

ふえらむ

Vol.3 No.3 1998

(社)日本鉄鋼協会会報

Bulletin of

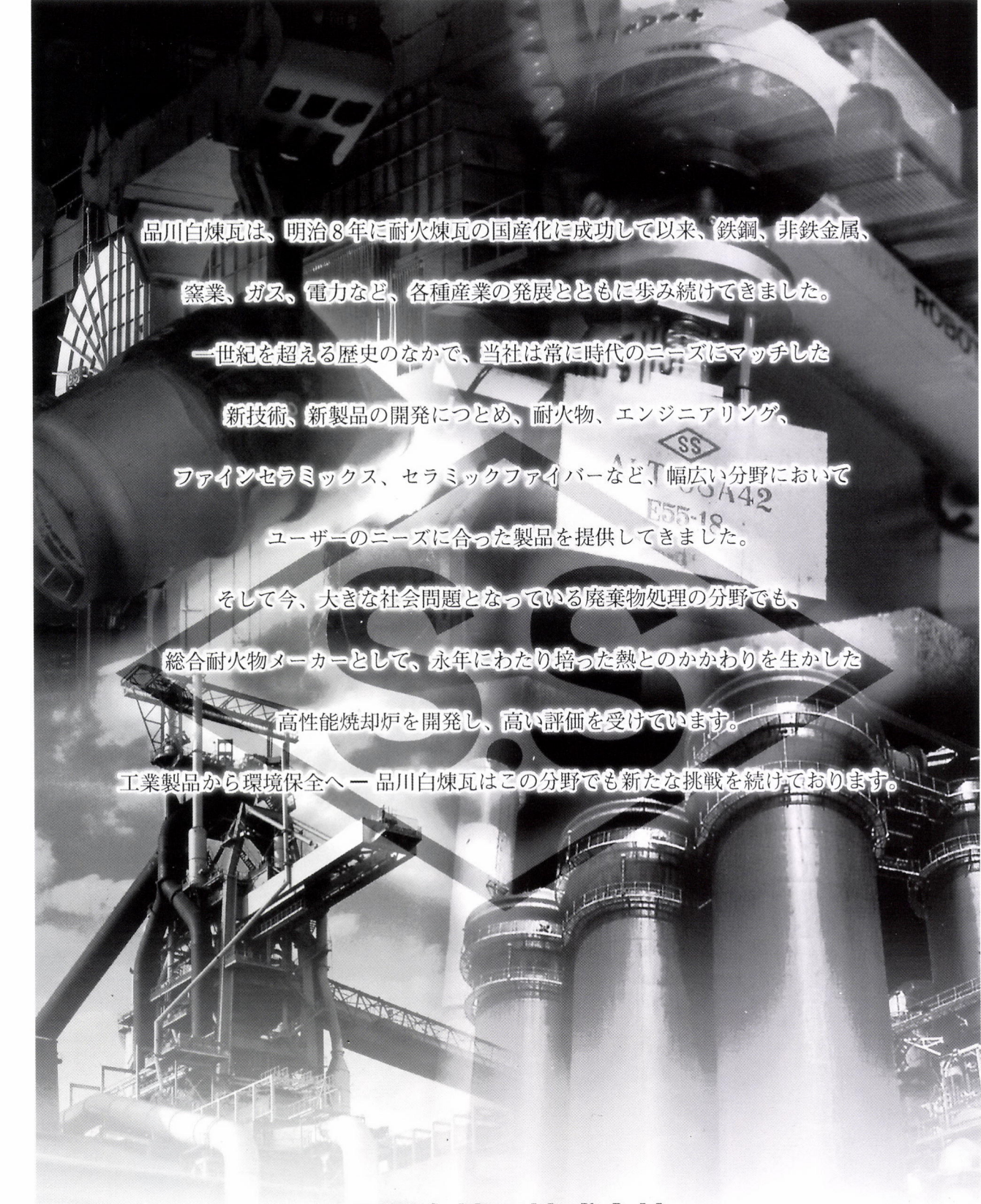
The Iron and Steel

Institute of Japan



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

ホームページ <http://www.isij.or.jp>



品川白煉瓦は、明治8年に耐火煉瓦の国産化に成功して以来、鉄鋼、非鉄金属、

窯業、ガス、電力など、各種産業の発展とともに歩み続けてきました。

一世紀を超える歴史のなかで、当社は常に時代のニーズにマッチした

新技術、新製品の開発につとめ、耐火物、エンジニアリング、

ファインセラミックス、セラミックファイバーなど、幅広い分野において

ユーザーのニーズに合った製品を提供してきました。

そして今、大きな社会問題となっている廃棄物処理の分野でも、

総合耐火物メーカーとして、永年にわたり培った熱とのかかわりを生かした

高性能焼却炉を開発し、高い評価を受けています。

工業製品から環境保全へー品川白煉瓦はこの分野でも新たな挑戦を続けております。

品川白煉瓦株式会社

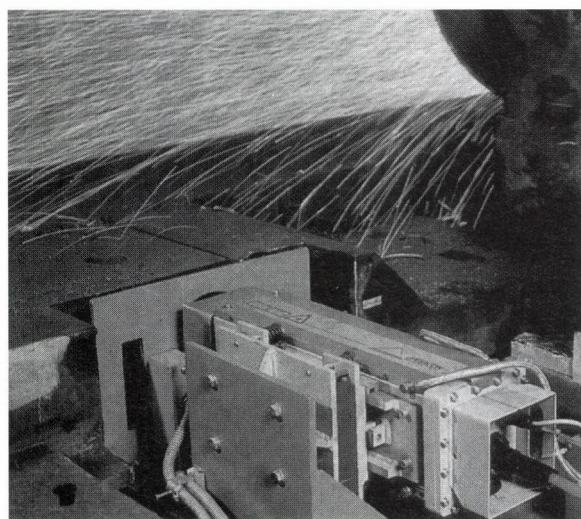
〒100-0004 東京都千代田区大手町2-2-1 新大手町ビル6階
TEL. (03) 3273-4511 FAX. (03) 3270-6505

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

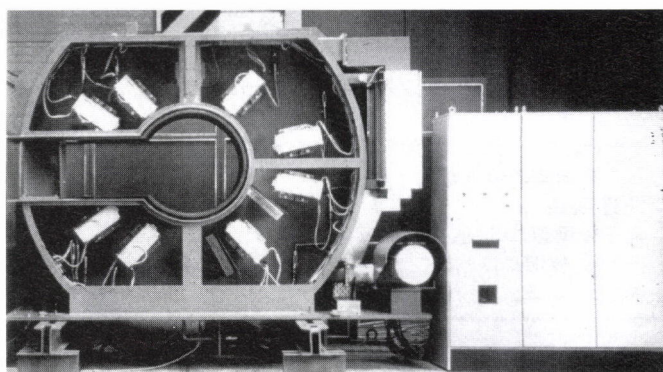
主仕様例 右図装置の場合

- ・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

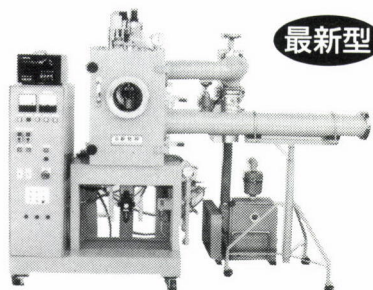
〒105-0001 東京都港区虎ノ門3丁目8番21号
TEL.03-5472-1746 FAX.03-5472-1740

国内メンテサービス

株式会社 **タウ技研**

〒224-0054 神奈川県横浜市都筑区佐江戸町181番地
TEL.045-935-0721 FAX.045-935-0731

液体急凝固装置
NEV-A05型
非晶質金属作製機構
金属ガラス作製機構

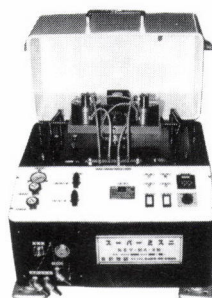


最新型

超小型
高性能
超低価格

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

メカニカルアロイング装置スーパーミスニ
NEV-MA8型



やってみたい!!

容器の加熱
容器の超冷却
容器のガスフロー

- 特徴 ①真空又は、雰囲気中でボールミルが出来ます。
②容器を水冷しながらボールミルが出来ます。
③各種ガス雰囲気中でボールミルが出来ます。
④床振動が少ないため非常に静かです。
⑤条件設定時に容器の中が目視出来ます。
■オプション 容器の加熱 MAX 300°C 可
容器超冷却(液体窒素)
ガスフロー機構

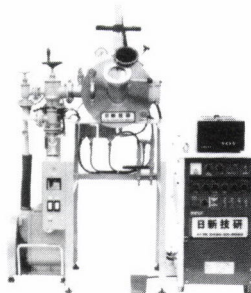
超小型 高周波誘導加熱電源 (トランジスタ・MOS方式) 高効率

写真は
出力50kW



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

超小型 超安値 超小型真空アーク溶解装置 NEV-AD03型



手軽な母合金
小型…高性能
小型…設置小さい

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

営業品目

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

▶新工場落成移転のため
右記の住所、電話番号
に変わりました。

技 日新技研株式会社

〒358-0032 埼玉県入間市狭山ヶ原碑の前384
TEL.0429(35)1411(代) FAX.0429(35)1390

製鋼／金属工場向け

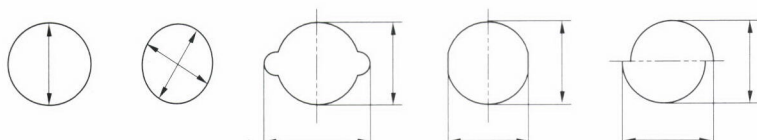
Zumbach

ODACオンライン外径測定システム

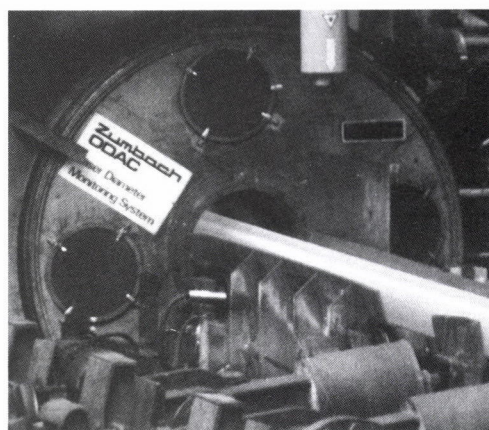
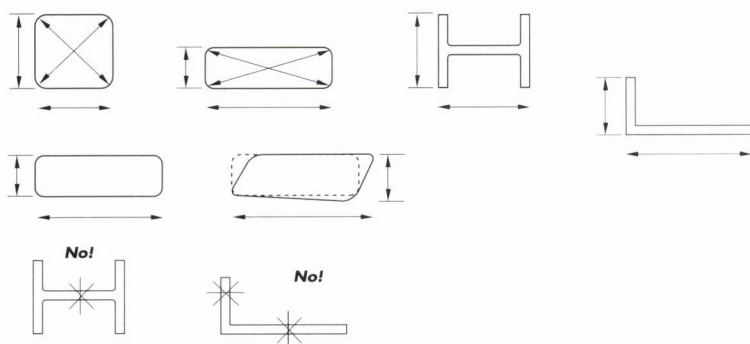
ZUMBACH社製ODAC外径測定システムは、熱間／冷間圧延や厳しい環境でのアプリケーションのために特別に開発されたものです。

本製品は、製鋼／金属メーカーとの長年の開発努力と経験の結果生まれたものです。ハイテクのレーザー技術、ユニークな保護システムの採用により、製鋼現場の厳しい条件下において、他の光学システムとは一線を画す精度と信頼性を発揮します。

円形測定対象及び輪郭(異形)



輪郭の測定が可能

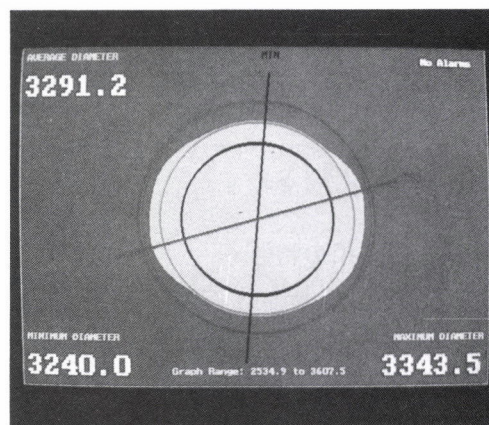


特 徴

- 材質や表面の状態に影響を受けない。
- 表面の反射に影響を受けない。
- 周囲の光や、測定対象からの放射(温度)に影響を受けない。
- 振動、スピードに影響を受けない。
- 煙、埃等に影響されない。

■ 測定範囲は1-510MMで、仕様にあったタイプを選択できます。

■ 極細線(0.012φmm～)はタイプODAC2で測定できます。



—U·N·I·T·E·K—

ユニテック・ジャパン株式会社

〒563-0025 大阪府池田市城南2-7-6 神田第2ビル
TEL. 0727-54-5757 FAX. 0727-54-5758

常圧焼結SiC CERASIC 1

当社の常圧焼結SiC"CERASIC"は優れた高温強度を有し、耐薬品性、耐磨耗性にも優れた構造・部品材料です。2mを超す大型品の製造も可能で、鉄鋼をはじめ、半導体、機械・エネルギー関連分野など幅広い産業分野で応用されています。今回は高温高強度の特性を生かした製品例をご紹介します。

CERASICだからできることがあります。

その1.高温高強度だからできること

ラジアントチューブを 熱腐食・高温酸化から守ります。

- ホットスポットの形成される部分に CERASIC チューブを挿入することで、高価な金属ラジアントチューブの内壁を保護します。
- 水素などの燃焼速度の速いガス成分の燃焼に効果的です。
- 金属チューブの熱腐食、高温酸化による穴あき、変形などを制御し、長寿命化を実現します。

ノズルバーナーを軽量化し、 効率的な火炎形成が可能です。

- キャスタブル製バーナータイルに比べ、約1/10の軽量化が可能です。
- メンテナンスが容易です。
- 火炎形成の自由度が高くなり、目的に応じた燃焼ができ、伝熱性の向上に役立ちます。
- 寸法精度が高く、低燃費、低NO_x対策に威力を発揮します。

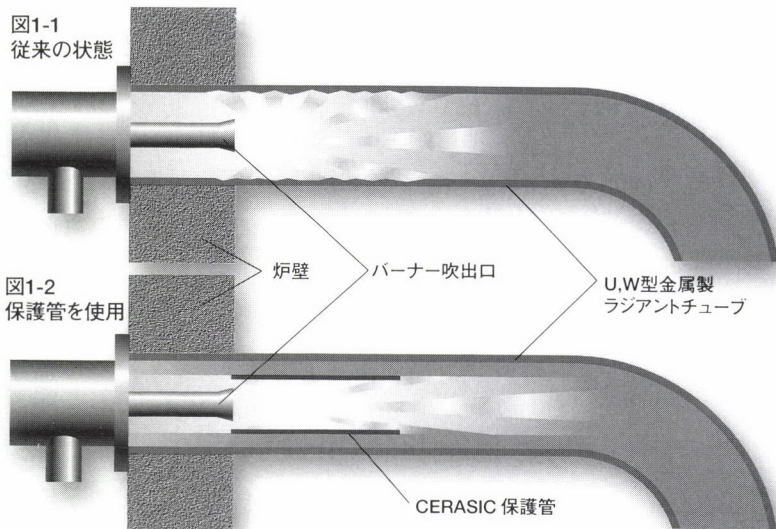
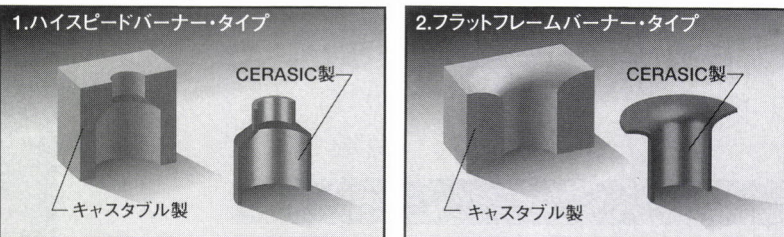


図2ノズル部断面比較



CERASICの特性

■機械的特性

かさ密度	3.15 g/cm ³
曲げ強さ 室温	450 MPa
熱間(1450℃)	450 MPa
ヤング率	420 GPa
ポアソン比	0.18
ビッカース硬度	2300
破壊靱性(KIC)	3.5 MPa・m ^{1/2}

■熱的特性

線膨張係数	4.5 ×10 ⁻⁶ /K
熱伝導度	170 W/mK
耐熱衝撃温度(ΔT)	450 ℃
電気抵抗率(室温)	10 ³ ~10 ⁵ Ω・cm

図3.酸化膜の生成状況

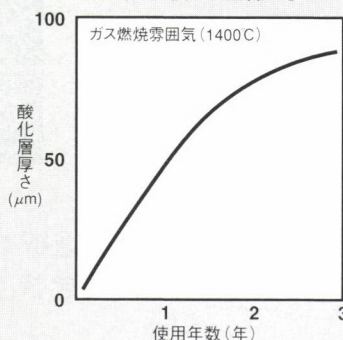
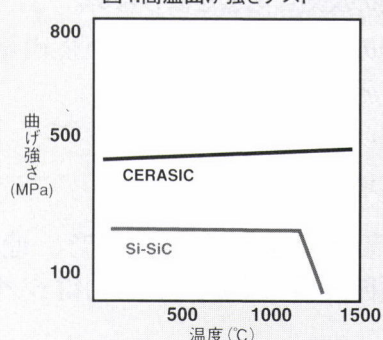


図4.高温曲げ強さテスト



東芝セラミックス株式会社

〒163-0507 東京都新宿区西新宿1-26-2(新宿野村ビル) / セラミック事業部 電話:(03)5381-5904 ファクシミリ:(03)3345-8649 ホームページ <http://www.tocera.co.jp>



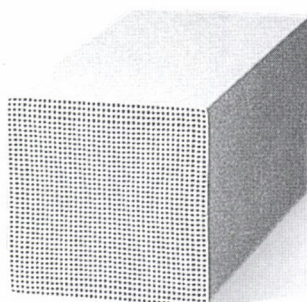
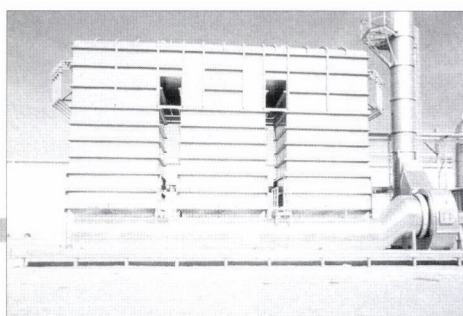
エコピュアー® RTO 蓄熱式脱臭装置

容量：25m³/min.～17,000m³/min.

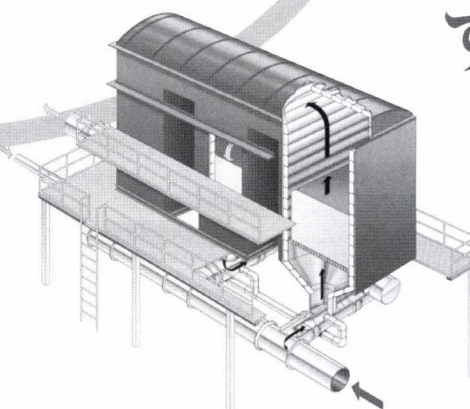
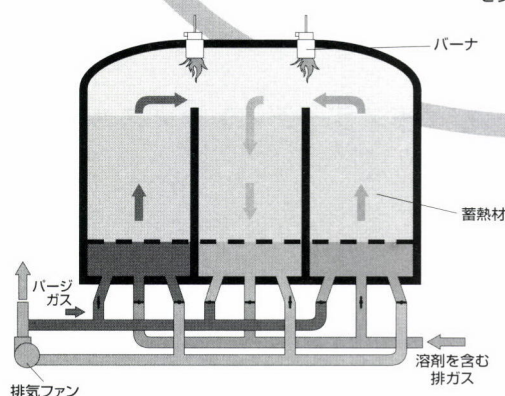
世界でも有数の環境設備のトップメーカーであるデュール社との技術提携によるエコピュアーRTOは蓄熱材にセラミックハニカムを採用し、VOC含有排ガスを高性能処理します。

特 長

- 高いVOC分解効率(最大99.9%)
- 高い熱回収効率(最大96%)
- 圧力損失が少い(低電力消費)
- 設備がコンパクトである
- 容易なメンテナンス



セラミックハニカム



独自のセラミックハニカムにより
優れた脱臭性能を発揮します。



次世代の「熱と環境」を創造する

ロザイ工業株式会社

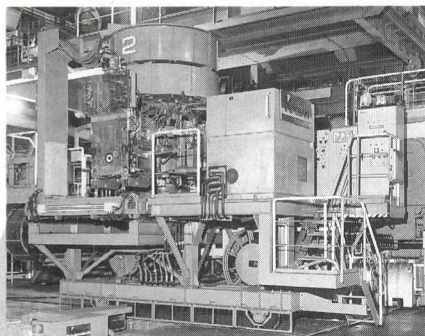
本 社 〒550-0015 大阪市西区南堀江1丁目2-14
TEL(06) 534-3611(代表案内) FAX(06) 531-2043

東京支店 〒104-0061 東京都中央区銀座5丁目10-2 (銀座中央ビル)
TEL(03)3571-9361(代 表) FAX(03)3573-4050

クロサキは炉前作業の省力化・自動化に装置をはじめトータルエンジニアリングまで提供します

●窯炉整備装置

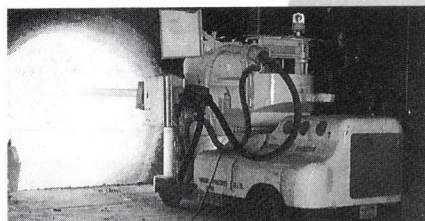
スライディングノズル脱着装置
タンディツシュ傾転機
タンディツシュ整備台車



スライディングノズル脱着装置

●吹付補修装置

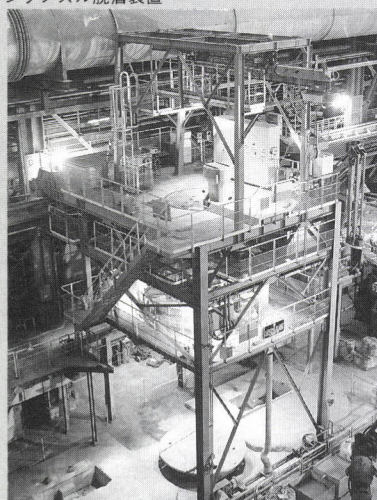
転炉、電気炉熱間用 (シューター)
鍋用 (レドガン)
TD用 (タンガン)
DH,RH用 (バーチカルガン)



転炉熱間吹付装置

●解体装置

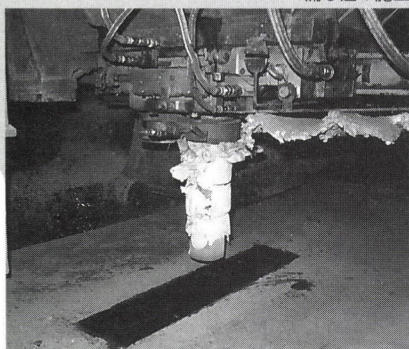
ライニング解体装置
DH,RH浸漬管スラグ除去装置
転炉出鋼孔穿孔装置



流し込み施工装置

●環境安全設備

集塵、冷却設備
鍋排蒸設備



スライディングノズル装置

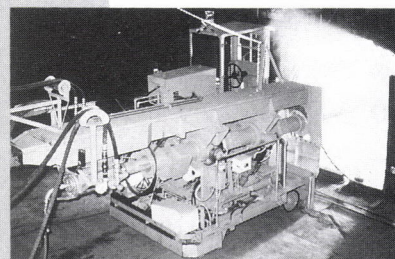
●窯炉診断・実験装置

熱間炉内観察装置 (ホットアイ)
ライニング厚測定装置
水モデル実験装置

●火炎溶射装置

(新日本製鉄株開発)

取鍋用
コークス炉用
鋳物溶解炉用



取鍋用火炎溶射装置

●流し込み施工装置

(N-キャストマシン)

取鍋用
タンディツシュ用
樋用

●スライディングノズル装置

取鍋用
タンディツシュ用
モールド溶鋼湯面自動制御装置

K ROSAKI

黒崎窯業株式会社

■エンジニアリング事業部(本社) 〒806-8586 北九州市八幡西区東浜町1番1号 TEL(093)622-7234 FAX(093)622-7202

●東京支社 TEL(03)3669-0611 FAX(03)3667-3291
●君津支社 TEL(0438)37-8661 FAX(0438)37-8664
●九州支社 TEL(093)872-5136 FAX(093)872-5236
●室蘭営業所 TEL(0143)45-0856 FAX(0143)45-2203
●鹿島営業所 TEL(0299)82-0663 FAX(0299)83-1643
●千葉営業所 TEL(043)263-5671 FAX(043)266-5079
●名古屋営業所 TEL(052)604-7241 FAX(052)604-7258
●大阪営業所 TEL(06)441-9351 FAX(06)441-9357

●和歌山営業所 TEL(0734)55-3618 FAX(0734)55-3782
●加古川営業所 TEL(0794)35-4091 FAX(0794)35-4498
●水島営業所 TEL(086)448-2365 FAX(086)448-3595
●福山営業所 TEL(0849)45-8531 FAX(0849)41-8146
●広島営業所 TEL(0823)25-5551 FAX(0823)25-5888
●光営業所 TEL(0833)72-4528 FAX(0833)72-8609
●大分営業所 TEL(0975)58-8264 FAX(0975)58-2179

ふえらむ

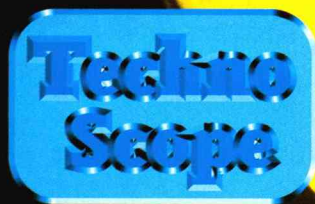
Vol.3 (1998) No.3

C O N T E N T S

目 次

Techno Scope	農業の工業化技術	144
話題のプロダクト	ハイブリッドカー	152
鉄の点景	木の文化を創った鉄—鋸	156
展 望	超高層建築の近未来 久保田俊彦	159
	21世紀における製鉄業の新しい発展—創資源・自己完結型製鉄所構想— 丸川雄浄	165
入門講座	システム技術編-3 新しいシステムパラダイム—大規模・複雑系への招待— 田村坦之	175
鉄の歴史	戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 戦後40年間におけるアーク炉製鋼法発展の歩み 池見恒夫	182
	生活のなかの鉄器文化—日本とその周辺を中心に— 朝岡康二	190
解 説	鉄鋼業のBPRとネットワーク 上田晃嗣、佐々木伸一	195
	材料分野における計算科学 松宮 徹	202
会員へのお知らせ		208
別冊付録 第135回春季講演大会プログラム		付1

ホームページ <http://www.isij.or.jp>



農業の工業化技術

—植物工場の夢—

農業人口の高齢化、
後継者不足、
食糧自給率の低下……
農業をとりまく日本の情勢は
けっして楽観できるものではない。
もし仮に農業をもっと企業的な経営ができるものとして、
確立していくことができたなら、
そこに新たな若き後継者が
参入してくる機会は大きくなるだろう。
農業を工業のように
自動化・合理化するという発想は、
こうした農業の新たなスタイルを
生み出すうえでも
ひとつのきっかけになりうる
可能性を秘めている。

写真：野菜工場で青々と育つ葉菜（キュービーTSファーム）

いよいよ実用段階の野菜工場 一般への普及には 大幅なコストダウンが必要なコメ工場

オートメーション化された人工環境のもとで、農業生産物を栽培する野菜工場などの植物工場が、すでに一部で稼働を始めている。野菜の場合「露地もの」に比べ生産コストはかさむものの、外食産業など、企業向けに出荷することで十分に採算が取れるレベルにまで来ているという。完全無農薬が可能になり、栽培時間も短縮できるという植物工場の技術の現状をレポートする。

農産物のマスパロダクションという発想

第二次産業の分野では若者の理工系離れが危惧されるようになって久しいが、実はそのずっと以前から農業後継者の不足問題に警告を発する声が存在していた。21世紀に日本の農業を支えていくだけの人材を確保するためには、年間1万人程度の就農者が必要と考えられているが、現状は、その半分にも満たない状況が続いているという。そうした状況のもと、農業人口の高齢化も他の分野以上に進んでいる。

農業を志す若者が減っている理由はいまさら述べるまでもないかもしれないが、やはりつらい労働条件、旧来からの農村的な共同体のわずらわしさ、そしてその結果としての嫁不足のような、「報われない」「文化的でない」イメージあるいは実態である。土にまみれ、日に焼け、きょうくつな思いをしながら働いて、収入は安定しない。

こうした旧来的なイメージの打破に挑戦するかのように、農業を事業として経営していこうとしている野心的な若い企業家農業経営者も増えてきてはいるが、なかなか大勢にはなりえないようだ。天候・気象条件などに大きく左右される不安定さも農業経営を難しくしている要因のひとつである。出来不出来はもちろん、市場動向によっては、頑張っただけの報いがないという皮肉な結果になってしまうこともまれではない。

いろいろと厳しい農業経営だが、もし農産物を、工業生産物と同様に安定的に均質大量生産できたとしたらどうだろうか。あらかじめ立てた計画から大きくは外れない範囲で安定生産できたとしたら、農業経営は見通しが立てやすくなり、むしろ実業としての農業が成立しやすくなるだろう。

植物工場という発想は、そうした現代的なマスパロダクションのノウハウを農産物にあてはめられないかというところからスタートしている。そしてそのためのノウハウが現実的なものとして成立しつつある。

植物が育つためには、必ずしも土を要しない。光合成を行

うための炭酸ガスと光、それから養分、そして適切な温度が整えられればよい。これらの要素を人工的に作り出し、コントロールすることさえできれば、植物を育てることができ、その結果としての農産物を得ることも可能になるはずである。

炭酸ガスと温度は、コンピュータで制御することが可能だし、光は照明で与えることができる。養分は水に溶かして直接、根に供給すればよい。

完全無農薬が可能になる工場生産野菜

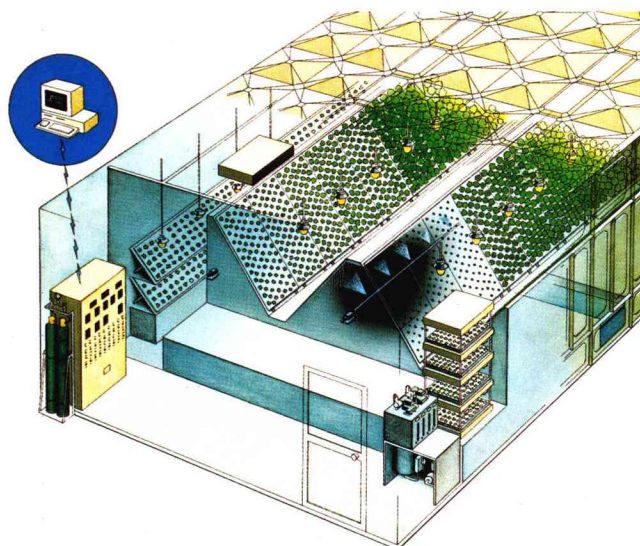
こうした植物工場による農産物生産は、実は品目によっては、かなり一般化している。もやし、カイワレダイコンである。この2品目については現在市場に出回っているものの、8～9割はすでに工場産のものとなっているほどだという。キノコ類、ミツバなどもかなりの部分が工場生産で市場に供給されているものが多い。これらに共通しているのは、生育の過程で強い光を必要としないという点である。

これがレタスやほうれんそうのような葉菜類となるとより強い光が不可欠となり、電気代の負担が大きくなる。トマトやメロンのような果菜類ではさらに強い光が必要となる。

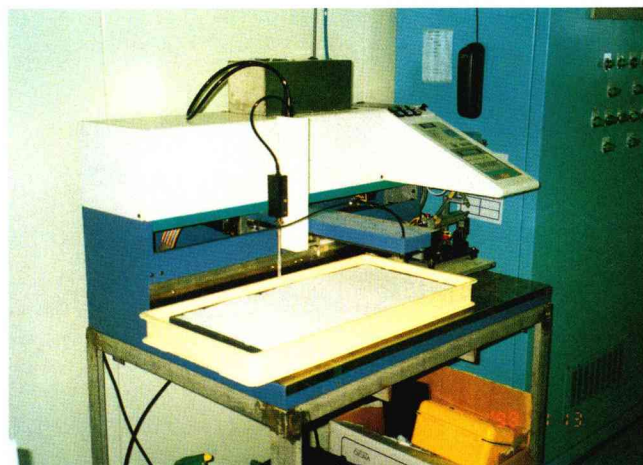
葉菜や果菜を人口環境で栽培する野菜工場のノウハウも、開発が進んでおり、一部では生産物がスーパーで売られるなど実用化が始まっている。だが、やはり「露地もの」と比べるとかなりコスト高になるため、どうしても価格に跳ね返ってくる。葉菜で青果市場での卸価格が場合によって3倍程度となってしまうのが現状だという。新しい技術がつきあたるコストダウンの問題が、ここにもある。

現在、出荷されている野菜工場産の葉菜類の場合、業務用などに市場を通さず出荷されているケースが多いようである。スーパーで売られているものも、おかしい表現かもしれないが「工場直送」にすることで、価格を1.5倍程度に抑えているようだ。

野菜工場ならではのメリットもある。たとえば、「完全無農



TSファームの概念図。



播種ロボットによる種播き。

「薬野菜」が可能になることである。閉鎖環境で、完全にコントロールされた人工環境の元で栽培を行う植物工場の場合、害虫や雑草がはびこることはありえず、農薬を使う必要がない。市場に出回っている無農薬有機栽培といわれる野菜のかなりの部分はマユツバだといわれているが、植物工場で作る野菜の場合に限っては、最初から農薬が不要なのである。また多くは土を使用しないため、低細菌環境で栽培されることになり、洗う必要がないほどだという。

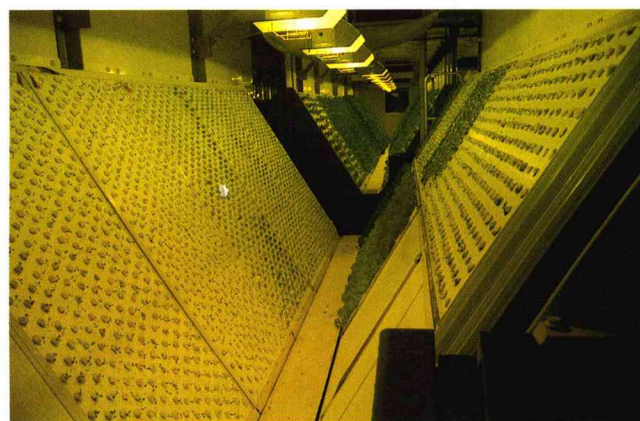
また野菜工場での作業は、軽作業が中心のためアルバイトやパートの労働力が使えるというメリットもある。泥にまみれることなく、週休2日も可能になる。店舗経営のような事業として、野菜づくりが可能になるのである。

クリーンルームのような清浄性で生産される野菜

白い専用のユニフォームに長靴と帽子を身に付け、エアシャワーを浴びる。茨城県のキューピー五霞工場敷地内にあるTSファームでは、まるで半導体のクリーンルームのような手順



育成中の苗床。



育成棚にセットされたサラダ菜。生長の段階ごとにスライドさせていく。



TSファームの制御室。

を踏んで栽培室内に入ることが定められている。害虫や病原菌から隔離するための密閉式植物工場になっているためだ。空気もエアクリーナーを通じて清浄化され、直接外気が入ってくることはない。

栽培室には高圧ナトリウムランプの照明がとまり、斜面に緑の葉菜がつつやと輝いている。葉はシミひとつない見事なもののばかりだ。室内は植物の生長に最適な環境に調整されてい



TSファームでの収穫風景。



野菜工場の収穫物。



五霞町にあるTSファームの外観。

るため、人にとっても快適である。

TSファームのTはトライアングルを、Sはスプレーを意味している。栽培面を三角形（斜面）にし、養分を溶かした水溶液をスプレーで根に吹き付けるといったノウハウを表したネーミングである。三角形にするのは省スペースのためであり、またスプレー方式は根の生長のために空気中の酸素を取り入れやすいようにと配慮されたものである。

完全人工光型のこの野菜工場では、サラダ菜が1カ月で育つという。通常の露地栽培で4カ月、ハウスでも3カ月はかかるから、3分の1から4分の1の時間で収穫ができることになる。

照明、温度、栄養の条件を整えてやることで、きわめて短時間での収穫が可能になるのである。

同工場では、現在1名の管理責任者と5名の女性パートで年間の売り上げが約5,000万円程度だという。設備費用が約1億3,000万円（500坪）かかっているという点では、投資効率はあまり高いとはいえない。キュービー植物開発センター所長で植物工場普及振興会（民間15社）の会長も努める赤木静氏は「せめて1億円以内に抑えられるようになればと考えていますが、それには規制緩和が必要ですね」と語る。野菜工場は農業用の設備なのだが、現状では建築基準法の適用を受けるため必要以上に設備コストがかさんでしまう傾向があり、より採算をとりやすくしていくためには野菜工場を視野に入れた新たな法的配慮がぜひ欲しいところである。

現状でよりコストパフォーマンスの向上をねらうなら、規模を大きくすることと、より自動化を進めて人の手を減らすことが考えられる。キュービーでは現在、五霞工場内のものの4.5倍の規模の直営工場を福島県白河市に建設中だという。この新工場では収穫後のライン自動化も図られ、よりいっそうのコストダウンが図られるという。

こうした規模拡大への試みは、野菜工場産の生産物に対して思いの外引き合いが多いことが引き金になっているという。「使いたいという引き合いは多々あるんですが、大口のユーザーさんには、十分に供給能力が追いつかないというのが現状なんです」（前出・赤木所長）。

工場直送でも1.5倍はする野菜に、なぜそれほどの引き合いがあるのか不思議だが、要望の多くは外食や食品加工関連の業者からだという。これら食品業者にとっては、数十円の高い安いよりも、価格そのものが安定していること、そしてさらには品質や数量が常に安定供給されることのほうが重要なのだという。つまり定価格、定品質、定量生産という工場産野菜の性質は、きわめて企業のルールに乗せやすいのである。

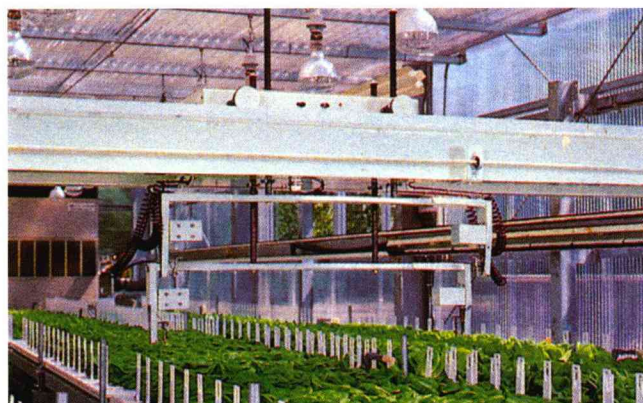
また工場産の野菜は、見た目でも明らかだが、虫食い、日焼け、腐れなどがまったくないといえるほどないため、捨てる部分がない。これはムダが出ないという以上に「加工しやすい」というマスプロダクションの場合の大きなメリットにつながるというわけだ。低細菌であることから、洗わずに加工することも可能であり、ドロが残っていたなどといったトラブルや菌が増殖した結果としての食中毒といった事態も起きにくい。

女性の職場進出や核家族化などによって、いまや野菜の需要の50%以上が外食・中食（惣菜・加工食品）などの業務・加工用になっているといわれ、その意味では、工場産野菜の潜在的マーケットは小さくないといえる。

むろん、末端の消費者にとっても、完全無農薬の野菜が手に入るという意味では、魅力は大きい。



川鉄ライフ式野菜工場。



三菱重工の野菜工場。ロボットによる株間の調節が行われている。



電中研式野菜工場（2段式Uターン方式）。



電中研式野菜工場（3段式ワンウェイ方式）。

完全人工光型と太陽光併用型

キューピーのほかにも植物工場普及振興会会員各社は、それぞれに独自のノウハウを盛り込みつつ野菜工場の研究を行っており、そのうち数社は事業ベースで採算がとれる段階にきているという。キューピーの工場は完全人工光型だったが、全体としては太陽光との併用型のほうが多いようである。

川鉄ライフの西の宮アグリセンターは、この併用型の代表例といえるだろう。防虫網に守られた開閉式天窗と天井にめぐらせた保温用、遮光用のカーテンを制御して、好適な環境を維持するしくみになっている。併用型の利点は、自然の太陽光を利用することでエネルギーコストを節約できる点にある。また気化潜熱を利用して冷房コストを極力抑える工夫がされている。

同じく太陽光併用型を採用しつつ生産工程を完全自動化したのが三菱重工のシステムで、完全密閉型にブラインド状の自動遮光装置が組み合わされ、収穫や包装まで自動化されている。管理と出荷以外に人手がかからず、まさに小人数で経営されるオートメーション化された工場のイメージに近い。

人工光型と併用型をさらに複合化したような形式が環境リサーチの電中研式野菜工場で、2段式装置の上段は併用方式によってハウレンソウなどを栽培し、下段ではおもに白色蛍光灯を用いてサラダ菜、チンゲンサイなどを栽培するようになっている。

太陽光併用型は、電力だけでなく太陽という自然のエネル

ギーを利用できる点で魅力がある。ただし空調コストがあるため、太陽光併用型がかならずしもコスト面で有利とはいえない。夏の陽射しの強い時期には、逆に冷房が必要になる場合もあるからだ。また装置面では、完全人工光型のほうがよりシンプルで制御もしやすいなどの利点がある。均質・定量生産という点にこだわるなら、完全人工光型はあつかいやすいし、併用型では季節ごとの日照条件などを生かして、作づけを変えたりすることなども可能になる。どちらの方式がよいかはケース・バイ・ケースのようである。

人工光源は、今のところ高圧ナトリウム・ランプが主流になっているようだが、電力消費量が格段に低い発光ダイオードを使用する研究も行われている。この研究が進めば、ランニング・コストをもっと圧縮することが可能になるとみられている。

コメでも研究が進む植物工場

植物工場で栽培できるのは、野菜に限られてはいない。東海大学開発工学部の高辻正基教授は、学内に設けた完全人工光型の植物工場では、コメの生産に成功している。ただし現状、生産コストがキロあたり2,000円と、かなりかかってしまうため、市場に出せる段階ではない。味は、水田でつくったものに負けないという。興味深いのは、野菜工場でもきわめて短期間での収穫ができたように、コメの場合にも年に4回の収穫が可能になるという点である。単純計算すれば3か月で生産物が得られるということになり、いわば急を要する場合の食料不足



三重県にある神前ライスドームの全景。52m × 19m × 5m。



年3作をめざしての寒中での田植え風景。



6月下旬のライスドームの中。すでに収穫時期を迎えている。

に対応できるポテンシャルをコメ栽培工場は秘めていると考えられるだろう。

完全な植物工場とはいえないものの、日照により日長を調整、気温・水温を自動制御するという、太陽光併用型の植物工場に近い形式のコメ栽培をすでに実用化している企業もある。農業資材会社・東海物産の北野弘室長らが研究しているエアドーム式コメ生産施設ライスドームがこれにあたる。エアドームは、野球場の屋根構造で知られるように、空気を吹き込んで構造を支えるもので、ライスドームの場合、農業用ビニールをエアで膨らませ、ネットで押さえて形状を保つ、いわ

ゆる網膜空気構造が採用されており、柱などの構造材はまったく使われていない。ドームの中は普通の水田で、大型機械も自由に稼働できるなど、いわゆる植物工場とは、少し異なる。

北野氏らは、このライスドームを使って2～3月田植え・6～7月収穫という通常より2～3か月も早い米作に成功した。生産コストはキロあたり1,500円と決して安くはなかった。それでも季節はずれの「新米」を求める高級料亭、ホテルが“超”高級米として購入するなど、現状でのニーズがあるという。

現在、ライスドームは三重県、山形県、岡山県と石川県の2カ所、計5カ所で稼働しており、年間3作の周年栽培達成をめざして研究が重ねられている。今のところ「ドーム米」は超高級品だが、研究の進展とともにコスト・ダウンのノウハウが進み、食糧生産の有効な手段のひとつに育ってくれることを期待したい。

農業の将来のために

バブルが弾けてなお飽食のまっただなかにある日本だが、世界的視野で見た場合、むしろ食料危機は、すぐそこに近付いてきているといわれる。2030年には世界の人口は85億になると予想されるが、食料生産能力はこの人口増加に追いつくことができず、途上国の食料危機はさらに深刻化するとみられている。とくに中国やインドをはじめアジア諸国の急激な食料需要増加が、穀物マーケットにもたらすインパクトは小さくない。「金を出しても買えない時代」が来ないとは、誰も確言できないだろう。自給率低下と農業人口の高齢化という事態に無策のまま、こうした時代に突入していくことは、不安なことであるには違いない。

植物工場の技術は、こうした危機に対する備えのひとつとしての可能性を秘めているといえなくはないだろう。ただし普及が進んだ場合、大量の電力を消費するという問題が残される。工業のみならず、農業にもさらにエネルギーが投下されねばならないということになれば、エネルギー事情はさらに不利な方向に展開していくことも予想される。

エネルギー面での心配をのぞいて考えれば、完全無農業が可能な植物工場は、大量の農薬を使用する現在の農業形態に対するアンチテーゼとなりうる性格ももっている。また食糧不足などが起きた場合に、年間で何作もの穀物生産が可能になるというメリットは、魅力的である。

そして何よりも冒頭で述べたように、農産物を工場生産化していくことは、農業そのものを事業として成り立ちやすくする可能性を秘めており、「農業離れ」を克服して新たな農業従事者を増やしていくという局面で希望が持てるのではないだろうか。

〔取材協力・写真提供：川鉄ライフ(株)、(株)環境リサーチ、キュービー(株)、東海物産(株)、三菱重工(株)〕

農業労働の合理化に貢献 研究が進む農業用ロボットの技術

植物工場は、いわば栽培場そのものを人工化し、オートメーション化してしまおうという発想に立つものだったが、農業全般を視野に入れて考える場合、それだけではカバーしきれない部分が大きいだろう。農業労働の合理化という視点にもどって全体を見渡すとき、可能性として浮上してくるのは、ロボットの適用である。岡山大学で研究されている人に代わって農作業を行うことのできるロボットの実例に、その可能性と将来性を探ってみる。

難しい農業用ロボット

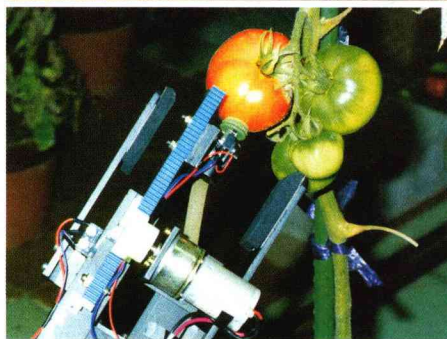
農業分野での高齢化と後継者不足対策に、技術が直接寄与できる方法のひとつとして、機械化という考え方があるだろう。3K労働（キツイ、キタナイ、キケン）をいというのは、農業分野に限ったことではなく、工業分野でもロボット化によって3K的な労働を減らしてきた歴史がある。もっともこの場合は、3K労働をなくすというよりはいかに省力化を進め、人手を減らすかが、経営上の重要課題となってきたということがある。

農業の分野でも、さまざまな形で機械化の研究は行われてきたが、俗に「機械化貧乏」などといわれるように、付加価値性が低く、販売価格が不安定な農業生産の場では、思い切った機械設備への投資がマイナス結果につながることも少なくなかった。しかし、就労者が減少し、高齢化も進んでいる現状を考えれば、機械による省力化をなんとか成功させていかざるをえないという側面もある。しかし、ひと口に機械化とはいっても、対象が生物であるという点で、従来の工業とは違った難しさをはらんでいる。

岡山大学農学部の近藤直助教授の研究室では、こうした農業分野へのロボット導入のための研究が行われている。ロボットの用途としては、果実などの収穫用が中心となっており、台車で移動しながら機械の腕を伸ばし、実を集めていくといった形式のものが試作されている。現在までのところ、ハウス内栽培作物を対象としたものでは、トマト、キュウリ、イチゴ用の収穫ロボットが、また圃場で活躍できるものとしては、ブドウの収穫用ロボットが実際に研究用として作られている。また収穫以外では、キクなどの花き類の植苗を行うロボットなどが考案されている。

カメラで認識、マニピュレーターで収穫

鍵になるのは果実部分の認識方法だが、トマトのように色の違いが出るものは、カラーテレビカメラを使用し、RGB成分の比率を計算することによって、熟した実のみを識別するノウハウが採用されている。ロボットの目によって熟した実を見つけ



トマト収穫ロボット。果実をつかんで「もぎとる」ことができる。

たら、そこに腕を伸ばし、収穫する。トマト果実のように丸く大きなものは、マニピュレーター（ロボットアーム）がつかんでひねるという運動を行う。いわば「もぎとる」という作業をロボットが代行するわけだ。イチゴやミニトマトのような小さなものは、マニピュレーターの先に電気掃除機のような吸引チューブをセットし、実を吸い込んでおいて茎をカットする。



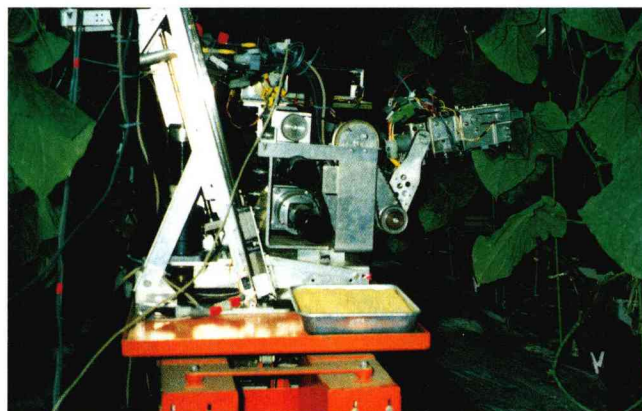
ミニトマトやイチゴの収穫ができるロボット。電気掃除機のようなパイプで吸い込んで収穫する。

キュウリの場合は実もグリーンであるため、カラーカメラによる識別は難しい。ただし、果実部分は茎葉にくらべて近赤外線領域の反射率が高いという性質がある。そこで白黒CCDカメラに光学フィルターを組み合わせることで、実を探し出すノウハウが工夫されている。また、キュウリの場合はトマトのような「離層」がないため、もぎとることが難しく、つかんだ後に茎をカットする方法で収穫をする。

ハウス内の移動には4輪駆動・4輪操舵式の走行装置が用いられ、畝間を移動しながら順に収穫をすませていくように考えられている（愛媛大学他）。

ハウス内のような制御環境内でのロボット化は、圃場に比べるとやさしく、実用化も比較的早いと考えられているが、やはり屋外での自動化技術の確立もおそろそにはできないテーマである。近藤研究室では、こうした圃場でのロボットとしてブドウ収穫用のものを研究開発している。

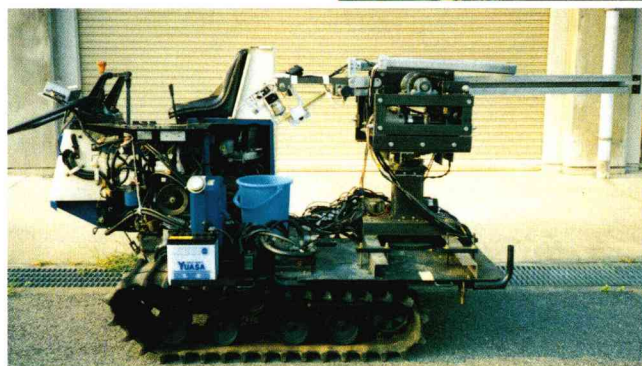
圃場の場合ハウス内よりも広く、段差も考えられることから、走行装置にはクローラー（履帯型移動機構）が採用されている。果実の認識には3次元視覚センサー（島根大学）を用い、成熟した果実のみを見分けるノウハウが使われている。これはLEDやレーザーを対象物に当てて、反射された光をセンサーで計測して距離や位置を確定するもの。3次元での画像情報が得られるため、柵から下がったブドウの房を認知するのにも適している。収穫の手順としては、ロボットのフィンガーが茎のつけねの穂軸を押さえ、カッターで切りとる。このロボットは



キュウリ収穫ロボット。実をつかんでから茎をカットする。



ブドウ収穫ロボット。屋外を走り回れるようクローラーを備えている。



エンドエフェクター（ロボットの手先）を付け替えることで収穫以外にも、袋かけ、摘粒・整房、散布などを行えるなどの汎用性を備えているという。

こうしたロボットは、主に日本のような小規模な農場の効率化に適していると考えられているようだ。というのも、アメリカやカナダなどの大規模農場では、外国からの安い季節労働力が容易に確保できるため、こうしたシステムはあまり効率的とはいえないからである。むしろ、GPSなどを用いて収穫用の大型機械を縦横に走り回らせるような研究が実用的だという。

比較的小規模経営の農場での合理化という日本の特殊な事情のもとで、こうしたロボット技術が有効になってくるとも考えられるだろう。日本の農業がロボットに支えられる日は来るのだろうか。

【取材協力・写真提供：岡山大学農業システム工学研究室】

話題の
PRODUCT

プロダクト

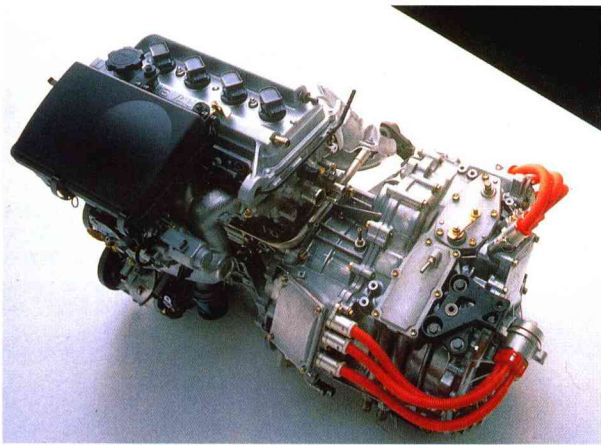
ハイブリッドカー



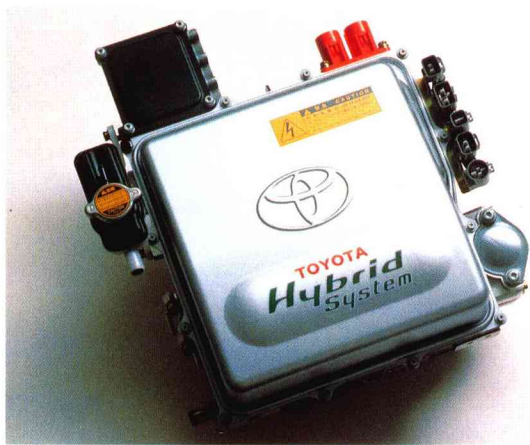
次世代低公害車として注目を集め始めた ハイブリッドカー

1998年には各社からも量産車が発売される予定

昨年末に発売が開始されたハイブリッドカー・プリウス。
高価格がネックとなって普及が進まない電気自動車に替わり、
ハイブリッドカーこそ次世代低公害車だという意見もある。
信号待ちなどの停車時にエンジンが止まり、
発進後しばらくしてエンジンがかかるなど
違和感を訴えるユーザーもいるが、期待度は高い。



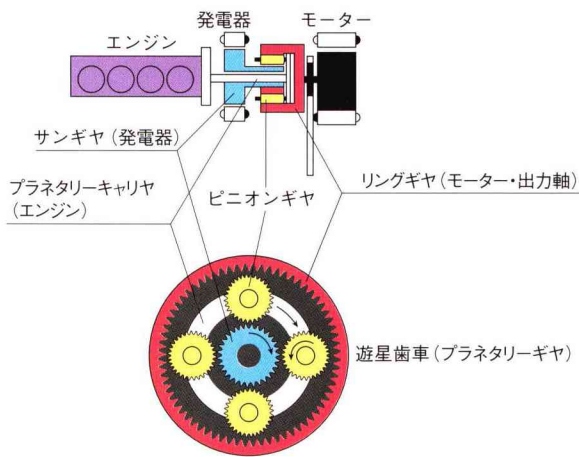
プリウスのために専用設計された1500ccガソリンエンジン



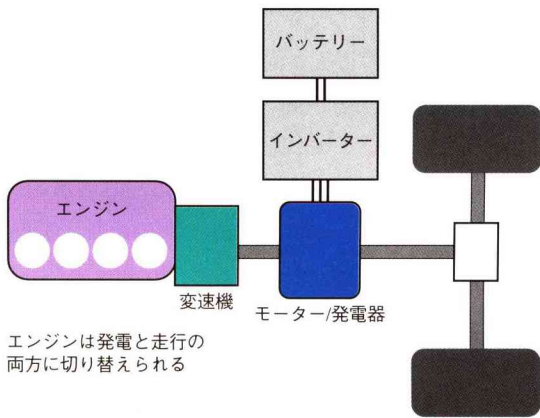
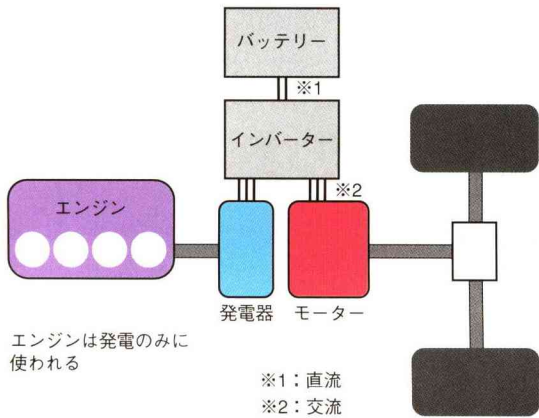
バッテリーに蓄えられた直流電流を、モーター・発電機駆動用の交流電流に変換するためのインバーター



改良されたNi-MHバッテリーは、充電状態が一定に保たれるため外部からの充電は必要ない



遊星歯車（プラネタリーギヤ）と呼ばれる複雑な機構でエンジンとモーターの動力を制御している



ハイブリッド方式は大きくシリーズ方式（左）とパラレル方式（右）の2つがある

世界初のハイブリッド量産車

資源・環境問題への対応は、これからの企業活動を考えるうえで、重要なキーファクターといえる。自動車産業は、この問題に積極的に取り組んでいる産業の一つだ。

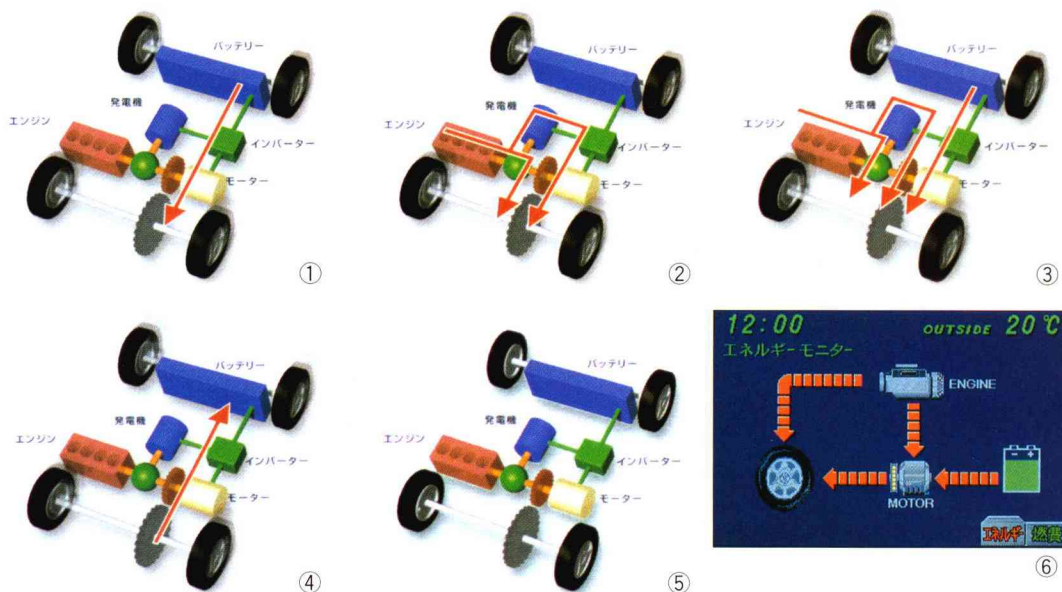
自動車に対しては、従来から厳しい排ガス規制が行われてきた。最近ではさらに都市部の大気汚染源として厳しい目が向けられると同時に、地球温暖化の原因の一つであるCO₂発生源として、新たな対応を迫られている。

1998年から始まる米・カリフォルニア州のZEV（zero emission vehicle）に対応するため、自動車メーカー各社は電気自動車（electric vehicle：EV）の開発に取り組んでいるが、

価格や性能面でまだ課題が多く残されている。そんななか注目を集め始めたのが、ハイブリッドカー（hybrid vehicle：HV）だ。

HVとは、電気モーターと内燃機関を組み合わせる動力源とする自動車のこと。エンジンはもっぱら発電機を回転させるために使われ、発生した電力でモーターを駆動するシリーズ方式と、エンジンとモーターが並列に配置され、走行条件によって使い分けるパラレル方式の2つに大別される。シリーズ方式では、エンジンの回転数が一定に保たれ、出力効率と有害物質の排出量の制御が容易に行えるという特徴がある。パラレル方式は、発進時や加速時など、エンジンへの負荷が大きくなったときにモーターにより動力を補うようになっている。

HVの発想自体はかなり古く、基礎研究は約30年前から始



トヨタ・ハイブリッド・システム (THS) の仕組み。
①発進時、低速走行時などエンジン効率が悪いときには燃料をカットしモーターで走行する。②通常走行時にはエンジンによって車輪を駆動し、余った動力は充電に回る。③全開加速時にはバッテリーの電力を使ってモーターの駆動力を追加する。④減速・制動時には回生発電を行う。⑤停車時には自動的にエンジンが停止する。⑥車内のモニターにはエネルギーの伝達方向を表示することが可能。

まっている。しかし製品として発売が開始されたのは、1997年12月10日の〈プリウス〉が初めてだ。

プリウスは、専用設計された1500cc ガソリンエンジンと交流同期モーター、ニッケル水素 (Ni-MH) バッテリーを搭載し、10・15モード走行時28.0km/Lの燃費を実現している。基本はエンジン駆動をメインとしたパラレル方式だが、発進時にはモーターのみで駆動するシリーズ方式に切り換えるなど、2方式の長所を合わせ持った独自方式を採用している。

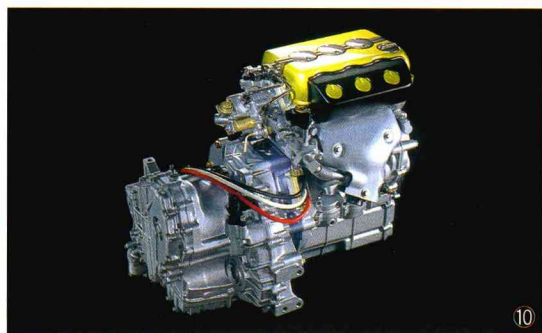
価格はペース車で215万円と、同程度の性能のガソリン車と比べて約50万円ほど高い。しかし同社のEVモデル (電気自動車) 〈RAV4L EV〉が約500万円ほどすることを考えると、相当低く抑えられているといえるだろう。また電池管理システ

ムを最適化することで、搭載されているNi-MHバッテリーは、車の寿命が来るまで交換する必要はほとんどない。パッケージングをふくめて、プリウスに対して同社がもてる力の総力をかけて開発したことがうかがえる。

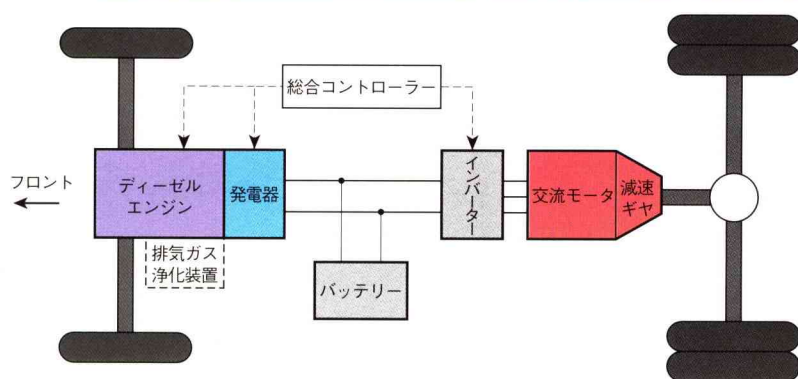
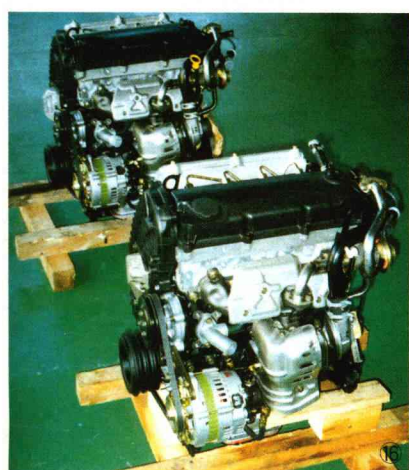
各自動車メーカーがいっせいにHVを提案した 昨年の東京モーターショー

資源・環境問題への対応を迫られているのは、乗用車に限ったことではない。特にトラックなど、軽油を使用するディーゼル車がほとんどの商用車は、NOx問題など将来的により大きな課題を抱えているといっていだろう。

いすゞ自動車が開発を進めている〈ELF ディーゼー電気ハ



第32回東京モーターショーで発表された各自動車メーカーのハイブリッドシステム。⑦ガソリンエンジンと電気モーターによるパラレル方式を採用した日産スタイルッシュ6。⑧アルミスペースフレームを採用した日産の環境技術コンセプトカーAL-X。直列4気筒エンジンとモーターの平行方式。⑨スタイルッシュ6に搭載された2.5LV型6気筒直噴ガソリンエンジン。⑩本田技研工業が発表したホンダIMAシステム。直列3気筒1000ccエンジンとトランスミッションの間に薄型モーターを直結した独自の方式を採用している。



いすゞ自動車のELF ディーゼル電気ハイブリッド車の総合制御システム図と各パーツ類。⑪外観、⑫発電機、⑬モーターコントローラ、⑭シール鉛蓄電池、⑮モーター、⑯エンジン。

イブリッド車は、1686cc直噴ディーゼルエンジンを一定回転させ、発電した電気でモーターを駆動するシリーズ方式を採用している。通常走行時にはエンジンによって発電される電力のみで走行し、余分な電気はバッテリーに蓄積しておく。発進時や高速走行時、登坂時などパワーを必要とするときにはバッテリーからも電力を供給する。現時点で1.7Lクラスにもかかわらず都市内に限れば、3.1Lクラスのディーゼルエンジン車と同等の走行性能が実現できているという。もともと直噴ディーゼルエンジンは、同じクラスのトラックで7km/Lの燃費を実現しているが、このHVでは目標を10km/Lに設定している。

同社はEVにも取り組んでおり、現在、大阪市と多摩動物園にバスタイプが各2台ずつ導入されている（特別受注生産）のをはじめ、栃木県、日通、生協などにバスタイプ、配送車タイプ合わせて10台が稼働している。しかしバッテリーが2年程度しかもたず、重量や大きさの問題から積載量が制限されるため、商用車としての利用については、かなりハードルが高いというのが現実だ。そこで同社ではHVを、EVに代わる都市内配送用途に最適なシステムと位置づけている。

HVでは、充放電や温度管理を最適化することで、およそ7～8年（走行距離にして約10万km）といわれる配送車の寿命期間中、蓄電池を交換する必要がないようにする予定だ。

しかし問題はやはり価格。燃費が現在の半分になっても、寿命までの経済的メリットをエンジン車と同等にするのは相当困難と予想されている。

現在、黒煙、浮遊粒子状物質、NOxなどを低減するための燃焼制御技術の開発に取り組んでおり、CO₂の排出問題では、ガソリン車よりもディーゼル車のほうが有利と考えられるだけに、税制面での優遇処置など、政策的なバックアップ体制が望まれるところだ。

1997年10月25日から一般公開された「第32回東京モーターショー」（千葉・幕張メッセ）では、各自動車メーカーからさまざまな低公害車が提案された。その方向性としては、①従来エンジンのさらなる改良・性能アップ、②EVの開発・改良、③HVの開発、④天然ガス車など新燃料車の開発などが考えられている。

充電設備などインフラの整備が遅れているEVに対して、通常のガソリンスタンドが使える、走行距離も従来のガソリン車と同じ距離を走れるHVは、次世代の自動車として俄然有望視されてきた。少なくとも燃料電池が実用段階に入るまでの間、HVが大きな役割を果たすことは間違いなさだろう。

〔取材協力・写真提供：トヨタ自動車、いすゞ自動車、日産自動車、本田技研工業〕



前挽大鋸
桃山時代以降、製材の主役とな
ってきた。写真は明治期のものと
推定される。



縦挽鋸
(伏見住・谷口清兵衛作)
縦挽だが「木の葉型」鋸から
分化した初期の形状をとどめて
いる。

Steel 鉄の点景 Landscape

世界最古の木造建築物・法隆寺をはじめとして、さまざまな寺社建築、庶民の家屋など、あらゆる面で、わが国の文化に注目する時、そこに「木の文化」と呼べるような側面があることは見逃せない。だが主役が木であるにせよ、その根幹にあったのは、精妙な鉄の道具であったことは否めないだろう。今回は、そうした「木の文化」を築いてきた鉄の道具の中から、とくに製材の場で主要な役割を果たしてきた鋸にスポットを当ててみた。

木の文化を創った鉄

のこぎり

鋸

打ち割りから製材用鋸へ

深海魚の頭のようなずんぐりとした写真上の鋸は、前挽^{まえびき}とよばれるもので、製材に使われる縦びきである。明治時代の中頃に機械製材が普及する以前は、もっぱらこの前挽によって製材が行われていた。たとえば、大きな普請があった時には、木挽とよばれる製材職人が集まって、現場近くで必要な寸法の材を前挽で切り出した。さらに小さな材は、前挽で切り出した材を鑿^{かがり}と呼ばれる小型の縦びき鋸で、ひき割りして作った。

歴史のうえで前挽鋸が登場するのは、史料によれば桃山時代のことで、それ以前の製材は、大鋸^{おが}で行われていた。大鋸とは、大ぶりの木製のフレームに取り付けた背丈ほどの鋸を両側から2人で引き合うもので、今日われわれが鋸として描くイメージからはほど遠いものである。中国大陸経由で室町の頃、入ってきたものだと考えられているようだ。鋸挽きで出た木の粉を「おがくず」というが、その語源はこの大鋸にあるといわれる。だが道具としてかなり大掛かりなものだったこともあってか大鋸が一般に製材の主役として使われたのは、室町から桃山に至る比較的短い期間だった。やがて小型で1人で使いこなせる前挽と入れ替わっていったようである。前挽鋸に類するものは、他国にはあまり例がなく日本のオリジナルの形と考えられる。「木の文化」ともいわれる精妙な木造建築や工芸品は、いわば独特なこれらの道具を大きな源のひとつとして生み出されていったとも考えられるだろう。大工道具の多くは消耗品であり、文化財としては扱われてこなかったこともあり、今日まで形をとどめているものは少ないが、考えてみれば、歴史を築いてきた影の功労者といえなくもない。

大鋸が入ってきたのは室町の中頃だろうといわれているが、それではそれ以前の製材は、どのように行われていたのだろうか。実はそれまでは鋸での製材はしていなかったらしいというのが答のようだ。法隆寺の一部に鋸の痕跡が見られることから、鋸そのものはかなり古くから存在していたであろうことが推測されている。だがそれらは横びきのむしろ細工用、加工用といったもので、製材的な性格での使われ方はなかったらしい。材を切り出すためには、斧、楔、割りのみなどが使われていたと

考えられる。つまり打ち割りによって、角材や板を切り出していたのである。

打ち割りで材を切り出すには、木目にそって刃物を打ち込んでいくわけだが、スパッときれいに割るには、材そのものの質がよほどよくなくてはならない。木目のそろった檜や杉などの針葉樹でなければ、まず無理だ。これらの良材が都市近辺にも豊富に分布していたことが古代に製材用鋸が必要とされなかった要因だろうと、今日では考えられているようだ。それが室町時代になると、さすがに檜や杉が不足し、けやきや松を使わざるをえない状況になってくる（都市から遠隔の地には良材があったが当時の輸送技術では供給ができなかった）。けれど木目が乱れた樹種では、打ち割りで真っ直ぐな材をとることは難しい。そこで大鋸による製材が取り入れられるようになったのだろうと考えられている。だが輸入技術であった大鋸も、比較的短い時間のうちに前挽鋸という国産技術に改良されていったのである。大鋸から前挽への交替は、今日風にいえば一種のダウンサイジングといえるだろうか。

それにしても都市部近辺のみでとはいえ、人為の活動が樹木を減らし、それが技術や生活を変えていったというサイクルは、何か今日にまで通ずるものを感じさせる。機械製材で南洋材を大量に消費していく今のサイクルは、どんな将来へと通じていくのだろうか。

後世に残りにくい生活の道具

閑話休題、大鋸以前の鋸は、おもに横びきの加工用のものだったことは述べたが、絵に描かれた史料から、それらの多くは「木の葉型」といわれるものだったと考えられている。「木の葉型」とは、名のとおり木の葉を葉脈で半分に切った形をし

ており、曲線側に歯がつけられている。先が細く尖っていることもあって、狭い隙間などに差し込んで使ったり、細かな細工をするのにも便利な、一種の万能鋸のようなものだったと考えられている。「木の葉型」の鋸は中世の遺跡から発見されているが、腐食が進んでいて原形をとどめておらず、史料や絵巻物などからの推定によって、実物を想像するほかはない。

写真の下のは、縦びきの鋸だが、現存するものの中では「木の葉型」鋸に近い形状をとどめており、「木の葉型」から機能分化した初期のものだろうと考えられている。

大工道具全般にいえることではあるが、生活の道具であり、消耗品であるところから、古い道具のうち、今日まで残されているものは、きわめて限られている。とりわけ鋸は、薄く腐食しやすいことや、使いながら目立てを繰り返し、使いきっていくことから、いっそう残りにくいようである。焼き入れ挟みで目立てした刃に丁寧に焼き入れをするなど、匠の技術が注ぎ込まれ、また多くの名人といわれる道具づくりの職人を出したわりに、後世には残っていかないのである。

ちなみに当協会では、昭和44年にわが国古来の製鉄法である砂鉄と木炭を使った「たたら製鉄」の復元実験を行い、玉鋼を得ることに成功しているが、その際、その玉鋼の一部を用いて、伝承の方法による鋸を再現し、さまざまな試験検査を通じて、日本古来の鋼と道具についてのデータを得ている。その成果は『日本の鋸』『たたら製鉄の復元とその鋸について』（いずれも(社)日本鉄鋼協会編）といった書籍に詳しくまとめられているので、関心をもたれた方はそちらもご参照の程。生活をつくってきた道具とその素材、性能を知ること、実は技術史としてだけでなく、文化を理解するうえでも重要な手掛かりになりうるだろう。[取材協力・写真提供：(財)竹中大工道具館]

(財) 竹中大工道具館

日本建築を支えてきた手作りの大工道具を系統的に収集・保存し、展示を行っている。道具を通じ、工匠の精神と技術を後世に伝えていくことを目的に、1階「道具の歴史」、2階「木と匠と道具」、3階「道具と鍛冶」といったテーマで18,000点あまりの収蔵品を展示している。

毎週月曜日（祭日の場合は翌日）と年末年始は休館。



神戸市中央区中山手通
4-18-25
TEL 078-242-0216
JR・阪急・阪神＝
三宮駅より徒歩18分
JR・阪神＝
元町駅より徒歩10分



展望

超高層建築の近未来

久保田俊彦 (株)小堀鐸二研究所 常務取締役
Toshihiko Kubota

Near Future of High-Rise Building

1 はじめに

地震国日本で最初の本格的超高層ビル「霞が関ビル」が完成し約30年が経過した今日、大都市では超高層ビルはごく普通の景観として受け入れられるようになってきた。

超高層ビルはいわば建築の花形であり、あらゆる面で最新の技術が適用されていると言っても過言ではない。

本小論では、初の超高層ビルがどのようなコンセプトのもと、どのような技術が開発され実現に至ったのか、また、その後どのように展開してきたのかを振り返り、そして、近未来としてこれからの10年程を展望したときの新たな期待・課題が何か、日本の超高層ビルの過去、現在、未来について考えてみたい。

2 霞が関ビルの誕生から現在まで

2.1 霞が関ビルの誕生

1963年に東京の5000坪(16319.97m²)の土地に建物の建設計画があり、今までのように敷地一杯に高さ31mの巨大なビルを安易に建てるかどうかが問題となった。時あたかも建築基準法が一部改正され、「容積地区」の新設と容積地区内の高さ制限が撤廃された。これは敷地一杯に建物を建設するのではなく、高層化により周囲に緑の広場を設け都市に良い環境を提供することを意図したものであった。

そこで、これを受けて種々の高さの建築計画が検討され、経済性、使用性、耐震設計などとの総合的判断の結果、基準階床面積が約1000坪(3505.28m²)、階数が36階の案が採用され、敷地の70%が解放されることとなった¹⁾。

この超高層化を可能にした“かぎ”は、「動的設計法」による柔構造耐震技術と建築生産技術の画期的な発展であった²⁾。

2.1.1 柔構造と動的設計法

日本における耐震構造の研究は、1891年の濃尾地震を契機として始まり、次の世紀的な大地震となった1923年の関東大地震までにその基礎が確立された。すなわち、建物を耐震的にするには、壁やブレースを平面的、立面的に偏りなく配置して十分剛な建物(剛構造)にし、地震の力に対して変形しにくくすることが基本とされた。この理論に基づいた日本興業銀行の建物が関東大地震のときに無被害であったことは、歴史的に有名な話である。

ただ関東大地震では、低層のビルが比較的地震に耐えたのに反して8～9階建ての欧米直輸入の高層ビルは大きな被害を被った。それは、単に耐震的配慮がなされていなかったためであったが、高い建物は大地震に不利であると短絡的に考えられ、それ以前に別の目的で定められていた建築法規における建物の高さ制限「31m(100尺)」以下が定着することとなり、その思想は戦後も引き継がれることとなった。

1940年代になってアメリカで強震計が開発され、大地震の正確な記録が得られるようになった。それらの地震波を当時発達してきたコンピュータにより解析したところ、強固な地盤では短周期成分が卓越し、周期の長い建物(柔構造)には周期の短い建物(剛構造)ほど大きな力が作用しないことが分かった。この知見により、地震国でも建物に十分な変形性能を与えれば超高層ビルが可能となったのである。

31m以下の一般の建物の地震に対する検討は、地震によって生ずる力を等価な静的地震力として骨組みに加える静的設計法で行っていた。これに対し柔構造を採用した霞が関ビルは、「動的設計法」により初めて設計された。

この動的設計法は、コンピュータで建物の揺れ方、応力やひずみの発生を時々刻々照査する地震応答解析を行い、その結果をチェックして設計の修正を加える手順を

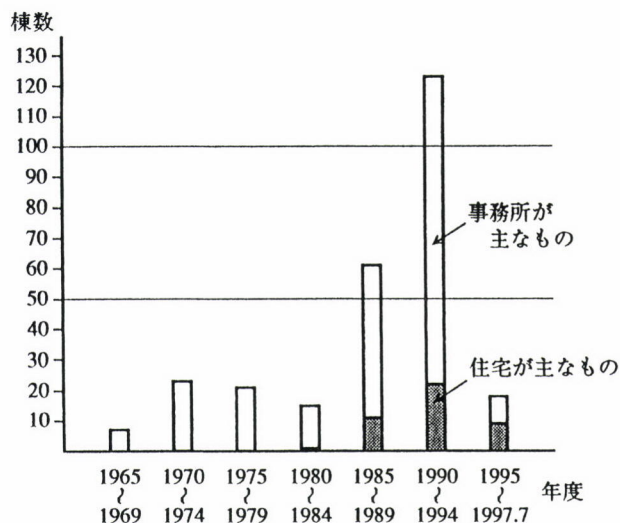


図1 軒高100m以上の超高層ビルの各5年間の評価棟数
(全268棟)

繰り返すフィードバックシステムである。

2.1.2 建築生産技術の革新

この柔構造を実現する生産技術として、構造材料としての厚板H型鋼、材料の軽量化、生産性の低い現場作業の効率化のためのプレファブ化、高層ビル特有の施工用機械の性能の飛躍的増強、足場なし工法の開発といった近代的施工システムと、超高層ビルの下から上まで同じパターンの作業の繰り返しを活用した施工管理などが新たに開発された。

そのうち主な施工技術として、①鉄骨の大部分を工場で作製し、現場ではボルトや溶接で組み立てるだけというプレファブ化と、それを現場で揚重するセルフクライミングクレーンの開発、②火災時の鉄骨を保護するための耐火被覆用の石綿板接着工法、③鉄骨の組立に平行して作業の安全性を高めるための作業床の確保と、また床コンクリートの型枠にもなる波形デッキプレートの開発、④地震時に主体骨組に悪影響を与えないために構造体と切り離したプレファブの外装材としてのカーテンウォールと足場なしのその取り付け工法などがある。これらの技術はその後続々と建設されることとなった超高層ビルで様々に改良・発展されることとなったが基本は変わっていない。いかに成熟度が高かったかがうかがえる。

2.2 現在までの変遷

2.2.1 棟数、立地、用途

ここでは仮に軒高が100m以上のものを超高層ビルと呼

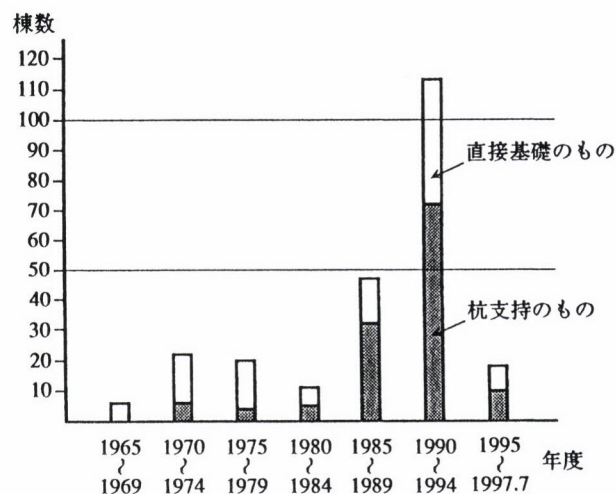


図2 軒高100m以上の超高層ビルの基礎事業方式
(評価シート未提出分を除く236棟分)

ぶとして、現在、日本で超高層ビルがどれくらいあるのか建築センターの高層評価の1997年7月時点における性能評価シート³⁾から調べると268棟となり、その評価年度の5年ごとの数は、図1に示すとおりである。ただし評価を受けても必ずしも建設されるとは限らないので、完成済みおよび建設中の合計は上記の棟数より少ない。いずれにしろ年を追って飛躍的に増加していることが分かる。

超高層ビルは強固な地盤であれば低層ビルよりも地震入力と建物の揺れが小さいという性質を利用して地震国日本でも建設が可能となったことは既に触れた。図2では、建物の基礎が直接強固な地盤に設置されたものと、強固な地盤へ杭や連続壁を介して支持されているものとの区別を示すが、年とともに杭支持の物件が増加している。

これは、①超高層ビルが海岸の埋め立て地や川沿いのいわゆるウオータフロントなどの支持地盤の深い場所に近年立地することが多くなった、②オフィスビルに比べ地下室をそれほど必要としない高層住宅の数が増加してきた(図1参照)、③内陸部でもやや地盤の悪いところでも建設されるようになってきたことなどによると考えられ、超高層ビルが年とともに様々な場所に建設されるようになってきていることが理解される。ただし、超高層ビル成立の良好な地盤に立地させるという要件から大きく逸脱しないことが肝要である。

2.2.2 高さ、基準階平面形

表1に1997年7月時点の日本の超高層ビルの軒高順50傑を示す。霞が関ビル(1968年完成以下同じ、図3)の147mか



図3 震が関ビル

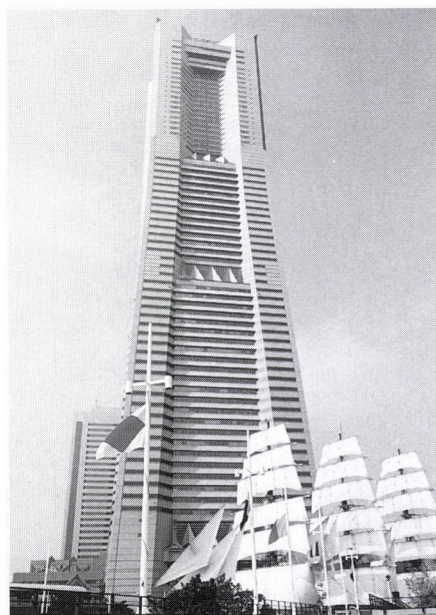


図4 ランドマークタワー

ら、新宿三井ビル(1974年)の211.1m、サンシャイン60(1978年)の226.2m、東京都第一本庁舎(1991年)の241.9mを経てランドマークタワー(1993年、図4)の282.3mと25年でほぼ2倍の高さとなった。

図5に基準階平面の変化を示す⁴⁾。最初は、慎重を期したこと、解析技術、コンピュータ能力などの制限などから基準階平面形は力学的に単純明快な長方形や正方形のプランであったものが、解析技術、コンピュータ能力の向上で立体的に詳細な検討が可能となり、それに裏付けられた構法の発展によって建物の機能や目的に合った複雑な平面形を持つものも建設されるようになってきている。

2.2.3 構造材料

(1) 鉄骨

震が関ビルでは柱に溶接構造用圧延鋼材SM50Aが使用された。以後1989年ごろまでたまに、より高強度のSM53やSM58が使用されることもあるが保守的と思われるほどほとんどSM50を使用している。1990年に入って厚板でも設計基準強度の低減が不要な熱加工制御(TMCP)鋼の指定が増え、1995年には、阪神・淡路大震災の苦い経験からより靱性と溶接性に優れた建築構造用圧延鋼材SN材の指定が目立っているが強度的にはほとんど変化はない。

しかし1996年9月に建築構造用高性能鋼材(SA440B、C)が建設大臣の一般認定を取得したので今後使用が増えるものと考えられる。

(2) コンクリート

一方、住宅を主機能とした超高層ビルでは、鉄骨造と比べて剛性が高く普段の強風時でも揺れにくい、断熱性・遮

音性能が高くかつ経済性も高いということで鉄筋コンクリート造が多く用いられる。鉄筋コンクリート造の高層化に向けて建物の粘りを確保するための配筋法や施工、品質管理に関する研究が積み重ねられ、当初18階から始まり45階建て(ザ・シーン城北)まで建てられるようになった。コンクリート強度として600kgf/cm²が使用されている。

また、鉄骨に高強度コンクリートを充填した鋼管コンクリート(CFT)を柱に使用した55階建ての超高層住宅(エルザタワー55、鉄骨SM520B、コンクリート強度600kgf/cm²)が建設中である。

2.2.4 一般建物への展開

数多くの超高層ビルでなされた動的設計の成果を一般の中低層の建物の設計に活用するため、1981年に建築基準法の一部が改訂され(新耐震設計法と略称)、それに基づき設計された建物は、兵庫県南部地震においてそれ以前の基準に基づき建てられた建物に比べて被害が遙かに少なかったことが報告されている。その意味でも超高層ビルの果たした役割は大きい。また設計法だけでなく生産技術も一般の建物に応用され、安全性の向上、建築生産の近代化に大いに役立っている。

3 これからの超高層ビルへの課題

建築は社会や人間生活と全かけ離れて単独で存在できない。超高層ビルの近未来についても、社会がどのように変わり建築にどのような期待が寄せられるかによって、そのありようと課題が決まってくるのは当然であろう。

表1 日本の超高層ビル高さ順50傑

No.	建物名称	所在地	階数 地上/地下	軒高 (m)	完成年
1	ランドマークタワー	横浜	70/3	282.3	1993
2	りんくうゲートタワービル・北棟	大阪	56/2	254.4	1996
3	大阪ワールドトレードセンタービルディング	大阪	55/3	250.0	1995
4	東京都第一本庁舎	東京	48/3	241.9	1991
5	(仮称)JR東海名古屋駅ビル	名古屋	51/4	232.6	工事中
6	新宿パークタワー	東京	52/5	226.5	1994
7	サンシャイン60	東京	60/3	226.2	1978
8	東京オペラシティ	東京	54/4	222.4	1996
9	新宿センタービル	東京	55/5	216.0	1979
10	新宿三井ビル	東京	55/3	211.1	1974
11	新宿野村ビル	東京	53/5	203.3	1978
12	新宿住友ビル	東京	52/4	200.0	1974
13	聖路加ガーデン・セントルークスタワー	東京	51/4	199.2	1994
14	安田火災海上本社ビル	東京	43/6	193.0	1976
15	アクトシティ浜松・アクトタワー	浜松	45/2	190.8	1994
16	オーク1番街	大阪	50/3	188.3	1992
17	エルザタワー55	川口	55/1	185.8	工事中
18	(仮称)山王共同ビル	東京	44/4	183.8	工事中
19	日本電気本社ビル	東京	43/4	180.0	1990
20	ハービスOSAKA	大阪	40/5	174.7	1997
21	新宿アイランドタワー	東京	44/4	173.7	1995
22	幕張プリンスホテルタワー棟	千葉	49/2	173.1	1993
23	センチュリーパークタワー	東京	54/3	170.5	工事中
24	OAPタワー	大阪	39/3	169.8	1996
25	京王プラザホテル	東京	47/3	169.7	1971
26	渋谷・桜丘町プロジェクト	東京	41/6	169.0	計画中
27	新梅田シティ・梅田スカイビル	大阪	40/2	167.5	1993
28	東芝本社ビル	東京	40/3	165.1	1984
29	東京都第二本庁舎	東京	34/3	162.3	1991
30	恵比寿ガーデンプレイスタワー	東京	40/5	161.5	1994
31	IHI豊洲センタービル	東京	37/2	160.9	1992
32	ザ・シエン城北	名古屋	45/0	160.0	1996
33	(仮称)晴海一丁目地区第一種市街地再開発事業(東地区)2街区住宅B・G棟(民間)	東京	50/2	158.7	工事中
34	JT本社ビル	東京	35/3	158.4	1995
35	オークブリオタワー	大阪	50/2	156.8	1992
36	クイーンズタワーA	横浜	36/5	156.7	1997
37	ホテルオーシャン45	宮崎	43/2	154.3	1994
38	ワールドビジネスガーデン(2棟)	千葉	37/1	152.9	1991
39	世界貿易センタービル	東京	40/3	152.0	1970
40	(仮称)芝三丁目共同ビル計画	東京	34/2	151.5	計画中
41	KDDビル	東京	32/3	151.2	1974
42	OBPキャスルタワービル	大阪	38/3	150.0	1988
42	ツイン21(2棟)	大阪	38/1	150.0	1986
44	OBPクリスタルタワー	大阪	37/2	149.7	1990
45	アブローズタワー	大阪	34/3	149.1	1992
46	JR東日本本社ビル	東京	28/4	148.6	1997
47	城山JT森ビル	東京	36/3	147.7	1991
48	霞が関ビル	東京	36/3	147.0	1968
49	小田急サザンタワー	東京	36/4	146.8	工事中
50	新神戸オリエンタルホテル	神戸	37/3	146.2	1988

(筆者1997年7月調べ 計画中、工事中を含む、ただし計画変更・中止のものは省略)

ここ10年間で人間のライフスタイルが、情報関係のすさまじい発展は見られるものの革命的に変化するとは思えない。しかし、地球温暖化防止や廃棄物処理などの環境問題、阪神・淡路大震災の貴重な経験を生かした防災、大都市への再集中化、少子化・高齢化など対応しなければならない事柄は差し迫っている。これらの傾向を受けて建築、特にその代表である超高層ビルが今後どのような課題を解決していくべきであろうか。

3.1 性能設計への移行と制震技術の適用

現行の建築基準法は、大地震時には建物にひび割れなどが入ることは許すが人命に損傷を与えるような崩壊はさせないという最低限のクライテリアの基に、細かく決まった規則に従って進めてゆく仕様設計の形態を採っている。

兵庫県南部地震では崩壊には至らなかったがその後の生活に支障をきたしたマンションが見られ、大地震の後でも

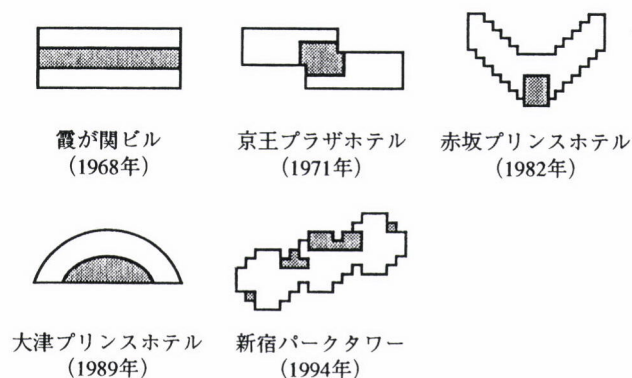


図5 平面形の多様化(アミ部分はコアを示す)
(参考文献4)を修正

今までどおり使用できるものと信じ込んでいた所有者の認識と構造設計者の認識に乖離があった。このような乖離をなくすため、また大地震後も機能を果たさなくてはならない公共建築物や病院などは高い耐震性能が要求されるが、この要求を満たすため、現在、目標性能を明確に設定しそれを満足させる自由度の高い性能設計法が検討されており1998年中にも建築基準法の改訂が実施される予定である。

超高層ビルにはもともと一般の中低層ビルに比べ高い耐震性能が付与されており、兵庫県南部地震でも超高層ビルに大きな構造的被害を受けたものはなかった。しかし中には、天井材の落下などで部屋が使用不能に至ったビルもあった。今日の進んだ高度情報化社会では、地震後もこのような状況に至らないで機能維持できるより高い性能のビルが求められる。

その解決法として、ここ10年で開発の進んできた制震技術の適用が今後必須のものになると考える。

制震とは、建物が地震に対してただ受動的に堪え忍ぶ耐震に対し、建物の剛性や減衰などの性質を時々刻々変化させたり、エネルギー吸収装置を付加的に設置したり、加力装置を設置し地震や強風時の建物の揺れを能動的に制御しようとする意図を発想の基本とする技術である。

制震構造の分類を図6に示す⁵⁾。このうちパッシブ型は、極低降伏点鋼の履歴エネルギーを利用した弾塑性ダンパーやオイルダンパなど比較的安価でかつ手軽に利用できるので急速に普及し始めている(図7)。一方、アクティブ型およびパッシブ型とアクティブ型の利点を活かしたハイブリッド型は、中地震と風揺れ対策に用いられているのが現状(前出のランドマークタワーにもアクティブ型の制震装置が設置されている)であるが、大地震対応への研究が進んでおり近い将来実用化されるであろう。

3.2 地球温暖化防止対応

データが少し古いですが、1985年に日本の全産業から排出されたCO₂の1/3は、建築分野(建築新增改築、補修、運用(エネルギー消費分))からであり、そのうち60%を運用部分が占めている⁶⁾。コジェネレーションシステムの採用、外装材の高断熱化などの省エネルギー対策が重要となるとともに、高強度材料の使用による資材の減量や建物を長く使用することがCO₂の削減に有効となる。

超高層ビルでは、当然、その規模にもよるが鉄骨造の場合数万吨の鉄骨を使用している。そこで1997年から金属材料技術研究所と鉄鋼各社の共同開発プロジェクトとして、現在の鉄鋼の2倍の強度と寿命を持つ新しい鉄鋼材料の開発が始まっており、その成果が待たれる。

また、通産省のニューサンシャイン計画の一環として、建築物の外壁に太陽電池を組み込む「建材一体型モジュール」の研究開発が実施されている。超高層ビルは、外壁面が多いと言う特徴からこの成果の活用が望まれる。

3.3 リサイクル率の向上

建設廃棄物は、全産業廃棄物の重量ベースで2割、最終処分量の4割、不法投棄量の9割を占めており、そのリサイクル率は58%で他産業に比べ低い⁷⁾。

超高層ビルは、建設されてからまだ年月が経っていないことと、もともと多くの面で優れた建物であることから解体に至ったものはなく、霞が関ビルや新宿三井ビルに見られるようにリニューアルで機能アップが図られている。

普通鋼鋼材の需要部門別のシェアは、建設部門で約50%を占めその割合は大きい⁸⁾。一方鉄は年間スクラップとして2700万吨回収されている⁹⁾。超高層ビルは、特に耐震安全性の面から構造材に高炉製品を使用しているが、今後はその部位などを選んで電炉製品も使用していくことも必要となろう。

3.4 大都市への再集中化、少子化・高齢化

バブル崩壊による地価下落と建設費の単価競争により、都心のマンションが一般の人にとっても購入しやすくなり都心回帰の傾向が見られる。また、郊外の一戸建て住宅に住むお年寄りの中に、文化施設やショッピングなどの生活の便利さに惹かれて都心の高層マンションに移る方もおられると聞く。

一方、1997年6月に住宅・土地関連の規制緩和として「高層住居誘導地区」の創設がなされ、容積率の上限が400%から600%に引き上げられたので超高層住宅が都心でますます増加するものと予想される。

これらを考えると、今後、オフィス、店、住宅に加え医

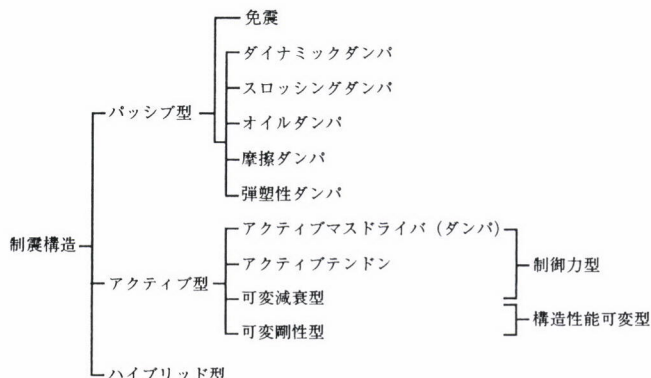


図6 制震構造の分類



図7 制震装置(オイルダンパ)を組み込んだJAL本社ビル

療施設、介護施設などが入った複合超高層ビルが出現してもよいのではないかと考える。

少子化による若年労働者の減少対策、魅力ある建設労働環境創出策、また海外と比較して割高な建設費低減策として超高層ビルは同じ繰り返し作業が多いと言う特徴を生かし、建築生産の工業化をねらった全自動化工法が各社から提案され既に実施されている。今のところ、その効果の評価には賛否両論があり一層の改良、発展が必要と思われる。

3.5 超々高層化

1990年前後に建設会社数社より高さが800mから4000mの超々高層ビルの構想が発表された。その後、建設省の支援・協力のもと1994年12月から約2年間かけて、より広範囲の民間会社に参加し、高さ1000m、耐用年数1000年、延べ床面積1000haと言う目標を掲げたハイパービルディング実現に向けての共同研究が実施された¹⁰⁾。

その活動の主目的は解決すべき研究課題の抽出であった。その中で、広く世論の支持を得るためのコンセンサスの醸成、実現のための社会的ルールの見直しなどのソフトの研究、および高所要因の生理・心理の研究などが注目すべき課題である。

4 まとめ

東京だけでも超高層ビルが主体となるようなプロジェクトは、国鉄精算事業団の汐留跡地、品川駅東口など数は多い¹¹⁾。そのうち完成予想図のあるものから判断するとその超高層ビルの外観は、現存のものと大きく変わらない。

しかし、眼に見えないところで、地球温暖化防止や廃棄物低減などの環境問題に対応した、また誕生から30年近くの間培ったオフィスや住宅の生活経験を生かしたより人間性に配慮した設計が行われるものと確信する。

今後、超高層ビルが、低層、中層ビルとバランス良く組み合わされ、より良い都市環境創造に向けて、積極的に活用されていくことを期待するものである。

執筆に当り鹿島建設設計・エンジニアリング総事業本部構造設計部若杉和雄副部長、同設備設計部佐藤正章技術長、同技術研究所第5研究部吉田孝男専門部長からそれぞれ資料提供をいただいた。また鹿島建設設計・エンジニアリング総事業本部構造設計部播繁部長、同小堀研究室金山弘雄

室次長には貴重な意見をいただいた。ここに各氏に感謝いたします。

引用文献及び参考文献

- 1) 霞が関ビルディング, 三井不動産, (1968), 6.
- 2) 武藤清: 日本機械学会誌, 78 (1975) 674, 53.
- 3) 日本建築センター性能評価シート(高層建築物), (財)日本建築センター
- 4) 超高層ビルなんでも小事典, 鹿島建設編, 講談社, (1988), 61.
- 5) 小堀鐸二: 制震構造, 鹿島出版会, (1993), 25.
- 6) ライフサイクルCO₂で建物を測る, (社)日本建築学会地球環境委員会ライフサイクルCO₂小委員会, (1996) 2月, 4.
- 7) 地球環境と建設事業, 日刊建設工業新聞, 1997年6月26日第2部, 16.
- 8) 林明夫: ふえらむ, 2 (1997), 245.
- 9) 素材リサイクル明暗, 日本経済新聞, 1997年9月24日, 23.
- 10) ハイパービルディングの研究報告書, ハイパービルディング研究会, (1996) 12月
- 11) NEW URBAN PROJECT, 産経新聞, 1997年4月26日

(1997年10月31日受付)

展望

21世紀における製鉄業の新しい発展

—創資源・自己完結型製鉄所構想—

丸川雄浄

住友金属工業(株) 総合技術研究所 技監

Katsukiyo Marukawa

New Development of the Iron and Steel Industry in the 21st Century
—Concept of steel works with processes therein self completed while creating resources—

1 現状認識—21世紀へ向けての人类的課題—

1972年ローマクラブより「成長の限界」¹⁾が世に発表されて以来、四半世紀が経過した。この間その指摘、警鐘に対する対応策の動きは見られるものの大体においてかけ声だけに終わっており、本当の対策はこれからというのが実体であろう。

すなわち、ここに「21世紀における人類の最大課題」として、工学・工業、官・民の総智・総力を挙げて取り組まなければならない課題があると考え、以下に組みの糸口を探るための考察を試みた。

1) 資源・エネルギーの枯渇の実体

今世紀の世界の人口増加推移を見ると、1950年の25億人が1990年の40年後に倍増の52億人になっている。しかもその増加傾向は、そのまま指数関数的増加傾向を示しており、21世紀の早い時期に地球の人口は100億に達することが予測されている。資源・エネルギーの枯渇の要因の一つの源はこの人口増加の爆発にあると考えてよい。

図1に最近の世界のエネルギー消費の推移を示した。図

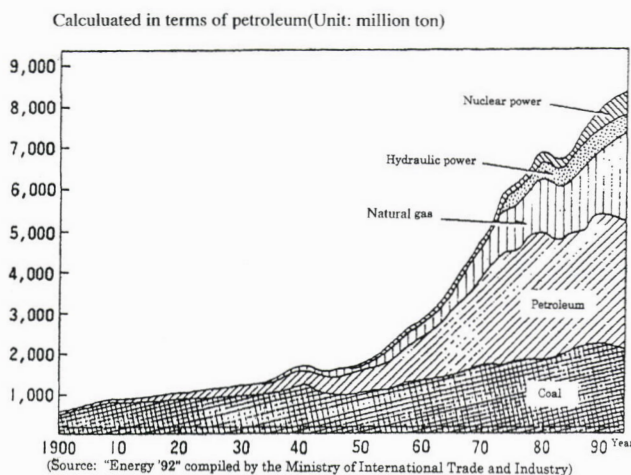


図1 Change in energy consumption in the world

2に主要金属生産量の推移を示した。これらの図より1950年以降のエネルギー消費及び資源消費の指数関数的増加傾向が見られ、これらは人口の増加と工業化の進展に比例しているものと考えられる。

表1に各金属鉱物の生産量、埋蔵量、可採年数を記載しているが、これより可採年数が100年あるいは50年を切っているものが出てきていることが判る。すなわち、地球の資源の底が見えて来ているという状況になっており、このまま指数関数的消費傾向が続けば、採掘する資源が地球上から無くなってしまうのも時間の問題であることが判る。そして今残っている資源も、次の図3に見られるように鉱石品位がだんだん低くなり、また掘り出しにくくなる状況に

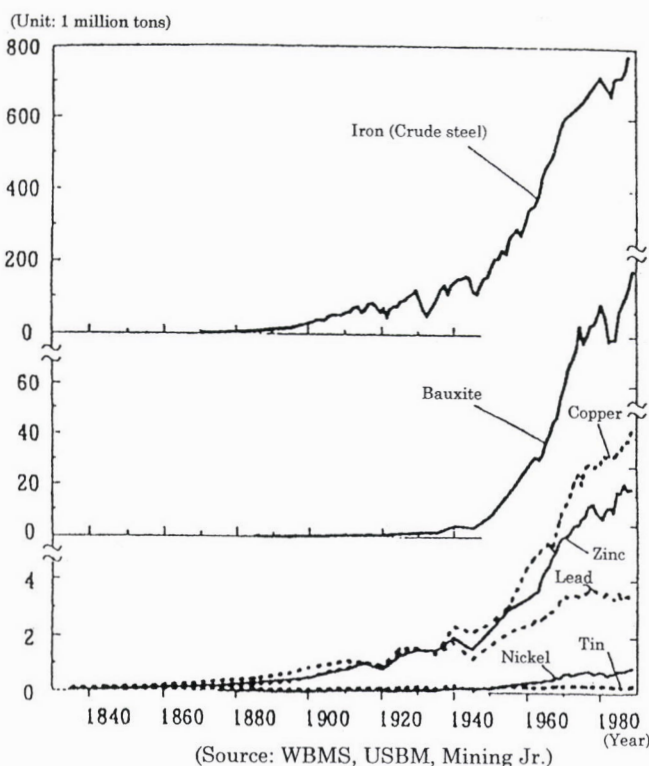


図2 Production of main metals from 1840 to 1990

表1 Production and reserves of metal ores (for 1989)

	Production (Unit: 10,000 tons)	Reserves (Unit: 10,000 tons)	Proved period of mining (Years)
Iron ore	59000	21000000	356
Bauxite	10556	2320000	220
Manganese ore	2386	353800	148
Chromium ore	1196	680000	569
Copper Ore	917.8	56600	61.7
Zinc ore	708.6	29500	41.6
Lead ore	347.6	12000	34.5
Nickel ore	87.97	10980	124.8
Tin ore	21.79	440	20.2
Molybdenum ore	11.75	1180	100.4
Antimony ore	6.11	469.5	76.8
Tungsten ore	4.32	354.5	82.1
Cobalt ore	4.25	834	196
Vanadium ore	3.05	1660	544
Silver ore	1.38	42	30.4
Lithium ore	0.45	834.6	1855
Gold ore	0.19	4.7	24.7
Platinum-group ores	0.027	6.6	244

Source: Compiled from Pages 183 and 196 of the World Census Illustration 1992-93, the Mineral Industry Handbook, 1991 edition, and other reference materials.

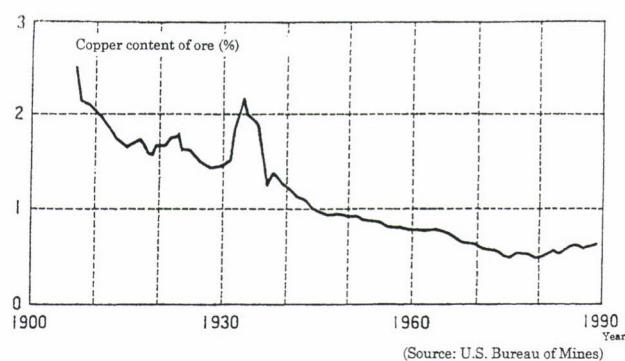


図3 Degradation in quality of copper ore mined in the U.S.A. (1906-1990)

あるということも推定できる。

金属資源のみならずエネルギー資源においても、表2に見られるように同様のことがいえ、石炭を除く化石燃料は100年以下の可採年数しかなくなっているが、これらは代替エネルギーの開発の目処が付くまで大事にセーブしながら使わなければならない。

以上のように地球の資源は破産寸前にまで来ており、次の世に残すべき地球の財産は残り少なくなってきたおり、地球の100億の人口を持続発展可能にするために、今のうちに手を打たなければならない課題を明確にし、地球規模で対応策を早急に実行して行かなければならない。

表2 Reserves of global energy resources

	Petroleum (Unit: 100 million tons)	Natural gas calculated in terms of petroleum (100 million tons)	Coal calculated in terms of petroleum (100 million tons)	Uranium (Unit: 10,000 tons)
Proved reserves				
Data 1	1350 (Year 1991)	1033 (Year 1991)	7250 (Year 1992)	
Data 2	1370 (Year 1990)	1080 (Year 1990)	5840 (Year 1990)	
Data 3	1365 (Year 1992)	1270 (Year 1992)	10390 (Year 1992)	
Data 5				200~274
Annual production	31 (Year 1990)	17 (Year 1990)	23 (Year 1990)	2.7
Proved period of mining (Years)	43.8~44.2	60.8~74.7	254~452	74~101 years
Proved ultimate reserves			(58640)	
Data 1	2025 (Year 1991)	2114 (Year 1991)	14420 (Year 1992)	
Estimated reserves				
Data 4	1930 (Year 1989)	2050 (Year 1989)	124000 (Year 1989)	
Proved ultimate period of mining (Years)	62~65	121~124	539~627	

Sources:

Data 1: Petrotech, Volume 16, No.6, P. 519

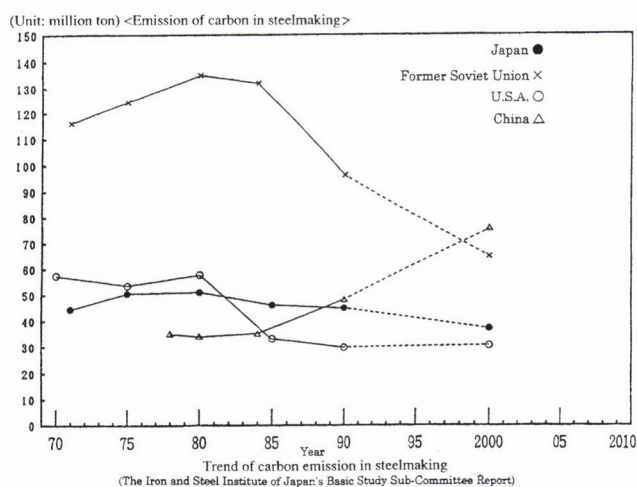
Data 2: The Japan Energy Society Journal, Vol. 72, No. 12, P. 1152

Data 3: The Handbook on Energy and Economic Statistics, the 1994 edition, P. 222

Data 4: The Fuel Association Journal, Vol. 43, No. 1, P.52

Data 5: Energy '93, P. 11, the Japan Census Illustration 1993, P. 156

Note: Natural gas and coal figures are calculated in terms of petroleum based on Data 1-4.

図4 Carbon emission from the iron and steel industry in major countries (1970-2000)²⁾

2) 地球環境の危機の実体

地球環境の問題は多方面にわたっている。一つにはフロン等によるオゾンホール拡大問題があり、酸性雨の問題があり、炭酸ガスの濃化による地球温暖化問題がある。製鉄業と特に大きな関わり合いがある炭酸ガスについて以下に見てみる。

主要各国の鉄鋼業からの炭素排出量を、図4に示す。これより旧ソ連の製鉄生産量減による排出炭素量の減少と、中国の製鉄生産量増による排出量の増加が対称的に見られ、今後の後進国における製鉄生産量の増加による排出炭

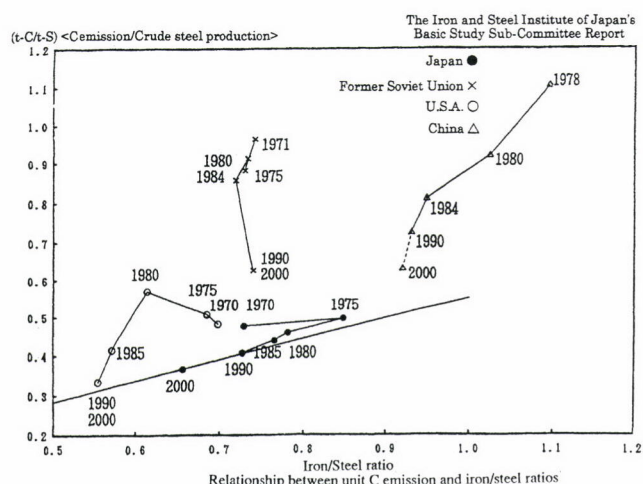


図5 Relationship between unit carbon emission and iron/steel ratio in major countries' steel industry²⁾

素量の増加は相当大きなものになることが予測され、これに対する対応策を講ずる必要がある。

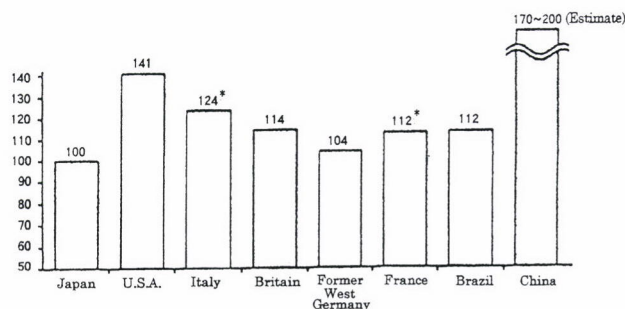
図5に、鉄鋼比と排出炭素原単位(t-C/t-S)の関係を示す。同じこの図より、先ず各国の鉄鋼比の違いがかなり大きいことが読みとれる。そして同一鉄鋼比で見ても旧ソ連、中国の製鉄製造炭素原単位がまだまだ高く、改善の余地が大きいことが判る。これはエネルギー消費原単位のちがいを暗示するものである。図6に各国のエネルギー消費原単位の比較を示す。これより、これから工業化がまだまだ伸びて行く中国等への省エネルギー技術の技術移転が、地球全体のエネルギー資源のセーブと共に環境保全のためにも極めて重要である。

このほか少し異なった観点からの問題としては、核燃料廃棄物の最終処分場の問題、都市ゴミ等の最終処分場の残余容量の問題、燃焼処分に際してのダイオキシン等の発生の問題等々が山積している。そしてこれらは減容、無害化、エネルギー及び資源の再利用の観点から、製鉄での高温反応技術、あるいは製鉄のキャパシティの活用等色々な角度からこれらの問題解決にとって、製鉄業との関わりが重要になってきていると考えられる³⁾。

2 製鉄業の課題

1) 製鉄所内での創資源・自己完結課題

製鉄所にインプットされる資源は、その量においてもまた、種類においても膨大にある。しかし、ちゃんとした商品は鉄商品だけである。すなわち、鉄以外の資源は必ずしも最高の商品にまで完成されているとはいえず、中途半端な製品あるいは産業廃棄物としてアウトプットされている。そういう観点から製鉄プロセスも未だ完結したプロセスにまで完成しているとはいえない。限られた資源でこれ



Note 1: Correction was made by iron/steel ratio.
Note 2: * is an index for 1990.

図6 Comparison of unit energy consumption cost among main steel-producing countries for 1991

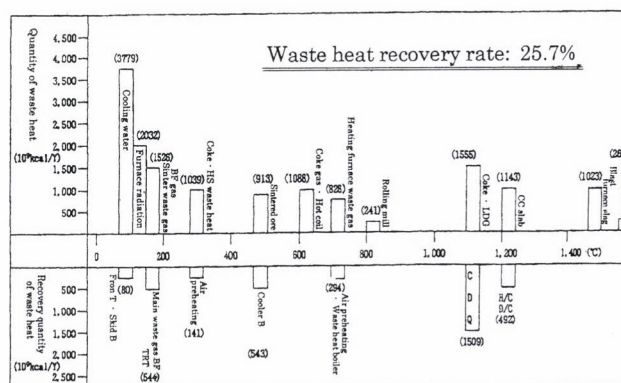
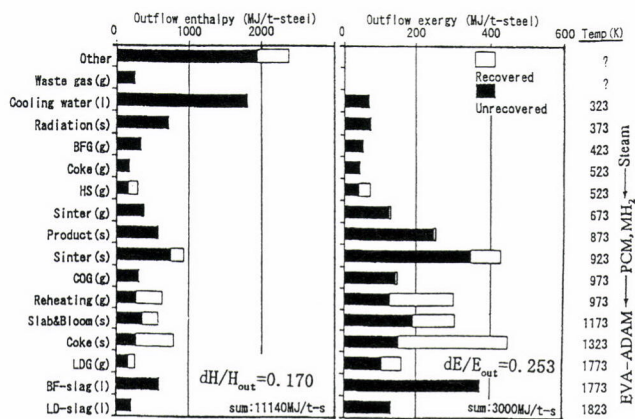


図7 Examples of waste heat recovery at steel works

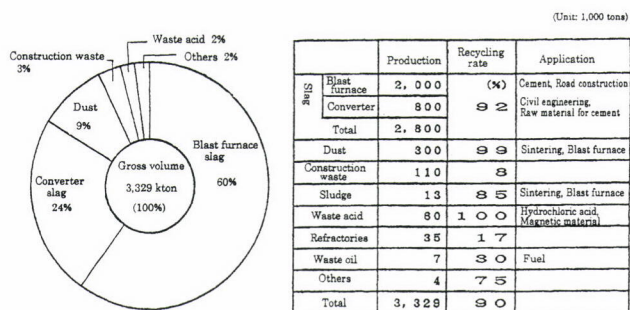
から100億の人間の生命と文明を維持発展していくためには、全ての資源の不効率な、未消化な使い方があってはならない。製鉄業においても足元課題として、まだまだ研究し、技術を開発して行かねばならない課題が山積している。
(1) 事例その1 (エネルギー資源)

製鉄業はエネルギー多消費産業であり、そのエネルギー源の大部分を炭材から供給しているから、炭酸ガス多排出産業でもある。

炭酸ガス排出抑制の新しい着眼点の第1は、省エネルギーの更なる推進であるが、従来のけちけち省エネのみではなくて、新しい観点での取り組みが必要であると考え。その一つは、エクセルギー尺度(MJ/t-steel)での排熱回収の見直しである。図7に製鉄所における廃熱回収の事例を示す。4分の3は未だ未回収であるが、低温の大きな未回収の熱量とスラグ等の高温の未回収の熱量とがみられる。図8にこれらをエクセルギー換算したものを示したが、高温のスラグ保有熱の回収が重要であることがこれから汲み取れる。後述するが、エネルギーのカスケード利用の考え方からすれば図7及び図8に示す低温の大きな熱量も地域暖房等家庭用には十分使えるものであり、これからの都



☒8 Waste enthalpy and exergy in the Japanese ironworks⁴⁾



☒9 Industrial wastes production and some recycling examples at steel works

市型製鉄所のあり方として、社会全体でのエネルギーセーブの観点から考えるとここにも大切な課題があると考えられる。

すなわち、高温から低温までの色々なエネルギーレベルのエネルギー商品としての正しい使い方、正しいアウトプットの仕方も課題として重要である。

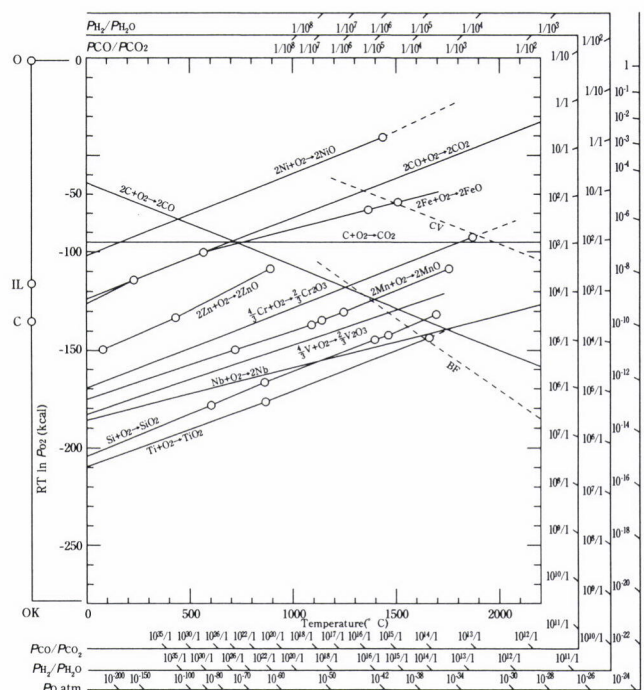
(2) 事例その 2 (カルシウム資源)

製鉄所におけるカルシウム資源の使用量は極めて多く、日本全体で1年間に2000万トン強の石灰石(炭酸カルシウム)を掘り出し消費している。この石灰石の大部分は焼成して生石灰(酸化カルシウム)にし、その塩基性の化学作用を利用して脱硫とか脱燐用媒溶材として使われている。図9に製鉄所におけるスラグの発生量を示しているが、カルシウムは全てこのスラグとして系外にアウトプットされている。高炉スラグは塩基度(CaO/SiO_2)が、1.3前後と低いために色々な有用な用途に使われているが、転炉スラグは塩基度が3前後と高く未だに有用な用途が確立せず、不要物として処分の対象の域を出ていないのが現状である。この転炉スラグの商品化の一つの狙いとして、ポルトランドセメントがある。表3にスラグとセメントの成分を示している。この成分比較より、転炉スラグ中の酸化鉄を除いてや

表3 Comparison of blast furnace and converter slags and cement in terms of chemical composition

	Blast furnace slag	Ordinary portland cement	Converter slag
SiO ₂	33	22	14
Al ₂ O ₃	14	5	2
FeO	0.3	3.0*	15
CaO	41	64	44
MgO	6	1	6
MnO	0.5		5
S	0.9	2	0.07

*In terms of Fe₂O₃



☒10 $\Delta G^0 = RT \ln P_{O_2}$ -temperature lines (Oxides series)

るとポルトランドセメントの組成に酷似してくることが判る。この転炉スラグから酸化鉄を除去することは製鉄の還元精錬の応用として比較的容易に可能な技術と考えられる。ここにインプットされた資源を全て有用な商品としてアウトプットするという完結化のテーマがある。

(3) 事例その 3 (V、P 資源)

製鉄業は還元と酸化のパイロメタラジー(高温冶金反応学)である。図10にエリンガムのダイアグラムの中にCVと書いた製鋼転炉の状態を示し、BFと書いた製鉄高炉の状態を示した。即ち、高炉の還元状態で還元され、転炉の酸化状態で酸化される反応が、この2本の点線の間に入ってくる反応である。それはクロム、マンガン、バナジウム、ニ

表4 Ore brand and ore grade

Ore brand	Ore composition		Ore grade		
	Composition rate %	Ore ratio kg/pt	Fe %	P %	V %
P.Savage	0	0	66.4	0.012	0.470
P.Algarrobo	1	15	66.2	0.056	0.210
Hammersley	30	447	64.7	0.065	0.006
Robe River	25	372	57.1	0.040	0.003
Newman	16	238	65.5	0.063	0.004
Caraïas	15	223	67.8	0.048	0.004
Bailadila	10	149	67.8	0.042	0.008
Romeral	2	30	65.6	0.077	0.460
MBR	1	15	68.2	0.027	0.006
Total	100 %	1490 kg/pt	950 kg/pt	0.55 kg/pt	0.24 kg/pt

オブ、一部シリコン、チタンも入ってくる。

表4に鉄鉱石中の燐とバナジウムの成分と高炉での実操業使用割合の例を示した。それには製鉄の還元と製鋼の酸化の課程で、図11に示すように希薄希少なバナジウム元素の濃化が生ずることを示した。

表4に燐の含有濃度を示しているが、現状では製鉄精練では燐は有害な元素で除去されるべき対象でしかない。図12に、現状製鋼精練プロセスのメタル鉄、媒溶剤、スラグのフローを示している。この方式であると燐は高タスラグ中に2%くらいにしかならないが、精練効率を上げるためには、もっともっとスラグ中の燐濃度を上げる必要がある。一方、地球資源の枯渇状況の観点から見ると、燐鉱石も岩と岩の隙間からユンボで掻き出さなければ採掘することが出来ないという段階に来ており、こういうことを考えれば、精練効率を上げるためのみならず、燐資源の観点からもスラグ中の燐の濃化は評価されるべきものと考えられる。燐鉱石代替、燐肥料原料のための濃化目標は、燐濃度で7% (P_2O_5 で15%)以上であり、製鋼スラグの有効利用の観点とあいまってスラグ中の燐濃度アップの研究や技術開発が進んでいる。

図13にその一つのアイディアである回生炉プロセスについて示した。これは現状投棄対象スラグを集めてもう一度還元と酸化を繰り返して、燐の濃化とスラグの有効活用を計るものである⁵⁾。

図14にソーダ灰を使つての燐、バナジウムの濃化回収と、媒溶剤(ソーダ灰)の循環使用という理想的な完結型オールリターンシステムを示したものである⁶⁾。これからの廃棄物ゼロ(ゼロエミッション)、すなわち資源完全利用の時代においては、こういう理想型のプロセス、システムが見直され評価される時代になるであろう。

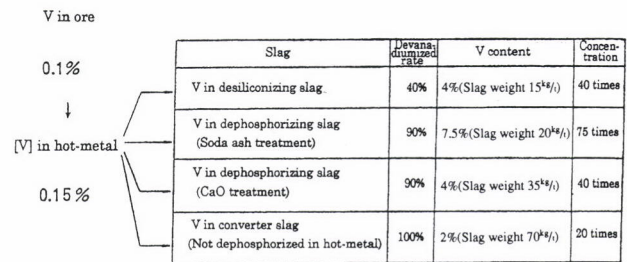


図11 Concentration of rare element during hot-metal treatment

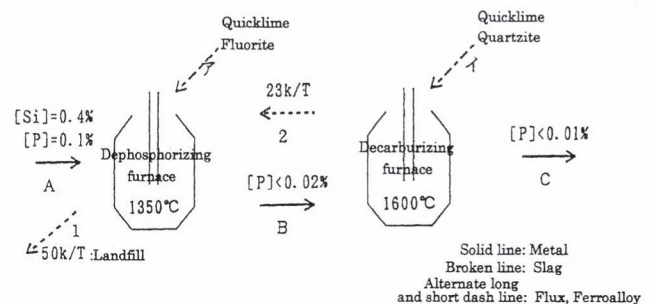


図12 Present converter refining process (SRP)

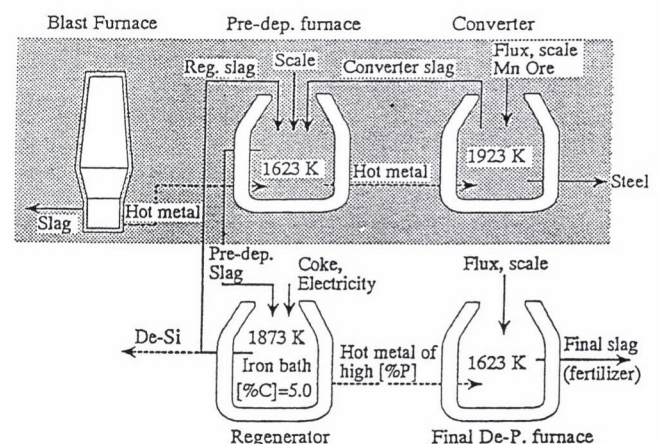
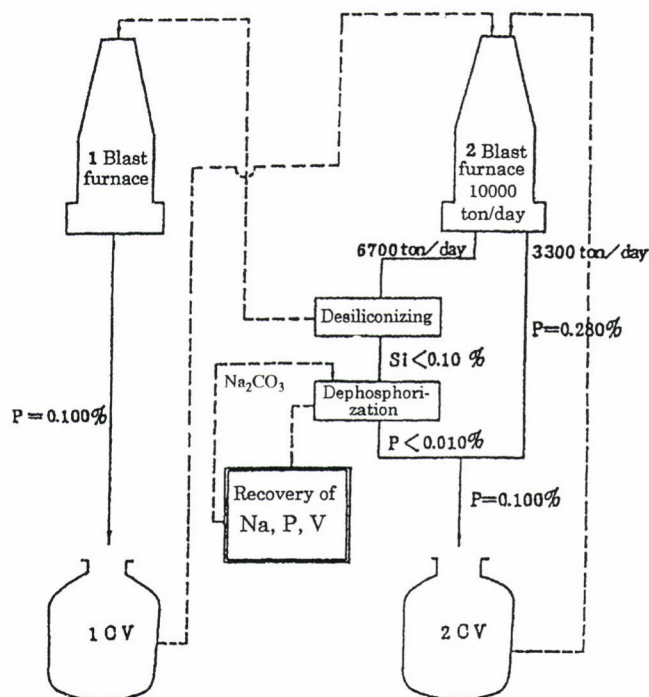


図13 Schematic flow of steelmaking slags recycling process

(4) 事例その4 (炭素資源)

炭材としては、不純な石炭、コークスを使用して、高炉の還元課程で一部溶鉄中に飽和までその炭素が溶解し、次の精練課程の転炉で高純度の酸素ガスにより脱炭され、多くの場合一酸化炭素ガスとして未燃焼でガス回収される。

この回収の時、空気との混合がなければ、理論的には極めて高純度の一酸化炭素が回収できることになる。現在までのところ、空気との混合により約10%ほどの窒素ガスが混入した一酸化炭素主体の未燃焼ガスとして回収されている。この転炉回収ガスは一酸化炭素ガスと窒素ガスとを経済的に分離することが難しいために、燃料ガスとしてしか使用されていない。すなわち、重油換算での燃料として数



☒ 14 Converter slag all return system

円/Nm³の評価しかされないのである。

転炉未燃焼ガス回収系が密閉構造化することが出来れば、転炉回収ガスを燃料としての評価ではなく、高純度一酸化炭素の化学用原料ガスとして、もう一桁高い評価にすることが出来る。

すなわち、高炉の還元工程と転炉の酸化課程で、鉄造りをしながら同時に、低純度の炭材から高純度の一酸化炭素ガスの製造をするプロセスとして製鉄所をより高度に完成させることになる。

もう一つ的事例は、高純度の炭酸ガスの製造である。前述のカルシウム資源のところで鉄鋼業では、石灰石を2000万トン強も年間で使用していることを示したが、冶金製錬用として石灰石(CaCO_3)を焼成して生石灰(CaO)を取り出して利用しているが、石灰石には質量比で約40%もの二酸化炭素(CO_2)もその結合物として含有している。しかもその二酸化炭素は化合物として固体の中に含有されている状態で極めて高純度である。従って現在のように空気燃焼であれば窒素ガスとの混合になってしまうが、焼成方法の改善により窒素ガスとの混合が避けられれば、生石灰と同時に高純度の炭酸ガスの安価な製造方法が確立することになる。

これは、製鉄所にインプットされた資源(石灰石)を完全に利用すると同時に地球温暖化の原因になる炭酸ガス放出を抑制するということになる。

資源の完全利用は、創資源であると同時にゼロエミッションであるから、地球環境に対して最も適合する製造プ

Metal	Market Scale (index numbers)
Steel	200,000
Gold	25,000
Aluminum	20,000
Copper	17,000
Lead	4,000
Nickel	4,000
Silver	4,000
Tin	4,000
Zinc	4,000
Uranium	2,000
Molybdenum	1,500
Platinum	1,200
Cobalt	1,000
Manganese	1,000
Titanium	1,000
Magnesium	700
Chromium	500
Tungsten	500
Niobium	300
Tantalum	300
Vanadium	300

(Source: Outline of an invitational lecture for Honda Memorial Award delivered by Toshio Ikejima at the Honda Memorial Meeting in 1986)

☒ 15 Market scale of metals

ロセスの完成に繋がるものである。

2) 社会循環における静脈系逆工場としての製鉄所の新しい任務

鉄鋼業の規模の大きさを見るために図15を示した⁷⁾。これは金額での比較であり、鉄は質量比率で最も安価であるということを考えると、物量の扱う規模、エネルギーの使用および排出量の規模等、社会を構成する業種の中でもその存在形態の大きさが、いろいろの角度から重要な働きをもたらすことが期待できる。

社会循環において、特に静脈系逆工場の整備、構築はまだ緒に就いたばかりであり、どの業種がその仕事を荷担してゆくかも見えていないのが現状であるが、製鉄業のこのキャパシティの大きさとその持っている機能を考えてみると、新しい都市型製鉄所としての逆工場の任務の大きさが浮かび上がってくる。

(1) 事例その 1 (鉄資源)

図16に日本における鉄スクラップの流通フローを示した。鉄スクラップに関しては、従来から循環使用が模範的に進んでいた事例として考えられており、新しいシステムの構築等は不要であるが、将来的に考えると新しい課題が内包されていると考えられる。それについて表5に4点の課題を列記した。いずれも重要で難しい課題であり、企業サイドでの技術開発はもちろんのこと、工学サイドでの研究課題もこれには沢山含まれている。

(2) 事例その 2 (亜鉛資源)

これは、表5の(2)項と関連することであるが、これから表面処理鋼板の大量還流の時期になってきて、亜鉛の問題は従来にも増して大きな課題になってくるであろう。図17

表5 Future issues of scrapped iron recycling

- (1) Accumulation and concentration of tramp elements
 - ・ Hot work crack due to concentration of copper
 - ・ Lowered descaling by pickling due to contamination of tramp elements
- (2) Recycling and reproduction of surface coating products
 - ・ Resources from zinc-containing iron dust
 - ・ Preventing tin contamination
- (3) Design of steel composition to facilitate alloy elements' recycling
 - ・ Elements hard to be recycled: Chromium, nickel, copper and manganese
 - ・ Elements easy to be recycled: Carbon, aluminum and silicon
- (4) Method of preventing dioxin generation in the process of melting scrap (containing scrap preheating)

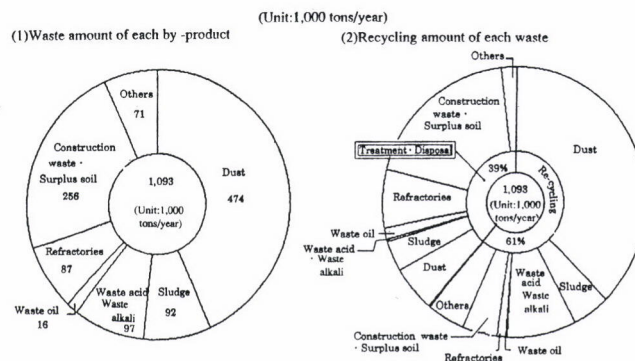


図17 Waste by-products and their recycling examples

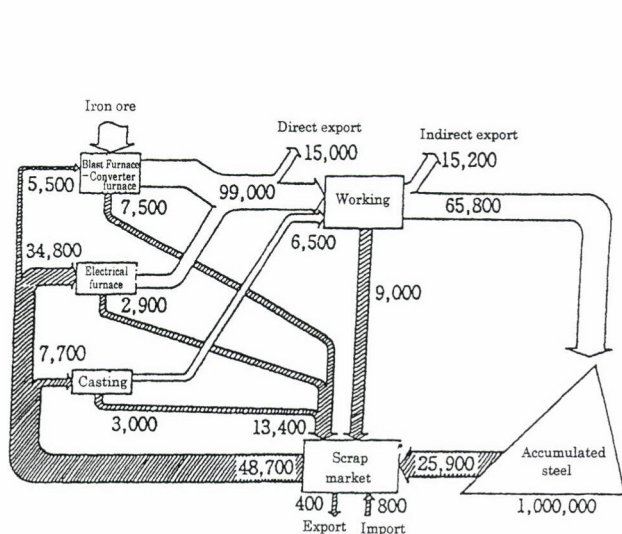


図16 Balance between steel production and scrap supply in Japan (Unit: 1,000 tons)

は、製鉄所発生のスラグを除いた副生物を示したものであるが、このダストは亜鉛含有鉄ダストであり、この処理については、日本の戦後の製鉄業の再開とともに課題として何等かの形で進んで来たものであり、そういう意味では土地感のある課題である。すなわち、従来は製鉄所内の仕事であったが、これからの資源と環境の観点から、社会全体のなかでの急増する亜鉛含有鉄ダストの有効処理のために、製鉄の今までの技術とキャパシティが活用される必然性があると考えられる。現在既に都市ごみ焼却灰も含めての減容処分プロセスの案は沢山提案されているが、資源回収の観点の薄いものは将来的には評価されにくいと考えられる。資源回収型としては、従来からのウエルツ方式のロータリーキルンがあり、住友金属鉱山の最近の改善事例の報告がある。また住友金属鹿島製鉄所の実績でも、脱亜鉛率96.9%、回収鉄中の亜鉛濃度0.2%、キルンダスト中の酸化亜鉛の濃度66%という高水準まできている。今後これらの技術が社会の静脈系に回ってきた資源回収に生かされ

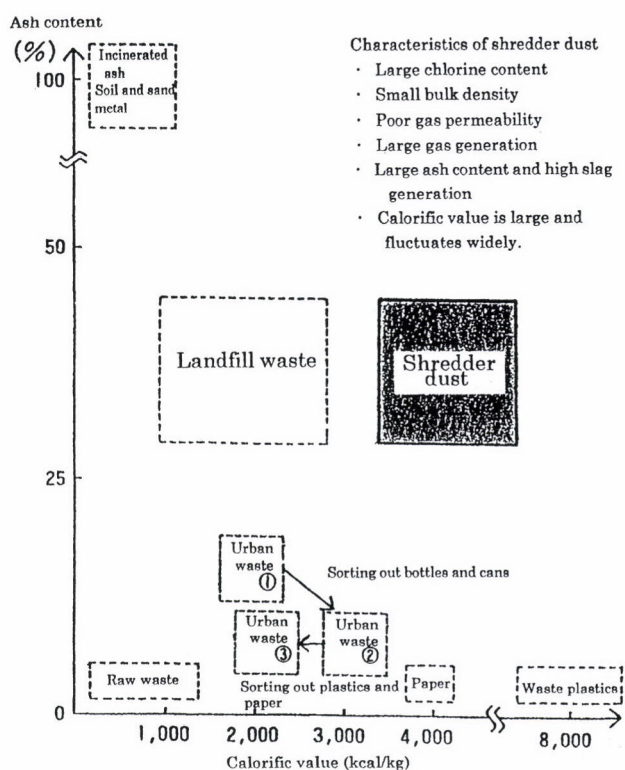


図18 Comparison between shredder dust and other wastes

る可能性は高いと考えられる。また開発段階であるが、溶融還元方式の多目的な資源リサイクルのプロセス開発も鋭意進められている。

(3) 事例その3 (エネルギー資源)

静脈系の課程に環流してくる廃棄物の中には、分子とか元素とかの資源として回収され利用されることは難しいが、エネルギーは未だ持っているというものもあり、そういうものからのエネルギーの回収は、例えばゴミ発電などが代表的なものとして挙げられ、限りあるエネルギー資源の有効活用の観点からも早急に軌道に乗せなければならない課題である。すなわち、廃棄物、ゴミは燃焼減容するという段階から、含有エネルギーの回収の段階にステップ

表6 An example of composition of waste ash

Item	Unit Item	Urban waste	Shredder dust	Landfill waste
SiO ₂	%	41.37	39.55	41.49
CaO	%	32.64	34.56	38.80
C/S	—	0.79	0.87	0.94
FeO	%	2.08	2.01	0.37
MgO	%	1.66	4.68	1.46
Zn	mg/kg	100	257	18.6
Cu	mg/kg	236	1,500	148
Cr	mg/kg	294	628	65.3
Pb	mg/kg	18.0	22.32	3.60
Cd	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01
Cl	mg/kg	56.4	62.4	77.7
As	mg/kg	<0.05	<0.05	<0.05
Hg	mg/kg	<0.01	<0.01	<0.01

アップして取り組まなければならない。図18にシュレッダーダストとその他のエネルギー含有廃棄物を発熱量と灰分量で示した。発熱量の大きいもの少ないもの、灰分量の多いもの少ないもの等様々なゴミからエネルギーを取り出すプロセス開発が、これまた多種多様な方式で現在鋭意進められている。ここにも鉄鋼業で培ってきた高温燃焼のプロセス技術が生かされようとしている。

ゴミからエネルギーを回収するにあたっての課題は、効率よくエネルギーを回収するということの他に、図18にも見られる灰分と塩素をどう始末するか、資源化するかも課題である。表6に灰分の組成を示したが、特に重金属の回収と燃焼時に発生するダイオキシンは、環境の問題として第1条件として充分配慮したものでなければならない。

3 展望—21世紀における製鉄業の新しい発展—

1) 21世紀の製造業におけるキーワード：エコ・カスケード・エントロピー

20世紀後半の指数関数的人口増加により、21世紀における地球の持続発展が危機的状況になっていることは前述の通りであり、それは地球規模でのエネルギー・資源の枯渇、地球環境問題に集約される。

これは政治的解決で済まされるものではなく、製造業の自己改革の問題でもある。従来製造業の長期計画の前提は政治的、経済的ファクターのみでよかったが、これからは、もっと上位の前提として上記の諸問題を考慮に入れなければならない。これは、製造業にとって難しく厳しい状況になると同時に、取り組みようでは、新たなビジネスチャンスにも、新たな飛躍にもなるということである。

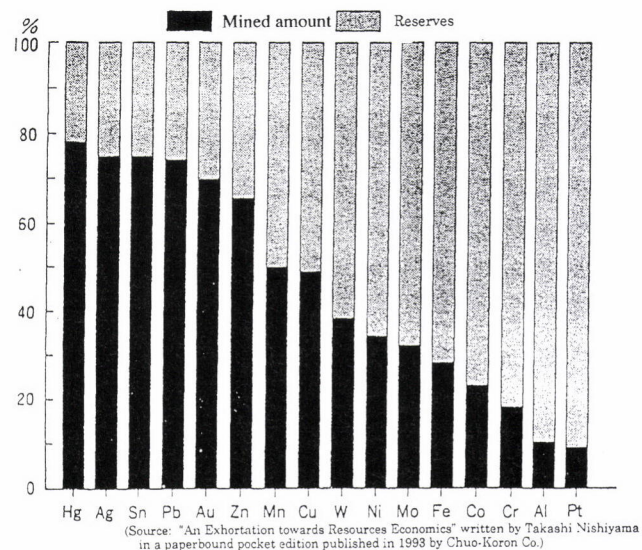


図19 Ratio of mined ore to the whole ore

(1) “エコ”について

エコとはEcology(生態学)から来たもので、循環とかりサイクルに関する事柄を意味している⁹⁾。

地球資源が鉱山から掘り出されて、製造業の手に掛かり人類の有用物として使われ都市周辺に廃棄される。

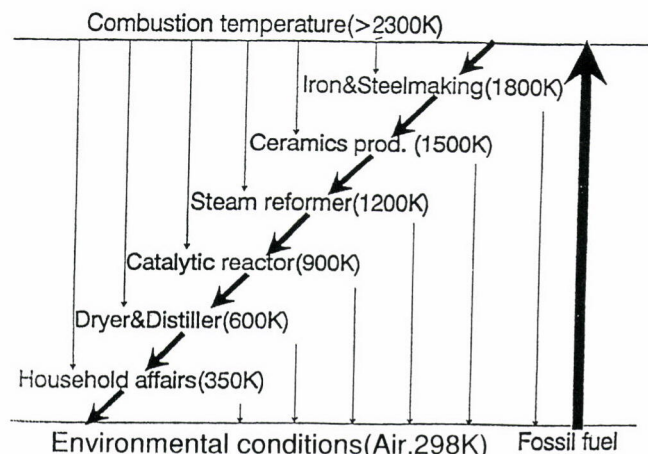
図19に示すように人類にとって有用な地球資源の内で、水銀、銀、錫、鉛、金、亜鉛、マンガン、銅は既に採掘比率が半分以上を超えてしまっているのである⁹⁾。自然の鉱山から半分以上無くなったものは廃棄され、都市鉱山となって眠っている。持続発展社会は資源循環無くしては考えられないのである¹⁰⁾。

これは廃棄されてから再資源化までの静脈系の逆工場の構築という課題に留まらず、従来の動脈系の正工場の製造思想の根本的見直し課題でもある。すなわち従来は、使い勝手の良さまでを考え、それを如何に安く作るかという仕事であったが、これからは再資源化するためまでの完全循環を考えた物(エコマテリアル⁹⁾)づくりに従来の動脈系の正工場を質的に変革、飛躍させなければならない。

(2) “カスケード”について

地球枯渇資源を大事に効率よく使用する方法論としてカスケード利用ということが、特にエネルギー利用においていわれている¹¹⁾。

図20にカスケードの説明を図示している。1800K以上の高温のエネルギーは製錬用に使い、少し温度が下がって1500Kでは耐火物・セラミックスの焼成に使い、更に下がって1200Kでは石灰石の焼成に使い…ずっと下がって350K以下になれば家庭用の炊事、暖房に使うというように、必要な熱エネルギーレベルに応じて高いところから低いところへ順に使って行くという考え方である。

図20 Example of the cascade use of thermal energy⁴⁾

日本の製造業では省エネルギーが随分進み、現在では頭打ちになっているくらいがあるが、このカスケードの考え方に沿って見直し、限りあるエネルギー資源を大事に使う工夫を更に向上させる必要がある。

このカスケード利用の考え方は、“もの”においても適用できる。例えば、木はまずそのまま建築用材として使い、廃材になったら乾留して吸着剤のような活性炭や様々な炭化水素の化合物の商品にする。高分子状から段々分解し低分子状で利用し、最後に燃やしてエネルギーとして利用するという利用の仕方である。

また、コークス製造過程でロダン廃液というものが発生し、現在これは燃やされて蒸気製造等の熱としてしか評価されていない。しかしこの液の主成分はチオシアン酸アンモニウムという化合物であり、鉄は溶かさずにコバルト、ニッケル、銅を溶解することの出来る特殊な化合物であり、マンガノジュールとかコバルトクラストからの高価金属の回収に使われる可能性が高い貴重な資源である。これも資源のカスケード利用の考え方からすれば、化合物としての特性を十分発揮させてから最後に燃焼させてエネルギーとして利用するという使い方にすべきものである。

これは、次のキーワードのエントロピーにも関連する。

(3) “エントロピー”について

熱学第二法則として「エントロピー増大の法則」がある。“エントロピー”は分かり易い日本語に置き換えると“汚れの量”¹²⁾あるいはその尺度である。

自然物のままで高純度の物、自然物にエネルギーと人間の労力を加えてできた高純度の物の利用の課程で、出来るだけエントロピーを上げない利用の仕方を、製造業の物造りの中で、生活の中で、リサイクルの中で、エコマテリアルの設計の中において工夫しなければならない。すなわち、高純度状態を大事にして、カスケード的に高純度の有効性を十二分に利用しつつ、エントロピーを徐々に増大さ

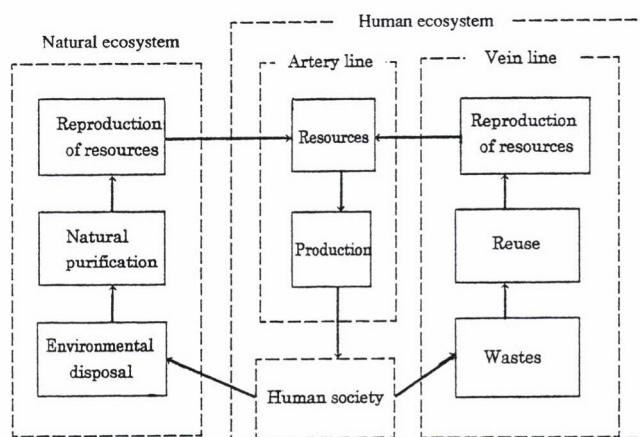


図21 Global ecosystem

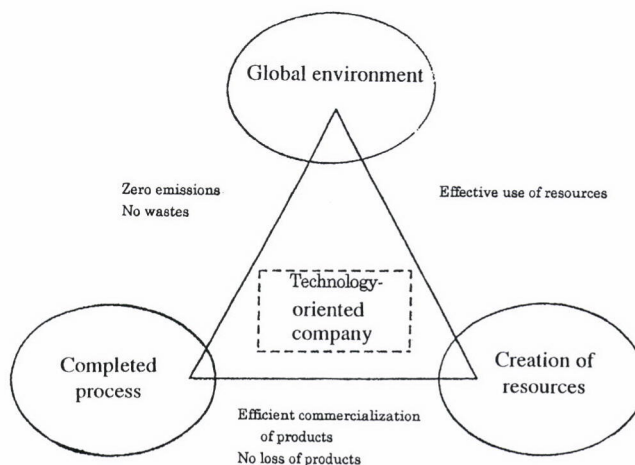


図22 Ideal manufacturing industry in the coming era

せて(汚して)行くやり方である。エントロピーの尺度で地球人類の全ての活動を見直し構築し直す仕事は、21世紀を持続発展社会へ向けて進めるために大きな意味をもたらすであろう。

2) 持続発展可能社会への任務とビジネスチャンス

地球を一つの生体として捉えたときに、図21に示すように動脈と静脈のはたらきがバランスして循環することが生き続けて行くために必要になってくる。これは、次の図22に示すように、一つは枯渇する資源を循環利用するため必要である。もう一つは地球環境の保全のために廃棄するものを無くする観点から必要になってくるのである。そしてそれを可能にするのが、製造プロセスの完成・完結であり、社会全体の循環の完成・完結である。そしてその暁に初めて持続発展可能な地球社会の展望が開けてくる¹³⁾。

すなわち、持続発展可能な社会への製鉄所に科せられた社会的・地球的任務を考えると、広義の新しい「都市型

製鉄所」のイメージが明確になってくる。それは鉄鋼材料の供給はもちろんのこと、地域冷暖房等生活エネルギー供給基地として、また使用済み資源・エネルギーの静脈系逆工場として、廃棄物無害化終末処分プロセスとして、単に場所として都市との関係が密接になるというだけでなく、新しい機能を持ってその存在が無ければならないものになってくるのである。

日本の鉄鋼業はその生産量が1億トンで頭打ちになり、成長はもちろんの事、斜陽産業になるというように考えられている向きもあるが、いままで述べてきたように、一つは製鉄プロセスの完成に向けての、自己完結製鉄所に向けての環鉄新事業の新たなビジネスの発展が拓けてくるであろう。そしてもう一つは、静脈系逆工場の任務を荷担していく方向での新しいビジネスの展開が拓けてくることである。

持続発展可能社会実現のためには、新しい時代に向けてのメタテクニカ・エコエティカ (Metatechnica Ecoethica)¹⁴⁾のような理念・哲学の確立と普及が必要であるが、そして同時に、実際にこれを実現させ機能させて行くためには、その必要な機能と働きが、ビジネスとして成り立たなければ実業の社会は進展しない。ビジネスとして成り立たせるためには企業努力ももちろん必要であるが、法の整備も必要であるし、この新しい課題に対する基礎工学の進展と諸工学の多面的な新しい結合が不可欠である。

従来の動脈系正工場の質的変革と新たな静脈系逆工場の創業を成し遂げ、持続発展可能社会を確立するために、これを導き支える哲学と工学の新しい発展を官、学、民の総知、総力の結集で進めなければならない。

引用文献

- 1) D. H. メドウズ他：成長の限界，ダイヤモンド社
- 2) 鉄鋼協会基礎研究会：炭酸ガス抑制と製鉄プロセスの未来，(1993) 7.

- 3) 地球温暖化問題ハンドブック，小宮山宏監修，アイシーピー
- 4) 秋山友宏，八木順一郎：鉄と鋼，82 (1996)，179.
- 5) 徳田昌則，水渡英昭，李宏杰：学振第19委反応プロセス研究会，H.6.9.27
- 6) 丸川雄浄：東北大学工学部博士論文，(1982) 7月
- 7) 池島俊雄：日本金属学会本田記念賞講演概要，(1986)
- 8) 山本良一：エコマテリアル革命，徳間書店
- 9) 西山孝：資源経済学のすすめ，中公新書
- 10) リサイクル工学，鈴木胖編，エネルギー・資源学会
- 11) 秋山友宏，八木順一郎：鉄と鋼，82 (1996)，177
- 12) 槌田敦：エントロピーとエコロジー，ダイヤモンド社
- 13) 丸川雄浄：人間・社会と新しい調和を求めて— 4，日本鉄鋼協会第133回秋季講演大会
- 14) T. Imamiti and J. Sato: Metatechnica Forum in Tokyo, (1994, 1995, 1996)

参考文献

1. ジム・マクニール他：持続可能な成長の政治経済学，ダイヤモンド社
2. 環境庁地球環境経済研究会：地球環境の政治経済学，ダイヤモンド社
3. 日興リサーチセンタ：環境ビジネス最前線，工業調査会出版
4. 環境ビジネス，日経産業新聞社編
5. ベネッセコーポレーション：地球の未来を守るために
6. ワイゼッカー：地球環境政策，有斐閣
7. 小西誠一：地球の破産，講談社
8. 小野晋也，新藤勇治：地球環境ビジネス読本，オーム社
9. 馬場猛夫：いま地球の財産を診る，教育出版センター
(1997年10月27日受付)



入門講座

システム技術編- 3

新しいシステムパラダイム

—大規模・複雑系への招待—

田村坦之

大阪大学 大学院基礎工学研究科 教授

Hiroyuki Tamura

A New System Paradigm

—Invitation to Large-scale Complex Systems—

1 まえがき

鉄鋼業における需要の拡大、省力化への対応、環境・資源・エネルギーを配慮した次世代生産などに対処するためには、既存プロセスの有効活用、今後の新製鉄技術への対処など、いわゆる大規模・複雑系を対象にした生産・運用・物流計画の最適化が不可欠である。

最適計画の視点で現行システムを見たとき、個別プロセスの効率最適化は比較的実現しているものの、複数プロセスにわたる大規模系の一貫最適化、異常・故障及び緊急オーダー対応のための再スケジューリング、複数の評価項目に対する複雑性の取り扱いなどの点ではまだまだ不十分である。

一方、最近コンピュータ処理能力の飛躍的向上やダウンサイジングと軌を一にして、OR(オペレーションズ・リサーチ)をベースにしたシステムティック手法及び遺伝的アルゴリズムを始めとするヒューリスティック手法の実用化、多目的最適化、自律分散スケジューリング理論の出現など、最適化とスケジューリングの理論は著しく発展してきており、大規模・複雑な鉄鋼プロセスの生産計画、運用の最適化、定量的評価の実現などを期待できる状況になってきた。システムモデリングや最適化の種々の方法論については本講座の1¹⁾、2²⁾に紹介されている。

本講座では大規模・複雑系に対処するシステム方法論として、構造モデリング、ファジィモデリング、大規模数理計画法、多目的計画法、効用理論、自律分散システム論、複雑系と創発などについて、紙数の許される範囲で概説する。

2 構造モデリング^{3,4)}

構造モデリングの目的は、対象とするシステムが大規模

で複雑なため、それを構成している多数の要素あるいは問題(サブシステム)が互いにどのような結合をしているのか不明な場合に、それらの間に存在する何らかの関係を、コンピュータの助けを借りて(グラフ理論でいう)グラフとして陽に抽出することにある。構造モデルを抽出する代表的な手法としては、ISM、DEMATEL、関連樹木法、Cognitive Map、Cross Impact Matrix 法などがある³⁾。グラフとして得られた構造モデルは、対象の定性的なモデルで、対象とする問題の理解、問題構造の分析、問題解決案の創出などに使われる。

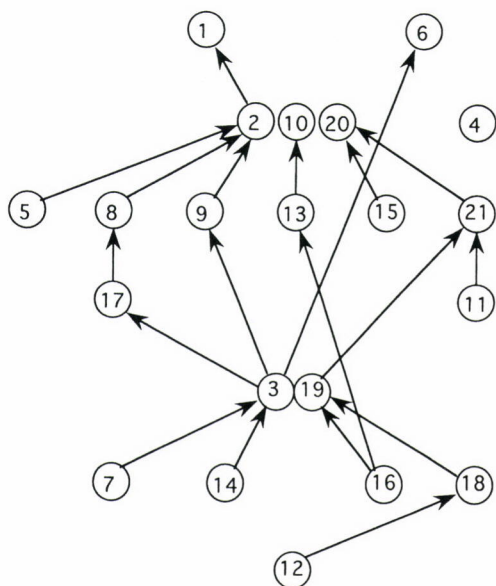
構造モデルを作成するための基礎理論はグラフ理論であるが、その高度な理論は必要なく、直感的に理解できる程度の入門的知識で充分間に合う。構造モデルは、その要素であるサブシステムを節点(点、頂点ともよぶ)とし、関係の有無を枝(線、辺、弧ともよぶ)とするグラフによって表現されることが多い。「関係」には、事象の因果関係、決定の順序関係、評価の優劣関係、先行関係、影響の多少など、対象のとらえかたによって千差万別である。

構造モデリングの概略のプロセスを示すと次のようになる⁴⁾。いま、構造モデルを抽出しようとするシステムは n 個の要素 $s_1, s_2, \dots, s_n$ から成る集合 S であるとする。要素 s_i と s_j の順序対を (s_i, s_j) と表す。集合 S に対して

$$S \times S = \{(s_i, s_j) : s_i, s_j \in S\}$$

を S の直積集合という。 S に属する2つの要素に関わる関係—これを2項関係(binary relation)という—が一つ規定されると、この関係を満たすような要素の順序対全体の集合 R が定まる。 S 上の2項関係 R は $S \times S$ の部分集合を意味し、 $R \subset S \times S$ と表せる。

$(s_i, s_j) \in R$ ならば「 s_i は s_j に対して R という関係にある」ことを意味し、 $s_i R s_j$ と書き表す。 $(s_i, s_j) \notin R$ ならば「 s_i は s_j に対して R という関係にない」ことを意味し、 $s_i \bar{R} s_j$ と書き表す。



1. 理論と実際のギャップが大きい
2. 事例研究が少ない
3. 産学共同が少ない
4. 高度成長時代の目標が喪失
5. ソフトに金を払いたがらない
6. 研究費が少ない
7. 国家的プロジェクトに参加する制御屋が少ない
8. 現代制御理論は抽象的で幅が狭い
9. 現実問題は複雑で理論を受け入れる下地ができていない
10. 理論へのニーズが発掘されていない
11. 学会のマンネリ化
12. 研究管理が不明確
13. 簡単な手法やハードウェアがない
14. 企業は問題を内部で処理したが
15. 模倣が多く創造性に欠ける
16. 社会人教育の不備
17. カリキュラムの理論偏重
18. 論文数だけによる評価
19. 理論と実際の橋渡し役がない
20. 学術情報過多、産業界情報過少
21. 経験の体系化の欠如

図1 構造モデルの一例

2項関係 R の具体例としては

影響を及ぼす、優先する、勝れている、先行する、悪化させる

など、数多くのものが考えられる。このような2項関係について2つの要素項目間の一対比較(pairwise comparison)を、コンピュータと人間の対話によって繰り返す。この際、推移性(transitivity) ($s_i R s_j, s_j R s_k$ を満たすとき、 $s_i R s_k$ を満たすという性質)を仮定できるときには、すべての要素間の一対比較を行う必要はなく、推移性を用いて推論できる部分はコンピュータに推論させる。

一対比較を終えると、可到達行列と呼ばれる行列モデルに置き換わる。この行列モデルは、コンピュータの中でグラフ理論に基づいて分割および抽出の操作が施され、スケルトン行列と呼ばれる行列モデルに整理される。スケルト

ン行列に基づいて、階層的な有向グラフが作図される。

構造モデルの一例を図1に示す。これは、「制御工学における理論と実際のギャップ」に関する問題解決を目的として構造分析を試みた結果を表している⁴⁾。

3 ファジィモデリング^{3,5)}

大規模システムを対象にして述べた構造モデルは、節点をサブシステムと考えるとサブシステム間の関係を2値論理として表した定性的モデルである。一方、物理系や工学系においては、複数のサブシステムあるいは要素間の関係を数式モデルという定量的モデルによって表現できる場合が多い。ファジィモデルは定性的な構造モデルと定量的な数式モデルの中間に位置するモデルで、そこではファジィ集合(fuzzy set)やファジィ論理(fuzzy logic)が用いられる⁵⁾。

ファジィモデルとして最もよく用いられるのは、人間の持っている経験則や常識(これは自然言語によって定性的に表現される)を「もし○○ならば○○である」といった条件命題の形で表現して、ファジィ集合によって表現したものである。そもそもコンピュータは2値的なものしか処理できないのに対して、人間の方はあいまいさの処理をたくみにやってのけるが、ファジィモデルはファジィ集合やファジィ論理を使って人間の自然言語の持っているあいまいさを数学的に扱うことができ、人間の優れた能力をコンピュータに代行させることができるという特徴を生かして様々な分野に応用されている^{3,5)}。

4 大規模数理計画法⁴⁾

複数のサブシステム(subsystem)の複合体からなる大規模システム(large-scale system)の最適化問題を、その構造の特殊性に着目して効率的に解く方法論を与えるのが大規模数理計画法である。このような複合体の最適化問題は、問題構造の形に応じた階層構造(hierarchical structure)のもとでパラメトリックなアプローチにより問題を解くところに特徴がある。そこでは分割(partitioning)あるいは分解(decomposition)と協調(coordination)という概念が重要な役割をはたす。図2に最適化問題の制約条件がもつ代表的な特種構造の例を示す。ここで、主ブロック角型構造(primal block angular structure)の問題は各サブシステム固有の制限条件と複数のサブシステムにまたがる制限条件を持った問題を表し、双対ブロック角型構造(dual block angular structure)の問題は複数のサブシステムが共有する変数を含む問題を表し、階段構造(staircase

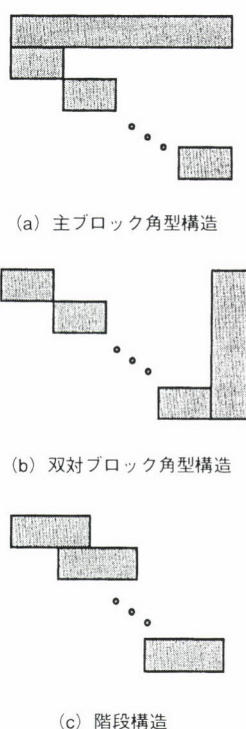


図2 大規模システムにおける特種構造の例

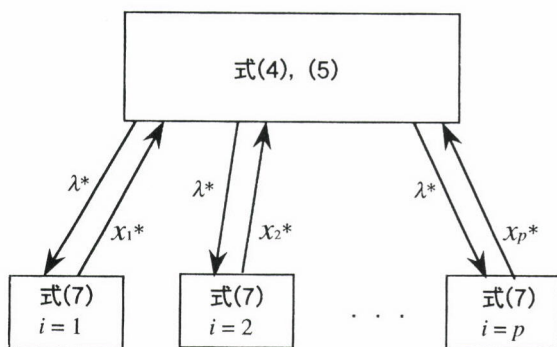


図3 2-レベル構造をもつ双対分割手法による最適化

structure)の問題は多段決定型の離散時間動的システム (discrete-time dynamical system)を表している。

主ブロック角型構造をもった線形計画問題を対象にした Dantzig-Wolfeの分解原理は古くからよく知られているが、大規模な問題の最適解を計算する上では内点法の威力に押されて、今ではほとんど使われなくなってしまった。しかし、階層構造をなす計画プロセスのもつ意味を解釈するうえでは、価格による協調法として今でも重要な意味を持つ⁴⁾。

主ブロック角型構造をもった非線形計画問題はつぎのように表される。

$$\min_{\{x_i\}} f_1(x_1) + f_2(x_2) + \dots + f_p(x_p) \quad \dots\dots\dots (1)$$

subject to

$$g_1(x_1) + g_2(x_2) + \dots + g_p(x_p) \leq b \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$\left. \begin{array}{l} x_1 \in \mathcal{Q}_1 \\ x_2 \in \mathcal{Q}_2 \\ \vdots \\ x_p \in \mathcal{Q}_p \end{array} \right\} \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 p はサブシステムの数、 $i=1,2,\dots,p$ に対して x_i はサブシステム i の決定変数、 $\mathcal{Q}_i$ はサブシステム i に固有の制限領域、式(1)は各サブシステムの目的関数の加形形で表現された全体の目的関数、式(2)は p 個のサブシステムにまたがった制限条件、式(3)は各サブシステムに固有の制限条件を表している。

式(1)～(3)によって表現された最適化問題を主問題 (primal problem)とする双対問題(dual problem)を考えると

$$\max_{\lambda} \phi(\lambda) \quad \dots\dots\dots (4)$$

subject to

$$\lambda \geq 0 \quad \dots\dots\dots (5)$$

のように表される。ここで、 λ は双対変数、目的関数 $\phi(\lambda)$ は次のように定義される双対関数を表す。

$$\phi(\lambda) = \min_{\{x_i \in \mathcal{Q}_i\}} \left\{ \sum_{i=1}^p f_i(x_i) + \lambda^T \left[\sum_{i=1}^p g_i(x_i) - b \right] \right\} \quad \dots\dots\dots (6)$$

双対関数すなわち双対問題の目的関数は、関数 f_i や g_i の凸性を仮定しなくても、常に凹関数になるので、式(4)、(5)に示した双対問題の大域的な最適解は、ある初期値 λ_0 からスタートして、何らかの勾配法によって求めることができる。この過程で、各 $\lambda = \lambda^*$ に対する $\phi(\lambda^*)$ の値とその勾配ベクトルの値を求める必要がある。 $\phi(\lambda^*)$ を求めるには、固定された λ^* に対してラグランジュ問題と呼ばれる最適化問題を解く必要があるが、これが次に示す p 個の小規模な最適化問題に分割される。 $i=1,2,\dots,p$ に対して

$$\min_{x_i \in \mathcal{Q}_i} \left\{ f_i(x_i) + \lambda^{*T} g_i(x_i) \right\} \quad \dots\dots\dots (7)$$

この解を $x_i = x_i^*$ とすると、これを式(6)に代入することにより $\phi(\lambda^*)$ の値を求めることができ、さらに、サブ勾配と呼ばれる勾配ベクトルを求めることができる。

このプロセスは双対分割手法と呼ばれるが、図3に示す2-レベルの階層構造のもとで、双対変数 λ をパラメータにして p 個の独立な小規模な最適化問題が繰り返し解かれ、双対問題の停留点が求められた段階で、主問題の最適解または準最適解が求まる。ただし、準最適解しか求められないのは、関数 f_i や g_i の凸性が成立しない非凸計画問題において双対ギャップが存在するとき、すなわち式(1)の最小値と式(4)の最大値が一致しないときのみである。

ここでは双対問題を分割して解く方法を示したが、他にも主問題のサブシステムに資源を割り当てることにより主問題を分割して解く方法もある。さらに、生産工程のスケジューリング問題を解こうとすると、離散変数(discrete variable)を含む組合せ最適化問題(combinatorial optimization problem)に遭遇するが、この問題に対する構造の特殊性を生かした分割手法については、今後の課題として残されている。

5 多目的意思決定論

複数の目的(評価基準あるいは評価属性)を同時にできるだけ高めるような解を求める問題は、多目的意思決定問題と呼ばれる。例えば、生産スケジューリングの評価基準が、生産量の最大化といった単一目的であることは稀で、納期遅れの最小化、設備の稼働率の最大化、段取り替え回数の最小化など、複数の相反する目的をできるだけ高めたいことが多い。

このような多目的意思決定における複数の目的がまったく独立で対等なものであるならば、パレート最適性以上の合理性を追及することはできない。ここで、パレート最適解とは、後で定式化するように、一つの目的を改善するには他の目的を犠牲にしなければならないような解を意味する。このようなパレート最適解は通常無数に存在する。

一般に、複数の目的がまったく独立で対等であることは稀で、複数のパレート最適解を意思決定者に示すと、それらの間に優劣の差がつくことが多い。このときには、複数の評価属性をひとまとめにする上位レベルの目的関数—これを多属性効用関数と呼ぶ—に基づいて選好判断を行っていると考えることができる。

多目的意思決定問題を数理的に扱うことの難しさと面白さは

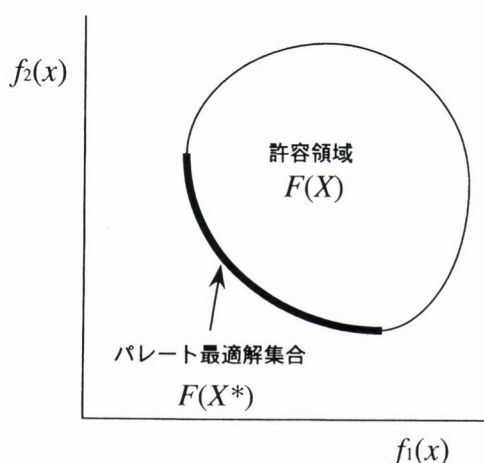


図4 パレート最適解集合

1) 多属性効用関数を陽に求めることなく、陰に存在する多属性効用関数を最大にする意思決定者の解をどのようにして求めるか？

2) 陰に存在する多属性効用関数をいかにして陽に取り出すか？

にある。1)に沿った理論が数理計画法を基礎にした多目的計画法⁶⁾で、2)に沿った理論が人々の価値観を数理モデルにしようとする効用理論⁷⁾と呼ばれるものである。

5.1 多目的計画法⁶⁾

多目的計画問題はつぎのように表される。

$$\min_x f(x) \dots\dots\dots (8)$$

subject to

$$x \in X = \{x : g(x) \leq 0\} \dots\dots\dots (9)$$

ここで、 $x \in R^n$ 、 $f(x) = [f_1(x), f_2(x), \dots, f_p(x)]^T$ 、 $g(x) = [g_1(x), g_2(x), \dots, g_m(x)]^T$ 、すなわち、 m 個の制限条件のもとで p 個の目的関数を最小にする n 次元の決定変数 x を求める問題として定式化される。 X は決定変数 x の許容領域を表す。

多目的計画問題(8)、(9)において、

$$f_i(x) \leq f_i(x^*), \quad \forall i=1,2,\dots,p \dots\dots\dots (10)$$

を満たす $x \in X$ が存在しないとき、 $x^* \in X$ を式(8)、(9)のパレート最適解(Pareto optimal solution)という。すでに述べたようにパレート最適解は一般に無数に存在し、解集合を形成する。いまパレート最適解集合を X^* 、目的関数の空間における許容領域を

$$F(X) = \{f(x) : x \in X\}$$

として、 $p=2$ のときのパレート最適解集合を図示すると図4のようになる。ここで $F(X^*)$ は目的関数空間におけるパレート最適解集合を表す。

パレート最適解集合を求める手法としては、重み付け法すなわち複数の目的関数のそれぞれの重みつき総和を最小化する単一目的の最適化問題を、重みの値をパラメトリックに変更して解くことにより求める方法、 ε -制限法すなわち式(8)、(9)の多目的最適化問題において r 番目の目的関数 $f_r(x)$ 以外の $(p-1)$ 個の目的関数に上限値 ε_k ($k=1,2,\dots,p; k \neq r$)を設定して不等式制限条件におきかえた単一目的の最適化問題を、 ε_k をパラメトリックに変更して解くことにより求める方法、さらに最近、遺伝的アルゴリズム(GA)の“集合による探索”という性質を使ってパレート最適解集合に属する複数の解を同時に求める方法⁸⁾などが提案されている。

多目的計画法の難しさと面白さは、パレート最適解集合を求めることもさることながら、パレート最適解集合の中から意思決定者が好む選好解をどのようにして求めるかに

ある。紙数の都合で詳細は省略するが、文献6)には、選好最適化による方法、満足化による方法、最適満足化による方法が示されているので参照されたい。

5.2 効用理論⁷⁾

多目的意思決定における複数個の評価属性をひとまとめにする上位レベルの目的関数すなわち多属性効用関数(multiattribute utility function)は、意思決定者の持っている価値観を分析して、その選好構造を定量的に抽出したものである。このような分析は効用分析(utility analysis)あるいは意思決定分析(decision analysis)と呼ばれて、様々な角度から議論されている。

このような多属性効用関数を直接求めることは困難であるので、各属性間に独立性や依存性を仮定して、直接測定する効用関数の属性の数を減らす分解表現を求めることが不可欠である。

5.2.1 期待効用モデル

意思決定者(Decision Maker、以下DMと略す)が選択することのできる代替案(alternative)の集合を

$$A=\{a,b,\dots\}$$

とする。DMが代替案 $a \in A$ を選択したときに、結果 x_i が得られる確率を p_i 、代替案 $b \in A$ を選択したときに結果 x_i が得られる確率を $q_i, \dots$ とし、起こり得るすべての結果の集合を

$$X=\{x_1, x_2, \dots\}$$

とする。このとき

$$p_i \geq 0, \quad q_i \geq 0, \quad \forall i \\ \sum_i p_i = \sum_i q_i = \dots = 1$$

を満たす。また、 X 上の効用関数(utility function)を $u: X \rightarrow R$ とすると、代替案 $a, b, \dots$ を採用したときの期待効用(expected utility)は、おのこの

$$E_a = \sum_i p_i u(x_i), \quad E_b = \sum_i q_i u(x_i), \dots \quad (12)$$

で与えられる。このように、結果が一つの属性によって規定されるとき $u(x)$ を単属性効用関数といい、複数の属性によって規定されるとき多属性効用関数という。

von Neumann-Morgensternは5つの公理を設定し、これらが成り立つときには、期待効用仮説「DMは代替案の集合 A の中から期待効用が最大になる代替案を選択する」を満たす基数的効用関数 $u(x)$ が存在することを証明した。いかにすると、このときにはDMは

$$a > b \Leftrightarrow E_a > E_b, \quad a \sim b \Leftrightarrow E_a = E_b \quad (13)$$

という規範に従って代替案を選択することを意味する。ここで、 $a > b$ は「代替案 a の方が b よりも好ましい」ことを表し、 $a \sim b$ は「 a と b の好ましが無差別(同等)である」ことを表している。基数的効用関数とは、原点と任意の単位を

指定すると一意的に尺度化できるもので、 $u(x)$ が上記の規範を満たす効用関数であるとする、任意の定数 $\alpha > 0, \beta$ に対して

$$u^*(x) = \alpha u(x) + \beta \quad (14)$$

もまた同じ規範をみたす。このような性質を「 $u(x)$ は正線形変換の範囲で一意的である」という。また、 $u(x)$ と $u^*(x)$ とは戦略的に同値であるともいう。

いま、 $\ell_a, \ell_b, \dots$ を、おのこの代替案 $a, b, \dots$ を選択したときにDMが直面するくじ(lottery)として

$$\ell_a = (x_1, x_2, \dots; p_1, p_2, \dots)$$

$$\ell_b = (x_1, x_2, \dots; q_1, q_2, \dots)$$

と書き表すことにする。ここで、上記の規範すなわち期待効用仮説(式(2))を次のように表現する。

$$a \geq b \Leftrightarrow \ell_a \geq \ell_b \Leftrightarrow u(\ell_a) \geq u(\ell_b) \Leftrightarrow E_a \geq E_b \quad (15)$$

ただし、 $a \geq b$ は「代替案 a の方が代替案 b よりも好ましいかまたは無差別である」ことを表し、 $u(\ell_a)$ と E_a は

$$u(\ell_a) = u(x_1, x_2, \dots; p_1, p_2, \dots) \\ := \sum_i p_i u(x_i) = E_a \quad (16)$$

を表す。この関係はくじの効用がくじの期待効用で表現されることを示している。

期待効用仮説に基づいて単属性効用関数を同定することができる。また、多属性効用関数を求める場合にも、多くの単属性効用関数を同定し、これらの関数(分解表現)として多属性効用関数を求めることができる。

5.2.2 多属性効用関数

結果 $x \in X$ が n 個の属性 $X_1, X_2, \dots, X_n$ によって特長づけられているものとする。現実には多目的評価における複数の評価項目がこれに相当する。このとき結果は順序対

$$x = (x_1, x_2, \dots, x_n), x_1 \in X_1, x_2 \in X_2, \dots, x_n \in X_n$$

で表すことができ、起こりうるすべての結果の集合は直積集合で表される。これを n 属性空間という。

n 属性効用関数は、 $X = X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n$ 上に $u: X_1 \times X_2 \times \dots \times X_n \rightarrow R$ として定義される。このような n 属性効用関数を直接求めるには、複数の属性を同時に考慮してくじに関する選好判断をしなければならず、実際にはほとんど不可能である。そこで、DMの選好に関して複数の属性間に種々の独立性や依存性を仮定して、直接測定すべき効用関数の属性の次元を減少させる分解表現を求めることが重要な課題となる。

種々の独立性の中で、最もよく実地に適用されてきたのはKeeneyの効用独立性(utility independence)とその特別な場合としての加法独立性(additive independence)である。このとき、多属性効用関数は加法形(重み付き和)または乗法形の分解表現によって表される。さらに、対象と

する問題が大規模になり、互いに競合した属性間のトレードオフ関係が複雑になってくると、ある属性に関する条件付効用関数の形が、条件として与える他の属性のレベルに応じて変化する場合は現れる。このとき、効用独立性の仮定が崩れることになる。このときには、条件付効用関数の形の変化に着目し、いくつかの異った条件レベルに対する条件付効用関数の間に凸依存性(凸結合で表しうる性質)(convex dependence)を仮定して、Keeneyの効用独立性、Fishburnの二側面独立性、Bellの補間独立性などを特別な場合として含む一般的な分解表現を見いだすことができる。

この凸依存性に基づく分解表現は、ある属性に関するDMのリスクに対する態度が、他の属性レベルに依存して変化する場合は表現できるので、DMの行動原理に関する記述的モデルとしても汎用性の高い多属性効用関数を構成することができる。しかも、そこで直接測定すべき効用関数は、多数個の単属性効用関数(条件付効用関数)だけでよいという特長を備えているので、一見複雑に見える分解表現も比較的容易に求めることができる。詳しくは文献7)を参照されたい。

6 自律分散システム論⁹⁾

鉄鋼業における情報処理機能のダウンサイジング、すなわち汎用コンピュータからワークステーションやパソコンなどの小型機器への移行とあいまって、分散協調型情報処理、低価格化、ユーザフレンドリといった効果が目論まれている。鉄鋼生産計画における複数のプロセスにわたる大規模系の一貫最適化を図るとき、その対象は大規模複雑なため集中管理を行うことには限界がある。また、システムへの要求が多目的になって、多様性、柔軟性に富んだシステム構成が必要になる。自律分散システムは、集中管理型システムの画一的な処理を効率的に行うのに比べて効率性は多少犠牲にしても、多様な要求に柔軟に適應できることが期待されている。

自律分散システム(autonomous distributed system)とは「システム全体を統合する管理機能をもたず、システムを構成する各要素(サブシステム、個)が自律的に行動しながら協調(coordinate)し、全体としての秩序を形成するシステム」と定義されている。そこでは、要素間の結合や相互作用はあらかじめ設定されず、ランダムな結び付きである初期段階から、秩序ある最終段階へ成長していく自己組織化(self-organizing)機能をもつ。したがって、周囲環境や目的が動的に変化すると、協調動作を変えて目的に合った新しい秩序を、変化する環境の中に作りだすことができる。

生物は、自律分散システムが自然の中に存在する典型例である。

自律分散システムは知的システム(intelligent system)と深い関わりをもつ。分散人工知能(マルチエージェントシステム)は、複数の自律する処理主体(エージェント)が互いに対等な立場で協調して広範囲の目的を達成する仕組みである。その処理形態はボトムアップ的であり、その一般的効用としてつぎのことがあげられている。

- 1) 多数のエージェントが集まって協調動作をすることにより、単体では不可能だった作業が実行可能となる。
- 2) あるエージェントが故障してダウンしても他が肩代わりすることができるので、システムの信頼性が向上する。

生産をとりまく周囲環境の変化に適應する自律分散協調型の次世代生産システムの実現に向けて、国際共同研究プロジェクトIMS(Intelligent Manufacturing System)の研究が進められている。次世代生産システムにおける自律分散について、そのあるべき姿を展望することは容易ではない。しかし、大量生産、大量消費、大量廃棄による量的拡大に依存した20世紀型工業文明は持続不可能である。先進諸国ではものが量的に充足してしまったので、質的な向上が要求される。次世代生産技術は資源エネルギー利用を極力おさえ、環境への負荷を最小限におさえたMinimum Emission Manufacturingが望まれる。そのためには、リサイクルの推進、使用可能な部品の再利用、製品寿命の長期化など、持続可能な生産技術への変身が必要である。このような環境変化に適應できる自律分散型生産システムの構築が望まれる。

次世代の自律分散型生産システムとして、生物型生産システム^{10,11)}が提唱されている。そこでは¹⁰⁾最適化方法論の転換、すなわち、システムの目標として“最適”を考えるのではなく、“調和”という新しい概念を設けることの必要性が主張されている。その理由として、大規模生産システムのモデル化の困難性、目的関数設定の困難性、非線形性、動的環境におけるリアルタイム性などがあげられている。

7 複雑系と創発^{12,13)}

「21世紀を動かす科学10大理論」のひとつとして“複雑性の科学”が話題になっている。では、複雑系(complex system)とは、またその基礎になる複雑性(complexity)とは何をさすのか。1983年、アメリカ、ニューメキシコ州のサンタフェに、複雑系を研究することを目的としてサンタフェ研究所が設立された。複雑性について統一した定義があるわけではないが、要素還元論や対象の単純化では対処できない数々の問題を、カオスや非線形現象を扱うときのよう

に、これまでと違った視点から研究する分野といわれている。そして複雑系とは「無数の構成要素から成るひとまとまりの集団で、各要素が他の要素と絶えず相互作用を繰り返す結果、全体として見れば部分の動きの総和以上の独自のふるまいを示すもの」とされており、この複雑系に特有の現象が、予期せぬ組織化や構造化やパターンの出現となって現れる創発(emergence)と呼ばれる現象である。

すでに見てきた階層構造をなすシステムにおいて、下位レベルにある個々の構成要素間の局所的相互作用の結果、下位の構成要素を支配する法則だけでは説明できない性質や機能が上位レベルになんらかの大域的構造として出現する。この構造によって規定された全体的な特性が下位にフィードバックされて、構成要素のふるまいに影響を及ぼす。創発とはこの過程の全体であり、動的な概念である。この図式を下位から見れば機械論の見方になるし、上位から見れば目的論の見方になるが、複雑性の科学は上下双方向の見方を統合的にとらえることができ、そのときのキーワードが創発ということになる。この「全体は部分の総和以上である」という点は、以前から“システム”のもつ顕著な特性として認識されてきたが、複雑系が取り扱う非線形現象としてあらたに議論されている。わが国でよく知られている遺伝的アルゴリズムの創始者Hollandや人工生命の創始者Langtonは、ともに複雑系の先行者であることも付記しておきたい。

わが国では、神戸大学 北村新三教授を研究代表者にして文部省科学研究費重点領域研究「創発システム」が進められているが、その成果が期待される。

8 おすび

本講座では、大規模・複雑系を対象にした新しいシステムパラダイムへの入門的解説を試みた。詳しくは参考文献を参照していただきたい。これが今後の鉄鋼業における大規模一貫プロセスの生産計画、運用の最適化、定量的評価の実現などにすこしでも役に立つならば、筆者の望外の幸せである。

参考文献

- 1) 藤本英雄：ふえらむ，3 (1998)，33.
- 2) 玉置久：ふえらむ，3 (1998)，101.
- 3) 寺野寿郎：システム工学入門—あいまい問題への挑戦—，共立出版，(1985)
- 4) 田村坦之編著：大規模システム—モデリング・制御・意思決定—，昭晃堂，(1986)
- 5) 田中英夫：ファジィモデリングとその応用，朝倉書店，(1990)
- 6) 中山弘隆，谷野哲三：多目的計画法の理論と応用，計測自動制御学会，(1994)
- 7) 田村坦之，中村 豊，藤田眞一：効用分析の数理と応用，計測自動制御学会編，コロナ社，(1997)
- 8) 玉置久，森正勝，荒木光彦：計測自動制御学会論文集，31 (1995) 8，1185.
- 9) 伊藤正美，市川惇信，須田信英編：自律分散宣言—明日を拓くシステムパラダイム—，オーム社，(1995)
- 10) 沖野教郎：生物型生産システム—集中から分散へ—，朝倉書店，(1993)
- 11) 上田完次：生物指向型生産システム，工業調査会，(1994)
- 12) 吉永良正：「複雑系」とは何か，講談社現代新書，(1996)
- 13) 「21世紀を動かす科学10大理論」最新科学論シリーズ 31，学習研究社，(1996)

(1997年12月26日受付)



鉄の歴史

戦後復興・発展期における我が国鉄鋼製造技術史—技術編 戦後40年間ににおけるアーク炉製鋼法発展の歩み

池見恒夫

(株)日本製鋼所 社友

Tsuneo Ikemi

Progress of the Development in Steelmaking Technique by the
Electric-arc Furnace in a Period of 40 Years after the End of the War

1 まえがき

顧みるに、我が国の鉄鋼業界において、平炉製鋼法操業が停止し完全に姿を消してしまったのは1977年(昭和52年)であった。そして戦後復興期における鉄鋼業の第二次合理化計画発足と同時に、1956年(昭和31年)革新的な製鋼法としての純酸素上吹き転炉製鋼法(LD転炉製鋼法)の導入が始まり、遂に1963年(昭和38年)には、転炉鋼の生産は平炉鋼の生産量を凌駕し、転炉鋼は完全に製鋼技術の主流の地位を占めるに至った。

一方戦時中は、もっぱら特殊鋼生産用設備であったアーク炉製鋼法は、戦後復興期における第一次合理化計画の実施が進むにつれ、銑鋼一貫法の分野と対比して後塵を拝し

たとはいえ、昭和27年、28年頃から社会情勢の変化も加わって、アーク炉製鋼法の領域にもその合理化の気運が台頭し出した。続く第二次合理化計画の枠内においては、機械工業の復興に伴い、一般鑄鍛鋼並びに特殊鋼の需要が次第に活気を呈するようになって来た。従って各電気炉鋼メーカーは、この機に及び積極的に製鋼設備の新增設を始めとして、精製設備に至るまで一貫してその合理化に着手した。従って昭和30年代以降においては、普通鋼の分野への進出もめざましくなり、アーク炉による粗鋼生産量は次第に増大し、その製品は鉄鋼市場において多大な貢献をするまでに発展した。このような趨勢と経過を辿りつつ、アーク炉製鋼法は転炉製鋼法と併存して、現在我が国粗鋼生産量の一翼を担っている。

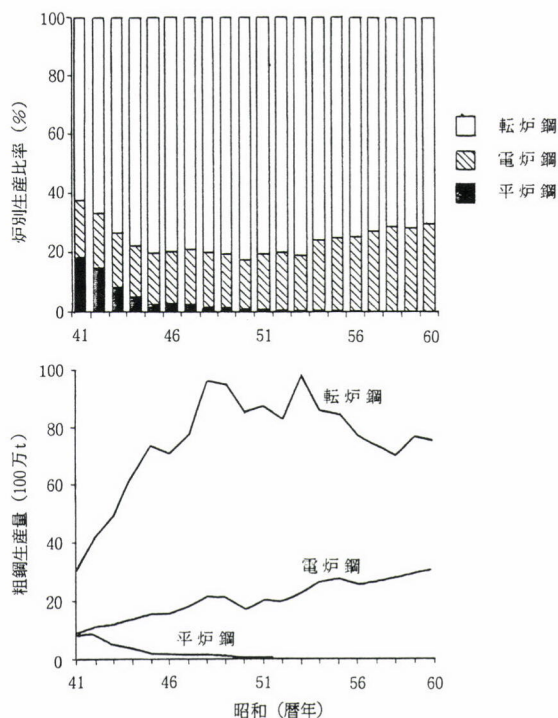


図1 日本の粗鋼生産量及び各炉別生産比の推移

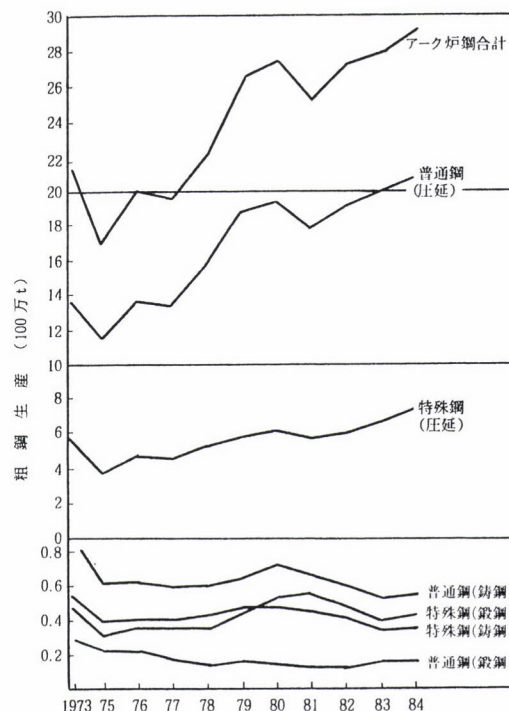


図2 わが国アーク炉鋼の品種別生産量推移

因みに量的拡大が終った1973年(昭和48年)以降の粗鋼生産量の推移を、製造プロセス別に見ると図1、2に示すように、転炉鋼が漸次減少してゆく中で、アーク炉鋼は着実に増加し全体に占めている比率が、1973年(昭和48年)の18%から1984年(昭和59年)には30%にまで増加している事が分かる。しかも今後とも、引続きこの比率が漸増していくであろう事は想像に難しくない所である。上述した所から類推して、戦後におけるアーク炉製鋼法の発展は、1970年(昭和45年)から1985年(昭和60年)の15年間に最大の躍進期を迎えたといえそうだ。そして引続きその後もアーク炉製鋼法は、戦後30年ないし40年間で蓄積した技術力・技能がベースとなり原動力となって、更に新技術・新設備を導入し、工業用製鋼法として絶えず堅実な発展を続け、その地位をますます確固たるものにすると断言してもやぶさかでない(図3、図4)。今回「ふえらむ」からの起稿依頼に応え、日本鉄鋼協会共同研究会電気炉部会に在籍し、部会の各位とアーク炉製鋼法の進歩発展に研鑽を重ねてきた一員としての立場で、戦後30年ないし40年間ににおけるアーク炉製鋼製造技術とプロセスの発展と変遷について回顧し、新企画の御要望に応えたく存する次第である。

2 戦後復興期における発展への歴史的背景

「戦後復興期におけるわが国鉄鋼技術の発展」¹⁾の中で詳細に明記されてあるように、戦後復興期の当初において、米国の政策措置の一つとして我が国鉄鋼業の自立化が強調

され、それに対しての全般的な援助が打ち出された。その中に米国鉄鋼技術者の来日指導が含まれていた。この来日指導は自立化早期達成の必要性から、戦後早々1949年(昭和24年)に全国有数の製鉄製鋼工場において果敢に実施された。この指導が大きな刺激・教訓となって、我が国の製鋼作業の躍進が始まったとしても決して過言ではない。筆者はこの歴史的背景の存在に対して今更ながら敬意と感謝を捧げたく思っている一人である。この援助指導により、平炉操業は酸素製鋼法の導入と大型化による大量生産方式への転換をテーマに、紹介された米国式鉄鋼業の作業方式の追従を目指した。

アーク炉操業は直接には対象外であったといえ、鉄鋼一貫メーカーも屑鉄平電炉メーカーも、同じ市場で我が国鉄鋼業の自立化達成に邁進している以上、同様に米国式製鋼作業方式に刺激をうけ、第二次鉄鋼合理化計画実施の頃には、アーク炉製鋼法の製鋼部門での合理化として

- ①酸素の有効利用による生産性の向上
 - ②電極のアンプリダイン自動調整装置の設置等による生産能率の向上
 - ③トップチャージ・システムへの切り換えと採用
 - ④新設アーク炉としてレクトロメルト式及びアメリカンブリッジ式の導入
- 等が合理化の先鞭を切るに至った。

3 産・学・官一体の共同研究体制の整備と確立

米国の対日政策措置であった鉄鋼業の自立化に対し、我が国鉄鋼界においては、鉄鋼協会が主幹となって1948年(昭和23年8月1日)には既に鉄鋼技術研究連絡会が編制され、引続き1954年(昭和29年10月1日)には鉄鋼技術共同研究会へと発展、更に1963年(昭和38年1月1日)には日本鉄鋼協

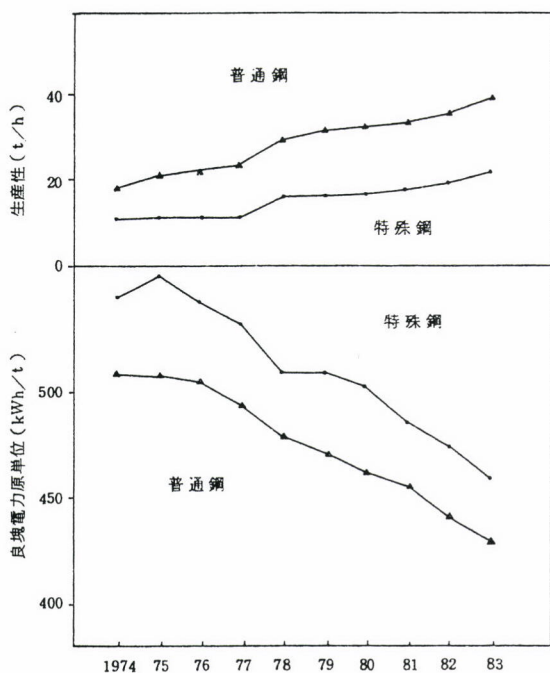


図3 生産性 (t/h) と電力原単位 (kWh/t) の年次別推移

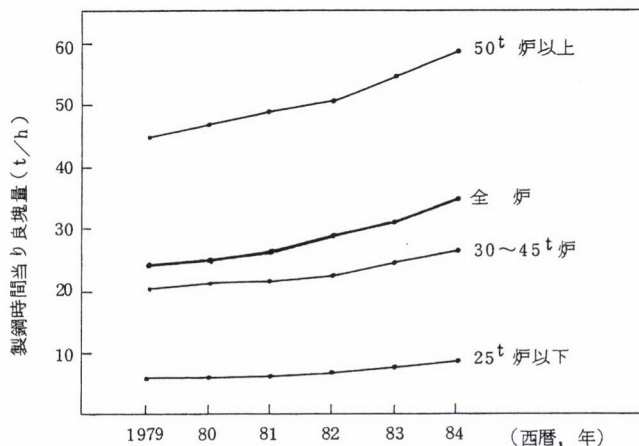


図4 アーク炉製鋼における生産性推移 (年次別)

表1 我が国のアーク炉設備の戦後40年間における変遷と推移

炉 容 量 (公 称)	設置またはトランス容量アップ年								84年末現在合計				附属装置との組合せ (EAP基数)				備 考	
	1959以前		60～69		70～79		80以後		平均トランス容量 (MVA)	トランス容量の別			防燃 メタラ ップ 手 熱	二 次 精錬炉	連続 鋳造			
	基数	平均 トランス容量 (MVA)	基数	平均 トランス容量 (MVA)	基数	平均 トランス容量 (MVA)	基数	平均 トランス容量 (MVA)		R P	H P	UHP						
12 ^t 以下	73	—	60	—	29	—	5	—	167	—	—	—	—	3	2	16	2	HPの範囲 (MVA) 30 ^t 15～19 40 ^t 18～23 50 ^t 21～27 60 ^t 24～32 70 ^t 26～35 80 ^t 28～38 90 ^t 32～43 100 ^t 34～45 120 ^t 38～52 140 ^t 40～54
15 ～ 25 ^t	11	—	21	—	19	—	5	—	56	—	—	—	—	8	4	16	20	
30 ～ 40 ^t	2	15	19	16	25	23	8	35	54	22.4	10	13	31	24	29	17	35	
50 ～ 60 ^t	0	—	11	21	28	32	4	45	43	30.4	10	10	23	24	12	18	31	
70 ～ 90 ^t	0	—	7	36	9	46	5	48	21	45.7	1	4	16	12	6	13	16	
100 ～ 120 ^t	0	—	2	32	7	62	0	—	9	55.3	1	3	5	6	4	6	5	
140 ～ 200 ^t	0	—	1	50	2	72	0	—	3	64.7	0	1	2	3	0	0	3	
大 (30 ^t 以上) 計	2	15	40	23	71	35	17	41	353	—	22	31	77	80	57	86	112	

会共同研究会へと、今日に見るような周到な組織が完成し、組織を構成する12部会(昭和53年には18部会)はそれぞれ自由にユニークな立場で、戦後の復興期から発展成長期にかけて、鉄鋼技術の進歩ひいては鉄鋼業の躍進に大きな牽引力の役目を果たした。

翻って、アーク炉製鋼法の分野は、永年製鋼部会内での一セクションとして、平炉・転炉製鋼の分野と共に質と量の向上を、また特殊鋼部会では高級特殊鋼の製造をテーマとして研鑽を重ねて来た。しかしながら、戦後の発展成長期を迎える頃までの長い期間において、アーク炉製鋼法による粗鋼生産量は、我が国における全体の粗鋼量から見ると、その割合は低くてスケールは小さく、しかも特殊な分野として位置づけられ、どちらかというと、平炉・転炉の付随的な存在となっていた感が強かった。

しかしながらアーク炉鉄鋼法も、戦後の復興期から発展成長期と進むにつれ、市場の需要の拡大と、経済成長の貢献の期待にこたえて、製造技術ならびに生産性は偉大な躍進を遂げ、鋼材製造プロセスとして高い総合評価を受けるようになった。従って時ここに至って、アーク炉製鋼会社とアーク炉製鋼作業を任とする人達が、アーク炉製鋼法の研鑽と発展を使命とする電気炉部会の設立を協会当局に懇請し、昭和48年にその実現を見るに至った。

過去においては鋳鍛鋼並びに特種鋼メーカーは、ややもすると企業間競争の不文律もあって、終息になりがちな雰囲気宿していたが、部会結成後は審議議題を共通テーマと自由テーマの二種類に区分し、いわゆる情報化の時代に適った技術・技能・見解等の交流で、フランクな切磋琢磨をモットーに、不断的努力を積重ね、個人が所属している各企業並びに鉄鋼界の進歩発展に対して大いに寄与して来た事は否めない所である。

4 戦後におけるアーク炉製鋼法の発展に寄与した製造技術の改善

アーク炉製鋼法は転炉製鋼法と共に、現在我が国における代表的な工業製鋼法であり、益々その地位を高めつつあるものと思える。この要因としては、まづ元来アーク炉製鋼法が保有している特質、すなわち高炉一転炉製鋼法に比して設備投資額が少なく済むこと、製造可能鋼種の範囲が広いこと、操業に弾力性がある事が考えられる。しかしアーク炉製鋼法は1960年代(昭和35年以降)になって、アーク炉容量の大型化と普通鋼生産への進出から始まって、その後の高電力操業炉の出現や、炉外精錬炉(LF)の採用並びに連続鋳造法(CC)との連結等、その効率化を高範囲に追求した結果、二度に亘るエネルギー危機を乗り越え、1984年(昭和59年)には2900万tと我が国の全粗鋼生産量の30%近くを占める程に伸長した。以下のようなアーク炉製鋼法の発展に寄与した製造技術の改善の実体概要をひもといて見ることにする。詳細は共同研究会電気炉部会が、

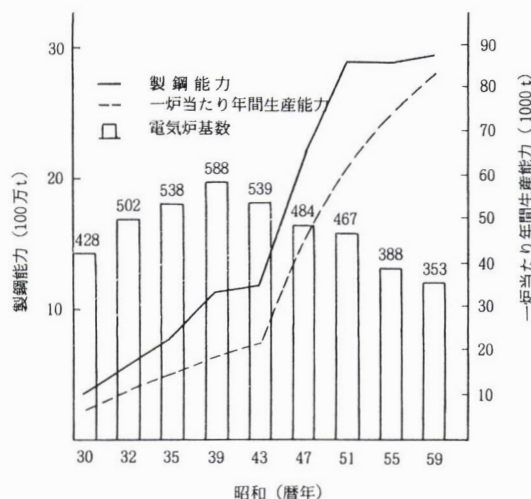


図5 電気炉生産能力と稼働基数の推移

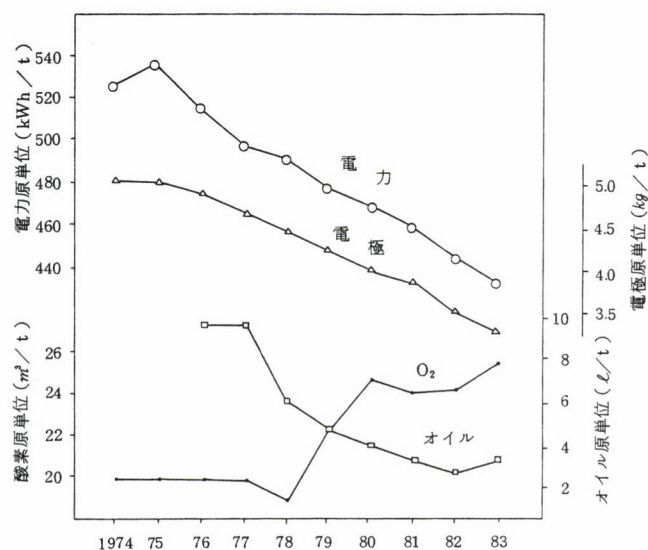


図6 主要エネルギー原単位の年次経過

部会活動を通して編纂し日本鉄鋼協会が発刊した、「最近のアーク炉製鋼法の進歩」3巻²⁻⁴⁾に集録されているので、本稿ではその概略の記載のみに留める事で御容赦願いたい。

4.1 アーク炉の大容量化と高電力操業の導入

我が国のアーク炉製鋼法に変革をもたらす一つの契機になったのが、高電力操業の導入である。高電力アーク炉は(HP炉、UHP炉)当時の高度経済成長のもとに、高能率操業への有力な手段として、大型炉の新設と共に広く採用され顕著な生産性向上に貢献した。

1984年(昭和59年)12月末現在、我が国に設置されているアーク炉で調査した結果を表1、図5に示すが、1970年(昭和45年)以降新設もしくは改造されたアーク炉のトランス容量は、それ以前と較べて二倍以上の大容量を持つ炉が多くなった。

4.2 酸素の有効利用

溶解促進手段を併用して、アーク炉の生産性を向上させる事を目的に、酸素富化操業(含粉体吹込技術)と共に、灯油(又は重油)―酸素バーナーあるいはLNG等のガスバーナーを付加して使用する方法が普及し、アーク炉の大容量化と共に、生産性向上に大いに寄与した(図6、図7)。

現在の熱精算(表2)では、アーク炉への投入エネルギーの有効利用率は、統計的に約55%となっており、残りの45%は廃熱エネルギーとして放棄されている。従ってこの廃熱の利用は当然今後とも重要な課題として取上げられねばならない。このような現実が背景となり省エネルギーの観点から、アーク炉廃ガスの顕熱を有効利用する事を目的とした、スクラップ予熱装置(表3)が1980年(昭和55年以降)代

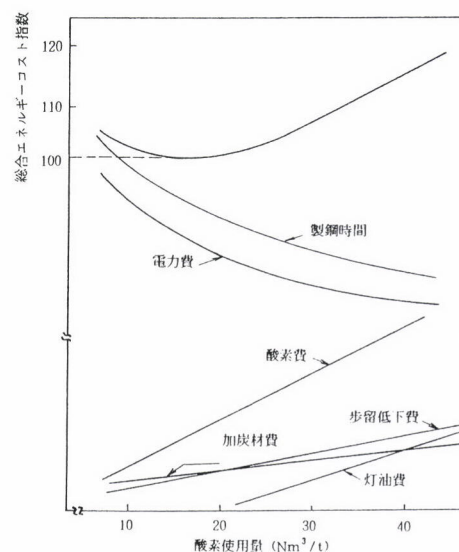


図7 酸素使用量と製鋼時間及び総合エネルギーコスト指数

に入って採用されるようになって来た。

4.3 炉外精錬炉の導入と新しいプロセスの展開

アーク炉の生産性向上と、アーク炉鋼の高品質化対応への有力な方法として、炉外精錬炉が(表4、表5)出現した。この導入は同時に在来の製鋼法を踏襲するアーク炉の負荷軽減をもたらした。アーク炉とLFとの機能分担、すなわちアーク炉はその大電力を利用して迅速溶解、酸化精錬および昇温工程を分担し、成分調整、還元精錬という低電力利用期は、LFで処理する事により、全体として高い生産性(表6)を得る事が狙いである。この新しいプロセスの展開は、更に次工程に連続鋳造法(CC法)を連結させて、下記に示すような生産システムの創出へと進展していった。

- (1) アーク炉―LF―CC；普通鋼メーカーでの採用が多い
- (2) アーク炉―LF―RH(DH)―CC；特殊鋼メーカーでの採用が多い
- (3) アーク炉―LF(V)―真空鋳造；鋳鍛鋼メーカーでの採用が多い

ここで一言鋼の真空処理について言及することにする。というのは、1959年(昭和34年)に通産省が仲介の労を取り、当時我が国の鋳鍛鋼メーカーであった三社(神戸製鋼所、三菱製鋼所、日本製鋼所)が、協同で、西独のBochumer Verein AGが開発した真空鋳造法を導入して、主として大型鋳鍛鋼の品質改善を図った歴史的背景についてである。当時筆者が勤務していた日本製鋼所室蘭製作所では、鋳鍛鋼の製造において酸性平炉鋼製のものが最も勝れており、大型鋳鍛鋼品になる程製造過程にあるいは製品で発生する水素性欠陥が少なく、素材としての清浄度が高く、鋼質として強靱性に富むという見解が普遍的であった。確かに酸性平

表2 アーク炉熱精算例

区分	項目	エネルギー収支 $\times 10^3 \text{ kcal/t (}\%)$		
		A	B	C
入熱	電力	388 (65.7)	390 (61.7)	(61.0)
	酸化熱			
	装入材酸化熱	167 (28.2)	140 (22.2)	(31.0)
	加炭材酸化熱			
	バーナ燃焼熱	—	59 (9.4)	—
	電極酸化熱	31 (8.3)	30 (4.8)	(6.2)
出熱	その他入熱	5 (0.9)	12 (1.9)	(1.3)
	合計	591 (100)	632 (100)	(100)
出熱	溶鋼含有熱	333 (56.3)	345 (54.6)	(52.5)
	スラグ含有熱	72 (12.2)	50 (7.9)	(7.3)
	炉外への出熱			
	排ガス(集じん機)	74 (12.5)	130 (20.5)	(16.8)
	冷却水	65 (11.2)	34 (5.4)	(3.3)
	炉体輻射	18 (3.1)	33 (5.3)	(10.8)
合計	その他出熱	28 (4.7)	40 (6.3)	
	合計	591 (100)	632 (100)	(100)

出典 A: 鉄鋼便覧、製鉄鋼鋼(昭和54年) 日本鉄鋼協会
 B: 第15回電気炉部会資料(特別講演(株)ニッコー) 日本鉄鋼協会
 C: 第15回電気炉部会資料(作業調査表) 日本鉄鋼協会

炉は製鋼作業の精錬過程で、溶鋼中ひいては凝固鋼塊中の含有水素量および酸素量を、塩基性平炉および塩基性アーク炉と対比して、安定して低値を確保する事が出来た。従って不良品・廃却品の発生を未然に防止出来て、他法によるものとはその出来栄えにおいて顕著な差異を示していた。しかしながら、アーク炉鋼に上記の真空鋳造法を適用する事により、鋳造過程で溶鋼中に含まれている水素量は激減、酸素含有量を平衡理論値までに低減し得て、酸性平炉鋼製に優るとも劣らぬ鋳鍛鋼品を、アーク炉で製造し得る自信が持てるようになった。このようにして、特に大型鋳鍛鋼品に対しては、致命的だと懸念されていた品質上の欠点を矯正し得たので、当所では多くの長所を保有していたアーク炉が酸性平炉を駆逐し得て、他社と同様1977年(昭和52年)にはアーク炉製鋼のみで全鋼種を溶製し得る姿に変貌出来た。要するに、真空処理により、アーク炉鋼の高品質確保が約束された事は、安心してアーク炉鋼の適用鋼種の拡張を含め、生産量の拡大に挑戦出来る嬉しいきっかけとなった事を付言しておきたい。と同時にBochumer Verein AG開発の真空鋳造法は、真空中で鋳造して鋼塊を作る造塊法の一つであり、戦後粗鋼の工業生産においては、世界で始めて実用化された技術・設備であると共に、我が国においては三社がこの新技術を導入した事により、実際の製鋼作業中に真空処理工程を取込んで鋼の高品質化を図った最初の試みであった事を記憶に留めて置きたい。

4.4 連続鋳造法との連結

我が国においてCC設備が本格的に採用されたのは、1965年(昭和40年)以降であり、1970年(昭和45年)を境にして、急速に普及しCC比率も90%に到達した(図8)。CC法は高

表3 アーク炉操業実績値比較

	電力 kWh/T	酸素 Nm ³ /T	灯油 L/T	On-Tap 分	電極 kg/T
予熱無し	458	20.5	3.8	88.7	3.9
予熱有り	409	20.4	3.7	80.3	3.6
差	$\Delta 49$	$\Delta 0.1$	$\Delta 0.1$	$\Delta 8.4$	$\Delta 0.3$

表4 二次精錬炉の種類・基数(1984年)と生産量(1985年)

(単位: 1,000 t)									
精錬法	LF	VOD	AOD	RH	LD	VAD	ASEA	DH	合計
基数(1984年末)	26	10	13	8	18	2	4	3	84
生産量(1985年)	5,991	224	1,110	1,452	104	3	223	その他含む 289	8,819 (アーク炉鋼比 49%)

歩留り、省エネルギープロセスとして急速に発展してきたが、最近では熱片を加熱炉に装入するホットチャージや、搬送ラインに誘導加熱装置を設けた直送圧延を目的としたCC設備が建設され、圧延との連結化によりますます省エネルギー効果を発揮している。かくしてCC法との当を得た連結は、むしろこれからの課題としてのアーク炉鋼製品のトータルシステム化の範囲内で検討され、ますますの生産性向上とコストミニマムの達成に挑戦してゆくべきものと考えられる。

4.5 周辺技術の改善と進歩

(1) 炉壁、炉天井の水冷化範囲の拡大

アーク炉の大負荷容量化、大型化、助燃バーナー、酸素富化等により熱負荷が大幅に増大し、炉壁、天井レンガの損傷は著しくなり、その寿命が大幅に低下した。この対策として、炉壁並びに大天井部に対して水冷パネルが採用され、その寿命も飛躍的に延長しなかつく炉壁については、その面積の70%以上の水冷化が実施されるまでに、採用範

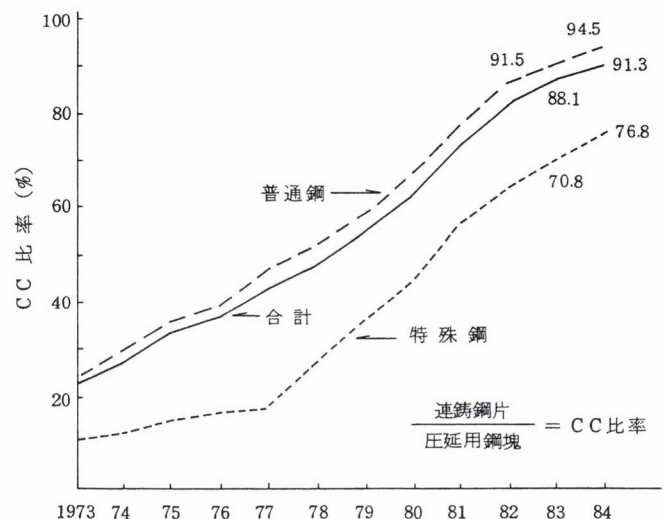


図8 連続比率の年次変化

表5 代表的な二次精錬法の概要

分類	代表プロセス概念図	プロセス略称	精錬方法	雰囲気	攪拌	温度調整	処理時間(分)	精錬効果					
								脱酸素	脱酸	脱硫	脱炭	低減	形態制御
真空処理		RH	脱ガス(真空槽)	真空	環流	—	15-30	◎	◎			○	
		DH	脱ガス(真空槽)	真空	吸上げ	—	15-30	◎	◎			○	
		LD (取鋼脱ガス)	脱ガス(真空タンク)	真空	Ar吹き込み	—	10-20	◎	○			○	
取鋼バブリング			Arバブリング	大気 Ar	Ar吹き込み	—	5-15		○	○		○	
取鋼精錬炉		LF	スラグ精錬	Ar+CO	Ar吹き込み	アーク加熱(常圧)	30-2h		◎	◎		◎	○
		ASEA-SKF	真空精錬	真空	電磁力	アーク加熱(常圧)	40-2h	◎	◎	○		◎	○
		VAD	真空精錬	真空	Ar吹き込み	アーク加熱(真空減圧)	40-2h	◎	◎	○		◎	○
ステンレス脱炭法		AOD	Ar希釈脱炭	Ar+O ₂ Ar	COガス吹き込みAr	酸化熱	1h		○	○	◎	○	
		VOD	真空脱炭	減圧(O ₂)	COガス吹き込みAr	酸化熱	1h		○	○	◎	○	
粉体吹き込み精錬		powder injection	Ca合金精錬 フラックス吹き込み	大気 Ar	キャリアガスAr	—	10-20		○	○		◎	◎

囲が拡大されるに至った。また天井部は大天井が水冷パネルとなり、小天井を含め天井の寿命が、50%以上改善された。従って耐火物の原単位は80%低減した(図9)。

(2) UHP操業に適う電極の開発

電極原単位は最近の電極品質及びアーク炉操業技術の改善で、日を追うにつれ向上の一途を辿った(図9)。1968年(昭和43年)頃石油系の針状コークスが、工業的に大量に使用され始め、それまでの非針状コークスに比べて、黒鉛電極の品質が格段に向上した。従って電極に要求される品質である、耐熱衝撃性、耐折損性、耐酸化性等が大いに改善され、UHP用電極の開発が伴ったからこそ、今日のアーク炉のUHP操業が可能になったと言える。溯って昭和30年代の頃まだHP、UHP操業は存在せず、アーク炉製鋼法がやっと発展成長期を迎え、アーク炉容量が戦前の小容量から、最初の頃は20 t、昭和40年頃になって50 t、80 tと大型化が進む過程で、製鋼者側が非常に苦しんだテーマの一つに、国内において満足のゆく適正な電極を如何にして入手するかという件があった。当時における操業操作の改善と電極の品質改善とを同時に改善テーマとして取り上げ、電極製造メーカーの諸氏と共同で、夜を徹し血眼になって問題解決に東奔西走した昔が偲ばれる。

4.6 アーク炉作業の機械化、自動化の進捗

時代の要請に応じて製鋼工場では、製鋼工程のかなりの部分に機械化に、自動化の機器が採用されている。特にアーク炉操業の自動化については、従来のコンピューターコントロールによる操業パターン制御に加えて、データ収集機能、解析機能を付加し、アーク炉の各種原単位低減を積極

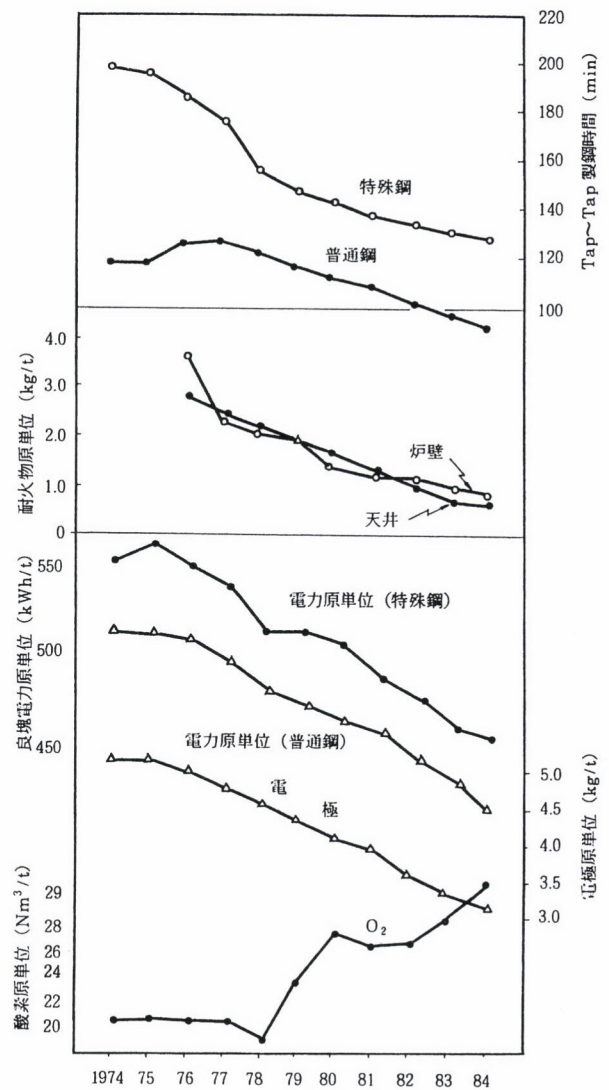


図9 アーク炉の各種原単位推移

表6 各種二次精錬法の生産性比較

項目	EA	EA+RH	EA+LF	EA+LF+RH
EAの製鋼時間 (min)	90～105	70～90	50～60	50～60
Total電力量 (kWh/t)	460～500	430～470	410～450	425～460
EA電力量 (kWh/t)	460～500	420～460	360～390	360～390
LF電力量 (kWh/t)	—	—	50～60	65～70
取煉原単位 (kg/t)	3.0	3.0	3.5	4.0
鋼瓦コスト指数	1.0	1.2	2.0	2.5
合金の歩留り (%)	Mn	90.0以上	90～95	60～70
	Cr	95.0以上	92～96	70～80
	Si	50.0以上	40～50	50～70
	Al	—	60～70	(100.0)
Crのコスト指数	1.0以上	1.0	1.1～1.5	1.1～1.5
生産性 (t/h)	60	65	100	100
RHの温度降下 (℃/min)	—	2.6	—	1.3
復元の程度 (%)	—	—	50～90	50～90

的に行うばかりでなく、上位コンピューターへのデータ伝送等で、製鋼工場全体の操業管理、工程管理を強化する製鋼工場が増加して来ている。

機械化に関しては、比較的早くから活用されており、適用分野を作業別に列举すると、スクラップ装入作業、電極継足作業、合金及び造滓材の投入作業、測温及びサンプリング作業、酸素吹精作業、除滓作業、受鋼作業、炉修作業等が主たる範疇となっている。

5 情報化国際化の時代に対処して

1980年(昭和55年)6月IISI(国際鉄鋼協会)電気炉特別チームから、彼等が行って来た活動のまとめを集録し、最終原稿として打ち上げる前に、是非アーク炉製鋼法の最先進国である日本の電気炉工場の見学と、電気炉部会のメンバーとのミーティング開催のチャンスを与えて欲しいとの強い要請が届いた。日本鉄鋼協会の裁断を仰ぎながら、電気炉部会は組織をあげて賛意を表明した。

特別チームのメンバーは米英独仏伊五ヶ国のエキスパートで構成されており、まずは日本を代表する六工場を見学した後、電気炉部会の委員等とミーティングを持った。ミーティング⁵⁾は部会長が我が国のアーク炉製鋼法の概要と総括を、各委員はそれぞれのテーマすなわち、普通炭素鋼の製造方法と原材料、特殊鋼の製造、環境管理、耐火物、電極、省エネルギー等について、手分けして具体的な詳細説明を行った。説明後は特別チームの各位との質疑応答を主軸にして長時間討論が行われ、彼等の指摘と示唆から、我々はそれぞれの企業において重要な職責を担っている立場の人として、かつまた部会の運営を司る立場にある人として、今後の発展を期するに当って、貴重な反省と自信、前進せんとする情熱を肌身に感ずる体験を持ち得た。

時は経ち1986年(昭和61年)に至り、当部会が「最近のアーク炉製鋼法の進歩」の改訂版を発刊するに際し、今後のアーク

炉製鋼法における技術動向の展開の執筆に、万全を期す必要性に迫られた時、西独と仏の鉄鋼協会の快諾を得て、電気炉部会調査団が両国を訪問した。十数ヶ所に及ぶ両国の研究所と工場見学、並びに技術交流の機会を持ち得た結果、広い視野と認識の中で改訂版³⁾を発刊し、初期の目的を果たすと共に、我が国におけるアーク炉製鋼法の今後の目ざすべき発展の方向とテーマに関して、多くの示唆を得る事が出来た。

時と共にますます国際化気運は高まり、情報化の時代に生存して事を成そうとする時、情報のオープン化、共有化をモットーとして効率的にハード、ソフトの発展に尽力し、自他共に栄えようとする事が、真に時代の要請である事を痛感せざるを得ない。

鉄鋼協会共同研究会電気炉部会は日を追って、逐次時代の要請に適う実力を保有して、部会メンバーに修練と切磋琢磨の場を提供し、アーク炉製鋼法の発展への牽引力を発揮する機関として、力強く存在してしてくれる事を願うものである。

6 むすび

戦後米国の政策措置の一分野であった我が国鉄鋼業の自立化達成への路線の中で、出発においては鉄鋼一貫法に遅れを取っていたアーク炉製鋼法も、第二次合理化計画実施期の昭和30年頃からは、平炉、転炉製鋼法に劣らぬ勢いで、発展成長の過程を辿るに至った。関係者の結集した努力が、大いなる成果となって現われ、前述したようにアーク炉製鋼法は、昭和60年頃にはその粗鋼生産量が、全体の中で30%を超える程に伸長し、転炉製鋼法と共に我が国における二つの代表的工業製鋼法の一つにまで躍進した。

アーク炉製粗鋼の生産量の伸長は、単に有利な経済環境に恵まれた事だけによるのではなく、品質改善、コスト低減の両面での著しい技術進歩に負うところが大きい事は言うまでもない所である。1) アーク炉の大容量化(高電力操業併用)と酸素富化操業による生産性の向上、2) 炉外精錬導入による品質向上とアーク炉負荷の軽減、3) 周辺技術の改善と進歩、4) CC法との連結による歩留り向上と省エネルギー、5) 多方面にわたる機械化と自動化、引いては電算機導入による製鋼作業管理等、各部における関係者の、当を得たたゆまぬ研鑽と努力の結果が遂に実を結び、かくも優秀な成果をもたらしたものといえよう。

戦後復興期から発展成長期へ辿りつつあった頃の、製鋼業の実体を想起しもっぱら現在と対峙する時、過去があったればこそ現在があるとは思うものの、進歩による変革の凄まじさに対しては、驚愕の念を禁じ得ないものがある。

省みて、けだし製造業に在っては究極する処、“人が物を造る、さすれば人造りこそは至高への要なり”と言われて来た論旨を慮って、未来思考への戒めの一つに供したい。製鋼作業を遂行するに当り、現実直面して、事実と現象の中にこそ在る真実を、自分自身の目で手でじかに汲み取り、科学する心と物を造るスタンスを、客観視しながら対処して行く余裕を堅持しつつ、21世紀のニーズに叶う新素材の創出と製造に精進したいものである。

電気炉部会では、我が国におけるアーク炉製鋼法の製造技術と実績の集録を、「最近のアーク炉製鋼法の進歩」なる命題の本を編纂し発刊している。初版は1981年(昭和56年)6月に、改訂版は1986年(昭和61年)6月に、この第二版の改訂版である第三版は、1993年(平成5年)10月に発刊済みとなっている。今後も実情を勘案しながらという事もあるが、今の所5年毎に改訂版を発刊し、アーク炉製鋼に直接間接に携われる方々の参考になると共に、一方アーク炉製

鋼法に関連する新技術、新設備創出の一助になればと念じ続行することになっている。

今回は本寄稿で、戦後約40年間に於ける我が国のアーク炉製鋼法の進歩の概要を執筆させて載いたが、続いてそれ以後現在に至るまでの進歩の概要が執筆され、合わせて関係各位の一助になる事を念じて擲筆させて載く。

参考文献

- 1) 戦後復興期におけるわが国鉄鋼技術の発展, 日本鉄鋼協会編, (1992)
- 2) 最近のアーク炉製鋼法の進歩, 日本鉄鋼協会編, (1981)
- 3) 最近のアーク炉製鋼法の進歩, 日本鉄鋼協会編, (1986)
- 4) 最近のアーク炉製鋼法の進歩, 日本鉄鋼協会編, (1993)
- 5) IISI電気炉特別チームと電気炉部会とのミーティング議事録, 日本鉄鋼協会編

(1997年8月25日受付)



鉄の歴史

生活のなかの鉄器文化—日本とその周辺を中心にして—

朝岡康二

国立歴史民俗博物館 民俗研究部教授

Kouji Asaoka

Iron Culture in Daily Life : especially in Japan and Asia

人類が鉄器を使用するようになってから、すでに長い時間が経過した。その間に鉄を生産し加工する技術も、それを利用する範囲も大いに変化・拡大・進展し、その結果、今日みられる高度な技術文明を作り上げることができた。この技術的・産業的な発展はまことに驚異的であったから、技術史はその道筋を明らかにすることを主要な目的とし、そのために「発達」という視点を特に重視してきたのであろう。しかし、ここで取り扱おうとする事象は、このような技術史的な観点に直接に繋がるものではない。

筆者はこれまで、前近代的生活、ないしはそれをなんらかの形で継承すると考えられる具体的な民衆生活のなかで、鉄が受け持ち、果たした役割を知りたいと考えながら、調査・研究をおこなってきた者である。

したがって、取り扱う対象は日常生活に密着したごく限られた狭い部分に止まり、そのなかで色々の変容を伴いながらも、ある種の慣習を作ってきた使用者と製作者の関係、あるいはこの慣習を生み出したと考えられる技術的な諸要素、材料性質・器物の形態・様式の地域的分布・その使用方法、などを検討することに関心の中心をおいてきたのである。

確かに近代における鉄の役割は絶対的なものであったし、その生産力がいわゆる国力を象徴した時代もあったが、そのことと前近代社会とそれを受け継いだ民衆の日常生活における鉄の役割は、相当に異なる側面を持っていたと考えられる。伝承的な生活における鉄の役割を近代的な観点に依拠する一方的な立場からのみ理解するわけにいかない、と筆者が考えるのも、このことに関わっている。しかも、民衆の日常生活という面からいえば、近代の鉄は大きな利便をもたらした、その生活基盤を根底から変化させる力を持っていたが、にもかかわらず、かならずしも有意義なものばかりをもたらした、とはいえないと思われる。

少なくとも日本では、近代の鉄は伝承的・慣習的世界と

まったく断絶したところから、突然に圧倒的な力を持つ異様なものとして登場し、以来今日まで、生活に密着した日常的素材として受け入れられたというよりも、そこから少し離れたところに、超越的な文明として君臨し続けてきたといえるであろう。そして、日本の民衆の近代とは、この超越的な素材と日常生活との非連続をいかに乗り越えるかという、絶え間のない葛藤の過程を示していると思われる。

もちろん、このことは単に鉄をめぐる問題に限るものではなく、広く日本の近代全般に関わる問題でもあろうが、この人々の葛藤のもつ意味を知ろうとするならば、その前提として、伝承的な慣習の内実を、個別的、具体的に明らかにして、その上で近代における変容を知る必要があると思われる。

以下に述べることは、日常生活から遠く離れた鉄生産(製鉄・精錬)における伝承的技術と近代技術の関係史、あるいは、そこから生じた社会経済史的な構造分析などに及ぶものではない。というよりも、意図的に材料生産の諸問題から離れて、すでにどこかで作られ、現に存在する鉄が生活のなかでどのように利用されてきたか、という観点から始めて、その行く末を具体的にたどり、鉄に対する人々の意識・感覚の発掘を試みようとするものである。



鉄材料の再生利用をめぐる

周知の通り鉄はひとたび鉄材料に作り上げられると、以後は、比較的に簡単に反復再生できる性質を持っている。もちろん、反復使用できるものはなにも鉄に限るわけではなく、むしろ伝承的な材料であればなんでも、ある程度繰り返して使用するものであったといっている。それが材料の歴史の一般的な特徴なのである。

たとえば、つい少し前まで、解体した屋敷の古材木を、農家の軒先に積み上げて保存しているのをよく見かけた

し、町では古建具を回収して売っている建具屋が営業していたものである。このように木材も反復利用する材料のひとつであった。

衣料についてもまったく同様である。古着は解きほいて仕立て直し、継ぎあてをほどこし、刺し子にして用いるなど、布生活には各種の再生方法がとれない、それが女の文化の一面を作っていたといつてよい。そして、近世から明治時代を通して、都市で発生する古木綿は、遠隔地に多量に移出されて裂織りの材料となり、これによって東北地方の衣生活は大きな変貌を遂げた、といわれるほどである。このために大阪の古手間屋が重要な役割を果たしていたことは、すでに経済史研究においてよく知られている事実である。

この他にも少し調べてみると、過去には反復利用の例が、日常の細かな部分に、たくさんあったことが分かる。江戸の町には傘の骨・古草履・竈の灰まで買い集める者たちがいたというほどである。

このような観点からみれば、前近代の庶民の日常生活はかなりの部分を修理・再生の循環に依存していた、と考えることができる。その場合に、古物回収やその再生の仕組みは今日想像するよりもはるかに重要なものであったはずだから、そこになんらかの社会的な組織がともなっていたと考えなければならない。この点はまだ十分に調べたわけではないが、城下町のような人口密集地に古物回収を生業とする人々が集住する街区が設けられ、なかには大きな特権が与えられている場合があったことが分かっている。

そして、こうした再生材料のなかでも、古鉄の回収はもっとも重要なもののひとつであったと考えられる。

青森南部・東通の沿岸地域は内陸部に移出する製塩のさかんなところであったが、ここで用いた塩釜は、鉄板を繋ぎ合わせて作った大きな平板であった。そして、これを作る材料として難破した船舶の鉄を積極的に回収して用いていたというのである。旧時代の海事法では積荷は勝手に処分できないが、難破船そのものは「寄り物」の一種と見なしていたようで、沿岸の人々が処分出来たらしいのである。佐渡にも似たような話があり、実際、維新の際に難破した佐竹藩の廃船を引き上げて、この時代に需要の大きかった千歯扱き（脱穀器）の鉄穂の製造に利用しようとした記録も残っている（この場合は相応の金額で払下げている）。

つぎに外国での体験も少し付け加えておこう。インドネシアの首都ジャカルタでの話がある（図1、図2）。

ジャカルタからさして遠くない西ジャワ山地には、今だに外界から隔絶した生活を営んでいる少数民族がいて、自分たちの世界にこもって自給自足の暮らしを続けている。ところが、この人々も時には山を下りて、ジャカルタの町

なかに出て来ることがあるという。

聞くとところによると、彼らは町に来て、町の人々とはまったく会話をせず、ただ黙々と歩き回り道端に落ちている古鉄を拾い集めて帰っていくのだという。わざわざ古鉄を集めるためだけに、ジャカルタの町に出てくるというわけである。山の居住地には鍛冶仕事に習熟した専門の者がいて、町で拾い集めた古鉄を用いてクリス（短剣）などの刃物に鍛え上げているという。彼らにとっての鉄とは、奥山で拾い集める木の実と同じような存在で、町なかで採集するものだったのである。

こんな話をしていると、タンザニアでの生活経験の長い人が、「アフリカでは缶詰の缶ですら落ちていない。捨てればたちまち回収されてしまう」というのである。

そして、当然ながら、こうした回収を効率的に行うために回収組織や回収業者が生まれることになる。

江戸の町では、古鉄と飴を交換する回収業として、いわゆる「とりかえべー」が知られているが、このような業態は近世の江戸に限って存在した特別のものではない。このことは、まだ人々の記憶に残る戦後の回収業を思い出せば、それだけで十分であろう。

筆者は、これに関してかつて沖縄で少しばかり聞き取り

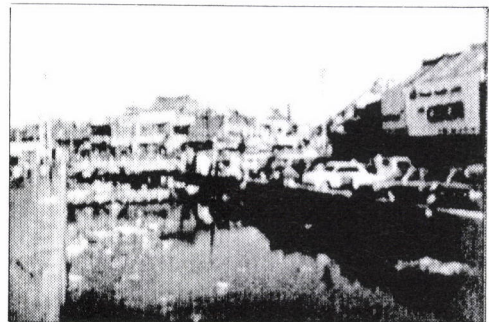


図1

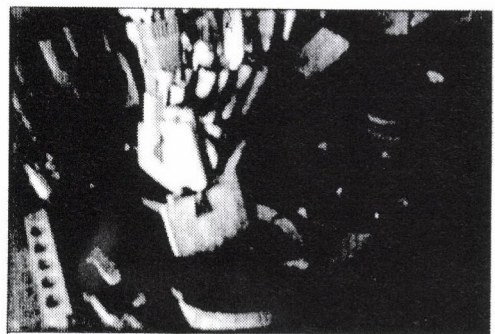


図2

ジャカルタのコタ（旧市街）

コタの旧漁港近くのイカン・パサール（原意は魚市場）は金物・鉄器商いの場となっている。もとは漁船や漁具を扱うところであったが、現在はありとあらゆる金物・鉄器をあつかい、古ボルト一本から売っている。都市はどこも金物・鉄器の集中するところであるから、そこで回収された廃鉄器が、材料鉄となって周辺地域に流通していく。西ジャワのスカブミ郊外の鉄器産地では、こうした廃鉄器を刃物などに再生して、もう一度ジャカルタに売り返していた。

調査をおこなったことがある。それによると、沖縄（特に本島とその周辺）では、戦後に古鉄の回収が徹底的に行われたことによって、戦争の生々しい傷痕をしめす兵器の残骸はほとんど姿を消していったのである（実はこの回収業が隆盛を極めたのは、次の戦争である朝鮮動乱の特需に関わるものでもあったが）。

また、その一方で、古鉄回収の状況はさかのぼって中世の世相を描いた絵巻のなかにも伺うことができる。絵巻のなかには焼け落ちた寺院の跡で、高下駄を履いて、まだ熱い灰のなかから古釘を拾っている人々が、生々しく描かれているのである。彼らは集めた古釘を売って、なにがしかの小遣いにしたに違いないが、灰がさめるのを待っている誰かに先にとられてしまう。仕方がないから高下駄を履いて、熱い灰のなかで争って探したのである。火事跡の古釘集めは、絵巻になるほどであるから、よく知られた日常的なものであったと考えてよい。すなわち、当時、すでに古鉄の回収・流通の仕組みが生まれていたのではないかと考えられる。そして、このことは考古学的な知見からも傍証できるそうである。各種の遺跡の発掘現場において、まれにしか鉄製品が出土しないために、考古学者は、「鉄はこまめに回収されていたに違いない」と考えているのである。

このように、古鉄の回収は、すでにインドネシアの例で示したように、日本にもあったが、日本に限ったことではなかった。というよりも、鉄を使用する地域であるならば、世界のどこでも行われていたごく普遍的な活動である、といった方がよいであろう。

この点について、韓国でも若干の聞き取り調査をおこなったことがあるが、ここでも最近まで日常的に古鉄の回収がおこなわれていたという。

今でもちょっとした町に出かけると、回収業者（今では新聞紙や古着を集めている方が多い）が、大きな鉄をチョキチョキ鳴らしながら、リヤカーをひいて路地をふれ歩いている姿に出会う。今では回収に来たことを知らせるために鉄を鳴らしているが、以前はそうではなかったという。韓国でも「とりかえべー」と同じように「古鉄と飴」の交換をおこなっていた、というのである。現在は合図のための鉄も、もとは紐状の飴を切るのに用いたものなのである。鉄の音が聞こえてくると、農家の嫁は、貯えておいた古鉄をこっそり子供に持たせて、おやつ代わりの飴に替えさせたという。

中国でも、浙江省・寧波近郊の農村調査をおこなった時に、同様の話を聞くことができた。民国時代には、古鉄を求めて村々を回って歩く人たちがたくさんいた、というのである。そして、まことに不思議なことであるが、ここで

も「古鉄と飴」を交換するものであった。この地方の飴は大きな円盤形で、放射状に小刀で切り出すものであったという。いずれにしても、ちり紙交換の仕組みはそれなりの古い歴史を持っていた、ということになるであろう。

以上のように、鉄はどこでも常に回収・再生しつつ使用してきたものである。そこで次に、その具体的な過程はどんなものであったか、それを可能にした諸条件とはなにか、といった点を少し述べることにしたい。

2 使いおろしと修理・再生

以下では、鉄器がどのように使いおろされ、修理・再生されてきたかについて、日本の例を中心に紹介することにした。実際には、鉄材料の一生は置かれた条件によって多様な過程をたどり、それぞれ興味深い話がたくさんあるが、紙面に限りがあるからごく部分的な紹介に終わらざるおえない。

一般に鉄材料は、材料の持つ性質から「軟鉄」「鋼鉄」「銑鉄」の3種類に分類され、これに基づいて使い分けられているが、だからといって、この区分は固定的なものではない。そこが面白いところであるが、ここでは「銑鉄」を中心に取り上げることにしたい。

現代技術の観点からみれば、一言に「銑鉄」といってもそれは総称で、さらに細かく区分されるが、伝承的な技術においては単に「鑄造に適した鉄のこと」と理解しておけばよい。そして、一般にはこれを「ずく」と称していた。日本では（中国では必ずしもそうではなかったが）、在来の「ずく」を用いた鑄造製品はほとんど白銑化したから、事後の機械的な加工がはなはだ困難であった。その結果、製品は鑄放しで用いるものでなければならず、そのために鍋・釜あるいは牛に牽かせる犁先など、非常に限定したものだけが作られた。だから、鑄物師といえば釣鐘・鰐口のような青銅の大形製品を扱い、鍋・釜・犁先を量産する業態を指していたのである。

白銑化した鑄物は落とすと割れやすいといった欠点もあるが、同時に腐食しにくいという利点も持っており、この点で鍋・釜にはよく適していた。金気が出にくく、耐久性が高いからである。

南アジアから中国西部の高地にかけては、現在も青銅や鍛銅の鍋あるいは土鍋を用いている地域が広くあるが、それはこの種の鉄鑄造技術が普及しなかったからである。インド亜大陸の鉄製鍋は鍛造製品である。そのために、鉄鍋は炒ったり、炒めたり、揚げたりするには向いているが、炊いたり、煮たりするにはあまり適さないのである。

白銑化した鉄器が丈夫である、とはいっても、長い年月

にわたって使い続けるといずれ鍋底は薄くなり、弱い部分に穴があく。

そこで鋳掛屋の出番になる。鋳掛屋とは、修理道具を天秤棒で担いで村々を回り歩き、鍋・釜の底を修理して歩く人々のことであった。穴のあいた鍋底の裏に粘土を張って乾燥させたうえで、小さな坩堝で溶かした少しばかりの鉄（時には青銅）を破れた穴に流込んで、その上から濡れ雑巾などで押さえる。以前は民具調査のおりなどにこうして何箇所も直した鍋・湯釜を、よく見かけたものである。

しかし、鍋底がさらに薄くなると、もう鋳掛けはできなくなり廃品にならざるおえない。こうして鍋・釜の一生は終わるのであるが、それではこの廃鍋釜はどのように始末されたのであろうか。たとえば、底の抜けた鍋は代用火鉢として用いる場合があった。外側で火を焚くならば内側で焚いてもよい、というわけで、割れた茶碗が石鹼入れになるのと同じような話である。こうした二次的な利用には色々なものがあるが、ここでは省略する。いずれにしても、最終的には材料に還元せざるおえないのである。

近世の古鍋釜の材料還元については、部分的ではあるが、鋳物師の文献のなかになんらかの記述をみることができる。

そのひとつの例は、新品と交換する形式で回収される場合である。

たとえば、岐阜城下の鍋屋町には、歳末に古鍋釜をぶら下げた人々が、新品と交換するために長い行列をつくるものであった、という。以前に三河・碧南の鋳物師資料をとおして、このような新旧交換を基本にした鍋釜の購入方法は近世後半までごく一般的な方法であって、その遺制は少なくとも天保改革あたりまでは有効であったと考えられることを論じたが、その根拠のひとつに、この交換には基準となる「単位」があった点をあげることができる。

鍋釜の大きさを表す方法には2通りある。

ひとつは、使用者側から生じたと考えられる「入れ目」を基準にした表示である。たとえば、一升鍋・五合炊き・三升釜などいうもので、明治時代の金物屋の価格表はこれを中心に記載しており、近年まで引き続き用いてきた表現方法である（もう少し詳しくは、入れ目が一升の場合と一升の米が炊ける場合とでは異なるが、その問題はここでは措くとして）。
 このような「入れ目」による区分に対して、もうひとつは「目方」による区分であって、両者が併存する傾向が伺える点が鉄器のひとつの特徴であるといえる。壺・瓶のような焼きもの、桶樽のような結いもの、箆・長持のような組みものなど他の容器類の多くは、通常は目方で表すことはないのである。

一方、包丁のような打刃物は長さを基準にして、五寸包

丁、七寸包丁などという。しかし、これは店で出来合いを購入する場合に用いる表現方法であると考えてよく、鍛冶屋に注文する場合には、目方で頼むのが普通のことであった。その例は、目方が使用に際して重要な意味を持つ鋏先・鉋・斧などに今日も残っており、二百匁の鉋、二百三十匁の鋏先、といった注文方法をとるのである。

目方注文の場合、近年は仕上がり製品の目方を指すことが多いが、本来は使用する材料の目方であったと考えられる。なぜならば、以前は材料鉄は鍛冶屋が用意するのではなく、依頼主の持ってきた鉄を加工するものであり、加工賃の基準を材料の目方に求めたからである。

この点をもう少し付け加えておこう。近年、ネパールの調査に従事してきたが、そこでも「加工賃の基準」としての「目方」が生きていたからである（図3、図4）。

ある村の鍛冶屋は、加工にともなう目減り分を、常々実際よりもはるかに大きく吹聴していた。そして、材料込みで注文（鍛冶屋持ちの鉄を使う）を受ける場合に、出来た製品は注文の目方よりも相当に軽く仕上げて、その差を目減り分であると主張するのである。しかし実際には目減りしたのでなく、当初から注文の目方よりも軽い材料を用いて、その分を儲けとしてしまうのである。この場合に「入念に手間をかけて作ったから、その分だけ軽くなった」と



図3 ネパールの村の鍛冶屋が自動車の板バネから作った鎌を修理し、焼きの入れ直しをおこなっている。



図4 ドラム缶を開いて鉄板に戻した材料を用いて、鉄鍋を作っている。

ネパールでは村々に鍛冶屋の集住するところがあり、そこで摩耗した鋏・鎌の修理をおこなっている。その材料はすべて廃鉄器で、インドから輸入される鉄道材料・自動車の廃部品・ドラム缶などである。

いう理屈が存在するのである。

一方、注文する人もこうした事情は薄々知っているから、出来る限り自分で入手した鉄を持参するものである。使い古した刃物を別のものに仕立直して欲しい、といった注文もあるが、バザールに出たときに買った鉄を持ってくることもある。筆者が注文したクルパ（大鎌）は、注文した目方の七割以下になっていた。我々は秤を持っていたから、計測して「こんなに減る訳がない」と抗議したが、鍛冶屋は一向に動じなかった。

日本では鍋釜の場合に、目方による単位を「枚」で表す。たとえば「一升釜は一枚半」などといい、この「枚」が目方を示しているのである。

沖縄では、製糖に用いたり、家庭で唐芋を蒸かす大鍋を「サンメーナービ」「シンメーナービ」というが、これに漢字をあてると「三枚鍋」「四枚鍋」という表記になる。

現在では、この「三枚」「四枚」をなんとなく「入れ目」の単位であろう、と理解している人が多いが、もとは本土と同じ目方の単位だったのである。そして、この「入れ目」と「枚」との関係は、当然に鍋・釜の器形や肉厚によって異ってくるから、地域によって、あるいは鋳物師によって相当のばらつきが生じ、換算率が異なるものであった。

また、「枚」が示す目方の単位自体も地域や時代による変化があったようで、いくつかの記録を集めて比較を試みたが、あまりにばらつきが大きくて統一的な基準は見出せなかった。

しかし、この「枚」が新旧交換の基準になっていたことは間違いない。一定の目方を「1枚」と決めて、新釜1枚分と古釜1枚分を交換する仕組みを基本として、それに目減り分を加えて、加工賃ならびに燃料代を上乗せするようになっていたのである。三河・碧南の鋳物師資料には、その方法を書き上げて藩に差し出した下書きが残っており、詳細に換算方法が記述されている。

こうした新旧交換の背景には、先のネパールの鍛冶屋の場合と同じく、モノの加工に従事するのが職人（この場合には鋳物師）の本分であって、鉄材料の調達に依頼人がおこなうもの、とする慣行的感覚があった、と推測される。そして、より重要なことは、こうした新旧交換の仕組みが、廃鉄器の再生利用を貫徹させるとともに、鋳物師が各地に広く分散居住していくことを可能にしたと考えられることである。かならずしも新鉄供給のネットワークの拡大に依存するものではなかったということである。

さて、こうした古鍋釜の再生利用をとおして、鋳物師が強力な経済力を得た例をひとつ挙げておこう。

ひとつは能登・仲居の塩釜を作った鋳物師の場合である。仲居鋳物師は中世以来この地で塩釜の製造に従事してきた

が、藩の経済政策に関わるいくつかの経緯を経て、塩土（製塩従業者）に塩釜を貸し付けて利をうる、いわゆる「貸釜慣行」を生み出した。塩釜は消耗が激しいものであるが、大形であるから入手が容易ではなく、そのために年期を限って釜を貸し付けて（新旧・大小によって貸賃が決まっていた）、その貸料は塩で回収する、という方法であった。

同様に、高岡の鋳物師は周辺の農家に一年単位で鍋・釜を貸し付けて、ここから上がる米を禄高の一種と考えて「鍋高〇〇石」と称するほどであったという。これに類似する慣行は鋤先・鋤先のような鍛造鉄器にもみることができるが、それは省略しよう。

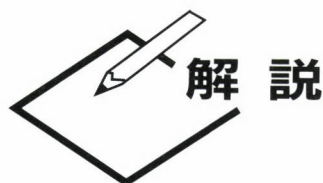
ここでもう一度指摘しておきたいことは、個別の経緯には色々あるとしても、基本的には、依頼者が入手した鉄を加工することが職人（鋳物師・鍛冶屋）の仕事であったこと、その鉄は古鉄であることが少なくなかったという点である。このことは、鉄とその加工技術の世界的な伝播が、なにによって支えられてきたのかをよく表現していると思われる。

最後に、以上のように古鍋釜が鋳物師に還流して、新たに新鍋釜に再生される以外に、鍛冶材料として有効に利用されていたことにも触れておこう。これにも様々の事例があるが、例えば、王府時代の沖縄本島は砂糖がもっとも重要な大和向けの移出産品であったから、このための「サーターナービ（砂糖鍋）」は必要不可欠の生産財であった。しかし、国内に生産技術がなかったから、薩摩の琉球館経由で、大阪から大量に移入していたのである。そして、移入された大量の砂糖鍋が摩耗・破損しても、これを再び鍋に作り直すことはできなかった。

筆者はこの古鍋の行方に関心を持って調べてみたが、一部は薩摩に還流して薩摩鋳物師の材料とされた可能性もある。しかし、その多くは沖縄のなかで鍛冶材料として利用されたと考えられ、それは考古学的にも文献的にも実証できるのである。そして、それがこの地域に独特の鍛冶技術を成立させていたことも推測できる。詳しくは省略せざるおえないが、こうして島に蓄積した古鍋釜が島の鉄器文化を進展させる役割を担ったのである。

東アジアの鉄鑄造技術を保持する地域とその周辺には、銑鉄（主として古鍋釜）を材料として鍛冶技術に特色を与えるものが少なくないが、紙面も尽きたので、この点は改めて別に紹介することにしたい。

(1997年11月4日受付)



鉄鋼業のBPRとネットワーク

上田 晃嗣

住友金属工業(株) 情報化推進部 次長

Kouji Ueda

佐々木伸一

住友金属工業(株) 情報化推進部

Shinichi Sasaki

The Concept of BPR in Steel Industry

1 最初に

私の所属する情報化推進部は、業務改革の推進を主目的に、従来のオープンシステム部を改組して1996年4月に設立された部署である。当部では「情報武装化を経て業務改革へ」を合い言葉に、まず、パソコンとネットワークの普及を進めてきた、そして、現在は本命の業務改革に取り組んでいる。

日頃は業務改革方法論と情報技術を聖書の代わりに、現業部隊に業務改革の布教活動に努めているのだが、今回は場所をかえて、ふえらむの読者の方に鉄鋼業のBPR(ビジネスプロセス・リエンジニアリング)とネットワークについて解説したい。

さて、鉄鋼業のBPRということであるが、実は鉄鋼業のBPRの事例は、日本においても米国においても、あまり紹介されていない。これはやはり、BPRはリストラの次のステージであり、日本の鉄鋼業は現在リストラのステージに立っているからであろう。そこで、本稿では主に米国製造業におけるBPRの事例を紹介し、その事例を日本の鉄鋼業にどう適用できるのかという観点から解説したい。

なお、説明にあたっては、例を用いて、分かりやすく客観的な説明を心がけるが、なにぶん、BPRを始めとする企業革新コンセプトには学術的な定義がないので、私の主観が入っている説明もある。その点はご了承願いたい。

2 BPR

2.1 BPRの成功例

ここ数年、日米のビジネス誌ではBPRの記事を盛んにとりあげている。というのは、米国製造業の復活の原因を分析してみたところ、各社ともBPRと呼ばれる共通の取り組みをしていることが分かったからである。

BPRとは直訳すれば、業務プロセスをリエンジニアリングするという意味である。ちなみに、エンジニアリングという言葉には計画／実行／管理するという意味がある³⁾(PDCAと言っても良いだろう)。したがって、リ・エンジニアリングとは、新たに計画／実行／管理し直すという意味になる。つまり、BPRとは、それまでの業務プロセスをスクラップして、もう一度基本に立ち返り、業務プロセスを再編成するという企業変革コンセプトである。

下記に、BPRの成功例を紹介する。

米国の自動車会社クライスラーは、従来は新車開発に60ヶ月かかっていたが、LHという車種においてはコンカレントエンジニアリングにより39ヶ月で開発することに成功した。また、新車発売時に多い品質のプレを大幅に改善することができた¹⁾。

ミューチャル・ベネフィット・ライフ社という生命保険会社は、保険の新規加入者の事務処理に、従来は1件当たり5部門19人が関与して3日かかっていたが、新システムにより、1人の人間が4時間でできるようになった¹⁾。

ボーイング社は、航空機の受注から受け渡しまでに、従来は6年かかっていたが、これを3年に短縮する計画に取り組んでいる¹⁾。

このようにBPRは、業務プロセスの刷新により、業務処理時間短縮による生産性向上、業務付加価値の増大、従業員のやる気の喚起、顧客満足度向上、経営環境改善などを目指す企業改革コンセプトである。

2.2 1980年代の米国製造業の衰退

しかし、つい10年前まで米国製造業は衰退の一途を辿っていた。たとえば、次に挙げるような多くの問題をかかえていた^{2,3)}。

(1) 職業倫理の欠乏

米国企業は従業員よりも株主を重視する経営方針をとつ

ており、いっぽう、従業員満足が軽視してきた(例としては、永年雇用でない点、退職金がない点、一般従業員にはボーナスがない点など)。加えて、直属の上司の権力が日本に比べて非常に大きく、従業員は顧客満足や勤勉さよりも「いかに上司にとりいるか」という点に関心を持っていた。そのため、教育現場や企業において、上司へのゴマスリが横行した。このように、従業員の目が顧客でなく上司に向いていることから、結果として、顧客満足が軽視されていた。

(2) 過度の水平分業がもたらす無責任状態

研究開発／製造／営業などの各部門が自部門の利益しか考えずに行動していた。例えば、製品に対して顧客からのクレームがあっても、営業部門は製造部門に、製造部門は研究開発部門に責任をなすりつけて対応しなかった。たとえ顧客が怒りだしても、各部門は自部門が原因ではないと考えた。問題意識を持たなかった。なぜなら、皆が自分の責任ではないと考えたからだ。

(3) 垂直分業におけるジレンマ

現場が十分な権限を持っておらず、逐一上司や本社の許可を得なくては処理が進まないため、顧客に満足なサービスを提供できなかった。いっぽう、上司や本社は、自部門の権限がなくなること、管理が困難になることを嫌い、そのため、権限を現場に与えなかった。

(4) 設備投資の不振

米国の役員は常に株主から単年度の利益の最大化を求められる。そのため、利益は翌年の投資ではなく、株主への配当に回されることが多い。結果的に工場設備への投資は後回しになる。この行為の背景には、「事業は育てるもの」ではなく「事業は売買するもの」という考え方がある。

2.3 部分最適の論理

(1)～(4)のような状況が発生した理由について、参考文献2)の板坂氏は、米国が1960年代に「反共」という国家目標を喪失したことが、社会の無気力的雰囲気を生んだと推測している²⁾。目標の喪失は「自分だけ良ければよい」という考えに結びつく。こうして、米国は部分最適に陥ったのであろう。

部分最適は、例えば、個人レベルであれば従業員の倫理感に見られた。つまり、顧客に対するサービスを最小にするいっぽう、上司へのゴマスリにより自己の評価の最大化を図る行為は、部分最適の最たるものであろう。全ての従業員が同様の行為に及べば、企業全体がどうなるのかは自明である。

また、企業レベルであれば、企業の協調戦略に見られた。例えば、複数の企業が協調し一体となって製品を作り上げる行為は、日本では自動車メーカーの企業系列などでよく

見られる。(例えば、生産ラインの視察・意見交換、人材交流、勉強会など)いっぽう、米国では企業間の情報交換・意見交換をしてこなかった。なぜなら、企業間の関係が、権謀術数主義(マキャベリズム)的な価値観の上に成り立っているからだ。(米国で、もし製造メーカーが部品メーカーに生産ラインの視察を申込すれば、おそらく、知的所有権を理由に断られるであろう。)そして、企業系列一体となって作り上げた日本製品と、そうでない米国製品のどちらを顧客が支持するかは明白である。米国企業の慣習は、各企業ごとの部分最適は満たしているが、しかし、全体最適ではなかったと言えるであろう。

このように、個人レベルにとどまらず、部門や企業レベルにまで部分最適の病巣に冒されていたのが、当時の米国製造業の実態と言える。JMAC-パリのオルベック社長は、「欧米企業は階級制度・機能別組織が強く、タテとヨコの壁が厚い」³⁾と述べている。そして、各階級、各機能が対立し、その結果、それぞれ部分最適に陥り、米国製造業全体の衰退を招いた。

そもそも、部分最適を目指す行為は、サプライチェーン(直訳すると供給の輪。各企業や各工程において付加価値が付加され、最終的に顧客に届くまでの様子を、多数の輪から構成される鎖のイメージとして表現した言葉)の1つの輪だけを強くする行為に等しい。当たり前の話だが、1つの輪だけが強くなっても鎖全体の強さは変わらない。鎖全体の強さは一番弱い輪の強さで決まるからである。

2.4 1990年代の米国製造業の復活への取り組み

しかし、1990年代に入り、米国製造業は活況を取り戻した。まず、「リストラ」と呼ばれる大外科手術を行ないスリムになった。それから、BPRを始めとするリエンジニアリングにより企業体質の改革を行った。

リストラは既に日本の鉄鋼業において広く行われているので説明は特に必要ないだろう。そして、今後日本でも行われるであろうBPRの取り組みとは、以下のようなものであった。

(1) 顧客満足度重視への取り組み

BPRにより、全ての業務を顧客満足の視点から見直した。その結果、付加価値の低い(つまり顧客満足に関係ない)業務を切り捨てた。またはアウトソーシングの対象とした。残ったコア業務についてはスピードアップと責任の明確化を図った。(このとき、コア業務／事業を選別するのにABC(Active Based Costing、活動原価計算)と呼ばれる活動費用／価値を定量化する技法を活用した)

(2) 従業員に責任を押しつけるだけでなく、大幅な権限委譲を図り、顧客からの要望に対する感応度向上を図った。(い

わゆるエンパワーメント)

(3)研究／製造／営業が一体となった新製品開発概念を採用し、タイムリーに新製品を市場に投入できる体制を構築した。(いわゆる、コンカレントエンジニアリング)これにより水平分業の弊害を取り除いた。

(4)サプライチェーンを構成する各企業とネットワークを構築し、協力関係を構築したり、広く業務効率化に関する意見を交換する企業が現れた。

(5)労使関係を敵対から協力という方針に転換する企業が現れた。例えば、従業員を重視するような方針を採用する企業も現れた。これにより、非生産的な敵対行動に終止符が打たれた。

2.5 顧客満足の追求

BPRにおいて重要なのは、「顧客満足の追求」である。しかし、この概念は、米国における従業員の倫理感とは対照的といえる概念だった。当時の一般従業員の倫理観とは以下のようなゲーム理論(ex.囚人のゲーム等)的な倫理観に支配されていた。

- ・少ないサービスで法外な金を請求しても、それに気付かないならば、だまされる顧客が悪い
- ・事業とは「だましあい」であるから「裏切り」という手法が最善手
- ・顧客とは嫌々ながらもサービスを提供する存在
- ・顧客とは面倒な苦情を訴える存在
- ・自分さえ良ければ良い

しかし、実はゲーム理論においても、同じゲームを何度も繰り返す、参加者が学習するならば、最善手は「紳士的に振る舞う」ことであると、その後の研究が立証している⁴⁾。そして、実際の市場は顧客と企業との関係は長期的であるのだから、「顧客をだます」よりも「顧客満足を追求する」方が良い結果を生むことは明らかだ。

このように、顧客満足の視点から考えるという方法は、既得権益化した部分最適を見つけだし、改革のメスを入れるのに非常に有効である。

2.6 協業とシナジー

それでは、顧客からみた全体最適を満たす業務プロセスや組織とは、どんな業務プロセスや組織であろうか。私が考えるにキーワードは「分業から協業へ」である。

分業をすると、場合によっては、投入した工数に対して得られる結果がそれを下回ること、つまり、 $1 + 1 \leq 2$ になることがある。もし、それならば全てを1人にて行って $1 = 1$ とした方がまだ良い。しかし、理想を言えば、分業というより協業を行うことにより、相乗効果(シナジー)を

発揮し、 $1 + 1 \rightleftharpoons \infty$ を実現するのが理想である。鉄鋼業で言うならば、サプライチェーンを構成する商社～鉄鋼メーカー～加工センターの各社が協業し、お互いに刺激しあい、シナジーを生み出し、顧客からみた全体最適を目指す姿こそ、BPRの1つの理想型である。

3 ネットワーク

3.1 ウチとソトのコミュニケーション

なぜ、人々は部分最適に陥るのか。そして、他の部門と協力できないのか—その理由の1つとして挙げられるのは、ウチ／ソトの概念ではないだろうか。

ウチ／ソトの概念は無意識の行為、例えば、電車の中で、ソトの人(つまり知らない人)であれば突き飛ばして席を獲得するような人が、ウチの人(例えば親しい知人)に対しては自分がどんなに疲れていても席を譲るような行為になって現れる⁵⁾。このように、どこまでをウチと考え、どこから先をソトと考えるのか、この境界の持つ意味は大きい。この境界により、コミュニケーションの領域が決まると考えても良いと思う。

ウチ／ソトの境界線を分ける概念は様々である。例えば、人種／性別／所属／言語／地位／地域／出身地／価値観などだ。しかし、コミュニケーションする気持ちがあり、手段を会得すれば、境界線を越えコミュニケーションの範囲を拡げることは可能である。例えば、英語を覚えれば、英語圏の人はウチになるかもしれない。また、世代の異なる人々が何を考えているかを知れば、それだけコミュニケーションの領域が広がるだろう。

3.2 インターネットの効用

コミュニケーションの手段として、最近注目を集めているのがインターネットである。米国をはじめ海外では既に欠くことのできない情報技術として定着し、日本でも、大企業ではかなり普及している。鉄鋼業の例を表1に示す。

インターネットを用いれば、他企業の人や、海外の人々と会話することも容易である。例えば、企業のホームページには会社の代表電子メールアドレスが表示されているが、そのアドレスにメールを送ってみると、多くの場合は親切な回答が帰ってくる。実は弊社(住友金属工業)もホー

表1 1995年度の鉄鋼業28社のパソコン／ネットワーク普及率(参考文献10)より要約)

平均 従業員数	平均パソコン台数(台)		LAN 接続 比率(%)
	総数	LAN 接続	
2, 310	563. 5	385. 2	68

ムページを開設しているが、日本語版のホームページであるにも関わらず、海外から問い合わせの電子メールが寄せられてくる。これは、画期的なことだ。

仮に、ビジネス誌で海外のある企業についての記事を読み、仕事の関係でその会社に連絡をとりたくなったという状況を想像してみたい。このとき、どういう通信手段を利用するだろうか？例えばFAXという手段がある。しかし、FAX番号が分からない。あなたは海外の企業のFAX番号を調べることができるだろうか？語学が達者であれば、番号案内等に電話をして調査することも可能かもしれない。しかし、多くの日本人はそこまではしないだろう。現実的なのは、海外の事情に詳しい人の助けを求めることだ(例えば商社など)しかし、海外通の知人がいないかもしれない。その結果、お互いにとって有益なコミュニケーションの最初の一步が踏み出せないこともあるだろう。

しかし、インターネットを使えば、www.yahoo.com等の検索ホームページにより企業名を検索し、その企業のホームページから電子メールアドレスを調べ、質問を書いて送るのに30分とかからないはずである。(慣れていれば5分程度かもしれない)おそらく、弊社に届いた電子メールも上記のような経緯であったのだろう。このように、インターネットには、情報交換のコストを下げ、ネットワークを拡げる効用がある。

3.3 日本のネットワークにおける問題

よく、海外から日本は閉鎖的だと非難されることがある。インターネット等を使えば、ソトに属する人や企業や国とも容易にネットワークを拡げることができるのに、実際にはウチにこもりとする人や企業が多い。

これは、おそらく日本のネットワーク文化に属する問題であろう。というのは、日本は島国であり、米国のように移民が多いわけでもない、貧富の差もあまりない、言語も国内共通である。つまり、ソトとコミュニケーションする必然性があまりない。そのため、ソトとコミュニケーションする標準的な手段を確立していない。だから、インターネットのようなネットワークを拡げる手段の有効性に気がつかない。

しかし、いつまでもこの状態だと、日本におけるBPRはかなり遅れることになる。なぜなら、BPRを実現するためには、職位間、部門間、会社間における数限りない部分最適を排除するための説得や調整が必要であるからだ。(これはソトとのコミュニケーションである。)この過程を省略してのBPRの実現はありえない。

3.4 標準的コミュニケーション手段

日本人はソトとのコミュニケーションが苦手である。しかし、ウチにこもれば部分最適に陥りやすくなる。そうならないためには、標準的コミュニケーション手段を身につけ(すなわちオープンネットワークを構築し)、常にソトからの意見に耳を傾けることが大事である。

ところで、システム部門に所属していると、電子メール等を導入したのに活用されないという話を聞く。おそらく、その組織はウチ向きコミュニケーションに偏っているのではないか。そうであれば、部分最適に陥り易い組織なので注意した方がよい。

4 BPRにおけるネットワークの役割

4.1 BPRの各フェーズ

BPRは、大きく分けて計画フェーズと実行フェーズから構成され、この2つのフェーズのサイクルを半永久的に継続する。また、BPRの詳細フェーズとして、参考文献6)を要約して紹介する(表2)。この表においては、1～5が計画フェーズ、6～8が実行フェーズである。

4.2 BPR計画フェーズにおけるネットワークの役割(1)

BPR計画フェーズにおけるネットワークの果たす役割は大きく2つある。1つは、「1. 危機意識を高める」に必要な情報交換の場を提供するという役割である。

例えば、LotusNotes等のツールを使って顧客情報ネットワークを構築し、顧客コンタクト情報などを蓄積している鉄鋼メーカーは多いと想像するが、この顧客情報ネットワークの中に商社や加工センターも参加してもらい、顧客情報や商社や加工センターの意見を入力してもらうという利用方法がある。商社や加工センターは顧客に一番近い場所にあり、その意見には聴く価値がある。そして、社内の多くの人間がその情報を閲覧できるようにする。

表2 大規模な変革を推進するための8段階のプロセス
(参考文献6)より要約)

1. 危機意識を高める
2. 変革推進のための連帯チームを築く
3. ビジョンと戦略を生み出す
4. 変革のためのビジョンを広くコミュニケーションする
5. 広範囲の人材をエンパワーメントする
6. 短期的成果を実現する
7. 成果を統合し、さらなる変革を推進する
8. 新しい方法を企業文化に定着させる

こうすれば、顧客が何を求めているか、一般社員にも良く分かるようになる。(ちなみに、大企業の間接部門には、自社製品の顧客の生の声を聞くこともなく退職する人も決して珍しくないのではないだろうか?)顧客の声は、全ての業務に一貫した価値基準/判断基準である。もし、顧客が何を求めているのか知らず、自分の業務がどんな付加価値を生んでいるか分からないならばBPRは不可能である。

顧客情報ネットワークを構築するメリットは、もう1つある。それは、耳をふさぎたくないような失敗の情報や、社内の他の部門には知られたくないような情報がネットワークの中でガラス張りになることだ。しかし、恥ずかしいと感じることは企業に損害を与えるものではない。それどころか、改革/改善の必要性を強く感じる動機となる。逆に、恥ずかしい情報が一部の経営陣にしか伝わらない。または、まったく隠蔽されるような企業であるならば、その企業が改革のための危機意識を高めることは難しい。そして、危機意識が高まらなければ、BPRは最初の一步を踏み出すことすらできない。

BRPの詳細フェーズに「5. 広範囲の人材をエンパワメントする」とあるように、広範囲の人に情報提供することは、エンパワメントの一環であり、BPRを推進する重要な要因である。このように、ホワイトカラーの情報の透明性を高めるのは、BPRにおけるネットワークの重要な役割である。

4.3 BPR計画フェーズにおけるネットワークの役割(2)

BPR計画フェーズにおけるネットワークの果たすもう1つの役割は、業務プロセスを変革するの道具としての役割である。

例えば、amazon.comというシアトルの街書店が、インターネット上のホームページ(<http://www.amazon.com>)に仮想書店を構築し大成功したのは、注文はインターネット、商品の配送は宅配便という新しい流通経路を開拓したからであろう。

また、最近注目されているのは企業の購買部門における電子取引である。特にNECの例が有名であるが、鉄鋼業でも川崎製鉄が同様の取り組みを実施している。これは、インターネットのホームページにて購買情報を広く公開し、より安価に調達する企業を探すという取り組みである。ホームページ上の仕組みを少し工夫して、自動的にコンピュータに情報が集まってくるようすれば購買事務の工数削減も期待できる。また、購買費用の節約は、節約した金額がそのまま収益につながるため企業としての期待も大きい。

このように、コンピュータネットワークによる業務プロ

セスの改善が可能になった背景としては、コンピュータのハード/ソフト/ネットワークのオープン化が挙げられる。オープン化とは、標準的インターフェース(共通プラットフォームと言っても良い)により、メーカーが異なるハードウェアであっても、同じソフトウェアを利用し、ネットワークで相互接続できるようになったという意味だ。また、オープン化はメーカー間の競争を生み、急速な製品の高性能化と低価格化を実現した。そのため、利用者が増え、市場が拡大し、メーカーと利用者の両方にメリットを生む結果となった。

オープン化とは、換言すれば、不特定多数の相手先とコミュニケーションできるという意味である。オープン化されたネットワークにおいては、自分がネットワークに参加出来れば、すぐに不特定多数の他社とコミュニケーションができる。例えば、amazon.comはインターネットに参加するだけで、即、数億人の利用者を相手に商売を開始できた。もし、インターネットのような共通インターフェースが世界に存在せず、注文者1人1人との間に専用線を引いて、専用端末を設置する必要があるならば、経済的にamazon.comのような商売は割が合わない。

ちなみに、鉄鋼メーカーが商社や加工センターと情報交換するときは、相変わらず専用端末/専用線方式が多いので、導入に時間もかかるし、ランニング費用も大きい。これでは、刻々と変化する事業の状況に迅速に対応することはできない。そう考えると、今後は鉄鋼関係のサプライチェーンを構成する会社間においても、急速にネットワークのオープン化が進むのは間違いない。

4.4 BPR実行フェーズにおけるネットワークの役割

BPR実行フェーズにおけるネットワークの役割は、BPRのプロセス「8. 新しい方法を企業文化に定着させる」ことである。

BPRはその性質上、現状に満足する人々や部分最適の利益を失う人々からの抵抗がつきものである。そのような人々は、ことあるごとにBPR前の居心地の良い場所を作りだそうと努力する。また、真面目にBPRに取り組んでいる人であっても、自分の取り組みが何かの役にたったという手応えがなければ、やがて、努力することをやめてしまう。BPRを始めとするリエンジニアリングとは、雪山で遭難しそうな山岳パーティが、目的地に向かって行進する行為に喩えることができる。それは絶え間ない、緊張と重労働を強いられる行為である。そのうち、パーティの中から「前に居た場所に留まっていた方が良かった」「目的地が間違っている」「もう休みたい」などの様々な弱音が聞こえてくると思う。

こんなとき、パーティのリーダーは「あと5kmで目的地だ」とか「その難所を超えたら少しは楽になるぞ」などという言葉をかけて叱咤激励する必要がある。このとき、重要なのは正確な地図と方位磁針などの道具だ。できれば、GPS(Global Positioning System、衛星を利用した測位システム)などのツールがあればより好ましい。

BPRにおいては、地図はビジョン、方位磁針やGPSなどの計測ツールはコンピュータシステムにあたる。そして、目標を決め、ネットワークを通じて関係者全てに成果を示すことで、改革の進行状況や方向を示し、叱咤激励することができる。

成果が目に見えるようになると、その成果が次の行為にフィードバックされるようになる。これを繰り返すと目標に到達する。これは、サイバネティクスという概念である⁷⁾。逆に言えば、自分がどこにいるのか、また、目標がどこにあるのか分からなければ、永遠に目標につくことはできないということである。

4.5 BPRと大型飛行機

BPRは大型飛行機と似ている。リーダーが操縦桿を握り、現場がエンジンや主翼や尾翼や舵の役割を担う。操縦桿の情報は油圧等のネットワークより主翼や尾翼の舵に伝達されるので、ネットワークがなければ飛行機を操縦することはできない。ネットワークの果たす役割が大きいのは、大型飛行機もBPRも同様である。

ところで、最近の飛行機は、油圧でなくフライバイワイヤという電機信号を利用した制御システムを採用している。さらに、現在フライバイライトという光信号による制御システムも開発中らしい。これにより、さらに高度な制御が可能になり、また部品の軽量化が図れるそうだ。フライバイワイヤはBPRにおけるインターネットのようなものと言えるかもしれない¹²⁾。

5 鉄鋼業におけるBPRの可能性

鉄鋼業の抱える問題の1つに在庫の問題がある。下記は有価証券報告書のデータから引用した各社の平成7年度の売上金額と在庫金額である。このように、売上高に対しての在庫金額を比較すると、鉄鋼業は自動車産業や家電産業と比較して在庫負担が重いことが分かる。

表3を見ると、最終消費者を顧客とする業界は全般的に在庫が少なく、素材産業は在庫が多いという傾向が見られる。その理由として、1つには生産計画精度の低さが挙げられる。というのは、素材メーカーは顧客であるメーカーの需要予測を元に間接的な需要予測をするからである。し

表3 製造業の棚卸金額／売上高比較

(出典：各社の平成7年度有価証券報告書より抜粋)

会社名	売上高(A) (百万円)	棚卸金額(B) (百万円)	B÷A (%)
トヨタ自動車(株)	7,957,152	181,498	2.3
マツダ自動車(株)	1,443,327	68,632	4.8
松下電器産業(株)	4,441,714	226,208	5.1
本田技研工業(株)	2,447,502	131,854	5.4
日産自動車(株)	2,441,716	147,963	6.1
ソニー(株)	1,930,998	183,303	9.5
(株)神戸製鋼所	1,209,407	218,354	18.1
(株)東芝	3,713,022	707,239	19.0
(株)日立製作所	4,126,419	821,245	19.9
住友金属工業(株)	1,056,982	250,227	23.7
新日本製鐵(株)	2,099,750	529,481	25.2
川崎製鉄(株)	928,444	243,187	26.2
日本鋼管(株)	1,159,742	322,739	27.8

たがって、必然的に生産計画精度が低くなる。加えて、鉄鋼の製造期間が1ヶ月以上と非常に長いことも生産計画精度を低くする要因である。

一般に、顧客の生産計画が確定するのは1ヶ月前頃である。しかし、鉄鋼メーカーでは、事務処理期間や製品製造期間の関係上、1ヶ月前の生産計画を入手するより、かなり前から生産計画を立てる必要がある。加えて、特に紐付顧客に対して在庫切れは許されない。その結果、営業は安全在庫を高く積む必要がある。しかし、もし、需要家の1ヶ月前生産計画を入手してから生産計画が立てられるならば、営業は安全在庫を高く積む必要がなくなるはずだ。

ところで、1997年9月17日の日経新聞9面に「スピード経営・低在庫実現」という見出しで、デルコンピュータの上級副社長ロリンズ氏に対するインタビュー記事が掲載されていた。ロリンズ氏は次のように述べている。「昨年7月に導入したパソコンのオンライン販売は予想を超えるペースで成長し、今では世界の販売額は1日250万ドルに達した。百社近い顧客に対しても1社ごとにホームページを用意し、販売や技術的なサポートをこなす。インターネットはファクシミリに比べ究極の低コスト・高効率の通信手段だ。早く次の次元へ引き上げたい」一次の次元とは、「ユーザーがパソコンに打ち込んだ瞬間に注文データが工場に伝わり生産が始まる。生産状況や発送時期もガラス張りになる。サービスも年中無休の24時間対応が可能になる。IT(情報技術)による情報の共有化でユーザー、部品メーカーなどの関係はより緊密なものに変化し、真の高速経営を実現できる」

この企業のアイデアを鉄鋼業界に応用すれば、以下のようなイメージになる。

表4 時間管理のマトリクス

(参考文献8)より要約)

第一領域 ●緊急でしかも、 重要な仕事	第二領域 ●緊急でないが、 重要な仕事
第三領域 ●緊急だが、 重要でない仕事	第四領域 ●緊急でなく、 重要でもない仕事

- ・顧客～商社～加工センター～鉄鋼メーカーがインターネットに参加する(ただしセキュリティの考慮は必要である)
- ・鉄鋼メーカーは商社や加工センターから顧客の生産計画/計画変更情報をリアルタイムに収集する。そして、入手情報の影響を生産計画システムによりリアルタイムに評価し、生産計画を立案/修正する
- ・製品の工程進捗情報や物流進捗情報をリアルタイムに関係先に情報発信する

このシステムとネットワークにより、事務処理時間を極小化し、さらに、製造期間ももう少し短縮できれば、生産計画入手～製品納入の期間を1ヶ月強くらいまで短縮することが可能かもしれない。そうすれば、顧客の生産工程と加工メーカー/鉄鋼メーカーの生産工程は精度の極めて高いシンクロナイズーションを実現でき、結果として在庫を削減することができるのではないだろうか。

6 最後に

しかし、実際の改革は口で言うほど簡単ではない。改革という言葉に抵抗を感じる人は多い。いっぽう、日本人はむしろ改革を得意にしているという見方もある。たとえば、先日、ある講演会にて、花王の常磐社長は次のような内容を講演されていた。

- ・諸行無常とは、世の中は移り変わるということ。
- ・移り変わる世の中に合わせ、変化する者のみが生き残る。生物も企業も同じ。
- ・業務革新で大事なものは、移りゆく世の中にあわせて、自分を変化させること。

そう考えると日本人は、明治維新～戦後～高度成長期～現在という激動の歴史で、自らを革新しながら上手く時

代の波を乗り越えてきたと言えるのではないかな。

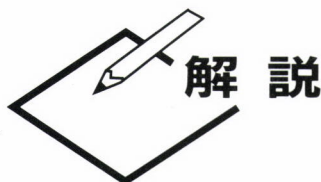
一般的に人は、表4の第三領域の仕事に日常の多くの時間をとられ、第二領域の仕事に手が回らないものである。例えば、健康にとって適度な運動が重要であることは誰でも分かっているが、実際に運動をしている人は少ないものだ⁸⁾。

BPRはいわば企業の健康のために行う運動のようなものだ。(いっぽうリストラは、脂肪除去手術などの外科手術に近い方法なので、何度もやりたいものではない。)最初はもちろん苦しいことも多いが、継続するのは可能な行為である。そして、適度に行えば素晴らしい結果が得られると、私は考える。

参考文献

- 1) 古賀健太郎, 木村二郎, 近藤修司: リエンジニアリングが分かる本, 日本能率協会編, JMAM, (1993), 45, 49, 55, 75.
- 2) 板坂元: ああアメリカ, 講談社現代新書, (1973), 57, 158.
- 3) 松浦秀明: アメリカ製造業が復活した理由, 日本経済新聞社, (1994), 231.
- 4) 高橋伸夫: できる社員はやり過ごす, ネスコ発行, 文芸春秋発売, (1996), 137.
- 5) 中根知恵: タテ社会の人間関係, 講談社現代新書, (1967), 47.
- 6) ジョン・P・コッター: 21世紀の経営リーダーシップ, 日経BP社, (1997), 39.
- 7) 唐津一: 販売の科学, PHP文庫, (1993), 73.
- 8) スティーブン・R・コヴィー: 7つの習慣, キング・ペアー出版, (1996), 215.
- 9) 國領二郎: 価値創造のネットワーク経営(JIOA設立15周年特別事業「高度情報通信ネットワークの進展による経営革新研究」研究報告会プレゼンテーション資料), JIOA, (1997), 44.
- 10) 情報化白書, 日本情報処理開発協会編, コンピュータエージ社, (1997), 380.
- 11) Michael Hammer & James Champy: リエンジニアリング革命, 日本経済新聞社発行, (1993)
- 12) 帝人精機 ホームページ: <http://www.teijinseiki.co.jp/>

(1997年10月7日受付)



材料分野における計算科学

松宮 徹

Tooru Matsumiya

新日本製鐵(株) 先端技術研究所
解析科学研究部長

Computational Science in Materials

1 はじめに

材料分野においては、材料プロセス、材料組成・構造、および、材料物性・機能との関係を明らかにすること、また、それらの関係を支配する素過程、現象は何なのかを把握することが重要である。この観点からは、計算科学によって素過程、諸現象をシミュレーションしてこれらの関係を定量的に再現してみ、実験事実と対比して検証しながら、関係を支配する機構を理解し、結果を予測することは、最終的にはプロセスを制御し、材料組成・構造を制御して、目的とする物性・機能を得る方策を示す上で効果的である。また一方、物性・機能の発現はマクロ現象を組み合わせても理解されない場合が多く、その機構の解明のためには原子レベルでの材料の挙動、あるいは、電子構造に立ち戻って考える必要があるが、これらについては実験のみによっては十分な情報が得られず、この点からも計算科学の活用

が大いに期待される。また、原子レベルのシミュレーションや電子構造解析計算からは上述の現象を組み合わせでのシミュレーションに必要な物性値が計算されるので、実験値を補完したり、整合性を確認できる意味からも意義がある。

図1に著者が88年の鉄と鋼において、材料科学・工学への分子動力学の適用に関する研究動向を述べた際に引用した計算モデルのヒエラルキーを示す¹⁾。当時と現在までの間の変化として、個々のモデル階層での計算手法の進歩に加え、2つの階層を組み合わせたハイブリッドな計算手法が進展したことがあげられる。また、計算コストは3桁程下がったことと相まって、大きな計算が可能となって、実用的な問題の解ける範囲が広がっている。そこで、これらの観点から注目される計算科学における代表的な手法とそれらの応用例を紹介したい。ただし、これまでに展望、ないし、解説されたものについてはなるべく重複を避けるため、それらの参照もお願いすることにした¹⁻⁷⁾。

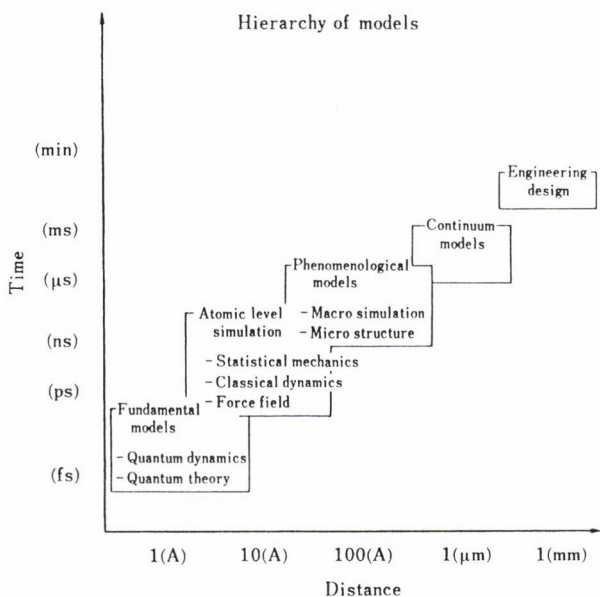


図1 W. Goddard IIIによる計算モデルのヒエラルキー¹⁾

2 計算熱力学

2.1 多元熱力学平衡計算の方法

熱力学平衡計算はずっと昔から行われているが、コンピュータの能力をフルに使って初めて行いうる熱力学をここでは計算熱力学と呼ぶ(計算流体力学に倣う)。計算熱力学については参考文献5)、6)に詳しくは述べているが、一般雑誌ではないので、ここに方法を概説する。すなわち、ある温度、圧力下で平衡状態を計算する方法は、まず各相中の化学種のモル数 n_{ij} を未知数として各相の自由エネルギーを計算し、これらの和をとって系全体の自由エネルギーを式で表わす。

$$G = \sum_i \sum_j^{S_i} \{g_{ij}^0 + RT \ln a_{ij}(n_{i1}, n_{i2}, \dots, n_{isi})\} n_{ij} \quad (1)$$

ここで G :全自由エネルギー、 p :相の数、 s_i :相 i を構成する化学種の数、 g_{ij}^0 :相 i 中の化学種 j の標準生成自由エネルギー、 n_{ij} :相 i 中の化学種 j のモル数、 a_{ij} :相 i 中の化学種 j の活量である。活量は各相の自由エネルギーを熱力学モデルを用いて、組成、温度、圧力の関数として表現して整理されたデータベースを用いて求められる、 n_{ij} の関数である。平衡計算ソフトSOLGASMIX⁸⁾では、相が気相、凝縮相の溶体相、ストイキオメトリックな純化合物相に分けられており、気相中の化学種すなわち成分気体の活量 a_{ij} は n_{ij} から計算されるモル分率に全圧 P を掛けて計算される。ストイキオメトリックな純化合物相では活量は1で g_{ij}^0 はその化合物の生成自由エネルギーである。凝縮相の溶体で元素自体が化学種の合金等の場合は元素のモル分率で活量が計算される。活量基準と標準状態の元素 j との差が g_{ij}^0 として使われる。また、多元酸化物溶体のような化学種が化合物である場合は成分酸化物のモル分率で活量が計算され、 g_{ij}^0 としては、ストイキオメトリックな化合物の場合と同様に、化学種である成分酸化物の構成元素の標準状態からの生成自由エネルギーを用いる。

そして、全ての相に含まれる成分元素のそれぞれの合計モル数を系の組成によって一定に拘束しながら、系全体の自由エネルギー G を n_{ij} に関して最小化する。拘束条件(物質収支)は次式で表される。

$$\sum_i \sum_j^{s_i} \alpha_{ijk} n_{ij} = b_k \quad \dots\dots\dots (2)$$

ここで、 α_{ijk} :相 i 中の化学種 j 1モル中に含まれる元素 k のモル数、 b_k :対象系中の元素 k の総モル数である。例えば、酸素の全量が判っている条件で鋼の脱酸平衡を解析する場合、酸素は溶鋼にも溶けているし、脱酸生成物にも存在する。溶鋼中の酸素は元素が化学種であるから、これに対しては $\alpha_{ijk}=1$ である。脱酸生成物がアルミナとカルシアとの融体とすると、化学種 j がアルミナ Al_2O_3 の場合に対しては i をこの融体、 k を酸素として、 $\alpha_{ijk}=3$ であり、 j がカルシア CaO の場合に対しては $\alpha_{ijk}=1$ となる。また、相としては、この融体が CaO で飽和していて固相の CaO も存在しているとすれば、溶鋼、融体、 CaO 固相についての和をとることになる。

拘束条件付きの G の最小値問題を解くにあたっては、ラグランジュの未定定数法を用いる。この場合ラグランジアンは次式で示される。

$$L = G - \sum_k \lambda_k (b_k - \sum_i \sum_j^{s_i} \alpha_{ijk} n_{ij}) \quad \dots\dots\dots (3)$$

ここで、 λ_k :未定定数、 K :対象系を構成する全元素の数である。解くべき未知数は n_{ij} および λ_k であり、これらを式(2)に示した拘束条件式と次の最小化の条件式と連立させ

て解く。

$$\partial L / \partial n_{ij} = 0 \quad \dots\dots\dots (4)$$

未知数の数は n_{ij} の総数と λ_k の総数との和だけあるが、方程式の数も n_{ij} の総数だけ式(4)があり、 λ_k の総数だけ式(2)があるので、これらの値は求められる。SOLGASMIXでは、ニュートン・ラプソン法が用いられているが、他の最小値化法も適用できよう。全体の自由エネルギー G を最小にする n_{ij} が求まると、平衡状態にある各相のモル数および組成が求まる。

2.2 多元熱力学平衡計算の応用

平衡計算を組成、温度を変えて繰り返し計算することによって状態図を描く事ができる。その目的で熱力学データベース、平衡計算機能、結果を図示する機能を併せ持ったソフトも充実してきている⁵⁾(例えばThermo-Calc⁹⁾)。ただし、上述の計算を行うには状態図に現れる各相の持つ自由エネルギーが既知でなければならない。それでは計算がどうして意義があるのかというと、まず、自由エネルギーの関数形として理論的な熱力学モデルに立脚したものを用い、この関数の中に現れる係数を状態図での相境界線をはじめあらゆる熱力学諸量と最も矛盾が少ないように定めると、実験状態図の中の誤りを正す事もでき、また、熱力学モデルに従って実験で得られていない系での平衡関係や、さらに多元系の状態図をある程度合理的に外挿して予測することができることである。さらに、変態界面、析出界面等の反応界面での平衡計算に用いて、相の中の溶質の拡散方程式を解く差分計算と組み合わせて、変態組織や析出の予測が可能となる。拡散律速型固相変態、析出を解析する

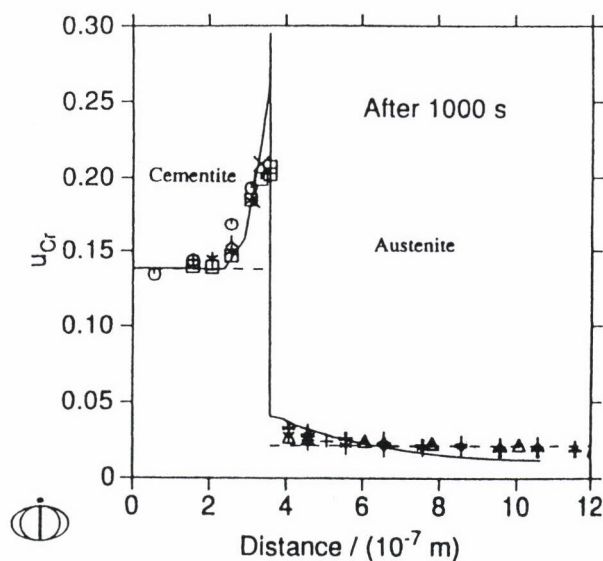


図2 オーステナイト変態時のCrの濃度分布の計算と実測との比較¹⁰⁾

プログラムとしてDICTRA¹⁰⁾が開発されている(図2)。

ステンレス鋼の溶接部における残留 δ 相の分率は溶接部の耐割れ性に大きく影響する。ステンレス鋼は成分に依存して、凝固の様式は初晶が γ 相である様式から δ 相である様式に亘る。 δ 相は温度低下とともに γ 相へと変態する。そこで、筆者らもDICTRAと同様の考え方で、溶接部の組成、溶接条件(加熱条件)で残留する δ 相の割合がどのように変化するかを変態界面での平衡と拡散を方程式を計算する事により解析し、その残留量の予測を行う事ができることを確認している¹¹⁾。

これらは、輸送現象を連続体力学的に解析しながら、ローカルな化学平衡や反応を現象論的モデルで解析する一種のハイブリッドな計算法と見なせる。

3 モンテカルロ法

3.1 モンテカルロ法の活用の意義

材料科学においてモンテカルロ法は大きく2通りの活用方法がある。一つは熱力学平衡状態にある系の統計力学的集団を創出する方法である。この方法では、原子間の相互作用が判ってさえいれば、原子の配列のエントロピーが最大になる統計力学的集団を創出するので、計算の結果としてどんな相が存在しているのかが判る。つまり、計算の前には未知であった相も発見できるのである。もう一つは遷移現象の確率論的シミュレーションの方法としての活用である。例えば、材料の変態組織形成の数学的解析において、組織のサイズ、形態を予測するには、温度、溶質の拡散場の解析に併せて、界面エネルギーを考慮して核形成、成長を解析することが要求される。原子論的な立場からは、次節に述べるように原子一つ一つの動きを計算する分子動力学法により、これらの因子を全て考慮して組織の形成をシミュレーションすることは原理の上では可能であるが、シミュレーションできる空間、時間の制約から、とても現実的な方法とは言えない。一方、素過程の確率論的施行で現象をシミュレーションするモンテカルロ法は、現象内の素過程をどのように選ぶかにより、巨視的なシミュレーションから原子レベルの微視的なシミュレーションまでカバーできるメソスコピックなシミュレーション法として着目される。

3.2 熱力学平衡状態のシミュレーション

Cu-Au 2 元系のシミュレーションを例にとって説明する。この系の面心立方晶の規則相と不規則相の安定領域を調べるため、面心立方構造を持った立方体のシミュレーションセルを用意し、各格子点にCuあるいはAuいずれか

の原子を初期条件として配置させる。次に、各格子点における原子の種類を変更する試行を行う。系全体の持っているエネルギーを E 、Cu、Auの原子数および化学ポテンシャルを n_i 、 μ_i として、この原子変更(A原子からB原子への変更とする)による $E - \sum n_i \mu_i$ の変化が負の場合はこの原子変更を無条件に認め、正の場合には0から1の間に一様に分布する乱数から一つの数 R を無作為に選び、 $R < \exp\{-\Delta(E - \sum n_i \mu_i)/kT\}$ であればこの原子変更を認め、そうでなければ変更を認めず、もとの原子のままにしておく。ここに、 k はボルツマン定数、 T は絶対温度を表す。この試行を全格子点について行うのを1モンテカルロステップ(MCS)と呼ぶ。

これを何千、何万MCSと繰り返した暁に、系は平衡状態に達する。この時、どの原子配列も $E - \sum n_i \mu_i$ のボルツマン因子に比例する頻度で現れる。すなわち、グランドカノニカル集団を創出している。内部エネルギー E は原子間の相互作用エネルギーから計算するが、詳細は文献7)を参照されたい。以上の計算では、化学ポテンシャルの相対値 $\Delta\mu$ 、温度を入力条件とし、計算結果として組成と原子配列が計算される。温度および $\Delta\mu$ を種々取り替えた条件下で得られた平衡状態をマップ化することにより状態図が描ける。

この方法により、規則合金中の原子配列の他に、表面編析、粒界編析、転位芯周りへの編析、高温超電導酸化物 $\text{YBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ の酸素空孔の配列の酸素ポテンシャルによる変化が調べられている。これらについて詳細は文献1)、3)を参照願いたい。

3.3 再結晶・変態組織形成のシミュレーション

面心立方構造をもったシミュレーションセルを用意し、各格子点ごとにそれが位置する結晶粒の相の種類と結晶方位を識別する整数値を背番号として与える。すなわち、隣接する格子点と同じ背番号を持っているならば、それらの格子点は同じ結晶粒に属していることを意味するし、もし、異なった背番号を持っているならば、それらは異なった結晶粒に属していることになるので、それらの間には結晶粒界または異相界面が存在することを意味する。1 MCSの間

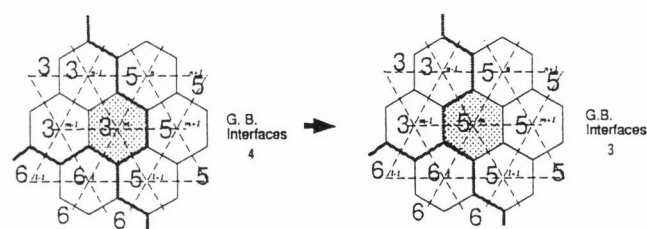


図3 粒成長のモンテカルロシミュレーションにおける格子点の結晶方位変更の試行の概念図⁷⁾

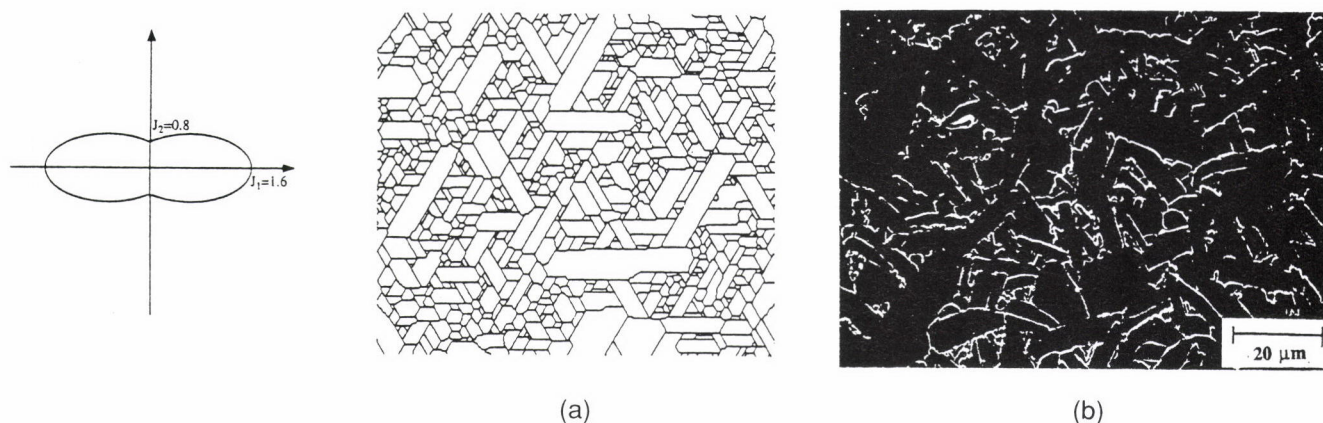


図4 アルミナのマクロ組織の実測(b)とシミュレーション結果(a)の対比¹²⁾
(a)図の左図は計算に用いた界面エネルギーの模式図

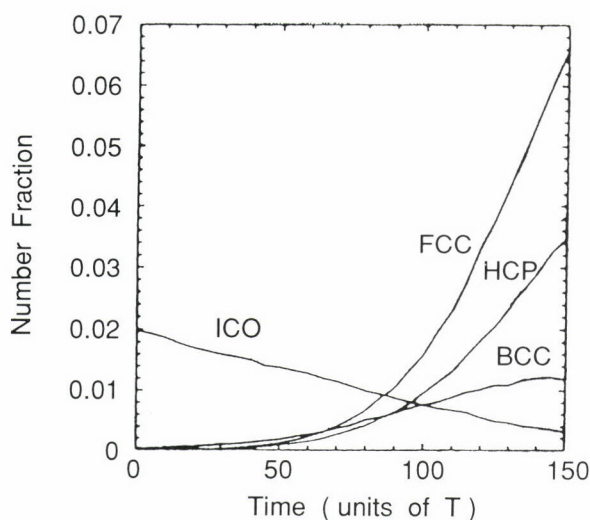


図5 レナードジョーンズ粒子系の過冷融液における結晶核数の時間変化¹³⁾

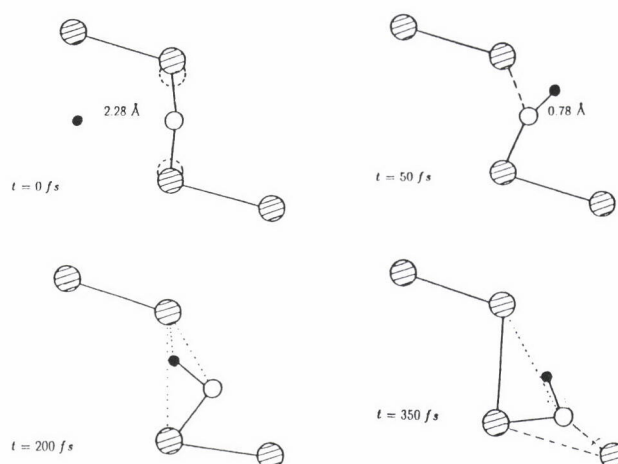


図6 シリコン結晶中の酸素の拡散を助ける水素の挙動¹⁵⁾

に、全ての格子点について、その背番号を他の番号へある確率に従って変更していく。例えば、全ての背番号への変更を候補とし、(5)式に示すそれぞれの背番号への変更の確率に従っていずれかの背番号に変更する(たまたま、変更前の背番号が選ばれることもある)。

$$W_{s_i} = \exp(-\Delta E_{s_i}/kT) / \sum_q \exp(-\Delta E_q/kT) \quad \cdots (5)$$

ここで、 Q は背番号の種類を示す。また、図3に示すように格子点 i (図中は m 点)の背番号を変更するときのエネルギーの変化 ΔE は以下の式で計算されるエネルギー E の変化で与えられる。

$$E_i = \sum_j J_{s_i s_j} (1 - \delta_{s_i s_j}) + G_{s_i} \quad \cdots (7)$$

ここで、 s_i 、 s_j は格子点 i およびそれに隣接する格子点 j の背番号を示し、 J は界面エネルギー、 G は格子点の体積に相当する自由エネルギーを表す。

この方法によって、変態、再結晶組織の他に、凝固マクロ組織形成、デンドライ成長、鉄の水中への溶出、分子線エピタキシーによる結晶成長等の解析がなされている。文献3)、7)を参照願いたい。Youngらは粒界エネルギーの方位依存性として、Wulffプロットにおいてカスプが一つ存在するように選択することによって、アルミナの典型的なマクロ組織に類似の組織を再現している(図4)¹²⁾。

4 分子動力学法

4.1 分子動力学法の概要と最近の動向

原子 i に作用する力 F_i に基づき、ニュートンの第2法則に則り加速度 a_i を求め、以下の微分方程式の時間発展を求めるのが分子動力学法の原理である。

$$dv_i/dt = a_i = F_i/m_i \quad \cdots (8)$$

$$dx_i/dt = v_i \quad \cdots (9)$$

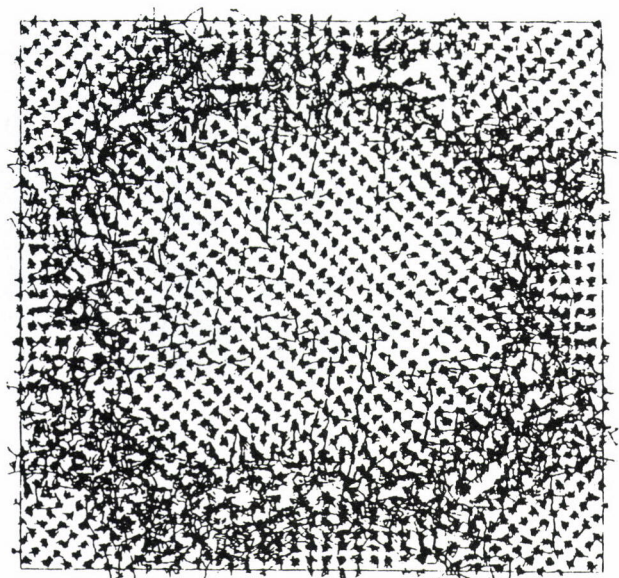


図7 2000Kにおけるジルコニアの分子動力学シミュレーションの10ps.中の酸素の軌跡¹⁶⁾
(粒内に直線的な<100>方向の酸素の動きが見られる。)

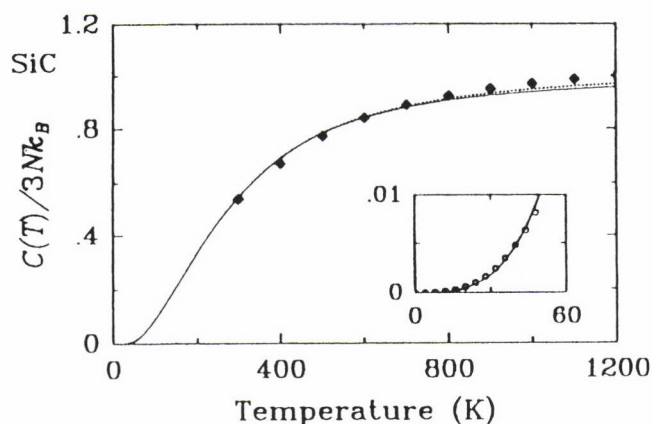


図8 SiCの定積比熱の計算結果¹⁸⁾(高温域の黒四角は実測値)

ここで、 m_i 、 v_i 、および、 x_i は、それぞれ、原子 i の質量、速度ベクトル、および、位置座標ベクトルを表し、 t は時間を表す。具体的には原子の振動周期の100分の1程度、すなわち、 10^{-15} 秒程度の時間刻み Δt を用いて、速度、位置が更新される。

そして、物質のもつ様々な構造、および、原子の運動を起源とする物性が計算される。さらに、各種の動的過程・現象が原子の動きとして計算する事が出来るので、原子ひとつひとつの位置を制御する必要がある素材製造プロセスの解析や、現象の機構解析に力を発揮する¹⁻⁴⁾。電子計算機能力の飛躍的な進歩を背景に、数10万~100万原子の系を取り扱う解析もなされ、融液からの結晶核形成¹³⁾、鉄の亀裂進展、 SiO_2 の破壊と破面構造¹⁴⁾、ベナール対流のシミュレーションがなされ、融液からの最初の結晶核は準結晶にみられる正20面体構造を持つこと、時間が立つに連れ、正20面

体構造の結晶核が減り、面心立方格子や体心立方格子構造の結晶核が増加してくること等の興味深い結果が得られている(図5)¹³⁾。また、次節に述べる経験的なポテンシャルを用いなくて、電子の空間分布の変化も併せて解いて原子に働く力を求める分子動力学法も適用が広まり、結晶欠陥の構造、安定性、結晶表面の欠陥、緩和構造、表面への吸着、拡散過程等の機構解明に適用されている。中でも水素の存在によってシリコン結晶中のSiのボンドセンターにある酸素のSi-O結合が切れるのを助けて、酸素の拡散の活性化過程のエネルギーバリアーが低められ、その拡散係数が著しく大きくなる機構が解明されている(図6)¹⁵⁾。また、固体電解質 ZrO_2 の酸素の高拡散性についても解析が進んでいる(図7)¹⁶⁾。

4.2 第1原理MD法

この方法は原子間ポテンシャルを与えて解く古典的な分子動力学法と次説に述べる電子構造解析のハイブリッドな計算と見なせる。すなわち、原子の位置の変化に応じて波動関数も更新し、電子の空間分布を更新して、原子間に作用する力を電子論に基づいて計算しながら行う分子動力学法である。Car-Parrinello法の開発¹⁷⁾を契機にこの種の計算が飛躍的に進歩した。文献2)、3)に方法および応用例を紹介している。図6に示す計算もこの方法によるものである。図8はKarchらがこの方法で行ったSiCのシミュレーションから比熱を計算したものであるが、古典的分子動力学法による結果と異なって、低温での比熱が正しく計算されている¹⁸⁾。

5 電子構造解析

電子構造解析はシュレディンガーの波動方程式を孤立した分子に対して解く分子軌道計算と単位胞内の原子配列が無限に繰り返されるとして解くバンド計算とによってなされる。前者の場合は分子数が増すほど、後者の場合は単位胞が大きくなるほど計算が困難となる。前者ではバルクの性質を求めるにはバルク中に埋められている原子クラスターを取り出してその電子構造を求めてバルクの性質を予測する。これについてはふえらむに既に展望として説明されているので参照されたい¹⁹⁾。後者の場合は、次式に示す密度範囲数近似での電子の波動方程式、Kohn-Sham方程式を解くものである。

$$\{-(1/2)\Delta + v_{\text{eff}}(\mathbf{r})\} \Psi_i(\mathbf{r}) = \varepsilon_i \Psi_i(\mathbf{r}) \quad \cdots \cdots (10)$$

$$v_{\text{eff}}(\mathbf{r}) = v(\mathbf{r}) + \int_{\Omega} d\mathbf{r}' n(\mathbf{r}') / |\mathbf{r} - \mathbf{r}'| + \delta E_{\text{xc}}[n(\mathbf{r})] / \delta n(\mathbf{r}) \quad \cdots \cdots (11)$$

ここで、 ε_i 、 $\Psi_i(\mathbf{r})$ は固有値とその波動関数、 $n(\mathbf{r})$ は電子密度、 E_{xc} は交換相関エネルギー、 $v(\mathbf{r})$ は原子核が電子に作用するポテンシャル・エネルギーを示す。 Ω はシミュレーション・セルの全領域を意味する。有効ポテンシャル $v_{eff}(\mathbf{r})$ は電子密度 $n(\mathbf{r})$ に依存するので、式(10)を解いて求めた Ψ_i から、占有状態について合計して計算された電子密度が $v_{eff}(\mathbf{r})$ に用いた電子密度とコンシステントである必要がある。詳しくは筆者も白石記念講座で解説しているのでご参照願いたい³⁾。近年の変化としては、基本的には前節の第一原理分子動力学に基づいて、正確な原子構造を求めて電子構造を計算することが可能となって応力下で変形しているバルクの性質、欠陥、表面、界面の性質、現象に関する計算が飛躍的に正確にできるようになっている。

6 おわりに

前報¹⁾から約10年を経て、分子動力学法は電子構造解析とハイブリッド化されて格段に確からしさが向上し、本報告に一部を紹介したように、物性の計算、その発現機構の解明の双方に威力を発揮してきている。その間に、当時希望していた共同研究会活動やプログラム交換機構が我が国にも整備されてきている。例えば、日本機械学会および日本材料学会でも分子動力学分野の委員会が発足して、破壊現象、塑性変形、機械的性質などへの適用の検討が進められている。その中では分子動力学法と有限要素法とのハイブリッド法の改良もなされている。また、計算科学を主体的に取りあげた科学技術振興調整費による“物質・材料設計のための仮想実験技術に関する研究”や、中心の一つとして取りあげた通産省の大型プロジェクト“アトムテクノロジープロジェクト”も出現した。また、QCPEと同様の趣旨から日本でも量子化学計算法を中心にプログラムの交換機構JCPEが発足している。(社)企業研究会でも計算科学による材料設計を指向した研究会が10年間続き、Car-Parrinello法のプログラム開発を行いJCPEに第一バージョンを登録している。計算熱力学についても1986年に日本金属学会ほか5学協会が母体となって合金状態図研究会が発足し、その中の中心的研究対象の一つとして、今日に至って

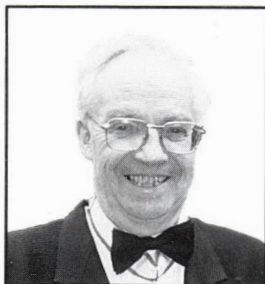
いる。

参考文献

- 1) 松宮徹：鉄と鋼，74 (1988)，753.
- 2) 松宮徹：材料，40 (1991)，509.
- 3) 松宮徹：第20回白石記念講座，日本鉄鋼協会編，(1991)，13.
- 4) 松宮徹：日本機械学会誌，97 (1994)，454.
- 5) 山田亘：日本金属学会セミナーテキスト“材料開発・設計における状態図の基礎と応用”，(1994)，93.
- 6) 松宮徹：日本金属学会セミナーテキスト“材料創出の熱力学”，(1995)，49.
- 7) 松宮徹：まてりあ，35 (1996)，912.
- 8) G. Eriksson：Chemica Scripta，8 (1975)，100.
- 9) B. Sundman, B. Jansson and J-O. Andersson：CAL-PHAD，9 (1985)，153.
- 10) J. Ågren：J. Phys. Chem. Solids，43 (1982)，385, ISIJ Int.，32 (1992)，291.
- 11) T. Koseki, T. Matsumiya, W. Yamada and T. Ogawa：Metall. Trans. A，25A (1994)，1309.
- 12) W. Young, L-O. Chen and G. L. Messing：Mat. Sci. & Eng. A，195 (1995)，179.
- 13) W. C. Swape and H. C. Andersen：Phys. Rev. B，41 (1990)，7042.
- 14) P. Vashista, A. Nakano, R. K. Kallia and I. Ebbs-joe：J. Non-cryst. Solids，182 (1995)，59.
- 15) S. Estreicher, Y. G. Park and P. A. Fedders：Early Stages of Oxygen Precip. in Silicon, ed. by R. Jones，(1996)，179.
- 16) 小川浩，澤口直哉，若井史博：名古屋技術研究所報告，46 (1997)，135.
- 17) R. Car and M. Parrinello：Phys. Rev. Lett.，55 (1985)，2471.
- 18) K. Karch, P. Pavone, W. Windl, D. Strauch and F. Bechstedt：Int. J. Quant. Chem.，56 (1995)，801.
- 19) 足立裕彦：ふえらむ，2 (1997)，177.

(1997年11月4日受付)

名 誉 会 員 追 悼



故 名誉会員 Paul Lacombe 君

日本鉄鋼協会名誉会員Paul Lacombe博士は1997年12月18日11時10分ご逝去されました。享年87才でした。葬儀は12月23日パリ南郊の教会で、厳かに執り行われました。

氏は1911年7月11日フランス・リール市で生まれ、1933年リール国立高等化学学校を卒業後、パリ大学で理学博士号を取得されました。1945年パリ大学冶金学科主任、1947年ヴィトリール化学冶金研究所・主任研究員、ついで1952年から20年間パリ高等鉱山大学校冶金学教授および同校冶金研究所所長を勤められました。この間、国立サクレ原子力研究所原子力材料教授、パリ大学オルセー理学部教授等も兼務されました。さらに1972年パリ南大学オルセー・センター教授兼国立科学研究センター・177研究所長に就任され、1980年パリ南大学名誉教授になられると共にフランス科学アカデミー会員に推挙されました。その後引き続き科学アカデミー終身書記、副会長、会長を歴任されました。

氏はこの間、教育への功勞、冶金学、化学研究上の功績、国際交流への貢献により教育功勞勲章、レジョン・ドヌール・オフィシエ勲章、国家功勞オフィシエ勲章をはじめ世界の学会、大学から賞を受けられました。さらに、氏がフランス金属学会会長であった1965年、本会の名誉会員になられました。また、日本国から勳三等旭日中授章が授与されています。

氏の教育への功勞は1000人を超える子弟から約200人の博士を誕生させたことです。この中に日本人10人余が含まれています。冶金学上の功績は1932年から20年間はアルミとその合金開発、著名なラコンブ液による金属組織研究、金属の変形機構研究であり、1950年からは原子力材料の開発、ラジオアイソトープをもちいた世界初の金属拡散研究、拡散に関連した鉄の割れ防止、割れにくい鋳鋼、水素割れ防止、高温酸化の研究であり、1970年以降はチタンとその合金など宇宙航空材料開発、電磁材料の開発等と枚挙にいとまがありません。

また、氏の国際交流への貢献としては大戦後の困難な時代から世界の研究者、留学生を集め、指導、共同研究をされました。これらの貢献によりフランス以外の六大学から名誉博士号を受けられ、三カ国のアカデミー会員に選出されました。日本からは1957年以降20人余の研究者、留学生が指導をうけました。来日も8回に及びその度毎に、本会等でユーモアたっぷりの講演をされ、満場を湧かせておられました。常々母国同様に日本が好きだとおっしゃっており、日本文化の造詣も深く、浮世絵の収集もなさっていました。

今日、技術革新が叫ばれる中、氏の見識が必要とされる時に、お別れを余儀なくされることになりました。しかし氏が残された大きな功績は指導を受けた多くの人々によって、必ずや受け継がれていくでしょう。

名誉会員Paul Lacombe博士の偉業を偲び、会員一同心から追悼の意を捧げ、ご冥福をお祈りいたします。

1997年12月

社団法人日本鉄鋼協会 会長 野田 忠吉

本会情報一覧

記事内容	掲載号
第83回通常総会開催案内	本号209頁
第135回春季講演大会 懇親会のお知らせ	本号209頁
理事、監事、評議員候補者氏名一覧	本号210頁
新名誉会員および受賞者のお知らせ	本号210頁
鉄鋼研究振興助成（含む石原・浅田研究助成）第7回受給者のお知らせ	本号212頁
第24回鉄鋼工学セミナー受講者募集案内	本号213頁
第135回春季講演大会「新製品・新技術紹介コーナー」のご案内	本号218頁
シンポジウム「前近代の製鉄史を語る」開催案内	本号218頁
シンポジウム「人間・社会・環境との新しい調和を求めてーⅦ」開催案内	本号219頁
シンポジウム「鉄鋼プロセスのモデリングと制御ー現状と展望」開催案内	本号219頁
鋼構造品工学フォーラム「土木鋼構造物の耐久性向上に関する最新技術動向」開催案内	本号220頁
シンポジウム「冷間圧延ロールの現状と今後の課題」開催案内	本号220頁
シンポジウム「苛酷な金属融体環境での表面処理技術」開催案内	本号221頁
シンポジウム「CCTを用いたステンレス鋼の耐候性試験」開催案内	本号221頁
シンポジウム「ヘテロ構造の制御と特性ー微細複相組織の設計ー」開催案内	本号222頁
第167回・168回西山記念技術講座「伸びゆく薄鋼板／表面処理鋼板」のお知らせ	2号 131頁
論文誌投稿規程改訂のお知らせ	2号 132頁
本会会員への大学研究支援設備紹介事業のお知らせ	2号 132頁
ISS主催行事予定	2号 133頁
公的資金による提案公募型研究開発推進制度等のご案内	2号 134頁
切削・切断フォーラム講演討論会および見学会開催案内	2号 135頁
シンポジウム「薄板エコプロセスの現状と課題」開催案内	2号 135頁
「ステンレス鋼の成形性と利用技術」自主フォーラム研究会開催案内	2号 136頁
「鉄と鋼」特集号「評価・分析・解析」原稿募集のご案内	1号 57頁

学会部門

第135回春季講演大会 「新製品・新技術紹介コーナー」のご案内

来る4月1日～3日開催の第135回春季講演大会にて、「新製品・新技術紹介コーナー」を開設いたします。当コーナーは、鉄鋼の生産、技術開発等に関する最新の製品・技術を各メーカーの方から会員みなさんに紹介するコーナーです。今回は、工具、高温計測、ノズル、塗料等に関しての最新製品の展示、技術紹介が行われます。場所は、講演大会受付けと同じロビー内を予定しております。ぜひ、お立ち寄り下さるようご案内いたします。

問合せ先：(社) 日本鉄鋼協会 学会部門事務局 学術企画グループ 拜司 (ハイジ)
TEL. 03-3279-6022 FAX. 03-3245-1355 E-mail: haiji@isij.or.jp

第135回春季講演大会 社会鉄鋼工学部会 自主フォーラム「前近代における鉄の歴史」シンポジウム 「前近代の製鉄史を語る」

近代以前のわが国における製鉄技術の通史と その周辺の諸問題を 個性豊かに語っていただくことを趣旨として ミニシンポジウムを開催いたします。これによって通史のあり方をめぐる争点や 未解明の問題点などを探りたいというものです。

1. 日時：1998年4月2日(木)

2. 場所：東京大学 本郷キャンパス

3. プログラム：

13:00～13:05 開会挨拶……………座長 館 充

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
1998年			
3月 6, 10～12日	第13回理工学系学生のための研究所・製鉄所見学会	1998/1/19	11号 837 頁
6～16日	学生会員向け'98年カナダの大学・研究所・鉄鋼会社めぐり	1997/12/25	12号 894 頁
9日	第53回シンポジウム「どこまで進む自動車のアルミ化～軽量化のためのアルミニウム材料と加工技術の進展」(東京)		2号 138 頁
10日	東海支部 総会・湯川記念講演会(名古屋)		2号 137 頁
13日	第167回西山記念技術講座「伸びゆく薄鋼板／表面処理鋼板」(東京)		2号 131 頁
13日	「メカニカルアロイングと資源エネルギー関連材料」に関するシンポジウム(東京)		本号 222 頁
16日	第14回塗料・塗装研究発表会(東京)	1997/10/20	10号 771 頁
16日	複合材料学会セミナー(東京)		本号 222 頁
17～19日	第27回FRPシンポジウム(京都)		12号 901 頁
18日	切削・切断フォーラム講演討論会・見学会(神奈川)	1998/3/6	2号 135 頁
20日	第168回西山記念技術講座「伸びゆく薄鋼板／表面処理鋼板」(神戸)		2号 131 頁
20日	九州支部 総会・湯川記念講演会・講演討論会(福岡)		2号 137 頁
27日	鋼構造物工学フォーラム「土木鋼構造物の耐久性向上に関する最新技術動向」(東京)	1998/3/20	本号 220 頁
31日	「ステンレス鋼の成形性と利用技術」自主フォーラム研究会(東京)		2号 136 頁
4月 1～3日	第135回春季講演大会(東京)	1998/1/8	11号 831 頁
1日	第83回通常総会(東京)		本号 209 頁
1日	第135回春季講演大会懇親会(東京)	1998/3/20	本号 209 頁
2日	シンポジウム「CCTを用いたステンレス鋼の耐候性試験」(東京)		本号 221 頁
2日	シンポジウム「薄板エコプロセスの現状と課題」(東京)		2号 135 頁
2日	シンポジウム「前近代の製鉄史を語る」(東京)		本号 218 頁
2日	シンポジウム「鉄鋼プロセスのモデリングと制御ー現状と展望」(東京)		本号 219 頁
2日	シンポジウム「ヘテロ構造の制御と特性ー微細複相組織の設計ー」(東京)		本号 222 頁
3日	シンポジウム「人間・社会・環境との新しい調和を求めてーⅦ」(東京)		本号 219 頁
3日	シンポジウム「冷間圧延ロールの現状と今後の課題」(東京)		本号 220 頁
3日	シンポジウム「苛酷な金属融体環境での表面処理技術」(東京)		本号 221 頁
24日	第179回塑性加工シンポジウム「軽量化、高精度化を目指す板材成形の最前線」(北九州)		本号 222 頁
5月 13～15日	平成10年度(第29回)塑性加工春季講演会(大阪)		1号 58 頁
21～23日	表面技術総合展－METEC'98－(東京)		1号 58 頁
26～28日	第3回日本計算工学会講習会(東京)		1号 58 頁
6月 23～25日	第10回「電磁力関連のダイナミックス」シンポジウム(蔵王)		1号 58 頁
7月 16, 17日	第14回海洋工学シンポジウムー海洋新世紀 夢から実現へー(東京)		1号 58 頁
25～31日	第24回鉄鋼工学セミナー(蔵王)	1998/5/8	本号 213 頁
9月 21～23日	GALVATECH'98 国際会議(東京)		9号 693 頁
28～30日	第136回秋季講演大会(愛媛)		
11月 8～12日	国際炭素会議1998(東京) “ニューカーボンのための科学と技術”		1号 58 頁
9～11日	第7回鉄鋼圧延国際会議(東京)		7号 545 頁
10～12日	画像化システムと画像通信システムの雑音低減に関する国際シンポジウム(ISNIC-98)(東京)		1号 58 頁
12月 1～3日	第2回高温エネルギー変換システムおよび関連技術に関する国際シンポジウム(名古屋)		1号 58 頁

編集後記

当社の業務改革活動のキーワードは①カスタマーイン②全体最適③現状打破④スピードアップである。会員の所属各社においても同様な言葉が、様々な活動のスローガンなどに使われていることと思う。

特にその中でもスピードアップという言葉は、現在のような景気状況下においては最も良く使われる言葉ではないでしょうか。我々は常にスピードアップということを頭において仕事をしているわけであるが、対象を変えて趣味の世界を見てみると、ゆっくりとしかしコンスタントがポイ

ントになってくる。趣味は長く続けて初めて生活のリズムとなり人にも趣味と言える域に達するからであろう。こんな考え方が該当するのは趣味以外の分野でも多い。一般的に遠い目標に取り組む時は、急に激しくでなく、ゆっくりとしかしコンスタントが大事である。

我々はついつい目の前の目標しか考えないことが多いが、遠い目標も視野においてスピードアップという言葉をよく考えて実行に移さなければと自省している。

(O. F.)

会報編集委員会 (五十音順)

委員長 雀部 実 (千葉工業大学)

副委員長 近藤 隆明 (NKK)

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

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

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

1996年5月10日第三種郵便物認可 1998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 内仲康夫

印刷人/印刷所 東京都文京区白山1-33-15 (株)トライ

発行所 社団法人日本鉄鋼協会 〒100-0004 東京都千代田区大手町1-9-4 経団連会館3階

TEL: 総合企画事務局: 03-3279-6021(代)

学会部門事務局: 03-3279-6022(代)

生産技術部門事務局: 03-3279-6023(代)

FAX: 03-3245-1355(共通)

郵便振替 口座東京 00170-4-193 番

(会員の購読料は会費に含む)

© COPYRIGHT 1998 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

〒107-0052 東京都港区赤坂9-6-41 乃木坂ビル3階 TEL&FAX 03-3475-5618

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

Copyright Clearance Center, Inc.

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

Institute for Scientific Information

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

表紙デザイン 出澤 由野

ふらむ Vol.3 No.3 広告目次

表2 品川白煉瓦(株) 耐火物

前1 (株)マツボー 高精度レーザー測定器

2 日新技研(株) 各種ラボラトリ装置

3 ユニテックジャパン(株)

外径測定システム

前4 東芝セラミックス(株)

CERASIC

5 ロザイ工業(株) 蓄熱式脱臭装置

6 黒崎窯業(株) 製鉄用設備機器

後1 本誌広告目次

後1 大阪酸素工業(株) センサー

2 (株)日本コダック

コダック スナップキッズ G-SHOT

(株)ジャパンマシニスト社 技術書

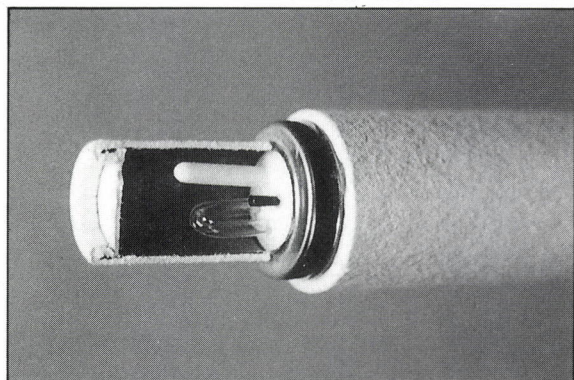
表3 日本ミンコ(株) サンプル・サンブラ

表4 日本アナリスト(株) 各種分析装置

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

シリコンセンサー

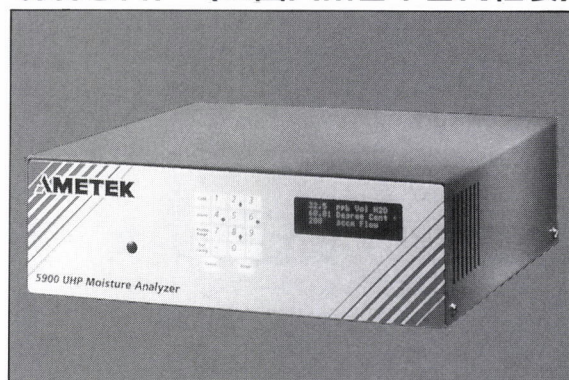
溶銑中 シリコン・温度 測定プローブ



- 消耗型センサーであるため毎回迅速で信頼性の高い測定ができます。
- 取扱いは溶鋼用酸素プローブと同様簡単です。
- 専用のデジタル演算器も用意しています。演算結果を大型表示器に表示させたり、プロセスコンピューターに入力することも可能です。

水晶発振式水分計

5900UHP (米国AMETEK社製)



- 各種ガス中の水分を、5 ppbまで測定できます。(測定範囲 0~1000ppb)
- 水分濃度変化に迅速に応答します。(ppbレベルの変化に対して80%応答10分以内)
- 小型・軽量の為、移動式システムやカートに組み込むことが容易です。

BOC GASES
大阪酸素工業株式会社

本 社 大阪市淀川区宮原4丁目1番14号 〒532-0003
住友生命新大阪北ビル
計測機器部 千葉県市川市鬼高3丁目28番23号 〒272-0015
営業グループ TEL(047)370-4181 FAX(047)379-8652

Kodak
SNAPKIDS

G-SHOT



アクティブ・シーンを 狙い撃て!

アウトドアの決定的瞬間を届け撮る
本格スポーツギア「コダック スナップキッズ G-SHOT」
こんなにタフ! ●世界初水深4m撮影可能 ●防水・防塵ほか最新鋭機能満載



アウトドア&オールシーズン対応レンズ付きフィルム
コダック スナップキッズ G-SHOT
27枚撮り メーカー希望小売価格 ¥2,000 (税別)
*レンズ付きフィルムにおける

日本コダック株式会社 ●お客様相談センター TEL.03-5488-2365 ●ホームページ <http://www.kodak.co.jp>

ジャパンマシニストの技術書

知りたい熱処理

不二越熱処理研究グループ 著

◆A5判/300ページ 2500円

現場での熱処理作業の実際を詳細に解説します。

また、全体の1/4を熱処理の基礎・原理や、鋼材・設備についての説明に当てています。

知りたい油圧シリーズ

不二越ハイドロニクスグループ 著

基礎編

◆A5判/328ページ 3500円

活用編

◆A5判/336ページ 4200円

回路・資料編

◆B5判/280ページ 3398円

「油圧」ならばジャパンマシニストの「知りたい油圧シリーズ」です。不二越の持つ、メーカーならではのノウハウがふんだんに盛り込まれています。基礎編は、回路の構成機器・作動油・保守などを詳述。活用編は動作・トラブルなどを目的別に解説し、回路の勘所がつかめます。回路・資料編は実稼働回路50例(鉄鋼・船舶・建機など)を解説するほか、回路設計に必要なグラフ・実用的数値・計算シートなど102点を収録。

知りたい搬送

不二越搬送システム研究グループ 著

◆A5判/320ページ 3398円

自動化・FAの効率を左右する搬送。ワークの搬送を中心に、ロボット・自動倉庫からセンサ・保全までを解説。導入・改良を検討中の方はぜひご一読を。

ご注文・
目録請求は

TEL.03-5313-5511 FAX.03-5313-5513

(株)ジャパンマシニスト社

〒157-0062 東京都世田谷区南烏山4-6-13

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)



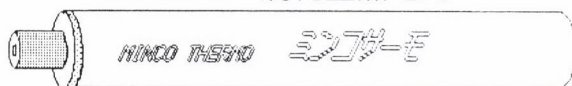
ミンコサンプラーの3つの大きな特徴 信頼性、作業性、安全性。

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

お問い合わせは

営業本部・三郷工場 〒341-0032
埼玉県三郷市谷中388-1
TEL.0489(52)8701~4 FAX.0489(52)8705

本社 〒160-0023

東京都新宿区西新宿6-6-3 新宿国際ビル
TEL.03(3342)8728 新館4階

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



世界に通用します。

金属・鉱石・セラミックス、および各種無機物中

C・S・O・N・H元素分析装置 各種

炭素硫黄同時分析装置

CS-444型 (ASTM-E1019)

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

— 広範囲高精度型 —

分析感度：0.1ppm (最小読取0.01ppm)

分析範囲：(1g試料) 炭素：6ppm～6.0%

極微量炭素：0.6ppm～0.5%

硫黄：0.6ppm～0.35%

分析時間：標準40秒

(極微量硫黄：0.3ppm～0.10% CS-444-LS型を利用下さい)

姉妹機種

炭素専用：IR-412

WC-200

硫黄専用：IR-432

C・S同時分析：CS-400、CS-200 ルーティン作業用

CS-444-LS

高感度(0.1ppm)

高含有量域用

高感度(0.1ppm)

極微量硫黄分析用

CS-444型



寸法 W1550、H760、D700mm

酸素窒素同時分析装置

TC-436型 (ASTM-E1019, E1409, E1569)

分析対象物：鉄、鉄鋼、非鉄金属、各種セラミックス、電子材料等

— 酸素窒素分析最高級型 —

分析感度：0.1ppm (最小読取0.01ppm)

分析範囲：(1g試料) (50mg試料)

酸素 0.1ppm～0.1% 0～20%

窒素 10ppm～0.5% 0～45%

極微量窒素 0.1ppm～0.5%

分析時間：標準40秒

姉妹機種

酸素専用：RO-416DR 高感度機(0.1ppm)

窒素専用：TN-414 高感度機(0.1ppm)

酸素・窒素アルゴン同時分析：TC-436AR

TC-436型



寸法 W1400、H760、D700mm

水素分析装置

RH-404型 (ASTM-E1447)

分析対象物：鉄、鉄鋼、チタン、耐熱金属等

— 高純度金属の分析に最適 —

分析感度：0.01ppm

分析範囲：(1g試料) 0.1ppm～250ppm

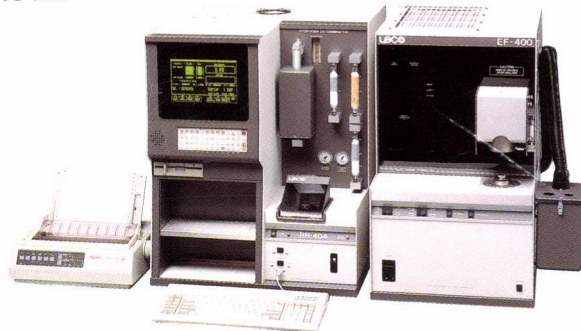
分析時間：標準180秒

姉妹機種 RH-402 超微量分析

分析感度：0.001ppm

アルミニウム、鉄鋼、チタン、フェロアロイ等

RH-404型



寸法 W1400、H760、D700mm

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



日本総代理店
LECO CORPORATION
U.S.A.

日本アナリスト株式会社



ISO-9001
No. FM 24045

(BSI - British Standards Institute)

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