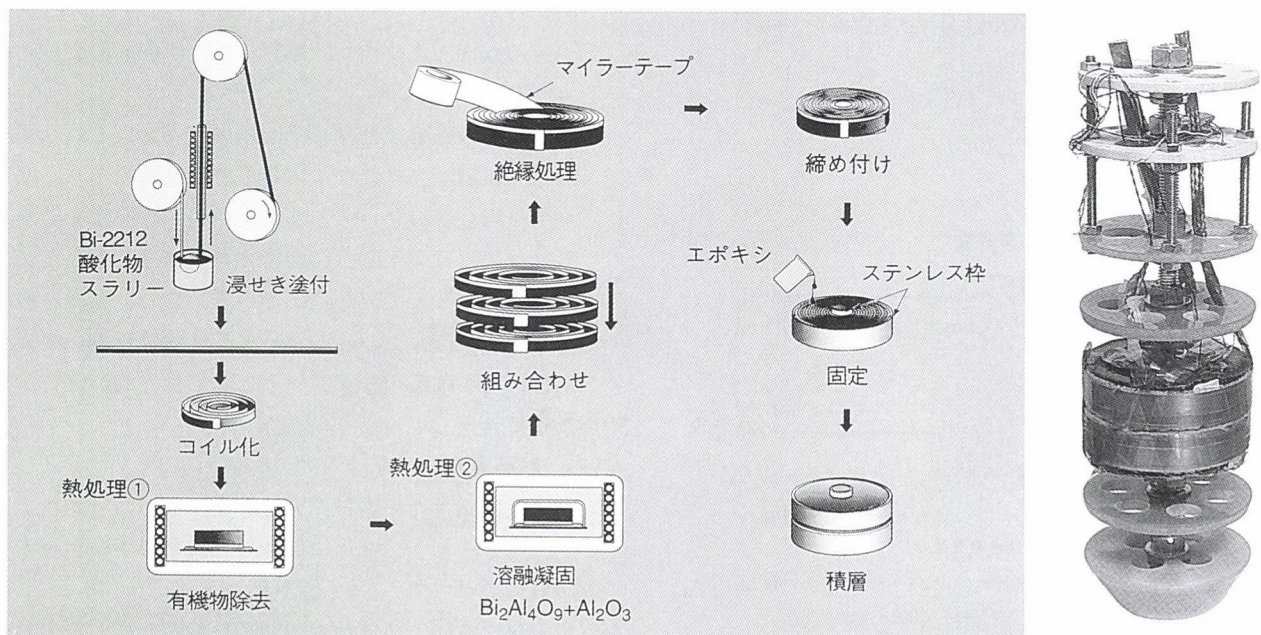


図2 酸化物高温超伝導材料の制作プロセスとマグネット

前にその存在を我が国の研究者が指摘していた例を挙げ、そのような革新的な指摘を見逃さず、タイムリーに研究を推進できる工夫が必要と謳っている。同時に、基礎的な研究成果が挙げた場合、それを正しく認知・評価し、広報する知的基盤の体制が十分に整っておらず、結果として積極的に成果を知らしめようとする研究者側の意欲がそれがちな環境にあることも指摘している。

3.3.3 「ニーズに対応した材料技術」の開発

経済の活性化を図り社会や生活の質を向上させていくため、多様なニーズに対応した材料開発も求められると、特に新しい発展が期待される先導的分野として宇宙、原子力、海洋ならびに情報・電子系科学技術の4つを掲げた。また、材料利用の高度化を目指していく上で、生産プロセス技術の高度化、新材料の信頼性や安全性の確保に必要な材料評価・保全技術の確立も必要とした。

(1) 実施状況

○宇宙科学技術：軽量耐熱材料として炭素繊維強化型複合

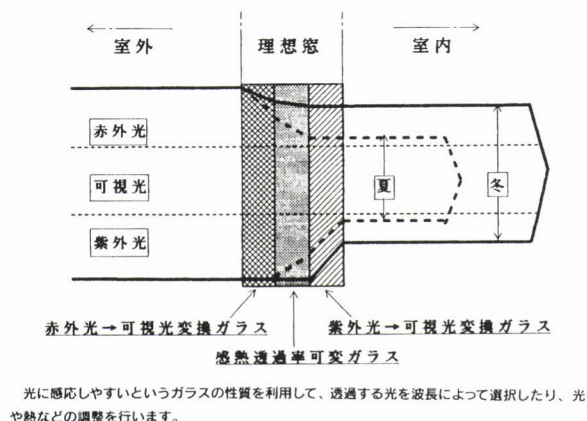
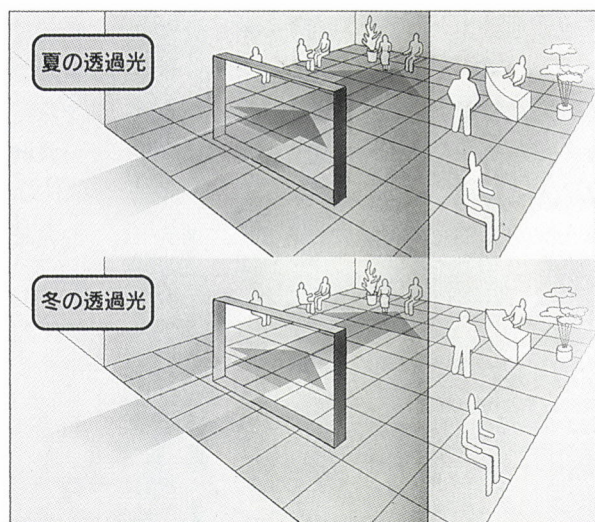


図3 インテリジェント材料の概念図

材料が、また耐熱高強度材料として傾斜機能材料等の開発が進められており、特にカーボン・カーボン材料については、大気圏突入環境等に耐えうる材料として実用化されるに至っている。また、高効率太陽電池や様々な半導体素子を利用した地球観測センサーの開発も行われている。

○原子力科学技術：耐照射性に優れた構造材料として、フェライト鋼やチタン・アルミ金属間化合物の開発が進められ、新たな耐照射性機能材料やその材料強度試験技術の開発が行われている。特に高エネルギー中性子照射を受ける核融合用構造材料について、バナジウム合金やセラミクス等、耐中性子損傷・長寿命材料の先端研究が進められている。

○海洋科学技術：海洋構造物や船舶用の構造材料として、耐海水性ステンレスや高耐食性チタン合金の開発が進められている。

○情報・電子系科学技術：シリコンを用いた半導体材料や配線材料、ポリイミド系絶縁材料の開発により半導体の高密度集積化が進むとともに、シリコンの特性を補うガリウム・ヒ素系を始めとする様々な化合物半導体が積極的に開発されている。また、光による情報処理技術の進展は著しく、それを支える光ファイバー、半導体レーザー、青色発光素子や液晶パネルディスプレイといった光機能性材料は、欧米をリードする状況にある。

○高度生産プロセス技術：通産省において、先端加工技術に関する加工システムや分子・原子操作技術のプロジェクトが実施されている。米国が高度な量子効果デバイス技術を有するものの、実用に直結した技術としては我が国が得意とする所で、特に半導体等へのナノメートルレベルの微細加工技術や非晶質材への研削・研磨技術が向上している。

○材料評価・保全技術：社会的効果や安全性という観点から再度認識が高まりつつある重要な技術であり、セラミクスや複合材料といった新素材や耐久性を求められる材料に対する寿命予測、超音波やレーザーを用いた新たな非破壊評価法の開発が進んでいる。また、金属材料技術研究所で実施しているクリープや疲労試験等の地道な成果は、材料強度データシートとして世界的に高い評価を受けている。

(2) 問題点等

実用化に向けた新素材開発は非常に盛んに行われているが、一部を除くと、個々に期待したほどのマーケットを形成するには至っていないと総括している。

○宇宙科学技術：要素技術の開発は進捗しているものの、研究開発のニーズが欧米（特に米国）に比較して限定さ

れているため、実用化に時間を要している。

○**原子力科学技術**：セラミクス等の新材料に関して、実用化に向けての一層の研究及びデータベースの整備が必要である。また、実用段階での使用環境を模するための、各種の照射試験設備などが不足している。

○**海洋科学技術**：深海潜水船や海中作業機器用材料に、一部チタン合金が用いられつつあるが、加工性等に課題が残されている。セラミクスやFRP等の利用も今後の課題だが、先端的材料の需要が少なく、結果的に材料開発がさほど進んでいないと危惧している。

○**情報・電子系科学技術**：進捗著しい分野で、概ね高い技術レベルを保持しているが、高密度記録磁性体など米国が優位なものもあり、引き続き研究開発を進める必要がある。具体的には、将来の半導体として目されるダイヤモンドで合成が困難とされてきたn型について進捗がみられるものの(図4)、半導体としての実用化にはまだ相当の時間が必要である。また、半導体発光素子材料も、省エネルギーデバイスや高密度記録媒体の開発の鍵となりうる材料で、今後の幅広い応用が期待されているが、解決すべき多くの技術課題があり、体系的な研究開発の取組が必要である。

○**先端加工技術**：高付加価値製品の開発に直結する分野で、半導体の高密度集積化に伴うシリコンウェハー加工の一層の超精密化等の重要性が増している。にもかかわらず、研究が評価されにくい上に、加工技術分野に優秀な人材が集まりにくく、積極的に研究が進められている欧米との格差の拡大が懸念されている。

(3) 研究者へのアンケート調査結果からの示唆

本フォローアップに併行して行われた、科学技術政策研究所による研究者へのアンケート調査の中で、上記4分野(宇宙、原子力、海洋科学、情報・電子)に関する研究者の自己評価(重要性、進捗、今後の見通し等)からも興味深い結果が見られた。

図5³⁾は、各科学技術分野別の重要度評価に対する研究状況を示した図であるが、これから以下のことがわかる。

- ・宇宙科学技術：進捗状況への高い評価のわりには研究成果への評価が低い。
- ・原子力科学技術：重要度の認識は高いが、他の分野に比べ進捗や成果の面で途上感が強く、具体的な成果利用の見通しも相対的に低い。
- ・海洋科学技術：重要度はさほど高くないが、進捗し成果もあげている。
- ・情報・電子系：重要度認識も高く、着実に進捗、成果も挙げている。

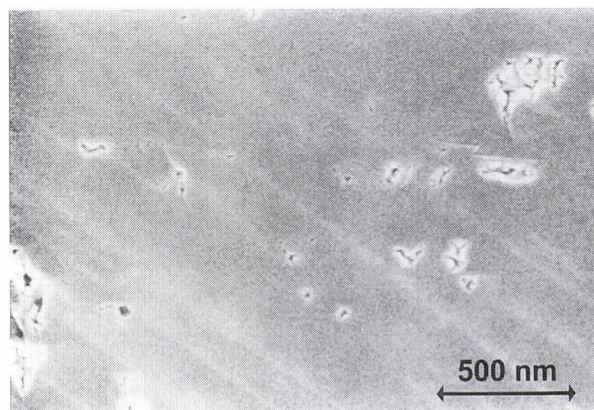


図4 合成されたn型ダイヤモンド半導体

同じく4分野の日米比較に関する研究者の回答も図6³⁾に示すが、海洋科学と情報・電子系科学技術分野は日本が優位という結果に対し、原子力科学分野はほぼ同じレベル、宇宙科学技術分野は欧米がかなり優位という評価結果であることがわかる。

これらの結果は、研究開発が進捗し欧米比較を含め成果の評価が高い情報・電子系科学、海洋科学技術は、現在のレベルを維持発展すべく尚一層の研究開発を推進すべきであるが、一方で進捗評価のわりに研究成果が得られていないと評価している宇宙科学技術や、重要度が高く意識されているにもかかわらず進捗や成果の面で途上感のある原子力科学技術の研究開発に関しては、いずれも国として取り組むべき極めて重要な領域であり、国家全体での長期的な指針を見失うことなく、着実な推進を図る必要性を示唆している。

話が本題から若干それるが、本アンケート調査では、今後研究者個人がチャレンジしたい、および今後日本がチャレンジすべきと考えている研究開発課題、ならびに材料を使用する立場からみたニーズ、等に関する結果もまとめられている。本稿ではその内容は省略するが、興味ある方はご覧頂きたい³⁾。

3.3.4 「共通・基盤的技術」の開発

材料創製等の研究開発の成否を決定するものと位置づけ、とりわけビーム発生、極限環境発生ならびに解析・評価技術の開発、高度化を重要としてきた。

(1) 実施状況

○**ビーム発生技術**：兵庫県の播磨学園都市に世界最高性能の大型シンクロtron放射光設備⁴⁾(SPring-8)の整備が進み、本年度には共用が開始される予定で、これを利用した材料研究の大幅な進展が期待される。また、光ビーム、電子ビーム、イオンビーム、中性子ビーム等の開発もこの10年間にかなりの進捗が見られる。

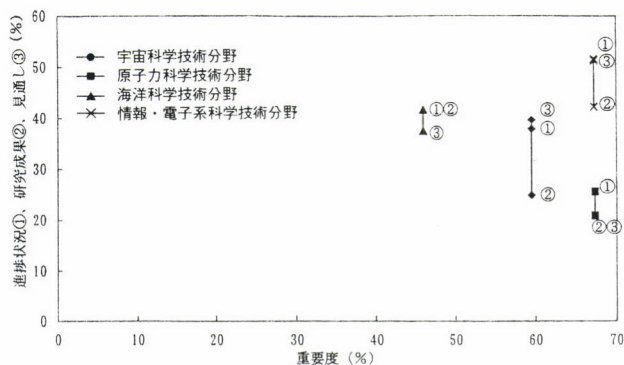


図5 4つの科学技術分野別重要度に対する研究状況の評価の関係
(科学技術政策研 研究者へのアンケート調査結果)

中でも、クラスターイオンビームは、我が国の研究者により理論的可能性が示され、ビーム技術として開発されたもので、その概念の独創性を含めて注目されている。クラスター科学の統一的な学術体系の確立は世界的にも関心を集めており、メゾスコピック領域における現象・物性に関する独創的な研究開発が進められている。

○**極限環境発生技術**：強磁場、極高真空場、超高压、超高温等の極限環境発生装置が国立研究機関に導入され、それらの装置を用いた先端的材料研究が進められるとともに、国際的な情報発信基地を目指した整備も進められている。同様に、微少重力環境発生のための落下施設が北海道ならびに岐阜県に建設されている。

(2) 問題点等

ビーム発生技術や極限環境発生技術等の高額かつ大規模な施設に関しては、数が限られていることもあり、それらの装置に多くの研究者がアクセスしやすい環境を整備し、より一層の活用を図ることが必要とされている。また、クラスターイオンビーム技術に限らず、独創性豊かな基盤技術の開発は長い年月を要するため、革新的な物質・材料の創製に必要不可欠な技術として、積極的な支援が必要である。

3.3.5 「研究開発の推進に関する方策」について

第14号答申で、人材の育成・確保、研究費の充実、情報基盤等、研究開発基盤の強化や、国際交流・協力の推進等が指摘されたが、その後、物質・材料系科学技術のみならず、科学技術振興のために必要な共通的政策として、各般の施策展開が図られてきた。

(1) 実施の現状

人材の育成・確保に関連し、各種の特別研究員制度やフェローシップ制度等の充実、研究交流促進法等を活用した交流の促進が逐次図られている。データベースに関しても各種の物質材料系データベースの整備が進められた他、科

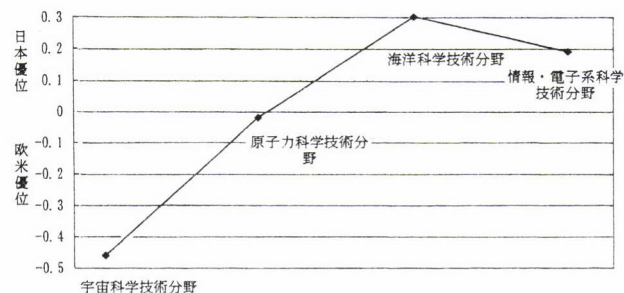


図6 4つの科学技術分野の日米比較評価
(科学技術政策研 研究者へのアンケート調査結果)

学技術振興事業団において物質材料に関する高機能基盤物質データベースの開発が進められている。

さらに科学技術の振興のために必要な共通的政策について、昨年策定された「科学技術基本計画」に沿った具体的な施策の展開が期待されている。

(2) 問題点等

研究者からのアンケート調査結果³⁾等に基づけば、本分野の研究者からは、引き続き、人材の育成・確保、研究費の充実等が必要、との意見が強い。

特に人材の育成・確保については、優秀な人材が引きつけられるよう大学や国立研究所等の研究環境が魅力あるものとなるような施策を図ることが重要である。また研究支援体制の不備により、装置の保守・管理等が研究者の負担となっており、研究に専念できないという声も依然多く、体制の早期充実が望まれる。

データベースについては、材料特性データの広範囲な蓄積と内容の一層の充実を図るとともに、それを有効に活用するシステムを確立、整備することが重要である。このデータベースの構築には、膨大な時間、経費ならびにマンパワーが必要であり、商業的利潤に直結するものではないことから、国全体としての取組が重要である。

3.4 フォローアップのまとめ

ー今後、更に配慮すべき視点ー

第14号答申以降約10年の間に、物質・材料系研究開発は本基本計画に沿って着実に進展してきた。本分野の位置づけの重要性に鑑み、引き続き積極的な取組が必要であるが、本分野を取り巻く環境変化や前章に述べた問題点等を踏まえ、委員会として、今後以下の点について更なる配慮が必要であると提言している。

(1) 世界をリードする独創的な基礎的研究への積極的取組

我が国は、材料利用技術を中心に世界に誇るべきレベル

を築き上げてきており、今後ともこの位置を維持しつつ、物質の根源や基本現象の解明といった基盤の学問体系の構築に資する研究を推進すべきである。第14号答申で、革新的機能を有する物質・材料の創製を目指した研究に重点を置くべきとの方向が既に示されているにもかかわらず、基本的な理論・現象に立ち返るような研究への取組がなお不十分である。基礎的な研究成果への期待がますます大きくなる状況に変化はなく、なお一層独創的な研究へ取り組むべきである。

(2) 高付加価値化、社会的・経済的ニーズに則した材料研究開発の推進

先端技術の急速なグローバル化に対応するために、引き続き先端技術の普及・大衆化を図るとともに、より付加価値が高くコストパフォーマンスの良い材料の開発と提供を図り、産業の空洞化を防ぎつつ国際競争力をさらに高めていくことが必要である。

同時に、活力ある豊かな国民生活を実現する経済フロンティアの拡大や社会基盤を構築する重要な要素であり、新たな半導体や画期的な構造材料のように社会や産業に対して大きなインパクトが期待される研究開発も必要である。また、社会基盤として大量に使用される材料等に関しては、エネルギーや資源、地球環境等の問題について従前以上に配慮すべきであり、環境負荷の少ない再資源化技術や新材料開発も求められている。

(3) 実用化を意識した研究推進体制の構築・環境整備

物質・材料系科学技術は、社会や産業、他の科学技術分野の発展に大きく貢献する基盤的なものであり、効率的に研究を進め実用化へつなげる観点から、基礎的な研究を行う者とそれを製造、実用化する者あるいは使用する者とが、互いのニーズ・シーズにわたる情報を共有し、研究開発段階から密接な連携をとることが必要である。また、産学官それぞれが単独では対応しきれない学際・業際課題が増大してきていることから、相互のポテンシャル及び成果をより円滑に相互活用しうる方策を講じ、猝にとらわれず所要の研究資源を有機的に組み合わせるような交流型研究開発の活発化にむけた環境整備が必要である。

(4) 情報流通基盤、知的基盤の整備や国際的な標準化等、国レベルでの体制整備

材料研究開発に関するフロントランナーとして世界をリードするとともに、国際競争力の維持・向上に資するため、高レベルの研究開発情報や、世界が賛同し協力しうる研究ビジョンを的確に発信すべきである。そのためにデータベースの整備や情報ネットワークを利用した情報流通基盤の

整備、各種知的基盤の整備や国際的な標準化を推進する体制を構築していくことが必要である。

(5) 効率的な研究推進のための評価システムの構築とその活用

研究開発をより効率的に推進し、所期の成果を挙げていくためには、研究機関や課題の進捗・成果の的確な評価が有効である。研究論文数や引用度数等の他に、探索段階から実用化～標準化に至る長大、長期的な開発プロセスに対する貢献や、知的基盤整備への貢献といった物質・材料系科学技術の特質を踏まえた評価指標を加味しつつ、科学技術基本計画に基づき策定された「国の研究開発全般に共通する評価の実施方法のあり方についての大綱的指針」(平成9年7月)に沿って実りある厳正な評価の実施が必要である。

4 最後に

以上、第14号答申に基づく我が国の物質・材料系科学技術分野の、この10年の研究開発の進捗状況および問題点の分析、さらに今後留意すべき点の指摘などについて、フォローアップ報告に沿って要点の紹介を試みた。

この10年を改めて振り返ると、高温超伝導やフラーレンなど従来の常識を覆す新しい物質の発見があり、これが物質・材料系科学技術にブームを巻き起こし、数多くの派生的な研究が生まれてきた。同時に、原子レベルでの構造解析や、極限環境条件場の拡大・多様化といった基盤技術の進展が、新たな物質・材料科学の進展をも促している。

眼前に迫った21世紀に、より快適で、より安全で、より豊かな高度な福祉社会を具現化していくため、その基盤である物質・材料系科学技術分野の担う重要性を、当該分野の研究行政の総合調整官庁の立場として、再度自覚させられた想いである。物質・材料研究行政への関係各位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。

参考文献

- 1) 例えば、科学技術白書(平成7年度版)、科学技術庁編(1996)、P.219
- 2) 野崎雅稔：ふえらむ、1(1996)5、P.331
- 3) 井上恒雄、渡辺俊彦：「先端科学技術動向調査(物質・材料系科学技術)」、NISTEP REPORT No.49(1997)、P.94、科学技術庁 科学技術政策研究所
- 4) ふえらむ、1(1996)11、P.818

(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 日本の鉄鋼生産における計測・制御の進展

野坂康雄

元計測部会長

Yasuo Nozaka

Development of Measuring and Control in Japanese Iron and Steel Industry

1 まえがき

日本の鉄鋼生産の堅実な発展は、需要家の要求に対するきめ細かな配慮と、計画通りの生産を可能にする体制によって実現された。この生産体制においては、各種の新鋭設備、新技術、効率的な生産管理方式とともに、計測・制御が重要な役割を果たした。高水準の計測・制御なくしては日本の鉄鋼生産の現在に見るような発展はなかったであろう。

計測・制御を鉄鋼生産の現場に導入して効果を挙げることは、それほど容易ではなく、初期から幾多の試行錯誤と研究開発の苦心がその背後にあったのである。実際には各社の積極的な人材確保と、多額の投資とにより、鉄鋼業における計測・制御の導入とその効果は、他産業には見られない広範囲、かつ高度なものに発展し得たのである。

筆者は戦後50年代から約30年、鉄鋼生産の現場で計測・制御の開発と推進の実務に携わった。また、昭和46～51年、日本鉄鋼協会共同研究会計測部会の部会長をつとめた。本稿ではこれらの経験と知見をもとに、鉄鋼生産における計測・制御の発展の概要を回顧を交えて紹介する。なお、記述は初期のことを主体としているものの、中には現在と二重映しになっている箇所もあることをあらかじめご了承ください。

2 鉄鋼生産と計測・制御システム、制御とはどのようなことか

制御とは対象の状態を所定の目標通りにすることである。実際には、この操作は自動的に行われることが多い。計測は制御を実行する場合に欠かせない機能で、これは対象の物理的状態量を、定められた単位量と比較して数値化

することである。この操作は連続的かつ自動的に行われる。システムとは互いに機能の異なる要素が結合され、全体としてひとつの目的機能を達成する構成で、制御も計測もその実態はシステムである。制御を実現するためには、種々の前提条件の整備、技術的および経済的可能性、複数の目標間の相反関係など現場的に解決すべき問題が多い。これを鋼片加熱炉の制御を例にして説明する。

鋼片加熱炉では抽出時の鋼片温度が制御目標であり、実際の抽出温度が目標値になるように入熱量増減の操作を行う。これは単純と思われるが、実際には種々の問題がある。まず在炉中の鋼片温度の実測ができない。そのために間接制御目標として炉内ガス温度を鋼片温度の代用にしなければならない。このように計測のニーズを直接満足するシーズ技術がないことがしばしば起こるのである。しかし、理論やシーズ技術がなくても制御と計測はニーズがあれば実現しなければならないところに現場技術者の苦労がある。

目標が複数になると制御は複雑になる。最適在炉時間、省エネルギー、厚さの異なる鋼片の最適加熱などのニーズは互いに相反することが多く、同時に満足できない。基本的には制御目標間の順位づけなどの調整が必要である。

上述の加熱炉温度制御に適用する技術は、フィードバック制御として一般化しているが、実際には既成技術をそのまま使えない対象が多い。目標温度が直接計測できない場合の対策、最適測温箇所の選定など理論にはないことが少なくない。

鋼片加熱炉では大体において連続性と定常性が保たれ、フィードバック制御が適用できる。しかし、転炉のようなバッチプロセスには適用できない。現在のところバッチプロセスの制御に対する理論はなく、それぞれ個別に考える必要がある。

バッチプロセスには適用できる制御理論はないが、転炉

生産は反復作業であるところに現場的には自動制御を可能にする道が開かれている。しかし、クレーン荷役に代表されるような不特定、かつ反復のない作業の自動化は、特別な場合を除いて一般にはできない。これは初期も現在も変わらない。

以上述べたように実際の生産作業では、制御技術側からの必要条件が整っていないことが大部分であると心得なければならない。幸いにして鉄鋼生産では前述のように、多くの頭脳と開発費の投入によって諸問題を解決し、現在に見る高レベルの制御が実現した。

その一方、生産上のニーズはつぎつぎに高度化され、制御に対する要求は一層厳しくなっている。例えば薄板ではAGCによってコイル長方向の板厚精度は確保されたが、その後は長さ方向のみならず、幅方向にも厚さ精度の高い製品のための制御システムの開発が必要となった。制御システムの関係者はこれらに対して絶えず努力を続けているのである。

制御システムはその効果によって生産設備そのものとして定着した。それと同時に、制御の効果は制御そのものだけでなく、生産に関するすべての要素と密接な関係を保ちつつ効果を発揮することになる。制御システムは適用する周囲の条件、設備、操業、原材料などの諸要因によって効果は相乗的にもなり、逆に相殺されることもあり得るのである。

3 計測・制御のこれまでの進展状況概観

図1に鉄鋼生産における計測・制御の進展の段階を概念的に示す。ここで初期とは戦後から'50年代後半頃まで、開発期は'70年代初め頃まで、それ以降を現状と考えておく。初期の生産の制御は大部分が人間によって行われ、ごく一部に計測器と簡単な制御装置が用いられた。開発期には増産要請によって設備の大型化、高速化、連続化が続き、これらの設備の効率化運転は人手に依存できず、制御システム導入の必要性が強く認識された。当初は技術的な困難が少なくなかったが、実システムの導入は強力に進められ、'60年代後半以降は制御システムを前提とした生産という考え方が定着した。また、導入されたシステムは転炉、ホットストリップミルなどすべてがコンピューターによるものであり、これらが鉄鋼生産におけるコンピューターの有効利用の初めとなった。コンピューターについては種々の問題があったが、これをひとつひとつ解決して、実用化に踏み切ったところに以降の効果的展開への道が開かれたのである。

このような強力な技術開発の流れは、鉄鋼生産の効率を大幅に引き上げた。しかし、ニーズは絶え間なく更新される。主要工程の制御システム化の次には工程間の問題、工程管理、さらには高度な品質要求、多様化生産へと新しいニーズは続く。

その一方では、計測・制御担当の専門技術者の充足も続けられ、同時に技術者の業務もそれまでの保全、整備からシステム企画、システム設計へと拡張された。これによっ

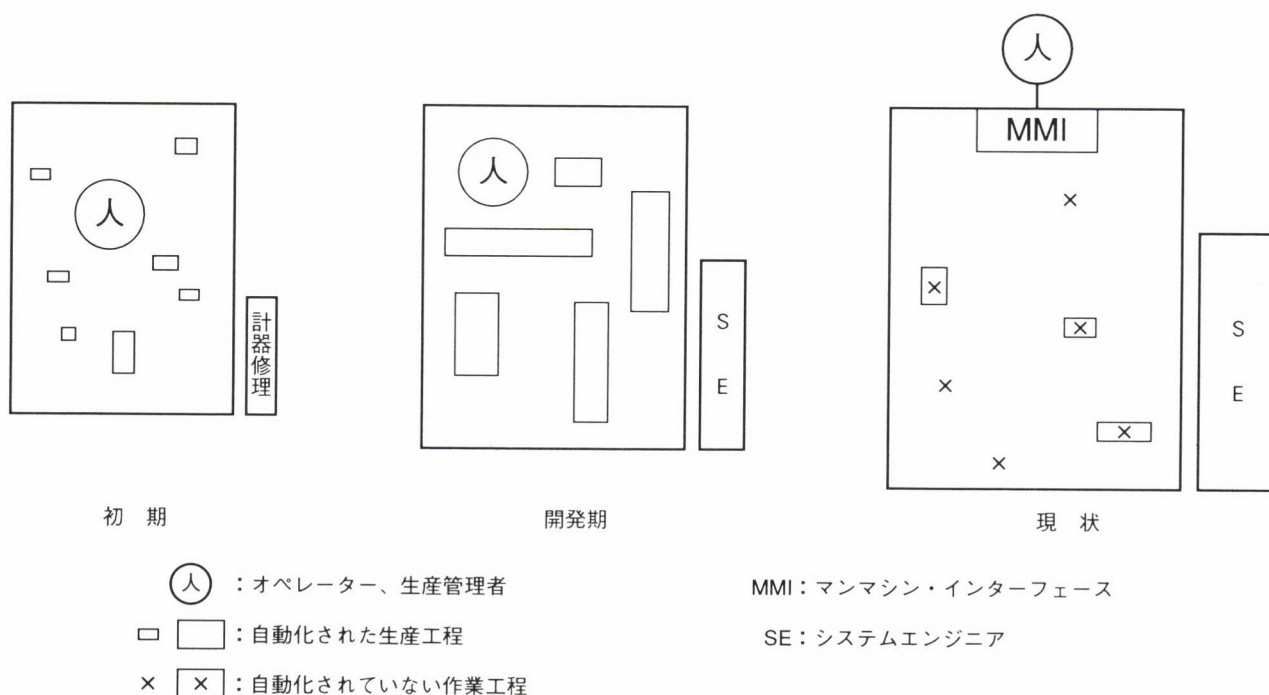


図1 鉄鋼生産における計測・制御の進展概念図

てシステムエンジニア (SE) グループが自社内に確立されたのである。鉄鋼生産の計測・制御が産業界で群を抜いていることは、このようなSEグループによるところが大きい。

4 初期の計測・制御の特記事項¹⁾

戦後の日本政府の産業復興政策としてエネルギー (石炭)、電力、鉄鋼などの増産対策である傾斜生産方針が打ち出された。エネルギー政策では石炭の増産と同時にエネルギーの有効利用が中心となった。鉄鋼業界ではこれを熱経済技術の推進という体制で受けとめた。これは平炉、加熱炉などで無駄な燃料消費を防ぐことになるが、その実行のために流量計、圧力計、温度計などの「熱計器」の導入と使用法の確立が急務として進められた。具体的には日本鉄鋼協会、日本鉄鋼連盟、通商産業省通商鉄鋼局合同の鉄鋼技術委員会の傘下に熱経済技術部会が設置され、さらに計測部門の審議体制として熱計器専門委員会が発足した。この委員会は鉄鋼各社の関係者と東京大学などからの学識経験者で構成され、昭和24年から同27年まで活動した。この委員会は後年の計測部会の前身と考えられる。

4.1 当時の「熱計器」の概要

熱計器の中で最も重要なのは燃料、蒸汽、空気の使用量を計測する流量計であった。これについて炉内圧力を正微圧に保つための圧力計、平炉天井煉瓦などの過熱防止用の定置型温度計が導入された。光高温計は従来通り溶鋼や加熱中の鋼片温度の測定用に使われていた。排ガス分析は手動式が主流であったが、自動分析計が一部で使われるようになった。また、石炭量の連続計測用には全機械式のコンベアスケールが一部で使われ始めた。

熱計器専門委員会の活動の主眼は熱計器の普及とその活用、定着 (計器の管理、保全を含む) であった。従って制御については将来の必要性を認めつつも、推進の主目標とはされていなかった。しかし、この頃から加熱炉を中心に自動燃焼制御が始められていた。

「熱計器」の普及によって製鉄所内には「計器掛 (係)」のような職制が誕生した。この職制の活動はやがて鉄鋼における計測・制御の専門技術者の養成の始まりとなった。

4.2 計測機器の新旧の比較^{1),2)}

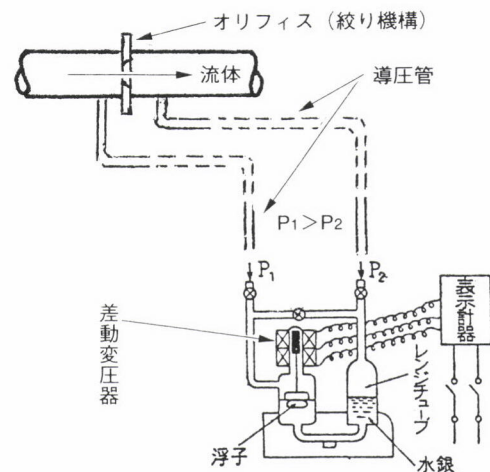
計測技術にはコンピューターや情報処理技術に見られるような長足の進歩はない。これは物理現象を計測する難しさを物語っている。現在の機器は信号の処理と伝送における性能と信頼性は大幅に改善されたが、信号検出の基本では依然として変りがない。次に代表的な計測機器について

新旧の比較をしてみる。

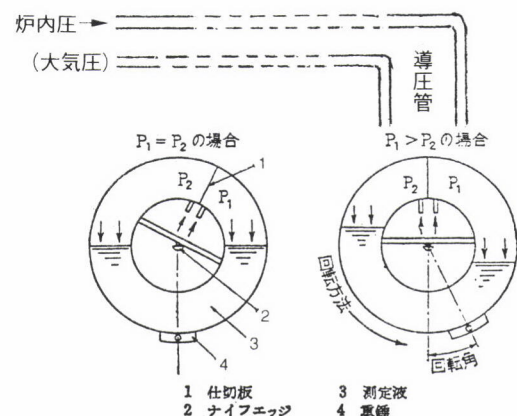
4.2.1 流量計の新旧について

現在の流量計には当時から使われている差圧式と容積式のほかに、電磁流量計、超音波流量計などが加わっているが、このうちオリフィスを用いる差圧式は依然として用途が広い。そのセンサ部である圧力検出機構は、圧力差を機械的変位に変換する原理において新旧同じである。異なるのはセンサ部の小型化と、ディジタル伝送によって現場設置が容易になったことである。

図2は初期の例で、(a)はU字管式差圧検出器、(b)はリングバランス式微圧計である。前者ではU字管の両脚にそれぞれ高圧と低圧を加え、水銀面の高低差を検出する。大型で多量の水銀を必要とした。夜間に水銀を盗まれ、指示がなくなることが時々起こった。後者は計器室に取付けられ、炉内の微圧は現場から太い (径25~50mm) 導圧管を布設して計器に導かれた。

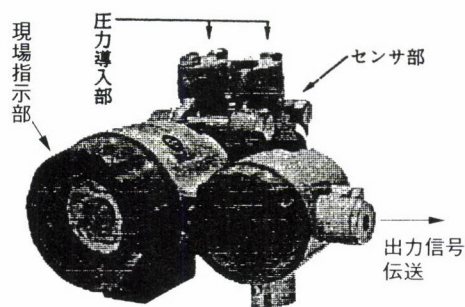


(a) U字管式差圧検出器 (総高約1m)

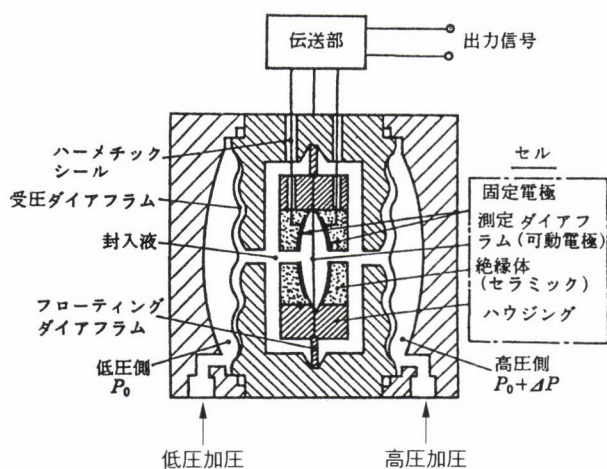


(b) リングバランス式微圧計 (径300~500mm)

図2 初期の圧力検出部の例



(a) 外観



(b) センサ部構造

図3 ダイアフラム式差圧センサ部の例

これに対して現在の差圧検出センサは図3のようなダイアフラム式で、加圧部を変えて高圧から低圧まで同じ方式で検出できる。小型で現場設置が容易で、導圧管は短くてよい。

4.2.2 温度計の新旧比較

初期の温度計は熱電温度計が主流であった。これは現在でも全く変わっていない。使用熱電対が白金・白金ロジウムとクロメル・アルメルであったことも同じである。異なるのは信号変換の進歩によって、伝送距離の制限がなくなったことである。表示計器類についても各種があり、使用上の自由度が格段に広がったことはいままでのない。白金熱電対の素線は消耗品であるのに、当時の社内では貴重品扱いで、盗難防止など余計な管理を強いられたことが思い出される。また、ある製鉄所では白金素線を腹に巻いた泥棒が、逃走中に海に落ちて溺死したことがあったと聞いている。

放射高温計については初期には光高温計がほとんど唯一のもので、感度が高く自動計測ができるものは、一部で使われた光電管高温計だけであった。それが現在では光高温計が現場から姿を消し（ただし光高温計の標準電球は検定用として重要）、新しいセンサ（太陽電池、半導体センサなど）による高感度の放射高温計が多用されるようになってきている。また、全放射式も性能が改善され、低温用として用途が拡大されている。

4.2.3 分析計の新旧比較

分析計の進歩は特に遅れている。初期から現在までにガス成分と溶液成分について一応の機種がそろったというべきであろうか。これらの分析計の大部分は試料のサンプリング装置を必要とし、それが計測出力の遅れの原因となり、制御においても大きな問題であることには新旧変わりがない。分析性能は抜群なガスクロマトグラフがオンラインに使えないことは、分析計の根本問題を代表しているといえよう。しかし、最近になってジルコニア酸素計とイオン電極のように、サンプル不要の分析センサが実用になったことはまことに意義が深い。将来はこの種の分析センサが増加することが切望される。

固体の分析になるとますます問題は難しくなる。鉄鋼生産にとって、材料の性状を即時的に知ることは以前から変わらぬ願望である。それにもかかわらず、この分野の進展は皆無といっても過言ではない。現在実用になっているものには発光分光分析（カントバック）と焼結用中性子水分計、それに転炉サブランスに装着された凝固温度による炭素量計測が挙げられるに過ぎない。固体や溶体の成分と物性をその状態のままで非破壊的に知る方法はないものだろうか。

4.3 初期の制御と制御用機器について

前述のように鉄鋼生産における初期の制御は、高い潜在的ニーズの中に少しずつではあるが、その地歩を固めていた。ここでは熱計器の延長上にある自動燃焼制御と薄板連続圧延機の主電動機制御について当時の状況を簡単に述べることにする。

4.3.1 連続加熱炉と平炉の自動制御

連続加熱炉の自動燃焼制御（ACC）の構成の基本は現在も変わらない。ただし当時の石炭焚の炉では入熱量の制御はできず、炉内圧力制御だけであった。当時の加熱炉燃焼制御の効果は、その時点で稼働期間が短かったために定量的報告は多くない。炉内温度の変動が $\pm 10^{\circ}\text{C}$ になったこと、炉内圧制御で侵入空気が減少したことがそのおもな効果で

あった。

平炉の自動制御は実施例が少ないが、70トン、固定式塩基性平炉についての効果が報告されている。それによると純製鋼時間が手動時に比べて7°46'から7°01'に、1時間当り出鋼トン数は8,507トンから8,848トンに、重油原単位は150ℓから128ℓに改善された。また、大天井煉瓦の寿命は約40%延長されたと報告されている¹⁾。

4.3.2 薄板連続圧延機の主電動機制御²⁾

薄板圧延における制御では電動機の運転が中心であり、他の分野に比べて計測・制御に対する関心が高かったと思われる。そして電動機の制御など電気設備の制御は、制御対象の特性の違いから、現場では熱設備の計測・制御とは別個に進められていた。

当時の電動機の適用区分は、定速、非可逆圧延機には誘導電動機または同期電動機、可逆圧延機用はイルグナー方式であった。その後薄板連続圧延機の導入で、可変速度の直流電動機が初めて用いられた。しかし、初期の速度制御方式は電動発電機を電源とする電機子電圧制御方式であったために応答性が低く、材料の噛み込み時のインパクトドロップの補償が困難であった。この問題はその後水銀整流器の導入で一応の解決がなされた。しかし、水銀整流器は保守が面倒であり、この問題の解決はさらにその後のサイリスタによる直流電源にまたなければならなかった。

初期の速度制御は方式から見ると開ループ制御であった。しかし、間もなく圧延製品の品質の面から速度制御の制御精度向上のニーズが高まり、圧延ロール回転速度をフィードバックする閉ループ制御が定着した。これにAGC（自動厚さ制御）、インパクトドロップ補償など種々の制御が加えられ、薄板連続圧延機の主電動機の高速、高精度、高応答制御が確立され、当時の増産と高品質の諸要求には十分応えられるものとなったのである。

このような主電動機制御方式による効果は高く、その技術は他の圧延機主機の制御にも応用された。直流電動機による高精度、高応答の制御は、以後当分の間、圧延機制御の主流であった。しかし、さらに最近では後述のような画期的進歩の時代を迎えるのである。

5 開発期における計測・制御の進展

この時期の特色は、日本の鉄鋼業におけるこれまでにない大きな変革と発展が行われたことである。高炉、ホットストリップミルの大型化および転炉という全く新しい製鋼法の導入による生産性の急上昇がその原動力であった。これに続いてこれらの新技術をもとにした新立地計画も着々

と進んだ。当然のことながら、このような新時代の生産を安定かつ効率的に実行するための基本として計測・制御に対する期待度はますます高まっていた。ただし高い期待といっても、その中には希望的要素もかなり含まれ、実際問題として解決すべき多くの問題があった。しかし一方では、計測・制御技術の本質的なことと、その最適な適用法についてはかなりの理解と解明が進んでいた。これとともに専門技術者たちも、計測器の保全業務のみならず、制御システムの計画、設計、活用についても責任を負うべきことを自他ともに認識し、認識されるようになっていた。これに加えて適用技術、機器にも各種の進歩があったが、特にコンピューターが現場の制御に使えるようになったことは、これまでに見ない画期的なことであった。

このような背景のもとに、この時期の進展中顕著な新技術を、転炉およびホットストリップミルを代表例としてその実状を述べる。なお、高炉についても付言する。

5.1 転炉の制御システム^{3),7)}

1957年(昭和32年)、日本最初の転炉が導入された直後から、生産関係者は大きな困難に直面していた。製鋼時間が短かく、生産性が従来の平炉の数倍とされる転炉製鋼の成分、温度の的中率が低く、生産性が目標に達しないという問題がそれであった。

そのために関係者間では検討が始められたが、典型的なバッチプロセスである転炉に適用できる既成制御理論はない。そこで正攻法としての物理モデルによる制御システムの開発をする方針が決定された。これは転炉プロセスの物質収支と熱収支をもとにして数式モデルを作成することに帰するが、変数、パラメータともに数が多く、かつその中には同定が困難なものも少なくないために、モデルは非常に複雑になる。しかしいずれにしても、数式モデルと実操業との整合度を確認しなければならない。そのために八幡製鐵所で実行されたことを述べると、製鋼、制御、計測の各専門技術者から成るグループを発足させ、操業データと制御モデルとの対照作業を行った。これには当時としては最新のコンピューターを専用し、現場との電話連絡でデータの収集と解析が実行された。

その結果、非常に有望な見通しが得られ、それはやがて経営層の検討と決断によって実行予算がつけられ、ここに初めてコンピューターによって生産を実行する制御システムの誕生となったのである。ちなみにその時導入した制御用コンピューターは、何と機械語の24ビット機で、加算時間0.3秒、主メモリ0.6kW、外部メモリ28kW(ドラム)というものであった。しかし、これで当初の目標は十分に達成した。

この制御システムの基本は、制御モデルによって製造鋼

種ごとに予測計算を行い、装入原料と通酸量、ランス高さなどを決定するものであった。しかし、これだけでは高い中率は得られず、そのために終点における実データを統計的に処理し、その結果を使って次回チャージのパラメータの修正をする方式を取った。これをスタティック制御と称した。

スタティック制御によって炭素濃度、温度の同時的中率は手動による場合に比べて大幅に上昇したが、予測制御の精度の悪さという根本問題は解決されず、的中率は最高で60%程度にとどまった。その後種々の検討の結果、スタティック制御の弱点は、吹煉中の鋼浴情報がなく、終点予測軌道修正ができないことにありと認識された。その結果、溶鋼中の残存炭素濃度の実測が検討の対象となった。考えられた方法には排ガス中のCO₂、CO濃度の分析値と、脱炭速度の推移特性とから計算する方法、および鋼浴炭素濃度を直接計測する方法があった。前者では分析計の遅れが大きく、すぐには実用へのめどが立たなかった。

一方、鋼浴からの分析試料の採取は、プローブの投入、引き上げが思うにまかせず、その方法は断念された。その後は長期間の試行錯誤が繰り返されたが、その結果鋼浴中の挿入と引き上げが確実なサブランス方式が最適であると判断された。これは先端のプローブに温度計測用の消耗型熱電対とサンプル採取とその凝固温度計測のための小室を装着したもので、本体ごとサーボ機構により鋼浴中の定位置に挿入される。

サブランス計測は終点の2～3分前に行われ、そのデータはコンピューターを通じて以後の脱炭軌道の修正がなされる。これを現場ではダイナミック制御と称した。この方法はスタティック制御の精度を上げ、終点同時的中率はほぼ100%に達した。この効果が確認されて間もなく、すべての転炉にこの制御システムが導入されて現在に至っている。

5.2 ホットストリップミルの制御システム^{3),7)}

ホットストリップミルはもともと生産性の高い設備であるが、この当時から増産と品質に対する要求がさらに高まり、対策として設備更新、新設、スタンド増設が相いついた。品質面からの要求に対しては主電動機の容量増加と高応答化（回転部の低慣性構造）と、AGCの新設、増強が行われた。また、AGCの応答性上昇のために油圧圧下方式が登場した。

AGCの効果はあるひとつのコイル内の板厚を一定に制御できるが、ロット変更（鋼種、サイズの変更）時のセット替え（最適ロール速度、ロール開度決定）には効果はない。そのためにAGCの有無には関係なく、ロット変更時に

は従来通りの経験と試行錯誤によるセット替えが必要であり、ホットストリップミルの生産性阻害の大きな原因となっていた。

この問題を解決するために、圧延中の材料の塑性変形に関する圧延理論式から圧延制御モデルを作り、このモデルを使ってロット変更時に必要な最適セット替え指示値を計算し、即時的なロット変更を可能にするシステムが開発された。これによりホットストリップミルの本来の高生産性は、文字通りに発揮されることになった。

このシステムを実現するためには当然コンピューターが必要であるが、数式モデルとコンピューターがあるだけではどうにもならない。実時間の制御では限られたサンプリング時間内に信号入力、演算、制御信号出力が可能でなければならない。ところがこのシステムで基本とした圧延理論式は指数関数などを含む非線形部分が多く、そのままを制御モデルにすることはできず、式の本質を失わずに線形化するなどして演算時間の短縮をはかる必要がある。しかし、これには理論も汎用的手段もなく、使用者において独自に開発しなければならなかった。この経験は以後の制御システムの開発にとって貴重な技術ノウハウとして残された。

ここで用いられた制御モデル中には、重要なパラメータとして圧延材料の変形抵抗、弾性係数などの物性値を含むが、これらはいずれも実測できず、推定値を使わざるを得ない。また、このモデル式では材料中の張力変動による干渉を無視している。しかし、後述のように製品に対する要求がさらに高度化すると、物性値の推定精度や干渉要因についても考慮しなければならず、新たな制御モデルが必要となるのである。

5.3 高炉の計測・制御について

高炉は製鉄のシンボルとされているが、そのプロセスが複雑なために、転炉やホットストリップミルにあるような計測・制御上の進展は見られない。高炉の使命は無事故で予定の出鉄を続行することである。しかしかなり最近になっても出鉄量低下をもたらす事故は絶えず、また、巻替えのために製鉄所では片肺操業は不可とされ、複数の高炉の可動が当然と考えられて来た。ところが現在の中規模の製鉄所では他の製鉄所からの融通を得て、高炉は1本で十分とされるようになって来た。これはどういうことであろうか。それを一口に言えば、高炉各部の状況、特に内部状態の情報が得られるようになったことであると考えられる。従来から炉壁温度などおもに外周部の情報は、「花魁の簪」と呼ぶ人があるほどに多数の計測器によって検出されていたが、炉内状態についてはほとんど手がかりが得られないままであった。

高炉の内部情報の検出の初めは、60年代後半に設置された炉頂部工業テレビによるものであろう。これによって発見された装入原料の表面温度の異常部の発生は、炉内反応の不均一を推定する有力な情報として認められた。これがきっかけとなり、装入後の原料の反応状況把握に対する関心が高まり、新たに炉腹ゾンデを設置するなどの試験が進み、従来は推定の域を出なかった内部状態が少しずつ明らかになって来た。さらに70年代になって行われた休止高炉の解体調査により、炉内反応の状態をかなりはつきり知ることができた。

このような調査、研究の結果、高炉の解析的制御は非常に困難なものの、実操業においては安定な炉内反応を維持するための各種の対策が実行された。原料装入の均一化、装入時の原料表面のプロファイルの制御、炉熱、特に炉底部の炉熱レベルの安定化などがそれである。しかし、高炉全体を制御できる一元的制御モデルはまだ得られていない。

5.4 コンピューターの導入について

鉄鋼におけるコンピューターの導入は50年代中ごろに始められたが、当時はまだ活用の段階には至らなかった。その後大手企業では大型事務用の機種が導入され、一部の事務の機械化が行われ、それが契期となってコンピューターへの関心と期待が生まれたのである。

このような時期にコンピューターの効果をはつきり認識させたのが、転炉とホットストリップミルの制御システムであった。これらのシステムの導入費用は、当時は相対的に高額であったが、その効果の高さは経済的にも十分納得し得るものであった。これが大きな刺激となり、コンピューター利用に対する要望が急速に高まった。転炉、ホットストリップミルに続いて他のプロセスも導入の対象になった。しかしこれとは別に、生産工程の実務をコンピューターシステムに置き換えようとする意図は、さらに大きな効果を生む重要な発想であった。

受注生産が宿命である鉄鋼生産における従来の工程管理は非常に複雑なものであった。多数の工程要員が必要な上に、不測の事態発生に対しては対策に時日がかかるという問題を内蔵していたのである。この問題の解決にコンピューターを利用したいという要望が出たのはむしろ当然のことであった。しかし、この要望が具体化されるまでには問題が山積していた。その初めに実際の生産工程をモデルにした予備調査が行われたが、その結果は前記の要望と期待を大幅に後退させるものであった。その原因は長期間人間の経験と慣れに支えられて来た工程実務は余りにも複雑で、簡単にコンピューターに置き替えられるものではないことが発見されたことにある。人間のもつ広汎な自由度

のもとに行われて来た実務は、自由度が低く、硬直性の高いコンピューターにはできないことを見せつけられたようなものであった。コンピューター化には例外処理を最小限にするなどの必要な事前準備が不可欠であることを学んだわけである。

このような事情から在来の生産工程に対するコンピューターの導入は、その時点では断念せざるを得なかったが、これとは別に新立地計画という大きな道が開かれていた。新立地計画で最大の問題は多数の工程要員であった。この問題に直面した担当者間では、ただちにコンピューター化の可能性が浮上した。人間の手が入り込んだ既存工程では不可能であっても、新立地での業務の単純化とロジック化が可能になればコンピューター化の可能性は高く、工程要員の削減という大きな効果が得られる、という確信が生まれたのである。

ところがその実現に当ってはコンピューター故障時の生産停止という大きな問題があることがわかった。これは経営上当然の要求ではあるが、コンピューター故障時にも生産を続行するならば、人的、物的バックアップが必要となり、かえってコンピューターシステムの効果を減殺することになる。この矛盾はコンピューターの故障時には生産は停止する、ただし最短時間で復旧すべし、というトップの決断によって解決した。

これらの経緯を経て、最初の大規模コンピューターシステムによる生産工程管理は1968年、新設の一貫工場の操業開始とともに実現したのである。このシステムにより生産は計画通りに実行され、万一工程内に不測の事故が起こっても、非常に短時間で復旧できるという大きな効果が確認された。また、これによってユーザーサービスにも貢献することになる。このシステムは生産ラインに定着し、その後のオンライン工程管理方式の始まりとなった³⁾。

6 より高いニーズに対応する計測・制御

初期から開発期を通じて進展した鉄鋼生産の計測・制御は、その効果によって生産ラインの中に定着した。計測・制御システムは生産設備そのものとして位置づけられ、生産と設備のすべてにわたって計測・制御を前提とするようになった。同時に計測、制御、システムの専門技術者たちは、強い責任感のもとに新たなニーズに対応して行ったのである。

新たなニーズとしてはより高度な品質要求、工程の連続化、省力化、徹底した省エネルギー、より高度な環境保護が挙げられる。ここではそれらの中からいくつかの事例を紹介し、あわせて関連する事項について述べる。

6.1 ホットストリップミルにおける新しい品質制御⁷⁾

ホットストリップミルではAGCと仕上げ圧延機自動設定、および幅方向厚さ制御により板厚精度、形状ともに満足すべきレベルに達した。しかし、その後板厚精度をさらに上げる新たな要求が起こったために、従来の変数であった圧下量だけでなく、スタンド間張力の影響を考慮しなければならなくなった。実際には一変数のフィードバック制御ではなく、二変数の非干渉の制御としなければならない。さらに使用する材料の弾性係数、変形抵抗などの物性値の同定精度をより高くする必要がある。しかし、これには限度がある。理想的には物性値を計測できればよいが、現在のところその可能性は薄い。実際には種々の対策により、ほぼ目的を達成しているが、もし物性値の高精度計測ができれば、複雑な制御方式ではなく、古典制御のフィードバックで十分ではないかと考えられる。

6.2 連続鋳造のモールドレベル制御⁷⁾

連続鋳造は転炉と一体となって鋼材生産工程の始まりとして重要な工程である。おもな制御はモールド内の溶鋼レベルの制御と、鋳片の温度制御である。前者では溶鋼レベルを検出し、その信号でタンディシュのスライディングノズルの開度をPIDフィードバック制御するが、実際には注入管の劣化による剝離物のモールド内落下などによる予期しない外乱があり、このままでは鎮静凝固に支障が起こる。これを防ぐために各種の現代制御理論や新手法をPID制御に重ね、ロバスト（頑健）制御を目指している。ただし各社、各所で採用している新理論、手法は一樣ではなく、効果も大同小異で決定版はないようである。

一方、鋳片の温度計測は冷却注水にさえぎられてほとんど不可能に近い。また、冷却における抜熱の過程を数式モデルで表すことも容易でなく、鋳片全長にわたる温度制御は非常に難しい。現在ではリアルタイムのシミュレーションによって伝熱、凝固などの現象を予測しながら注水量制御を行っている。このモデルは鋳片内の液相、固相の厚さ、温度分布に応じて断面内の設定点数ごとに計算をして作られる。計算点数を増加すれば精度は上がるが、演算時間が長く応答性が悪くなる。ここにも制御精度と応答性の相反関係を見る。

6.3 制御理論について⁵⁾

汎用の制御理論として最も多く適用されているのは古典制御理論である。これは一変数系に限られるが、わかりやすく、適用しやすいという長所をもつ。しかし、多変数系や干渉系には原則的に適用できない。これに対して現代制御理論にはそのような制約はない。ただしそれは理論上の

ことで、実用上は理論が難解であり、適用法も簡単でないために、導入例が少なく効果も十分には確認されていない。鉄鋼界では現代制御理論の有効活用に向けて技術者たちは努力を続け、他産業と比較して適用例は少なくないが、まだ定着したとはいえない。このような理論と実際とのギャップには解消のめどは立っていない。

6.4 荷役、ハンドリング、検査、分析の自動化について

鉄鋼生産の主工程では大部分が繰り返しプロセスであるから、汎用制御理論が適用できない対象を含めてシステム制御は可能である。しかし、荷役、ハンドリングは鉄鋼生産ではきわめて重要でありながら、不特定かつ一回限りの作業であることから、その自動化は現在でも実現していない。クレーン荷役のように、すべての操作を人間が行う作業を、そのまま自動化することはほとんど不可能なのである。逆にいえばこの種の作業でも、あらかじめ作業の定形化ができる場合は自動化は可能である。コイルヤード、厚板精整工程などに適用例がある。荷役やハンドリング作業においては、人間がする通りを自動化することは至難であり、自動化するならばあらかじめその作業を機械装置に置き換えるなど、自動化に適した準備が必要なのである。

品質検査の内容は多岐にわたるが、そのうち省力化、労働環境改善のニーズが強いのは表面欠陥や形状の目視検査の自動化である。これは人間の視覚に代わるセンサの問題に帰する。かなり以前から薄板、メッキ鋼板の表面検査用の光学的手段の開発が進み、最近ではレーザー技術を使って実用上ほとんど問題のないレベルに達した。表面欠陥のほか内部欠陥の検査で最も進んでいるのはUSTによる方法である。特に需要家の要請の高い厚板とシームレス鋼管などでは、オンライン連続式の自動検査が定着している。

従来から行われている各種の材料検査、特に機械試験については、試験機そのものの自動操作はできても、試験片製作を含めると自動化は完全とはいえない。理想的に言えば試験片なしに、かつ非破壊的に引張り強さ、剪断強さなどがわかることである。さらには硬さ、じん性、脆性、磁性などの検出センサが開発されることが将来の目標であろう。

オンライン分析については4.2.3で述べたように、古くて新しい問題が多く、技術的進展は依然として遅い。溶鋼表面からの放射スペクトルを利用した成分分析のような直接計測は長年来の要望であるが、これについては嘗て通商産業省の大プロジェクトの研究テーマに挙げられたが、その成果については不明である。

6.5 高度にシステム化された生産と人間との関係について

さきに図1で見たように、初期の生産では人間が製造工

程と設備に密着し、生産の進み具合を肌で感じつつ操業、運転をしていた。それが現在では人間は制御室内にとどまり、CRTの画面を見て制御操作をするようになった。つまり生産の現場を見ない、見なくてもよい形になっているのである。制御操作者はCRTというマンマシンインターフェースを通じてのみ生産現場と接するのである。驚くべき変化であるが、これが本当に進歩なのであろうか。確かにこのようなシステムは生産にも人間にも多大な便益をもたらした。システムの故障時の処置法もすべてが用意されているから心配はないであろう。

しかし漠然とではあるが一抔の不安は残る。複雑な自動化システムのオペレーターが最少人数に絞られていることが、異常時の問題にならないであろうか。異常時には生産の一時停止、事故原因の探索と確認、対策と処置など緊急措置が必要である。この時オペレータにかかる精神的、肉体的負荷はきわめて大きいはずである。責任感から来るストレスの集中は決して低いものではない。幸いにして鉄鋼生産ではこのような原因で大事故に至ったことはないが、複雑なシステム中で働く人間の問題には何らかの対策が必要である。

鉄鋼の計測・制御で思い出すこと

世界最高のレベルに到達した日本の鉄鋼業を支える基盤のひとつである計測・制御は、それ自体もまた斯界の最高技術水準にある。これはその発展の実務に携わってきた技術者たちにとって大きな誇りである。しかし一方においては、日本の鉄鋼生産はますます厳しい環境下にあり、技術者の肩にかかる責任も一層重くなっている。これを乗り切るためには、これまでの蓄積技術を活用しつつ、さらなる開発への努力が必要である。

ここではこのような思いをこめて将来の発展を望みつつ、今までの歩みを回顧して思い出すことのいくつかを記すことにする。

7.1 鉄鋼の計測・制御はどのようにして成功したか

日本の鉄鋼生産における計測・制御を高いレベルに到達させた背後には、メーカー、学界など多数の支援があったことはいうまでもない。しかしここでは外部からの支援と並んで、鉄鋼企業としての独自の開発努力が重要な要因であったことを強調したい。

鉄鋼生産では生産プロセスの特性、機器設置環境などの理由から、単に既成の技術、機器を導入するだけではニーズは完全に満たされない。これが鉄鋼各社における独自の開発努力を促したのである。それを実行するためには優秀

な人材の確保が必要であるが、これについては各社ともにトップの判断に従って早くから計画し、実行した。

次に技術者の充足の経過を簡単に述べる。まず前述の熱計器の使用開始の時期には、自家修理のために若干の要員が配置された。その後しばらくすると一部の大学では計測専門学科からの卒業生が産業界に採用されるようになり、鉄鋼でも少数ではあるがこれらの技術者を迎えることとなる。ただしこの採用は、化学、石油などに比べるとまだ本格的ではなかった。本格化し、毎年の採用計画に組み入れられたのは50年代以降のことであった。さらに50年代半ば頃からの高度成長に合わせた新設備、新立地計画の推進で技術者の採用にも拍車がかかり、計測・制御の専門技術者の配置は累積的に増加した。この時期には採用数において石油、化学などの他産業をしのぐに至った。この間には新計画遂行のための組織が職制化され、その中に計測・制御に関する専門技術者のチームが設定された。

この体制はその後も拡張がつづき、必要要員数が不足することがしばしばであり、採用担当者は常に忙しい思いをしたものである。要員の充足は新規採用のみならず、社内他部門、例えば電気関係の部課からの転属も少なくなかった。コンピューターの導入増加とともに、ソフトウェアの専門技術者もかなりの数になった。ソフト要員には事務部門での経験者も考えられたが、生産現場や設備に関する基礎知識の点から転属は多くなかった。

一方、新規プロジェクトだけでなく、既設の計測・制御設備の保守、技術開発、研究調査の業務も次第に増加し、内容も複雑となった。これらに対しても技術者の充足が行われ、その場合は新人の配置後教育訓練が終わると、経験者をプロジェクトチーム要員として送り出すというしきたりがしばらくの間続いた。転炉、ホットストリップミルなどの自動化システム開発のためのチームが、職制化されて成功したことは前述の通りである。

このような体制のもとに行われた計測・制御システムの計画、実行は生産工場、生産技術を始め人事、労働、経理など関係部門との緊密な協力のもとに進められた。実行予算については、他の設備投資同様の厳密な評価によって査定を受けた。しかし、その中には新技術開発を目的としたものも少なくなく、これは計測・制御に対する大きな期待と、未知技術に対する企業のチャレンジ精神の現われであったと考えられる。

また、新設生産工場の計画では、新規採用の生産要員数と計測・制御による省力化との関係が第一に審議されたことも、計測・制御が生産の中に定着していたことを表わしている。これとともに計測・制御の内容はより高度、広範囲となり、設備予算中に占める比率も初期に比べて大幅に

増加して現在に至っている。

7.2 生産現場での計測・制御の受け入れについて

生産現場では計測・制御のうち、計測の必要性はかなり以前から認識されていた。人間の「勘」だけでは適正な作業ができないことがわかっていた。しかし制御に対してはそうではなかった。計測器によって生産プロセスの実態がわかれば、制御操作は自分でできるという現場の自信が強かった。そのため制御システムは不要か、あるいはアクセサリと見られていた。このように初期には現場からははっきりした拒否はないものの、積極的に導入をはかる気配はなかった。

しかし制御システムの進歩と生産作業への導入の検討が進むにつれて、現場の考え方には少しずつ変化が現われ、制御システムに対する関心が次第に高まり、実際に効果が認められ始めると、それまでの関心は実際に導入したいという希望に変わって行ったのである。

これについて思い出されるのは、その段階でも生産現場ごとに受け入れの姿勢が違っていたことである。率直に言わせてもらおうと、圧延、特に薄板圧延では導入要求が一番高く、転炉では半々という感じであった。しかし、高炉部門でははっきりした要求はなかった。

薄板圧延では早くから大型圧延機の高速運転という難しい問題を経験していたことと、設備上システム化の条件が他に比べて整っていたのがその理由と考えられる。転炉では平炉での経験からオペレーターは自信をもっていた一方では、未経験の新プロセスによる製鋼の難しさに対する不安感があったのではないと思われる。

これらとは違い、高炉ではもともと炉況の把握が難しく、操作の判断に勘と経験に基づく苦労を重ねてきた。そのため人間にとっても難しいことはコンピューターには到底できない、と考えられたのではなかろうか。ここには長く人間によって操作されてきた生産様式をシステム化する難しさの実感がある。この実感は常に考慮されなければならない。

さらに同じ転炉でも当初は三交代の組ごとに対応の違いがあったようである。それはコンピューター制御システムを自分たちのものとして活用する組と、参考程度とする組とでは、的中成績に差があったということである。この違いはほどなく消えたことはいまでもない。このように現場の操業者が、生産の責任を達成するために、制御システムを全面的に活用した姿勢が日本の鉄鋼生産における自動化の普及を促進したと考えられる。

外国ではこの事情がかなり違っていただようである。社内で実績を挙げた制御システム技術を海外の製鉄企業に提供した時、先方では制御システムをオペレータの誤操作の防

止用と考えていたのである。生産管理者とオペレーターとが一致協力して操業する伝統をもとにして構築したシステムでは、そのようなことは第一目標ではなかったのである。

7.3 計測・制御用機器の進歩とメーカーの協力について

日本の工業用計測器の歴史は古く、すでに1920年代には製鉄用の光高温計が国産されていた。また、戦前からドイツやアメリカの技術を導入して流量計、圧力計、油圧式制御装置などの国産が行われていた。しかし、その生産が盛んになったのは戦後である。

当時信頼性が高かったのは従来から外国技術で生産していたメーカーの製品であった。戦後はそれら以外に新規参入のメーカーも多かったが、製品は正直にいうと試作的なもので、現場使用には耐えなかった。新規参入メーカーには総合電機メーカー、精密測定器メーカー、電気計器メーカーなどがあり、それぞれ技術の伝統が違っていたが、いずれも工業計測器、つまり現場で長時間高精度で使用できる性能についての経験不足が信頼性不足の原因と思われる。しかし、その後は各社とも信頼できる優秀な製品を製造するようになり、在来メーカーをしのぐ企業に成長した所もある。計測器使用で現場としての最大の関心はメーカーの保守支援体制であった。特に中央から離れた地にある製鉄所では問題であった。しかし、間もなく系列修理会社の設立などによって解決された。また、使用者側の計測器の精度維持、トレーサビリティの確保に対する活動も盛んになり効果を上げた。

初期の計測器は4.2で述べたように、大半が機械機構で構成されていた。指示、記録など現在から見ても実に巧妙なものが多かったが、修理には特殊技能が必要であった。それがやがて電子管式、電子式となり、さらにIC回路やデータ伝送法の進歩によって現在の姿となり、性能、取り扱い法ともに便利になった。ただし現在の製品は信頼性は高いから一応安心できるが、もし修理を必要とする時にはほとんどお手上げである。これは国内では問題ないにしても、海外に輸出したものについてはどう考えたらよいのだろうか。

制御用コンピューターの製造は大手の総合電機メーカーおよび一部の計測機器専門メーカーによって始められた。開発期になると機種が多くなり、選択に迷うこともあった。その中で最も問題となったのは、コンピューターのオンライン・リアルタイム性能の違いである。これは事務用など多量の情報をまとめて処理する機種と、対象プロセスに忠実に従って処理することを必要とする機種との機能の違いに起因する。制御用では実行プログラムは短くても、処理には高い応答速度が必要である。当時のコンピューターは

現在に比べて処理速度が低く、記憶容量が少なかったことも原因のひとつであるが、致命的な原因はOS（当時はモニターなどと呼んでいた）の内容の差異にあったのである。

OSの機能はメーカー側の限られた技術者の設計思想、企業としての販売計画に左右され、かつ多額の投資を必要とするから、使用者側の要請があっても、メモリーの増設程度にとどまり、機能の変更はほとんど不可能であった。この事実は当初は導入時にはわからず、問題発生後に判明することが多く、担当者は非常に困った。メーカーからの種々の協力を得て不満足ながらシステムの実用にこぎつけたこともあった。この経験から、より高い応答速度を必要とする圧延制御用と、応答性がやや低くても差し支えない対象向けの機種を区別して選ぶという知恵が得られた。この考え方は現在でも同じと考えられる。

コンピュータのソフトウェアの対価については、初めのうちは付属物で無償という通念で取引された。しかし、ソフト費の比率が高くなると大きな問題となり、使用者側でも次第に考え方をえるようになった。根本的にはソフト費を人件費コストと見るか、完成品の対価と見るかは、現在でも見解の分かれるところであろう。

メーカーからの協力については多岐にわたり、ここで詳しく説明できないが、初めに述べたように鉄鋼の計測・制御の発展に寄与したことは絶大で感謝に耐えない。その中には制御システムの海外輸出における協力も含まれる。

また、必要によっては新技術開発のために共同研究をお願いすることがあったが、利害関係を越えて長期間協力していただいた。新しいセンサの開発などでは、鉄鋼側としても多大な成果となったことについて深く感謝するところである。

7.4 計測部会について⁴⁾

計測部会の前身は鉄鋼協会熱経済技術部会熱計器専門委員会であるが、当委員会はその後昭和30年に計測分科会として再編成された。しかしこの分野の進展にともない、コンピュータ制御システムなどが加わり、かつ対象範囲も熱設備に限定されなくなった。このような事情から、昭和35年に熱経済技術部会から分離独立して新たに計測部会となったのである。その活動を見ると、昭和36年2月に第一回の部会が開催されて以来、昭和51年2月で第62回を迎えた。その時点でのメンバーは鉄鋼会社16社、計測・制御機器メーカー15社および若干名の学識経験者から構成された。当時の部会は年に三回開かれ、毎回100名を越す出席者があった。2日間の日程であったが提出資料が多く、時間切れになることが多かった。会場はメンバーの鉄鋼会社の製鉄所とメーカー各社が交代で提供し、部会終了後は現場

の新技術あるいはメーカーの新製品についての見学と紹介が行われた。

計測部会の構成メンバーは他の諸部会と異なり、鉄鋼以外に学識経験者とメーカーを加えている。これは発足以来のことで、当時は専門の技術者は皆年令的に若く、部会長には幹事会社の役員または本社の部長クラスが選ばれていたが、専門技術についての指導と方向づけのために学識経験者の代表として東京大学計数工学科の教授に副部会長をお願いしていたのである。また、メーカーの参加の目的は、使用者側は機器の進歩と技術の情報の入手を効率化するため、またメーカー側は使用者のニーズの動向と新技術をより正確に知り、協力して鉄鋼生産における計測・制御の高度化するニーズに応えるためであった。

計測部会には計測・制御以外にはかり(秤)についての専門グループとして秤量分科会が設置されていた。製鉄業は運搬業の異名をもつほどはかりは重要である。はかることは重量計測であり、計測の一環であるが、古く江戸時代からの中央または地方政府の管理下に置かれていた伝統と因習があり、そのために秤量器は一般の計測機器とは業界を含めて別個に扱われていた。計測部会に秤量分科会が設けられたのもこの経緯による。しかし、昭和26年に旧度量衡法が廃止されて新たに計量法が施行された以後は、はかりの管理は取引用を除き、使用者の自主管理となった。これと前後してはかり自体にも全機械式からロードセルによる電子式などの進歩があり、はかりは生産用の重要な計測器として計画され、管理されるようになったのである。

計測部会は当初から計測のみならず、「制御」や「システム」の問題を対象にして来た。しかし、部会名称は依然として計測に限られる印象を与えるものであった。これはその後になって計測・制御部会、さらに制御技術部会と改められ、名実ともに備わって現在に至っている。

8 むすびーもの作りは時代遅れかー

鉄鋼における計測・制御の発展の過程についていくつかのことを思い出すままに述べた。ひと口にいつて現在の状況は、初期のレベルからは考えられないような発展ぶりである。初めは無用かせいぜいアクセサリとしか考えられなかった制御システムは、今や生産に不可欠となり、生産と密着した。こうなったのは単に進歩した技術や設備、機器を導入した結果ではない。あくまでニーズに対してひたすら努力を続けてきた成果である。

かくして生産と計測・制御とは、それによって得られた効果のみならず、互いに影響し合って新しい生産様式や設備を実現させた。これは最近の注目すべき進歩である。制

御をより容易にするためのプロセスの変更、メンテナンス・フリー・システム、より高い応答速度を追求した結果としての圧延主電動機の交流化（ベクトル制御）などの設備改善にその実例を見る⁶⁾。計測・制御と生産とは、今後も緊密な関係のもとに進歩するであろうし、この進歩に大いに期待したい。

その一方ではもの作りは時代遅れだという世の風潮がある。情報関係の華々しい進出に刺激された軽薄な考えである。なるほど情報技術は画期的な便益をもたらした。しかし、それは生産をより活性化するために多大の効果はあるが、生産に取って代ることはできない。生産は人間の生活にとってあくまで必要であり、まだまだ解決、改善すべき問題が山積している。計測・制御、それに情報を含めて生産と一体となり、今後とも健全に進展すべきものであることを忘れてはならない。

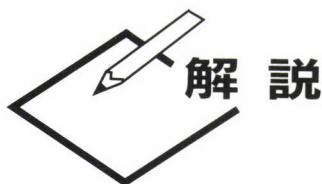
最後になるが本稿執筆には、当時の計測部会幹事であっ

た藤井國一氏（現(株)ニレコ）から有益な助言を戴いた。ここに厚く御礼申し上げる。

参考文献

- 1) 熱経済技術要覧 計測編, 日本鉄鋼協会編, 丸善(株), (1953)
- 2) 自動制御便覧, 自動制御研究会, (株)コロナ社, (1957)
- 3) 鉄鋼業のコンピュータ・コントロール, 野坂康雄編著 産業図書, (1970)
- 4) 野坂康雄, 中沢尚次, 藤井國一: 鉄と鋼, 62(1976), 1278
- 5) 北森俊行: 材料とプロセス, 6 (1993), 1200
- 6) 歳弘卓也: 鉄と鋼, 79 (1993), 272
- 7) 野坂康雄: 産業システム制御, (社)計測自動制御学会, (株)コロナ社, (1994)

(1997年7月1日受付)



熱間圧延におけるエンドレス圧延の誕生

二階堂英幸

川崎製鉄(株) 千葉製鉄所 熱間圧延部 熱延技術室 主査

Hideyuki Nikaidou

市井 康雄

川崎製鉄(株) 千葉製鉄所 制御技術部 制御技術室 主査

Yasuo Ichii

The Birth of Endless Finisher Rolling in Hot Strip Mill

1 はじめに

1996年、川崎製鉄(株)千葉製鉄所第3熱間圧延工場において、世界で初めて仕上圧延の連続圧延が開始された。従来、約2分ピッチで間欠的に行われていた仕上圧延が、20分から30分間延々と続けられるようになった。まさに“エンドレス圧延”が誕生したわけである。

過去に多くの熱延技術者がエンドレス圧延を夢の圧延と思い描いていたように、エンドレス圧延には、多くの利点がある。先行する板の尾端と後続する板の先端は接続されているため、仕上げスタンド間の張力は維持され、非定常かつ不安定な圧延条件が排除される。このため、従来のバッチ圧延では永遠の課題とも言われていた先端の曲がりや尾端の絞り込みは、全く発生しなくなる。ひいては、従来圧延が困難であった1.2mm以下の極薄鋼板を安定的に製造することが可能となる。また、連続した圧延では、仕上げ出側のテーブルローラー上での板の飛び跳ねが生じないた

め、先頭材を除いて通板速度を上昇させることができ、全長にわたって品質の均一化や生産性を向上させることができる。さらには、連続的に圧延されていることを利用して、潤滑圧延や仕上げミル出側での強冷却などが安定して行えるようになる。

以上のように、エンドレス圧延には従来の圧延にはない多くの利点が存在する。しかしながら、エンドレス圧延を実現するには、シートバーの接合技術の開発をはじめとして非常に多くの技術開発が必要である。

本報では、エンドレス圧延を実現するにあたって当社で開発してきた主要な技術について述べる。

2 エンドレス圧延における主要開発技術

図1に、エンドレス圧延を実現するために開発された主要な技術を示す。これらの技術は、およそ4つに大別され

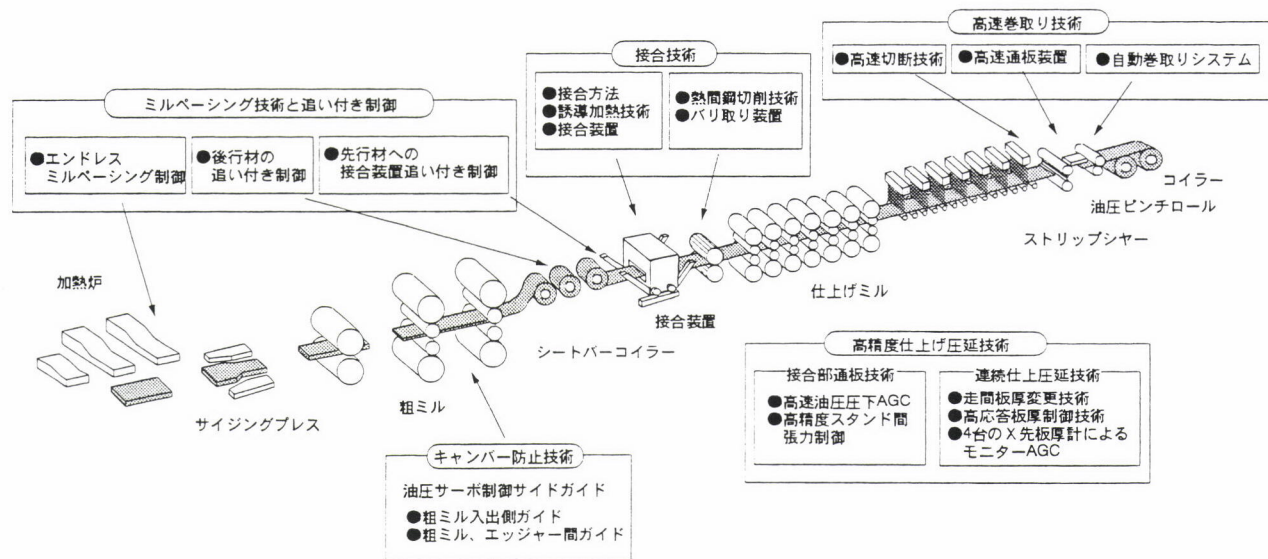


図1 エンドレス圧延実現のための主要な開発技術

る。その第1の技術は、シートバーの接合技術である。シートバーの最適接合方法の決定に始まり、接合技術の開発、さらには接合装置、バリ取り装置の開発が行われた。第2の技術は、接合装置にとぎれることなくシートバーを供給するための技術である。エンドレスミルペーシング技術と、シートバーコイラーから払い出された後行材を先行材の尾端に追いつかせる追い付き制御技術などが開発された。第3の技術は、高精度の仕上圧延技術である。接合部の安定通板技術と連続した板を目標通りの板厚に仕上げる走間での板厚変更技術などが中心的技術として開発された。第4の技術は、連続的かつ高速で通板している板を分割しコイラーで交互に巻き取る高速巻き取りの技術である。

なお、いずれの技術にも共通していることであるが、エンドレス圧延は加熱炉からコイラーまで完全に自動化された環境の元に成り立っている。熱間圧延ラインの完全自動化技術は、エンドレス圧延を実現させるための基盤技術としてその根底に存在している。

3 シートバー接合技術の開発

3.1 最適接合方法の決定

エンドレス圧延を実現するためにシートバー接合に要求される条件は、まず第1に、厚さ20mmから40mm、幅1900mmにもおよぶ断面のシートバーを、短時間で接合することである。熱間圧延では、目標とする材質を得るためには圧延材の温度低下はほとんど許されず、仕上圧延の入側で接合するために許容される時間は十数秒程度の非常に限られたものとなる。第2の条件は、たとえ短時間で接合できたとしても、張力を付加された状態の仕上圧延において破断しないだけの接合強度が要求される。

シートバーの接合方法については、重ね圧延圧接法²⁾、突き合わせ圧接法³⁾、テルミット溶接法⁴⁾、レーザー溶接法⁵⁾、ジグソーによる機械的接合法⁶⁾、還元炎処理接合法⁷⁾、誘導加熱接合法⁸⁾、直接通電接合法⁹⁾など種々の方法が提案されている。圧延圧接法は、仕上げ圧延の変形を積極的に利用することで接合するものであり、接合に要するエネルギーが圧倒的に少ないという利点がある。しかしながら、当社の実験では、接合界面にスケールなどの酸化物がわずかに残存すると十分な接合ができないという結果が得られており、信頼性の高い接合強度を確保するには問題がある。テルミット溶接などの溶接法は、技術的には可能であるが接合時間を十分短くできないという基本的な問題があり、実現性には乏しい。電流による加熱を利用した方法に、誘導加熱法がある。誘導加熱法は、材料に接触することなく大電流を板に誘起することが可能であり、短時間での接合を

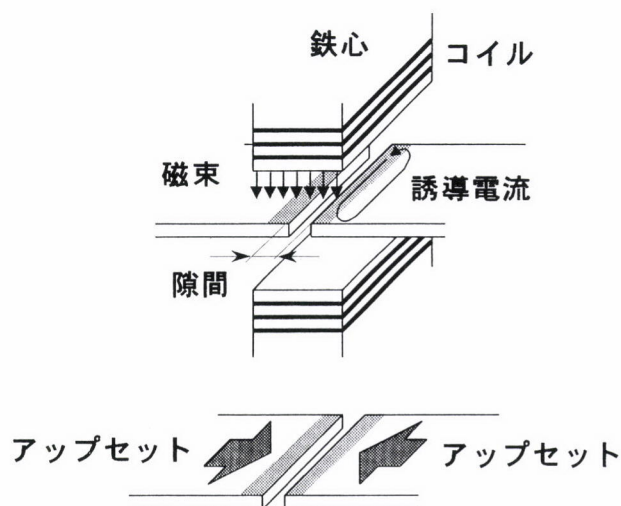


図2 誘導加熱接合の原理

可能とする。また、電流を板に供給するための接触部が無いいため、スパーク等により板に疵が発生することもない。さらに、電縫管製造での接合実績もあり、接合強度が不足するという観点からの問題もほとんどない。

いずれの接合方法を採用したとしても、現有の技術そのまま適用することはできず、非常に難しい技術開発が必要と推定されたが、短時間接合、接合強度の信頼性の観点からみると、シートバーの接合方法としては、誘導加熱による方法が最適と判断された。

3.2 誘導加熱接合の特性

誘導加熱接合の原理を図2に示す。先行材の尾端と後行材の先端との間にわずかの隙間をあけておき、この状態で板厚方向に交番磁界を印加すると、誘導加熱装置の磁束を打ち消す方向でかつ接合端面に集中した誘導電流が流れる。シートバーの端面は、この誘導電流によるジュール熱により発熱し昇温する。引き続いて、加熱面がアップセットされると接合が完了する。

この誘導加熱の原理を接合プロセスに適用するために、インダクタ容量の決定やインダクター鉄心寸法の最適化、コイル電流やコイル電圧と接合部の昇温速度との関係の把握、幅方向の昇温特性の把握と均一化などが重要な課題であった。また、実用性の観点から、接合面の設定精度のばらつき、すなわち、インダクター中心に対する板端面の位置合わせ精度、あるいは板間隙間の精度に対する昇温速度の変化の把握も重要である。

図3に、実機の加熱試験により得られた昇温特性を示す。実験点は最高昇温速度に対する板幅方向各点の昇温速度比率を示している。幅方向に均一に昇温しており、ほぼ全幅

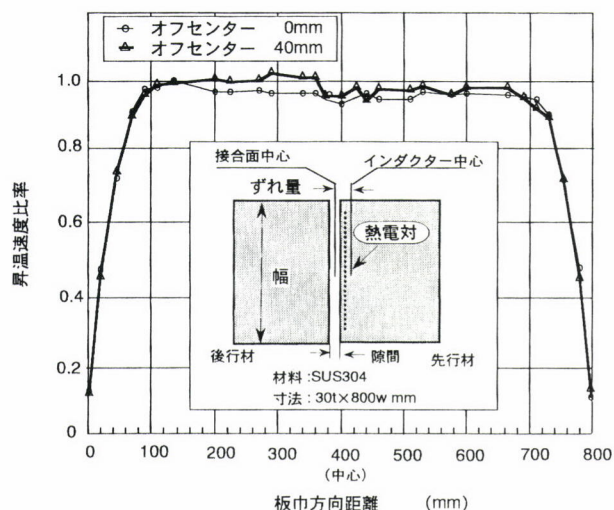


図3 実機の誘導加熱装置による昇温特性

にわたって接合可能なことがわかる。同時に、1例として、接合面の位置が圧延方向に40mmずれた場合の昇温速度の変化を示す。値は、位置がずれなかった場合を基準として示している。昇温速度はほとんど変化しておらず、設定誤差に影響されにくい安定な加熱方法と言える。

3.3 接合装置の開発

先行するシートバーに後続するシートバーを追い付かせて接続する方法には、冷延工場のプロセスラインのようにルーパーを用いて接合点を停止させた状態で接合する方法と、通常の圧延速度で圧延しながら接合する走間での接合方法とがある。前者は設備的には実現可能と推定されるが、熱間圧延ラインにおけるルーパーでは、ロールとの伝熱によりシートバーの温度が低下したりシートバーの曲げ変形において発生するスケールが散乱して板に噛み込んだりするなど、品質上解決しなければならない問題が多い。これに対して、走間での接合では、シートバーの移動速度が速くなるため、先行材に対する接合装置の位置合わせや後行材の追い付きが難しくなるが、品質上の問題はない。したがって、接続方法としては、走間方式が最も適していると考えられる。

図4に走行状態の接合機の外観を示す。走間式の接合を実現するために接合装置の前後には、昇降可能なテーブルを設置しており、接合装置が走行する前方のテーブルは接合装置の下に潜り込むまで下降し、後方のテーブルは逆にパスライン位置まで上昇する動作を行う。従って、シートバーは、接合装置と順次下降と昇降を繰り返す昇降テーブルとで支持される。

接合装置の内部には、接合端面を加熱する誘導加熱装置、板をクランプするクランプ装置、クランプした板をアップ

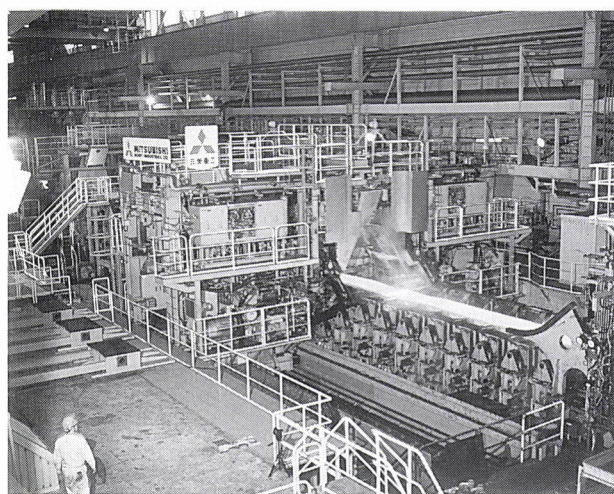


図4 接合装置の外観

セットするアップセット装置が設置されている。また、先行材の端面と後行材の端面が幅方向にずれないようにセンタリングガイドを設置している。誘導加熱装置は今回のシートバー接合のために開発されたものであり、厚さ20～40mm、幅800mm～1900mmのシートバーの接合端面を3～5sという短時間で接合温度まで昇温することが可能な、非常に高性能な誘導加熱装置である。

3.4 バリ取り装置

アップセット後の接合部に生じた盛り上がりの部分、いわゆるバリをそのまま圧延すると圧延により押し込まれて折れ込みが発生する。また、仕上ミルのロール表面に疵をつける原因ともなる。したがって、仕上ミルに入る前にこれらを除去しなければならない。

しかしながら、1000℃を越える熱間鋼を切削した実績はほとんど無いため、切削方法や切削条件の把握あるいは工具の開発など、ごく基礎的なところから技術開発に取り組んだ。種々の方式による切削実験を繰り返した結果、特殊な工具を用いた切削法を開発し、実機化した。実機は、回転する工具と、上下の工具の圧下を行う油圧圧下で構成されており、シートバーの上下面のバリを全幅同時に切削している。

4 高精度ミルペーシング技術と走間接合技術

4.1 エンドレスミルペーシング技術

エンドレス圧延におけるミルペーシングの最も重要な役割は、後行材が接合装置の走行開始位置で圧延中の先行材に追いつくように加熱炉からの抽出ピッチを決定すること

である。加熱炉からの抽出が早すぎると、材料は待機することになりシートバーが冷えるという問題が発生する。一方、遅いと当然のことながら接合できなくなる。まさに、予測が的中することが要求される。

このため、各ミルの圧延時間の予測やミルの開度あるいはサイドガイドの開度といった設定替え時間の予測、さらにはシートバーコイラーでのコイルの巻き取りや払い出し動作時間の予測などを高精度化している。また、シートバーが連続して接合できるように、接合ユニット内の材料1本毎の抽出ピッチをユニット抽出前の事前の計算により予測し、最適抽出タイミングの調整を行っている。また、圧延が実行されると、予測時間と実績時間との差を以降の抽出材に反映し、より精度向上を行うフィードバック制御機能も備えている。図5に、搬送スケジュールの計算例を示す。先行材の尾端と後行材の先端は、接合装置の位置で重なっており、問題なく接続されている。現状の実績では、シートバーコイラーの待機時間のばらつきは、±3秒以内に収まっており、安定なエンドレス圧延の実現に寄与している¹⁰⁾。

4.2 後行材の追い付き制御

シートバーコイラーで巻きとられたコイルは、先行材の尾端に追いつくように巻出される。この後行材の追い付き制御は、シートバーコイラーから払い出すタイミングの決定と、巻出し以降の速度を制御する2つの制御から成っている。払い出しのタイミングは、先行するシートバーの速度が仕上圧延における走間板厚変更や加速あるいは減速圧

延により変動することを考慮して決定されている。シートバーが払い出されてからクロップシヤーに到達するまで、後行材は先行材に連続してクロップカットされるように間隔を保って搬送され、クロップシヤーカットが完了すると、先行材の尾端に突き合わせる接近搬送制御が行われる。

4.3 接合装置の追い付き制御

走間で接合するために、接合装置は先行材の尾端位置に追い付き、いわゆる追い付き制御を行っている。この制御では、先行材の尾端を接合装置が自動的に認識して、最適なタイミングで走行を開始するとともに、尾端が接合装置内のインダクターの中心に一致するように接合装置の速度制御を行う。通常、接合装置内に先行材の後端が入ってから3秒以内に位置決めを完了している。この位置決めと上記の接近搬送制御とはほぼ同時に完了し、誘導加熱のための準備が整えられる。

これらの追い付き制御システムの開発により、走間での接合が安定的に行われている。

5 仕上げ圧延技術の開発

5.1 接合部通板技術

シートバーを加熱・アップセット接合したことによる接合部分は、母材部分よりも温度が高い。このため圧延荷重の急激な低下や、これに伴うスタンド間張力の変動が発生する。また、材料強度も高温部分は母材よりも低い。従って、エンドレス圧延には、通常の圧延にはない破断の危険性が潜んでいる。

このような接合部破断の危険性を回避するために、接合部の温度外乱等による張力変動を低減する制御を実施している（図6参照）。張力変動の低減には、仕上ミルの全スタンドに高速周期のAGCを適用し、まず温度変動による板厚変動をできるだけ低減させる。さらにルーパーに多変数制御、すなわち張力を主機のモーターの速度制御系にフィードバックする張力制御とルーパー角度をルーパー角速度制御系にフィードバックするルーパー角度制御の2つの制御ループで構成された制御を導入して張力変動を小さくする方法をとっている¹¹⁾。

5.2 連続仕上圧延技術

エンドレス圧延では、通常6～10本、最大15本の連続圧延を実施している。このため、自在な板厚接続に対応する走間板厚変更技術と、エンドレス圧延の最終材まで目標板厚を継続して得るための高精度板厚制御が重要である。

走間板厚変更を安定的に実施するため、圧下等の目標位

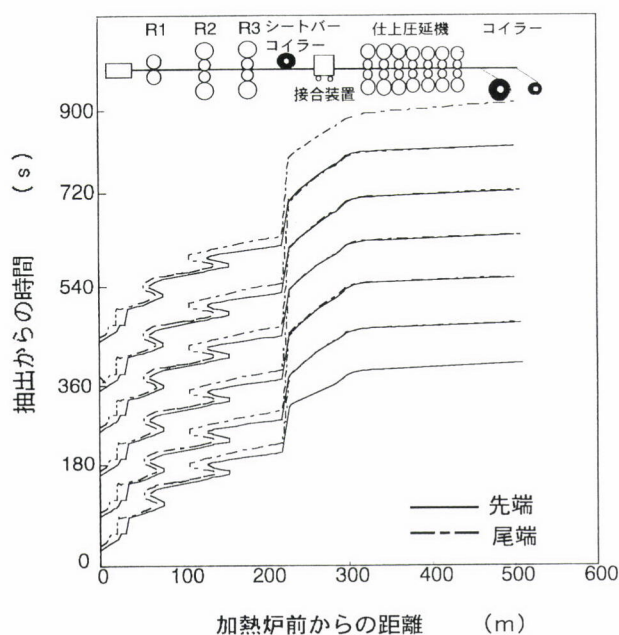


図5 エンドレス圧延におけるミルペーシングの1例

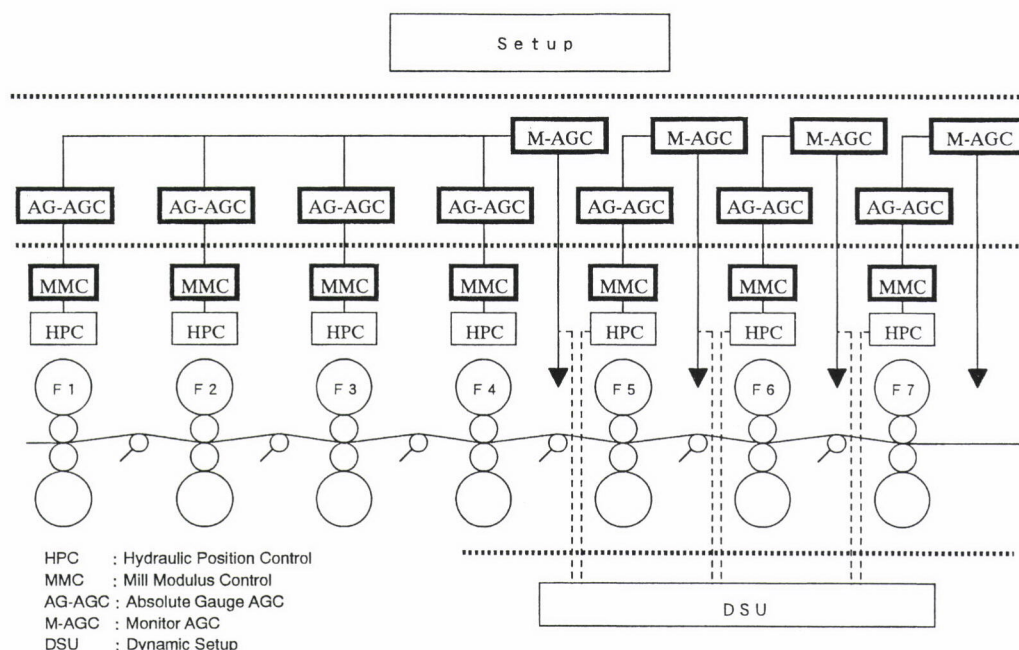
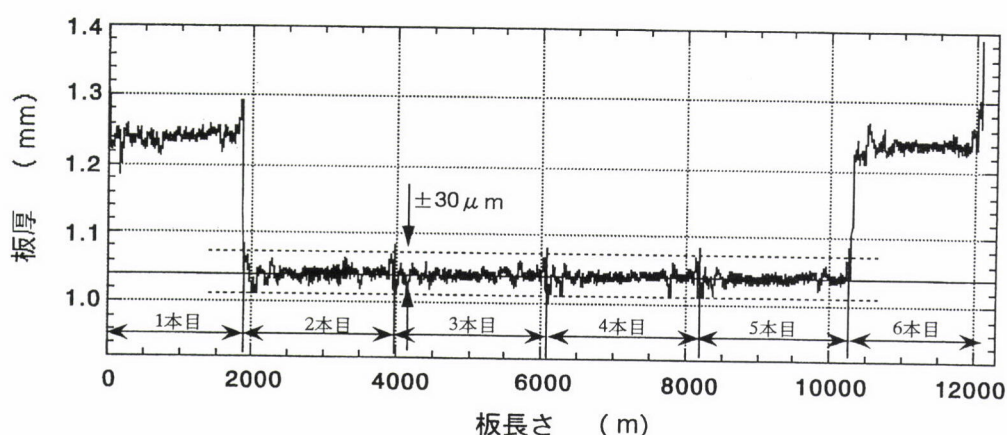


図6 仕上ミルにおける板厚制御システムの概要


 図7 1.0mmエンドレス圧延の板厚
 (1.26→1.06→1.06→1.06→1.06→1.26×1200)

置を正確に予測する高精度セットアップ技術、各スタンドの圧下タイミングを材料の走間板厚変更位置に一致させる高精度トラッキング技術、また歩留りの低下を防止するために可能な限り短時間でロール開度を変更する全スタンド高速油圧圧下装置、走間板厚変更に伴うスタンド間の体積速度の変化に対して張力変動をなくすマスフロー制御および多変数のルーバー制御技術を開発している。

また、極薄材など連続して圧延する場合に、板厚精度を維持するためには、各スタンドの板厚を従来以上に精度よく制御する必要がある。このため、変形抵抗等の予測精度の向上はもとより、ミル定数可変制御、絶対値AGC等を組み合わせた高応答の板厚制御を実施し、また、F4ミル以降の各スタンド出側にはX線板厚計を設置して、AGCで修

正しきれないわずかな板厚誤差を修正している¹¹⁾。

図7に、1.0mmを含むエンドレス圧延の板厚チャートを示す。板厚精度は、最終材まで、 $\pm 30\mu$ を継続して達成している。走間板厚変更部での変動もほとんどない。

6 高速巻き取りコイラー

連続圧延がすでに実施されている冷間圧延における板の切断は、板速を400mpm程度まで減速してから行われる。また、板先端の巻き付き速度についても、熱延のバッチ圧延ですら、せいぜい800mpm以下である。このような実績に対して、エンドレス圧延では、仕上圧延の速度を維持しつつ巻きとることを目標として、最高1200mpmの高速で通板

する板を切断すること、最少板厚0.8mmの板を飛び跳ねることなく通板することに主眼をおいて開発に取り組んだ。

今回開発した高速ストリップシヤーは、あらかじめ板と同期速度で上下ドラムを回転させておき、板の切断位置で上下のドラムギャップを閉して切断する方式をとっている。すなわち、ドラムの回転とドラムの開閉を分離することで高速切断を可能としている。また、板の切断位置で上下ドラムの刃が切断可能な位置となるように回転数を微調整する機能と、刃の切断位置でドラムを時間ずれなく閉させる機能を備えており、切断精度の高いコンパクトな装置となっている。

一方、高速通板装置は、図8に示すように、テーブルローラーの上面に取り付けた、いわば上面ガイドのようなものであり、切断後の後行材の先端が飛び跳ねるのを防止する装置である。このガイドは、板幅中央部を浮上させる機能を備えており、板の走行抵抗を減少させつつ板の剛性を上昇させており、薄板の通板性を飛躍的に向上させている。

もう1つの重要な技術として、巻き取りの全自動化を達成している。エンドレス圧延では、従来オペレーターが介入せざるを得なかったピンチロールギャップの調整等を行う時間的余裕はもはやなく、全自動化は必須の技術である。このため、第3熱間圧延工場の建設における自動化の推進とも同調して、ピンチロールの圧下に油圧サーボ圧下装置を導入し、ピンチロールの微妙な押し力の調整を可能とした。また、種々のパターンのピンチロール押し力や張力制御による自動巻き取り制御システムを開発することにより、完全自動化を完成させ、安定的な高速巻き取りを実現している¹⁰⁾。

7 おわりに

エンドレス圧延を実現するための根幹の技術、すなわち接合技術、高精度ミルペーシング技術、仕上げ圧延技術、高速巻き取り技術の概要を示した。エンドレス圧延の開発や他社の研究がほとんど公表されていないため、当社で開発した経緯や技術の内容のみを述べることにした。エンドレス圧延にとって最適な技術は何かという議論がいずれ必

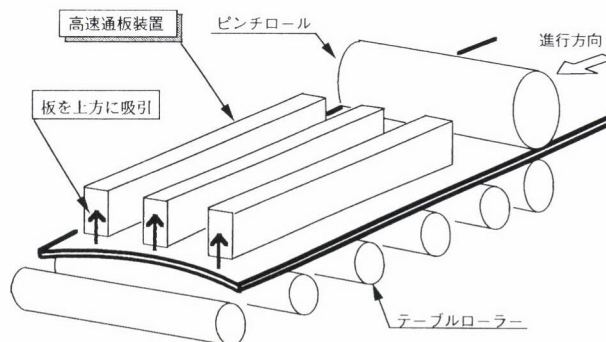


図8 高速通板装置による板の搬送

要と思われるが、いずれにせよ熱間圧延にとって連続化という新しい第1歩を踏み出したことは事実である。熱間圧延による廉価な極薄鋼板の製造はもとより、エンドレス圧延を活用した新技術や新製品の開発が、今後大いに期待される。

最後に、エンドレス圧延の開発において、三菱重工(株)、三菱電機(株)の方々をはじめとして、石川島播磨重工(株)、(株)東芝の方々に多大なご協力をいただきました。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- 1) 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)4,224
- 2) 新日本製鉄(株)：特開昭 51-112458
- 3) 石川島播磨重工(株)：特開昭 60-240305
- 4) 石川島播磨重工(株)：特開昭 60-191681
- 5) 新日本製鉄(株)：特開平 6-516875
- 6) 石川島播磨重工(株)：特開昭 60-148685
- 7) 住友金属(株)：特開平 4-200907
- 8) (株)日立製作所：特開昭 60-244401
- 9) 川崎製鉄(株)：特開昭 61-159285
- 10) 吉村宏之，川瀬隆志，前田一郎：川崎製鉄技報，28(1996)4,231
- 11) 今江敏夫，野村信彰，三吉貞行：川崎製鉄技報，28(1996)4,219

(1997年7月14日受付)

本会情報一覧

記事内容	掲載号
会費等納入についてお願い	本号 830 頁
ISS主催行事予定	本号 830 頁
第 135 回春季講演大会 一般講演募集案内	本号 831 頁
第 135 回春季講演大会 予告セッションへの講演申込のお誘い	本号 833 頁
講演大会参加方法のご案内	本号 834 頁
第 135 回春季講演大会 討論会講演募集案内	本号 834 頁
第 135 回春季講演大会 学生ポスターセッションでの発表のお誘い	本号 836 頁
第 13 回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会および第 2 回学生セミナーのお知らせ	本号 837 頁
「品質計測における信号処理技術」フォーラム見学会のご案内	本号 839 頁
平成 10 年度俵・澤村論文賞候補論文推薦に関するお知らせ	本号 840 頁
日本鉄鋼協会ホームページ東京ミラーサイト設置のお知らせ	本号 841 頁
日本鉄鋼協会専務理事交替のお知らせ	10 号 765 頁
サイエンス・ボランティア募集案内	10 号 765 頁
平成 9 年度重点研究採択結果のお知らせ	10 号 766 頁
学会部門からの評議員候補者推薦募集	10 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	10 号 768 頁
セミナー「技術者のための鉄鋼材料入門」開催案内	10 号 768 頁
ステンレス鋼の耐熱性試験自主フォーラム研究会開催案内	10 号 769 頁
GALVATECH'98 国際会議アブストラクト募集の案内	9 号 693 頁
日本鉄鋼協会助成金受給者決定のお知らせ	8 号 621 頁
材料の組織と特性部会「自主フォーラム」発足の案内	8 号 625 頁
出版案内	7 号 555 頁

学会部門

計測・制御・システム工学部会

「品質計測における信号処理技術」フォーラム 見学会のご案内

本フォーラムでは、下記の要領で生命工学工業技術研究所の見学会を予定しています。
SQUIDによる微小磁場計測など興味深いテーマがありますので、みなさまの積極的な参加をお願いいたします。

- 日時：1997 年 12 月 5 日（金） 13：30 ～ 16：20
- 場所：工業技術院生命工学工業技術研究所（茨城県つくば市東一丁目 1-1）
 - ・東京駅から常磐高速バス 1 時間程度 並木大橋下車 徒歩 15 分
 - ・上野駅から J R 常磐線荒川沖駅下車タクシーで約 10 分
- 内容：
 - (1) 生命工学工業技術研究所の御紹介 …………… 人間環境システム部 高橋昭彦
 - (2) 歩行パターン計測で評価する生体の適応能力 …………… 人間環境システム部 横井孝志
 - (3) 骨格筋の活動電位パターンからみた神経支配の構造 …………… 人間情報部 増田正
 - (4) 触覚イメージングセンサーによる手の把握感の研究 …………… 人間環境システム部 佐藤滋
 - (5) 微小磁場計測とその評価手法に関する基礎的研究 …………… 人間情報部 武田常廣
- 定員：先着 30 名まで
- 参加費：無料
- 申込み締切：1997 年 11 月 21 日（金）
- 申込み方法：参加希望者は、氏名、所属、連絡先（住所、TEL、FAX、E-mail）を申込み締切日までに下記宛お申込み下さい。
申込み到着次第、折り返し詳細をご連絡いたします。
- その他：フォーラムメンバー以外の方でも会員ならどなたでも参加できます。

申込み・問合せ先：(株) 神戸製鋼所 生産技術研究所 和佐泰宏
〒 651-22 神戸市西区高塚台 1 丁目 5-5
TEL. 078-992-5611 FAX. 078-992-5644 E-mail: wasa@elelab.kobelco.co.jp

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			
11月 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日	第17回疲労講座「表面硬化処理材の疲労強度－その基礎と応用－」（大阪）		本号 842頁
6,7日	第14回セラミック・セミナー（東京）		10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日	東北支部 岩手地区講演会（盛岡）		本号 840頁
7日	第116回腐食防食シンポジウム（東京）		本号 842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）		10号 771頁
12日	シンポジウム「日本圧力容器研究会（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	10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）		10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）		10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セミナー（千葉）	1997/9/1	7号 542頁
20,21日	金属学会セミナー「放射光ならびに中性子線の材料科学への応用」（東京）		本号 842頁
20,21日	平成9年度材料科学基礎講座「最近の電子顕微鏡による材料評価」（東京）		本号 842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）		10号 770頁
25,26日	第3回初心者のための分子動力学講習会（京都）		本号 842頁
26日	東海支部 第7回「学生による材料フォーラム」（名古屋）		本号 840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
27,28日	超高温材料国際シンポジウム'97 in たじみ（多治見）		本号 842頁
27,28日	日本学術振興会耐熱材料第123委員会創立40周年記念講演会－21世紀を目指す耐熱材料－（東京）		本号 842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）		10号 769頁
28日	第77回塑性加工講習会「最新の制御・AI理論と塑性加工」（東京）		本号 842頁
28日	機械技術協会講演会「光応用計測技術のトレンド」（東京）		本号 842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 2日	東海支部 学術討論会「自動車製造における材料と加工技術の開発動向」（名古屋）		本号 841頁
3,4日	「光を応用した表面探傷技術シンポジウム」（東京）		本号 842頁
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
4,5日	第3回流動層シンポジウム（名古屋）		本号 842頁
5日	「品質計測における信号処理技術」フォーラム見学会（つくば）	1997/11/21	本号 839頁
5日	東北支部 湯川記念講演会（秋田）		本号 840頁
9日	第177回塑性加工シンポジウム「冷間鍛造：精度はどこまであげられるか」（東京）		本号 842頁
1998年			
3月 4～6日	第2回学生セミナー（知多）	1998/1/19	本号 838頁
6,10～12日	第13回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会	1998/1/19	本号 837頁
16日	第14回塗料・塗装研究発表会（東京）	1997/10/20	10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
4月 1～3日	第135回春季講演大会（東京）	1998/1/8	本号 831頁

編集後記

「技術大国日本」 技能五輪国際大会において惨敗。圧勝を続けていた60年代の勢いはもうない。

日本の若い技術者が取り組んでいる姿を某TV局が克明に紹介していたが、その取り組みに感動しつつもその結果は上記のとおりであり、「技術大国日本」は今や昔である。

常勝韓国、台湾の中に、かつての技術国の名門スイス、ドイツが金メダル獲得の上位に位置したのに比べると、日本の技術力に危機感を抱いたのは私だけではないと思う。

国際化とハイテク化が一面でのキーワードになっているが、もう一つのキーワードが技能伝承である。9月号の特別講演で空洞化による生産の学習効果の場が失われることへの警鐘がなされており、「技術大国日本」の再生は、今現在の重要なテーマである。

戦後半世紀 豊かな社会と暮らしを支えてきた産業技術の足跡を紹介する「産業技術歴史展 テクノフェスタ21」が、平成9年8月8日から8月28日まで3週間にわたりパシフィコ横浜において開催された。小中学生とそのご両親、高校生、大学生、先生方と広い層の皆様が来場され、様々な体験を通し、生産技術・現場のおもしろさを体験されたものと思われる。鉄鋼のブースにも多数の来場者があり、生活を支える鉄がより一層身近なものとなり、鉄鋼業の紹介に大いに役だったものと思われる。

製造業は復活しつつあるものの、高齢化の進展とともに高質労働力の確保と熟練労働力の確保の為の検討が必要である。匠の技、ハイテクマイスター。

(Y. 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(株))	川田 豊 (株神戸製鋼所)	北村 高士 (株ニューマーケット)
久保田 猛 (新日本製鐵(株))	小林 正人 (株日本鉄鋼連盟)	今野 美博 (住友金属工業(株))
下川 成海 (株日本鉄鋼協会)	手塚 誠 (株日本鉄鋼協会)	成島 尚之 (東北大学)
古田 修 (愛知製鋼(株))	丸山 俊夫 (東京工業大学)	柳 謙一 (三菱重工業(株))
山下 孝子 (川崎製鉄(株))		

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

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

1996年5月10日第三種郵便物認可 1997年11月1日印刷納本・発行 (毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館内 内仲康夫

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

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

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021(代)

学会部門事務局: 03-3279-6022(代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023(代)

FAX: 03-3245-1355(共通)

郵便振替 口座東京 00170-4-193 番

(会員の購読料は会費に含む)

© COPYRIGHT 1997 社団法人日本鉄鋼協会

複写される方に

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

学協会著作権協議会

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

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

Copyright Clearance Center, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

表紙デザイン 出澤 由野

心らむ Vol.2 No.11 広告目次

表2 丸本ストルアス(株) 試料準備機器

記事中 (株)エビス 金属凝固現象
シミュレーションシステム

後2 富士電波工機(株) 各種試験機

前1 (株)マツボー 高精度レーザー測定器

後1 本誌広告目次

表3 日本ミンコ(株) サンプル・サンブラ

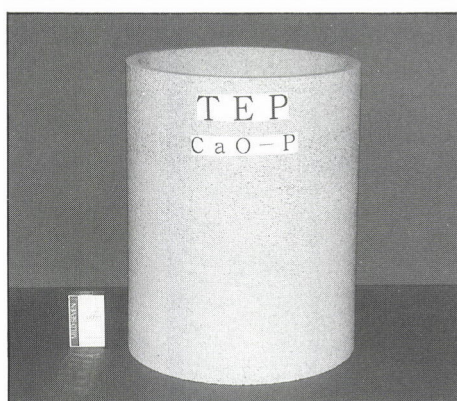
前2 日新技研(株) 各種ラボラトリ装置

TEP(株) カルシアセラミックス

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

多孔質“カルシア”セラミックス CaO-P



φ360×φ320×h460(上図サイズ)

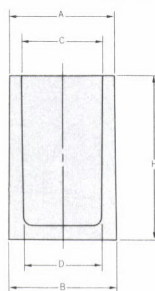
大形サイズの“るつぼ”“ノズル”等
当社独自の成形法で製作いたします。
ぜひ、使ってみて下さい!!

【用途】

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

るつぼ標準規格

寸法表▶



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

規格寸法以外もご相談に応じます。

熱の総合メーカー

TEP株式会社

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

INDUCTION HEATING & CONTROL

富士電波工機の試験機シリーズ!!

コンピュータシステムによるデータ処理

☆ **formastor-F** 全自動変態記録測定装置

CCT, TTTの急速自動測定

各種熱処理条件をシミュレートして変態測定

☆ **ThermoFINE** 高精度全自動熱サイクル再現装置

試片をマガジンにセットするだけで無人運転ができる

高周波加熱と通電加熱の併用で急速加熱ができる

自動化により再現精度が向上

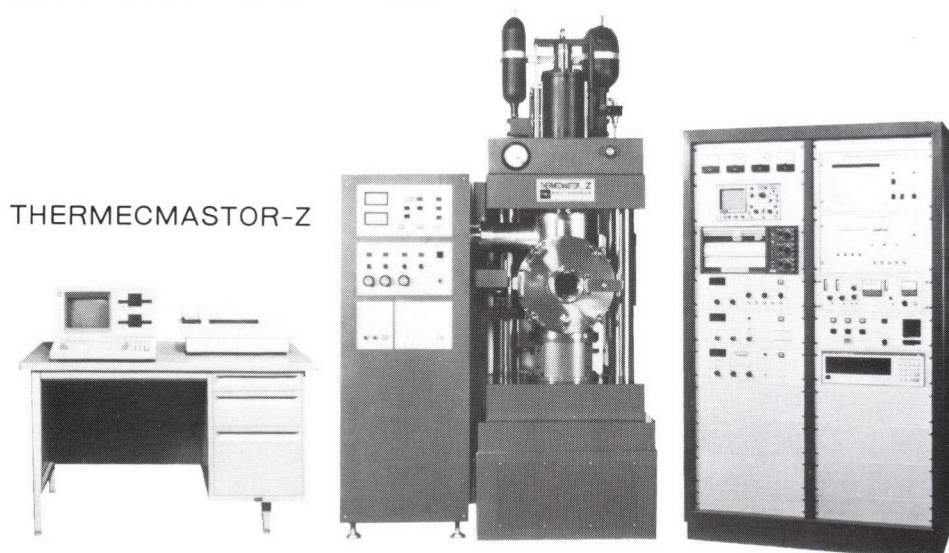
☆ **THERMECMASTOR Z** 熱間加工再現試験装置

熱間加工試験研究の決定版!

熱間における加工条件を正確に再現

変形抵抗・組織変化及び熱間変形時の延性を的確に測定

加工後の変態測定が可能



富士電波工機株式会社

本社・工場 埼玉県鶴ヶ島市富士見 6-2-22

(〒350-02) ☎(0492)86-3211 FAX (0492)86-5581

大阪営業所 ☎(06)539-7501 名古屋営業所 ☎(052)763-7511

Minco ミンコ・熱電対とサンプラー

品質向上のパイオニア

■ ミンコサンプラー (製鋼 製鉄 試料採取用)



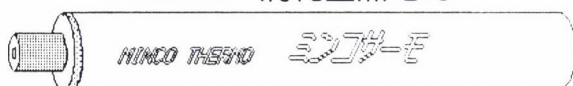
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

■ ミンコサーモ 消耗型熱電対

for IRONS, STEELS, FERROUS ALLOY

PT301型 消耗型熱電対



TYPE R(13%) IPTS 1968

白金・白金ロジウム

■ 標準試料

世界各国各社の製品を取り扱っております。

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

日本ミンコ株式会社

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

お問い合わせは

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

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



世界に通用します。

金属・鉱石・セラミックス、および各種無機物中

C・S・O・N・H元素分析装置 各種

炭素硫黄同時分析装置

CS-444型 (ASTM-E1019)

分析対象物：鉄、鉄鋼、非鉄金属、各種セラミックス、特殊合金、電子材料、鉱石等

— 広範囲高精度型 —

分析感度：0.1ppm (最小読取0.01ppm)

分析範囲：(1g試料) 炭素：6ppm～6.0%
極微量炭素：0.6ppm～0.5%
硫黄：0.6ppm～0.35%

分析時間：標準40秒

(極微量硫黄：0.3ppm～0.10% CS-444-LS型を利用下さい)

姉妹機種

炭素専用：IR-412
WC-200

硫黄専用：IR-432

C・S同時分析：CS-400、CS-200 ルーティン作業用
CS-444-LS 極微量硫黄分析用

CS-444型



寸法 W1550、H760、D700mm

酸素窒素同時分析装置

TC-436型 (ASTM-E1019, E1409, E1569)

分析対象物：鉄、鉄鋼、非鉄金属、各種セラミックス、電子材料等

— 酸素窒素分析最高級型 —

分析感度：0.1ppm (最小読取0.01ppm)

分析範囲：(1g試料) (50mg試料)
酸素 0.1ppm～0.1% 0～20%
窒素 10ppm～0.5% 0～45%
極微量窒素 0.1ppm～0.5%

分析時間：標準40秒

姉妹機種

酸素専用：RO-416DR 高感度機(0.1ppm)

窒素専用：TN-414 高感度機(0.1ppm)

酸素・窒素アルゴン同時分析：TC-436AR

TC-436型



寸法 W1400、H760、D700mm

水素分析装置

RH-404型 (ASTM-E1447)

分析対象物：鉄、鉄鋼、チタン、耐熱金属等

— 高純度金属の分析に最適 —

分析感度：0.01ppm

分析範囲：(1g試料) 0.1ppm～250ppm

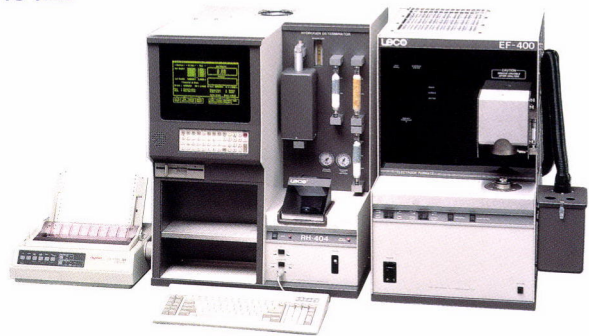
分析時間：標準180秒

姉妹機種 RH-402 超微量分析

分析感度：0.001ppm

アルミニウム、鉄鋼、チタン、フェロアロイ等

RH-404型



寸法 W1400、H760、D700mm

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



日本総代理店

LECO CORPORATION
U.S.A.

日本アナリスト株式会社



ISO-9001
No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

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