

Volume 2
No.3 1997

(社)日本鉄鋼協会会報

ふえらむ

Bulletin of

The Iron and Steel

Institute of Japan



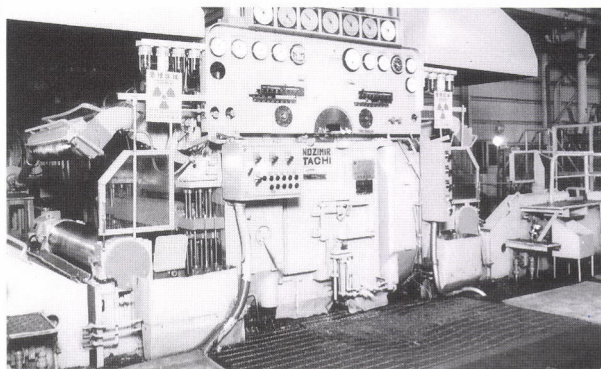
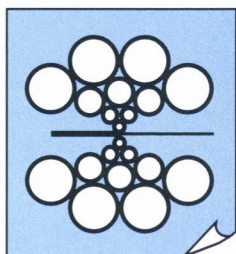
社団法人 日本鉄鋼協会
The Iron and Steel Institute of Japan

SENDZIMIR

最先端の技術が生きる 日本センヂミア製 圧延機 (20段及び6段)

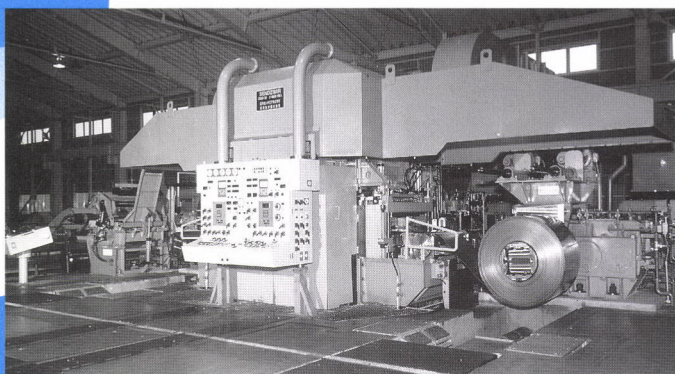
- 低設備費・短納期の実現
- 小径作業ロールと新形状制御機構
- 容易な極薄圧延・優れた平坦度

小型の20段センヂミアミルは
日本センヂミア (株) が製作納入致します。



小型センヂミア20 HIGH MILL

- 形状制御機構は
- 中間ロールシフト
 - 新AS・Uロールクラウン装置



センヂミアZ-HIGH MILL

- 形状制御機構は
- 中間ロールシフト
 - 中間ロールベンディング

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

日本センヂミア株式会社

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

日商岩井株式会社

重機械部 圧延機械課

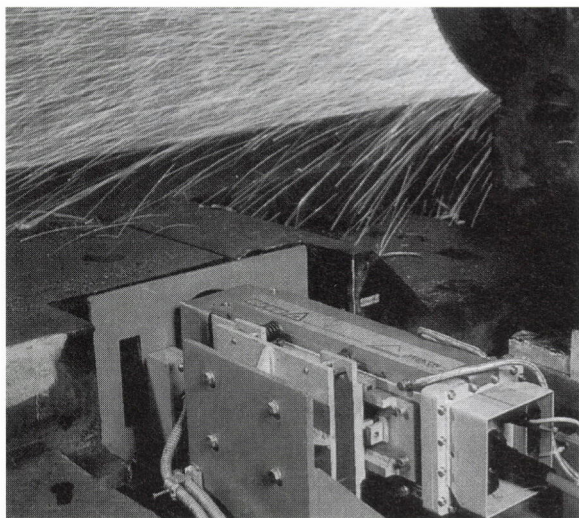
〒107 東京都港区赤坂2-4-5 ☎ 03-3588-2585 FAX.03-3588-4295

ドイツ／メザコン社 高精度レーザー測定器



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

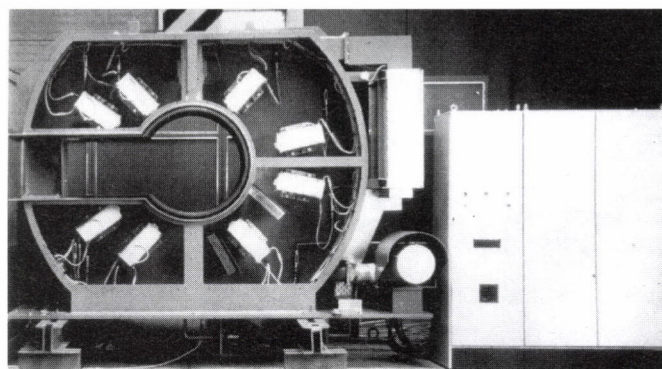
主仕様例 右図装置の場合

- ・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

高精度、高速応答、高信頼性

人と社会を豊かにするチノーの技術

CHINO



新形放射温度計

IRC SERIES

IRCシリーズは、高精度、高速応答の実現と、直視ファインダ、小形化など使いやすさを追求した新しい放射温度計です。

■IRCの特長

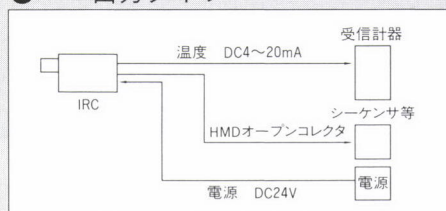
- 単色で10ms、2色で20msの高速応答。
(高速タイプで0.5ms)
- 測定温度範囲の広い単色・ワイド形用意。
- 放射率や視野欠けの影響を受けにくい2色形用意。
- 可動部がないため長期信頼性に優れている。
- 放射率遠隔設定機能や、HMD(熱塊検出器)機能、アイソレート出力など豊富なオプション。
- コストパフォーマンスに優れた価格。

用途に合わせて3タイプ

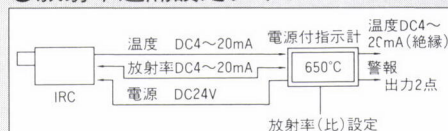
●基本タイプ



●HMD出力タイプ



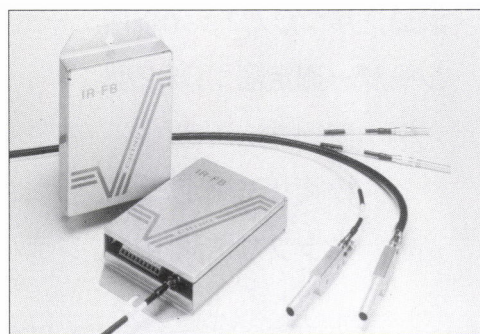
●放射率遠隔設定タイプ



ファイバ式放射温度計

IR-F SERIES

高精度、高速応答。耐熱形ファイバの採用で水冷せずに150°Cの環境でも計測可能です。80~3000°Cの温度範囲を低温用、中高温用、2色形、ワイドレンジ形の4種類でカバー。誘導加熱や防爆機器が必要な雰囲気、レーザ溶接にも使用できます。



計測技術で明日を拓く

株式会社チノー

〒173 東京都板橋区熊野町32-8 TEL.03(3956)2111(大代表)

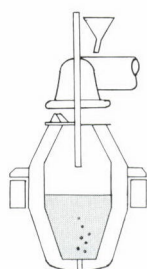
東京支店 03(3956)2205	北部支店(大宮) 048(643)4641	大阪支店 06(385)7031	名古屋支店 052(581)7595
東京北 03(3956)2401	札幌 011(757)9141	大津 0775(26)2781	静岡 054(255)6136
東京南 03(5434)0791	仙台 022(227)0581	神戸 078(362)2130	富山 0764(41)2096
立川 0425(21)3081	新潟 025(243)2191	岡山 086(223)2651	
土浦 0298(24)6931	前橋 0272(21)6611	高松 0878(22)5531	
千葉 043(224)8371	水戸 0292(24)9151	広島 082(261)4231	
川崎 044(200)9300		福岡 092(481)1951	研修・広報部 03(3956)2449
厚木 0462(27)0551		北九州 093(531)2081	

炉外精錬装置

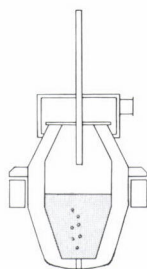
小容量装置(DETEM)から大容量熔鋼処理まで 品質改善と精錬費合理化に役立ちます

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

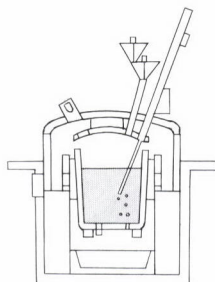
貴社の状況、ご希望等に応じて各種の炉外精錬装置を、お見積もり致します。お気軽にご相談ください。



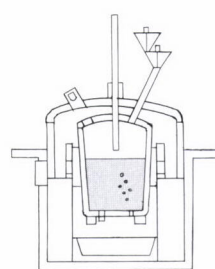
Inertgas Oxygen Converter



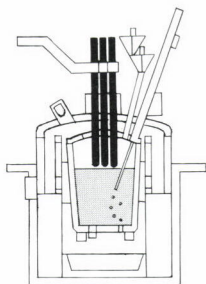
Vacuum Oxygen Decarburization Converter



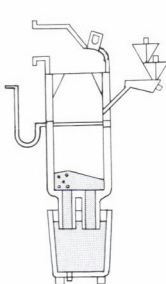
Vacuum Degassing



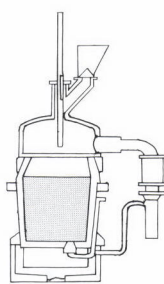
Vacuum Oxygen Decarburization



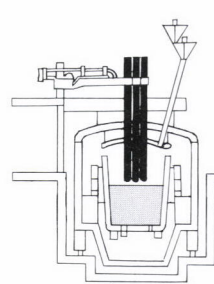
Vacuum Arc Degassing



Vacuum Circulation Process



Detem



Ladle Furnace

総代理店



株式会社 テクノヨコハマ

代表取締役社長 中村道生

本社 〒225 横浜市青葉区市ヶ尾町1161番地14
アーバンプラザA-2号室

TEL: 045-972-1066 FAX: 045-972-1065

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



TECHNOMETAL

Gesellschaft für Metalltechnologie mbH

Königstrasse 53 Postfach 101319

D-47051 Duisburg 1

Telephone (0203) 30503-0

Telefax (0203) 3050380

Telex 8551369

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

**ご相談ください、
私たちに。**

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

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

に添った様々な解決策を提供してきました。

規模の大小や、業種・エリアにかかわらず「工業ガス」のことならどんなご相談にもお応えできる、エア・リキードならではのグローバルスケールの集積ノウハウをご活用いただいています。もちろん、あなたのケースにも、お近くのエア・リキードが、きっとお役に立ちます。日本ではテイサンがご相談にお応えします。 <http://www.jp.airliquide.com>



提案します、明日が見える生産性。

テイサン株式会社 (AIR LIQUIDE Japan) ☎ (03) 3502-0551



ふえらむ

Vol.2 (1997) No.3

C O N T E N T S

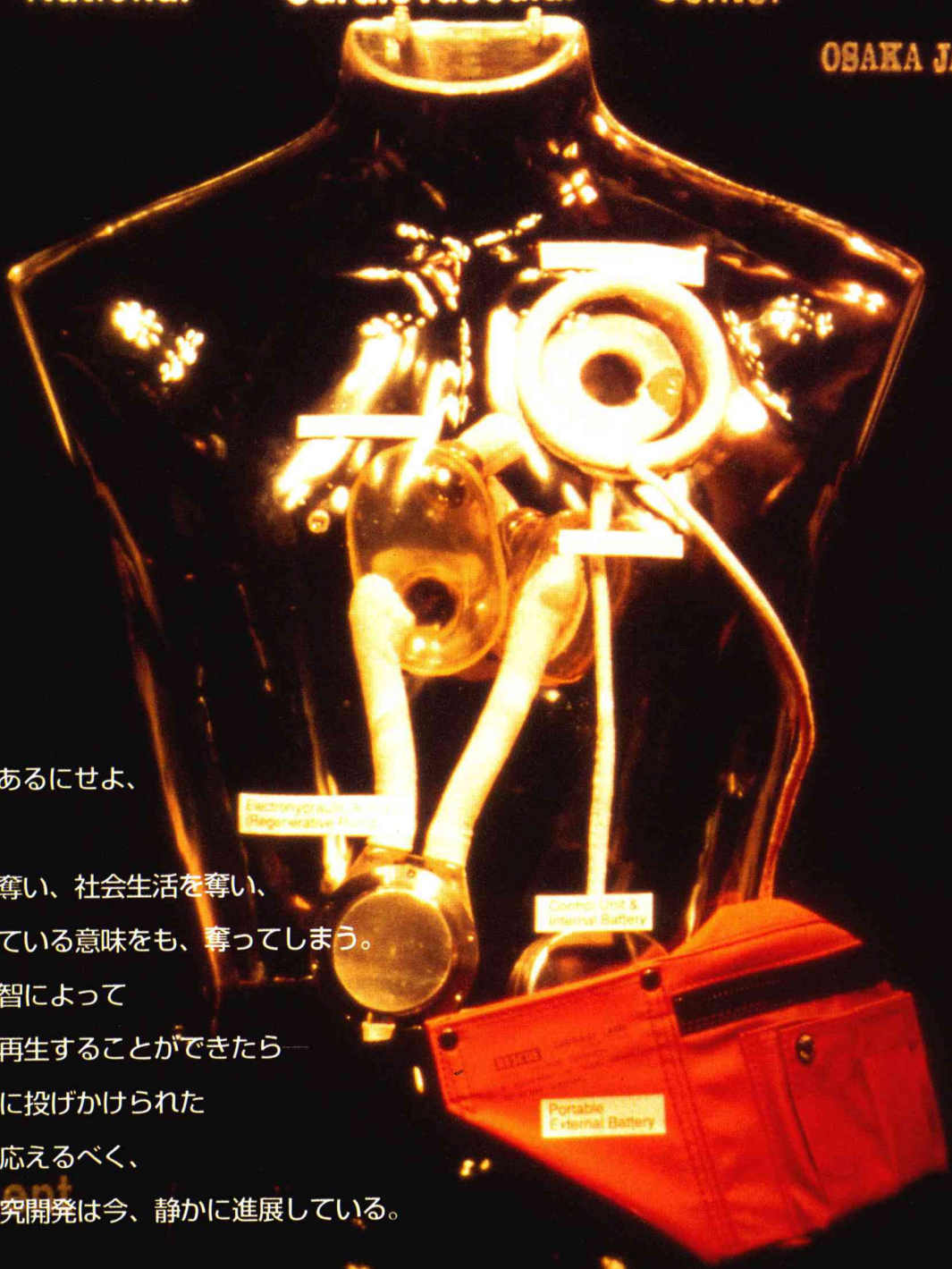
目 次

Techno Scope	人工臓器の夢	2
話題のプロダクツ	電気自動車	10
鉄の絶景	情報を発信する鉄 ～東京～	14
名譽会員からのメッセージ	深根細根の勤め —日本の衰退の防止のために— 東京大学名誉教授 鈴木弘	17
	戦後原料政策史のエピソード 東京大学名誉教授 館充	19
展 望	科学技術に対する過信と不信 —世紀末の科学技術と21世紀への提案—海洋開発 日本科学技術ジャーナリスト会議事務局長 浅井恒雄	20
	量子力学を応用した材料設計の将来 京都大学大学院工学研究科教授 足立裕彦	27
入門講座	制御技術編—3 人に学ぶ制御技術とその応用 (株) 神戸製鋼所技術開発本部常任顧問 藤井克彦	33
解 説	近年の船舶の技術動向と材料関連技術 三菱重工業(株) 長崎研究所主管 小野修二 三菱重工業(株) 長崎研究所主務 斉藤正洋	41
	鉄骨建築物における鋼材とその利用技術 住友金属工業(株) 建設技術部参事補 渡辺伸生	48
会員へのお知らせ		52
別冊付録	第133回春季講演大会プログラム	付1

Techno
Scope

National Cardiovascular Center

OSAKA JAPAN



たとえ一部であるにせよ、
肉体の喪失は
人から自由を奪い、社会生活を奪い、
ときには生きている意味をも、奪ってしまう。
もし科学の叡智によって
失った肉体を再生することができたら—
テクノロジーに投げかけられた
究極の悲願に応えるべく、
人工臓器の研究開発は今、静かに進展している。

Department
of
Artificial
Organs

生体機能を製造する技術 —人工臓器の夢

21世紀、機械の体が寿命を延ばす?! あらゆる臓器で進行する 代替パーツの研究

人の体のうち脳をのぞくほとんどすべての臓器で、その機能を代行する人工パーツが研究されているという。現在のところ、生体に匹敵する機能を備えたものはないが、行われている研究の広範さや、期待度の大きさを考えると、今後の大きな進展が期待される。21世紀は人が肉体の限界をこえて生命を維持することが可能な時代となるのだろうか。人工臓器の研究開発の現況を概観する。

－人工心臓－完全埋め込み型の実現をめざして

現在進展している人工臓器の研究開発の中で第一に取り上げねばならないのが人工心臓の研究だろう。生体適合性、機械的精巧さ、動力と制御、いくつもの技術的課題を複合的にクリアしなくてはならないのが、人工心臓である。

人工心臓開発では米国が一步進んでいる。米国は1960年代から人工心臓開発を国家プロジェクトとして2005年の実用化を目標として研究を進めてきた。1982年には長期使用を目的とした史上初の人工心臓埋め込み手術がユタ州で行われており、生存期間は残念ながら112日だったものの、人工心臓で人間が生存できる可能性が示された。この初期の人工心臓は体外の装置から圧縮空気を送って駆動するタイプで、患者が動きまわることが不可能だったが、現在は小型バッテリーで駆動し、自由に動きまわれるタイプのものの研究が進んでいる。

先進国アメリカに迫るべく日本でも完全埋め込み型人工心臓の研究が進む。国立循環器病センター（吹田市）の妙中義之人工臓器部長のチームは、電気駆動式の完全埋め込み型人工心臓の実現へ向け「拍動流型」「定常流型」という2つの異なるタイプの人工心臓を研究開発している。いずれも現在動物実験によりデータ収集が行われている段階だが目標としては、10年後の実用化をめざしている。

「拍動型」の主要なシステムは、血液を循環させるための〈ポンプ〉、動力を生み出す〈アクチュエーター〉、運動量に応じて血流をコントロールする〈制御ユニット〉などから構成される。アクチュエーターへの電力供給は皮下に埋め込んだ電極に電磁誘導によって行う。この方法なら皮膚に開口部がないため感染症の心配が不要になる。腹部の皮下下に環状の電極を埋め、中心にピアス状に穴を開けておく。ここに輪を取り付けて体外バッテリーをつなぐ。むろん体外からの電力オンリーでは、もしもの断線が命取りになる。そこで体内にも30分間は駆動できるバックアップ用の小さな2次電池（充電式バッテリ

ー）を入れる。通常の電力は「ボディ・ピアス」から送電されるが、外してもしばらくは安定した動きが得られるわけだ。

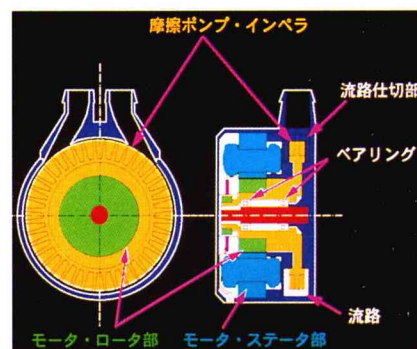
「ドキドキ」する心臓・しない心臓

「拍動流型」は、名称からもわかるとおり、心臓の拍動を再現したタイプで、右心・左心にあたる2つのポンプが交互に脈打って血液を循環させる。対する「定常流型」は、いわゆるモーター・ポンプの構造を採用したものでインペラ（スクリー状の羽根車）が回転し心拍なしに定常的に血液を流すタイプだ。いわば「ドキドキ」しない心臓である。やはり右心・左心に相当する2つのポンプからなるが、拍動式のような大きなポンプ室はない。

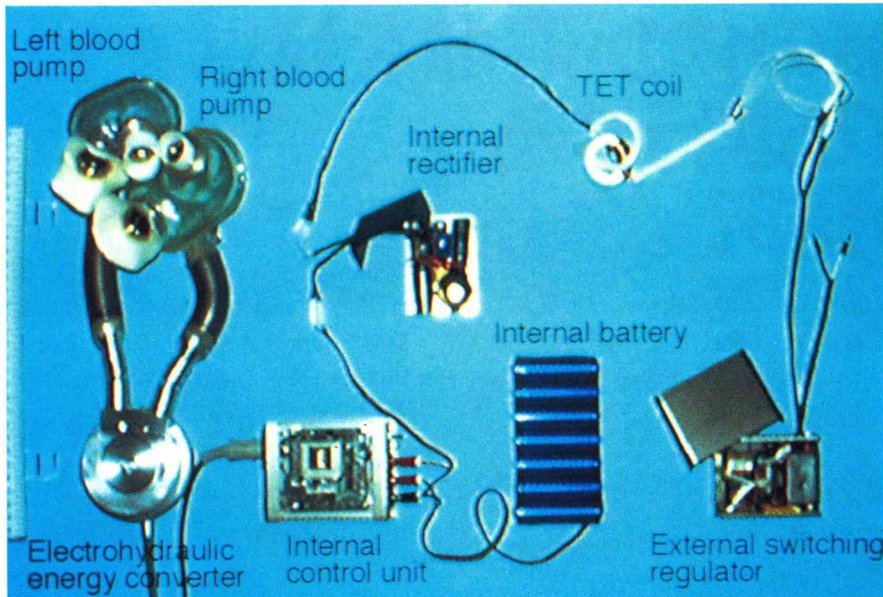
いずれの方式も開発にあたっての鍵になるのは、血液ポンプの血栓対策と、耐久性である。人工心臓では生体組織ではない容器の中を血液が流れるわけだから、血液がこびりつくようなことがあれば、固まって血栓となっ



国立循環器病センターの人工心臓モデル
国立循環器病センターの「拍動流型」人工心臓。システム全体の大きさと、埋め込み時の位置関係がよくわかる。電気油圧式ポンプ・アクチュエーター（下の円盤状の部分）が正逆駆動し、2本のパイプに満たされたシリコンオイルを媒体にして左右ポンプを交互に圧縮・吸引する。オートマチック車のトルクコンバーターを連想させるメカニズムである



「拍動流型」電気油圧式アクチュエーターの構造



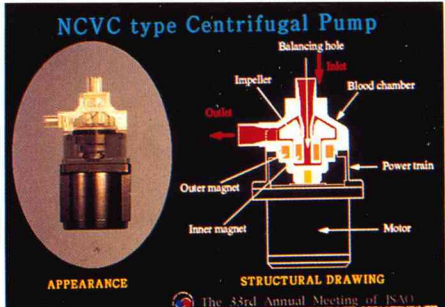
「拍動流型」のシステム構成。アクチュエーターには電気機械式のものや油圧によるポンプ式が考えられている。前者がカムやローラーねじなどで血液ポンプを駆動するのに対し、後者はシリコンオイルの油圧を利用する。写真は油圧ポンプ式アクチュエーターを採用したシステム。血液ポンプと離して埋め込むことができ、体内でのスペース確保がしやすいという利点がある。バッテリーには現在リチウムイオン電池が使われているが、将来はニッケル水素電池の採用も検討されている

てしまう。したがって血液がくっつきにくい素材の開発が必須となる。同時に、長年にわたって安定した運転を確保するための高度な耐久性も必要だ。現時点で妙中氏は主要な素材としてポリウレタンを採用しており、実用化にあたっては抗血栓剤であるヘパリンで内壁修飾を行うことを考えているという。さらに「定常流型」ではインペラを回転させる軸のシール部分（モーター軸との接続部分）が血栓のモトになるわけだが、妙中氏はこの部分に永久磁石の磁力で隔壁を介してインペラを動かすノンシール構造を採用し、可能性を拓いた。インペラの軸周辺にも血液が常に還流し、よどみができないように構造上の工夫がなされている。またインペラは高速回転することから、より血液を破壊しにくい形状が模索されている。

機械的寿命をどう延ばすかが技術的課題

現在の素材やメカニズムから予想される人工心臓の寿命は、およそ3年程度だという。膜やアクチュエーター、バッテリーなどの耐久性に限界があるからだ。この耐用年数をどう延ばしていくかも人工心臓開発の大きな課題である。

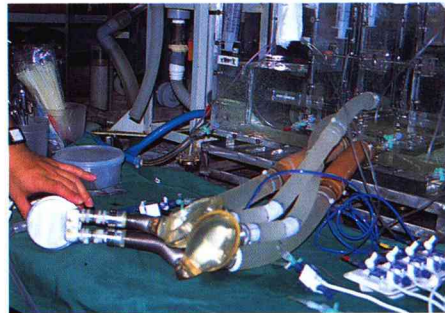
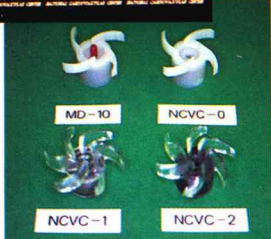
「すでに一般的に広く使われるようになったペースメーカーの寿命も初期には2～3年からせいぜい5年といわれていました。しかし今は10年以上つけている人が多数います。心臓の人工弁にしても、20年以上もつようになってきました。技術的ブレイクスルーが、新しい可能性につながることは希望を持っていいんじゃないでしょうか。その意味でもわれわれ医学者と工学者の連携が必要なん



「定常流型」ポンプの構造

「定常流型」ポンプのインペラ。理想的な形状を求めて研究・実験を重ねられている。

血液の代わりに水を用いた「拍動流型」ポンプの作動試験

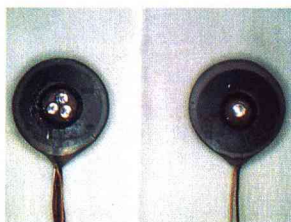


国立循環器病センター
妙中義之
人工臓器部長

です。われわれがスペックとなるデータを出し、工学者はそれを実現するための技術を提供してくれるといったようにです」(妙中部長)

さらに妙中氏は、人工臓器の研究が生体解明にも新たな視点を提供することになるという。「たとえば定常流型の人工心臓を取り付けることを考えた場合、生体にとって脈がないというのは、かつて存在したことがない状態です。それについても開発にともなうデータの分析からさまざまなことがわかってくるはずです」

国立循環器病センターのほかにも日本の人工心臓の研究開発は、後出のインタビューでご紹介する東京大学医用電子研究施設など、いくつかの大学や研究施設でそれぞれに開発が進んでいる。また心臓を完全に人工のものに置き換えてしまう「全人工心臓」の他に、もとの弱った心臓をそのままにして、血流量の何割かを補助的に受け持つ補助人工心臓も研究が進んでおり、このタイプは日本でもすでに臨床試験的に移植手術が行われた例がある。補助人工心臓をつけることで、弱った心臓への負担をやわらげて機能回復を促すことが可能だという。



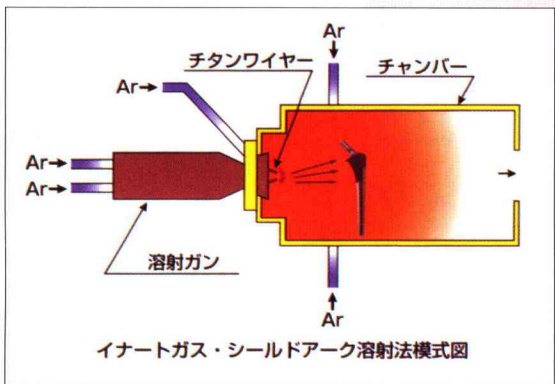
人工心臓は、生体のように補聴器をあてて診察するのはむずかしい。そこで赤外線LEDによる光デジタル通信で通院時などに人工心臓そのもののデータを直接検出する方法が有望視されている。写真はそのためインターフェイス部分。左側の装置を皮下に埋め込んでおき、もう一方を皮膚の上から当ててデータを読み取る



高分子中空糸に血液を通し、その外側に透析液を流して血液浄化を行う体外循環式の人工腎臓。小型化が進んでおり本体のみの大きさは小型の懐中電灯くらいになってきた（写真提供：テルモ株式会社）



主に手術用などの目的で実用化されている体外循環用の人工肺。ポリプロピレンの中空糸膜によってガス交換が行われる。血液流路が抗血栓剤ヘパリンでコーティングされている（写真提供：テルモ株式会社）



純チタンの溶射膜上にハイドロキシアパタイトをコーティングすることで生体適合性を高めた人工股関節（写真提供：京セラ株式会社）

イナートガス・シールドアーク溶射法では、不活性ガス（アルゴン）をチャンバーの中に満たし、チタンワイヤーを材料としてアーク溶射して、母材に純チタン膜を付着させる。これにより従来のチタン粉末による減圧プラズマ溶射法では避けがたかった被膜の内部欠損が生じにくくなり、チタン粒子の脱落・剥離を防げるようになった。さらにその上からハイドロキシアパタイトをコーティングすることで、生体適合性をいっそう高めることができる

—人工肺—新素材が可能にした人の肺をこえるガス交換能力

人工肺も人工心臓同様に、埋め込み型への模索が行われている人工臓器である。人工肺は従来から主に手術用に「体外循環型」のものが医療の現場で用いられてきたが、体内に埋め込めるようなサイズではなかった。しかしここへきて従来のものの数十倍のガス交換能力を示す高分子素材（ポリイミドの一種）が開発され、小型化へむけて展望が開けた。開発に成功したのは東京都立大学の長岡昭二教授の研究グループで、この素材を中空糸膜にすれば小型乾電池1個分ほどの大きさで人の肺に匹敵するガス交換能力をもたせることができるという。ガス交換能力だけからみれば、人の肺以上の効率である。かなりの小型化ができることから埋め込み型の人工肺素材として有望視されている。動物実験では生体適合性もよく、血栓もできにくいという。

—人工関節— 生体と融合するチタンの骨

京セラのバイオセラム事業部が開発した人工股関節は、新たなチタンコーティングの技術によって生体適合性を高めているという点で興味深い。人工股関節はもともと

リウマチなどで歩行が困難になった人たちのために考案されたものだが、大きな力がかかる大腿骨に埋め込んで使用するため、骨へのより確実な固定性が求められてきた。京セラではチタン合金母材の粗面に純チタンをコーティングする新たな技術を開発、骨への結着性を高めることに成功した。イナートガス・シールドアーク溶射法とよばれるこの新たな溶射技術によって形成された純チタン被膜は、内部欠陥が極度に少なく、チタン粒子の脱落や剥離がおきにくいという。京セラではさらにこの上から骨と一体化しやすいハイドロキシアパタイトをコーティングして、手術後インプラントが生体としっかりフィットするように工夫した。また関節部分には耐磨耗性の高いアルミナやジルコニアなどの高強度セラミックスを採用し、磨耗による不純物の生成を抑えている。

—人工血液— 蒸留水でもどして使えるインスタント血液

血液を人工的に合成しようという研究もある。血液中の酸素運搬機能を担うのはヘムという物質だが、このヘムを人工的に合成し加工すると、赤血球にきわめて近い機能を発揮する。リピドヘムといわれるこの人工血液は、

粉末で長期保存ができ、使いたい時に蒸留水でもどして使用することができる。災害時など、多量の輸血が緊急に必要とされる場合にも対応しやすい。輸血用の血液は通常採血後21日を経過すると使用できず、さまざまな感染症への不安も常にはらんでいる。リポドヘムによる人工血液が実用化されれば、そういった輸血用血液のデメリットからもまったく自由な輸血用血液が得られることになる。

すでに動物実験では約40%をリポドヘムに交換しても障害がないことがわかっており、さらに安全性を確認したうえで人への臨床試験が行われることになっている。

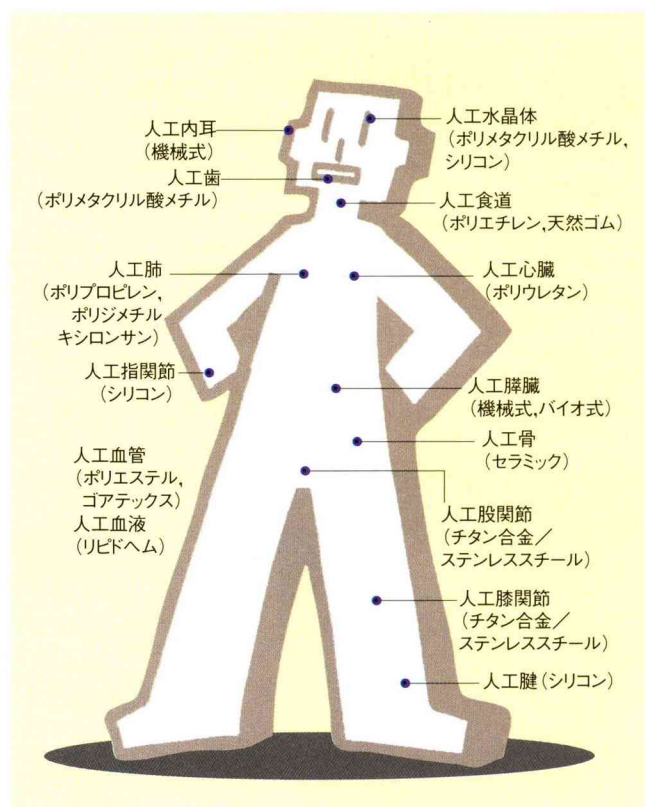
リポドヘムに先んじて本年度中には実用化される見通しの修飾ヘモグロビンと呼ばれる人工血液もあるが、これは人工的に合成されたものではなく、21日を経過して期限切れとなった輸血用血液からヘモグロビンを取り出して加工したもの。人工血液というよりは、リサイクル血液、もしくは加工血液といえなくもないが、不足しがちな輸血用血液需要を補うものとして期待されている。

医学と工学のクロスオーバーが人工臓器実用化への鍵か？

以上に紹介した以外にも、現在あらゆる身体部分の人工化が進んでおり、極論すれば脳以外のすべてのパーツについて人工化の研究が進められているともいわれる。残念ながら本来の身体機能に匹敵するだけの人工臓器は、まだ存在しない。ざっと概観しただけでも、どうやら道程は険しそうに見える。しかし、身体的人工化への研究開発は、かなり広範に行われていると見ることはできそう。

すでに生体の化学的反応を関知するバイオセンサーや人工神経の研究も始まっており、研究が進めば、最後に残された脳の分野でも、テクノロジーによる改造が不可能とはいえなくなってくるかもしれない。

とはいえ、現実の人工臓器をある程度安心して使用できるまでには、まだまだ数々の技術的積み重ねとブレークスルーを待たねばならない。人工臓器は、いわば医学と工学のクロスオーバーを必要とする技術である。循環器系人工臓器でいえば、耐久性・抗血栓性の高い素材開発が重要であり、数十年にわたって安定して動き続ける動力装置の開発も不可欠である。たとえば米国ではポリウレタンとシリコン樹脂の高分子の鎖をつないだカルジオセンという新たな抗血栓性の樹脂が開発され、人工心臓の素材として有望視されているが、こうした新素材開発、あるいは工学面、エレクトロニクス面での技術革新によって医学的な研究をバックアップしていく体制が人工臓器開発には必要だと考えられるかもしれない。



開発中あるいはすでに実用化されつつある人工臓器 () 内は素材の一例

また昨今臓器移植の問題が議論されているが、脳死の社会的許容度が日本に比べて格段に高い米国でもドナーが見付かりにくいという状況がある。日本では首相の諮問機関である脳死臨調が「脳死を死の判定としてもよい」との見解を出した後も、なお組織的、心理的抵抗が根強く存在する。よしあしは別として、わが国では臓器移植全般が普及しにくい土壌があるようだ。その意味でも脳死者を待つのではなく、必要に応じていつでも使える人工心臓をはじめとする人工臓器の開発は、日本でこそ切に求められている技術と考えられなくもないだろう。

人工臓器を産業として見た場合、30年後には数千億円の市場規模に成長するだろうとの予測もある。しかしその機能が生命にかかわる商品となるだけに、企業にとっては製造物責任の問題が重くのしかかってくる。事実、多くの企業がPL法を恐れて人工臓器開発におよび腰になっているという話も耳にする。その方面での法的整備や組織的なバックアップも、あるいは今後の課題となってくるのかもしれない。いずれにしても、人工臓器が最先端技術の結集を要するジャンルであることから、日本は持てる技術によって、その発展に貢献すべきだという声は少なくないようだ。

取材協力・写真提供：国立循環器病センター、テルモ株式会社、京セラ株式会社

超人工臓器開発への夢

東京大学医学部医用電子研究施設 教授 井街 宏
Kou Imachi

人工臓器の究極の目標を、生体臓器の機能を超越した超人工臓器の開発に置くべきである——東京大学の井街 宏教授はそう提唱される。先端技術が競い合い、異分野技術の融合が目覚ましい今、これは決して夢物語ではない、という。

昭和47年から人工臓器の開発に携わり、中でも人工心臓、人工弁を専門分野として研究を進められてきた。人工心臓を中心に、開発の歴史や現況、持論の超人工臓器を含む未来への展望を語っていただいた。

人工臓器開発の歴史と現状

——人工臓器の開発の現状から教えて下さい。

井街●1940年代～1960年代にかけて多くの人工臓器の開発が進みました。これらが基礎となって現在ではさまざまな人工臓器が臨床に使用され、その一部は日常的に使用されるまでになっています。とくに血管、弁、ペースメーカー、腎臓、骨、関節などは、25年以上にもおよぶ使用者も珍しくありません。

また心肺、補助循環、心臓、内耳、中耳、水晶体なども積極的に臨床応用が行われています。さらに肝臓、脾臓、血液なども、一部臨床応用が始められ、腸管、食道、子宮に至っても研究段階に入っていますから、現在人間の代表的な臓器中で研究・開発に手つかずのものといえば、脳くらいなのでしょう。

——先生のご専門である人工心臓は、どのような種類のものがどの程度の段階まで開発されていますか。

井街●人工心臓には衰弱した心臓の拍出機能の一部を補助代行する補助心臓と、拍出機能を完全に代行する完全人工心臓があります。補助心臓はすでに実用化が始まっていて国内でも240例近くありますが、完全人工心臓は世界的に見てもまだ試験段階にあります。完全人工心臓は、さまざまな問題から1960年代の終わりまで、動物実験でも100時間以上の生存すら得ることができませんでし

た。しかし、1970年代になると体外に置いた大きな空気圧駆動装置によって、胸腔内あるいは胸壁上の血液ポンプを駆動するものが主体となり、人工心臓システムとしての制御や信頼性は著しく向上したのです。この型の人工心臓は、現在動物実験や臨床応用の主流となっている形式です。また血液ポンプの材料も生体適合性に優れたものが開発され、1970年代後半には各国で動物実験による半年以上の生存が可能となりました。

1980年代の前半からは心臓移植へのブリッジ（繋ぎ）を中心として臨床応用が試験的に始まり、米国では法律によって心臓移植の対象外となるボランティア患者4人に対して、半永久的な完全人工心臓の使用も試みられました。そして1986年にはこのうち一人の患者を622日間生存させることに成功しています。このような臨床応用の成功と合わせて、駆動装置から解放されたいという患者の切望、皮膚を貫通するチューブに沿って起こる感染症の回避などの理由から、1970年代後半からはシステム全体を体内に埋め込む完全埋込型人工心臓の研究も盛んになっています。

現在では米国、日本、ヨーロッパなどの各研究所や企業において、バッテリーなどのエネルギー源のみを体外に置き、自然心臓の内膜に相当する血液ポンプ、筋肉に当たる駆動装置、また計測および制御装置などその他のすべてのシステムを体内に埋め込む、完全埋込型人工心臓の激しい開発競争が始まっていると言えます。

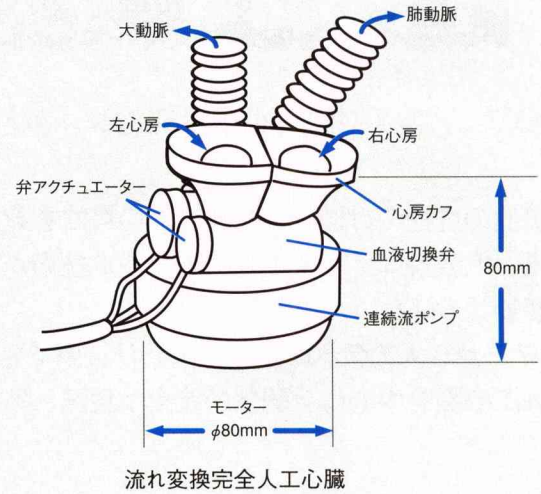
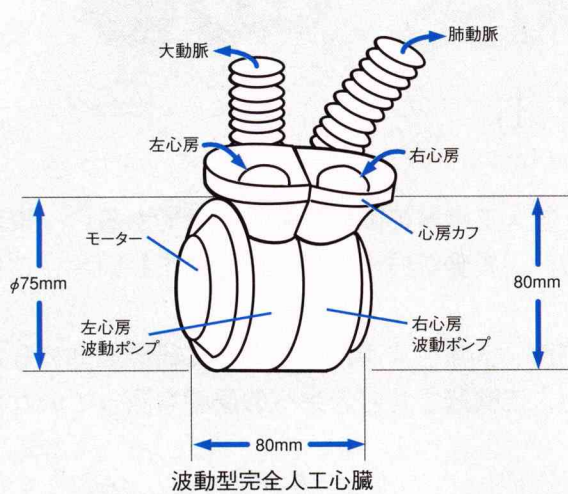
〈人工心臓の歴史〉

- 1957年 コルフ、阿久津(米)が人工心臓を犬に埋め込む
- 66年 米国で補助人工心臓の臨床使用始まる
- 67年 (南アで世界初の心臓移植実施)
- 68年 (札幌医大で日本初の心臓移植)
- 80年 東大、人工心臓の動物実験で228日間の世界新記録達成
- 82年 デブリーズ(米)、永久使用目的の人工心臓を臨床使用
- 84年 デブリーズ、2例目の人工心臓臨床使用(622日間生存)
- 85年 日本で補助人工心臓使用患者が初めて生存して退院
- 88年 NIH(米国立衛生研究所)、体内埋め込み式の全置換型人工心臓計画を本格化
- 2005年 NIH、全置換型人工心臓の開発目標

〈わが国における埋込型人工心臓の研究開発〉

- 北海道東海大／北大 : ブラシレスDCモータ／ボールネジ
- 東北大 : 振動流ポンプ
- 慶大／北海道東海大 : Valvoポンプ(タービンポンプ)
- 東女医大／早大 : 心室内軸流ポンプ
- 東大 : 流れ変換型波動型
- 信州大 : リニアパルスモータ
- 国立循環器病センター : 摩擦ポンプ／油圧
- 広大 : 振り子型

東大で開発中の波動型完全人工心臓と流れ変換型完全人工心臓の完成予想図



——東京大学で開発中の完全埋込型人工心臓についてお聞かせください。

井街●波動型完全人工心臓と流れ変換型拍動流完全人工心臓というふたつのシステムの研究開発を進めています。波動型はモータの回転を特殊な機構によって円盤の波動運動に変換し、この運動によって血液を出口側に運ぶもので、円盤の両側に180度位相がずれた流れができるため、出口ではほぼ完全な連続流となります。モータの回転数を変化させることによって任意の波形の拍動流にすることもできます。低回転で多くの搏出量を得られるのが特徴で、心臓の右心および左心用にふたつのポンプを組み合わせるタイプのものです。現在米国などで長い年月を費やして研究開発している完全埋込型人工心臓は、彼らの平均体重である約80Kgの人体向けのものですから、小柄な人に埋め込むことは不可能なのです。これに対し、われわれが開発中のこのタイプの人工心臓はおそらく世界最小のもので、小柄な人にも埋め込むことが可能なのです。また、流れ変換型拍動流のほうは、基本的には単一の連続流ポンプを用いて肺循環と体循環を搏動流で灌流しようという新しい発想の人工心臓です。こちらはポンプがひとつで済むので、人工心臓の小型化により有利なのです。

至難の生体エンジニアリング

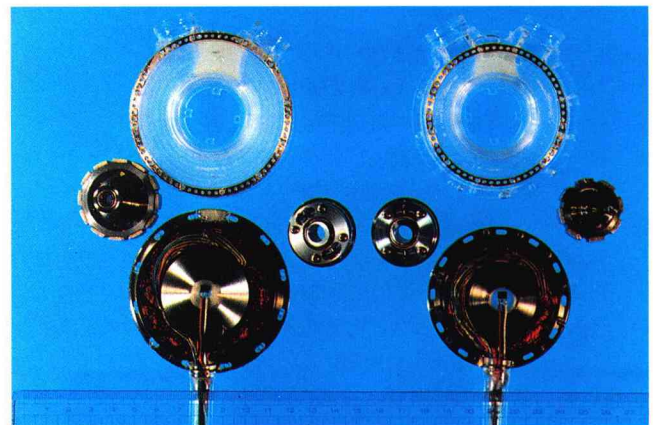
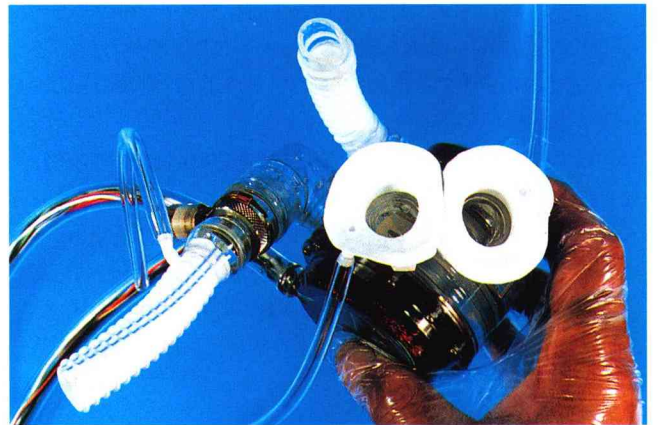
——人工心臓の制作はすべて内部で行っているのですか。また、材料にはどのようなものが使われているのですか。

井街●部品の一部を購入している以外は、半田付けから金型製作、プラスチック加工にいたるまですべて内部で制作しています。材料はさまざまですが、ポンプ中にあるモータの回転軸や、この軸が回転運動する際にぶれを起こすのを防ぐベアリングという部分にはステンレスが使われています。しかし、このベアリングや軸に関しては少しでも人工心臓全体の軽量化をすすめる意味から、徐々にチタンを使用する方向に移行してきています。

——人工心臓の開発においてとくに苦労されていることはあったことでしょうか。

井街●まず、よりよい材料を厳選し、それを生かす技術が必要です。しかしかりに最高の材料および技術を駆使しても、人工心臓のように生体を扱うエンジニアリングというものは、到底数学上の計算には乗らない世界なのです。生体は個体（人）差が極めて大きいので、ある一人の人には適合しても別の人には拒否反応が出てしまったりするわけです。また、人の健康状態や疾病の状態、女性では妊娠・出産時など、人体に関するデータは統計としては意外とそろっていないのです。そのような状況下において、人体

波動型完全人工心臓（上）とその部品（下）



に合うように人工心臓を制御するにはいったいどうしたら良いのか。さらに通常、一般の工業部品は500万回の使用に対する耐久性があれば、製品として合格だといわれます。しかし、一日に心臓が打つ鼓動は5～10万回ですから、50日～100日も経てばすぐに500万回に達してしまう。つまり500万回しか耐久性のない人工心臓では、50日～100日しか生きられない計算になってしまうのです。2年、3年の耐久性を得るのでもたいへんなところへきて、半永久的に使用できる人工心臓を作るとなれば、並大抵のことではありません。

——開発はどの程度まで進んでいるといえますか。

井街●駆動装置を体外に置く、空気圧式のポンプを用いた人工心臓を装着したヤギを最長で532日間生存させることに成功しています。これが現在世界における動物での最長記録のはずです。

——人間への完全埋込型人工心臓の実用化の目はいつ頃に置いていますか。

井街●あと10年ほどで臨床実験がスタートするとして、実用化はさらにその10年後、合計約20年後くらいでしょうか。

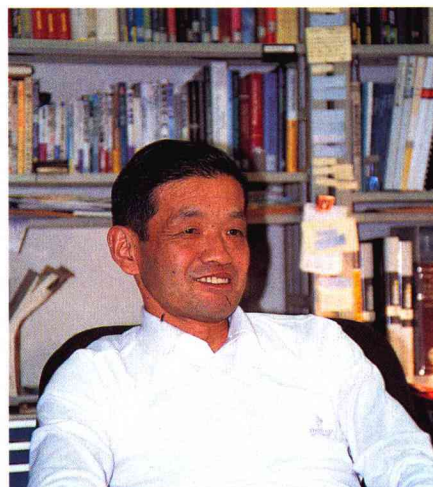
未来の臓器——超人工臓器

——先生は超人工臓器の開発を提唱されているそうですが、具体的にはどのような臓器のことをいうのでしょうか。

井街●人間が何かのきっかけで不幸にも体の一部を失い、人工臓器を装着すると、その日からその人はハンディキャップドパーソンとして扱われてしまいます。その原因は現在実用化されている人工臓器が、人間の生存や生体機能の確保に必要な最低限の機能を持つものにすぎないからだと思います。例えば、生体機能の一部しか備えていなかったり、大きすぎて体内に埋め込むことができなかったり…。また、センサ機能がほとんどないために、体の状態に応じた自動制御ができない。さらには組織適合性が悪く、感染を招く恐れがあったり、耐久性に限界があるなど問題点は山積みです。確かに死ぬよりは生きる方がよいかもしれませんが、ただ生きるよりは社会復帰が可能であったほうがよく、健常人と同じであればもっとよいことは言うまでもありません。

そこで、私が考えている超人工臓器は数多くありますが、いくつか例を挙げるとすれば、超微細加工が可能な手、動物より速く走れる足、大気汚染に耐えられる肺、酒豪用の肝臓、心臓の場合は分散型の心臓などといったものが考えられます。とくに心臓を分散化できれば、手や足など用途に応じて機能を強化したい部分に、タイムリーに大量の血液を送ることなどができる。また、あらゆる部分に心臓バイパスを作っておけば一部が駄目になっても別のところが充分機能してくれる。故障箇所はそのあいだに修復すればいい。つまり、超人工臓器とは生体の臓器機能を超越した人工臓器なのです。

私は車という乗り物は、超人工臓器のひとつであると考えています。人は車に乗ることによって普段よりずっと速く走ることや重い荷物を運ぶことができたりする。つまり人間として生まれ持った能力以上のことが可能になるわけです。そしてその車を利用している人たちは数えきれないほどいますが、誰もそれを不自然なことだとは思っていませんよね。しかし、何らかの不幸で足を



井街 宏
(いまち こう)

1942年 6月5日生まれ
1968年 京都大学大学院工学系研究科機械専攻修士課程修了
1972年 東京大学医学部医用電子研究施設 助手
1987年 同学助教授
1993年 同学教授 現在に至る

専門分野 : 人工臓器 (特に人工心臓、人工弁)

受賞 : 人工臓器功績賞 (チェコスロバキア、プルキエン大学)
日本医科器械学会技術賞「臨床用補助心臓システムの開発」
チェコスロバキア病態生理学会特別賞「人工心臓の病態生理の解明」

日本ME学会論文賞「単一の連続流ポンプを用いた搏動流完全人工システムの開発」など
著書 : いずれも共著「人工臓器工学」、「電磁駆動型人工心臓」など多数

失ってしまった人が自分の足代わりに車椅子に乗ると、たちまちハンディキャップドパーソンになってしまう。車椅子は遅いし、重いものは運べないし、自由がきかないからでしょう。これではいけないと思うのです。ここに人工臓器の分かれ目がある。現在のような人工臓器ではなく、装着することがむしろ優越感につながるような、さまざまな人工臓器を開発することが重要でしょう。超人工臓器の装着によって、人間として生まれもった臓器や機能を不意に失ってしまったという大きな不幸からようやく救われ、精神の落ち込みからも立ち直ることができるのではないのでしょうか。

コンピュータ科学、電子技術、マイクロマシンやロボット技術が進歩した現在、これは決してただの夢物語ではなく、臓器研究開発者が概念や視点を変えて努力しさえすれば近い将来可能なものであると思うのです。

約30年ほど前、人類は月面到達に成功しましたが、宇宙開発が始まったばかりの頃には、人が月に行くなどということは夢のまた夢であったに違いありません。しかし、人類はそれを成し遂げた。

人工臓器の開発においても、私の夢である超人工臓器のように目標を高く設定することによって、生体臓器と同程度の人工臓器を近未来において容易に実現可能にすると思うのです。

——ありがとうございました。

[資料提供：東京大学医学部医用電子研究施設ほか]

話題の
PRODUCT

プロダクツ

電気自動車



一般家庭への普及段階に入った電気自動車 残された課題は商品としての魅力づくり

GM、トヨタ自動車相次いで一般販売を開始するなど、電気自動車をめぐる動きがあわただしい。

かつてから低公害車の切り札といわれながら、普及はあまり進まなかった。

電気自動車の普及に拍車がかかっている理由と、今後の動向などについて報告する。



カリフォルニア州規制で注目を集めるEV

1996年秋、アメリカと日本で一般ユーザーを対象とした電気自動車(EV : Electric Vehicle) 2車種の販売が開始された。1つは、GM(ゼネラル・モーターズ)のEV1、もう1つがトヨタ自動車のRAV4L EVだ。価格は、EV1が3万4000ドル(約385万円。実際には3年契約のリース販売のみで、公的補助を加えるとリース料は月500~600ドル)、RAV4L EVが495万円と発表されている。これまでもEVの販売は行われていたが、自治体などが業務用に導入する例がほとんどで、一般ユーザーへの販売は稀だった。普及のネックとなったのは、車体購入や維持管理にかかる高コストと、航続距離などの性能面での制約だ。

EVの歴史は意外に古く、ガソリン車(GV : Gasoline Vehicle)より古く19世紀にまでさかのぼる。しかも、初期のGVは十分な性能が出せず、最高速度などはEVによって記録されていたという。しかし20世紀に入ると、内燃機関の技術開発が急速に進んだのと対照的に、電池の性能向上が進まず、EVは忘れ去られていった。

1960年代後半、公害問題が深刻となり、自動車メーカーは独自にEVの開発に着手し始める。これを後押しする形で、1971~76年まで、通産省も大型工業技術開発制度を適用して、6年間に57億円の資金が投入された。ところが、GVの排ガス規制に関する技術開発が進み、再びEVへの社会的関心が薄れてしまう。

再度EVに注目が集まるのは、1990年に米国カリフォルニア州で制定された「大気汚染防止に関する規制法案」だった。この法律は、1998年までに、自動車メーカーが製造販売する車輛の2%を無排出ガス車(ZEV : Zero Emission Vehicle)とすることを義務づけた。その後1996年3月に見直され、2003年までにZEVの比率を10%とすると修正されている。現在ZEVの条件を満たすのはEVしか存在しないため、メーカー各社はEVの開発にしのぎを削る結果となった。

技術革新著しいモーター・コントローラー・電池

最高速やトルクといった動力性能に関しては、現在のEVはGVとまったく遜色のないレベルに到達している。EVの性能を決定する技術要素としては、動力源であるモーターと電池がもっとも重要だ。

これまでEVの動力用モーターには、直流モーターが使われてきた。比較的安価で高出力を得られるからだ。ただ直流モーターは構造上、ブラシを必要とする。このため小型化に難があり、機構が複雑になると同時に、耐久性や効率にも問題があった。

最近主流となりつつあるのが交流モーターだ。交流モーターは、電機子¹⁾の構造を簡単にでき、ブラシを必要としないため、高速回転が可能になる。このため同じ大きさで、直流モーター



■市販されたトヨタRAV4L EV(上)。24個のニッケル水素電池が底部に搭載されている(下)。(Photo:(c)畑中力)

より大きな出力を得ることが可能になった。現在、誘導モーター²という方式が使われているが、エネルギー効率、小型化がさらに有利なブラシレスDCモーター³に注目が集まっている。

モーターと同時に、コントローラーの技術革新も見逃すことができない。EVでは、速度や出力をモーターにかかる電流電圧で調整する。コントローラーは、電池の直流電圧を目的に応じた出力に変換する装置だ。直流モーターでは、チョッパ回路を使って電圧変換を行う。交流モーターでは、半導体スイッチのオンオフにより直流電圧を交流出力電圧に変換するインバーターが必要になる。

直流モーターで使われるチョッパ回路の原理は、半導体に流すパルス電流をスイッチングすることで、回路全体に流れる電流をパルス化し、オンオフの比率を変化させることで電流を制御している。交流モーターでは、コントローラーで直流から交流に変換すると同時に、アクセルの踏み込みに応じてモーターの回転数に合わせ、変調の周波数や電流、電圧を制御する。またそれらのベクトルをそろえる必要もある。このためインバーターは回路が複雑になる。

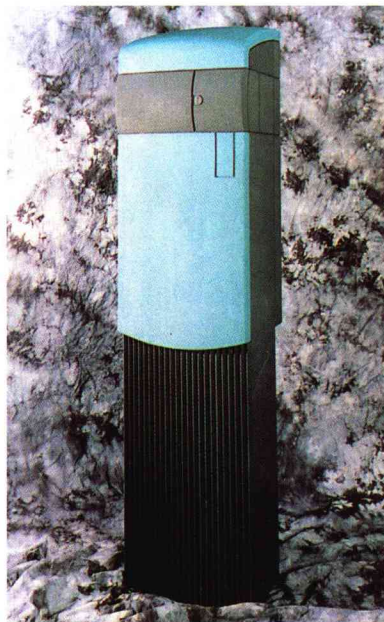
従来、チョッパにはトランジスタが使われていたが、1980年代以降、よりエネルギー損失の少ない、IGBT⁵やパワーMOS-FET⁶といった半導体の開発が進んだ。従来70%程度だったエネルギー効率が、ブラシレスDCモーターでは約90%まで向上しているという。こうした開発が、EVの性能面での進化を支えたと言ってもいい。

もう1つの技術要素である、EV用2次電池の技術開発も進んでいる。従来、EVの最大のネックは電池であるといわれてきた。これまでEV用に使用されてきたのは、鉛蓄電池だ。2次電池としては、非常に長い歴史をもつ鉛蓄電池だが、エネルギー密度⁷、パワー密度⁸、充放電率⁹、寿命¹⁰などのバランスに優れ、代替できる電池がなかなか現れなかった。

家庭用2次電池としては、ニッケルカドミウム電池がよく使われている。鉛蓄電池に比べエネルギー密度が2～3割高く、寿命も長いのだが、有害なカドミウムを使用するため、普及には難があった。そこでカドミウムの代わりに水素化金属を使ったニッケル水素電池が開発されている。現在、ニッケル水素電池は、鉛蓄電池に比べエネルギー密度が2倍の70Wh/kg、電池の寿命である充放電回数も、2倍の1000サイクル以上に達している。

ニッケル水素電池よりもさらに有望視されているのが、リチウム電池だ。金属リチウムを使用した電池では、発火事故を起こすなど不安定だったが、リチウムをイオン化する技術が開発されて、改善されてきている。現在、リチウム電池では、エネルギー密度は鉛蓄電池の約3倍（100Wh/kg）、出力密度が2倍の300W/kg、寿命も1200サイクルに達している。

ブラシレスDCモーターとニッケル水素電池を搭載した



■家庭や駐車場で充電するために開発された誘導式充電システム。規格が統一され、最近のEVには充電器が搭載されているものが多い（テルファイオートモーティブシステムズ社製）。

RAV4L EVを例にとると、最高速125km/h、1回の充電による航続距離215km（10-15モード）を実現している。最高出力は45kW（61.2ps）／2600～8600rpm、代々トルクは165Nm（16.8kg・m）／0～2600rpmで、シティコムーターとしては十分な性能だろう。

消費者にとって魅力的なEVの開発が望まれる

性能面ではGVに近づいたEVだが、まだ解決しなければならない問題も多い。それはコストと商品としての完成度の、大きく2つの側面から見ることができるだろう。

EVは量産効果が上がらず、どうしても割高になりがち。特に電池が価格全体に占める割合が高い。RAV4L EVの場合、ベース車の価格が3ドアのAT・最上級仕様でおよそ212万円。EV車の495万円は倍以上ということになる。

また鉛蓄電池は寿命が短く、2年ごとに交換する必要があった。費用はおよそ50万円ほどかかる。ニッケル水素電池では7～8年は保つのではないかとされているが、正確なデータが積み上げられているわけではない。ただ燃料代を比較すると、EVはGVの約1/3で済むといわれている。電池の価格がこの範囲に収まってくれば、EVのメリットも出てくる。

EVを商品として見た場合、随所に完成度の低さが目に付いてしまう。1つは、パッケージングの問題だ。

EVは、すでに生産されているGVの車体を改造して生産するコンバート車を中心。重量があり体積のかさむ電池を収納するため、従来はトランクや後部座席を潰したりしていた。これではGVと比較して商品価値が落ちてしまう。RAV4L EVはベース車がレジャービークル(RV)のため車高が高く、車体下部に電池を収納することで、GVとまったく同じ座席やラゲージスペースを確保できている。



■本田技研が発表したHONDA EVのモータールームと荷室。EV専用ボディのため、容量が十分確保されている。RAV4L EVや日産のプレーリジョイEVなど、RVがベース車として利用されるのも、居住空間を犠牲にしないですむことが理由だ。(Photo:(C)畑中力 HATANAKA TSUTOMU)

もう1つは信頼性の問題である。たとえば電池の性能や寿命について、実験で得られた理論値と実際が異なる現象が知られている。当初電池の品質のバラツキが原因と考えられていたが、最近電池ごとの充電のアンバランスも原因であることがわかってきた。

EVでは、20個以上の電池が直列につながれている。充電する際、各電池の内部抵抗値や温度に差があると、全体では満充電しているように見えても、個々の電池の充電状態に差が出てしまう。この状態のまま充放電を繰り返すと、電池間の性能差が次第に大きくなり、寿命にも影響を与えてしまう。電池個々をマネジメントする仕組みと、データ集積に基づいたノウハウの確立が必要だろう。

さらに、EVの利用形態を周知する必要もある。1充電での最大航続距離を200kmと仮定すると、EVを安全に走行できるのは、自宅から半径50～60km圏が目安となる。EV用電池の充電には、数時間を要する。朝家を出て、夜自宅のガレージに戻り、安い夜間料金を利用して充電を済ませるというのが、EVの利用パターンだ。日本全国どこでも簡単にガソリンが補給できるGVとは、この点が根本的に違う。もちろん緊急充電も可能だが、充電に20～30分かかり、しかも満充電になるわけではない。そのうえ場合によっては電池の寿命も短くなってしまう。

資源エネルギー庁は現在、エコステーション2000計画を推進している。EVをはじめとする低公害車の燃料供給設備を、全国のガソリンスタンド2000カ所に併設しようというもののだが、EV用緊急充電設備の設置には、1施設でおおよそ3300万円の資金が必要になる。自宅以外でEVに充電するというのは、ユーザーにとっても、社会資本の整備の側面から見ても、あまり効率の良いものではなさそうだ。

ユーザーにとって、EVを所有することにどのようなメリットが

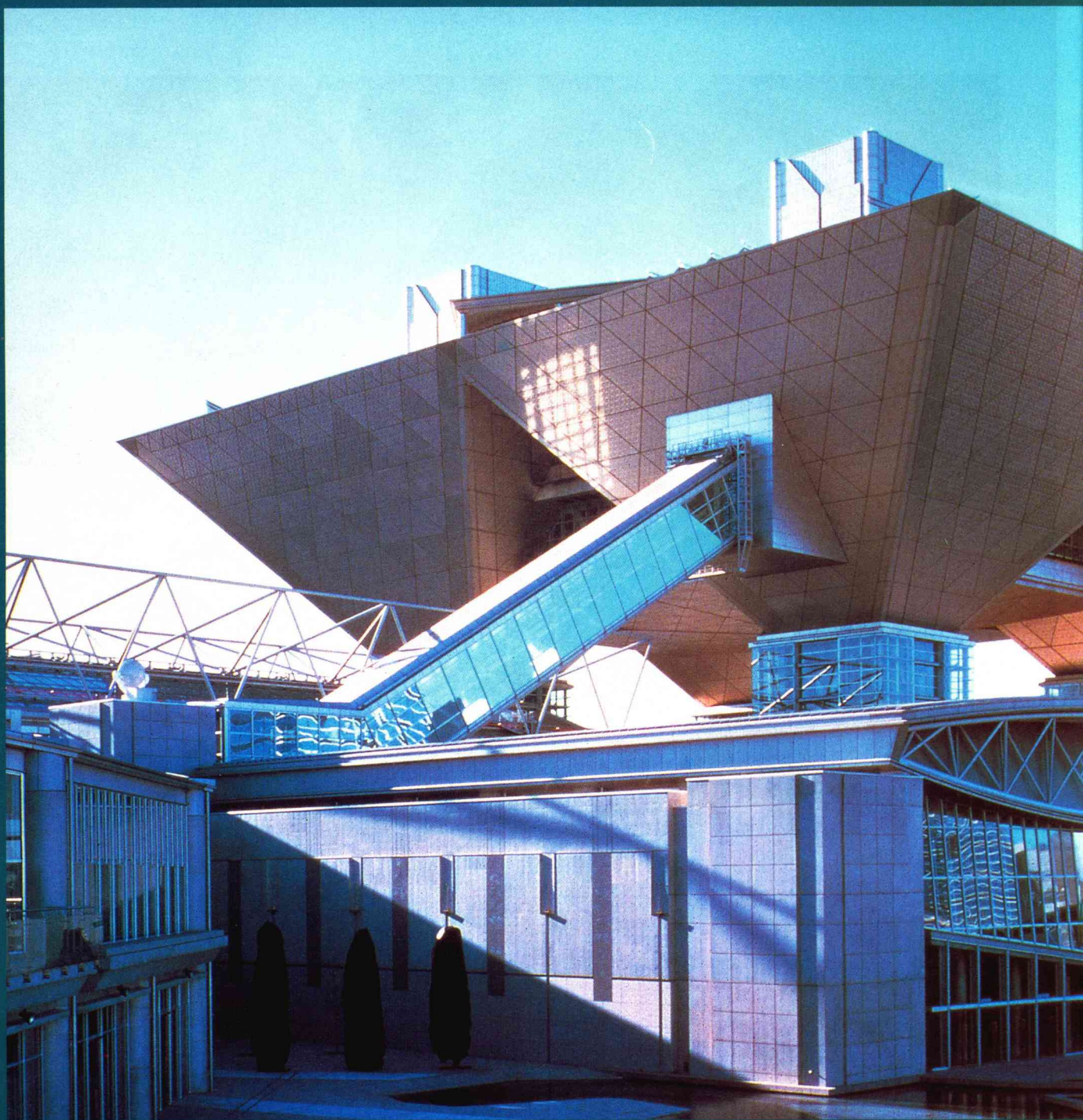
あるのか。より魅力的な製品として完成度を高めていくと同時に、税制上の優遇措置や駐車規制の緩和など、法制面での対策をふくめた、総合的な普及政策が課題となってくるのではないだろうか。

取材協力：(財)日本電動車両協会
写真提供：(財)日本電動車両協会、畑中力、
カー・アンド・ドライバー編集部

- *1 電機子：モーターを構成する基本部分の1つ。電気エネルギーを回転エネルギーに変換する。
- *2 誘導モーター：交流モーターの1種。巻線を施した3つの電極に時間をずらして交流電流を流し回転磁界を発生させて巻線型の回転子を回す。
- *3 ブラシレスDCモーター：交流モーターの1種。同期モーターの回転子に永久磁石を使用したもの。
- *4 EV用モーターの回転数とトルクの関係（DCブラシレスモーターの例）

$$n=2\pi V/\phi Z \quad T=\phi ZV/R$$

n：モーター回転数 V：電圧 ϕ ：総磁束 Z：電機子の巻線数 T：トルク R：抵抗
- *5 IGBT：Insulated Gate Bipolar Transistor 絶縁ゲートバイポーラトランジスタ
- *6 パワーMOS-FET：Metal-Oxide Semiconductor Field Effect Transistor 金属酸化膜半導体電界効果トランジスタ
- *7 エネルギー密度：電池の重量もしくは容積当たりの電力容量。1充電走行距離を決定する。
- *8 パワー密度：電池の重量もしくは容積当たり取り出しことができる最大の電力量。加速力と最高速度に影響する。
- *9 充放電率：充電に用いた電力量に対する電池から取り出せる電力量の割合。総合効率に影響する。
- *10 寿命：電池が規定の性能を示せなくなるまでに充放電を何回繰り返せるかの回数。
- *11 10・15モード：10モードに代わり1991年から採用された燃費テストの運転方法（モード）。従来の一般道を基準としたモードに、高速走行の要素を加味した15の走行パターンが追加されている。



情報を発信する鉄 ～東京～

“ゆりかもめ”をはじめとする各種交通網の敷設、
あとをたたない新スポット・ホテル建設と
ますます活気をおびる臨海副都心。
この臨海副都心に昨春、
国内最大規模の展示面積を誇る東京ビッグサイトが完成した。
幕張メッセをしのぐ施設総面積230,000m²におよぶ
広大なスケールには、
展示ホールのほか会議施設も完備されている。
新しい時代を創造するための新情報の発信基地、
東京ビッグサイトを訪ねた。

Steel 鉄の絶景 Landscape.



上空から見た、東京ビッグサイトの全景

ビッグサイトの象徴、コングレスタワー

世界の新情報の集結場、東京ビッグサイト

地上8階・地下1階の会議棟、地上5階の西展示棟、地上3階・地下1階の東展示棟と、大きく3つの棟からなる東京ビッグサイト。なかでも目を引くのが地上65mの高さに浮かぶ会議棟、コングレスタワーだ。逆さまにした四角錐を四つ集めて宙に浮かせたような独特の外観をもつタワーは、リフトアップという建設工法によって生まれた。リフトアップ工法は地面から極力近い位置で鉄骨地組を行い、外装パネル・屋根・サッシュなどを取り付けた後、構造物全体をリフトアップして（持ち上げて）定位置に固定、仕上げ・内装工事を行うものだ。ビッグサイトの建設においては、2階部分に相当する低位置で築いた6,7,8階部分にあたる構造物に外装工事を施した後、これを2段階（地

切り・本リフトアップ）に分けてリフトアップした。この3層大空間をリフトアップするにあたっては、3種類、計64台のジャッキを用いたステップロッドジャッキシステムを起用。コングレスタワー構造物は、揚重用の丸鋼に“ツメ”を刻んだロッドが、上下の油圧ジャッキで持ち上げてはゆるめるといった工程を繰り返しながら、徐々にリフトアップされた。屋根や側壁には軽量のチタンおよびチタンパネルを使用したのが、重さ6,500トン・体積140,000m³におよぶ大空間のリフトアップは、リフトアップ工法史上、最大規模にあたる。（平成6年7月現在）なお、今回のリフトアップ工法では、工事過程における鉄骨架構の挙動をすべて自動計測および記録。リアルタイムに状況を把



東展示ホール：鉄骨構造の吹き抜け天井



レストランやカフェテリアが立ち並ぶメインストリート、 ガレリア



約5,800㎡の広さをもつ“憩いとふれあいの場” アトリウム



収容人数1,000人の国際会議場

握することにより、安全揚重が行なわれた。

コングレスタワーのメイン施設となる国際会議場は、収容人数1,000人。250インチのハイビジョンビデオプロジェクター、8カ国語対応同時通訳設備をはじめ、音響、照明にいたるまで会議スペースとしてのあらゆる設備が完備されている。また、道路を挟んでコングレスタワーの左隣に位置する東展示棟は、ガレリアと呼ばれるメインストリートの両サイドにそれぞれ3ホールずつの展示スペースを持つ。各ホールは90m×90mの面積を持ち、可動式の間仕切りを調節することにより3ホールつなげて全面使用することも可能だ。さらに、コングレスタワー後方に位置する西展示棟は、小規模の展示会に最適な2層構造の展示ホールとなっている。ここでは大型トラックが通行可能な搬入路が4階部分まで設けられるなど、展示作業の効率化を考えた設計がなされた。このほか西展示棟の屋上展示場および地上展示場は、合わせて19,000㎡の広さにもおよび、屋内とは異なる新たなイベントの創造性を広げてくれるスペースとなっている。

ますます賑わう水辺の街・臨海副都心

ここ数年のあいだに、臨海副都心には新たな名所が次々と建設された。昨春開業したビッグサイトはその代表格であるが、そのほかにも見所は数多い。

臨海副都心への都内からのアクセス方法はいくつかあるが、新橋～有明間を走る新交通システム「ゆりかもめ」は停車駅が沿線に9つあって小回りが利く。レインボーブリッジをくぐり、

お台場海浜公園駅に出れば、近くには公園のほかサンセットビーチと呼ばれるオープンエアのテラスが立ち並び、若者や家族連れの人気を博している。そのふた駅先には駅名にもなっている海事総合博物館、「船の科学館」が開設され、貴重な資料や模型などの展示、美しい映像と音響で描かれるシアター、参加型のアトラクションなど海と船の文化を楽しみながら学ぶことができる。またお台場以外にも数多くある公園、有明コロシアム、平成9年4月竣工・一部一般公開予定のフジテレビ新社屋など、おおむね臨海副都心全地域の新名所にアクセス可能な最寄り駅が開設されている。ちなみにビッグサイトの最寄り駅は、終点有明駅ひとつ手前の国際展示場正門駅だ。

この他の交通手段として、日の出桟橋～有明客船ターミナル間を走る水上バスのほか、地下鉄有楽町線およびJR京葉線・武蔵野線新木場駅～東京テレポート間を走る臨海副都心線などもある。水上バスではビッグサイト近くの有明客船ターミナルまで約15分ほどで到着し、通常時における時間短縮だけでなく、イベント開催による「ゆりかもめ」の混雑時などにはとくに重宝される。また臨海副都心線の新木場駅は、在来線との乗換えの便がよく、ビッグサイトの最寄り駅にあたる国際展示場駅にもふた区間、約5分で到着する。

21世紀に向け、さまざまな新情報を発信する役割を担う東京ビッグサイト。構造物全体での鉄骨鋼材使用料は約4万トンにもおよぶという。ビッグサイトを形造る鉄は、未来都市の象徴として時代を見つめ続けていくことだろう。

[取材協力・写真提供：（社）東京国際見本市協会]

名誉会員からのメッセージ

深根細根の勧め—日本の衰退の防止のために—

東京大学名誉教授 鈴木 弘



工業先進国の技術力の最も厳しい客観的指標は技術貿易収支比である。これについては、アメリカ一国のみが長期間続いて圧倒的な輸出国であり、日本も含めて英・仏・独の各国もすべて輸入超過国である。

日独両国は工業製品という技術のハードウェアの面では圧倒的な輸出国でありながら、技術のソフトウェアの側面では現在も輸入国の域を脱出できないでいる。工業分野別に分類して日本の技術貿易を詳細に観察すれば、鉄鋼業と建設業の2業種のみが輸出超過であって、他の業種はすべて輸入超過になっている。

自動車や半導体のように、世界中に日本製のハードウェアが輸出され、アメリカに対しての大幅輸出超過の故に、日米貿易摩擦の中心課題にもなっている当の両業界でさえ、実はソフトウェアに関しては輸入超過が続いている。信じられない意外な事実なのだ。当のその業界の人が、それと聞くとそんな筈はないと反発する。技術導入契約というものとは将来の一定期間の毎年の支払い責務を含んでいるから、現在では技術的優位を勝ち取ったと当事者が思いこんでいる技術領域についてさえも、数年前からのツケを引続いて支払っている場合もあるから、現在の意識とはズレが生じるのだ。

われわれ鉄鋼業界の事情はどうだろう。

鉄鋼業界も戦後の復興期は技術者の欧米視察、という以上に欧米詣でが引きも切らず続き、また技術導入の洪水ともいべき、海外からの技術ソフトウェアの大輸入時代であったが、昭和40年過ぎから出超に転じ、その後は輸出は輸入の5倍内外を維持している。

またそれと歩調を合わせるかのように、当日本鉄鋼協会の研究発表も質量両面の上昇を果たして来ている。さらに現実の新技术の自主開発も活発となって、世界の最先端の新技术の顕彰として評価の高い大河内記念技術賞の受賞数も、他の業界の水準を大幅に抜く多数に達している。特に圧延技術の分野での自主開発の数の多さが注目される。

このようにわが国の鉄鋼業が世界のトップを行く高い技術水準を実現したことは、誠によろこばしい現象であった。

しかし、その後日本経済のバブル崩壊後の不況が鉄鋼業

を直撃して、人員の大幅削減までも含む経営姿勢の転換が実施された経緯は今ここに繰返して述べる必要もない周知の事実である。

その後の事態の推移を見て、筆者が最も憂慮しているのは、新技术の開発能力の低下である。大型の新技术の開発には各種の基礎的研究を複数の研究者・技術者が分担して進め、その成果を総合して初めて新技术が完成する。しかも最近の高度化した新技术の開発については、それぞれの専門領域の担当者中には従来経験していない課題について、学術・技術の最前線の調査や新しい研究に取り組んで成果を得て、初めてプロジェクトの分担責任を果たすことができるメンバーもあるのである。

しかし、今や事情は変わっている。その道ひとすじに20~25年の研究歴の練達メンバーの予想外の大量転出のあとを支えるのは、他専門の研究者の片手間仕事であったり、新課題への挑戦の経験の全くない若いメンバーである場合もある。これでは大型プロジェクトの一部にウィークポイントが潜在する結果とならない保証はない。大型プロジェクトを強力に推し進めるスクラムでは、一人の弱者がつぶれてもならないのである。

練達の研究者の欠落は、さらに上位の問題点をも生む。プロジェクト推進の方向の正しい選択と適任のリーダー選定との問題だ。たとえば、学術的にも技術的にも問題点は把握できているが、機械設備としては世界に前例がなく、しかも現実の機械としての完成には機械工学上の高度の課題の解決が予見される。そんなプロジェクトであれば、仮に製鋼分野の設備であっても、プロジェクトリーダーは製鋼の研究者でなく、設備の専門家がリーダーとなり、重機メーカーとの密接な連係体制を採るべきだと考えるのが当然であろう。

しかし、一般的には上例のように簡単ではない。まず第一にどのような研究あるいは技術を中心として開発を進めるべきかが、必ずしも明瞭に理解できない場合がある。しかもその選択を誤ると、時間と人手と研究費との無駄使になる。正しい方向とリーダーとの選定のためには、プロジェクトの周辺の学術・技術に関する知識や経験の豊富なメ

ンバー、それも複数のメンバーによる検討が必要である。

実はこの問題にも最近の大幅の人員整理が色濃く影を落としていて、方針策定に当るべき年配の人達が集中的に社外へ去っているのである。その故に判断を誤って、不適当な方向に研究を進めて、1年2年の貴重な時間を過ぎて後に方向転換したと見られる事例をいくつか筆者は実見している。

実はさらに上層部にも問題がある。不況と財政との酷しい時代を迎えて、開発の失敗の責任を追求する、あるいはそれ以前に責任者が失敗の責任を危惧する空気がきわめて強くなっている。その結果、最も好ましくない事例としては、技術的にはほぼ完璧に研究と準備が整っているにもかかわらず、ゴーサインを出すべき責任者が万一の失敗を怖れて、決断を先送りして無為に時間を空費する例さえ発生しているように筆者には思われる。

バブル前の日本全企業の開発至上主義とでもいえる程に高揚していた熱気の反作用もあるのかも知れないが、上記のように開発の障害となる条件が噴出しているのが現状である。しかし、日本の企業が諸外国以上の技術水準を持たねば、日本の将来には全く期待が持てないのは明らかである。そこで鉄鋼協会の若い会員諸君に、現在の悪環境の中でも、日本の鉄鋼技術に関する限りは、優位を保たせるための努力をぜひお願いしたい。

そのためには、前述の諸欠陥を補う努力が要請される。すなわち、まず第一に総ての技術者が自己の専門については従来以上の研鑽を積んで、現在の技術水準を突破って前進するための高いポテンシャルを身につけるよう期待したい。その上で自分の専門に縁の深い領域の学術・技術について、知識の深さにはこだわらないでも良いから、広い視野と知識を身に付けるよう努力すべきである。その学術や知識を自ら駆使する能力はもたなくても、その専門技術者の意見の結論を理解し得る程度でもよい。それでも他の専門との協力による成果を引き出すための手掛かりにはなる

筈である。

最近では各専門とも進歩に従って知識が深化し、その反面専門を異にする技術者間の相互理解が次第に困難となっている。多くの専門にまたがる大型プロジェクトの開発の場合、相互理解により幾何級数的に大きな総合効果を育成し得るか、逆に相互の理解不能のための欠陥を招来するか、その差は非常に大きい。

上記のように他専門を相互に理解し得る研究者や技術者が多数育ち、そのネットワークが組立てられた会社であれば、当面その人員の不足があっても、若い研究者を育成して行くにも、またプロジェクトリーダーの人選にも困難は幾分軽減されるであろう。

自己の専門には深い知識を持ち、周辺他専門を理解し得る広い知識を持つ研究者と技術者との多数の育成は、当面の人員不足の弥縫策として間に合う、という意味でその必要性を主張しているのではない。このような資質は、高い能力の専門職として本来基本的に重要な資質であって、すべての専門職の人達の必須の能力である。今後の日本の工業の衰亡を防ぎ、高水準の技術立国を獲得するための基本としての必要条件であることを銘記して、その実現を目指して努力されたい。

大樹深根良樹細根という訓があるのだそうだ。出所の記憶を失って真に申訳ないが、引用させて戴いた。この言葉は技術開発の心得にピッタリだ。中心技術の根を深く下げて大樹を育て、周辺の多くの学・技術にも細根を張りめぐらし、必要な知識を吸い上げる。そうありたい。

急速に進化して行く鉄鋼技術に対処するには、各社の昨今のリストラ後の研究人員では心許ない。このままでは技術進歩の潮流に遅れて行くのは必定と筆者は憂慮している。強力な研究体制の復活こそ第一の望である。しかし、研究者個人の側でも深根細根の強化を計り、研究最前線の推進力の一層の増強を実現されたい。

(1996年10月30日受付)

名誉会員からのメッセージ

戦後原料政策史のエピソード

東京大学名誉教授 館 充



日本鉄鋼業の戦後における空前の発展をもたらした要因の一つが優良原燃料の大量かつ有利な使用を可能とした原料政策にあったことは周知の事実ですが、この政策は始めから唯一絶対のものだったのではなく、10年余にわたる過渡期を経てしだいに確立したものでした。国内資源の最大限の活用を基本としていた路線から海外資源の開発・輸入の新局面への移行が過渡期を伴ったこと自体は当然でしょうが、この過渡期は単なる移行期間だったのではなく、いま一つの路線も模索された時期だったのです。すなわち1952年12月に八幡・富士・鋼管（いずれも当時）の3社によって海外製鉄原料委員会が結成されて新局面が緒についたのですが、これを追いかけるように未利用鉄資源開発調査委員会が設けられて（1954年3月）、砂鉄と磁硫鉄鉱の利用の可能性を検討することを直接の目的とする活動を始め、さらには東南アジアのラテライト資源の利用をめざす研究が組織されたのでした。戦後の復興期以来使用されてきた硫酸滓や砂鉄などの国内資源の全鉱石使用量に占める割合が50年代前半で30～40%、後半でも25～35%を保っていたことも注目されることです。

石炭の場合はもともとかなりの量の国内資源が賦存していることから、その利用は鉄鋼業の復興の大前提ともなっていました。したがって石炭産業は鉄鋼業とならぶ重点産業と位置づけられていたのですが、中東の石油資源の開発に伴う原油価格の大幅下落を誘因として出現した「エネルギー革命」のもとで急速に「斜陽化」し、その救済が重大な社会的・政治的問題になったのでした。そしてその最も有力な対策は弱粘結性の国内炭を原料炭として活用し続けることだったのです。原料炭の総消費量に占める国内炭の割合が、鉄鋼業界の高炭価批判をよそに、50年代を通じて50～60%に保たれ、60年代後半には年々減少したものの、1970年でも20%近くを維持していたのはこうした事情を背景とするものでした。

しかし優良海外資源依存路線は60年代には確立し、これ

とともに鉄鋼生産規模したがって原燃料消費量は急増して、国内資源の比重は急激に低下しました。最も有力な国内鉄源であった硫酸滓は焼結排煙浄化の観点から使用されなくなりました。またとくに石炭産業は結局国による支援を失ってさらに一段と衰退し、出炭量の激減とともに弱粘結炭さえ輸入されるにいたりました。こうして国内・未利用資源の活用の路線は基本的に終息したのでした。

私がいまどきこんな話を持ち出すのは、原料政策史の一側面としてこのことを忘れることができないということだけでなく、原料政策の束の間のゆらぎと国内資源重視の過渡期が研究開発に及ぼしたインパクトを考えてみたいということによるものです。それは鉱石についていえば砂鉄関係の諸研究のほかラテライトの活用をめざす様々な研究をもたらしました。恩師金森九郎先生の、私にとっても思い出深い「高炉湯溜吹精法による脱クロームの研究」もラテライト関連研究の一つでしたが、もちろんこの関係の研究で日の目を見たものは一つもありません。石炭については国内弱粘結炭の特性に関する基礎的研究やこれによる高強度コークスの製造をめざす多くの研究が進められ、コーライト・コークス法、粉コークス法、膨潤炭法、二段乾留法などが開発されました。これらも、一時期のコーライト・コークス法を別とすれば、それ自体として工業化をみたものはありませんが、コークス研究者・技術者の共通の知的財産として継承され、今日のコークス製造技術のなかに生きていることは疑いありません。総じてこの時期に行われた研究には独創的とまでいえるかどうかわかりませんが、少なくとも特徴のある個性的なものが多かったように思われます。それは物質的対象を特定した研究には対象自体のなかに潜む法則性に導かれて、新しい知見にいたる可能性があることを示唆するものではないでしょうか。原料政策の過渡期はそうした問題に取り組む機会を与えたのではないかと考えてなりません。

（1996年11月1日受付）



科学技術に対する過信と不信

世紀末の科学技術と21世紀への提案「海洋開発」

浅井恒雄

日本科学技術ジャーナリスト会議 事務局長

Tsuneo Asai

Science and Technology—Too Much Confidence? or Distrust?

1

科学技術の進歩は本当に 人類の将来を明るくしてくれるの だろうか

関東大震災を教訓に、耐震構造だから大丈夫といわれていた高速道路やビルが、阪神大震災ではもろくも崩れ、安全には人一倍気を使っていた高速増殖炉「もんじゅ」は、ナトリウム漏れで原子力開発全般に不信感を招いた。地下鉄サリン事件では化学への不安感を増し、高度成長の自信もバブル崩壊による不況の影響で消えてしまった。科学技術に対する過信が不信につながっている。

一方、大量生産、大量消費、大量廃棄の社会経済構造が、化石燃料の燃焼に伴う二酸化炭素（炭酸ガス）の排出を促進し、地球環境問題が世界の課題となるなど、人類の危機感が高まっている。人類のサバイバルに関わる3大課題は、①食糧資源の確保、②エネルギー資源の確保、③環境保全である。このうち、少しでも対応が遅れると20年、30年という近未来に何億、何十億という人々の生存を直接に脅かす大問題に発展する可能性が高い、最も重要な課題は、食糧資源の確保であろう。

2

4次にわたる技術革新—世紀末を 超えて第5次の技術革新へ向かう

世紀末では新しい世紀への期待感もあって、いろいろなことが起こる。20世紀を迎えようとしていた100年前、19世紀末は不景気で、日本も大陸に目を向け、1894年には日清戦争が起こった。その後の50年は戦争に明け暮れる。世界に目を移すと、1895年にはマルコニーが電信を発明し、戦争にも利用された。

さて、第1次技術革新は、18世紀末ころから始まり、英国を中心とした欧州の産業革命につながった。1765年にワットの蒸気機関が登場し、1825年にスティーブンスンの実用的蒸気機関車によって大量輸送手段が確立した。1830年

ころから各国に蒸気機関が普及し、汽車や汽船など交通網が進展、電信機などの情報機器も発達して、新聞等の大衆化が進んだ。ダーウィンの進化論も発表され、当時も国際化・情報化という古き良き時代だった。

第2次技術革新は19世紀末にかけて起こった。化学工業の基礎が作られ、1827年にはアルミの分離、28年には尿素、57年に銅アンモニア法レーヨンが生まれている。これらは40～50年後にアルミ精錬、合成繊維、化学肥料として実用化の花が開く。電気、自動車や航空機、電話もこの時代に普及した。そして1914～1918年は第一次世界大戦、化学の戦争が起こった。

第3次技術革新は20世紀に入って、第2次世界対戦迄の間に起こった。舞台は欧州から米国に移る。米国は研究所ブームで、企業の研究所が5倍も増えた。現在的主要技術、トランジスタ、ナイロン、ペニシリン、原子力など、ほとんどこの時期に生まれた。20世紀は物理学の進展で「科学技術の世紀」といわれるが、1941～1945年の第2次世界大戦は、原爆を使った物理学の戦争だった。化学兵器や原爆の後遺症は、今も問題を残している。

第4次技術革新は1960年代前後から現在に至るもの。宇宙開発、集積回路、レーザー、組み替え遺伝子など、すべては米国の研究者によって基本技術が確立している。この時代、日本は欧米からの技術導入で工業化を推進していた。

さて、日本側からみると1945～1954年の復興期には、かの有名なナイロンが導入開発され、アメリカの援助も大きく基幹産業の鉄鋼設備は近代化が進み、朝鮮動乱などもあって景気が出て来た。その間には財閥解体、農地改革が行われたが、産業の二重構造化も進み、労働組合の急速な組織化なども行われた。

次が1955～1970年の高度成長期。トランジスタに始まってラジオ、テレビ等の家電製品と言った耐久消費財が日本の主力製品になり、石油化学コンビナートによるプラスチック等の製品、ロボットなど新しい量産方式による自動車がアメリカ市場を席卷しはじめた。また官民協調が進み、

下請け制度が整備され、大型合併が進んだ。

そして1971～1980年以降の調整期といわれる時代では、超LSI等のマイクロエレクトロニクスに新しい生産方式が導入され、アメリカから入ったQCサークル活動、TQCが進展、大きな経済成長は欧米先進国を驚かせた。石油ショック以降は輸入国の多角化が進み、企業の系列化等が進んでいる。今世紀末はハイテク化、情報化のほか、バイオ技術や遺伝子治療、臓器移植などの研究が進み、脳死の採用など人類の死にまで科学技術の影響が出てきそうな状況である。21世紀にはさらに大きな技術革新、国際化が進展するとみられている。

3 20世紀の国際化、情報化は19世紀末のテーマと同じ

20世紀の国際化、情報化は19世紀末のテーマと同じである。ただ、内容がハイテクとなり、発明から実用化までの期間が短くなったのが特徴だ。このような科学技術の進歩に伴う社会の激変の中で、この10年、産業部門の国内産出額、つまり産業構造は大きく変化してきた。

一時期、基幹産業はすべて新しい産業にとって換わられるものと心配された。明治時代から国産奨励された鉄、繊維、石炭、化学、鋳業、造船は、軒並み斜傾傾向をみせた。基幹産業の鉄鋼、繊維会社などの各社が多角化でこれを切り抜けてきた。ここ数年、暇と金が出来たためか、レジャー、観光、流通、銀行、証券会社などの三次産業が大きく伸びてきた。高度成長の波に乗って住宅や都市の整備も進んだが、バブル崩壊後の長い不況は、マルチメディアや情報通信分野で欧米に立ち遅れたという意識とともに、自信を失った感がある。

4 公害と環境は新しい課題

技術導入や自社開発が活発化してきたが、その一方で、なりふり構わぬ高度経済成長による公害問題の華やかな時代に入った。これに対処する国際協力の必要性が各国で叫ばれるようになったのは1970年代に入ってからである。1972年6月にスウェーデンのストックホルムで「国連人間環境会議」が開かれた。地球規模の環境問題がいずれ起こることが予想され、「かけがえのない地球」を守るという言葉が出て、環境問題の持つ国際的性格が次第に認識された。

量の経済政策が生み出した歪みに各国が気付き、量より質の転換が始まった。それ以前も環境問題の国際協力の動きはあった。専門的国際機関で扱っていたが、対症療法で

は不十分となってきた。例えば、人間の健康に関する環境問題。海洋油濁防止や放射能による環境汚染などが国際的に問題となって、1965年頃から環境問題が独自のテーマとして取り上げられてきた。そこで、1968年にスウェーデンが「人間環境に関する国際会議」の招集を提案。「国連人間環境会議」が開かれたわけだが、地球環境問題は「環境保護か開発か」の論争に終始してきた。人類は科学技術の過信で自らを苦しめだした。

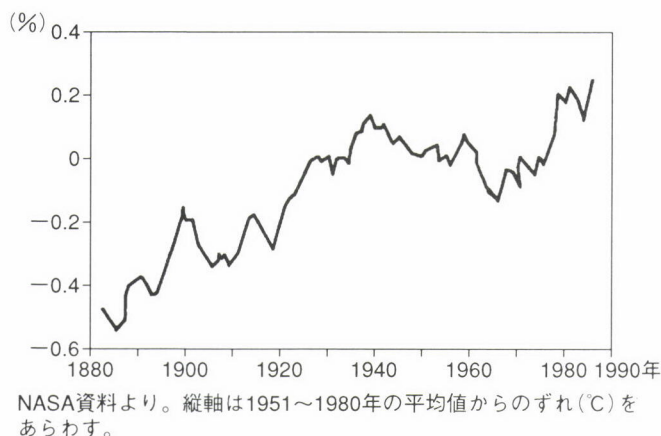
それから20年たった1992年6月3日から、ブラジルのリオデジャネイロで国連環境開発会議（UNCED＝地球サミット）が開かれた。人類共通の課題である地球環境の保全と、持続可能な開発を実現するための具体策が検討され、これを行動に移すための基本原則を定めた「リオデジャネイロ宣言」を採択、実行するための目標・行動計画・実施手段などを定めた「アジェンダ21」を策定したほか、地球温暖化や動植物種の保全に関する条約なども締結した。

20年前は公害問題のはなやかな頃で、いわば地域の環境汚染が問題となっていた。水俣病、いたい痛い病、四日市ぜん息といった公害病が問題となっていた。そこでは加害者と被害者を区別できた。これに対し、現在の環境問題は国境を越えた地球規模の問題で、フロンガスによるオゾン層の破壊、二酸化炭素による気候の温暖化、砂漠化、国境を越えて降り注ぐ酸性雨、海洋の変動などの問題が発生している。二酸化炭素を排出するのは工場であり、発電所であり、自動車を運転する我々であり、薪をたき、焼き畑農業をしている発展途上国でもあって、加害者と被害者を特定できない。

いまや人類のすべてが被害者であり加害者でもある。環境の保護は一国だけでなく世界的な課題となった。大量生産・大量消費・大量廃棄といったライフスタイル（生活様式）の変更、省資源・省エネルギー、化石燃料に代わる新エネルギーへの転換など、産業・消費の両面からの対応が必要になってきた。

地球サミットの最大の目玉は、地球温暖化防止条約（気候変動枠組み条約）で、大気中の温室効果ガスを気候変動に危険を及ぼさない一定水準に安定させるように、二酸化炭素などの排出を抑制しようというものだった。地球の温暖化防止については先進国と発展途上国では受け止め方と責任感の違いはあるが、共通の義務がある。IPCC（気候変動に関する政府間パネル）の報告によると、地球の温暖化には二酸化炭素が55%、フロン11や12が17%、メタンガスが15%、亜酸化窒素が6%、その他7%が寄与しているという。

1958年から炭酸ガスの計測が始まって以来、具体的な論議がされるようになった。フロンなどで成層圏のオゾン層



19世紀以来の地球気温の上昇傾向

が薄くなり、紫外線が多くなって皮膚ガンが増えていると言われている。しかし、オゾンホールの場合でも、その因果関係をはっきりと証明できない状態で、フロンが原因らしい、どうも確からしいという可能性で論じられているところがある。温暖化についても3つの意見がある。ECや日本は温暖化は今後ますます重大問題になるので、一刻も早く手を打てという考え。アメリカは温暖化の知識が現在のところ非常に不正確で、思い切った手を打つと経済に負担がかかる、と消極的な対応。これに対し発展途上国は開発を望み、温暖化は先進国に責任があると言っている。

気候変動も二酸化炭素による人工的な変動によるものかどうか、はっきりしていない。南極や北極の氷が溶けて、海水面が上昇するといった将来の被害予測も出ている。これも確かなものではない。しかし、メカニズムは確かなので可能性はある。だから、対応策をとらないよりは、とった方がよいという状況にある。

発展途上国にしても温暖化ガスを出していないわけではない。中東戦争で原油が流れ出し、火を付けられた油井が燃え続けていたことはよく知られているが、もう一つの温暖化ガス、メタンは天然ガスの発掘現場から漏れ出しているし、家畜や水田からも出ており、これらは止められない。地球の温暖化ガスを下げるとすれば、先進国がコントロールし易い二酸化炭素の排出量を減らすのがもっと早い。火力発電所や溶鉱炉、セメントや紙パルプ工場など、エネルギー多消費産業の炭酸ガス放出防止策が望まれた。

重要なのは、有限なエネルギー資源を大切に使い、同時に「かけがえのない地球」の環境を、21世紀に向けてどう守っていくのか、その接点を見いだすことである。そのためには、産業界がさまざまな対策を早急に講ずることは勿論だが、個人レベルでの意識の転換も必要になってきている。人間の活動時間とエネルギー消費の相関については、従来から経験法則的に指摘されてきたところだが、これを

科学的に検証することも重要である。

5 生活の密度とエネルギー消費

交通網の発達と高速化、便利な家電製品の登場などで生活の密度が高まると、単位時間当たりのエネルギー消費はどうなるのか、或いは最近のレジャー志向の高まりはエネルギー消費にどのような影響を及ぼすかなど、多角的な分析が必要になってくる。このような分析の積み重ねが、最終的にはエネルギーの効率的利用につながることだろう。

エネルギー需要の将来予測の方法論でも、自給自足社会を提唱する「環境重視派」が、「ライフスタイルの変更が必要不可欠であり、そうしなければ人類の未来はない」と指摘しているほかは、ライフスタイルの変更にまで踏み込んだ考察はほとんどなかった。真正面からライフスタイルとエネルギーの問題を考える上で、時間の視点は非常に大切だ。それは、生涯一人当たりの時間の有限性に関係がある。少しでも早く移動し、あるいは同時に複数の仕事をこなし、限られた時間にできるだけ多くの経験を積もうとする欲求が、エネルギー多消費構造を生む一因になってきた。

それに、炭酸ガスの発生源は産業だけでなく民生、交通などすべてにわたり、日本で排出する炭酸ガスも10億トンを超える。二酸化炭素を削減するための努力は始まっているが、省エネ、代エネ技術の導入とともに、技術をいかにして社会システムに取り入れるか、消費者の意識改革が必要とされている。

製品の生産－使用－廃棄－再資源化というサイクルの中で、住環境、都市環境、運輸・交通、快適な生活環境を生み出す「地球にやさしいライフスタイル」が求められている。忙しい社会から「ゆとりと豊かさのある社会」への脱皮が必要となろう。しかし「環境保護か開発か」の問題は、各国の利害から対応策は消極的にならざるを得ない。

途上国のライフスタイルと先進国のライフスタイルのギャップがここでも現れている。地球環境の保護を訴える視点は、有限のエネルギーを未来の世代にわたって等しく分配することでもあるが、各世代トータルとしての満足度を極大化する“幸福指数”のような考え方も必要になってくる。エネルギーは人間の糧であり、エネルギー消費の増大によって豊かな暮らしとゆとり、GNPの拡大にも寄与するように見えるが、実際には逆に、自由に活動できる時間は減り、生活が慌ただしくなり、時間に追われて疲労の蓄積や争いのもとを作りだしているようである。

現代病の多くは時間のストレスであり、これはエネルギー多消費の結果とも言われている。ライフスタイルとエネルギーの問題を考える上で、時間の視点は非常に重要であ

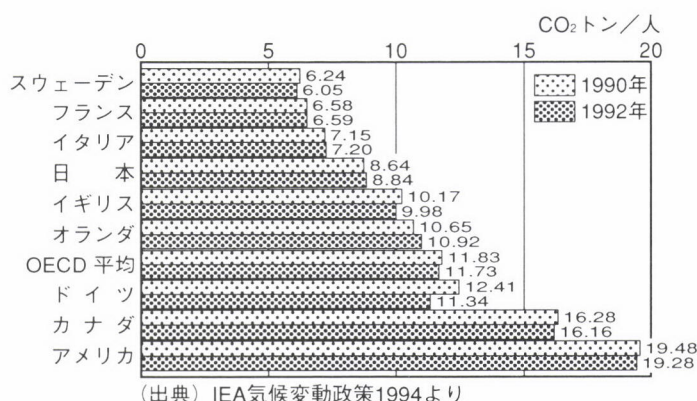
る。少しでも早く移動し、限られた時間にできるだけ多くの経験を積もうとすれば、多くのエネルギーが消費されると同時に、ストレスも蓄積す。先進国ではエネルギー多消費によってゆとりが出来るというが、日本のように時間が出来ると2倍働く社会では、不経済効果の面が現れてくる。若者が美食に溺れながらダイエットし、子供を作らない傾向が進むと長寿社会も長続きしないことになる。こうした高齢化社会の問題も、地球環境やエネルギーとの関係から分析できる。

地球上の人口が増え、人類の生活圏が広がり、人間活動が活発化し、エネルギーの消費量が増えるにしたがって、地球の浄化作用、回復機能は限度を超えてしまった。国境を越えて被害、影響を与える地球規模の環境問題が広がり、人類の生存を脅かし始めた。フロンガスなどでオゾン層が壊れ、有害紫外線の量が増えて人体に影響を与える。炭酸ガスなどの温室効果ガスも増え、地球が温暖化して海面の水位が上昇するという説もある。都市はゴミで埋まり、排気ガスによる大気汚染で酸性雨が降ってくる。熱帯林の伐採が進む一方、気候の変化で砂漠化が広がり、海洋汚染が生物の生存を脅かすといった多くの問題を生じている。

6 人口・エネルギー・環境と経済成長

世界の人口は年1.5%の割合で増え続けており、2000年には約62億人、2030年には、86億人に達する一方、エネルギー消費の方も年率2～3%の割合で増え、2030年には倍増するものと見られている。世界人口は現在約52億人で、開発途上国が約52%を占め、全世界で使われるエネルギーは石油換算で約81億t、うち西側先進諸国が約50%、共産圏諸国が34%、発展途上国が16%を消費している。内訳は石油が37.6%、石炭30.1%、天然ガス20.2%、水力6.7%、原子力が5.4%を占めているのが現状である。衣食住の全てがこれらを原料あるいは電気や燃料などのエネルギー源として、人類に役立てられると同時に、廃棄されている。

世界での埋蔵量が確認されているエネルギー資源は、石油換算にして石炭が7,200億t(埋蔵量で10,755億t)、現状の生産量で消費すると330年分存在するというし、石油は1,200億t(同9,074億バレル)で約40年分あり、天然ガスは1,000億t(同112兆m³)、ウランは330億t(同230万t)で、それぞれ60年分あるといわれる。ウランは利用するにはまだいろいろ課題があるにしても、高速増殖炉でプルトニウムに転換すると石油換算にして19,800億tに増殖、3600年分も使えると試算されている。原子力は将来のエネルギー源として有望だし、炭酸ガス(CO₂)を排出しないのも特徴である。しかし、これには反対も多い。



先進国一人当たりエネルギー関連CO₂排出量の比較
(1990年・1992年)

エネルギー資源は有限で、有効利用しなければならないが、文明のバロメーターといわれる紙の使用量にしても、戦後間もない1950年には世界で年約4,000万t生産されていたものが、1989年には2億3,300万tに達し、現状の伸び率3%で消費が増え続けると2000年には、3億2,300万tにもなると予想されている。古紙1tを回収利用するだけで、直径14cm、高さ8mの樹木20本分が伐採から免れるといわれ、生産エネルギーだけでなく木材の伐採量もバカにならない。人間活動に消費される資源・エネルギーの増大が、地球環境問題の源泉となっていることは事実である。

というのも地球上の二酸化炭素は人口が増え、産業活動が活発になってきた19世紀初頭(産業革命)の頃から増えだし、第2次世界大戦以降に石油・天然ガスが多量に使われるようになって急速に増加しだしたからだ。化石燃料からの二酸化炭素排出量と大気中の二酸化炭素濃度との関係を見ると、産業革命当時は森林火災や燃料などの発生源で排出量は少なく280ppm程度だった大気中の濃度が、第2次大戦後は石炭に石油・天然ガスが加わり、排出量は年間約50億t、二酸化炭素濃度は300ppmに達した。現在では年間排出量が200億t以上となり、濃度は320ppmを超えている。

年間50～60億tの化石燃料を燃やすと、大気中の二酸化炭素は約0.7%、2～2.3ppm増加するという。たしかに、この100年間に二酸化炭素は30ppmほど増え、地球の温暖化が心配されているが、増えたのは放出量の3分の1程度で、大部分は海中に溶けたものと見られている。しかし、これらの現象は観測されておらず、はっきりとした証明はない。

火力発電や鉄鋼、化学コンビナートなどでの二酸化炭素放出が問題になり、炭酸ガスの固定化や排ガス防止装置などの研究だけが先行している。そのような状況にあって、二酸化炭素について多くの国際的な調査研究計画が動き出してはいるが、研究費や研究人材・観測船も十分でなく、国際的な足並みも揃っていない。現状がはっきりしない状況にあっては、将来の人類の生存のために、地球そのもの

を知る基本的な努力が必要であろう。

わが国では平成2年に2010年を目標にした地球温暖化防止行動計画を閣議決定し、二酸化炭素の排出の少ない都市・地域構造、交通体系、生産構造の形成、エネルギー供給構造、ライフスタイルの実現などの抑制・吸収源対策、メタンその他の温室効果ガスの排出抑制と、これらの技術開発、国際協力などを推進することにした。

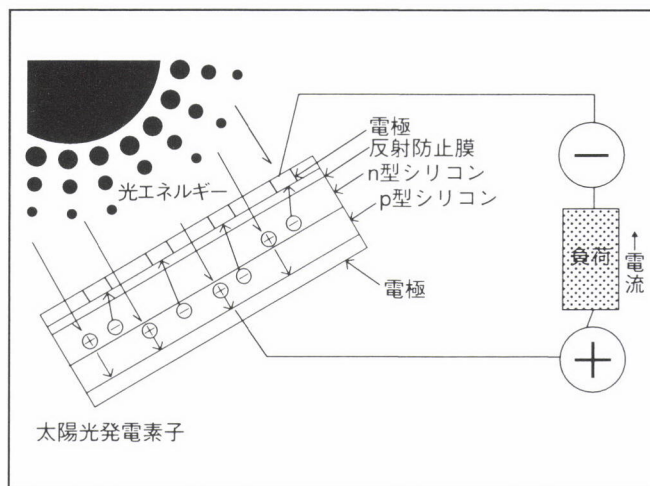
目標として①二酸化炭素については一人当たりの排出量を2000年以降1990年レベルで安定化する。②太陽光や水素等の新エネルギー、二酸化炭素の固定化などの技術開発によりこれを促進することになっている。現状では地球温暖化の主因とされている二酸化炭素の削減と他の物質への変換を最大の課題とし、細菌・藻類などを活用した効果的な固定化と化学原料への転換、水素を接触させてメタノールに変換する研究などが続けられている。

二酸化炭素の排出量を抑制すると、世界経済にも大きな影響を与える。2050年には人口が倍増しているが、先進諸国が一人当たり（炭素換算）の排出量を現状（3.3t）で固定し、共産圏では2050年に現状（1.4t）の1.5倍、開発途上国が現状（0.5t）の2倍に二酸化炭素を抑制した場合、その排出量はそれぞれ3.3t、2.1t、0.9tに抑えられる。しかし、実質経済成長に与える影響も大きく、成長率は先進国の場合、2.8%が2000年までに1.4%に、途上国は3.3%が2.7%に、共産圏は4.8%が1.4%にそれぞれ下がるという分析もある。二酸化炭素の排出を抑えることは、先進国のエネルギー消費の削減と同時に、途上国のエネルギー資源利用の増加につながる。そのための対応策として省エネルギー技術や新エネルギーの開発が望まれる。

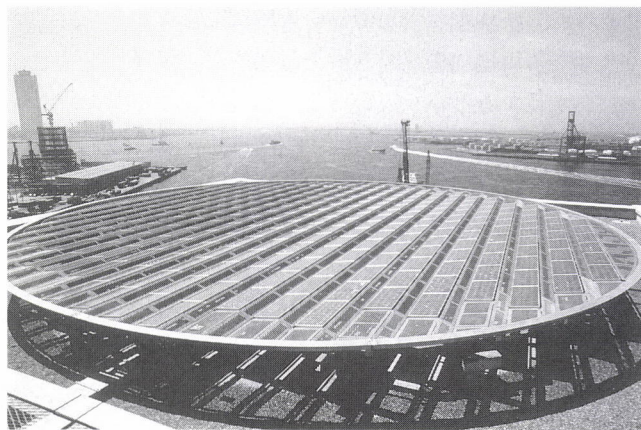
7 エネルギー技術開発

わが国では昭和49年度から新エネルギー技術研究開発の「サンシャイン計画」と、昭和53年度からは省エネルギー技術研究開発の「ムーンライト計画」を発足させている。新エネルギーでは太陽、地熱、石炭、水素などの開発が続いているが、まだ多くの問題があり本格的な実用化はこれからというところ。省エネルギー技術開発も燃料電池、スーパーヒートポンプ、エネルギー集積システム、超電導電力応用技術、セラミックガスタービン、分散型電池による電力貯蔵などの開発が進められている。

地球そして人類の歴史はエネルギーに始まる。エネルギー無くして人類は生存できないだろう。しかし、化石燃料の利用は、長い地球の歴史で見れば、一瞬に枯渇してしまう勢いだ。そのため世界が地球環境を守りながら、エネルギーをうまく利用する努力を開始した。日本でもフロンや



太陽発電の原理



サントリミュージアム／13kW(大阪市)

炭酸ガスへの対応策が進み、企業も地球環境問題に真剣に取り組んでいる。排気ガスの減少、砂漠の緑化、天然資源の再利用などの新技術開発にも力をいれており、当面、出るところから問題を解決しようとしている。

8 地球環境の保全

地球環境問題は人類の生存と発展にとって重大な課題である。先進国を中心とする経済成長と、これに伴う資源・エネルギーの消費、排出物の増加、発展途上国を中心とした人口の急増と文明の発展に伴う人間活動の拡大によって、環境に対する負荷が地球規模で増大している。特に最近、地震や水害、気候不順など人類の手に負えない自然環境の猛威に曝され、人口問題、食糧・エネルギー問題など、人類の生存に深く関係する新たな課題も解決する国際協力が、これまで以上に必要となってきた。日本はその発展の原動力にしてきた技術力が積極的に使って、真に世界のリーダ一国となるために、国際社会により貢献できる方策を考え

る時にきている。

9 地球環境問題解決の鍵—海洋

地球環境の保全と解決のために、これまでも様々な分野で検討され、多くのアイデアが発表されてきた。学術審議会はさる1995年4月「地球環境科学の推進について」建議し、従来の枠組みにとらわれない新しい地球環境科学の必要性を解き、「我々が直面している問題は、地球環境の有限性と人類文明の発展の相剋という基本問題であり、その解決のためには部分的な方策の導入は、単に不十分だけでなく、時にはマイナスにすらなりかねない。新たな問題解決型の総合科学を速やかに構築すべきだ」と指摘した。

地球環境科学は、人類の生存基盤である地球環境の理解を深め、人間活動の影響によって損なわれ地球環境の維持・回復に関連する諸問題の解決に資する総合的・学術的科学であり、「そのために大気、海洋、陸域、生態系などに関わる地球環境変動のメカニズムを解明するとともに、人間活動と地球の相互関係を踏まえて、影響の予測および対応策の研究を行う」必要がある。それには横断的な共同研究と地球環境の変動のメカニズムの理解や予測、対応策の揭示などのために、その影響を含む多くの資料・データを長期的、かつ地球規模の調査・観測によって体系的に収集・分析するとともに、定量的・総合的に評価する必要があると述べている。

産業活動が活発で豊かな先進国で、地球環境の破壊を促進している一方、開発が遅れ、人口の増加に悩む途上国では、食糧とエネルギーの確保と絡みながら大量の二酸化炭素を放出し、地球環境に影響を与えている。地球は人類の唯一の生活基盤であり、「かけがえのない地球」を守ろうと国連も動きだした。しかし、地球表面の70%を占める海洋は身近にありながら、宇宙より厳しい環境にあって十分に手が届かなかった。海洋は地球規模の環境変化に大きな関わりを持っているにもかかわらず、まだ未解明な点が多い。

大気中に放出された二酸化炭素の半分は海洋が吸収していると言う試算もあるが、その実態は未知のまま残されている。地球内部の巨大なエネルギーによるプレートの形成・移動、熱水活動が地震や沿岸域、さらに生物の生態系に与える影響も大きく、海洋の調査観測・科学的解明が焦眉の急となっている。

技術輸出、知的所有権を含む科学技術が国際摩擦の材料にされる一方、発展途上国への適正技術の移転が望まれている現状にあって、日本は海外から研究者を呼んだり、ODA資金による各国援助を進めている。しかし、貢献策の実効を上げるためには資金提供だけでなく、日本がイニシ

アティブを取り、国際的な施設を提供して研究をスムーズに進める事が重要である。

第1は世界の人口増をくい止めることは難しく、人口は60億、70億と増加し、21世紀には80億にも達する可能性がある。第2は自然の摂理を無視した無理な灌漑による世界の農業生産、これに根拠をおく畜産は共に間もなく限界に達し、今後減少することはあっても増加する見込みは全くない。第3は約200年を周期とする太陽活動の低下期の到来によって今後、地球は温暖化と寒冷化に交互に襲われ、その何れの場合にも、人類の主食であり、飼料の主体をなすイネ科植物（米麦、トウモロコシ等）の生産が打撃を受けることが予想されている。

10 海洋の調査・観測と科学的解明

気候変動を的確に予測し、それに基づいて温暖期、寒冷期のそれぞれに応じた種の作付けをするべきだが、それには気候モデルの抜本的改善を要する。食糧生産の上で、陸地の利用に比べて低いと考えられる海洋の利用を計るよう、生物生産のメカニズムの解明と、接続的な生物サイクルを保ちつつ、取り出し得る生物資源量の把握に努めることが望まれる。また、気候変動の振幅を可及的に小さく保つよう、多少なりとも気候調節に向けた可能性の追究を試みる。国際的な地球環境問題の進展を契機に、海洋（宇宙から海底まで）の研究・観測、情報収集の重要性が認識され、国際協力による全地球的な研究を積極的に推進するため、日本が何をしなければならないかを考える時にきており、海洋の調査観測・科学的解明が焦眉の急となっている。

地球表面は複雑に入り組んだ海洋プレートで覆われ、海洋の1.5% (500万km²) にもおよぶ中央海嶺では、活発な海底火山活動とともに絶え間なく新たな海洋プレートが造成され、これらの海洋プレートがぶつかり合う境界の先端では、断層や沈み込み現象を引き起こしている。これらの現象による火山噴火、地震による直後、あるいは津波など間接的な災害に対する予知技術の確立は、人間生活の基盤を保護あるいはその被害を最小限にとどめるために不可欠のものである。

しかし、海洋プレート移動の原動力、これら海洋プレート間での崩壊のメカニズムを定量的に把握・予知する技術を、人類は未だ手に入れていない。このように、海洋の科学的解明は人類共通の課題であり、調査観測によるデータは人類共通の財産となるべきものだが、これまでは各国それぞれがデータを独り占めしてきた。海洋は広く宇宙よりも環境が厳しいため調査観測は困難だが、エレクトロニクスやメカトロニクス、人工衛星や大型コンピュータなどの

発達で、海洋の研究も新たな局面を迎えている。

このため米国が宇宙開発で世界のリーダーシップを取ったように、日本は海洋観測・海洋関連の総合的な研究施設を設けて世界のリーダーシップを取り、産官学の知識を総動員して世界に貢献するための方策を検討すべきであろう。日本が国際貢献できることは、海洋における基礎研究を充実させることにより、今後の地球環境問題や食糧問題の解決の糸口を与えることと、海洋開発のために必要なアセスメントの基礎データを取得できる体制をつくることである。

地球上で人間活動が発展し、相対的に地球の大きさが小さくなった現在、我々の新しい試みはいかなる分野においても注意深く行わないと、地球規模での実験をやることになりかねない。それがまた人類に跳ね返ってくる。地球の70%を占める海洋の開発についても同じことがいえる。しかし、海洋の研究は間口が広く、すべての問題を解決することは資金面からも困難である。しかも、これを産業界に期待することは、経済的にも非常に難しい。この見地からも国が早急に、これまで以上に海洋環境の調査・観測と研究に力を入れることが、21世紀における大きな課題と考えられ、地球環境問題や海洋資源について考える上でも非常に重要である。



海洋開発の方途

また、今後、海洋空間利用などの海洋開発を行う上でも、海洋研究を行わずに技術だけを先行させることが、今後は困難となることが、地球環境保護の世界的流れからも十分予想できる。また、従来の産業構造を見直したり、新しい産業構造を考える上でも海洋は大きな検討対象であり、国際貢献策の対象としても重要である。

これらの研究を推進する上で、最も必要と考えられるのが、海洋科学技術研究を世界的に推進する「場」の設置である。この拠点となる研究所として長さ1,000m、50万tの超大型の航空母船「国際科学技術洋上研究所」を建設し、最新の設備を備える。ここに世界の多くの分野の科学者、第一線の研究者を集め、互いに密接な協力のもとに物理学、生物科学の基礎研究、および工学分野を含めた応用研究、情報科学を含む海洋研究などを推進すれば、現在よりも飛躍的に研究成果の向上が期待できる。海洋の動的全体像の把握は難しく、海洋科学の推進を妨げる原因となっている。このため海洋調査船等による観測と同時に航空機、人工衛星による観測を含む画期的な観測網を展開することが望まれる。

(1996年11月26日受付)

展望

量子力学を応用した材料設計の将来

足立裕彦 京都大学大学院 工学研究科 教授
Hirohiko Adachi

Prospective of Quantum Mechanical Approach to Materials Design

1 はじめに

最近量子力学による電子状態計算を、材料開発に利用しようという声が大きくなっている。しかし現在までの材料開発は、実験データの積み重ねなどの経験的なやり方に頼っていて、理論計算が本当に役に立つと思っている材料屋は大変少ない。そこでまず、将来量子力学計算が材料開発に本当に役に立つのだろうか、という質問に答えなければならぬだろう。答えはイエスであるが、問題はどの程度近い将来にどのような役に立つのかということであろう。この点に的確に答えるのは難しいが、その前に現在セラミックスや金属の材料研究に、電子状態計算がどのように利用されているのかを紹介してみよう。

2 量子力学計算とは

我々が実際に材料として使おうとしている物質の性質のほとんどが、その物質の電子状態で決まるので、原理的には電子状態が理解できればそれが役に立たないわけではない。しかし電子の世界はミクロの世界なので、量子力学で扱わなければならない。電子状態の大本の理論は、1926年にすでにシュレディンガーの波動方程式として確立されているので、問題はこれをいかに解くかということになる。

この方程式は古典力学のエネルギー保存則、すなわち全エネルギーは運動エネルギーとポテンシャルエネルギーの和になるという式に対応している(図1参照)。従ってこの方程式を解くと電子のエネルギーが求められる。さらにこの方程式は波動方程式なので電子の波動関数が得られる。つまり電子のエネルギーと波動関数が得られることになる。この電子は波動関数で表される軌道を運動していると考えるので、エネルギーというのは電子軌道のエネルギーのことになる。また波動関数の2乗がその位置での存在確率、すなわち電子密度ということになる。これはまた電子雲と

いう電子の言葉で表すことが出来る。

それでは軌道電子のエネルギーと波動関数がわかれば、どのような役に立つのであろうか。まず軌道エネルギーであるが、これは各軌道電子のエネルギーレベルということになるので、いろいろな分光学的情報が得られる。たとえばESCAやX線、可視・紫外分光といった電子遷移に関するスペクトルのピークエネルギーが計算できる。また固体の場合はエネルギーバンドやバンドギャップが求められる。さらに各電子のエネルギーの和から系全体のエネルギーが分かり、物質の安定性などに関する知見が得られることになる。

つぎに波動関数であるが、これは2乗すれば電子密度なので、電子密度の空間分布がわかる。これを分析することにより、物質中各原子のイオン性や原子間の共有結合性などの情報が得られる。また電子はスピンを持っているので、スピン密度の空間分布が分かり、磁気的性質に関する知見が得られる。さらに波動関数を用いて種々の物性値を計算することが出来るが、たとえば分光スペクトルのピーク位置は、上に述べたように軌道エネルギーから分かるが、ピーク強度は波動関数を用いて計算できる。

このように電子状態の計算からいろいろなことが分かるのであるが、計算がなされたとしても、実際にはこれらの情報のほんの一部しか利用されていない。物質は原子の集まりで出来ていて、その電子状態は原子の電子状態から変化しているが、周りの環境の効果を十分取り込んだものになっている。したがって電子状態計算から得られるデータは、材料研究にとって計り知れないほどの情報を含んでいるのである。後で述べるように軌道エネルギー一つとってみても大変有用なパラメータになる。

つぎに電子状態の計算をどのように行うのかを簡単に述べてみる。シュレディンガー方程式は偏微分方程式で、実際の物質ではポテンシャルが複雑になり、これを厳密に解くことは不可能である。したがってどのような理論でも多くの

近似をして解くわけで、そのため多くの近似法が提案されている。ここで紹介する研究は、筆者らが開発したDV- $X\alpha$ 分子軌道法¹⁾という方法を用いている。この方法は元々分子の電子状態を計算する方法である。しかし固体でも液体でも、原子のまわりの環境をうまく取り入れられるように原子の塊（クラスター）を考え、それを用いて近似的に計算を行うのである。このような方法をクラスターモデルと呼ぶ。またポテンシャルはスレーターが提案した $X\alpha$ 交換ポテンシャルを用いることで、数値計算の時間が大幅に短縮され、しかも十分正確な計算を行うことが出来る。

実際の計算は、コンピューターの力を借りなければとうてい出来ないほど大きな計算であるが、最近パソコンでも計算スピードも機能も驚くほど向上している。一時代前のスーパーコンピューターを凌ぐほど高性能のものが出回っていて、筆者の研究室でも最近パソコンが主流になりつつある。

DV- $X\alpha$ クラスター法による電子状態計算は、第一原理によるので計算にパラメータを必要としない。実際の計算を実行するのに必要なのは、クラスター中の原子の種類と個数、そしてその位置の座標だけである。したがって重要なことは、当面の問題に最適なクラスターモデルをいかに作るかということと、計算結果のアウトプットをいかにうまく利用するかということになる。ここに材料屋のセンスが必要になってくるのである。

3 電子状態計算を用いた材料設計例

3.1 窒化ケイ素系セラミックスの固溶性と固溶効果²⁾

それでは実際の材料研究に、DV- $X\alpha$ 法を応用した例をいくつか紹介してみよう。まずセラミックエンジン材など、高温構造材料として開発研究がすすめられている窒化ケイ素系セラミックスを取り上げてみる。窒化ケイ素 (Si_3N_4) 系セラミックス、サイアロン ($\text{Si}_{6-x}\text{Al}_x\text{N}_{8-x}\text{O}_x$) はセラミックエンジンなどの、高温構造材として開発研究が盛んである。一般にセラミックスは非常に硬くて高温で安定であるが、脆くまた加工しにくい難点があり、機械的性質をコントロールすることが材料設計の一つのポイントである。純度の高い β -サイアロンを用いた実験によれば、SiにAlが、NにOが置換すると格子のソフトニングが起こり、機械的強度が低下する。しかし非常に硬い窒化ケイ素とアルミ酸化物が固溶するのに、どうして柔らかくなるのかわからない。そこでDV- $X\alpha$ 分子軌道法で β -サイアロンのクラスターモデルについて電子状態計算を行ってみる（図2参照）。その結果得られる電子密度の解析を行うと、原子間の共有結合力がわかる。SiとNとの原子間の共有結合は元来

大変強いが、AlやOが置換すると共有結合が弱くなるということが計算からわかり、これが実際の機械的強度の低下の原因になっていることがわかる。

それでは他の元素が固溶したときはどうなるであろうか。クラスターモデルでSiをAlで置換したのと同様のやり方で、置換する元素を周期表にしたがって次々変えて計算することが出来る。置換元素XとNとの共有結合度の計算値をプロットし、実験から得られる結果とを対比させることが出来る。その結果次のようなことがわかった。 Si_3N_4 にほとんど固溶しないような元素ではX-N共有結合度が負の値（反結合的であることを意味する）をとる。この場合XがSiに置換したとすると、格子が非常に不安定になってしまうのである。またXが固溶して固溶効果（格子の軟化）を示すような元素の場合は、X-N共有結合度が比較的小きな値をとる。さらに固溶しても固溶効果を示さない元素は、共有結合度はSi-Nと同様に大きい値をとる。このように計算で得られた原子間共有結合度から、固溶性および固溶効果が予測できるのである。実際いろいろな元素を β - Si_3N_4 に固溶させ、その固溶度と固溶効果を実験で調べようとする、大変な労力、時間、費用が必要になる。しかしクラスターモデルの計算で、簡単に固溶性が評価出来るのである。

3.2 実用合金の設計³⁾

次に電子状態計算を実用合金設計に応用した例を紹介してみよう。ここでは、高温で高強度が要求されるジェット・エンジンやガスタービンの材料などに使用される、耐熱性の超合金を取り上げてみる。Ni基超合金は母相Ni (γ) 相に金属間化合物 Ni_3Al (γ' 相) が析出して、これが材料を強化する。さらに材料特性を向上させるため、10~15種類の合金元素が添加されている。しかし、ある元素の添加量が固溶限を越えると、別の金属間化合物の σ 相が析出して、材料が脆化し特性が低下する。この σ 相が析出するかしないかは超合金の特性に重大な影響を及ぼし、これを予測することが材料設計で最も重要になる。計算ではまず合金を表すクラスターモデルを考える（31頁図3参照）。DV- $X\alpha$ 法で電子状態を計算して価電子レベルを求める。次に添加元素となる原子Mをクラスターの中心原子と置き換えて計算を行うと、その原子に局在した合金レベル (Mdレベル) が現れる。このMdレベルは原子番号とともに低下するようなものである。このMd値を、実験から得られている経験と対比させてみると、元素の固溶性と相関があることがわかったのである。多元系の合金の場合は、 Md_i を元素iのMd値、 X_i をそのモル分率として平均のMd値、 $\overline{Md} = \sum X_i Md_i$ を求める。このMd値を用いると、 σ 相の析出する相境界を予測できることが分かった。たとえば、実験的に知られてい

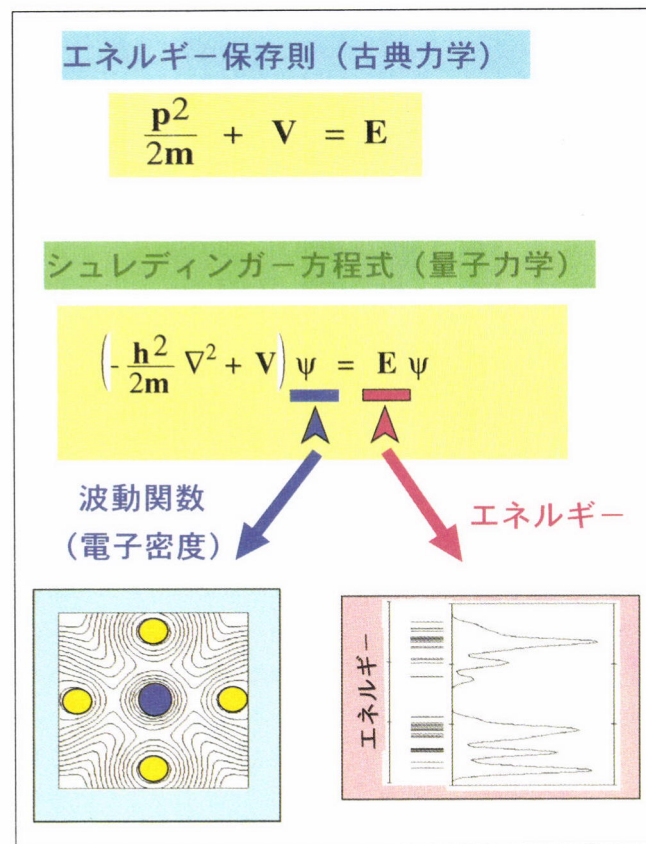
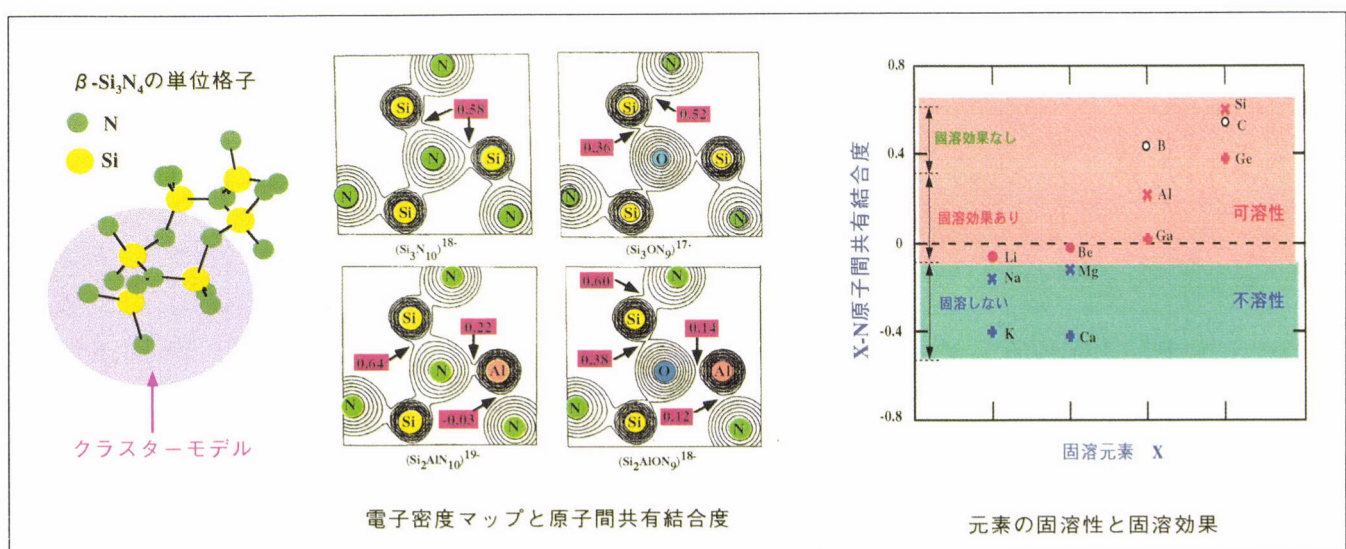


図1 量子力学における電子のエネルギーと波動関数

図2 β -サイアロンの電子状態計算と固溶性の予測

る三元系状態図に適用してみると、全てについて相境界が正確に予測できることがわかった。実用の超合金についても、その組成がわかっているのので、 $\overline{Md}$ 値が算出できる。これをプロットすると、 $\overline{Md}$ 値が0.915を境にして、 $\overline{Md}$ がそれ以下の合金では σ 相の析出が認められず、それ以上の合金では析出していることがわかる。電子状態計算から、どの元素をどれだけ添加すれば $\overline{Md}$ 値がいくらになるのかすぐわかるので、 σ 相析出の予測が簡単にできることになる。また計算から得られるエネルギーレベル図から、電気抵抗などの物性値の予測も行うことができる。

電子状態計算から求まるパラメータとして、セラミックスのところでも用いた原子間共有結合度の平均値 ($\overline{Bo}$) も大変有効である。たとえば材料の強度、高温での安定性さらに耐食性などの予測を行うことができる。しかしこれらのパラメータを単独で使うより、二つのパラメータを組み合わせるとさらに有効になる。縦軸、横軸に $\overline{Bo}$ と $\overline{Md}$ をとると、材料特性の $\overline{Md}$ - $\overline{Bo}$ マップを描くことができる。たとえば上に挙げた超合金の組成が分かっているので、それを $\overline{Md}$ - $\overline{Bo}$ 上にプロットすることができる(図4参照)。超合金の材料特性として0.2%耐力が公表されているので、その値の分布を調べてみると、高強度の超合金は $\overline{Md}$ が0.98、 $\overline{Bo}$ が0.67近傍に集まっていることがわかる。またそれを頂点とする等耐力線を描くことができる。前にも述べたように、計算からどの元素をどれだけ添加すれば、 $\overline{Md}$ - $\overline{Bo}$ 上をどの様に動くかという合金ベクトルがわかっている。した

がって、特性を向上させるためにはどの元素をどれだけ添加すればよいのか、このマップを用いれば簡単にわかることになる。実際にこの理論を用いてTUT92などの実用合金が設計され、クリープ破断寿命、クリープ破断伸び、耐食性、密度などの特性で最高性能を示すことが確かめられている⁴⁾。このようなDV- $X\alpha$ 法による電子状態計算を用いた、「量子合金設計理論」(図5)は超合金のみでなく種々のチタン合金、アルミニウム合金、高クロム・フェライト鋼また水素吸蔵合金などの実用合金の設計にも応用されている。

4 将来の展望

以上取り上げたのは電子状態計算を材料研究にうまく応用した例である。しかしこれらの研究でも、計算から得られる情報のほんの一部を利用したものにはすぎない。将来人類が生き延びていくため、材料開発は限りなく続けなければならない。そのための研究手段として量子力学による電子状態計算は、限りない可能性を秘めていると考えられる。現在材料研究においても、量子力学計算の必要性が少しずつ認められるようになってきているが、まだまだ十分ではない。この理論手段を有効に利用するためには、コンピューター技術を含めて計算技術の開発と改良を限りなく進めていく必要がある。

しかし基本的に必要なことは、大学あるいは大学院の材

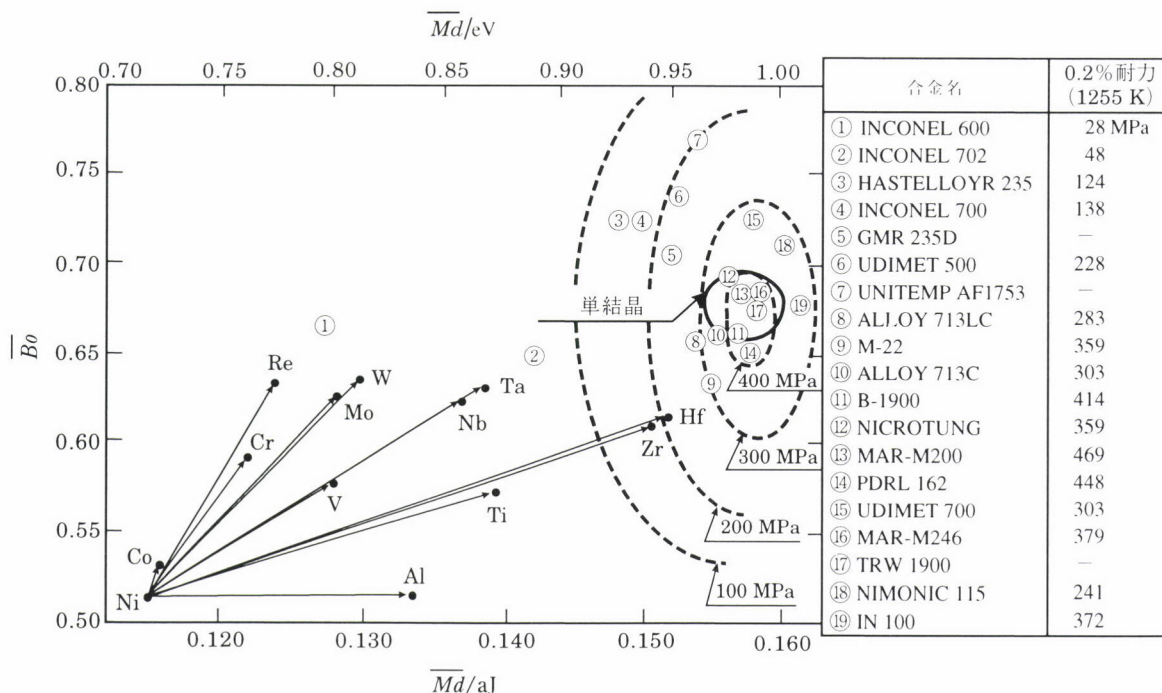


図4 普通鑄造ニッケル合金の $\overline{Bo}$ - $\overline{Md}$ 図上での位置と等耐力線。ベクトルはNi-10mol%M2元合金の位置

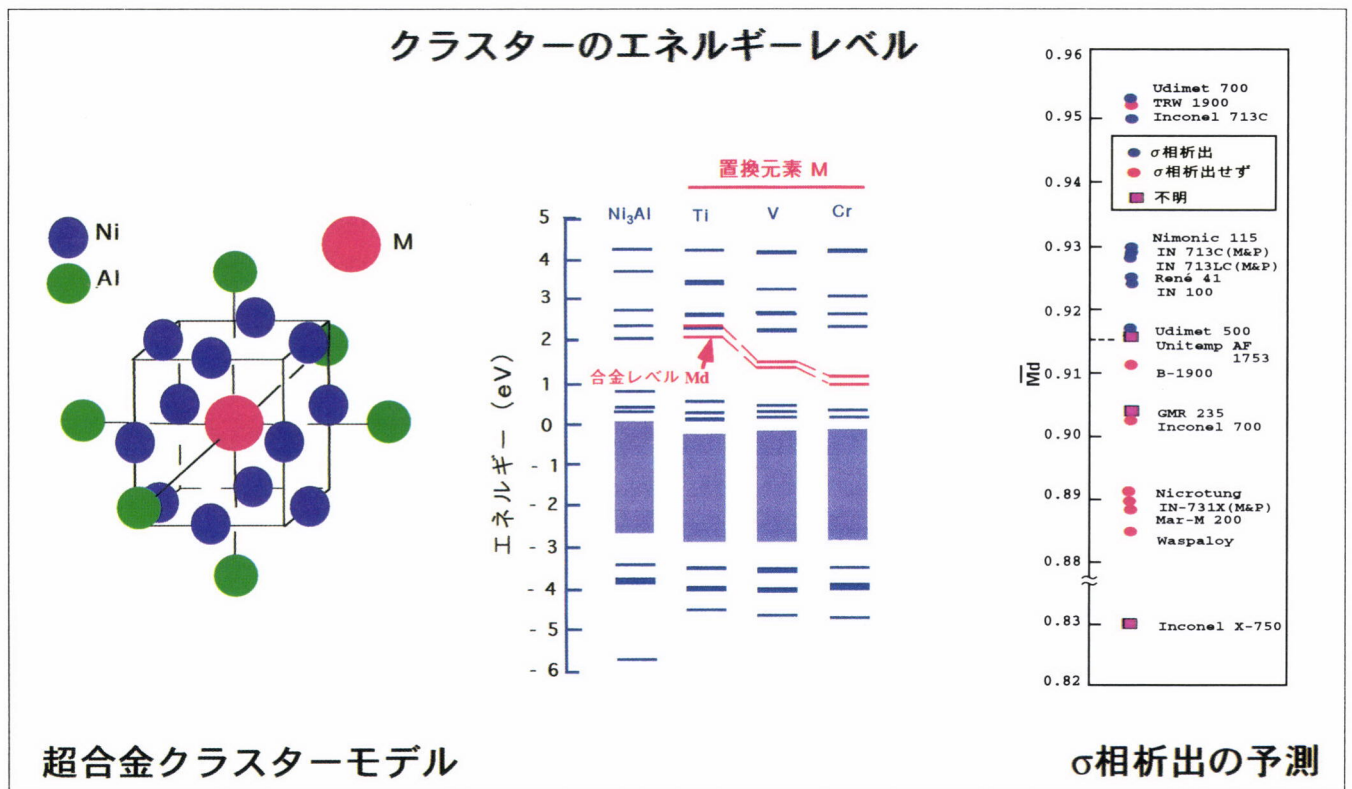


図3 Ni基超合金における σ 相析出の予測

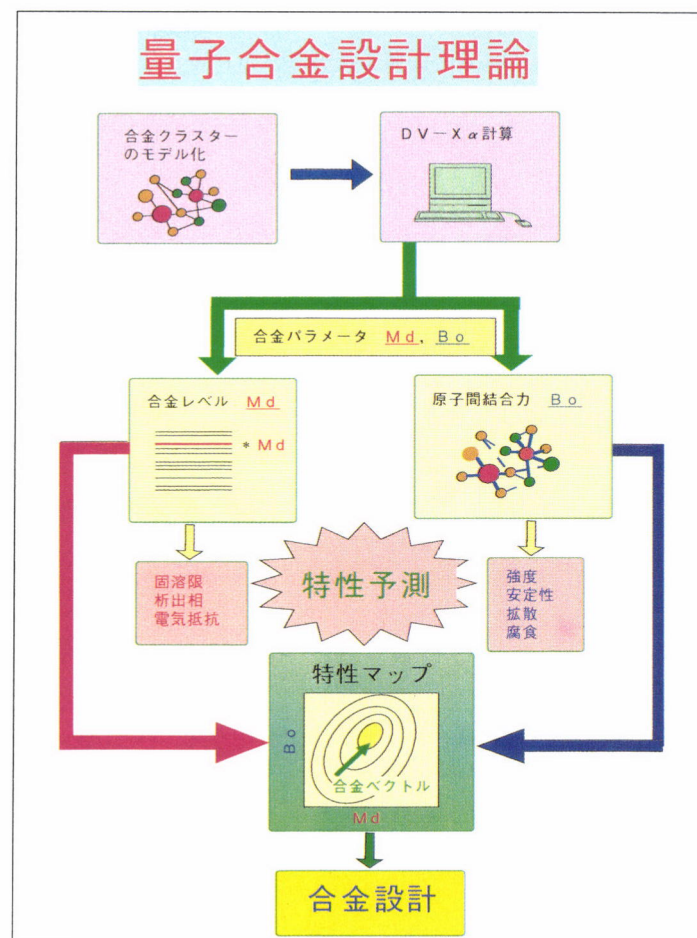


図5 新しい量子合金設計理論

料工学コースにおける専門教育のカリキュラムに、量子力学を十分取り入れることであると考えている。現在材料工学では熱力学が基礎理論の一つになっているが、少なくとも量子力学もその程度に普及されなければならない。現在はまだそのための教師が基本的に不足している。また民間企業における材料研究のために、量子力学計算を実際に応用できる人材を一人でも多く育てることが重要である。しかし、そのような研究者を送り出すことができる大学の研究室は、極めて少ないのが現状である。

このような問題を解決するには、比較的長時間たとえば10年以上の時間が必要ではないかと思われる。しかしそれと同時に、いますぐにでもやらなければならない問題もあると思われる。その一つは、大学の研究室と民間企業との共同研究をもっと積極的に進めることである。そのためには、お互いが将来のことをよく考え、広い視野に立って理解し合うことが必要である。以上のような条件が満たされてはじめて、将来の展望という青写真が見えてくるのではないかと考えている。

5 おわりに

本当の意味で材料開発を目指した量子力学計算は、まだほんの一握りにすぎない。実際に実用材料の開発に量子力学を使える人材は、理論屋がそれを材料研究に応用するという形ではなく、理論を使えるようになった材料屋の中から、生まれてくるのではないかと考えている。量子力学計

算が、材料工学において実用的な学問になるには、少数の優れた研究者によってではなく、多数の材料研究者が量子力学計算をマスターして、はじめて実現すると思っている。そのためにはまずは土俵づくりをはじめなければならない。もちろん同時に力士も育てなければならないが、土俵ができてはじめて相撲が取れるのである。それがいつ実現されるのかはよくわからないが、その暁には筆者が考えているのではないかと考えている。

将来の展望というより現状の紹介と願いという文章になってしまったが、まずは量子力学による電子状態計算を応用した材料研究の一端をご理解いただければ大変幸せである。

参考文献

- (1) 足立裕彦：「量子材料化学入門—DV- $X\alpha$ 法からのアプローチ」，三共出版，1991
- (2) I. Tanaka, S. Nasu, H. Adachi, Y. Miyamoto and K. Niihara: Acta. Metall. Mater. 40(1992), p.1995.
I. Tanaka, K. Niihara, S. Nasu and H. Adachi: J. Amer. Cer. Soc. 78(1993), p.2833
- (3) 森永正彦，湯川夏夫，足立裕彦：日本金属学会会報，23(1984)，p.911
- (4) 森永正彦，村田純教，江崎尚和：日本金属学会会報，31(1992)，p.599

(1997年1月10日受付)



入門講座

制御技術編 - 3

人に学ぶ制御技術とその応用

藤井克彦

(株)神戸製鋼所 技術開発本部 常任顧問

Katsuhiko Fujii

Expert Control Technology and Its Application

1 人に学ぶ制御技術の登場と台頭

コンピュータの産業応用については過去2回の講座で紹介したように、60年代に入り積極的な活用が開始され、鉄鋼プロセスでも制御技術が驚異的な進展を見せた。しかし、非線形性や非正常性のある対象については制御理論の適用に限界があるため、制御技術者は制御理論の進展を待望しながらも、他の分野の研究成果の応用を模索し始めた。この間、人工知能の分野ではファジイ理論、神経回路分野で基礎研究が着実に進展しており、一般社会への登場が準備されている。80年代に入りコンピュータではカバーできない部分を補う形で知識工学（エキスパートシステム）技術の実用化を皮切りとして、各種技術の産業応用が試みられた。我が国の鉄鋼業でもエキスパートシステム、ファジイ論理およびニューラルネットモデル等応用人工知能の鉄鋼プロセスへの適用が開始された。応用人工知能による制御は、人間固有のノウハウや知識をモデル化し、有効に利用するとの観点に立っており、いわば「人に学ぶ制御」と言うことができる。今回は、産業で応用されている人工知能技術を概説し、鉄鋼のプロセス制御において、この技術がどのように活用されているかについて事例紹介を行う。

2 応用人工知能技術の概要

本章では、応用人工知能として代表的なファジイ論理、エキスパートシステムおよびニューラルネットワークについて概説する。

2.1 ファジイ論理⁽¹⁾

1973年にカリフォルニア大学のザデー教授が提唱したファジイ論理は、物事を1か0（白か黒）と割り切らず中間の状況を認めるもので、曖昧さを定量的に表現する方法を提唱している。ところで、人間は何事においても自己の判断をもとに行動をきめているが、同一の行為でも人それぞ

れに行動の内容に違いがある。ファジイ論理では曖昧さを含む自己の行動指針をファジイルールと呼ぶルールで表現する。以下ではファジイ論理を構成するメンバーシップ関数とファジイ推論について説明する。

(1) メンバーシップ関数

ファジイ論理ではメンバーシップ関数を用いて人の選好特性を定量的に記述する。メンバーシップ関数は、制御の基準となる評価値を0～1間の値をとる連続関数で表現するものであり、その関数の形により人の選好特性を表現する。図1(a)は人の体感気温をメンバーシップ関数で表した例である。図中のメンバーシップ関数の形は固定したものではなく、個人の好みにあわせて自由に設定すればよい。したがって、微妙な個人差を定量的に表現するのに大変便利である。また、確信度の形で評価するため、「大変暑い」、「少し暑い」、「あまり暑くない」などのあいまい表現もできる。

(2) ファジイ推論

ファジイ推論では、ファジイルールを参照しながら推論を行う。ファジイルールは『if (A), then (B)』の形をとる。ここで、(A)と(B)はそれぞれ、if文の条件部（前件部と呼ぶ）および、then文の条件部（後件部と呼ぶ）に対応する状態AおよびBのメンバーシップ関数の値（評価または確信度）である。与えられた入力に対しif文の条件が成立するファジイルールが抽出・参照され、then文に書かれている推論や命令が実行される。ファジイルールは多数用意されているため、参照時に該当するルールが複数個になることもある。この場合には、図1(b)に示すように、対応する複数個のルールの後件部の内容を総合的に判断して結論とする。

2.2 エキスパートシステム⁽²⁾

エキスパートシステムは1985年に第9回人工知能国際会議で、カリフォルニア大学のファイゲンバウム教授により知識工学の名称で提唱され、一躍世界の注目を浴び、AI

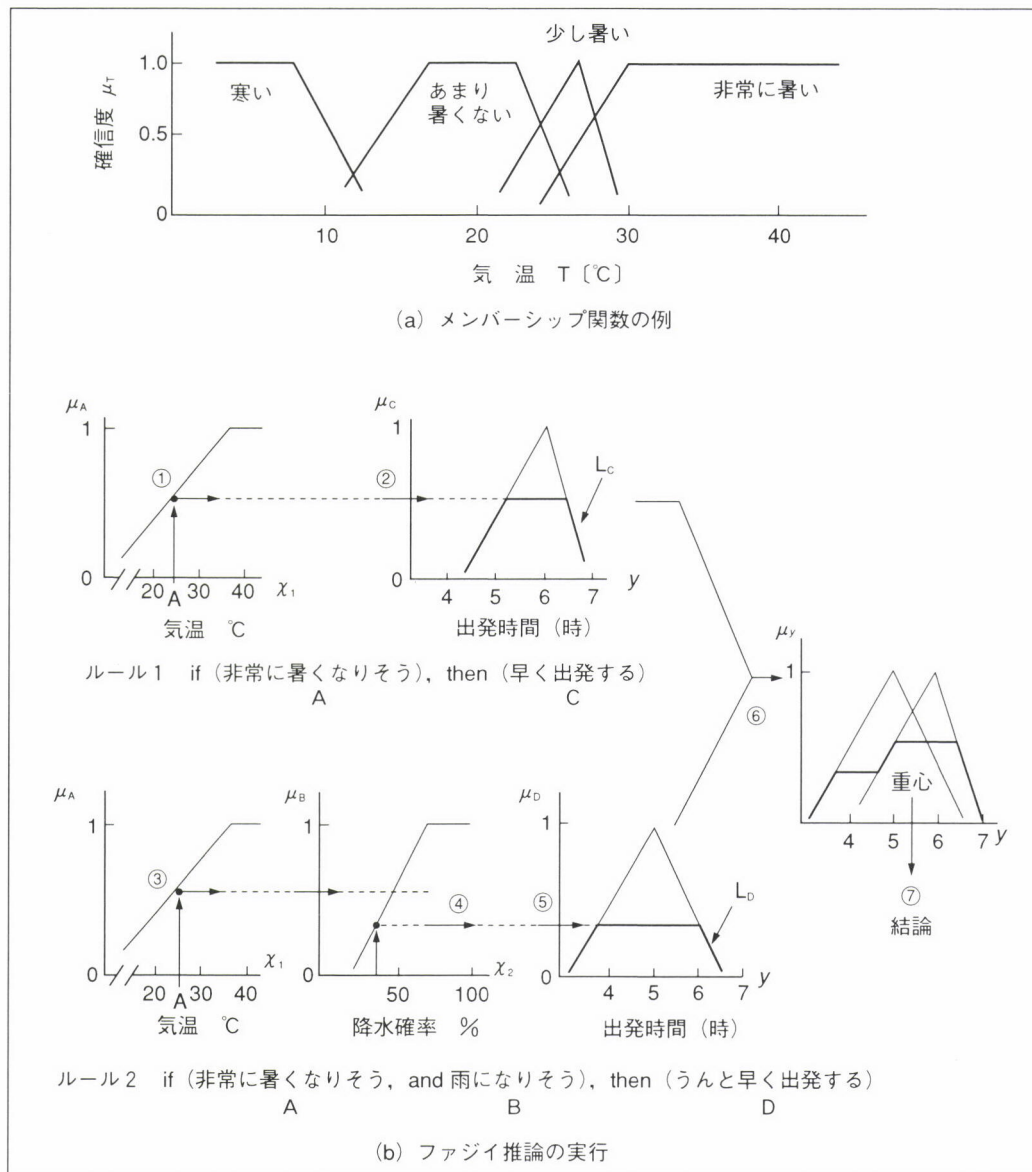


図1 出発時間を決定するファジィ推論

(Artificial Intelligence：人工知能)ブームを引き起こした。エキスパートシステムでは、専門家や熟練者の知識・ノウハウをコンピュータに記憶させておき、必要な時に取り出し利用することにより専門家と同等の判断ができる。

(1) エキスパートシステムの構造

エキスパートシステムは図2に示すように、知識ベース、推論機構、ワーキングメモリ、情報提供・説明機構、ユーザインターフェイスから構成されている。知識ベースは専門家の知識やノウハウをルールやフレームの形に表現し、これを蓄積管理する部分である。フレームはMIT（マサチューセッツ工科大学）のミンスキー等により提案された知識表現の方法で図3に説明している。

図3の部屋はフレームモデルの属性値を変化させること

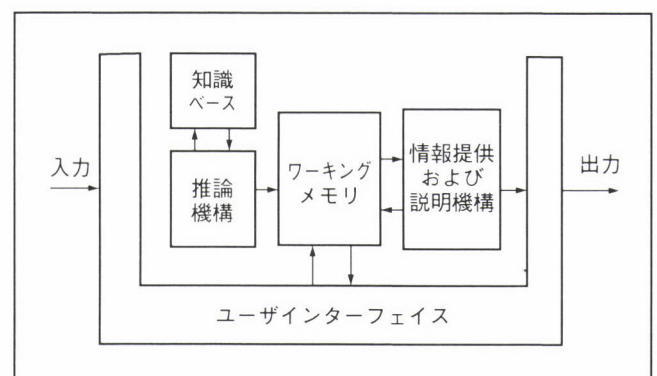


図2 エキスパートシステムの構成

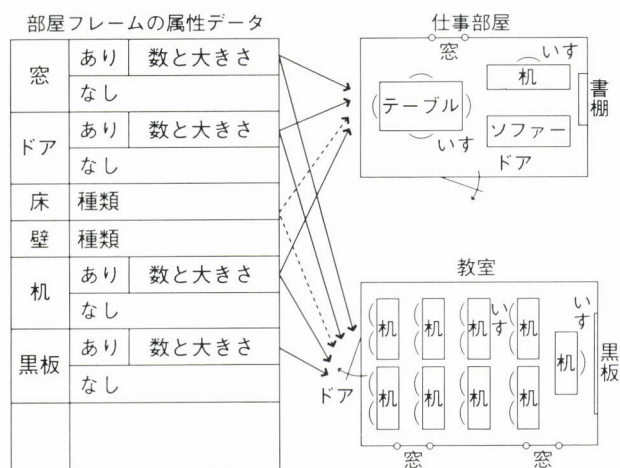


図3 フレームによる部屋の属性表現

によって、「仕事部屋」、「教室」、「応接間」等と定義することができる。**推論機構**は知識ベース内の知識と外部情報を用いて推論し、目的に合った結論を導き出す演算部分である。**ワーキングメモリ**は入力データ、推論の途中データを記録管理するメモリ領域である。**情報提供・説明機構**ではワーキングメモリに蓄えられた推論結果を、その結論が得られた理由や付随情報とともに提供する。**ユーザインターフェイス**はワーキングメモリや情報提供部のデータを読みだしたり外部情報をワーキングメモリに書き込むためのユーザ向け情報伝達手段である。ユーザインターフェイスには知識を追加修正するための知識登録機能を含む場合もある。

(2) 知識表現と推論

知識は大別して、メタ知識と呼ばれる共通不偏的な知識とオブジェクト知識と呼ばれる対象の問題に固有の知識から成る。**メタ知識**は知識を性格付けるカテゴリに対応し、**オブジェクト的知識**はカテゴリに分類された知識集合の各要素に対応する知識である。また知識はその性格により、浅い知識と深い知識に区別されることがある。**浅い知識**は表層知識とも呼ばれ、汎用性には乏しいが専門家の長年の経験を通じて獲得された経験則である。これに対して**深い知識**とは、物事の原理や対象の構造分析から導かれる汎用性のある知識である。

このような知識を表現する方法については多くの提案がなされているが、以下ではプロダクションルールについて紹介する。**プロダクションルール**による知識表現では、知識は『if <条件>, then <結論・行動>』のルールの集合として表される。ここで、条件部は複数事象の真偽評価の組み合わせから成る。たとえば、<体温が38度以上>で、かつ<頭痛がする>、または<せきが出る>のように、AND/OR論理の組み合わせで構成される。一方、結論・行動部は条件部が成立した場合に導かれるべき結論または行動を示してい

る。たとえば、<風邪の疑いあり(確信度=0.8)>・<風邪薬を飲め(確信度=1.0)>のようになる。エキスパートシステムでは、知識構造・表現形式に適した推論処理を実行する。ここでは、if-thenタイプの知識の推論処理である**プロダクションシステム**について説明する。プロダクションシステムの基本形を図4に示した。図に示すように、本システムは、①ルールのif部参照・判断、②ルールを用いた結論部の導出、③ルールの実行とその結論にもとづくワーキングメモリの更新を行う部分から構成されている。

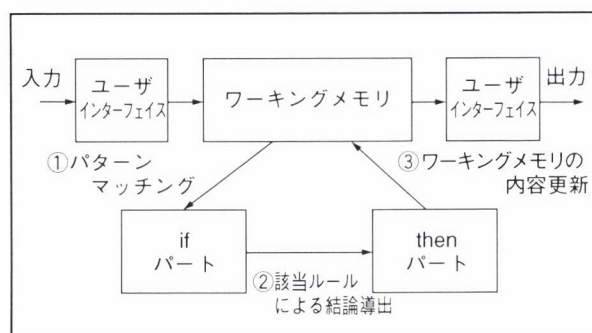


図4 エキスパートシステムにおける推論の流れ

2.3 ニューラルネットワーク⁽³⁾

ニューラルネットワークは生物の神経回路網からヒントを得たもので、その回路の実現形は1950年代にパーセプトロンとして提唱されていたが、1986年にカーネギーメロン大学のルンメルハルト教授が階層型ネットワークと逆伝搬学習則とを発表し、応用性の高さから注目を浴びるに至った。このモデルは、回路の結合荷重が学習により調節されることと、非線形特性が取り扱えることに特長がある。ニューラルネットワークは神経回路網に対応して多数のニューロンとニューロン同士を結合するアークおよびアークの通信容量に相当する結合荷重から構成される。最近では、階層型ニューラルネットワークだけでなく、相互結合型や繰り返し結合型等の種々のニューラルネットワークモデルが提案されている。

(1) 逆伝搬学習則階層型ネットワークモデル

一般的には、バックプロパゲーションモデルと呼ばれることが多い。このモデルはある入力データに対する好ましい出力データが分かっている場合に有効である。構成は、図5に示すように各ニューロンはネットワーク状の階層構造に結合しており、入力データは加工されつつ入力層から出力層へと伝達される。このモデルではニューロン同士の結合荷重を学習することにより、目的に合致したネットワーク構造を実現することができる。学習とは基本パターンのデータをネットワークに入力したとき、出力値が好まし

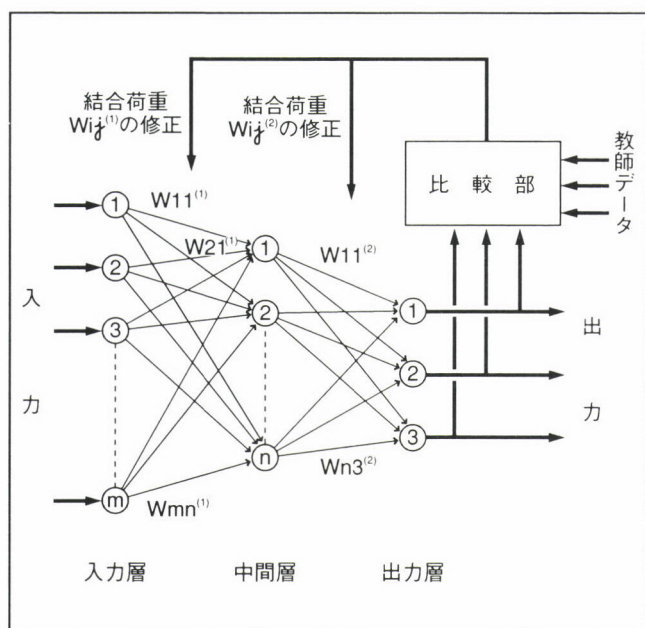


図5 バックプロパゲーションモデル

い値（教師データという）に近づくようにニューロンの結合荷重を修正することを言う。この修正方法は、出力値と教師データの誤差を上流側に逆伝搬させることからバックプロパゲーションと呼ばれている。

(2) その他のネットワークモデル

前述したバックプロパゲーションモデル以外にも、種々のネットワークモデルが提案されている。その中でも比較的よく用いられているモデルとして、自己組織化特徴ネットワークモデルとホップフィールド型ネットワークモデルがある。前者は開発者の名を冠してコホーネン型ネットワークモデルと呼ばれることがある。これは、入力データが全てのニューロンに伝達され、ネットワーク自身が閉じた相互結合型のもので、ばらばらのデータを自動的に層別する機能がある。後者は対象の特性を表すエネルギー関数をネットワーク回路で表現し、その極値への収束を自動的に行わせるもので、スケジューリング問題で実用化されている。これらの内容については文献を参照されたい。なお、これらのネットワークモデルでは、前述のバックプロパゲーションモデルが教師データを用いニューロンの結合荷重を学習する「教師付き学習」であるのに対し、入力データをネットワークに与えれば、ネットワーク自身が結合荷重を学習する「教師なし学習」が行われる。

3

人工知能技術を用いた鉄鋼プロセスの制御事例

以上に述べた各種知能化技術は鉄鋼の各プロセスの制御で利用されている。以下では、当社におけるこれら技術の

適用事例を紹介する。

3.1 ファジィ・エキスパートシステムによる高炉炉熱制御⁽⁴⁾

一貫製鉄所では高炉が休むことなく銑鉄を生産し、下工程に銑鉄を供給し続けている。したがって、高炉の安定操業維持は製鉄所運営のきわめて重要な課題である。高炉操業では、炉熱の安定化が要求されるが、高炉はきわめて高温かつ大規模な分布系であるため、炉内の状況を計測することが困難である。

このため、炉口部での排ガスの温度・圧力分布、炉外壁部温度計測等の外層部情報で炉内状態を推定し操業している。高炉の炉熱変化は炉底から排出される溶銑の温度で推定できる。炉熱の安定化のためには溶銑の温度変化を予測し、これを一定に維持することが必要である。高炉の炉熱形成のメカニズムについては冶金反応工学的に研究され、溶銑温度の変化に及ぼす各種操業要因の影響が明らかにされている。すなわち、長期モデルと呼ばれる比較的緩やかな溶銑温度の変化について、予測モデルが開発され炉熱の安定化に使用されている。ところで、炉内では長期に亘り形成された炉内付着物が剥離し落下したり、送風の局所吹き抜けにより炉内反応が急変することがあり、これに対する診断と対応が必要である。

(1) ファジィ推論による炉熱診断

炉熱診断には操業者の定性的な評価に基づく部分があり、ファジィ論理の適用が有効である。炉熱診断用ファジィールールの一例を以下に示す。

(ルールi)

if <(ソリューションロスカーボン量が少し高い)>
and <(炉頂ガス中N₂ (%)量が低い)>
then <(炉熱は少し低い)>

このように、測定量に対して「少し高い」や「非常に低い」等の曖昧表現を含んで診断ルールが記述されている。このような複数の診断ルールを組み合わせ総合的な炉熱診断を行っている。

(2) 炉熱制御エキスパートシステム

通常、熟練操業者は計測データから診断した炉熱だけでなく、そのときの炉況、設備条件、生産計画などを総合的に判断して炉熱調整のアクションを行っている。炉熱アクションを行うための操業知識の種類を以下に示す。すなわち、①炉熱調整が必要と判定された場合、現在のタイミングでアクションが必要か否かを判定する知識、②アクションが必要と判定された場合、どのアクション手段が最適かを選択するための知識、③炉熱診断の結果に適合したアクション量を決定する知識である。以上に述べた炉熱の診断

および制御方法を用いた炉熱制御システムの構成を図6に示す。本システムは炉熱の自動制御を行うものではなく、ファジイ論理による炉熱の診断結果と、エキスパートシステムによる炉熱の制御ガイダンスとを示すものである。本システムの適用結果を表1と図7に示す。表1は実アクションとガイダンスの対応関係を示したもので98.1%と良好な対応を示している。また、図7に示すようにエキスパートシステムの適用により溶銑温度が安定に推移していることが分かる。

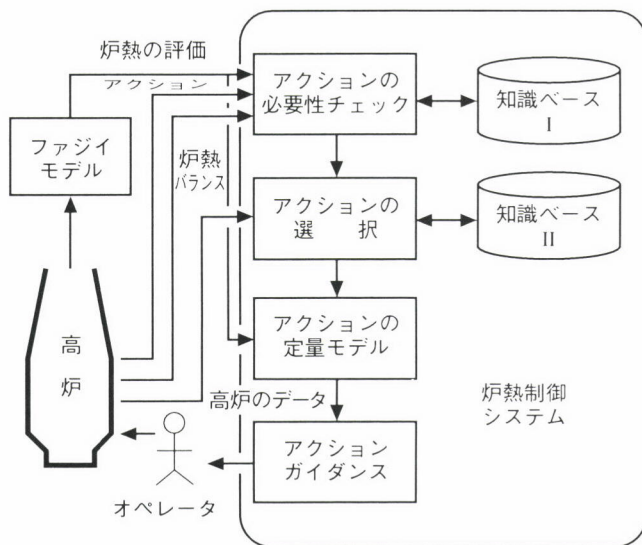


図6 高炉炉熱ガイダンスシステムの構成

表1 炉熱制御ガイダンスシステムの適用結果

適用結果	N数	比率(%)
ガイダンス結果とアクションが一致	1412	98.1
アクションしたがガイダンスはなかったもの	12	0.8
ガイダンスしたがアクションがなかった	16	1.1
合計	1440	100.0

3.2 ファジイ多目的最適化による

熱延のパススケジュール計算⁽⁵⁾

熱間タンデムミルでは同一のミルで多数の鋼種やサイズの圧延加工を行う。このため、コンピュータを用いた設定計算システムが開発され、指令書に対応してパススケジュール（各スタンドのロール間隙やロール速度等）の計算を行っている。その際、操業方針の変化が設定計算に反映されなければならない。すなわち、日々変化する圧延要求に対応して設定計算が追従する仕組みが必要である。

(1) ファジイ多目的関数

パススケジュールの設計条件と目的は大別すると以下の5種類に分けることができる。①仕上げ板厚が公差内に入り、かつ目標厚みに極力近いこと、②仕上げミル出側の材料温度が許容される公差内に入り、かつ目標温度に極力近いこと、③圧延材の形状（平坦度）が良好であること、④生産性が高いこと、⑤生産コスト（圧延に要するエネルギー）が低いこと。その他、各スタンドの圧延荷重、圧延動力、ロール回転数等が機械的制約を満たすことも必要である。ここでは、これら5項目の目的を定量化するため、それぞれの目標達成度を表すメンバシップ関数を定義する。これらのメンバシップ関数の例を図8に示した。ここで示したメンバシップ関数の形状と値は過去の圧延データと、パススケジュール設計者、操業者の選好を反映して決定した。

(2) 最適パススケジュールの計算

ファジイ多目的計画法によって最適パススケジュールを求めるためには、圧延機の総合特性を表す数学モデルを連成させつつ、パススケジュール設計者の主観を反映したメンバシップ関数を導く。それを用いてパススケジュールを最適化する決定変数（各スタンドのロール間隙やロール速度等）を求める。最適化手法としては非線形数学式の連成系に適用が可能な一般化縮小勾配法を用いる。なお、メンバシップ関数が5種類あるため、最適化のためには5つの

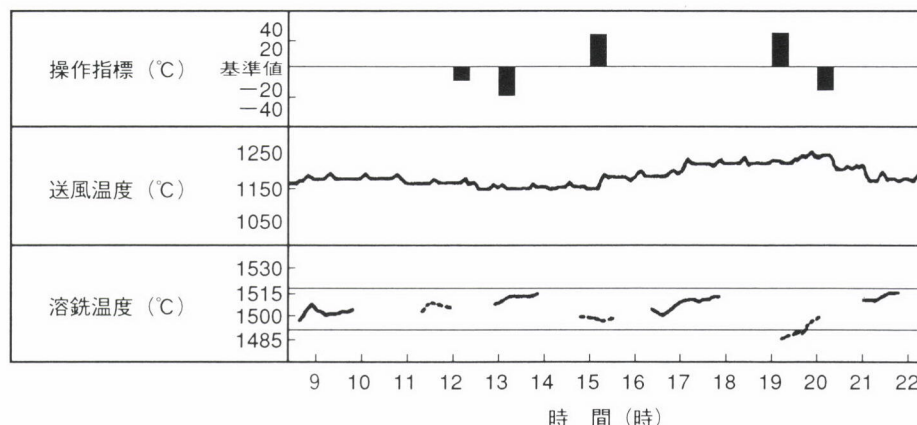


図7 高炉炉熱制御システムの適用効果

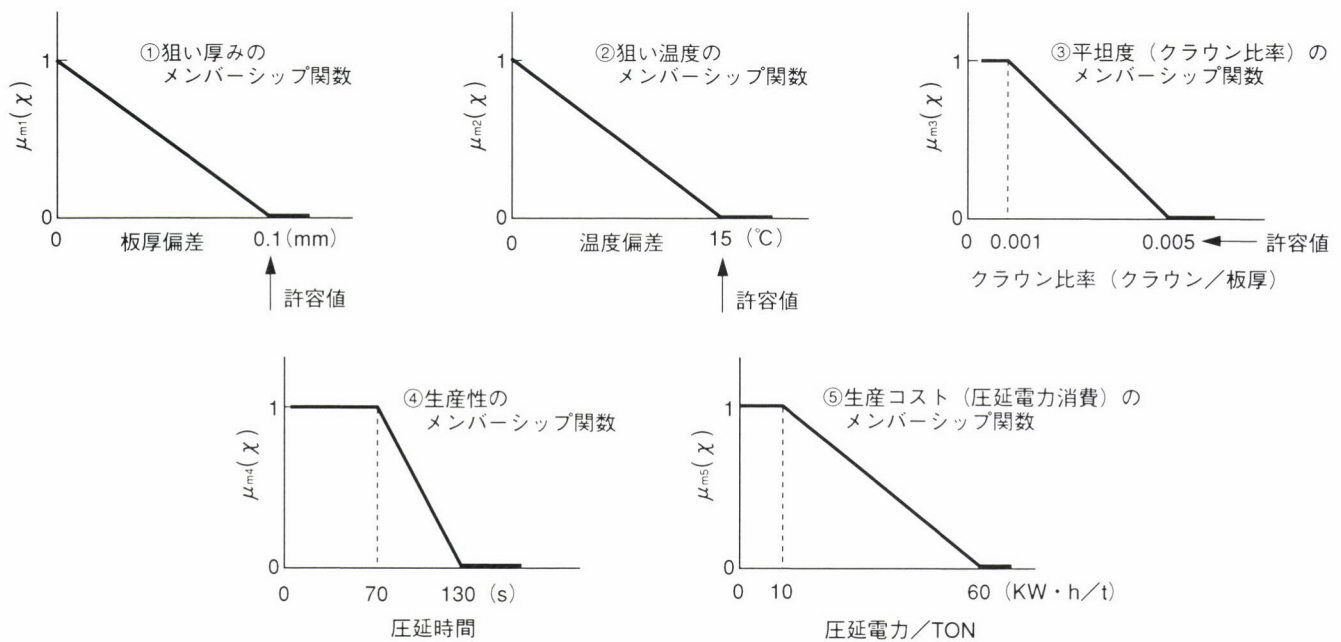


図8 ミルセッティングにおけるファジィメンバーシップ関数

うちどの項目を重視するかをあらかじめ指定する必要がある。5項目はそれぞれのメンバーシップ値により定量化されているので、それらの目標値を与え、それらの目標値とメンバーシップ値との差を最小化することにより最適化が達成できると考える。それぞれのメンバーシップ関数を $\mu_{mi}(x)$ とし、それぞれの目標値を μ^*_{mi} とすれば、最適化計算の目的関数を

$$\text{Minimize } X \quad \text{Max } i \quad \{\mu^*_{mi} - \mu_{mi}(x)\}$$

とすればよい。図9に最適化計算結果の一例をしめす。図中のケース1は目標板厚と板形状を重視した結果であり、ケース2は生産性を重視した結果である。

2つのケースで上流側スタンドでの压下スケジュールが異なる様子がわかる。

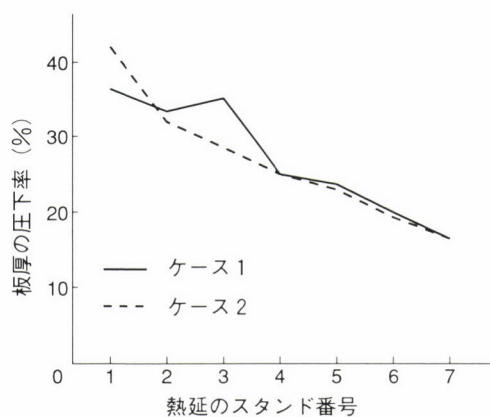


図9 最適化の計算結果

3.3 ニューラルネットワークによる

連続鋳造機の湯面レベル制御⁽⁶⁾

連続鋳造機のモールド内湯面が変動するとスラグの巻き込みによる表面傷の発生があるため鋳造品の品質が悪化する。このため、モールド内の湯面レベルを一定に維持する制御が行われている。年々厳しくなる品質要求に対応してゆくため、従来の制御システムの制御性能の強化が必要となっている。

(1) ブルーム連鋳機モールド内湯面レベル制御

連鋳機ではタンデイッシュに溶鋼を一時的に蓄えたあと、鋳型内で冷却・凝固させ、ロールにより一定の速度で引き抜く。スラブ連鋳機では湯面レベルの制御をスライドバルブで行うのに対し、ブルーム連鋳機では湯面レベルの制御はストップにより行う。第2回目の講座で紹介したように、スラブ連鋳機の湯面レベル制御では、スライドバルブの流量特性の非線形性が見積もりが定量的に可能なため、ロバースト制御理論の適用が可能であった。これに対し、ストップによる注入量制御手段は大きな外乱に対応できるが、急峻な非線形特性があるため制御理論の適用が困難である。このため、以下に示すニューロ制御を適用した。上に述べたように、ストップ制御は急峻な非線形特性を有するため、従来のPID制御では湯面変動が大きくなる場合がある。一方、湯面レベル偏差によりロールの引き抜き速度を制御する場合は、非線形特性がないため安定した湯面レベルが得られる。しかし、速度変化は凝固状態を均一に維持するため大きくはとれないという制約があり、大きな外乱には対

応できない。この問題を解決するため、大きな外乱があっても速度変化が一定の制約内に納まるように、積極的に制御の平衡点を変化させることとした。すなわち、湯面レベルは緩やかに変化しても品質に影響する急峻な湯面変動は防止する方法である。

(2) ニューラルネットによる制御平衡点の移動

時々刻々の引き抜き速度と湯面レベルの変化傾向とを入力とし、溶鋼注入量調節量を出力とする階層型ニューラルネットを構成する。ネットワーク学習のための教師データは操業者の動作解析により作成した。このロジックを組み込んだ湯面レベル制御系の構成を図10に示す。この制御系を実機に適用した結果、図11に示すように顕著な改善効果が得られている。すなわち、湯面変動が従来法に比べ約3分の1に低減した結果安定な操業が実現し、鋳片表面の品質も改良された。

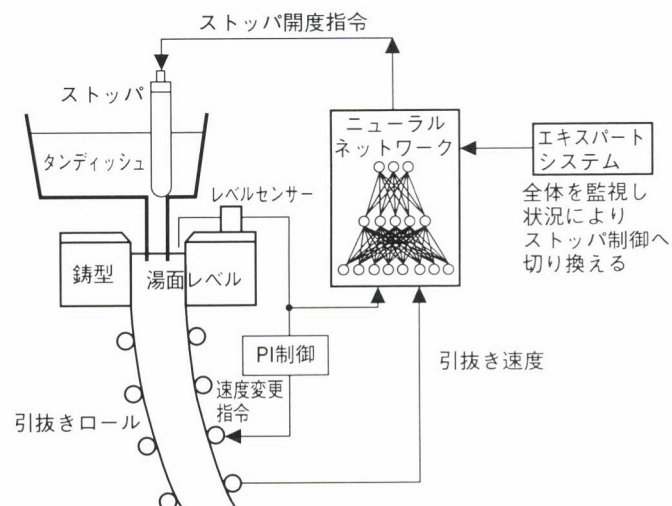


図10 ブルーム連鋳機の湯面レベル制御システム

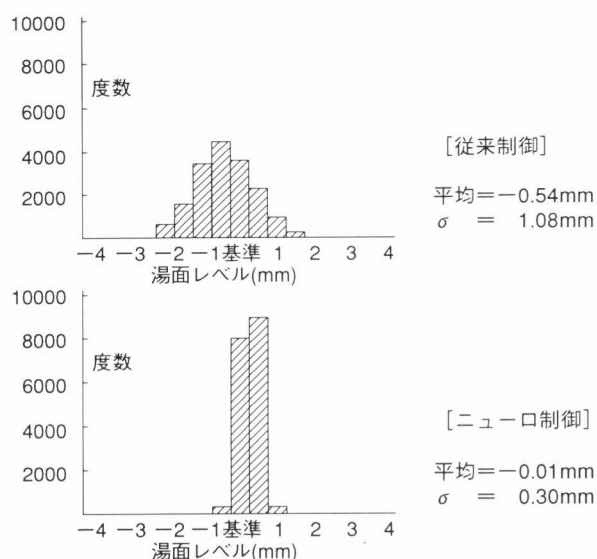


図11 ニューロ制御システムの適用効果

質も改良された。

4 応用人工知能技術の展望

今回は、応用人工知能と呼ばれるファジィ論理、エキスパートシステムおよびニューラルネットワーク技術を取り上げ、その鉄鋼プロセス制御への応用について紹介した。事例として当社での適用例を取り上げその紹介を行ったが、鉄鋼業界では各社でも同様の取り組みがなされ多くの事例が公表されている。今回紹介したように、本技術は各種プロセス制御への応用が試みられているが、従来の制御理論では対応が困難な非線形問題が解決できる期待がある。また、プロセス特性がモデル化出来ない悪構造と言われる対象の制御が可能となる可能性もある。現実問題の解決に際しては制御理論と知能化技術との使い分け、あるいは両者の組み合わせを行うことが有効と考えられる。

また、最近では今回紹介した応用人工知能技術以外にGA (Genetic Algorithm: 遺伝的アルゴリズム)、カオスや、生物の細胞分裂を参考にした複雑系についての研究成果も出ているがこれらについては別の機会にゆずることとする。

5 本講座のまとめ

3回にわたって制御理論の原理と、その応用事例について解説した。制御理論はとかく難解であるとの批判を耳にするので、本講座では、実用性の高い手法に限定して、原理は基本的な事項のみの記述にとどめ、応用事例を挙げて理解を深めていただくよう努めたつもりである。

最後に、今後制御工学の分野を担当される方のために、現在この分野の抱えている問題点、留意点について述べ、稿を終わることとする。

(1) 流行にとらわれることなく、問題の本質をみる

制御理論を応用するにあたっては、世の中の流行、他社の動向に惑わされることなく、問題の本質を見極めた上で、最も適した、原則的な方法から入って行くことが、成功の秘訣である。複雑で、難解な理論を利用することが、立派な成果につながるとは限らない。

(2) 筋の良い理論を使うこと

学会などに出席すると、色々目新しい方法についての発表が溢れている。過去にも色々な方法が提案されたが、その多くは泡沫の様に短期間で消え去った。現在残っているものは現場のニーズに応えられるもののみである。

本物の理論を見つけることは、決して易しいことではないが、しかし重要なことである。企業における制御技術の

専門家は、新しい理論については、十分理解を深めた上で、自社で利用するか否かの判断を下すことを職務と考えられたい。その場合、現場の技術者に対して、単に新理論の受け売りをするのではなくて、現場向けにブレークダウンしたものを示す努力が必要である。

(3) モデルの重要性

本文でも再々述べたように、多くの制御理論の適用には制御する対象の数学モデルが存在することが前提となっている。しかも、そのモデルの精度が制御結果を左右すると言っても過言ではない。しかし、現在モデルを構成する方法に関する研究論文は極めて少ない。過去にはかなり注目された時代もあったが、現在では殆ど見かけない。一般的な手法が存在しないことと、地味な努力が必要なことがその原因であると考えられる。しかし、現場を持つ者にとっては放置できない問題である。

ただし、モデルの構造すら想定できない対象に対して人工知能技術の手法で表現できるようになったことは、大きな進歩と言うべきである。

(4) 制御システムのメンテナンス体制

制御対象プロセスの特性が変化したり、製造品種の変化により、過去に開発した制御システムについて再調整が必要となることが起こる。また、現在使用されている技術がブラックボックス的な取り扱いをされているため、開発された経緯や、開発過程で得られたノウハウが継承されているとは限らない。制御システムも生産プロセスの一部として設備化され、必要不可欠なものとなっているにもかかわらず、十分なメンテナンス体制が取られていないのが現状である。制御システムの有効な調整技術の開発が大切な事項である。また、メンテナンスを前提とした制御システムの開発を目指すことも必要である。

日本鉄鋼協会では学会部門の発足に合わせ、平成8年度から3年間の予定で多変数制御系の調整技術を取り上げ、研究が開始されたと聞いている。まことに時宜を得た活動でありその成果を待望するものである。

(5) 日本鉄鋼協会への期待

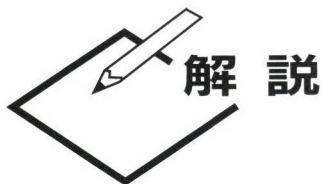
以上述べたことは、いずれも云うは易く、解決は困難な問題ばかりである。しかし、これらの中には鉄鋼各社共通の課題がかなりふくまれている。独自で解決されることも勿論結構だが、協力して問題解決に当たるのも一つの方法であると考ええる。上記諸問題について日本鉄鋼協会がリーダーシップを取り、衆知を集めて取り組まれては如何であろうか。

以上、少しでも読者諸兄のお役に立てばと念じつつ、3回にわたる入門講座の稿を終わる。

参考文献

- (1) 菅野道夫：ファジィ制御，(1988)，日刊工業新聞社
- (2) 上野晴樹：知識工学入門，(1986)，オーム社
- (3) 麻生英樹：ニューラルネットワーク情報処理，(1988)，産業図書
- (4) 松田浩一，田村直樹，小西正躬，北野新治，門口惟人，高見満矩：システム制御情報学会論文集，第4巻，第2号，Pp.86-94
- (5) 北村章，檜崎博司，小西正躬，坂和正敏：鉄と鋼，第79巻，第3号，Pp.100-106
- (6) 渡辺俊彦，大村佳也子，小西正躬，渡辺省三，古川和寛：第35回システム制御情報学会研究発表講演大会講演論文集，Pp.469-470

(1996年12月5日受付)



近年の船舶の技術動向と材料関連技術

小野修二 Syuuji Ono

三菱重工業(株)長崎研究所 主管

斉藤正洋 Masahiro Saitou

三菱重工業(株)長崎研究所 主務

Trends of Ship Building and Material Technology

1 はじめに

我が国は、1956年に建造量でイギリスを抜き世界一の造船国になって以来、造船技術で世界をリードしてきている。しかし、図1¹⁾に示すように近年、韓国などの発展途上国の追い上げにともない、我が国造船業もこれに勝ち抜くための技術革新に懸命な取組みを行っている。すなわち、付加価値の高い船舶の開発ニーズに即した特性を有する材料の開発とともに、高品質で経済的な船舶の建造技術の開発・実用化が最大の課題となっている。

船舶に関する近年の世界的な主な動きを我が国を中心として表1²⁾に時系列的に示す。この表から、近年の主な動きとして①海洋汚染の防止を狙いとしたタンカーの構造規制(二重船殻構造化)、②50ノットに達する高速旅客船や超高速貨物船の開発、③LNG船など高付加価値船の建造量の増加及び④造船国間のシェア争いの激化などを窺いしることができる。

ここでは、これら船舶に関する技術動向の概要とそれに直接関係する近年の材料関連の技術課題への取組み状況について述べる。

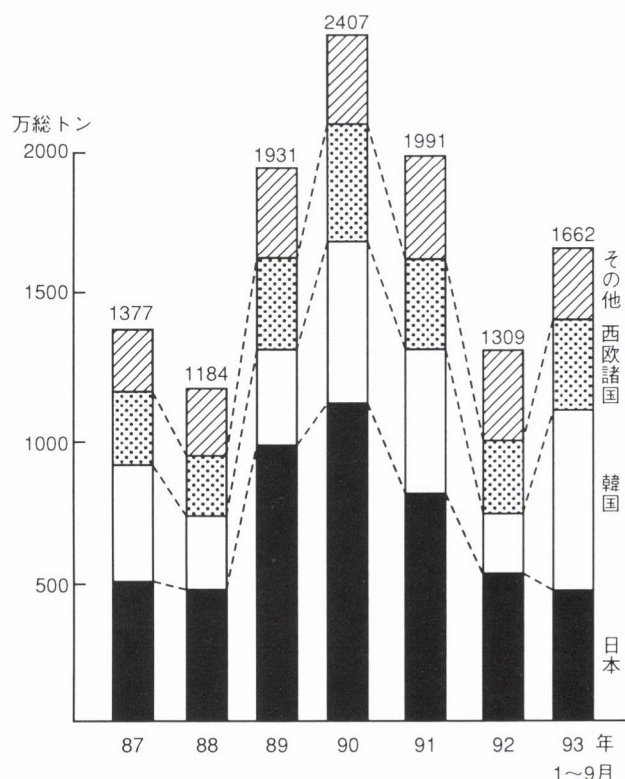


図1 世界の新造船受注量の推移

表1 船舶に関する近年の主要動向

'84	'86	'88	'90	'92	'94	'96
・ 第二世代VLCC		・ Exxon Valdez タンカー事故			・ IMO*1タンカー構造規制 ('94年新造分から)	
		・ 超高速貨物船 (TSL*2) 研究開発開始			・ TSL実海域性能試験	
					・ 高速旅客船建造量増加	
					・ SPB*3式LNG船建造	
・ 客船「ふじ丸」建造 (我が国大型客船建造再開)			・ 客船「クリスタルハーモニー」建造			
					・ 韓国船舶受注量世界一	

* 1 : International Maritime Organization

* 2 : Techno Super Liner

* 3 : Self Supporting Prismatic tank-type B

表2 近年の船舶の主要技術動向と材料への要求特性

技 術 動 向	材料への要求特性
①構造軽量化（高速化） ・高張力鋼の活用（1千トン以上の船舶） ・アルミニウム合金の使用（1千トン未満高速船）	①強度特性（高弾力性率を含む）、低温靱性、耐食性 加工性（溶接性、ハニカム構造化）
②安全性・環境保全（海難事故・海洋汚染絶滅） ・二重船殻構造化 ・高疲労強度材 ・船体防汚システム	②強度特性（腐食疲労強度） 耐食性（耐海水、耐原油、耐石炭） 防汚性
③高付加価値船の建造量増大 ・LNG船の増大 ・コンテナ船の増大	③低温靱性、大入熱溶接性
④建造の合理化 ・建造作業の省力化・自動化 ・溶接工程の削減	④低溶接歪み性

2 船舶の技術動向と材料関連技術課題

2.1 船舶の技術動向

表2に近年の船舶の主要技術動向と船舶用材料への要求特性³⁾を示す。船舶の基本的使命は、出来るだけ多量の荷物あるいは人（輸送量）を、少ない燃料消費で、高速（運航速度）で運ぶことである。

しかし、近年、これらの使命を達成するための船の基本性能に加えて、特に船舶の座礁などによる環境破壊の防止のために、船舶運航時の安全性の確保及び安全で経済的な操船技術の確立などが強く求められている。

一方、我が国では世界との造船競争に打ち勝つために、高効率化、省人化や自動化を狙いとした合理的工作法としてロボットの利用などを含む経済的施工技術の開発に全力を挙げている。

これらの近年の技術動向の概要について、表2に基づいて以下に簡単に述べる。

(1) 構造軽量化（高速化）

タンカーなど鋼製の船舶重量に占める鋼材の量は、80～90%と極めて大きく、鋼材重量は上記した船舶の基本性能、すなわち輸送量、燃料消費量及び運航速度を支配する大きい要因である。したがって、これらの基本性能、特に運航速度を支配する船舶重量の軽減に寄与する鋼材の高強度化により、構成部材の肉厚の低減を図ることが80年代始めからの大きな課題であった。

この課題に対処する材料として開発され、実用されているのが、TMCP鋼（Thermo Mechanical Control Process Steel、熱加工制御鋼）⁴⁾を主体とした高張力鋼である。但し、近年の船舶の安全性・信頼性確保の強い要請から高張力鋼の使用について慎重な船主も出ており、TMCP鋼に関する詳細とともに最近の高張力鋼に対する考え方についても後述する。

なお、中・小型船の高速化に関しては、近年の旅行ブームとともに各種の高速船型の旅客船が開発され、速力40～50ノット（100km/h）にも達する高速旅客船が実現している⁵⁾。一方、高速貨物船に関しては、速力50ノット、貨物積載量1000トンを目指した超高速貨物船TSL（Techno Super Liner）が官民共同で1989年から開発され、現在ほぼ技術的に見通しを得ている⁶⁾。このTSLは、現在1998年からの実船運航を目指して経済性、運航ルート等の調査が進められている。この超高速貨物船の船体材料としては、前述の高速旅客船とともに当然ながら鋼より軽量化が図れるアルミニウム合金が使用される状況にある。

なお、船舶への軽量材料の適用状況を図2⁶⁾に示す。1万トン以上の船舶には高張力鋼が、1千トン未満の場合にはアルミニウム合金ないしFRPが使用されている。ここで、1万トン未満の船舶で高張力鋼が使用されないのは、現状腐食代確保の観点より最小の船体肉厚が規定され、高張力鋼の特徴が十分活かされないからである。一方、プロペラ材料に関しても、従来はニッケルアルミニウム青銅に代わる高強度18%Crステンレス系のプロペラ材料が開発され、大型タンカー用プロペラとしての使用実績もかなり出ている⁷⁾⁸⁾。これは、プロペラ材を高強度化することによりプロペラ肉厚及び展開面積の低減が可能となり、プロペラの推進効率の向上による船舶運航費の低減を目指したもので、これまでの実船適用でこれが実証されている。

(2) 安全性・環境保全

船舶の安全運航の確保ならびに海洋環境保全の観点から材料と構造の両面から技術開発が進められている。すなわち、原油環境中での疲労現象の解明⁹⁾¹⁰⁾並びに同雰囲気下高い腐食疲労強度を示す鋼材の開発¹¹⁾が進められている。また、船舶が座礁した際の原油流出による海洋汚染の防止を狙いとして1992年にIMO（International Maritime Organization、国際海事機関）でタンカーの二重船殻構造化が義務づけられた。

船体構造材料			部 材		総トン数				
			100	1000	10000	100000	200000		
高張力鋼	TMCP鋼 降伏応力 320, 360, 400 N/mm ²	甲 板							
		縦 骨							
		船 底							
		側外板							
		隔 壁							
アルミニウム合金	5000系	船体、上部構造							
	6000系 サンドイッチ	上部構造							
FRP	板	GFRP ACM*	船体、上部構造						
	サンドイッチ								
* : Advanced Composite Material									

* : Advanced Composite Material

図2 軽量材料の適用状況

なお、前者の高腐食疲労強度材についての概要は、後述する。一方、海洋環境の汚染防止の点から、概要は後述するが、無公害な船体防汚システムの開発¹²⁾¹³⁾も進められている。

(3) LNG船など高付加価値船の建造量増大

世界的な経済活動の拡大に伴ってLNG（液化天然ガス）船およびコンテナ船など高付加価値船の建造が著しく増加している。前者は地球環境の保全の観点から石油に比べてクリーンなエネルギー資源としての天然ガス需要の増加によるもので、液化して輸送するLNG船建造の増加である。一方、後者は世界貿易の拡大に伴う荷動きの増大を示すものである。

これらの動向に伴う材料への要求は、低温での高い靱性と大入熱での優れた溶接性を有することである¹⁴⁾。

なお、我が国が今後とも世界の造船業をリードしていくためには、LNG船やコンテナ船或いは旅客船などの高性能化や高付加価値化などの技術革新を進め、国際競争力のある製品の開発・製造に力を入れることが特に重要である。

(4) 建造の合理化

図3¹⁵⁾は、我が国造船所での溶接作業の従業員一人当たりの生産性と機械化率の推移を示す。近年での機械化率は、70%を越えるまでになっている。しかし、今後とも溶接作業を含む建造作業の合理化は、我が国が世界で造船国として生き残っていくうえで今後とも永続的に取組まねばならない重要課題^{16)~20)}である。

具体的には、生産性向上及び品質確保の点から革新的な技術開発が強力に進められている。すなわち、溶接作業の省力化或いは自動化を狙いとして、材料面では低溶接歪み材の開発、溶接面からは簡易自動溶接機及び各種溶接ロボットの採用、適用拡大に関する開発・実用化である。これら材料技術に直接関連する溶接技術に関する現況の概要に

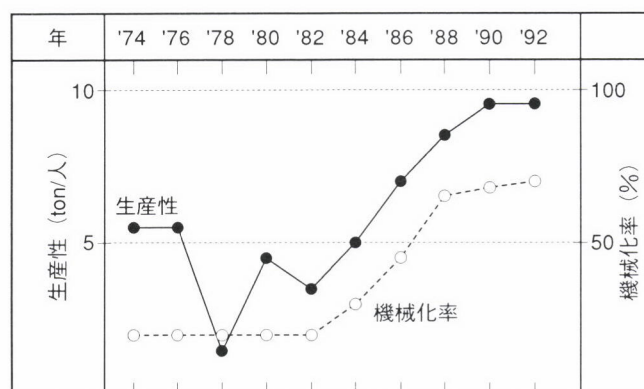


図3 造船での溶接作業の生産性及び機械化率の推移

についても後述する。

2.2 材料関連課題への取組み

前述した船舶の技術動向に対応する材料関連課題への主な取組み概要と現況について整理する。

2.2.1 船体用材料及び防食技術関連

(1) 高張力鋼

高張力鋼の中心であるTMCP鋼（熱加工制御鋼）は、製鋼・圧延技術と設備の進歩と相まって、コンピュータによる制御技術の導入により圧延時の温度を正確に制御することが可能となり開発されたもので、従来の制御圧延法に比較して優れた熱加工制御法（TMCP）で製造される鋼である。なお、TMCPは日本独自のプロセス名で、これが定着したのは1983年頃である。

TMCP鋼の製法をJIS規格²¹⁾より引用して図4に示す。TMCP鋼の特徴は、制御圧延と制御冷却（加速冷却）との最適化による材質制御とともに、Nbなどの微量合金元素と低い炭素当量（Ceq.）で構成される成分との適切な組合せ

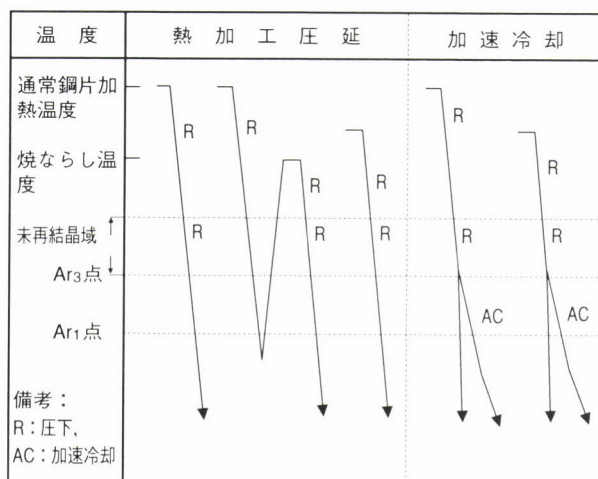


図4 熱加工制御鋼（TMCP鋼）の製法

により、優れた強度と低温靱性並びに溶接性が確保できることである。なお、これらの制御条件並びに成分と鋼材の特性との関係については、栗原³⁾がまとめているのでここでは省略する。

TMCP鋼は、1987年には表3及び表4に示すように船体用高張力鋼材としてNK（日本海事協会）で規則化され、船体の軽量化に大きく貢献してきた。

図5⁴⁾は、高張力鋼の使用状況の経緯を示したもので、1980年には70％程度に達していた。しかし、近年、特にタ

ンカーの二重船殻構造化が義務づけられてから建造される船舶いわゆる第三世代VLCCへの高張力鋼の使用量は、以前に比較して大幅に減少する方向にある。これは、広範囲に高張力鋼が使用された1985年頃から建造されたいわゆる第二世代VLCCで積荷の原油による腐食疲労とみられる損傷がみられたこと及び二重船殻タンカーにおいては、構造の安全性・信頼性が最も重視されるからである²²⁾。

なお、造船用鋼材の開発としては、TMCP鋼の他に形状面から造船施工の省力化に貢献する厚板も開発されている。その例として圧延方向または直角方向に板厚が異なる「差厚鋼板²³⁾」や工場出荷のままの端面でのI開先突合わせ溶

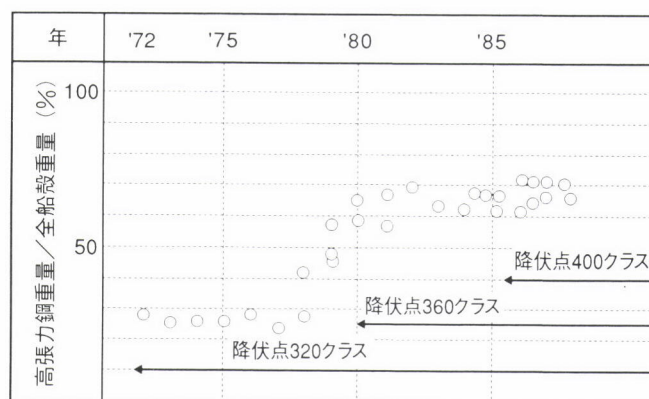


図5 高張力鋼使用量の推移

表3 NK規則での船体用高張力鋼材のTMCP熱処理（NK規則，1995）

グレード	脱酸形式	厚さ, t (mm)	熱処理
KA32 KA36	細粒キルド (Nb処理無し)	12.5 < t ≤ 50	TMCP
		20 < t ≤ 35	
		35 < t ≤ 50	
KD32 KD36	細粒キルド (Nb処理無し)	12.5 < t ≤ 50	
		20 < t ≤ 25	
		25 < t ≤ 50	
KE32, KE36	細粒キルド	t ≤ 50	
KA40	細粒キルド	12.5 < t ≤ 50	
KD40, KE40	細粒キルド	t ≤ 50	

表4 NK規則での船体用高張力鋼材の機械的性質（NK規則，1995）

グレード	引張試験			衝撃試験		
	降伏点又は耐力 (N/mm ²)	引張強さ (N/mm ²)	伸び (%)	試験温度 (°C)	最小平均吸収エネルギー値 (J)	
					L方向	T方向
KA32 KD32 KE32	≥ 315	440 ～ 590	≥ 22	0 -20 -40	31	22
KA36 KD36 KE36	≥ 355	490 ～ 620	≥ 21	0 -20 -40	34	24
KA40 KD40 KE40	≥ 390	530 ～ 650	≥ 20	0 -20 -40	39	26

接が可能な「びたり銅板²⁴⁾」などがある。

(2) タンカー原油雰囲気中での船体銅板の腐食疲労強度

図6は、CT試験片で行ったサワー原油 (H_2S 400ppm) の高濃度硫化水素原油) 中及び大気中でのKA36 (TMCP) 銅母材の疲労亀裂伝ば速度 (da/dN) を示したものである。これによると応力拡大係数範囲 ΔK が約 $16\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 以上の領域ではサワー原油中の疲労亀裂伝ば速度は大気中に比較して加速されている。特に ΔK が大きくなるほど加速の度合いは著しくなり、 ΔK が $30\text{MPa} \cdot \text{m}^{1/2}$ 程度では約7倍に達している。なお、サワー原油中における疲労亀裂伝ば速度の加速現象は母材のみならず、溶接継手の溶接金属及び熱影響部でも同様な現象が見出されている²⁵⁾。

図7⁹⁾にサワー原油及び大気中でのKA36 (TMCP) 銅の丸棒試験片のS-N曲線を示す。疲労寿命に及ぼすサワー原油の影響は、高い応力域ほど顕著で、応力が低下するほど小さくなることから明らかである。

これらの原油による腐食損傷と見られる現象が、1985年頃から建造された第二世代VLCCに観察されたことから、前述のとおり近年の第三世代VLCCでは従来の高張力銅の使用に船主は慎重になっている²²⁾。しかし、原油中で高い疲労強度を示す造船用銅板の改良・開発は、船舶の一層の安

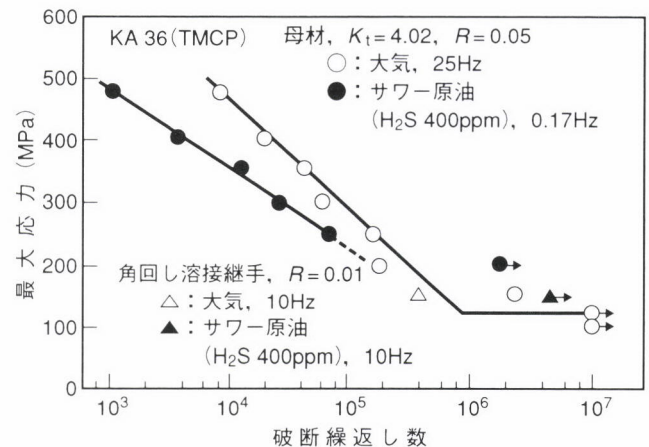


図7 サワー原油及び大気中におけるKA36 (TMCP) 銅丸棒試験片の疲労寿命試験結果

全性確保並びに船体構造の軽量化推進のために今後とも重要な課題である。

このような課題の解決の可能性を見出すために行われている検討の現状について、以下に概要を述べる。

前述した硫化水素を含む原油中での現象は、銅の腐食に伴って生成された水素が銅に侵入して亀裂先端の塑性域に拡散集積して水素脆化が生じるためと考察されている¹⁰⁾。一方、水素脆化はマイクロ組織の影響を強く受けることがよく知られており、腐食環境中での疲労亀裂の進展に対する銅のマイクロ組織の影響を把握する観点から、材料改善の可能性についての検討が一部進められている¹¹⁾。これによるとベイナイト組織を有する銅の陰極水素チャージ下の疲労亀裂伝ば速度は、フェライト-パーライトバンド状組織、フェライト-ベイナイト組織などに比べて遅く、亀裂破面は延性的であるとの知見を得ている¹¹⁾。今後は、実船でのサワー原油環境条件を水素濃度を含めて明確にして、これら環境中で優れた特性を示す造船用銅が開発されることを期待したい。

(3) 船体の防食

船舶の外板没水部に海洋生物が付着すると船の速度の低下や燃料消費量の増大を招くことから、一般に防汚塗料が使用されている。しかし、1975年に入って開発され、その優秀な防汚性能のために現在使用されているトリブチルすず (TBT) 化合物共重合体を利用した防汚塗料は、それに含まれるTBT化合物が1990年に第2種特定化学物質に指定されたことから、使用が困難な状況になりつつある。そこで、この対策として海水の電気分解を利用した導電塗膜による新しい船舶の防汚システムの開発が進められている¹²⁾¹³⁾。

図8に導電塗膜を利用した防汚システムの基本原理を示す。船体外板の接水面を絶縁塗膜を介して被覆した導電性

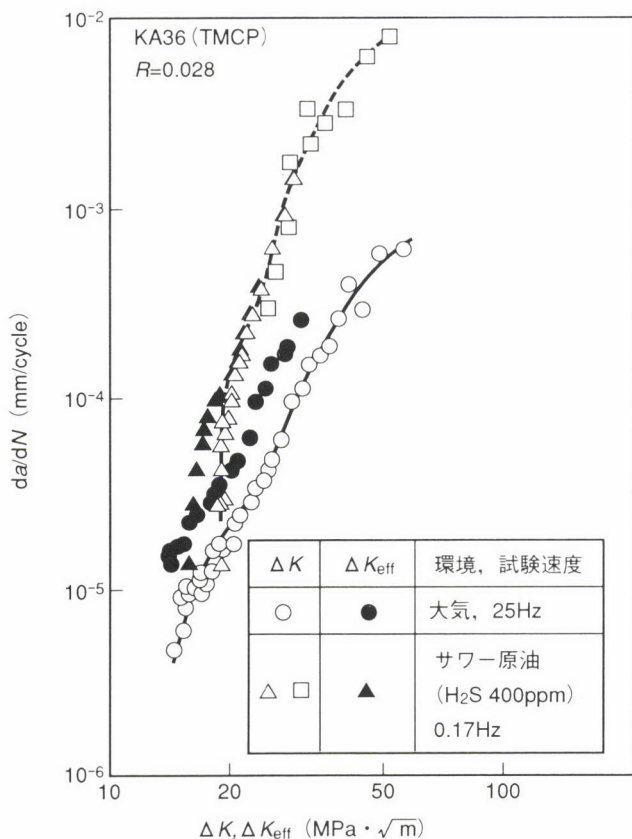


図6 サワー原油中及び大気中におけるKA36 (TMCP) 銅の疲労亀裂伝ば速度

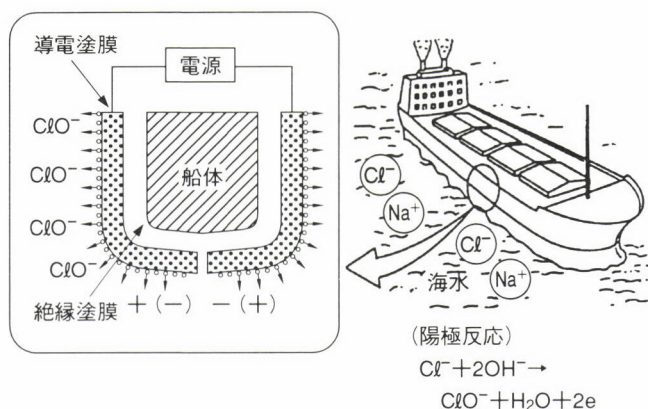


図8 導電塗膜を利用した防汚システムの基本原理図

のある塗膜を陽極として微小電流を流すと、電気分解反応により導電塗膜の極表面層が次亜塩素酸イオンで覆われ、微生物、藻、貝などの海洋生物の付着を防止できる。この技術の特徴は①塗膜中に有機すずや重金属などを含まないため、海洋を汚染しない。②海水中に溶出する成分がないため、長期間安定した防汚性能が維持できるとともに、塗膜表面は塗装直後の平滑な状態を維持でき、運航燃費の節減に寄与できる。③外部電源陰極防食機能を兼ね備えるため、塗膜が損傷し船体外板が露出してもその部分は電気防食され保護される。

本システムは、小型船で長期間の防汚耐久試験が進められており、近年高まりを見せている海洋環境保全の観点から早期に実用化されることが期待される。

2.2.2 溶接技術関連

図9¹⁵⁾は造船各工程における溶接作業での機械化及び自動化がどの段階に達しているかの最新の状況を、また、図中の矢印は将来の目標を示したものである。この図からも造船所での溶接作業の機械化及び自動化が高いレベルに達していることが分かる。しかし、今後とも我が国の造船業

ロボット溶接	CAD／CAM化									
	オフラインティンゲ									
	遠隔指示									
	現物ならい									
	機械溶接（多極溶接）	20極 12極		3 極 × 2		12極				
機械溶接										
簡易台車										
手溶接、半自動溶接										
溶接技術レベル	単板 ロンジ	トランス 材	ステイ フナ	板継： シーム	板継： バット	スロット 部	板継	ロンジ 材	板継	内構材
建造工程	小組立			平板大組立		曲り大組立		外業		

図9 造船各工程毎の溶接作業の機械化及び自動化の状況

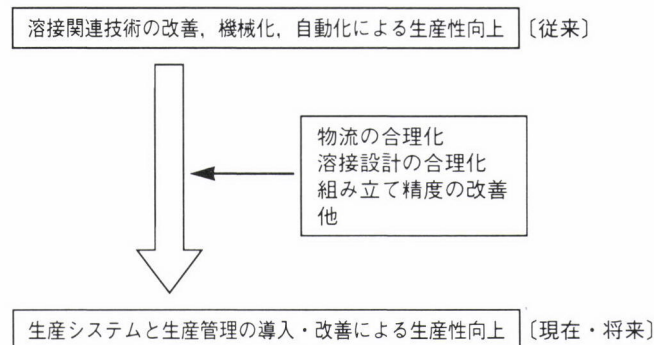


図10 造船における建造技術合理化の施策

が勝ち残っていくためには、溶接を含む建造技術の合理化を最重要課題として取り組む必要がある。但し、今後の建造技術の合理化の施策は、図10²⁶⁾に示すように単に溶接の自動化やロボット化のみならず、CIM(Computer Integrated Manufacturing)の構築による生産システムの合理化も含むものでなければならない。すなわち、溶接に関する固有技術の改善とともに生産システム及び生産管理の合理化など総合的な改革による生産性の向上を達成する必要がある。

2.3 材料関連技術の今後の課題

最後に、前述した材料関連技術課題への取組み状況から残された主な課題を整理する。

(1) 材料及び防食技術関連

近年の海洋汚染の防止に対する世界的な強い要請から、より安全で信頼性の高い船が求められている。従って、TMCP鋼などの高張力鋼に関しては、第二世代のVLCCで見られた腐食疲労損傷に対して高い抵抗性を有するとともに腐食代が減少できる優れた耐食性を示す新規材料の開発が必要である。また、将来的には前述したような新規船体防汚システムを併用して腐食代の大幅低減による軽量化を目指すべきである。

(2) 溶接技術関連

溶接を含む建造技術の合理化においては、今後溶接の自動化、ロボット化とともに生産システムの全面的な見直しによる合理的生産システムの構築による全体の生産性向上が不可欠である。

3 あとがき

1956年以来船舶の建造量で世界をリードしてきた我が国も、近年韓国などとの競争で厳しい状況に直面しており、これに勝ち抜くために技術革新に懸命な取組みを行っている。そこで、本報告では近年特に1985年以降の造船業界の技術動向とともにそれに直接関係する材料関連の技術課題

への取組み状況について、その概要を取りまとめた。

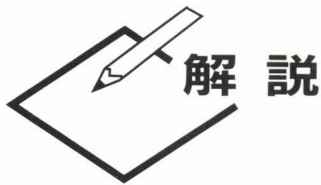
我が国が現状の厳しい状況に打ち勝つとともに、21世紀に向けて一段と発展するためには、

- ①現状、海洋環境保全の面から船舶の安全性確保が最も重要な課題であり、材料面での革新は極めて難しい状況にあるが、今後とも耐食性の優れた高張力鋼など高性能な材料の開発に継続的に取組む必要である。
- ②一方、建造技術に関しては、製造コストの削減が当面の最重要課題であり、溶接作業の自動化やロボット化などの省力・省人化技術の追求を継続的に進める。
また、CIMの構築などによる生産システムの見直し・合理化により生産性の向上を図る。
- ③なお、我が国のように賃金の高い国では、LNG船やコンテナ船など国際的に高い競争力を有する高付加価値船の高性能化、差別化を更に進め、これら高付加価値船の製造に特に力を入れる必要がある。

文 献

- 1) 貝原正一郎：溶接学会誌，63（1994），p.388
- 2) ㈱鋼材倶楽部：鉄鋼主要分野における製品開発経緯と今後の展望（昭和63年7月）を参考
- 3) 栗原正好：鉄と鋼，81（1995），p.467
- 4) 北田博重：日本造船学会誌，No.726（1989），p.797
- 5) 木原和之：ふえらむ，1（1996），p.179
- 6) 富田康光，松岡一祥：日本造船学会誌，No.788（1995），p.92
- 7) 武藤数彦，松尾信太郎：鋳物協会，1990年度豊田賞受賞記念講演概要
- 8) 小野修二，齊藤正洋：鉄と鋼，81（1995），p.N250
- 9) 江原隆一郎，山田義和，矢島 浩，伏見 彬，渡部栄一：三菱重工技報，31（1994），p.198
- 10) 江原隆一郎：まてりあ，33（1994），p.1497
- 11) 櫛田隆弘，菅田 登，幸 英昭，大西一志，木村博則，矢島 浩，渡辺栄一，江原隆一郎：日本造船学会論文集，No.174（1993），p.563
- 12) 西 昭雄，宇佐美正博，植田健二，友重清美：三菱重工技報，28（1991），p.258
- 13) 宇佐美正博，友重清美：日本造船学会誌，No.795（1995），p.692
- 14) 中野善文，天野虔一，三宮好央，小林英司，小川隆生，矢島 浩：川崎製鉄技報，18（1986），p.301
- 15) Y. Takeda, T. Kawano, H. Takeda and H. Iwabuchi：Proceedings of International Conference held in Beijing, China, 5-6 September 1994 under the auspices of the International Institute of Welding, p.67（International Academic Publishers）
- 16) 齊藤忠雄：日本造船学会誌，No.788（1995），p.85
- 17) 百合岡信孝：日本造船学会誌，No.773（1993），p.80
- 18) 百合岡信孝：溶接学会誌，65（1996），p.67
- 19) 岩淵 寛：溶接学会誌，65（1996），p.435
- 20) 奥本泰久：日本造船学会誌，No.802（1996），p.263
- 21) JIS G0201-1995，p.15
- 22) 渡部栄一：溶接学会誌，63（1994），p.599
- 23) 武田秀雄：船舶建造における生産技術の高度化への取り組みと今後の課題，日本学術会議，平成4年度シンポジウム，（1993）
- 24) 百合岡信孝：産業界が要望する簡易溶接，高能率溶接および複合材料溶接の開発の現状，日本学術会議，平成4年度シンポジウム，（1993）
- 25) 中野義文，松本重人，杉江英司，矢島 浩，江原隆一郎：日本造船学会論文集，No.174（1993），p.571
- 26) 松井繁朋：溶接学会誌，65（1996），p.43

（1996年11月28日受付）



鉄骨建築物における鋼材とその利用技術

渡辺伸生

住友金属工業(株) 建設技術部 参事補

Nobuo Watanabe

Application of Steel Materials for Steel Frame Building

1 はじめに

建築物の構造設計上、地震力が重要な支配因子である我が国において、強度と靱性を兼ね備えた鋼材は、素材コストの安さと相まって建築構造用材料として特に優れたものであるといえる。

1890年、我が国における最初の鉄骨構造が工場建物として建設された。その約1世紀後の現在、建築分野における鋼材消費量は年間2千万トンを超え、産業分野別に見ても第1位の需要を創出している。

建築物を木造、鉄骨造、鉄筋コンクリート造、鉄骨鉄筋コンクリート造(SRC造)に大別すると、図1に示すように、鉄骨造は木造と並び我が国において最も普及した構造である。

本論において、建築物への要求性能から生まれた新しい建築用鋼材および鋼材の利用技術について述べる。

2 鉄骨建築物の特徴

鋼材は構造用材料として以下に示すように優れた性能を持っている。

①高い比強度

鋼材の比重はコンクリートの3.4倍であるが、引張耐力はコンクリートの10~20倍程度である。

鉄骨構造部材自体の重量は鉄筋コンクリート造と比較してはるかに軽いものとなり、鉄筋コンクリート造では不可能な大スパン建築物や超高層建築物の実現に寄与している。

②優れた靱性

建築構造物の設計、特に巨大地震に対する設計は、地震に対し架構が大きな塑性変形を生ずることにより、地震入力エネルギーを吸収することで大きな地震下でも崩壊を免れるといった思想に基づいている。

他の建築用材料(主にコンクリート)と比較して優れた靱性を有する鋼材からなる鉄骨部材および鉄骨架構は塑性変形能力に優れている。これは鋼材が建築構造物に適した材料であることの理由でもある。

建築物がより高層化・巨大化(大スパン化)していく現在において鋼材は最も優れた材料の一つであるが、一方で耐火性能が低いといった欠点もあげられる。

鋼材は高温になると耐力が低下するため、鉄骨造建築物においては、火災時の構造安定性を確保するため鉄骨部材に耐火被覆(鉄骨のまわりにロックウール等を吹き付けることによって火災から鉄骨温度の上昇を防ぐもの)の施工が行われている。

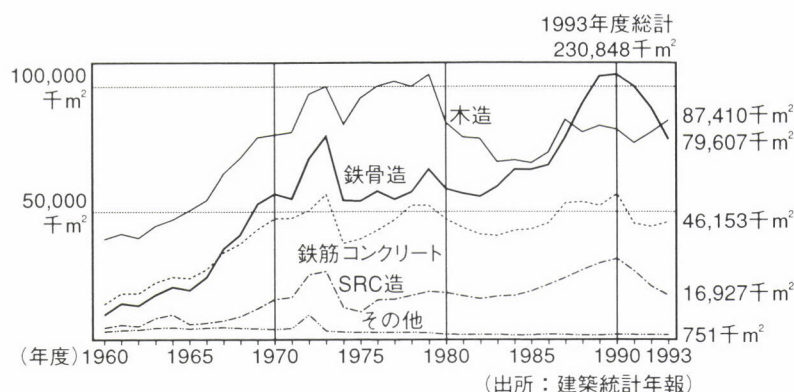


図1 構造種別着工面積 (年度)

建築物の用途や空間形態に応じて鉄骨部材の形状や鋼材素材の表情をデザイン上表現したい場合に耐火被覆が建築意匠上妨げになる例も見られている。

最近においては、鋼材自体の高温耐力を高めたものやコンクリートとの合成効果により部材としての耐火性能を確保する材料・工法が開発されているがそれらについては後で述べる。

3 建築物への要求と鋼材

3.1 建築物への要求

建築構造物には常に、より高く、より広く、といった建築物の高層化・大スパン化が要求され続けてきた。都心の超高層ビル群や野球場等のドーム建築はその結果であり、建築物の巨大化という要求は今後もますます高まっていくと考えられる。また、より美しい空間、建築物の創造は建築設計者にとって根本的な理想であることは言うまでもない。

建築物への要求を“高層化・巨大化”、“意匠性の向上”をとらえた場合、鉄骨建築物は新しい鋼材および工法の開発によりその要求に应运えてきている。

図2に最近の新しい鋼材および工法の位置づけを示す。

3.2 建築物の高層化・巨大化

3.2.1 TMCP鋼、SA440

建築物の高層化・巨大化に対しては、建築構造物に必要な性能（塑性変形能力等）および施工性（溶接性等）を確保しつつ材料強度を高めた鋼材が開発されている。

その代表例としてTMCP鋼とSA440が挙げられるが、TMCP鋼は、炭素当量を低く押さえ強度を確保することで施工性（溶接性）に優れた鋼材であり、SA440は、従来の高張力鋼材の製造方法に二相域熱処理プロセスを加えることで優れた靱性を確保した590N/mm²クラスの鋼材である。

両者とも日本工業規格や建築基準法に規定された鋼材ではないものの既に高炉メーカーにより建設大臣の一般認定が取得されており広く普及されている鋼材である。

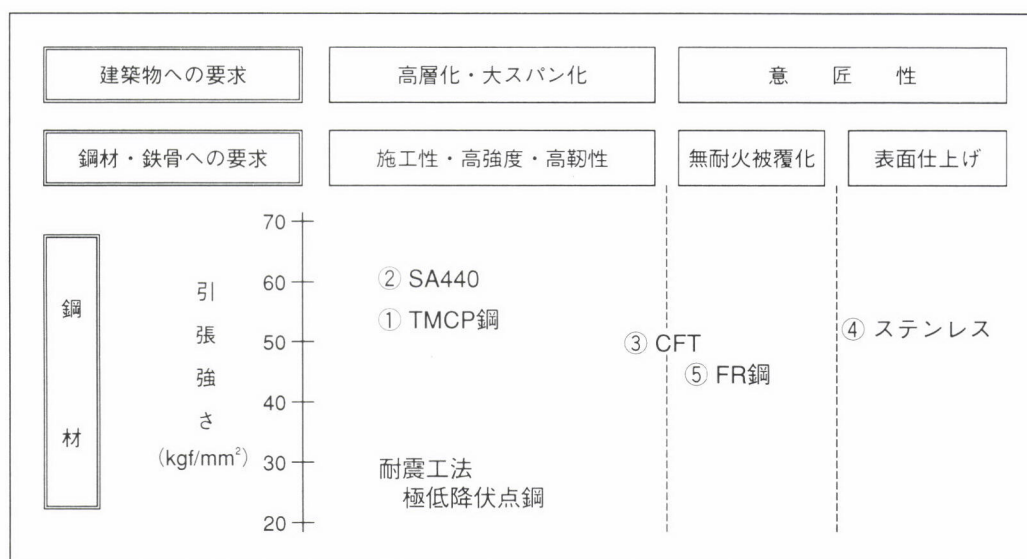
3.2.2 極低降伏点鋼

材料の強度を高め構造物の高層化・巨大化に寄与する一方で、反対に、強度を低く押さえ、さらに靱性（変形能力）を向上させた鋼材（極低降伏点鋼）を構造体の一部に利用し、構造体の変形による地震入力エネルギーの吸収量をより増加させることで耐震性を高める工法も開発されている。極低降伏点鋼の利用技術については次章で述べる。

3.2.3 CFT構造

CFT構造は角形鋼管および円形鋼管の内部にコンクリートを充填することによる鋼材とコンクリートとの合成構造である。（普通の鋼材と普通のコンクリートとの組合せである。即ち、材料的に特殊なものではなく構造形式が新しい。）

両者の合成効果として、



- ① TMCP鋼：建築構造用TMCP（Thermo Mechanical Control Process）鋼板〔建設大臣認定品〕
- ② SA440：建築構造用高性能590N/mm²鋼材〔建設大臣認定品〕
- ③ CFT：Concrete Filled Tube（コンクリート充填鋼管）
- ④ ステンレス：建築構造用ステンレス鋼材〔ステンレス協会 SAS 601-1993〕
- ⑤ FR鋼：Fire Resistant Steel（耐火鋼）

図2 新しい鋼材・工法の位置づけ

- ①鋼管とコンクリートとの耐力の累加
- ②鋼管によって拘束されるコンクリート強度の上昇
- ③内部コンクリートによる鋼管の局部座屈の抑制
- ④耐火性能の向上

が挙げられるが、①～③により、鉄骨単体の部材に対しCFT構造部材の構造性能（耐力、靱性）は飛躍的に向上する。

また、④については内部コンクリートにより部材全体としての熱容量が向上することが、本構造の潜在的な性能といえる。最近ではCFT構造の優れた耐火性能を活かしてこれまでは鋼管表面に法的には必要であった耐火被覆を省略する例も増えている。

CFT構造についても(社)新都市ハウジング協会により建設大臣の認定が取得されており、今後、建築分野において最も注目されるであろう構造の一つである。

3.3 建築物の意匠性の向上

建築物の意匠性の向上については、鋼材面から二通りのアプローチがなされている。

3.3.1 ステンレス*

一つは、意匠的には優れているにもかかわらず、従来、建築構造用として使用されていなかった鋼材(ステンレス)を建築構造用として使用できる周辺技術（設計法・施工法）を確立したことであり、既に(社)ステンレス構造建築協会により建設大臣の一般認定が取得されており、建築構造用ステンレス鋼材は広く普及されはじめている。

3.3.2 FR鋼

二つめは耐火被覆を省略することのできる鋼材および設計法の開発である。

“耐火被覆のいらぬ鉄骨”を実現すべく開発されたのがFR鋼である。FR鋼は高温（600℃）での耐力が常温規格値の2/3以上であることを保証した鋼材であり、現在高炉メーカーによって製造されている。FR鋼は建築構造用圧延鋼材（JISG3136）の性能を保持するとともに耐熱性を高める合金（モリブデン等）添加により高温強度を付加した鋼材である。

FR鋼による耐火被覆の省略は、鋼材開発とともに建物内における火災性状予測や高温鉄骨部材の構造安定性検討等の周辺技術の開発により実現できたものであり、その概要については次章で述べる。

構造部材の無耐火被覆化は前述のCFT構造とFR鋼により広く普及されはじめている。

4 新技術の紹介

ここでは、前述の鋼材のうちその材料特性の向上と併せて、建築物の設計法・工法の開発によって生まれた新しい技術について紹介する。

◆極低降伏点鋼の機械的性質

- | | |
|-------------|---------------------------------------|
| 1) 降伏点レベル | → 100N/mm ² 級 [SN490の約1/3] |
| 2) 伸び性能 | → 40%以上 [SN490の約2倍] |
| 3) 降伏点のバラツキ | → 50N/mm ² [SN490の約1/3] |

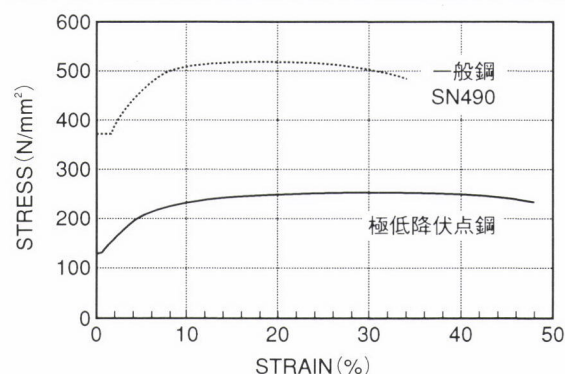


図3 極低降伏点鋼の応力-歪み曲線
SN: Steel for New structure

◆制震システムの原理

- 1) 骨組を構成する部材に対して極低降伏点鋼を先行降伏
- 2) 鋼材の履歴減衰効果による地震エネルギーの吸収



骨組に作用する地震力・変形の低減

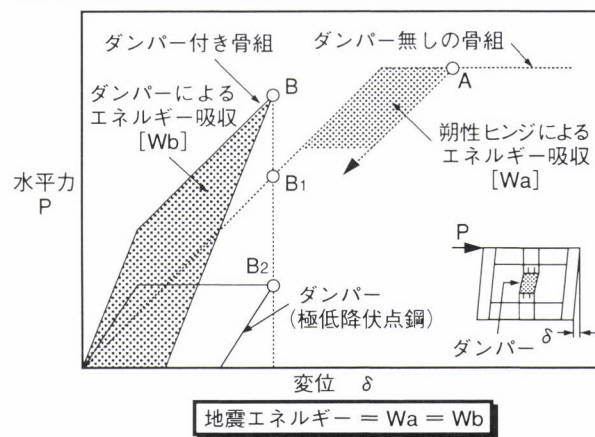


図4 極低降伏点鋼の利用技術例

*マルテンサイト系（13Cr系）SUS410、フェライト系（18Cr系）SUS430、オーステナイト系（18Cr-8Ni系）SUS304の3種

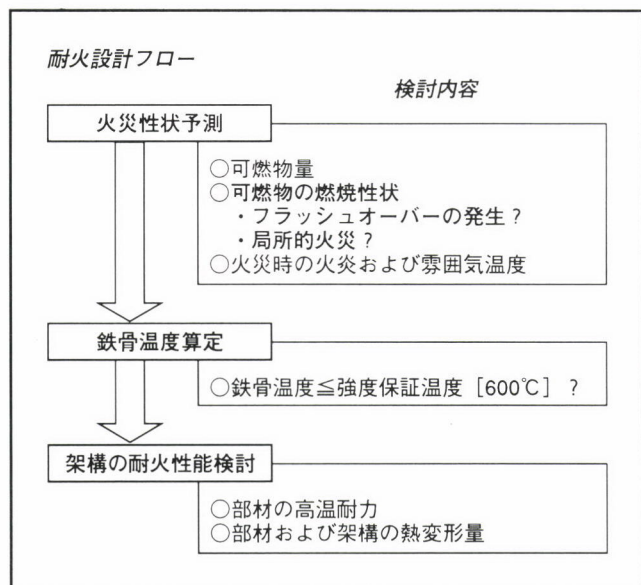


図5 FR鋼の耐火設計フロー



図6 自動車燃焼実験状況

4.1 極低降伏点鋼の利用技術

図3に極低降伏点鋼の応力-ひずみ関係を示す。

極低降伏点鋼は一般の鋼材に比べて、部材（材料）に作用する外力（応力）に対し早期に降伏、塑性化する優れた変形性能を有する鋼材である。（一般鋼に比べ強度に効くカーボンを減らした鋼材である。）

極低降伏点鋼を制震ダンパーとして構造体の一部に使用した例を図4に示す。

ダンパー付き骨組みの場合、骨組み自体は弾性範囲内の

変形であっても制震ダンパーの機能（極低降伏点鋼の変形）によるエネルギー吸収[Wb]が行われ、ダンパー無し骨組みが塑性変形した場合と同じエネルギーの吸収[Wa]が可能となる。

1995年1月の兵庫県南部沖地震以降、制震ダンパーに極低降伏点鋼を用いた実施例が増加している。

4.2 FR鋼の利用技術

FR鋼を使用して耐火被覆を省略する場合、図5に示す耐火設計を実施する必要がある。耐火設計のうち最も重要となるのは建物における火災性状を把握することであり、比較的穏やかな火災性状（空気（酸素）が供給されて急激に火災の勢いが強まるフラッシュオーバー）を伴わない少量可燃物の局所火災となる空間においてFR鋼を無耐火被覆で使用することが可能となる。

FR鋼を無耐火被覆で使用できる建物例として、

- ①開放型の自走式駐車場
- ②駅ビルの線路階（線路の通っている階の事）
- ③屋上階
- ④アトリウム等の大空間

等が挙げられるが、なかでも開放型の自走式駐車場については高炉メーカーにより関連技術の蓄積が行われ（図6：自動車燃焼実験状況）、建設大臣の認定が取得されており、今後さらに普及されていく鋼材である。

5 おわりに

最近の建築用鋼材およびその利用技術について述べたが、今後も鉄鋼技術者と建築技術者とが一体となり新しい建築用鋼材および利用技術の開発がなされ、鉄骨建築物が益々発展することを期待したい。

参考文献

- 1) 建築構造用鋼材の知識：鋼構造出版（1993.5.1）
- 2) 建築構造用TMCP鋼板，（社）鋼材倶楽部
- 3) 高性能鋼利用技術指針，建設省建築研究所，（社）鋼材倶楽部，1994年1月

（1996年12月11日受付）

本会会員で、研究設備・機器等をお探しの方へー企業の窓口をご紹介します **～「大学研究支援設備紹介事業」～**

本会では、従来より維持会員会社より提供いただける設備・機器等のリストを、研究設備・機器等をお探しの会員の方（大学・高専等にご所属の正・学生会員）に、閲覧していただけるようにしていましたが、今回より変更し、維持会員会社の窓口をご紹介しますことにいたしました。

ご希望の方は、電話またはFAXで、お探しの具体的な設備名を下記窓口担当者に直接お問い合わせ下さい（随時受付）。

なお、お問い合わせの際は会員番号を必ずお申し出下さい。本会会員でない方への設備紹介はいたしませんのでご了承願います。

1. 資格：1）大学や高専等における教育者・研究者である本会正会員。
2）学生会員。ただし、本会正会員である教育指導者の承認をあらかじめ受けて下さい。

2. 各社窓口：（社名50音順、敬称略）

会社名	所属・役職	担当者	TEL	FAX
愛知製鋼株	開発企画部 技術管理室 室長	高田八束	052-603-9245	052-603-1862
NKK	技術開発本部 総務室 業務チーム チーム主査	平沢 脩	044-322-6066	044-322-6525
川崎製鉄株	研究企画業務部 企画開発室 掛長	玉利孝徳	043-262-2902	043-262-2115
株クボタ	生産技術本部 生産技術推進部 部長	松尾恵三	06-648-3421	06-648-3415
株神戸製鋼所	鉄鋼事業本部 生産技術部 課長	磯部光利	03-3218-6716	03-3218-6621
新日本製鐵株	技術開発企画部 開発調整室 室長	大下 滋	03-3275-6955	03-3275-5991
住友金属工業株	技術部 技術室 参事	倉地和仁	03-3282-6166	03-3282-6732
大同特殊鋼株	技術開発研究所 主任部員	曾我信重	052-611-9413	052-614-5811
日新製鋼株	技術研究所 研究企画課 課長	植松美博	0473-28-8251	0473-28-8218
株日本製鋼所	研究開発本部 企画管理G 担当課長	高市 茂	0423-30-7300	0423-30-7502

3. 設備・機器の利用方法等：1）設備・機器利用を希望する会員が、窓口担当者と直接交渉を行って下さい。
2）利用形態には借用・寄附・購入等が考えられますが、どの形態をとるかは交渉によります。
3）利用に付随して発生する費用（運搬・据付・調整等）は原則として大学側の負担とします。

連絡先 (社)日本鉄鋼協会 総合企画事務局 総合企画グループ 征矢 (ソヤ)
TEL.03-3279-6021 FAX.03-3245-1355 E-mail:corplan@isij.or.jp

本会情報一覧

記事内容	掲載号
第82回通常総会開催案内・第133回春季講演大会 懇親会のお知らせ	本号202頁
理事、監事、評議員候補者氏名一覧	本号203頁
新名誉会員および受賞者のお知らせ	本号203頁
第23回鉄鋼工学セミナー受講者募集案内	本号205頁
本会会員への大学研究支援設備紹介事業のお知らせ	本号210頁
シンポジウム「人間・社会・環境との新しい調和を求めて-V」開催案内	本号211頁
シンポジウム「鉄鋼業における苛酷環境を超える表面処理技術の展開」開催案内	本号211頁
シンポジウム「熱延潤滑圧延の現状と今後の課題」開催案内	本号212頁
シンポジウム「状態図および組織形成に関する研究最前線」開催案内	本号213頁
シンポジウム「住宅における鉄鋼材料の腐食と表面処理」開催案内	本号213頁
最終報告会「鉄鋼の高強度化と信頼性向上ー高強度化の新展開」開催案内	本号214頁
鉄鋼スラグの基礎と応用研究会成果報告会開催案内	本号214頁
本会ホームページ開設のお知らせ	2号136頁
シンポジウム「鉄鋼業における生産システムのフレキシブル化」開催案内	2号137頁
切削・切断フォーラム講演討論会と見学会開催案内	2号137頁
フォーラム「阪神大震災を踏まえ、今後どのような建築用鋼材が望まれるか」開催案内	2号138頁
フォーラム「第2回ステンレス鋼の耐候性試験」開催案内	2号138頁
シンポジウム「鉄鋼業における情報化社会への対応」開催案内	2号140頁

行事等予定

太字は本会主催の行事

開催期日	行事（開催地）	締切	掲載号及び頁
1997年			
3月 11, 12日	学生セミナー「鉄鋼の最先端技術」（鹿嶋）	1997/1/20	11号886頁
11～13日	第12回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会（全国15会場）	1997/1/20	11号885頁
11～14日	第2回アーキテクチャ東京「快適環境創造のための建築・設備・技術総合展」（東京）		2号145頁
13日	九州支部 総会・湯川記念講演会・講演討論会（北九州）		2号141頁
14日	東海支部 総会ならびに湯川記念特別講演会（名古屋）		本号215頁
15～29日	学生会員 '97北欧の大学・研究所・製鉄所めぐり（ストックホルム、他）	1997/1/17	12号954頁
18日	切削・切断フォーラム講演討論会・見学会（名古屋）	1997/3/5	2号137頁
18, 19日	シンポジウム「トランプエレメントの鉄鋼材料科学—スクラップ起因不純物元素との上手なつき合い方」（東京）	1997/2/28	2号139頁
19日	腐食防食シンポジウム「保温材下腐食の最新技術動向」（東京）		本号220頁
25日	シンポジウム「新しい車体構造形成技術」（東京）	1997/3/11	2号145頁
25日	中国四国支部「国外第一線研究者による材料の電子顕微鏡学的研究最先端の現状」講演会（岡山）		本号215頁
25日	材料強度と破壊総合シンポジウム（東京）		本号220頁
26日	鋼構造品工学フォーラム「阪神大震災を踏まえ、今後どのような建築用鋼材が望まれるか」（東京）	1997/3/7	2号138頁
27～29日	第133回春季講演大会（東京）	1997/1/9	11号877頁
27日	第82回通常総会（東京）		本号202頁
27日	第133回春季講演大会 懇親会（東京）	1997/3/14	本号202頁
28日	シンポジウム「鉄鋼業における生産システムのフレキシブル化」（東京）		2号137頁
28日	シンポジウム「鉄鋼業における情報化社会への対応」（東京）		2号140頁
28日	シンポジウム「人間・社会・環境との新しい調和を求めて—V 科学技術創造立国時代におけるヒューマンリソースの活性化を中心として」（東京）		本号211頁
28日	シンポジウム「鉄鋼業における苛酷環境を超える表面処理技術の展開」（東京）		本号211頁
28日	シンポジウム「熱延潤滑圧延の現状と今後の課題」（東京）		本号212頁
29日	シンポジウム「状態図および組織形成に関する研究最前線」（東京）		本号213頁
29日	シンポジウム「住宅における鉄鋼材料の腐食と表面処理」（東京）		本号213頁
29日	最終報告会「鉄鋼の高強度化と信頼性向上—高強度化の新展開」（東京）		本号214頁
4月 4日	関西支部 総会・湯川記念講演会・懇親会（大阪）	1997/3/19	2号141頁
15日	フォーラム「第2回ステンレス鋼の耐候性試験」（東京）		2号138頁
17日	第10回学協会共通問題に関する討論会（東京）	1997/4/5	本号220頁
22,23日	第7回電子顕微鏡大学（東京）	1997/4/10	本号220頁
5月 19日	鉄鋼スラグの基礎と応用研究会成果報告会（東京）		本号214頁
23～25日	第28回塑性加工春季講演会（東京）	1997/2/7	1号68頁
28～30日	第2回日本計算工学会講演会（東京）	1997/1/31	1号68頁
6月 18～20日	第2回国際工業炉及び周辺機器展「人類の未来を創る熱技術」（東京）		2号145頁
24～26日	第9回電磁力関連のダイナミックスシンポジウム（札幌）	1997/2/28	2号145頁
7月 3, 4日	混相流シンポジウム'97（北海道）	1997/3/31	2号145頁
26日～ 8月1日	第23回鉄鋼工学セミナー（蔵王）	1997/5/9	本号205頁
8月 1日	工学・工業教育に関する研究講演（東京）	1997/3/10	2号145頁
8～28日	産業技術歴史展（横浜）		本号219頁
27, 28日	技術士第二次試験（全国9都市）	1997/4/4	2号146頁
9月 24～26日	第134回秋季講演大会（仙台）		
1998年			
3月 22～25日	第2回世界製鉄会議（ICSTI'98）（トロント）	1997/2/28	1号63頁

編集後記

最近「大学生が変わってきたな」ということを感じるようになってきた。それは大学進学率の上昇による、いわゆる「大学の大衆化」が進んでいることも一因ではなかろうか。

学生の気質も大きく変化してきており、予想もしなかった問題も起こってきている。「何しろマッチも擦れない(工学部の)学生がいるのだからねー」などと悲観してばかりいても始まらない。(ただしマッチが擦れるかどうかは家に仏壇があるかどうかで決まるという説があるようなので、この例はあまり参考にならないかも知れない。)以前に比べ、実験や普段の生活において学生達と「感動」を共有できなくなってきたのは、単に筆者が「歳をとった」だけではないような気がする。

「簡単」に「刺激的」な感動が得られる「便利」な状況では、

「時間」と「忍耐」を要求するような「古いタイプ」の研究のスタイルは改革しなければならないことはわかってはいても、なかなか妙案が浮かばず試行錯誤の毎日が続いている。

いずれにしろ我々が老いてしまったときには、彼らが頼りであることは間違いないのだから、彼らが独創的な発想で新しい分野を開拓するパイオニアとなるように、「教育」を真剣に考える必要があろう。学生達に「夢」を与える即効薬は、やはり関連する産業が元気であることが第一である。できるだけ若者達に「夢」を与え続けられるような鉄鋼業であって欲しいと思う。ふえらむが「夢」を発信する魅力的な会報であるように心掛けていきたい。

(S.Y.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 阿部 光延 (新日本製鐵株)

副委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

委員 石井 邦宜 (北海道大学)	石井 満男 (新日本製鐵株)	梅本 実 (豊橋技術科学大学)
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)
小林 正人 (株日本鉄鋼連盟)	近藤 隆明 (NKK)	佐藤 駿 (住友金属工業株)
手塚 誠 (株日本鉄鋼協会)	友田 陽 (茨城大学)	中村小夜子 (株日本鉄鋼協会)
古田 修 (愛知製鋼株)	三宅 苞 (川崎製鉄株)	柳 謙一 (三菱重工業株)
山口 周 (名古屋工業大学)		

ふえらむ (日本鉄鋼協会会報) 定価 2,000円 (消費税本会負担)

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

1996年5月10日第三種郵便物認可 1997年3月1日印刷納本・発行 (毎月1回1日発行)

編集兼発行人 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館内 島田 仁

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

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

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021 (代)

学会部門事務局: 03-3279-6022 (代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023 (代)

FAX: 03-3245-1355 (共通)

郵便振替 口座東京00170-4-193番 (会員の購読料は回避に含む)

© 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 社団法人 日本工学会内 TEL03-3475-4621 FAX03-3403-1738

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, MA01923 USA TEL001-1-508-750-8400 FAX001-1-508-750-4744

Institute for Scientific Information

3501 Market Street Philadelphia, PA19104 USA TEL001-1-215-386-0100 FAX001-215-386-6362

表紙デザイン 出澤 由野

ふえらむ Vol.2 No.3 広告目次

表2 日本センヂミア(株) 圧延機	前3 (株)テクノヨコハマ 炉外精錬装置	後1 (株)協会通信社 広告案内
前1 (株)マツボー	4 ティサン(株) エア・リキード	2 (株)大同分析リサーチ 試験分析サービス
高精度レーザー測定器		表3 日本ミンコ(株) サンプル・サンブラ
2 (株)チノー 放射温度計	後1 本誌広告目次	表4 日本アナリスト(株) 各種分析装置

本誌広告取扱 株式会社 協会通信社 〒104 東京都中央区銀座7丁目3番13号
TEL 03 (3571) 8291・FAX 03 (3574) 1467

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

ふえらむ

ferrum

Bulletin of The Iron and Steel Institute of Japan

Monthly.

Circulation: 11,000 Copies. Written in Japanese.

ISIJ International

ISIJ International

Monthly.

Circulation: 5,500 Copies. Written in English.

鉄と鋼

TETSU-TO-HAGANE

Monthly.

Circulation: 3,000 Copies. Written in Japanese.

日本鉄鋼協会講演論文集

材料とプロセス

Report of the ISIJ Meeting

Current Advances in Materials and Processes

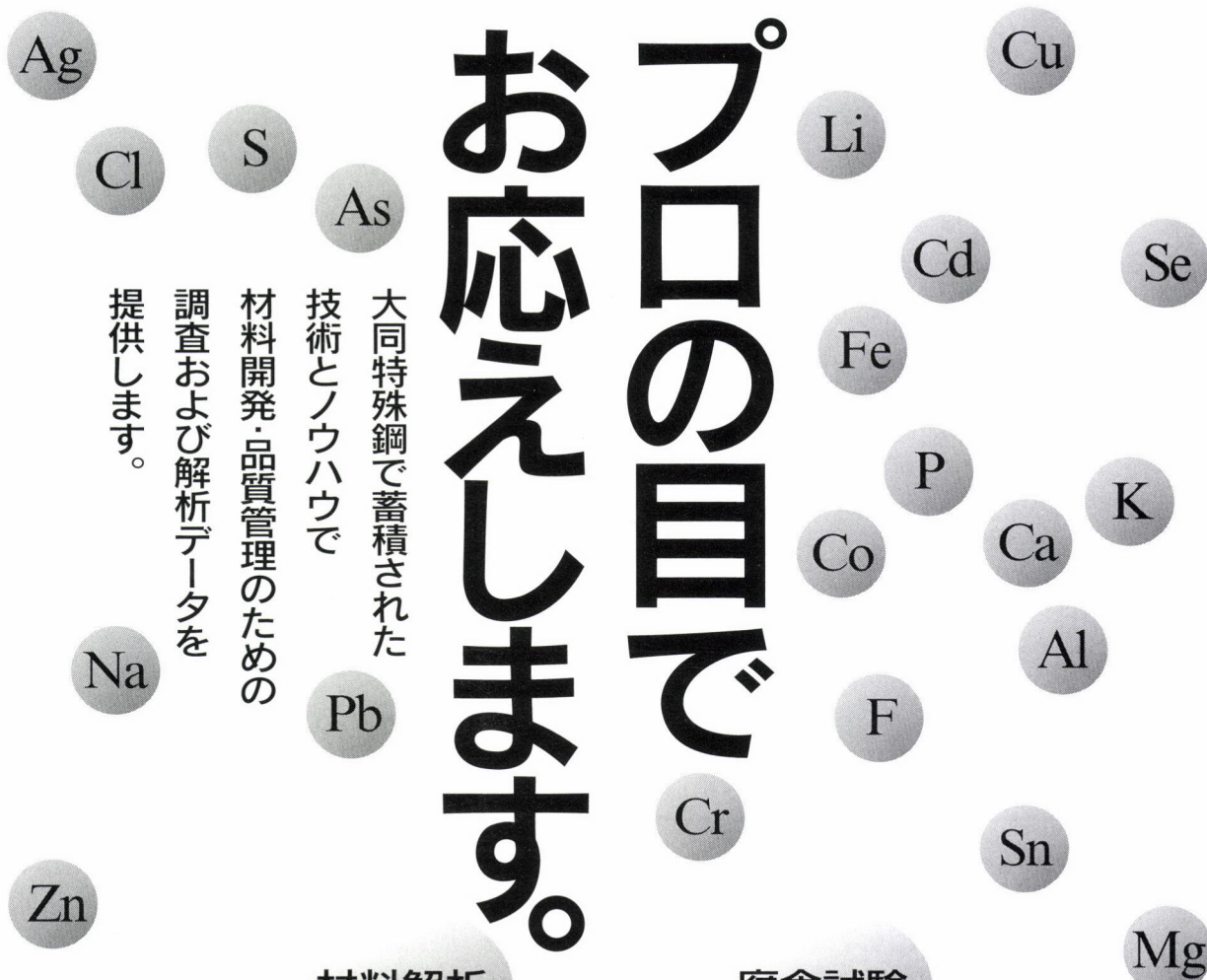
Spring: No. 1, 2, 3. Autumn: No. 4, 5, 6.

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

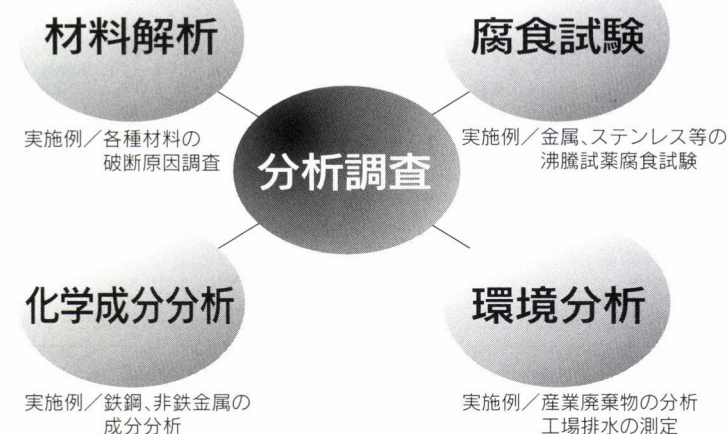
*For more Information,
Write or Facsimile.*

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

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



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



大同特殊鋼グループの総合試験分析研究会社



株式会社 大同分析リサーチ
DAIDO BUNSEKI RESEARCH, INC. ; DBR

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

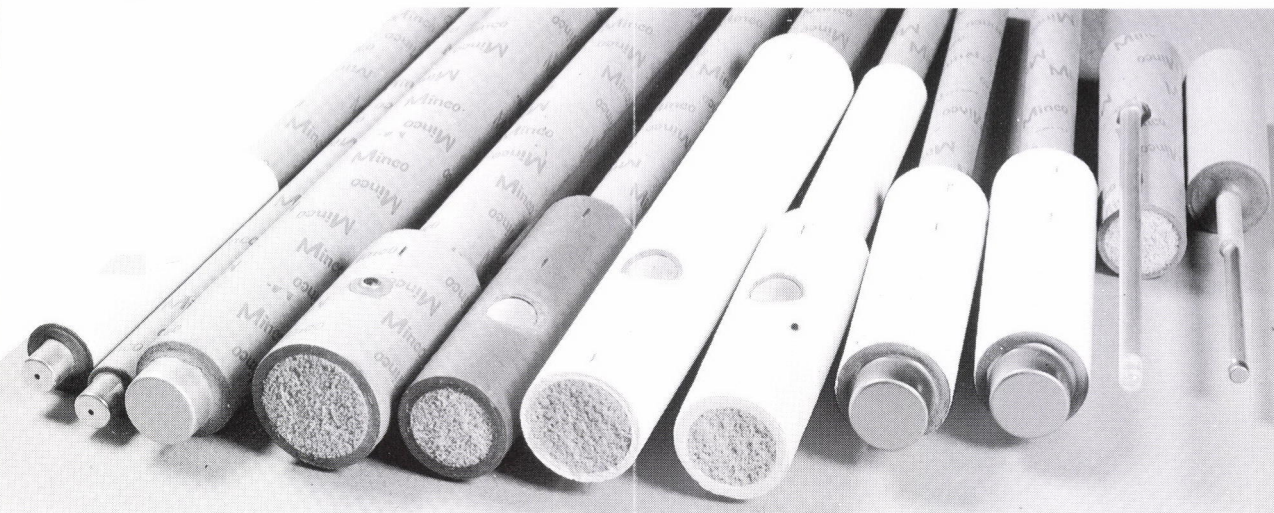
TEL 052-611-9434・8547 FAX 052-611-9948

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

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)



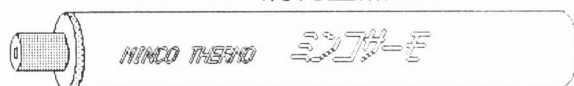
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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 溶鉄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

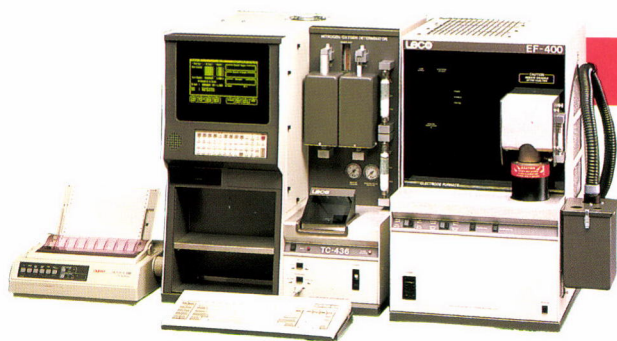
お問い合わせは

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)



金属・鉱石・無機物・セラミック中 C・S・O・N・H 分析装置各種



TC-436

酸素窒素同時分析装置

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

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

電子天秤: プリンター内蔵
オプション: 昇温抽出プログラム

姉妹機

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

CS-444

炭素硫黄同時分析装置

(鉄鋼, 非鉄金属, 特殊合金, 鉱石等)

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

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

姉妹機

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



RH-404

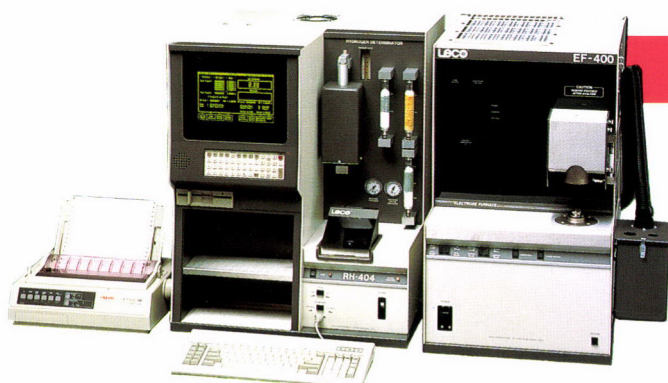
水素分析装置

(鉄鋼, 銅, チタン等)

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

姉妹機

RH-402 水素分析
DH-103 水素分析



常設展示中 分析方法その他
御相談承ります。



日本総代理店

LECO CORPORATION
U.S.A.

日本アナリスト株式会社



ISO-9002

No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

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