

# 水曜会誌

第22卷 第7号

## 目 次

### 大会記念講演

東南アジアにおける NEDO の省エネルギー技術支援事業

　－インドネシアのセメント産業事情に則して－ ..... 梅津 善徳 ..... 413  
新大学院エネルギー科学研究所発足の経緯 －幸福論－ ..... 新宮 秀夫 ..... 427

### 講 座

チタニウムの製鍊の歴史 (IV) ..... 森山徐一郎 ..... 437

### 総 説

希土類磁石の最近の発展 ..... 広沢 哲 ..... 448

### 談 話 室

日本の石油産業 －その問題点と将来の課題－ ..... 米津栄次郎 ..... 456  
最近の研究

My Research Interests ..... David R. Johnson ..... 458  
新しい金属性 LB 膜の開発における材料設計 ..... 小笠原一禎 ..... 458  
ULSI デバイスに用いられる Cu 配線のバリアメタルに関する研究 ..... 森 英嗣 ..... 460  
材料工学教室に移って ..... 林 好一 ..... 461  
希土類の気相分離プロセスについて ..... 邑瀬 邦明 ..... 462

会 報 ..... 465

会員消息 ..... 469

平成 8 年 12 月 20 日 発行

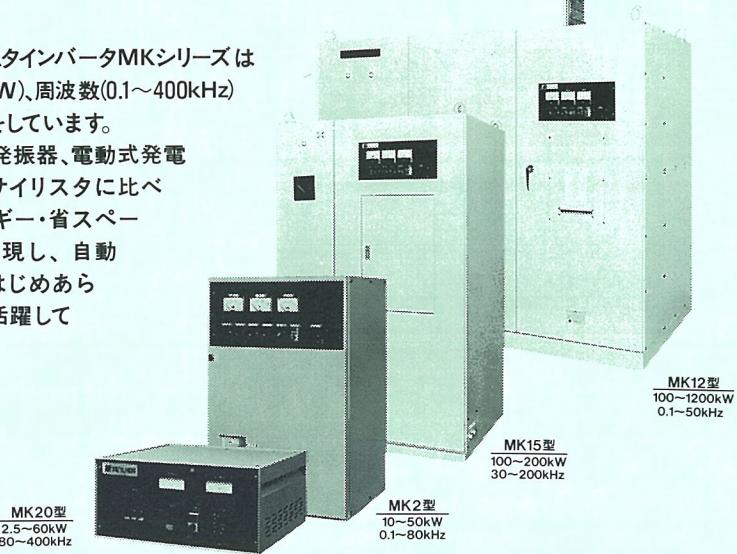
## 京 都 大 学

工学部 資源工学教室  
冶金学教室  
金属加工学教室

## 水 曜 会

# 高効率・超小型で新時代のニーズに応える MKシリーズトランジスタインバータ

ネツレントランジスタインバータMKシリーズは出力(2.5~1200kW)、周波数(0.1~400kHz)と豊富な品揃えをしています。従来の電子管式発振器、電動式発電機(MG)、およびサイリスタに比べ大幅に省エネルギー・省スペース・高信頼性を実現し、自動車、建設機械をはじめあらゆる産業分野で活躍しております。



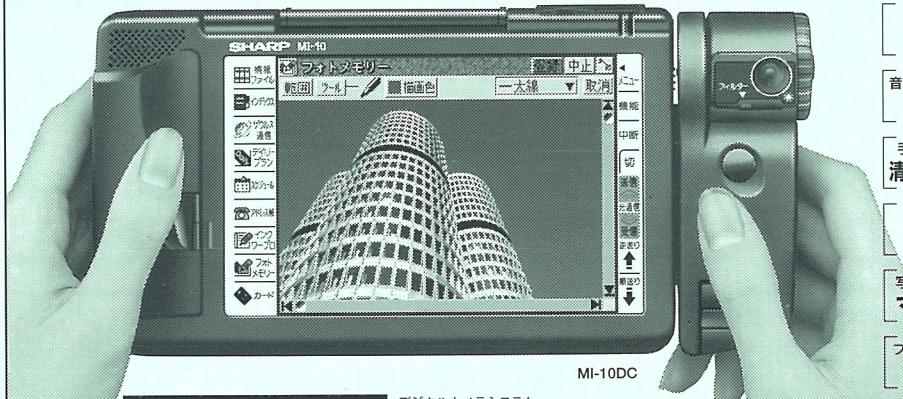
**NETUREN**  
高周波熱鍊株式会社 (ネツレン)

本社  
電機部・営業課  
電機部・平塚工場  
電機部・名古屋工場  
電機部・大阪サービスセンター

〒141 東京都品川区東五反田2-16-21 PHONE.03-3449-5441 FAX.03-3449-3969  
〒141 東京都品川区東五反田2-16-21 PHONE.03-3448-8900 FAX.03-3448-8901  
〒254 神奈川県平塚市田村5893 PHONE.0463-55-1552 FAX.0463-53-1029  
〒470-11 豊明市沓掛町八幡前77-41 PHONE.0562-92-8338 FAX.0562-92-8666  
〒555 大阪市西淀川区千舟2-14-8 PHONE.06-475-0512 FAX.06-475-0430

**デジタルカメラ ボイスメモ**  
画像も、音も、インターネットも手に入れた、  
カラーザウルス新登場。

約65,000色の表現力、5型バックライト付大画面カラーTFT液晶採用。



**SHARP**  
目の付けどろき。  
シャープでしょ。

ペン1本で簡単アクセス  
インターネット<sup>\*1</sup>

音声でメモが残せる(1枚最大20秒)  
ボイスメモ

手書きのメモを後で一括文字認識  
清書機能付きインクワープロ

撮ったその場すぐ見られる  
デジタルカメラ

写真や音声も電子メールで送れる  
マルチメディアメール

FAX送受信

**COLOR  
ZAURUS**  
カラーザウルス

デジタルカムラシシステム  
**MI-10DC** 標準価格  
155,000円(税別)  
(構成内容)液晶ペンコムMI-10、デジタルカムラシカードCE-AG02

液晶ペンコム  
**MI-10** 標準価格  
120,000円(税別)

●外形寸法/MI-10:(閉)幅約175mm×奥行約  
104mm×高さ約30mm●質量/MI-10:約490g  
(保護カード除く、バッテリーパック含む)

シャープホームページ  
<http://www.sharp.co.jp>  
インターネットカラーザウルスの  
詳しい情報をご覧ください。

**://ヤフ/株式会社**お問い合わせは…〒545 大阪市阿倍野区長池町22番22号 ☎(06)621-1221(大代表) シャープ株式会社 情報システム事業本部 携帯システム営業部  
※1 富士通株式会社のInfoWebなどのインターネット接続(ダイヤルアップIP)サービスを行うプロバイダへの入会手続きが必要です。内容によっては取り扱いない情報もあります。●画面はハメコミ合成です。●消費税及び配達・設置・付帯工事費、使用済み商品の引き取り費等は、標準価格には含まれておりません。●ご使用の際は、必ず「取扱説明書」をよくお読みのうえ、正しくお使いください。●ご購入の際は、必ず「保証書」の必要事項をご確認のうえ、大切に保管ください。

# 非鉄 中間合金

りん銅、マンガン銅、けい素銅、  
ボロン銅、鉄銅等

追求しています。

# 銅合金 鋳造加工

HZ合金CE、各種青銅、真空脱ガス  
処理による鋳造品



株式会社 大阪合金工業所

代表取締役社長 水田泰次

本社 〒910-31 福井市白方町第45号5番地9 TEL (0776)85-1811㈹ FAX (0776)85-1313  
大阪 〒567 茨木市五日市1丁目2番1号 TEL (0726)26-1313㈹ FAX (0726)26-1353  
東京 〒104 東京都中央区八重洲2丁目6番5号 TEL (03)3278-1188㈹ FAX (03)3278-1329

真空の  
極限を

目ざして…



ULVAC グループ代理店

株式会社 京都タカオシン

本社 〒606 京都府左京区川端丸太町東入ル (075) 751-7755㈹  
FAX (075) 751-0294  
滋賀営業所 〒525 滋賀県草津市大路2丁目13番27号(辻第3ビル) (0775) 65-8008  
FAX (0775) 65-8118



# 丸尾カルシウム株式会社

原料石灰石

鉱山採掘から製品まで

膠質炭酸カルシウム (M S K)

軽質炭酸カルシウム

重質炭酸カルシウム

炭酸カルシウムの総合メーカー

創業 大正15年10月1日

取締役社長 丸尾 儀兵衛

資本金 5億3千5百万円

専務取締役 青山 三樹男 (鉱27)

株式上場 大阪証券取引所  
市場第二部

粉体研究所 江原 昭次 (資52)

本社・中央研究所 明石市魚住町西岡1455番地 674-078(942)2112(代)

粉体研究所 本社工場・土山・土浦・長野・岡山・九州

工場 東京・大阪・神戸・名古屋・九州

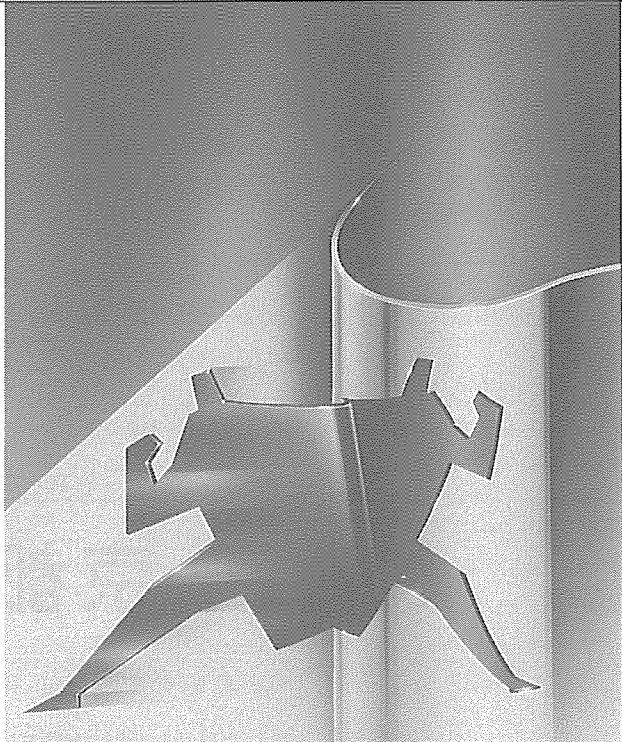
営業所 東京・大阪・神戸・名古屋・九州

## 「鉄」を変える力。

—2000年へ。新・鉄の物語。—

<造る技術>と<創る情熱>が未来を刺激する  
“たくましく”、かつ、“しなやか”な「鉄」を  
生み出しています。

テクノハート・カンパニー住友金属は、  
その技術と情熱を、さらに強く融合させ、  
2000年へ向けて新しい「鉄の物語」を  
書き加えようとしています。  
鉄を変える力に、今、喜びと感動を感じつつ……。



テクノハート・カンパニー  
**住友金属**

鉄鋼事業を基盤に、建設・プラントのエンジニアリング、システム、エレクトロニクス、バイオ・メディカル、新素材事業を推進しています。



ワールドミニで未来を創る/  
ダイハツ工業株式会社

●スピードは控えめに、シートベルトはしっかりと。

# ワールドミニで 未来を創る。

エコノミーからエコロジーへ。

クルマも人と社会と環境との調和が大きなテーマになっています。  
私たちは地球やエネルギー・社会を考えたクルマづくりを目指したいと思います。  
小さなクルマをきちんとつくるダイハツです。

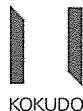


ムーヴ CL

## "Earth Conscious"

人と地球にやさしいワールド・ミニ。

## Ambience Creation



KOKUDO



日本国土開発は、  
幸せなんかも建設してしまえ。

日本国土開発 株式会社

[社会の意見] 橋やダムや空港やビルや街を、ただ造るんじゃなくて、みんなが幸せになるように建設してほしい。

[わが社の思い] ハイ、そうします。ひとと社會を快適にする建設会社をめざします。

東京都港区赤坂4-9-9 〒107  
TEL(03)3403-3311(大代表)



# 住友軽金属

〒105 東京都港区新橋5丁目11番3号(新橋住友ビル)  
☎03(3436)9700(ダイヤルイン番号案内)



## アルミはリレー競走が得意です。

みんなが、地球ともっともっと仲良くしていこうという時代に  
アルミがめざしていること——それは、リサイクリングがた  
やすくできる利点を精一杯生かすことです。建築・車両・船舶をはじめ日用品や飲料缶…あっちでもこっちでもアルミは  
リレー競走やってます。エキサイティングに。

DENSO



### Mobile Multimedia



#### 「モバイル・マルチメディア」

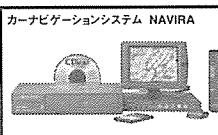
——それは、人が移動する時に、  
快適でより安全な時間を  
約束する新しい情報メディアです。  
デンソーはこの分野で「使える高性能」を  
コンセプトに使いやすさと必要な機能を追求した  
新たなマルチメディア商品を展開していきます。  
これからの、もっとステキな生活の実現に向けて。

デンソーは、「モバイル・マルチメディア」でITSの実現に貢献します。

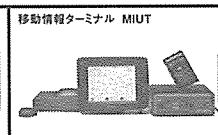
＊高度道路交通システム



ノンストップ自動料金収受システム ETC



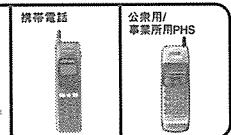
カーナビゲーションシステム NAVIRA



移動情報ターミナル MIUT



車両専用システム AVOS



携帯電話

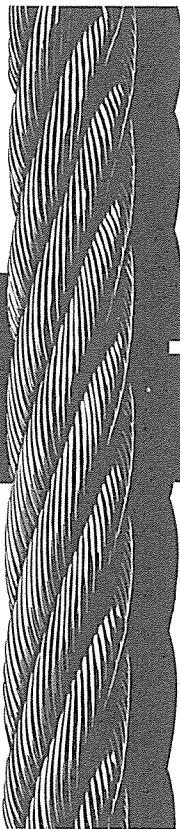
公衆用/  
事業用PHS

株式会社 デンソー

〒448 愛知県刈谷市昭和町1丁目1番地

Tel 0566-25-5511(案内)

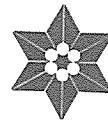
インターネットホームページ <http://www.denso.co.jp>



Tokyo-Rope

ワイヤロープ  
パラレルワイヤストランド  
スチールコード・ベルトコード  
PC鋼線・PC鋼より線

ガードケーブル・安全防護柵  
トヨロック・合纏ロープ・網



東京製綱

本社 東京都中央区日本橋室町2-3-14(古河ビル内)  
〒103 ☎ (03) 3211-2851 (代)  
支店 札幌 ☎ (011) 241-8256 (代)  
仙台 ☎ (022) 263-3811 (代)  
名古屋 ☎ (052) 571-3541 (代)  
大阪 ☎ (06) 252-5821 (代)  
広島 ☎ (082) 222-0301 (代)  
福岡 ☎ (092) 441-0685 (代)  
工場 土浦・泉佐野・小倉

知られていないことは、



私たち太平洋金属(PAMCO)\*は、鉱石の採掘から一貫生産体制で良質の金属づくりに取り組んでいます。

なかでも、ステンレスの原料、フェロニッケルの精錬技術と生産高は世界一。

ステンレスも一貫生産の強みを生かし、きわめて高品質・高純度です。

知されることの少ない仕事ですが…。だからこそ、私たちは、もっと頑張りたい。

私たちが頑張れば、暮らしは、もっと豊かになれる。そう確信して…。

\*PAMCOは当社のコミュニケーションネームで、PACIFIC METALS CO.,LTD.(太平洋金属株式会社)の略称です。

誇りです。

太平洋金属

本社 東京都千代田区大手町1-6-1 TEL03(3201)6681

自然を知り大地を活かす

# 株式会社エイトコンサルタント

代表取締役社長 小 谷 裕 司

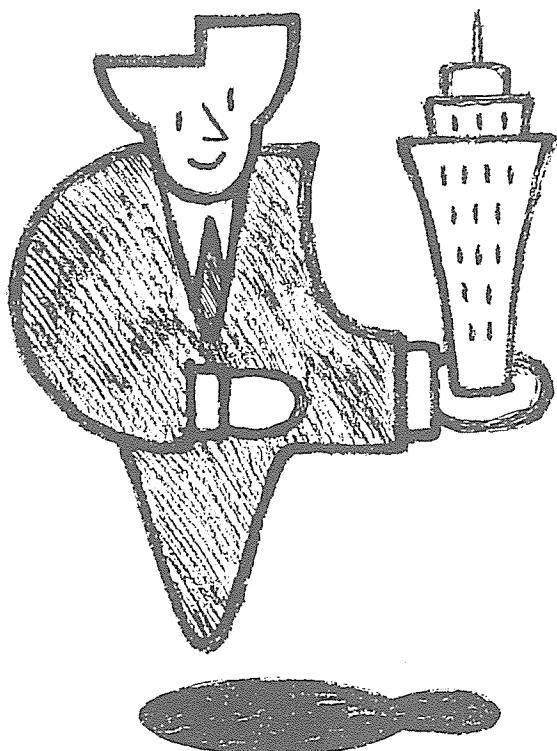
## 建設に関する総合コンサルタント

- 建設コンサルタント
- 地質調査
- 建築設計
- 環境調査
- 補償コンサルタント
- 測量
- 情報処理
- 施工管理

●本社/〒700 岡山市津島町3丁目1-21

TEL(086)252-8917(代) FAX(086)252-7509

岡	山 (086)252-8917	高	知 (0888)45-6226
広	島 (082)263-7771	徳	(0886)23-1283
松	江 (0852)21-3375	京	(075)812-1071
松	山 (089)971-6511	大	(0775)23-3878
大	阪 (06) 397-3888	名	古屋 (052)961-3482
神	戸 (078)914-2620	東	京 (03)5391-3191
山	口 (0839)24-3277	浜	田 (0855)27-0041
鳥	取 (0857)26-2710	津	山 (0868)24-1253
高	松 (0878)23-5585	福	(0773)24-5366
		知	



ひと・社会・時代を  
見つめています。

よりパワフルに、より積極的に、より柔軟に。

住友大阪セメントは、

ひと・社会・時代の動きを常に見つめながら

さらにテクノロジーを磨き、

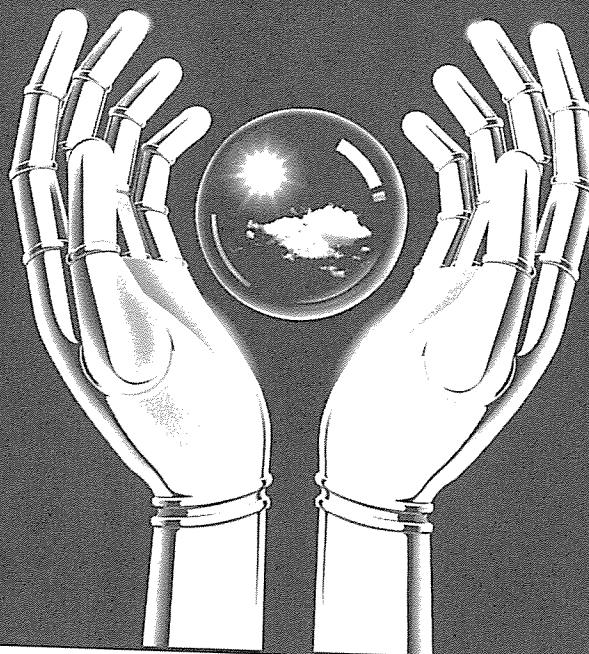
新しい時代をきりひらきます。

住友大阪セメント株式会社

〒101 東京都千代田区神田美士代町1番地

PHONE.(03)3296-9600

# 資源を活かした未来づくり



私たちは  
人とのふれあいを深め  
アルミニウムを基軸として  
地球の未来づくりに  
貢献します。

## ■ ELECTRONICS

電子機器産業用アルミ製品、ポリゴンミラー、  
アモルファスシリコン感光ドラム、  
電磁波シールド、メモリーディスク

## ■ MOTORIZATION

自動車・二輪車用熱交換器、自動車専用AIM、  
軽量化部品

## ■ SPORTS

ハングライダー、バット、スキーストック等

## ■ ENERGY

アルソーラー、サントルーフ、サントホイル、  
サーモコイル、トリスタン計画用超高真空材

## ■ FAMILY

食品医薬品包装材、容器、アルミ缶、家庭日用品等

東京都千代田区飯田橋3丁目6番5号 ☎ 03(3239)5321  
**昭和アルミニウム株式会社**

• Main Technology •

PCタンク  
PC橋梁  
推進工法  
シールド工法

地域環境整備と共に歩む

Q 機動建設工業株式会社

代表取締役会長 木村 宏一 (昭和26年卒)

代表取締役社長 木村 信彦 (昭和30年卒)

本社 〒553 大阪市福島区福島4丁目6番31号 TEL.06(458) 5461代  
東京支社 〒113 東京都文京区向丘1丁目8番12号 TEL.03(3813)3641代

# 品質第一 すべての基本

J I S 規格票の販売と(ひ)取得のためのセミナー及び技術指導

海外規格 ISO・IEC・BS・EN・ASME・ASTM・DINその他及び邦訳版の販売と閲覧サービス

品質経営 ISO-9000、ISO-1400、TQM、標準化、TPM、CS、JIT PL、TPM、に関する講習会開催とコンサルテーション

## (財)日本規格協会関西支部

事務局長 金谷宗忠

〒541 大阪市中央区本町3丁目4-10(本町野村ビル) TEL(06)261-8086 FAX(06)261-9114

### 地質調査

#### ●地質調査(地下資源)

- ▶ 金属・非金属鉱床、地熱、地下水・温泉、石油・天然ガス等の地質調査と物理探査、試錐
- ▶ 鉱物・岩石等の鑑定

#### ●地質調査(土木地質)

- ▶ 鉄道、道路、トンネル、橋梁、ダム、河川砂防・海岸、港湾、建物、上下水道等建設工事のための地質・土質の調査と解析
- ▶ 海底地質、地すべり、活断層、地下空洞等の調査と解析
- ▶ 土質・岩石等の試験

#### ●資源開発

- ▶ 採鉱・採石・選鉱・製錬・精製の調査、設計と施工監理
- ▶ 鉱業権調査

Sumicon

### 建設コンサルタント

#### ●土木設計と施工監理

- ▶ 道路、橋梁、上下水道、河川砂防、海岸港湾、工業団地・宅地、ゴルフ場、トンネル通気・冷却等の設計と施工監理

#### ●環境調査と公害防止設計施工監理

- ▶ 大気、水質、振動、騒音、極微小地震、交通量、重金属、スライム、土砂、ずり堆積等の調査と公害防止対策の設計・施工監理

#### ●測量

- ▶ 地形、都市計画、道路、河川、深浅、用地農地、森林、鉱山等の測量

#### ●補償(営業補償・特殊補償部門)

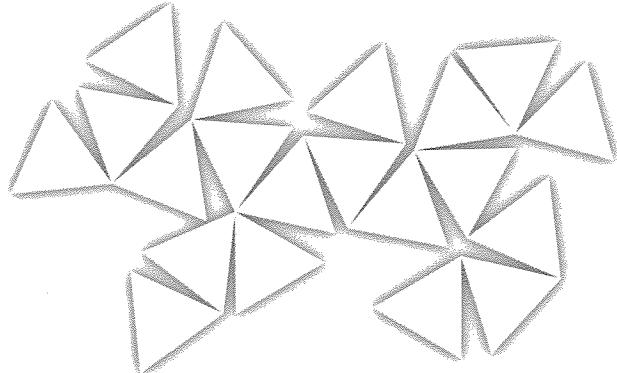
## 住鉱コンサルタント株式会社

代表取締役社長 酒井九州男

本社／東京都新宿区歌舞伎町2-16-9(新宿TKビル) ☎ 03(3205)6031㈹

支店／札幌・仙台・東京・名古屋・大阪・四国 営業所／水戸・広島・松山・九州 試験室／札幌・千葉

# 発想する集団。



- 下水の汚泥やごみの焼却灰からタイルをつくる
- マイナス162℃の液化天然ガス（LNG）を封じ込めて、輸送、貯蔵する
- 車の出し入れが簡単、スピーディーな立体駐車場
- 大地震でも建物の倒壊を防ぎ、人命を守る低降伏比建築用鋼材
- スチール缶、アルミ缶、ペットボトル、ガラスびんを高速で自動選別する
- 世界一に挑戦している、長大橋建設技術
- 精密ろ過膜で不純物をシャットアウト、安全な水をつくる高度浄水システム
- 新しい時代の多目的コンピュータへの要請に、超並列で応える
- 産業廃棄物のプラスチックを製鉄の原料に使う
- 下水や河川に含まれる熱（未利用熱）を回収して地域冷暖房
- 梁が自由に取り付けられるリング付き鋼管柱
- ごみを「溶融」して燃料ガスをつくる
- 脱硫・脱硝技術を輸出して世界の大気汚染防止に一役

…………多面的に発想し、確実にかたちにします。

## 実行する技術。



日本鋼管株式会社 〒100 東京都千代田区丸ノ内1-1-2  
ホームページアドレス: <http://www.nkk.co.jp>

MITSUBISHI

## ベーシックから ドリームまで

非鉄金属やセメントといったベーシック・マテリアルから  
21世紀の情報革命を支えるドリーム・マテリアルまで  
夢を発想の原点に新しい世界を切り拓いていこうと考えています  
「モノづくり」を通じて人と社会に貢献したい  
それが三菱マテリアルのスピリット

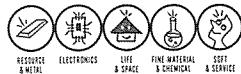
三菱マテリアル  
TEL 03-5252-5206

- 非鉄金属
- セメント・建材
- 金属加工製品
- アルミニウム
- 電子部品
- ファインケミカルズ
- シリコン
- 資源開発
- 原子燃料サイクル
- 石炭・石油
- エンジニアリング
- 不動産

当社の会社情報をインターネットを通じ発信しています。URL: <http://www.mmc.co.jp>

ミケランジェロやラファエロに代表されるフレスコ画。石灰しつくいが、作画家の吐く息や空気中の二酸化炭素と結合し、壁で固まってゆきます。もっと地球規模の石灰の話は、中国、桂林で語ることが出来ます。桂林もかつては海底だったとか。あの大量の石灰の奇岩群が二酸化炭素を閉じ込めてくれたおかげで、人は誕生したのです。人も、芸術も、石灰のおせっかいの賜物。私たち住友金属鉱山は、地球が営む、こんな自然の大循環を謙虚に受けとめながら物づくりをしていきたいと思います。気の遠くなるような時の流れの中でたくわえられた地球の財産。十分に敬意を払いつつ、これを有効に生かしていくためには、私たち自身が時を超えて伝えられる心と技術を育んでゆかねばなりません。人も、私たち住友金属鉱山も地球という大自然の一部なのですから。

地球の営みと、  
ひとつでありたい。



◆住友金属鉱山株式会社



あなたと創る *Creating Together* 三菱自動車  
シートベルトをしめて、スピードをひかえめに。安全運転は三菱の願いです。

## GDIギャラン誕生。

21世紀基準。ギャランの全てが新しい。

- 世界初搭載<sup>\*1</sup>筒内噴射ガソリンエンジンGDI。
- VICS<sup>\*2</sup>対応ナビシステム(MMCS)全車搭載。
- サイドエアバッグ全車設定。

新・安全強化ボディ“RISE”全車採用。

(RISE:ライズ=Realized Impact Safety Evolution)

\*1 層状給気・希薄燃焼、筒内噴射ガソリンエンジン。

\*2 VICSチューナーはディーラーオプションです。

VICS情報は、現在首都圏のみでサービスされています。

※「GDI」は三菱自動車の商標です。

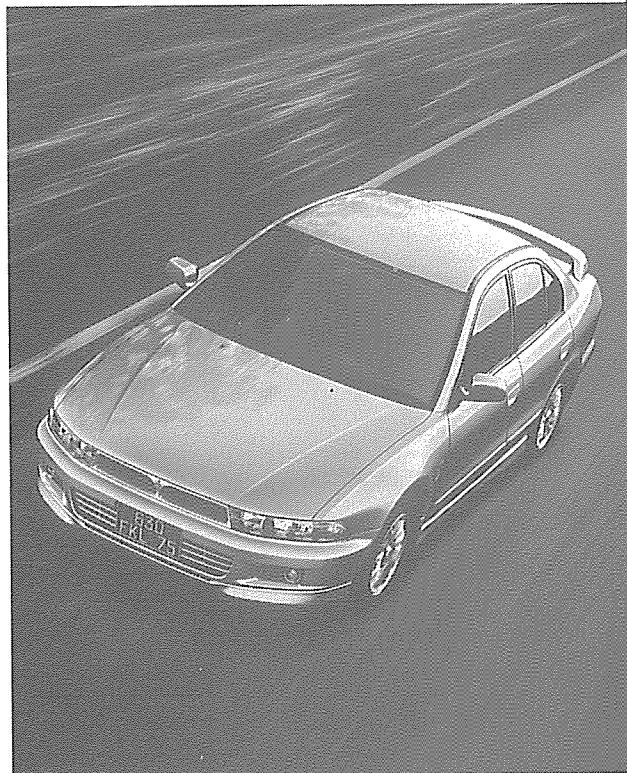
時代を革新し続ける4ドア

**GALANT**

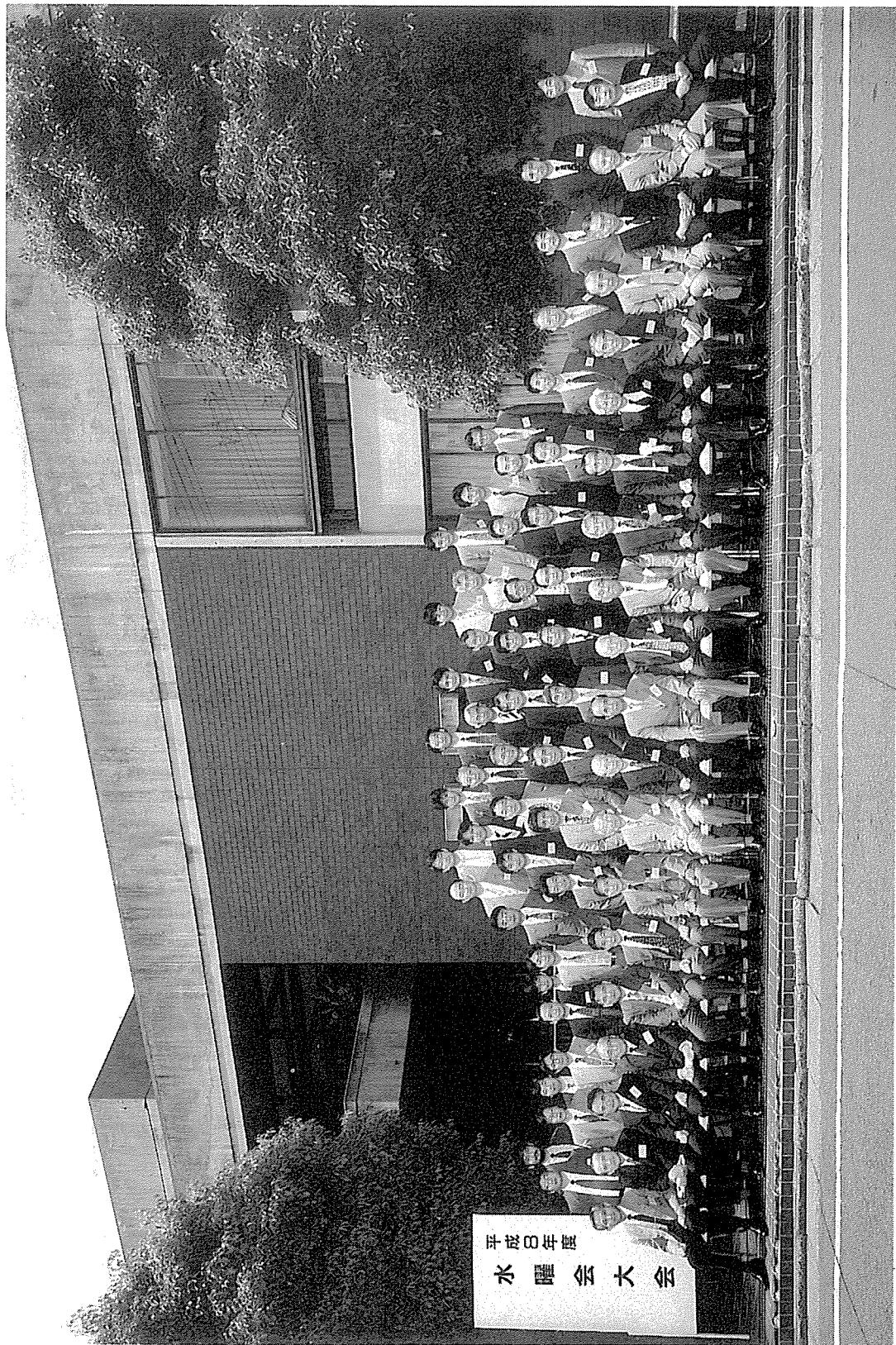
PHOTO: VR-G touring ●全長:4620mm ●全幅:1740mm ●全高:1420mm  
●最高出力(ネット値):150PS/6500rpm ●最大トルク:18.2kg-m/5000rpm



地球にやさしいクルマづくりへ。三菱自動車



平成 8 年度 水曜会大会 記念写真（平成 8 年 6 月 1 日 京大会館にて）



# 水曜会大会

平成8年6月1日

不女口一夢

中古花阿盛庵中向村中植芦菊佐馮  
豊原崎部上陽太郎明讓  
一雄忠一延光利貞  
瀬輝夫

中古花阿盛庵中向村中植芦菊佐馮  
豊原崎部上陽太郎明讓  
一雄忠一延光利貞  
瀬輝夫

## 大会記念講演

# 東南アジアにおけるNEDOの省エネルギー技術支援事業 —インドネシアのセメント産業事情に則して—

梅津善徳\*

NEDO's Role in Promoting Energy Conservation in Southeast Asia  
— An Energy Conservation Project in the Indonesian Cement Industry —  
by Yoshinori UMEZU

## 1. はじめに

日本の産業界、とくにエネルギー多消費産業といわれるセメント、鉄鋼、化学、紙・パルプ等の業界はコストに占める資源・エネルギーの割合が大きい。第2次石油危機を契機に、これら業界は、経営戦略上から脱石油と省エネルギーを優先施策として推進した。

現場末端でも、自主管理活動の例にも見られるように、労使が一体となって技術改善に取り組んだ。その結果、設備や生産技術だけではなく管理技術の飛躍的な向上をもたらした。こうした努力の積み重ねが、優れたエネルギー・環境技術の定着に大きく寄与していることは疑いない。国土の狭い、資源のない日本が重化学工業政策を進め、経済大国への道を走る以上、省エネルギーと環境保全の分野で世界の頂点に立つこと以外に選択肢は無かったと言ってもよい。

エネルギー問題と地球規模の環境問題は、元はと言えば、先進諸国の経済活動によって引き起こされたものである。加えて発展途上国、中でも、アジア・太平洋地域の急激な経済成長と人口増加は、この問題を一層深刻なものにしている。これらの諸国・地域では、こうした課題の解決に先進諸国の経済支援や技術協力を必要としており、特に、日本への期待は大きい。

我が国は、1992年、ブラジルのリオデジャネイロで開催された国連環境開発会議(UNCED：地球サミット)の場で、地球環境問題等に対するグローバルな国際協力を表明し、今まで推進してきている。とくに、通商産業省(MITI)は、グリーン・エイド・プラン(GAP)を提唱し、エネルギー・環境問題に実効ある技術協力を行つ

ている。

新エネルギー・産業技術総合開発機構(NEDO)の省エネルギーモデル事業は、MITIの提唱するGAPの一環である。本事業は、エネルギー・環境問題に対する発展途上国の自助努力を支援する目的で推進しているもので、対象国との共同事業である。

今回、貴重な機会を得たので本事業の趣旨と活動の一端を三つのキーワード「地球環境」、「経済成長」、「エネルギー」に沿って紹介したい。

## 2. 地球環境とエネルギー問題

### 2.1 国際協力の歩み

18世紀後半に始まった産業革命を契機に、人類社会は、急速な発展・拡大を遂げた。国連人口基金(UNFPA)の人口時計によると1993年4月15日午後零時13分に、世界人口が55億5555万5555人を越えたことになるという。UNFPAの推計では、2050年には100億人に達するとされている。

この人口増加に占める開発途上国割合は、1950年当時は77%であったものが、現在では95%にもなる。アジアに関して云えば、93年現在のアジアの人口は33億人であるが、2025年には49億人となり、86年当時の世界人口に匹敵する程になると言われている。産業革命前の世界人口は10億人を越えてはいなかったと考えられているので、短期間での人口増加は爆発的といえる。

人類が、大量生産・大量消費の物質文明に突入してから僅か200年余である。高度な経済活動の発展・拡大と人口増加の相乗効果で、世界のエネルギー問題と地球環境問題は急速に危険領域に近づいていると言える。

世界のエネルギー消費は、石油換算で年間80億トンに達し、毎年200億トンを越えるCO<sub>2</sub>を排出し、併せて大量の廃棄物(日本だけでも93年度は3億9千7百

\*NEDO国際協力センター主査  
現太平洋金属㈱ 監査役

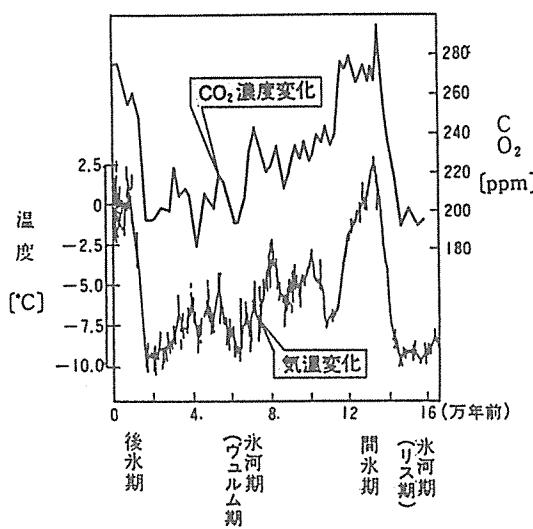
万トン、一部はリサイクル・焼却などの中間処理がなされるが、埋立てや海洋投棄に8400万トン)を放出している。しかも、エネルギーの約90%を化石燃料に依存しており21世紀に入ってもその依存度を減らすことは難しく、むしろ微増する傾向ですらある。

数億年の歳月を経て生成された化石燃料が、人類百万年の歴史の中でいえば(数百年という)瞬時とも言える時間帯で消費されることが、エネルギー需給の面からも、地球環境面からも許されて良い筈がない。

大気・水・土壤・森林等からなる生命の活動圏、すなわち地球環境は、30数億年という生態系の歴史の中で形成されたものである。この地球環境が、人間の経済活動によって、復元力より速いスピードで汚染され、破壊されつつある。

その中でも欧州や中国南部での酸性雨問題、毎年17万km<sup>2</sup>(日本の国土のほぼ半分の面積)の勢いで破壊されて行く熱帯林、更に、年間6万km<sup>2</sup>(四国、九州を併せた面積)の割合で拡大している砂漠化現象等は、国境を超えた環境破壊である<sup>1)</sup>。とは言え、これらは個別に見れば、未だ地球上のそれぞれの地域での出来事といえる。しかしながら、地球の温暖化という現象は地球上の隅々にいたるまで、全ての生命活動を出口の無い袋小路に追いやる現象と捉えてよい。いま述べた個々の現象が相互に影響を与え、且つ受けながら、急速な温暖化と、野生生物種の減少を加速している。無策が続ければ人類文明そのものが葬り去られる状況が目の前に迫っていると断言できる。

地球環境問題に関するグローバルな国際協力の先駆的試みが1971年1月の「水鳥の生息地として国際的に重要な湿地に関する条約(ラムサール条約)」の採択である。



図・1-(a) 過去16万年間の気温変化とCO<sub>2</sub>濃度変化<sup>2)</sup>

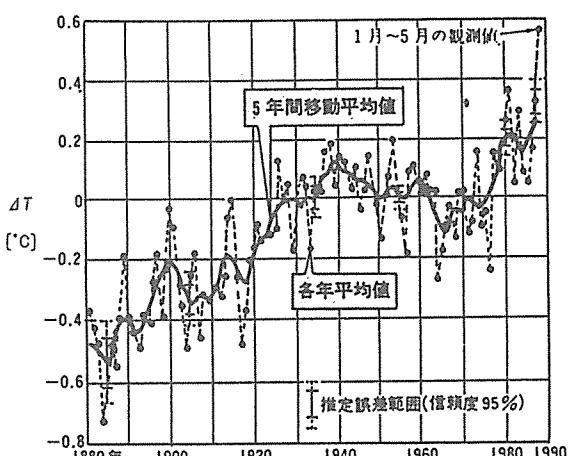
その後73年、「絶滅のおそれある野生動植物種の国際取引に関する条約(ワシントン条約)」の採択など、幾多の曲折と経緯を経ながら92年6月、ブラジルのリオデジャネイロで地球サミットが開催されるに至った。地球サミットでは「持続可能な開発」という理念の下に、環境保全と開発の両立を目指し「環境と開発に関するリオ宣言」、「アジェンダ21」等が採択されるとともに「気候変動枠組み条約」の署名が行われた。

## 2.2 温室効果ガスとCO<sub>2</sub>バランス

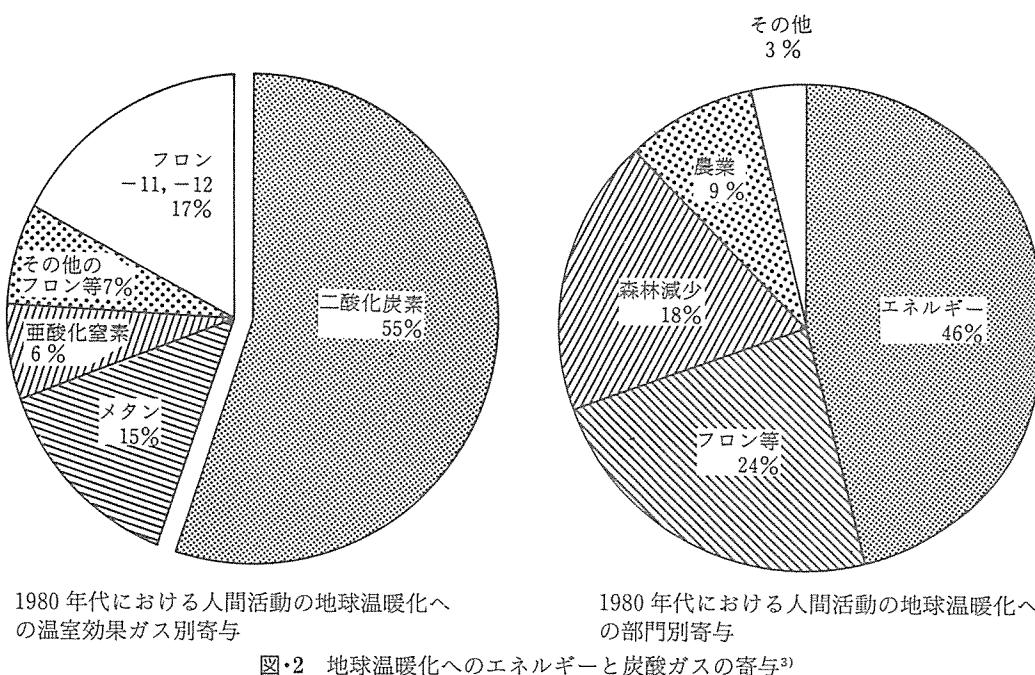
温室効果ガスによる地球温暖化は何十年も前から議論されて来た。CO<sub>2</sub>が温暖化に深く係わっていることを具体的に示したのは、フランスとソ連の国際チームである。彼らは、1987年に過去16万年に及ぶ気温変動とCO<sub>2</sub>の推移を示し、両者の深い相関性を指摘した(図・1-(a)<sup>2)</sup>)。このデータは、南極ボストーク基地で、2kmの深さに及ぶ氷柱をボーリングで採取し、1メートル毎のサンプルを分析して得られたものである。

NASAのハンセンは、1988年6月にアメリカ議会の公聴会で図・1-(b)<sup>2)</sup>を示して、地球の年間平均地上気温が過去100年間で、明らかに上昇しつつあること、更に80年代に入って地球温暖化の傾向が加速していること、そして地球の温暖化が温室効果ガスによる可能性が高いことを指摘した。温室効果ガスとは、CO<sub>2</sub>、メタン、N<sub>2</sub>O、フロン類及びオゾンの5種類を指すが、炭酸ガスの影響力が圧倒的に大きく、化石燃料の燃焼に因ることは疑う余地がない(図・2)<sup>3)</sup>。

地球上のCO<sub>2</sub>バランスについては、十分に把握されていないところがある。「人類とエネルギー研究会」によれば<sup>2)</sup>、大気中のCO<sub>2</sub>は炭素換算で約7000億トン(約350PPM)、海洋に37兆トン、陸上生物に約1兆8千億トン、そして地中にはこれらの合計の数万倍以上の炭酸塩類が存在していることになると言う。しかも毎年植生に



図・1-(b) 地球の年平均地上気温の変化<sup>2)</sup>

図・2 地球温暖化へのエネルギーと炭酸ガスの寄与<sup>3)</sup>

より吸収量が約1100億トンと推定されているので、人類が化石燃料の使用で放出する年間50数億トンの炭酸ガス(炭素換算)は、上記の量から見たら僅かな数字である。しかしながら、大気中の炭酸ガスは、年間1.3PPMづつ、すなわち20数億トン(炭素換算)づつ増加しているのである。しかも、その量が今後急激に増加することが予測されている。

### 2.3 気候変動枠組み条約とわが国の取り組み

1988年6月、トロント・サミットで、地球規模の環境問題の重要性が指摘された。中でも地球温暖化への対応は最重要課題として、全世界的な取り組みの必要性が改めて強調された。

それを受け同年11月、国連環境計画(UNEP)と世界気象機関(WMO)の共催で「気候変動に関する政府間パネル(IPCC)」が設置され、地球温暖化の科学的知見の評価と影響及びその対策の検討を90年半までに行うことになった。

90年8月、IPCC中間報告書が出された。これによると、過去100年間で、地表面平均温度が0.3~0.6度C上昇し、海面は10~20cm上昇したという。ただし、この温度上昇が自然の気候変動によるものか、人為的な温室効果ガスの増加による影響なのか、両者の合成によるものかは判断出来ないとしている。

しかしながら、今後、温室効果ガスの排出抑制が行われない場合、温室効果ガス濃度は2025年に約2倍、21世紀末には4倍に増加し、地上気温の上昇は2025年に約1度C、21世紀末には約3度Cになると予測されている。この温度上昇に伴い、2030年までには海面が約20

cm上昇し、21世紀末には約65cm(最大100cm)上昇すると想されている。

地球温暖化問題については、そのメカニズムや被害発生の予測について、科学的検証が十分ではないとする意見も見られる。しかし、仮に温暖化が予測通りに進行した場合は取り返しのつかない状況に陥るとの判断から、これを回避すべく予防的に対策を講ずる必要があるというのが、国際的にほぼ共通した考えになっている。

92年6月、UNCEDの場で「気候変動枠組み条約」の署名が行われたのは先にも述べたが、94年3月に同条約が発効した。95年3月、ベルリンで第1回締約国会議が開催され、2000年までのCO<sub>2</sub>抑制目標とその達成見込み等が先進各国から通報された。また温室効果ガスの排出抑制対策を国家間で行なう共同実施活動(AIJ: Activities Implemented Jointly)についても議論が交わされた。その結果、AIJについては試験的実施(パイロットフェーズ)をボランタリーベースで、発展途上国と共同で行うことについての合意がなされた。

#### (1) 地球再生計画

産業革命以来200年余の間に変化した地球環境を、今後約100年をかけて再生することを目標に、世界各国が協調して温室効果ガス排出抑制・削減のための総合的、かつ長期的な行動を進めることを国際的に提唱する目的で、「地球再生計画」が地球環境保全に関する関係閣僚会議(90年6月)において申し合わされた。

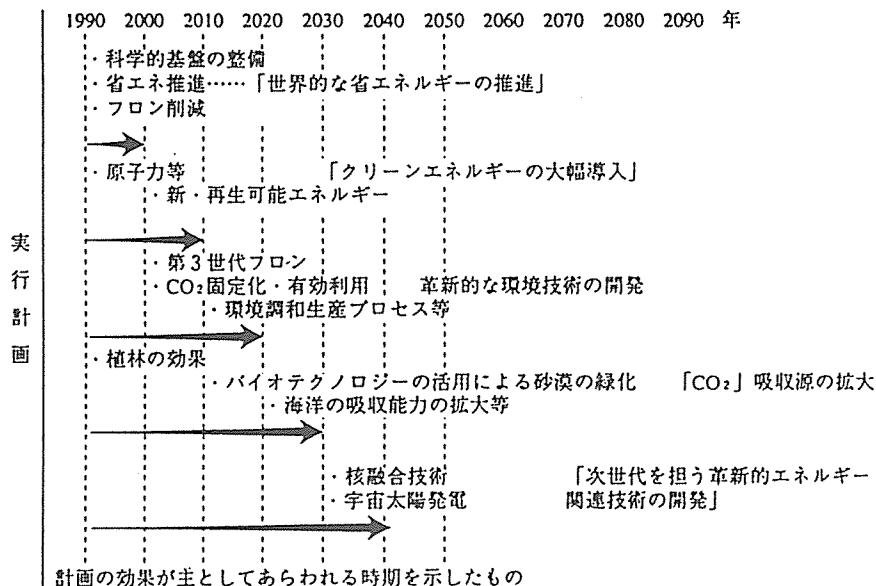
前半の50年間においては、科学的知見の充実、省エネルギー、クリーンエネルギーの導入をはじめとして、対策技術の開発、CO<sub>2</sub>吸収源の拡大、次世代エネルギーの

開発等の対策を実施可能なものから連続的に講じ、後半の50年間において、その成果を生かし、温室効果ガスの大規模削減・抑制（目標：2100年に現状の温室効果ガス排出の60%を削減）を行うとするもので、全体の概念

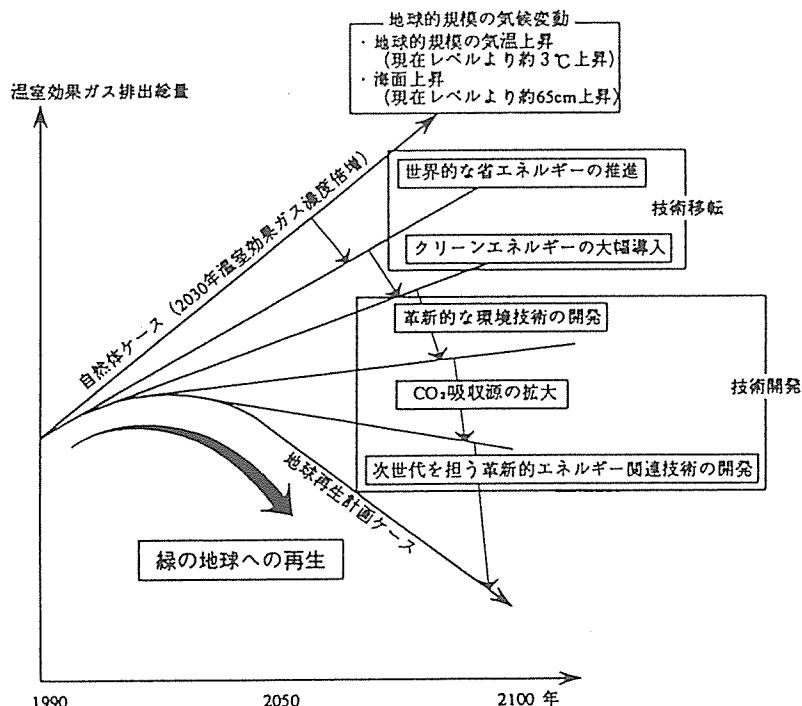
が図・3<sup>4)</sup>の形で示されている。

NEDOは、こうした活動の重要性を当初から認識し、アジア太平洋経済協力会議（APEC）や国際エネルギー機関（IEA）の活動に参画するなど「地球再生計画」の

### 地球再生計画の概念(1)



### 地球再生計画の概念(2)



図・3 地球再生計画の概念<sup>4)</sup>

一翼を担うべく積極的な活動を展開している。

率直なところ、革新的な環境技術の開発や次世代を担う革新的なエネルギー技術の開発が、簡単に実現することは考えにくい。50年ないし100年の開発期間を見込んではいるが、それとて十分な長さとは誰も断言は出来まい。それまでの繋ぎとして、限りある化石燃料を温存して行く必要がある。その意味からも日本の成熟した省エネルギー技術には一層の期待が寄せられ、海外への技術移転と普及が強く求められている。こうしたエネルギー技術の国際協力が、次世代の革新的技術が出現するまでの重要な中継役を果たして呉れるものと考える。

## (2) 地球温暖化防止行動計画

繰り返しになるが、わが国はエネルギーの効率的利用に国を上げて取り組んできた。その結果今日では CO<sub>2</sub> 排出原単位 (GNP 百万 US\$ 当たりの CO<sub>2</sub> 排出トン) が、諸外国と比較しても低い方でトップレベルになっている (表・1)<sup>5)</sup>。

日本は、その保有する高度な技術力と経済力を活用し

**表・1 各国の GNP 当たり CO<sub>2</sub> 排出量推移<sup>5)</sup>**  
(炭素換算トン/百万 US\$)

	1971	1980	1985	1989	1990	1991	1992
1. 日本	195	156	127	120	119	117	117
2. 香港	248	181	202	215	197	198	219
3. 台湾	329	359	259	262	260	258	263
4. フィリピン	391	313	293	307	308	306	352
5. タイ	327	339	320	346	384	387	396
6. シンガポール	415	421	375	359	405	400	433
7. マレーシア	384	371	447	459	453	484	480
8. 韓国	473	577	479	416	430	448	483
9. インドネシア	289	430	399	443	469	471	487
10. 中国	2,228	2,405	1,873	1,698	1,658	1,606	1,493
OECD 平均	333	288	248	233	226	228	225
アジア平均	381	374	351	350	347	346	351

データベース構築事業  
エネルギー関連データベースの構築支援

以下の項目に関して協力支援する  
 ①エネルギー関連既存情報の収集・加工・翻訳  
 ②個別工場エネルギー消費データ収集  
 ③特定工場の現地調査  
 ④日本からの情報の提供  
 ⑤報告書の作成

マスター・プラン作成事業  
省エネルギー総合計画の作成支援

以下の項目に関して協力支援する  
 ①長期エネルギー需要見通しと省エネルギー目標の検討  
 ②省エネルギー目標達成のための方策の検討  
 ③エネルギーの合理的利用のための省エネルギー・マスター・プランの作成

省エネルギー・モデル事業  
モデル工場による省エネルギー技術の実証

先進国のエネルギー多消費産業において技術的に確立され、既に実用に供されている省エネルギー技術に関する設備を供給し、その有効性を実証する

グリーンヘルメット事業  
専門家派遣による技術支援と普及活動への支援

①モデル事業フォローアップとアフターケア  
 ②省エネルギー技術とエネルギー技術管理の改善・助言等  
 ③他工場への省エネルギー技術普及支援

**図・4 省エネルギー・モデル事業スキーム**

て、地球温暖化防止のため、国際的な地位にふさわしい責任と役割を果して行かなければならないし、そのようにアジアの諸国からも期待されていることは先にも述べた通りである。

こうした背景の中で、1990年10月、地球環境保全に関する関係閣僚会議の場で、今後の国際的取り組みに向け「地球温暖化防止行動計画」が閣議決定された。この行動計画においては、地球温暖化防止のための対策を、広範かつ総合的に講じていくことにより、温室効果ガスの排出抑制を行うとしている。このうち CO<sub>2</sub> については、先進主要諸国が共通の努力を行うことを前提に、一人当たりの CO<sub>2</sub> 排出量を 2000 年以降概ね 90 年レベルで安定化を図ること等の目標設定をしている。

## 3. 我が国のエネルギー事情と NEDO の役割

### 3.1 エネルギー事情と省エネルギーへの期待

#### (1) 一次エネルギーの推移

我が国の一次エネルギー供給実績は、5.41 億 KJ(石油換算、1992 年度、以下同じ) で、うち化石燃料の割合は約 85% を占め、4.59 億 KJ である。原子力が 10%，水力 3.8%，新エネルギー 1.2%，地熱 0.1% と続く。2010 年になると、原子力や新エネルギーの比率が上がり、化石燃料の比率が約 76% に低下すると期待されている。しかし既に言及したが、一次エネルギー総供給量が、低いケースでも 6.35 億 KJ と増加するので、化石燃料の絶対量は 4.82 億 KJ とむしろ増加するものと予測されている(表・2)<sup>6)</sup>。

#### (2) CO<sub>2</sub> の削減・抑制の見通し

人類の化石燃料依存体質を改め、CO<sub>2</sub> の排出を伴わないエネルギーへの転換、つまり、新エネルギーの活用が、CO<sub>2</sub> の削減・抑制への道であることに異論を挟む人はいない。しかし、現在の技術では、石油が最も扱い易いエネルギー源であると言わざるを得ない。

勿論、新エネルギーの利用は極めて重要な技術課題であり、NEDO はその設立の当初から、太陽エネルギー、風力エネルギー、地熱エネルギー及び水素エネルギー等の開発を手掛けてきた。とくに太陽エネルギーと風力エネルギーの利用に関しては、国が補助金を 1/2 乃至 2/3 を支給して開発・導入・普及に力を入れて来た。それにもかかわらず、表・2 に示すように、やや背伸びをした新エネルギー導入大綱(94 年 12 月閣議決定) を折り込んだとしても、その供給量は 21 世紀初頭で全一次エネルギーの高々 3% 程度でしかない。この程度では、化石燃料の使用に大巾なブレーキを掛けることにはならない。

太陽光発電や風力発電、燃料電池等々の技術は、その開発に多くの時間と金がかけられて来たが、現状ではコスト面で火力発電に太刀打ち出来る段階には到達していない。化石燃料が、比較論として余りにも安過ぎるので

表・2 我が国一次エネルギー供給見通し<sup>6)</sup>

項目	年度	1992年度(実績)		2000年度				2010年度			
				現行実施織込ケース		新規施策追加ケース		現行施策織込ケース		新規施策追加ケース	
一次エネルギー総供給		5.41億kWh		5.91億kWh		5.82億kWh		6.62億kWh		6.35億kWh	
区分 エネルギー別	年	実数	構成比 (%)								
石 油	油	3.15億kWh	58.2	3.16億kWh	53.4	3.08億kWh	52.9	3.31億kWh	50.1	3.03億kWh	47.7
石油(LPG輸入除く)		2.95億kWh	54.5	2.93億kWh	49.5	2.85億kWh	48.9	3.04億kWh	46.0	2.77億kWh	43.6
L P G 輸 入		1,530万t	3.7	1,770万t	3.9	1,740万t	3.9	2,080万t	4.1	2,000万t	4.1
石 炭	炭	11,630万t	16.1	13,400万t	16.6	13,000万t	16.4	14,000万t	15.3	13,400万t	15.4
天 然 ガ ス	ガス	4,070万t	10.6	5,400万t	12.8	5,300万t	12.9	6,000万t	12.7	5,800万t	12.8
原 子 力	原子力	2,230億kWh (3,440万kW)	10.0	3,100億kWh (4,560万kW)	12.1	3,100億kWh (4,560万kW)	12.3	4,800億kWh (7,050万kW)	16.2	4,800億kWh (7,050万kW)	16.9
水 力	水力	790億kWh (2,100万kW)	3.8	860億kWh (2,220万kW)	3.3	860億kWh (2,220万kW)	3.4	1,050億kWh (2,650万kW)	3.5	1,050億kWh (2,650万kW)	3.7
地 热	地熱	55万kWh	0.1	100万kWh	0.2	100万kWh	0.2	380万kWh	0.6	380万kWh	0.6
新 エ ネ ル ギ 一	新エネルギー	670万kWh	1.2	940万kWh	1.6	1,210万kWh	2.0	1,150万kWh	1.7	1,910万kWh	3.0
合 計		5.41億kWh	100.0	5.91億kWh	100.0	5.82億kWh	100.0	6.62億kWh	100.0	6.35億kWh	100.0

- 注) 1. 原油換算は9,250kcal/lに、バーレル換算は6.29バーレル/kWhによる。  
 2. 新エネルギー等の欄には、太陽エネルギー、黒液(パイプ液)、薪炭等を含む。  
 3. 水力の発電電力量及び設備要領は一般水力のものである。  
 4. LNGのトン換算は、0.712トン/kWhによる。  
 5. 石油の欄には、オイルサンド・シェール油を含む。  
 6. 構成比の各種の合計は、四捨五入の関係で、100にならない場合がある。  
 7. 経済情勢及びエネルギー情勢は、今後、流動的に推移するものと見込まれることから、本見通しにおける数値は、硬直的なものとしてではなく、幅をもって理解すべきであることに留意する必要がある。

表・3 各国のGNP当たり一次エネルギー原単位推移<sup>5)</sup>  
(石油換算トン/百万US\$)

	1971	1980	1985	1989	1990	1991	1992
1. 日本	214	185	160	152	153	151	151
2. 香港	274	199	202	210	194	192	212
3. 台湾	364	429	362	333	341	339	337
4. タイ	370	378	374	405	442	446	456
5. シンガポール	460	465	415	398	448	443	479
6. インドネシア	325	500	477	538	567	565	583
7. フィリピン	442	408	474	472	469	471	518
8. 韓国	490	613	529	515	536	556	594
9. マレーシア	435	425	555	575	555	610	607
10. 中国	2,131	2,341	1,811	1,642	1,604	1,553	1,445
アジア計	394	400	381	382	380	380	385
OECD計	385	345	310	297	291	294	292
世界合計	434	421	406	399	394	404	404

ある。

化石燃料の節約を促すための効果的手法として、従来から議論されているのが炭素税の導入である。ところが、この議論は発展途上国は勿論、先進諸国でも大半の国が「経済発展に水を差すもの」という理由から、なかなか足並みは揃っていない。但し、北欧の5か国では既に炭素税を導入しており、人類が自分たちの子孫に責任を果していくためには、苦渋の決断とは云え、炭素税の全面的導入は避けられないだろう。これからも何回か議論され、いずれ実施の方向で賢い選択が行われるものと考える。

ところで、炭酸ガスによる温室効果問題で、よく議論になるのが植物による「CO<sub>2</sub>固定」への過剰な期待である。この期待が虚しいものであることは明白である。すなわち、2.2で述べたように、毎年地球の自浄能力をオーバーする CO<sub>2</sub>は、現状でも炭素換算で20数億トン

から30億トンである。光合成によるCO<sub>2</sub>固定能力は熱帯林で1km<sup>2</sup>当たり800tといわれている<sup>7)</sup>。30億tのCO<sub>2</sub>を吸収するにはざっと370万km<sup>2</sup>(日本の国土面積の10倍)の緑化面積を毎年あらたに造成する必要がある。毎年破壊されている熱帯林が約17万km<sup>2</sup>に及ぶと言われているが、これすらも解決できない現状を考えれば、植林による「CO<sub>2</sub>問題の解決」はあまり現実的ではない。但し、砂漠の緑化を進める努力は環境問題と食料問題の見地からも必要である。その意味では、植生によるCO<sub>2</sub>の固定対策はプラスαの手段とし、国際的にも積極的に推進すべき事業の一つである。

### (3) 省エネルギーへの期待

以上述べた幾つかの方策は、国際協力のもとで総合的に進めて行けば、ある程度(いざれも数%程度)の成果は期待できるが多くを望むのは無理のようである。現実的なところ、人類文明を危険の淵から取り敢えず救出する手段は、手前味噌になるかも知れないが、ここ暫くは「省エネルギー」しかないように思う。

ただ「省エネルギー」という言葉は、なにか消極的な響きがあって、CO<sub>2</sub>の削減・抑制の対策としては頼りない感じがするかもしれない。ところが、表・1<sup>5)</sup>、表・3<sup>5)</sup>からも理解できることであるが、日本が成熟した省エネルギー技術が発展途上国に適用された場合の「省エネルギー効果」は数十%の大きさで期待出来るのは疑いない。こうした観点からも、省エネルギー技術に関する我が国の実績・知見を発展途上国に紹介・普及して行くことは極めて重要な事業と考える。

### 3.2 NEDO のエネルギー技術関連事業

#### (1) NEDO の概要

NEDO は、第二次石油危機直後の 1980 年 10 月、「石油代替エネルギーの開発及び導入の促進に関する法律」に基づき設立された政府系機関で、MITI 所管の特殊法人である。我が国の技術開発の中核としての位置づけがなされ、国と民間が必要な資金、人材、技術力をそれぞれ出し合って運営されている。

今まで、NEDO の主たる事業活動は「新エネルギーの開発と導入促進」、「産業技術の研究開発」、「石炭鉱業の構造調整」及び「アルコール製造事業」の四本柱を中心進められて来ている。とくに、太陽光発電技術や燃料電池発電技術等については、近い将来実用化を見通し得る段階にまで来ており、これらの技術の先導的導入・普及のための事業展開をしているところである。NEDO は、さらに、次世代を担う革新的な産業技術の創出を目指した研究開発についても、産・官・学の英知を結集して推進する一方、アジア太平洋経済協力会議（APEC）や国際エネルギー機関（IEA）の活動に参画し、「地球再生計画」の一翼を担うなど、積極的活動を展開していることは既に述べた通りである。

この間、法の改正により「省エネルギー技術の開発」、「海外における石油代替エネルギー技術及び省エネルギー技術の実証業務」等が NEDO の業務に追加され今日に至っている。NEDO が 1992 年から、東南アジアで実施している省エネルギーモデル事業は、上記法的根拠に基づく GAP 活動の一環である。本事業は、繰り返して恐縮だが、エネルギー・環境問題に対する発展途上国の自助努力を支援する目的で推進しているもので、対象国との共同事業である。

#### (2) GAP と NEDO の国際協力事業

発展途上国は一般に環境関係法制度が厳しく、なかには先進国の基準より厳しい場合もある。しかし、環境問題解決については単に法制度を強化するだけでなく、公害防止技術の開発及び推進を図るために低利な資金援助や税の優遇措置、公害防止に係わる技術者等人材の育成、適時適切な環境基準の設定等を積極的に実施していくことが必要である。これらを上手く組み合わせ、国をあげて取り組んで来たのが日本の経験であり、結果として、省エネルギーと環境保全の両面で著しい成果を上げることが出来たと言える。

繰り返しになるが、こうした経験を踏まえ、発展途上国の政府及び民間企業の公害問題に対する認識を高め、自らの自助努力を支援し、協力していくのが MITI の提唱した GAP である。

GAP は、1991 年 8 月に当時の中尾通産大臣がタイのバンコクで提唱したのが始まりで、タイ、中国（92 年か

表・4 インドネシアにおける GAP 実績例

国名	事業名	実施場所／実施機関	実施時期
イ ン ド ネ シ ア	<調査協力>		
	・大気汚染適性化技術調査	工業省	93年度
	・特定地域環境実態総合調査（ジャカルタ近郊）	工業省	93年度
	・クリーンコール・マスター・プランの策定	鉱山エネルギー省鉱山总局	93年度～
	・エネルギー消費効率化基礎調査	鉱山エネルギー省	93年度～
	・特定地域環境実態総合調査（パレンバン）	工業省	94年度
	・環境対策基盤調査（産業排水）	工業省	94～95年度
	・特定地域環境実態総合調査（スラバヤ）	工業省	95年度
	<研究協力>		
	・産業排水浄化システム開発	工業省工業開発研究局	93年度～
	・生物多様性保全と持続的利用法等	技術評価応用庁等	93年度～
	・環境観測用レーザーレーダーの開発	LPI	93年度～
	<モデル事業等>		
	・製鉄所電気炉廃熱回収原料予熱装置	ブリグルマ社	92～95年度
	・乾留ブリケット製造設備	タンジョンエニム炭鉱	93～95年度
	・セメント製造用ブレグラインダー設備	パグンセメント	93～95年度
	・流動床ボイラ	ケルダス・パスキ・ラルマ社	95年度～

ら）、インドネシア（93 年）、マレーシア、フィリピン（94 年）、インド（95 年）の 6カ国で実施して来ており、現在も推進中である。

エネルギー・環境問題を取り扱う担当省庁は、各国それぞれ異なるので、GAP では、事業を効果的に進めていくためのカウンターパート（CP）を決めている。各国の CP には、責任を持って自国内の調整や取りまとめを行いうよう依頼している。

GAP の進め方としては先ず政策対話を実施し、その結果を踏まえて個別の事業を実行するようにしている。

MITI と相手国政府の間で行われる政策対話は、年 1 回程度実施しており、NEDO からも実務担当者が参加している。CP から自国の産業分野における環境問題の現状と今後の取り組み方について報告がなされる。日本側からもこれまでの環境問題に対する取り組みや今後の方針及び相手国の環境問題に対する提案等に就いて発言するなどして、意見交換を行っている。

個別事業としては、「調査協力」、「研究協力」、「モデル事業」、「人材育成と人材派遣」等々を行っており、平成 8 年度分として、約 16,536 百万円の予算が計上されている。インドネシアでの GAP 実績例を表・4 に示す。

また、日本政府は、平成 8 年度から、あらたに、気候変動枠組み条約に基づく AIJ も視野にいれた総合的な技術協力を展開することとしており、アジアの発展途上国は、その動向に強い関心を寄せている。

#### 4. 東南アジアにおけるエネルギー事情と GAP

アセアン各国を中心とした東南アジアの国々は、戦後の困難の中で独立をなし遂げ、先進諸国の支援を受け、また近隣諸国と互いに助け合いながら徐々に経済的実力を付けてきた。ティクオフの時期は一様ではないが、と

表・5 主要国の経済成長見通し

(実質GDP、もしくはGNP成長率(%)

国名	1994年	1995年 (実績見込み)	1996年 (見込み)	97~98年 (見込み)
米国	4.1	3.3	2.6	2.5~2.9
カナダ	4.6	2.0	2.1	2.0~3.0
ドイツ	2.3	2.3	2.5	—
英國	3.8	2.7	2.9	—
EU (*1)	2.8	2.7	2.6	—
日本 (*2)	0.5	0.3	2.0	—
韓国	8.4	9.3	7.4	7.0~8.0
台湾	6.5	6.6	6.5	—
香港	5.5	5.0	4.8	4.0~5.0
シンガポール	10.1	8.4	7.3	6.5~7.0
タイ	8.5	8.7	8.2	7.0~9.0
マレーシア	8.7	9.6	8.5	—
インドネシア	7.3	7.5	7.3	7.5
フィリピン	4.3	5.2	6.5	7.5
インド	6.2	5.6	4.5	3.0~4.0
イラン	1.9	3.1	4.0	4.0
サウジアラビア	▲3.0	▲1.5	0	3.8
ブラジル	5.8	4.1	2.4	4.0~5.0
アルゼンチン	7.4	▲2.5	2.5	5.0
コロンビア	5.7	5.3	5.1	5.5
南アフリカ	2.3	3.0	4.0	5.0~6.0
豪州	5.0	3.5	3.0	3.0
中国	11.8	10.2	8.5	8.0
日本	▲15.0	▲4.0	▲1.0	—

注) \*1: EUは欧州委員会の95年11月予測

\*2: 日本の数字はOECDの95年12月予測

くに冷戦の終焉を契機に浮揚力をつけ世界の成長センターと言われるまでになった。

主要国の経済成長率の実績と今後の見通しは例えば、表・5のようになっている。アジア各国は、それぞれの事情により瞬間風速にはバラツキがあるものの、域外諸国に比べると、押し並べて高い成長率を維持しており、現在の勢いからみて、このレベルのまま21世紀を迎えるものと考えられる。アジアでのこのような経済的活力は光の部分といえるが、一方では人口の急増と貧困、環境破壊等、大きな苦悩を抱えており、こうした歪みは、アジアの負の部分といえる。とくに東南アジア諸国が、民族、言語、宗教、社会体制、及び経済の発展度合い等々、大きな多様性を国家間では勿論のこと、国内レベルでも相当部分抱えていることが、負の部分の解決プロセスを一層困難なものにしている。

従って、日本からの技術協力や経済援助にしても、こうした背景と個々の状況を理解した上で実施すべきであろう。各国の意向と自主性を尊重し、自助努力を支援する形の方が、フル・ターン・キーの援助よりは、技術の移転とその定着につながり、長い目で見れば相手国にも喜ばれると思う。

東南アジアのエネルギー需給についていえば、一次エネルギー消費は、表・6<sup>5)</sup>に示す通り、最近20年で、フィリピンなど一部の国を別にすれば5倍前後の伸びに

表・6 各国の第一次エネルギー消費の推移 (×10<sup>6</sup>toe)<sup>5)</sup>

	1971	1980	1985	1989	1990	1991	1992
1. 中国	236	413	517	646	656	681	710
2. 日本	270	347	362	411	433	443	451
3. 韓国	17	41	54	80	91	102	114
4. インドネシア	9	25	31	45	50	54	59
5. 台湾	11	28	33	44	48	51	54
6. タイ	7	12	16	25	30	32	36
7. マレーシア	5	9	15	20	22	26	28
8. フィリピン	9	13	14	17	18	18	20
9. シンガポール	3	6	8	10	12	13	15
10. 香港	3	6	7	11	11	11	13
アジア計	677	1,047	1,255	1,560	1,636	1,706	1,789
OECD計	3,135	3,712	3,734	4,092	4,085	4,165	4,195
世界合計	4,866	6,465	6,969	7,807	7,821	7,922	7,931

なっている。これらの諸国の特長は、GNP当たりのエネルギー消費原単位が高いことである。(表・3)。

域内の各国が引き続き成長を続けることを前提とした試算では<sup>3)</sup>、アジア地区11か国の一次エネルギー需要は、2010年では、92年の約2倍となるものと予測されている。その結果、92年に中国は日本の約1/2の石油需要であり且つ石油輸出国であったが、2010年にはその40%を輸入に依存することになる。 ASEAN諸国においてもわが国の40%の石油消費であったものが、2010年には、現在の日本とほぼ同程度の需要となり、石油輸出地域から輸入地域に転ずることになる。とくにインドネシアとマレーシアの石油生産の低下が大きく、域内の域外への石油依存度は70%に増大する見込みである。当然、世界の石油市場は混乱し、深刻な事態に陥ることは避けられない。表・7<sup>6)</sup>は、エネルギー資源の確認可採埋蔵量、年産量および可採年数を示したものである。例えば石油の「可採年数が約45年」と言うのは現在の消費量を前提としているので、前述のようにアジア地域での急激な石油依存度の上昇はこの45年を大幅に短縮するものである。勿論、先進諸国やアジア地域外の発展途上国も、自国の経済発展に石油消費の拡大は欠かせないものであるから地球規模で見た場合、経済成長は限りある石油資源の枯渇を早め、結果として各国の経済成長を減速させることに繋がる。

こうして見ると、東南アジアにおける「持続可能な発展」の実現、すなわち、満足感の得られる経済成長、必要なエネルギー確保、そして環境保全と言う三者の調和をどのように図って行くかは、アジアだけでなく全地球的観点から見ても今日的な重要課題であるといえる。こうした背景の中で、GAPが主として中国を含む東南アジア諸国を対象に実施されていることは時宜に適ったものであると考える。

GAPによる東南アジア諸国への技術協力を、92年から95年までの国別件数で見ると、中国41件、インドネシア14件、タイ14件、マレーシア8件、フィリピン6

表・7 世界のエネルギー資源埋蔵量<sup>⑥)</sup>

		石 油	天 然 ガ ス	石 炭	ウ ラ ン
(注1) 確 認 可 採 埋 蔵 量 (R)		'96年1月1日現在 1,007,475百万バーレル 全世界	'95年1月1日現在 141兆m <sup>3</sup> 全世界	'93年末 10,316億トン	'93年1月 208万トン \$ 80/kgU以下 142万トン \$ 80～\$ 130/kgU 66万トン
地 域 別 賦 存 状 況	北 米	2.7%	4.9%	24.2%	34.7%
	中 米	12.8	5.2	1.1	7.8
	西 欧	1.5	3.8	7.3	7.1
	中 東	65.5	32.0	0	0
	ア ジ ア ・ 太 平 洋	4.4	7.0	39.9	24.5
	ア フ リ カ	7.3	6.9	6.0	25.9
	旧 ソ 連 ・ 東 欧	5.9	40.2	30.6	不 詳
	(注3) 年 生 産 量 (P)	'95年 61,445千b/d(推定)	'94年 218百億m <sup>3</sup>	'93年 44.7億トン	'93年 2.3万トン (共産圏を除く)
可 採 年 数 (R/P)	'95年 全世界	44.9年	'94年 全世界	65年	全世界 231年
出 所	(注1)  (注2)	Oil & Gas Journal (December 25. 1995)  Oil & Gas Journal (December 25. 1995)	Oil & Gas Journal (December 25. 1995)  Oil & Gas Journal (March 13. 1995)	世界エネルギー会議('95年) (4年に1回開催)	OECD/NEA, IAEA ('93年)

(注3) ウランについては、十分な在庫があることから年需要量(4.8万トン)を下回っている。このため、可採年数については、確認可採埋蔵量を年需要量で除した値とした。

(注4) 四捨五入のため、和が合わないことがある。

件等々となっており、中国がその人口と工業化の発展度合に相応しい地位を占めている。これらを先述の「調査協力」、「研究協力」及び「モデル事業等」という分野別の割合で見るとそれぞれ42%, 23%及び35%となり、調査・研究が全体の65%を占めている。これまでのGAPは、どちらかと言えば調査・研究にウェートが置かれて来たが、現地側から見れば、効果発現の早さや大きさ等を尺度にするので「モデル事業等」への関心と期待が強い。省エネルギーモデル事業の実施スキームを図・4に示す。

次にモデル事業の具体的な例をインドネシアでの経験を中心紹介したい。

## 5. インドネシアでのNEDOの支援事業

### 5.1 インドネシア概要

インドネシア共和国は、人口1億9200万人(94年)、面積190万km<sup>2</sup>、1万余の島々から成る世界最大の島嶼国で、約300の種族よりなる。東南アジア諸国連合(ASEAN: アセアン)の盟主を自任する大国である。過去25年以上の間、目覚ましい経済発展を遂げてきた。GDPの平均成長率は年間6%を超える。インフレ率は概ね10%/年以下に抑えられて来た。その結果、貧困層は人口の60%から14%に激減したといわれる。しかし、依然として3000万人前後の困窮者が、主として僻地で生活している。こうした人々の生活向上の実現には、インフラ整備などを含めてこれからも相当の困難を伴うも

のと考えられている。さらに都市化の進展に伴う環境悪化、700億US\$(93年3月)に達する対外債務等マインドネシア政府として頭の痛い課題が多い。

ところで、日本とインドネシアの関係は歴史も古く、紆余曲折はあったが、現在は極めて強い相互関係が確立している。1958年1月に両国間で平和条約と賠償協定が署名された。賠償の実行はインドネシア国内の開発プロジェクトの推進に大きく貢献出来たとされている。また賠償留学生制度で多くの両国青年が交流を深めることができたともいわれている。

学術面でも、1963年以来京都大学東南アジア研究センターを中心に活発な交流が行なわれてきた。とくに資源・エネルギー関連の交流については、水曜会誌<sup>⑧)</sup>に若松貴英先生が貴重な経験を報告されておられる。

文化・スポーツ面でも、交流は盛んである。NHKの連続TVドラマ「おしん」がインドネシアの国営局TVRIで放映され、評判をよんだ。おしんの生活ぶりと自分たちの生活ぶりが二重写しになって多くのインドネシア人が親近感を覚えたと聞いている。またインドネシアで人気のあるスポーツは、サッカー、バドミントンで、そのあとバレーボール、空手、柔道という順に続くようである。国際交流基金では、体操、柔道の専門家を派遣し、ナショナルチームの指導を行っている。ついでながら、基金のジャカルタ文化センターはインドネシア人を対象にした生け花教室や囲碁教室を開いており、なかなかの盛況であるといいう<sup>⑨)</sup>。

このような背景もあって、インドネシアにおける日本語学習も年を追う毎に盛んになっている。インドネシアの人達は日本人への親密感を率直に表現してくれる。パンドン工科大学でもパダンにある地方の大学でも、日本人を見つけるとすぐ日本語で話しかけて来る人懐こさが印象深い。国際交流基金の調査(93年)によれば、インドネシア国内における日本語学習者が5万人を数えるという。

資源状況についてであるが、インドネシアは、石油、天然ガス、石炭等のエネルギー資源をはじめとして、錫、ニッケル、銅、ボーキサイトなどの非鉄金属にいたるまで多様、かつ豊富な鉱物資源を有し、またゴム、パームオイル、コーヒー、木材、エビ、マグロ等の農林水産資源にも恵まれている。従来から、これら資源を貴重な外貨収入源として期待するインドネシアと、これら資源の長期安定供給を望む日本とは相互補完関係にあった。具体的には、日本がインドネシアから原油・天然ガスや一次產品などを輸入し、インドネシアへは技術・資財や工業製品などを供給するという構造になっている。日本の輸入の約3/4は、原油・天然ガスで、インドネシアは日本にとって、最大の天然ガス供給国であるとともに、第3位の原油供給国であり、恒常に日本側の入超が続いている。

表・8<sup>10)</sup>に示すように、インドネシアは経済協力と技術協力の両方の分野で、日本から見て最大の協力相手国である。このことは、上記各分野での活発な両国間の交流と無関係ではないと思われる。

資源の開発と貿易をめぐる両国の相互依存関係は今後とも基本的には継続されるものと考えられる。しかしながら、インドネシア側は、工業化の進展とともに、資源

の単純輸出から付加価値を高めた製品輸出への指向を強め、工業製品の国産化を急速に進めてきている。日本側もこうしたインドネシア側の意向を真摯に受け止めながら支援と協力の事業を進めて行く必要がある。

## 5.2 セメント産業の現状

セメント、鉄鋼及び石油化学は、エネルギー・資源分野と並んでインドネシアの経済活動を支える重要な基礎産業である。日本はじめ先進諸国からの支援と協力もこうした分野に重点が置かれてきた。その結果、とくにセメントについて言えば、量と質に関する限り先進的なレベルに到達しているといえる。

インドネシアのセメント産業は、1911年のパダンの生産から始まったが、60年代までは大きな拡張もなく30万トン/年程度であった。68年、スハルト政権になってから経済開発を国家建設の中心に据え、工業化政策が積極的に展開された。セメント産業についても、70年代から近代的な大規模工場の建設が始まった。当初は全て国営企業(パダン、グレシク、トナサ)であったが、70年代から80年代にかけて、国営企業による出資企業(バトラジャ、チビノン、クパン)や、政府出資による民間企業(インドセメント)、そして外国投資法による合弁企業(アンダラス)が逐次設立されて現在の業界を形成するに至っている(表・9<sup>11)</sup>)。この間、80年代は主として外貨獲得の手段としてセメントの増産が行われ、90年代は高い経済成長率を支えるために、設備能力一杯の生産を続けて来た。

インドネシア産業貿易省(MOIT: Ministry of Industry and Trade)の情報によれば、94年のセメント生産は、2191万トンで、95年は2300万トン前後が見込まれている。また、2003年までのセメント生産の伸びは

表・8 経済協力概要(交換公文ベース)<sup>10)</sup>

		インドネシア	マレーシア	タイ	フィリピン	中国
93年度統計	人口(千人)	187,151	19,032	58,824	65,775	1,175,359
	GNP(百万US\$)	136,991	60,061	120,235	54,609	581,109
	一人当たりGNP(\$)	730	3,160	2,040	830	490
	エネルギー消費(TOE)	5,900,000	2,800,000	3,600,000	2,000,000	71,000,000
	同一人当たり(TOE)	0.316	1.474	0.612	0.304	0.602
資金協力	94年末迄累計 1.無償協力 2.有償協力 合計(百万円)	220,619 2,701,422 2,922,041	13,835 646,337 660,172	162,060 1,231,869 1,393,929	361,767 1,352,669 1,714,436	92,815 1,399,102 1,491,917
	研修生受入れ JICA AOTS その他 合計(人)	11,342 7,100 1,565 20,007	7,410 5,111 1,635 14,156	11,207 5,929 2,104 19,240	8,383 2,076 2,351 12,810	5,538 7,501 376 13,415
	専門家派遣 JICA JODC その他 合計(人)	16,549 526 132 17,207	6,508 71 186 6,765	13,767 263 170 14,200	11,041 159 738 11,938	9,303 318 — 9,621

表・9 インドネシアのセメント企業の概要<sup>11)</sup>

企 業 名	企 業 の 概 要
セメン パダン	インドネシアで最も伝統ある(1911年生産開始)国営企業であるが、生産能力は279万トン/年と中規模である。
セメン グレシック	ほぼ100%政府出資の有限会社として1955年に発足。現在'94年11月営業運転開始のツバングラントも含め生産能力は205万トン/年と中規模である。
セメン トナサ	1968年に営業生産を開始した国営企業で、現在の生産能力は、118万トン/年と比較的小規模である。
セメン チビノン	外国投資法により1975年に商業生産を開始した合弁企業で、現在の生産能力は300万トン/年とインドネシア第2の企業になっている。
インドセメント	民間企業として1975年1号プラント50万トン/年の生産を開始し、現在8号プラントまでとチレボン工場を合わせた生産能力は、890万トン/年とインドネシア最大のセメント企業になっている。
セメン ヌサンタラ	1974年に外国投資法により設立された。生産能力は100万トンだが最近セメンチビノンに買収された。
セメン バトラジャ	国営企業として1981年に営業運転を開始、現在の生産能力は、50万トン/年と小規模である。
セメン アンダラス	外国投資法に基づいて1983年に生産を開始した合弁企業で現在の生産能力は100万トン/年と比較的小規模である。
セメン クパン	国内資本法により1984年に設立され、8割が政府資本である。ドイツロッシュのシャフトキルンを導入している。生産能力は12万トン/年と小規模である。

表・10の通りで、平均年率10%以上の伸びを見込んでいる。このように、インドネシアのセメント生産は旺盛な需要に恵まれ順調な伸びを示しており、99年までは、生産設備の新設、増強計画が目白押しの状況である。しかし、人口が多いため、一人当たりのセメント備蓄量で見ると、1t/人程度という依然として低い水準(タイの1/4、日本の1/9の備蓄量)にある。従って、将来とも潜在需要は大きく、むしろ生産設備能力の不足が懸念される程である。

### 5.3 セメント産業の省エネルギー努力

#### (1) エネルギー基礎調査

NEDOは93年からインドネシアを対象国として、「発展途上国エネルギー消費効率化基礎調査事業」を開始し、エネルギーの基礎調査と併せてマスタープラン作成協力事業をセメントと鉄鋼の両分野で進めてきた。セメント産業の調査に関していえば、インドネシアの全セメント工場にエネルギー調査票を配布し回答を依頼した。一部民間企業を除けば、各工場からは丁寧な回答が寄せられ、セメント産業のエネルギー消費の全体像を把握することが出来た。さらに幾つかの工場を現地調査し、エネルギー使用状況がより具体的、且つ詳細に把握出来たので、インドネシアにおける省エネルギーの可能性を日本との比較において明確にすることが出来た<sup>11)</sup>。

調査によれば、インドネシアのセメント業界では政府の指導によって、石油から石炭への燃料転換が急速に進み、現在では転換が殆ど終了しているという。また興味深いのは、多くの企業が、省エネルギーの余地は相当あるが訓練された人材の不足が省エネルギーを進める上でネックになっている、と考えていることであった。

NEDOが進めている「人材育成と人材派遣」事業は、彼

表・10 インドネシアのセメント需給見通し<sup>12)</sup>

(Million Tons)

YEAR	1994	1995	1996	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Installed Capacity	23.4	1) 23.9	2) 26.9	3) 35.1	4) 44.4	5) 49.6	49.6	49.6	49.6	49.6
Production	21.9	23.2	27.1	31.5	37.6	44.8	46.3	47.0	47.1	47.1
Demand	21.5	24.2	27.9	32.1	35.9	40.2	45.1	50.5	56.5	63.3
Need of Additional Capacity (.)	0.4	(1.1)	(0.8)	(0.6)	1.7	4.6	1.2	(3.5)	(9.4)	(16.2)

Note : Additional Capacities as follows

1) In 1995 : -PT. Semen Nusartara (expansion)

0.5 million tons

4) In 1998 : -PT. Indo Kodeco

2.5 million tons

2) In 1996 : -PT. Indocement (expansion)

0.3 million tons

-PT. Semen Padang (Indarung V)

2.3 million tons

-PT. Semen Gresik (Tuban IN)

0.3 million tons

-PT. Semen Bonowa

1.5 million tons

-PT. Semen Tonasa (Unt IV)

2.3 million tons

-PT. Semen Kupang

0.7 million tons

-PT. Semen Bat uraja (Bat uraja II)

0.6 million tons

9.3 million tons

3.0 million tons

3) In 1997 : -PT. Semen Gresik (Tuban II)

2.3 million tons

5) In 1999 : -PT. Matuku Dinamika Semen

3.0 million tons

-PT. Semen Nusartara (new project)

2.6 million tons

-PT. Semen Gombong

1.5 million tons

-PT. Semen Bat uraja (Bat uraja II)

0.6 million tons

-PT. Eraska Semen Indonesia

0.7 million tons

-PT. Indocement (expansion)

2.7 million tons

5.2 million tons

8.2 million tons

らからの期待も大きいことを示している。こうした調査は、次に述べる省エネルギーモデル事業の遂行にも役立つことが出来た。インドネシアのセメント工場におけるエネルギー原単位は、設備が比較的新しい割りには、必ずしも良いレベルではないことが分かった。この国のセメント工場では、マクロ的にみて93年現在、燃料消費原単位が850Kcal/kg-cl（クリンカー・キログラム）、電力消費原単位は130KWH/t-cem（セメント・トン）程度と推定され、発展途上国の中では上位にランクされる成績である。しかしながら日本の現状（93年実績）とそれぞれ、770Kcal/kg-cl、95KWH/t-cem）に比べて相当の改善余地があることが分かった。

## （2）省エネルギーモデル事業の実行

1992年から開始した「発展途上国エネルギー消費効率化モデル事業」（所謂省エネルギーモデル事業）は、繰り返しになるが、発展途上国におけるエネルギー利用の効率化と技術の移転及び普及を通じ、アジア太平洋地域・諸国におけるエネルギー需給の安定化及び環境保全が図られることを目的としている。

具体的には、先進国のエネルギー多消費産業において技術的に確立され、既に実用に供されている省エネルギーに関する設備を、未だ導入がなされていない海外地域の既存のエネルギー多消費施設に付設し、当該技術の有効性を具体的に実証することにより今後の当該地域への普及が見込まれるプロジェクトを対象として、当該事業を推進することとしている。

インドネシアでの実際のプロジェクトは、セメント工場において、仕上げ系統にあるボールミル工程の前段に予備破碎機（本プロジェクトでは豎型ローラーミル：ブレグライナー設備）を設置し、ボールミル粉碎能力を向上せしめ、電力消費の大きいボールミルの稼働時間を短縮し、セメント製造に要する電力原単位を削減することが出来る実証するものである。

プロジェクトの経緯としては、先ず、92年9月、当時の渡邉通産大臣がジャカルタを訪問した際にハルタルト工業大臣（工業省はその後、産業貿易省と組織替）にGAPの実施計画を提案し、インドネシア側から感謝と歓迎の意思表示がなされた。93年5月、第1回政策対話がMITIとMOITの間で持たれ、93年度GAP事業に関する意見の交換がなされ「セメント・ブレグライナー設備モデル事業」の実施方針が決定された。

政策対話の方針にもとづいて、NEDOとMOITが93年10月から94年1月にかけて数回にわたる協議を重ね、①実施サイト、②両者の業務分担と費用負担、③事業推進体制、④全体スケジュールなどに関して両者間の合意が得られ94年3月、ジャカルタで基本協定書が調印された。この間、NEDOミッションはグレシク（ジャ

ワ島スラバヤ市郊外）、トナサ（スラウェシ島ウジュンパンダン市）、パダン（スマトラ島パダン市）の各セメント会社を調査した。調査内容としては、エネルギー技術面が中心であったが、次に示すようなモデル事業実施サイト選定基準の各項目も念頭においた。すなわち、モデル事業実施サイトは

- ① エネルギー政策・環境政策及びセメント産業政策上重要な位置づけがなされていること
- ② モデル事業を効果的に進めるための技術、資金及び人材の面で対応能力があり、且つ、事業遂行に熱意があること
- ③ 既存プラントが安定に運転されていること

などなどの要件を備えていることが必要である。

サイト調査の報告を兼ねて、NEDOとMOITは、プロジェクト実行のための最終協議を93年12月にジャカルタで行なった。対象となったセメント企業三社の社長も出席し、彼等からそれぞれ自社が候補地点として最適であるという熱意溢れる説明があった。モデル事業への関心と期待の大きさを実感した。三社ともサイト選定基準を満足していた。最終的には、土木工事の条件に比較的恵まれ、しかもインドネシアでのセメントの発祥の地であるパダン（正式にはP.T. Semen Padang Persero）を選定することで意見が一致した。

プロジェクトの実行に当たっては、NEDOの公募に応募した日本の民間企業が業務を受託した。日本側企業とパダンセメントとの間でも基本協定書の主旨に沿って、幾度かの調査と協議が行われた。協議の結果を、協定付属書として両者が署名した（94年6月）。その主な内容は①設計条件、②設備仕様、③既設設備の改造要領、④省エネルギー効果の目標値、⑤全体工程及び、これらを実行するに当たっての⑥両者の業務分担と費用負担等々の詳細である。

こうした経過の中で、インドネシア側との間では厳しい意見の衝突が何回かあった。その都度、主としてインドネシア側のウイットに富んだ、明るくおおらかな気風に助けられたものである。

建設工事が順調に進み、昨年12月に試運転に入り、所期の処理能力である160t/hの達成を確認した。省エネルギー効果も当初の目標値である6kwh/tを確認することが出来たので本年（96年）2月、竣工式を行なった。

全てが順風満帆と思われた。しかし、豎型ローラーミルのローラータイヤが竣工式直後、突然破損した。ミルには3個のローラータイヤ（直径約1400mm、単重約1.6トン）が装着されているがその一つである。豎型ローラーミルの使用実績は、国内ではもとより海外でもA4版を何ページもめくるほど多くの実績がある。メーカーの経験によればローラータイヤの破損事故はこれまでに

例がないとのことであった。事故原因が分からぬまま二度、三度とタイヤが破損した。日本側は最初の事故を軽く見たきらいがあり、対応が遅れてしまった。

事故が発生した当初は笑顔を見せるだけの余裕があった。同じ事故が二度起こると笑顔が消える。三度目は真っ青になった。パダンと日本側企業との合同の事故原因調査グループを組織した。日本側は工学博士を3名も投入し、失墜しかけた日本の先進技術の信頼回復に努めた。パダン側も特別に24時間体制をとり、日本側組織と一緒に事故原因の究明に協力してくれた。

その結果、他のセメント工場とパダンとの大きな違いがはっきりしてきた。①クリンカー温度が250度Cから300度Cと異常に高いこと、②金物類の異物混入が多いこと、そして、③事故休止回数が甚だしく多いことなどである。これらの現象はタイヤの母材である25%Cr鉄鉄にとっては過酷な条件であった。

セメントは、当たり前のことが品質を重要視される品物である。その品質を確保するには、原料配合と焼成条件に加えて、クリンカーの冷却条件が極めて重要である。従って、セメント製造業者は他人に言わなくてクリンカーの排出温度を150度C以下になるよう管理している。これはセメント屋にとってみれば常識である。ところが、パダンではこれが常識ではなかった。

日本側も当初のサイト調査で、パダンがクリンカー温度を時々300度C超で操業している点を指摘し、懸念を表明した。そして協定付属書の条文に、パダン側の責任でクリンカー温度を150度C以下になるよう、然るべき措置をとる旨明記した。その後、十分な温度管理がなされているものと信じ込み日本側はこの件を忘れてしまっていた。他方、インドネシア側にはセメント需給の逼迫と言う事情がある。現場には冷却用散水設備が設置されてはいるが、生産に追われる所以温度管理から注意が外れてしまいがちである。結果として300度C前後になってしまっていることに気付かずに増産に走っていることがしばしばあった。

破損原因を特定化して恒久対策を講ずるまでは、当分プレグラインダー設備をバイパスにして、セメントの生産には影響が出ないよう措置をとった。省エネルギー運転は暫くお預けとなって今日に至っている。

全く同じ仕様の設備が、日本や他の諸国では何のトラブルもなく順調に稼働している。ところがパダンでは使用条件が異なり、これまでとは違う結果が出た。原因調査が進むにつれて、先に述べたようにいろんなことが分かってきた。反省すべき点は多々ある。例えば、①事前調査を十分に行い、現地の状況を設計条件に反映させるべきであった。具体的には耐磨耗性を少し犠牲にして、韌性の高い材料を選ぶべきであったとか。また、②可能

なものについては現地の不都合を改善した上で、先進技術を適用すべきであったとか。さらに、③現地のオペレーターや技術者の教育・訓練にもっと時間を割くべきであったとか。などなどである。

その後、調査・究明も急速に進み、5月末現在、事故原因はおおむね見当が付いたと考えている。ローラーのタイヤはハブにテーパーリングで嵌められている。ハブはオイルで冷却された状態であり、タイヤはクリンカーで加熱されるので両者に熱膨張差が生じて、メカニカル・クリープが発生し、破損に至るというものである。多分この推論は正しいと思う。設計条件より僅か100度から150度Cの温度差で本当にタイヤが割れるものなのか、そんなに余裕の無い設計であったのか、と疑問を挿む向きもおられよう。従来、良しとしていた設計条件に照らして見れば、丁度この温度差がクリティカル条件を越えるぎりぎりの値であったのかも知れない。いずれにせよ、国内関係者はもとより、インドネシアの技術者にも納得して貰えるよう、更に突っ込んだ実験とシミュレーションを実施中であり、併せて事故防止対策を検討中である。

今後の予定としては、8月中には事故原因を解明し、恒久対策を講じて本年12月までには実証運転を終了させたいと考えている。

その後は、NEDOの人材派遣事業(グリーンヘルメット事業:表・8)にバトンタッチして、本設備のアフターケアーやインドネシア側が実施する普及活動を支援して行きたい。

## 6. おわりに

以上、東南アジアにおけるNEDOの省エネルギー支援事業について概要を紹介した。正直なところ、国際協力事業というのはとんでもない事が起るものだ、と言うことをつくづく感じさせられた。しかしながら、インドネシアの人達のおおらかな気風と友好的な協調姿勢にしばしば助けられた。お蔭であまり深刻にもならずに仕事を進めることができた。この事業を通してインドネシア側も日本側も多くのこと勉強した。授業料は高くついたがNEDOとしても貴重な経験をさせて戴いたと考えている。

日本政府が閣僚会議で申し合わせた「地球再生計画」は日本人だけではなく、世界中の人が実行するに値するものである。NEDOはその実行部隊の一機関として、次のようなエネルギー・環境関連事業を92年からスタートさせた。

- ①エネルギー関連のデータベース作成事業とマスタープラン作成協力事業(Plan)
- ②省エネルギーモデル事業(Do & Check)

## ③人材派遣事業 (Check &amp; Action)

エネルギー・環境関連のこれら各事業は、品質管理で言うところの PDCA サークルの各要素を構成している。日本の経済支援や技術協力が、一部とはいえ、結実することなく、錆び着いたり、立ち枯れになっている例があると聞く。原因は色々考えられるが、要は日本の技術や設備を、その国の事情や使用条件を十分考えないで持ち込むからである。相手の国の人達に深く理解される前に動かすからである。稼働後の実績フォローやアフターケアが疎かにされるからである、などなどはその典型的な例であろう。NEDO の支援事業は、過去の反省に立って PDCA サークルを地道に、そして確実に回しながら進めるスキームとしている(表・8)。

東南アジアにおける NEDO の活動によって、先進的な省エネルギー技術が現地にしっかりと根をおろし、この地域のエネルギー・環境問題の解決に大きく貢献するだけでなく、地球規模で省エネルギーの輪が広がって行くことを確信して、これからも事業の推進に努力して行きたい。

## 参考文献

- 1) Newton 別冊 地球クライシス 1989.8.10  
(株)教育社発行
- 2) 地球環境と人間 人類とエネルギー研究会編  
1989.10.28 (財)省エネルギーセンター発行
- 3) 2010 年世界のエネルギー展望 95 年度版  
OECD/IEA 編 資源エネルギー庁監訳  
1996.3.15 (財)通商産業調査会発行
- 4) 省エネルギー便覧 平成 7 年度版  
資源エネルギー庁監修 (財)省エネルギーセンター発行
- 5) エネルギー・経済統計要覧 '95 年度版  
日本エネルギー経済研究所編  
1995.1.20 (財)省エネルギーセンター発行
- 6) 資源エネルギーデータ集 1996 年版  
資源エネルギー庁監修 電力新報社発行
- 7) 地球環境にやさしくなる本 北野大 監修  
PHP 研究所編 1996.4.4 PHP 研究所発行
- 8) インドネシアとの国際協力 若松貴英  
水曜会誌 第 21 卷 第 10 号 1993.7.20 発行
- 9) インドネシア・ハンドブック 1994 年版  
ジャカルタ・ジャパン・クラブ編
- 10) 経済協力の現状と問題点 平成 7 年版  
通商産業省編 通商産業調査会出版
- 11) 発展途上国エネルギー消費効率化基礎調査事業  
平成 5 年度調査報告書  
第 2 卷(マスター・プラン)インドネシア NEDO 発行  
第 4 卷(データベース)インドネシア NEDO 発行
- 12) インドネシア MOIT 報告書(96 年 2 月)より

## 大会記念講演

# 新大学院エネルギー科学研究所発足の経緯 —幸福論—

新宮秀夫\*

—Pursuit of Happiness—  
by Hideo SHINGU

在職のまま京都大学に入学して学位を取ろう！

「エネルギー科学」という名称の新しい大学院が平成8年4月に発足した。今まで工学部の上に工学研究科という大学院だけがあって、例えば工学部の学部学生は工学研究科という大学院のそれぞれの教室に進学してきた。「エネルギー科学」研究科という新しい大学院が出来て、工学部の学生の新しい進路が加わったわけである。関連する工学部の教室は、従来の呼称でいうと、金属、資源、機械、電気、化学、原子核、衛生などである。関連するというのは分かり易くいえば、それらの教室から教授、助教授、助手を迎えているということだ。この大学院専任の教授数は22名、協力教授14名であって、専任の22名中、水曜会員は8名である。専任の教授には農学部、理学部、経済学研究所からも各1名の教授を迎えている。もっとも専任といつても学部学生の教育・研究に関与する点は従来と変化ない。

学生の定員は修士課程1学年109名、博士課程は同49名と、かなり大世帯である。入学試験は修士は、8月末、博士は8月と2月に行われる。

新大学院で何を教育・研究するのか？これは説明が難しいけれども、教官陣の学問的バックグラウンドが多様な点を生かして、エネルギーに関するすべて、太陽エネルギー、化石エネルギー、原子力、バイオエネルギーの生産、変換、材料から環境やLCA、リサイクル、経済学、に至る事をやろうというわけである。

詳細は学科案内をご請求頂ければただちにお送り致します。またご質問はいつでも学校へおいで頂ければお答え申し上げますので、お気軽にお越し下さい。

とくにここで水曜会員各位に強調、宣伝したい事は、第一に学生の就職をよろしく。という事で、エネルギーの専門で無くとも、優れた工学的センスと社会性を持った学生が入学していますので、素晴らしい人材を供給出来る自信があります。第二は、表題にかけた、「在職のまま京大へ入学」すなわち、この大学院の博士課程に入学して、社会人として、常日頃蓄積してきた工学的、社会科学的フィロソフィーを学位論文にまとめる事を試みて下さい、ということです。小生の経験からも、企業について、立派な学問的、技術的、社会科学的な経験を持ち、論文にまとめる機会があればと胸に秘めておられる方々が多いので、是非、これをチャンスに思い切って入学して下さい。といいたいわけです。今年4月入学者の中にも、最高年令62歳の方、企業の取締役、技術官僚なども含まれています。

以上がエネルギー科学研究所の概要ですが、何しろ学生の出身学部が様々ですから、教える方も大変で、共通の専門知識みたいなものが少ない。研究は各研究室でやるので問題は無いけれども、講義には工学部出身の学生も先述の各教室から来ている上に、農、理、経済の学生までいる。教え方も、程度は高く、説明は初步から大学院レベルまで、という工夫が必要となる。4月～7月にエネルギー社会工学という講義をやりましたが、こんなに頑張って講義をした事は始めてだった。他の先生方も同様の感想を持っておられる。

しかし、教える方も学ぶ方も、大きい収穫があったと思っている。これからが楽しみであると実感している。大学院の新しいあり方として良い方向に行っていると思う。以下に、「エネルギー社会工学・幸福論」の講義のサマリーを記す。こんな話を学生が興味を持つかどうかと始めは思ったけれども、11回の講義を109名の学生の半数以上が非常に熱心に聴いてくれた。全講義をテープに

\*京都大学大学院エネルギー科学研究所

取って、現在、これを元に本を書こうとしています。ご興味をもたれた方はご連絡下さい。来年の講義のための、ご批判、コメントを期待致します。

### 1. 緒言：人間と社会との目指すもの

我々は何かの目的を持って生きているのだろうか？我々個人からなる社会も、何かを目指して進んでいるのか？これらの問いには、幸せを達成するためという答えが自然なようである。それではすぐに、では幸せとは何ですかという次の質問が生ずる。また果して幸せは“達成”など出来るものかということも判らない。この難問、通常は考えないで済ますのが世のしきたり、というものようである。それに代ってもっと明確なわかり易い目的、例えば、景気を良くするとか、病気を治すとか、新しい超伝導材料を見付けるとか、太陽エネルギーの新しい利用法を見付けるとかに、皆が我を忘れて熱中することになっている。という訳で、我々の日常のあくせくとした忙しい活動は際限なく活発にならざるを得ない。例えていうならば、暗がりで物を落とした場合に、落とした場所が暗くて探し難いので、本当はそれを落とした場所ではないけれども、もう少し明るくて探し易い場所を一生懸命探しているようなものであろう。本当はそこに目的物は無いから、いくら探しても見付からない、お陰で探すという仕事は幾らでも続けることが出来る訳である。そこで、ヘソ曲りにも、恐る恐る、本当にそれがありそうな暗がりを探って見ようというのがこの講義の目的である。

もちろん、暗いところを探そうとした人は大勢いたし、今もいる訳だけれども、ここでは今までのやり方と少しでも違ったやり方をしたいと企てている。そのやり方というのは、先ず、幸せになろうとする人間と社会と、そしてそれらの存在する自然界とについて出来る限り簡潔に総括してみる。つまり、幸せになるという対象である我々自身と、その置かれた環境を徹底的に洗い出して見ることから始める。インドのジャイナ教の有名な例え話に於ける、象の形を調べるやり方のように、シッポだけ触って象とはヒモノのような物だと、腹だけ触って、いや壁みたいだとかいうことにならないように心がける計画である。つまり工学的に、まず境界条件を決めてから解を求めるという訳である。

### 2. 所願無量・経済の原理

先ず始めに考える必要のある事は、我々が社会活動をしていること、すなわち集団で暮らしている理由についてである。もちろんこれは、個人がてんでバラバラに暮らすことの不便さを想像すれば明白なように、便利さ、暮らし易さのためである。いいかえれば、これはそれが

経済的に有利であるからといえるが、経済的とは、人間の種々の欲望を満たす手段がより容易に達成出来るということである。人の欲望の尺度、見積もり手段として用いられるものはお金であり、このお金を目安として、我々が社会生活をすることが我々自身をどんな環境に置いているのかを考えて見ることにする。

人間の欲望には際限がない（所願無量）。これに対して地球上の資源、環境は有限のものであり、有限なもののもって無限なニーズを充たそうとすれば破滅に至ることは自明で、これは徒然草に書かれている（217段）話しだが、今の社会の経済活動の急所を衝いている。経済成長率の維持向上が最大課題であると世界中の国々が公言し、それが当然であるとされている事ほど不思議な話ではない。成長率というのは複利法で借金をするように雪ダルマ的に経済規模が増大する事を意味している。環境問題における二酸化炭素のように、経済規模も増大は困るもの（地球の容量に限度があるため）であるはずで、世界的規模で「総量規制」がなされるべきであろう。

しかし、所願無量は人間の本性であって、これを充たそうとする心が人間の幸せ、幸福感につながっている事が問題を複雑、困難にしている。他人（他国）は、どうなろうと知らん、俺のやりたいようにさせてくれ！というのが大多数の人の気持ちであり、これが、個々の人間の能力を最大限に發揮させる原動力となり、その結果として、アダム・スミスのいう自由放任による国の富の増加につながる訳である。

所願無量は、具体的には、ウエーバー・フェヒナーの法則として知られる人間の感覚についての実験結果によって定量化して示されている。すなわち、ある刺激の分別閾値  $jnd$  (just noticeable difference) は、刺激の大きさに比例することが示されている。

$$jnd = \Delta I / I$$

ある時に刺激が大きくなても、人間はすぐにその大きくなった刺激に慣れるから次の刺激へと増加を求める。しかしその時には増えた刺激を基とする  $jnd$  が必要となる。すなわち、複利的に刺激の増大を望んで行くことになる。

所願無量のもうひとつの困った点は、これが野放しになると、貧富の差が増大して社会的不安定構造が生ずることである。公平なルールで社会が運営されても、経済活動は一種の賭けのようなもので運、不運があり、資本の集中は時間とともに増大する性質がある。したがって、貧富の格差は自然に増大する。

この点の解消については、ケインズが、種々の規制、とくに利率のコントロールによって効果をあげ得ることを示した。しかしケインズの理論も、所願無量の規制をしている訳ではなく、成長を前提とした上での規制によ

る富の再分配法にすぎない。

所願無量の本能を充たしつつ、成長を規制する方法を求めることが、人間の幸福感を損なわずに社会を安定させる唯一の道である。コントロールパラメーターには税制を利用することが考えられよう。それには、所願無量による富の獲得後の満足感の緩和時間の適切な利用、すなわち儲けの喜びを味わう時間を与えてその後で巻き上げる方法を考えることである。いうならば朝三暮四をうまくやることだ。

### 3. 心の問題・哲学的目的

我々の生きる社会を現実的に動かすのはお金・経済だけれども、これを前節のように所願無量だけで割り切ることは実は本来間違っている。人間だれしも、所願無量の本能を持っており、したがって社会全体を動かす経済的原理はその規模の指数関数的（ネズミ算的）増大であるけれども、人間の幸福を考えるとなると、いわゆる心の問題が前面に出て来ることになる。心の問題を、ここでは哲学の歴史を概観し単純化して、それが何を考えることになるのかまとめてみたい。

心の問題を表立って人間が考え、記述を始めたのは中国、インド、ギリシャほぼ同時、紀元前6世紀頃のようである。道とか、法（ダルマ）とかイデアとかいう目に見えない、体験できない、概念の上にだけあるもの、すなわち形而上の概念はそれ以来人間、社会の悩みの種であり続けてきている。

端的にいえば、我々は何者で、どこから来てどこへ行こうとしているのか、という問いである。これに付随して生ずる問いは、世界の始まりはあったのか、無かったのか、宇宙は有限か無限か、世界の運命（未来の事柄）は決まっているのか、偶然によって決まる不定なものか、などであり、これらの問いは多くの場合、絶対者（神）の存在、不在の論議へつながって行く。

これらの問いは、もちろん、いくら考えても答えの出ようはずが無いことは常識で考えれば当然だ。そのことは、例えば原始仏教の14難無記といわれる問答で、これらの14の形而上の質問にお釈迦様は、答える代わりに、そんなつまらん事を考えずに目先の現実的修行をしなさいと悟している。その通りで、そんな事は考えなくても現世の幸福は十分に達成できる訳なのだけれども、それでも、ふと我に返って見ると、この形而上の問題は喉に刺さった魚の骨のようにチクチクと痛んで何となく安心な幸福感に浸る事を妨げるもので、気になりだすと、人間そのことだけが気になるものでもあった訳である。

したがって、数え切れない多くの人々（哲学者）がこの問題を論じており、その各々が、俺はこれを解決した！と叫んで書物を書いてきた訳である。もちろん、それら

の結論には通常数年を経ずして別の結論が現れる訳で、今日に至るまで、そのあり様は続いている。

そのような論議にひとつひとつ付き合っていると哲学者の後を追いかけなければならないし、それをやっていくと何だか哲学者が本当に偉いような気になる、いわゆる“哲学病”に取り付かれかねないので、ここではこれらの論議の流れをバッサリと2つに締めくくって、人間の思考法の実験結果として受け取ることにしたい。

形而上の問題は、考えることだけでは解決不可能なのだから、この問い合わせ逃れるためには、①何とかこれを考えないで済むか、②あるいは解決したと考えることが出来るかの2つしか道はない。①の典型的な例は、中世のキリスト教徒（スコラ哲学）の受け留め方、すなわち、形而上の問題は credo quita absurdum（非論理的であるが故に信ずる）として神への無条件信仰に走ることであり、②の典型は、デカルトが考えたように、cogito ergo sum（我考える故に我あり）、すなわち考えに考えた末、神の存在を証明したと受け取るやり方である。もちろん、これらははっきりと神といわなくて老莊思想のように無為自然といつてもよいし、日本で盛んな仏教のように念佛を唱えるだけで（専修念佛）そちらの方のことは總て解決というやり方もある。

一方、昔は形而上の問題と考えられてきた事柄が、かなりの部分、実は形而下の事柄である事も判ってきてる。つまり考えるだけではなく実証によって明らかになってきた部分もある。例えば、天体の運行にしてみても、天動説で説明しようとしていた時代には星の動きが複雑過ぎて説明し切れず、神の摂理と見られていたところが、地動説に切り換えることによって単純明快な規則で説明出来てしまった。別の例としては、人間は初めから人間として存在したという前提（これはいざれの世界の神話でもいきなり人間が登場することになっていることによる）で、世界の初めと終わりを考えていた間は、生命の問題は純粹に形而上のことだったけれども、進化論の説明によって、少なくとも形而上的な面は原始生命的発生機構のところまで後退（35億年程）してしまった。

このような形而上学の領域の変化を見ると、従来の哲学者のように、判った判ったと直ぐに解決を急ぐことは良くないらしい事が判ってくる。つまり、今判らないことは判らないことにして問題を棚上げしておけば、それは、前述の①でも②でもない（あるいは①でも②もある）けれども目先の世の中の幸福を考える支障にはならず済みそうである。そうすることによって、14難無記の現代版というか、あるいはお釈迦様はやっぱり偉かったといつても良いけれど、喉に刺さった骨の痛みは少なくて済みそうである。

もちろん、こんな理屈はすっぱりと抜きにして信仰に

身をゆだねる人はそれで全く結構であろうし、幾ら年代が進んで世の中変わっても、そのような人々の数は今と変わらないであろうことは容易に想像できる。人間の頭脳のハード、ソフトは千年や二千年では変化しないものだと思われる。

#### 4. 自然のしくみ

人間の幸福を考えるためにには、我々人間の存在している自然界、つまり我々をとりまく環境についての知識と、我々の周囲での事象の変化についての知識、さらには我々の身体そのものの成り立ちについて、その根本的なところを把握しておく必要があろう。すなわち、幸福になるのは我々自身の身体であって、それが幸福になるステージは我々を取り巻く自然界である。そこでどんなルールでドラマが進行することになっているのかを知つておこうというのがこの章の目的である。もちろん、自然の仕組みの総てを学ぶことは無理なので、身近かな3つのトピックス、①我々の活動の源であるエネルギー、②自然の変化を支配するルールとして最近注目され始めたカオス、③人間は人間から始まったものではないとすれば、我々は生物としては何なのか、について要点を見ることを企てる。

##### 4.1 エネルギー

エネルギーは、仕事であり、光であり、熱であり、音であり、食糧であり更にまた物自身でもある。つまり我々の活動は総てエネルギーの移動や表れ方の変化そのものといえる。このエネルギーについての身近な科学的取り扱いをするのが熱力学という学問である。ここでは、これに従ってエネルギーの本質的性質を述べる。詳しい説明の代わりに例によって考える。図一(a)のように $80^{\circ}\text{C}$ と $20^{\circ}\text{C}$ のそれぞれ1リットルの湯と水がある、この湯と水とを混ぜれば図一(b)のように2リットルの $50^{\circ}\text{C}$ の湯が出来ることは誰でも判る。元の(a)であったときと(b)になった時とではエネルギーの量は変わっていない。しかし(a)と(b)の状態には明らかに差がある。その差、つまり何が変化したのかの目安がエントロピーという量で計られる。(a)の状態から(b)の状態へ変化することによってエネルギーは不变、エントロピーは増えるということになる。どれだけ増えたのかは、エ

ントロピーを増やすずに仕事を取り出しつつ $80^{\circ}\text{C}$ の湯から $20^{\circ}\text{C}$ の水へと熱を移す場合との違いを計算することによって見積もれる。その結果は(c)の状態、すなわち $48.5^{\circ}\text{C}$ の湯と、とり出した仕事Wとに分かれた状態となる。この仕事Wを使えば $48.5^{\circ}\text{C}$ の2リットルの湯は元の $80^{\circ}\text{C}$ と $20^{\circ}\text{C}$ 、1リットルずつに戻れるから、エネルギー学(熱力学)的には(a)と(c)の状態は等価である。このことから(a)から(b)に変化する時のエントロピー増加は、

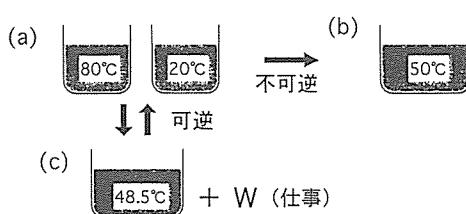
$$\Delta S = 2 C_p \ln \frac{\frac{T_1 + T_2}{2}}{\sqrt{T_1 T_2}} = 2 C_p \ln \frac{323}{321.5}$$

ということが計算できる。

さて、 $80^{\circ}\text{C}$ の湯と $20^{\circ}\text{C}$ の水は混ぜると $50^{\circ}\text{C}$ になるけれども、 $50^{\circ}\text{C}$ の湯は、自然に $80^{\circ}\text{C}$ と $20^{\circ}\text{C}$ に分かれてはくれない。エントロピーが増えるということは、自然に起こる変化は一方通行で一回起きたことが元に戻ることが無い、という厳然たるルールを端的に示すものである。元に戻るのは見かけは異なるようでも、何も実質的変化の無い場合、(a)から(c)への移行のような時のみである。

変化が一方通行だけという原理が宇宙全体に適用されると、宇宙は究極状態ではいわゆる“熱的死”すなわち全宇宙の温度が等しくなって、もうそれ以上何の変化も起こらないところにまで一方方向に突き進むという予想に至る。その予想が正しいのか否かは解明されていないが、今の目的つまり千年単位で地球上の我々の幸福を考える範囲では、エントロピーの増大すなわち、自然現象の一方通行は疑う余地なく成立している。我々は太陽の中で水素が核融合してヘリウムになる時に発生する高温の光エネルギーが地球に到達して、雨や風や植物生長などに使われてエントロピーが増大して、より温度の低いエネルギーに変化する過程を利用して生きている訳である。石油や石炭も過去の太陽エネルギーの極くわずかの地球上への蓄積である。

いずれにせよ、エネルギーの本質を学んで参考とすべき点は、エネルギーの再利用などという虫の良い話は厳密な意味では不可能ということである。覆水盆に返らずで、一度利用したエネルギーは一方通行で、元の温度の高い(質が高いといわれることもある)エネルギーには戻れない。ただ、利用法を改善してケチケチと、最大限の利用をその一方通行に際して実行する工夫をすることが出来るだけである。更に大切なことは、千年単位で考えて、我々が安心して利用できるエネルギーは太陽エネルギー以外には絶対にないということである。



##### 4.2 カオス

カオス理論は1960年代から始まつたもので自然科学の重要な分野としてはとても新しい。新しい分野は多くの驚きを我々にもたらしているけれども、まだ完成されていないし、マユツバ的な要素もありそうである。端的にいうならば、これ程驚天動地の新説なのに、カオスでノーベル賞をもらった人は未だにいない。しかし、その示唆するところの事は、人類の歴史始まって以来の疑問に答えるかも知れないし、固定観念を根本から覆すかも知れない。

その疑問とは、すばり、哲学の章でとり挙げた、偶然はあるのか無いのか、未来は決定しているのか否かである。仮に、神といえども明日の天気が予測出来ない、ということが証明されたとすると、一寸先は闇である我々と神との差が縮まって、形而上学の一部が形而下に移ってしまう。カオスはそのような本質的予測不可能性を示唆している学問である。そんなに大それた学問だけれども、その基本は、あまりにも簡単な原理で説明出来てしまう。その原理とは、第2章の経済のところで出て来た複利法の原理である。カオスという言葉は混沌、すなわち、ある情報が完全に失われることだと定義出来よう。すると、始めに持っている情報の精度、例えはある物体の位置を示す座標の桁数が10桁であったとして、1回に10%ずつ情報の失われる操作を250回繰り返すとその10桁(100億分の1の精度)全ての情報が無くなる。つまり、繰り返すという操作の数が、 $1, 2, 3, \dots, n$  と直感的に増える時に、情報の失われ方は  $(1+\alpha)^n$  という指數関数的に増えるという事である。日本刀は繰り返し鍛造によって鍛えられるが、1回に  $1/2$  の厚さに延ばしてこれを折りたたんで又延ばすという操作を10回繰り返すと、元の鋼の厚さは千分の1、20回繰り返すと何と百万分の1の薄さの組織となって刃の中にたたみ込まれる。この“フラクタル”と呼ばれる自己相似超微細構造(ミクロな部分の構造がマクロな構造と相似であること)が日本刀の優れた性質を生む訳だけれども、元の百万分の1にまで微細化するのに、たった20回の鍛練ですむという所にも基本的にカオスの発生原理である繰り返しの恐ろしさをかいま見ることが出来そうである。

今、現在持っている情報から我々が未来を予測出来ることは自然現象の移り変わりが、現在の状態(我々が情報を持つ持たないに関係無く)から、あるルールにより次の状態へ移ることの繰り返しであるためである。実は、このルールが如何に厳密なルールであり不变であっても、1回の繰り返しで必ずある量の情報が失われる所以、繰り返しを続けるうちに、いずれは今の状態からの推量が不可能な状態へと移ってしまうという事態が発生する。

仮に今の状態を無限の精度で決めることが出来たとし

ても(神は無限の知識を持ち得る)繰り返しにより失われる情報の量が更に強い無限であれば、結局情報は全く失われてカオスとなる。繰り返しにより失われる情報の量の増加する強さが、元の無限の情報量を超えるという自然の原理が仮に神によって作られたと考えると(全ての原理は神の決め給うたものはずである)神は自ら未来を予測することの不可能性を創り出したことになる。神とはこのような人間の知恵による考察の範囲を超えた全能の存在であるから、ここで神という言葉を持ち出すことは意味が無い、という話がボエチウスの本に書かれている。そうであるかも知れないし、そうでないかも知れないが、少なくとも從来、形而上学の範囲として悩んできた問題の一部を、形而下に移す必然性が生じることになりそうであり、そうなると形而上の問題は今までとは異なった所に移さなくてはならない。

#### 4.3 生物としての人間

ダーウィンの種の起源を読むと、よくもあの当時の少ない知識であれ程大胆な仮説を、あれ程はっきりと明言したものだと驚かされる。ダーウィンの仮説は要約すると、

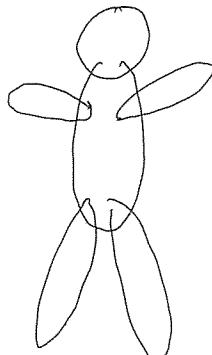
①人間を含む全ての動物、植物、の始まり、すなわち生命的の起源は、元はたった1個の生命に帰着する。この1個の生命から進化によって、世界に存在するかくも多様ですばらしい生物が出現した。

②種の進化は親が獲得した形質が子に伝わるのではなく、偶然に環境に都合の良い形質が現れた時に、適者生存(自然淘汰)の原理によってそれが種の中に広まることによる。

これらの、とくに①の、全生物の始まりが1個の生命に帰着するという仮説は全く驚くべき事であるけれども、現在の分子生物学の先端的研究結果によても、これが証明されているという事である。

さて、人間は人間からスタートしたのでは無いという事を我々は受け入れて、その上で心と身体等について議論する訳だが、ダーウィン以前の人々は、その前提ではなくて、何万年か前に急に人間が出現したという前提で、形而上の事柄を考えざるを得なかった訳である。これを、我々は笑っている事が出来ないことに気付かねばならない。我々の今もっている自然のしくみの知識は、今から千年後の世界での知識と比べれば、恐ろしく未熟なものであるに違いない。どこまでが形而上の問題で、どこからは形而下の問題かは、したがって今の状況とはかなり変わることを考慮に入れて我々は議論をすべきであろう。進化論の証明はこれの良い例のように思える。

ここで生物としての人間について現在出されている仮説、証明されたとされる事柄を総括してみる。



人間

- ①機 能：「驚くべき仮説」、DNA の発見者の 1 人クリックによると、(function) 人間の魂、心、精神は脳(ニューロン)の働きとして説明が可能となるであろう。
- ②構 造：人体は約 100 兆個の細胞から成っているが、これらは全部(structure) が 1 個の細胞から分裂によって発生したもので、全部基本構造は同じである。しかし機能は著しく異なる。全ての細胞の 1 個 1 個がその個人の個人たる全情報(ゲノム)を有している。
- ③人類の祖先：全ての人類の祖先は約 10 万年前にはアフリカに住む 1 人(origin) あるいは数人の人々に帰着する(ミトコンドリア・イブ)。
- ④進化の機構：生物の進化のメカニズムは突然変異の固定による。親の獲得形質は遺伝しない。全ての生命は約 35 億年前に 1 個な mechanism) いし数個の原始生命から始まった。

## 5. 幸福論・人々はどう考えて来たか

幸福とは何を意味するのかという定義は難しい。古代の哲学者達は人間の幸せは社会の善に合致する徳の高い生活をしてこそ達することの出来るものであるという基本的な考え方を中国、インド、ギリシャを通じて持っていたようである。そこで端的に、ボエチウスが書いたように人は皆幸福を求めて生きているものである、といえばなるほどそうなのかと誰しも納得出来そうである。ではその幸福とは具体的にどんな状態かそしてそれを達成する方法は何かという事が問題となる訳で、数多くの人々が、幸福あるいは幸福論について本を書いている。

さて、これらの本を通読すると、実に様々な幸福論があるものだと感心させられるが、その基本に流れるものを抽出して、①幸福でいるための物の考え方や行動のとり方、つまり生活の知恵の記述、②第 3 章で触れた形而上(心)の問題を如何に解決するか、に分けて読むと読み易い。②の方は第 3 章で考えたので、ここでは繰り返さず、①について見ると、人間の考えることは、かなり同じ路線にはまるものだという気がする。しかし、いずれの生活の知恵もひとつひとつ納得のいく事柄で、大いに参考にはなると思う。これらの中で、特に幸福というものの特質を端的に衝いている言葉は、「幸福になった後の、幸福論は」とか、「幸福になつたらその後どうするか」という表現である。これらの表現は、デニス・ガボールの本「成熟社会」で取り上げられている成熟した社会の目指すものという問題と共に通している。すなわち、幸福は達成されて、はいおしまい、というものでは無いところが問題として難しい訳である。この問いは結論のところで考えることにして、ここでは、以下に、幸福論について書かれた本の幾つかを挙げて、その触りを書き添える。

## 6. 結論・千年後の世界

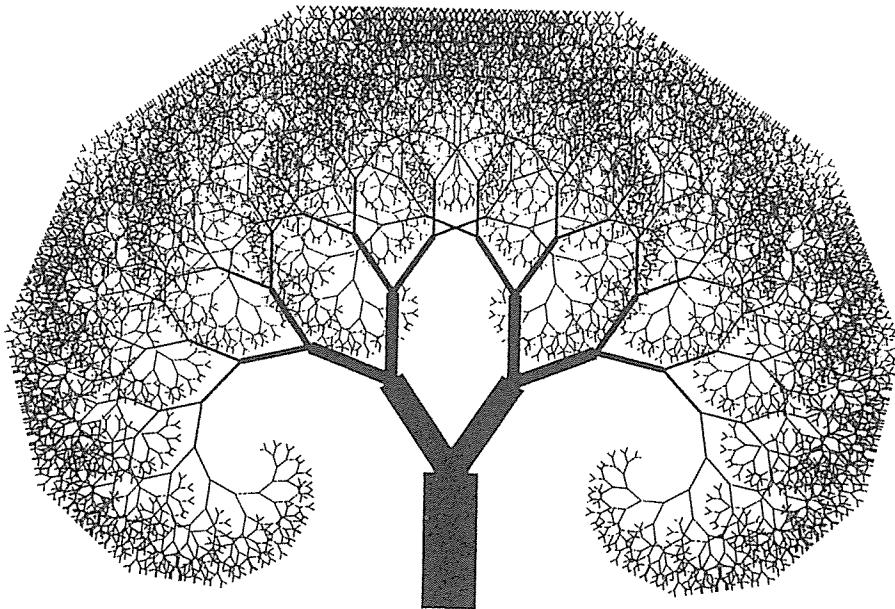
桜がり、雨は降り来ぬおなじくは、濡るとも花の蔭に宿らむ

平安時代の貴族、左近衛中将、藤原実方はある年の春、東山に花見に出掛けて、にわか雨に会い、花の下に立って詠んだこの歌が評判となり得意になっていた。天皇(一条)にまでその噂が伝わったが、藤原行成(能書家、三跡のひとり)に、「歌は良いが、わざと雨に濡れるなど感心しない」と告げ口された。これを恨んだ実方は殿上で行成と喧嘩して、行成の冠をたたき落とし、庭に投げ捨てた。行成が慌てずに人を呼んで冠をとらせ、平然と去って行ったのを運悪く天皇に見られていて、行成は藏人に抜擢、実方は「歌枕を勉んでこい」といって陸奥の地へ左遷された。赴任先の宮城県で、人の諫めを聞かず道祖神の前を馬に乗ったまま通ろうとして、実方は落馬して死んでしまった。実方の死んだのが 998 年ということだから、このストーリーは今からちょうど千年前頃に起こったドラマという訳である。

話の真否はとにかく、千年昔の人間ドラマを我々は今もって生々しく実感できることは確かである。例えば、我々研究者と呼ばれる大学等にいる者は、人の評判になるような“良い”論文を書くことにこだわっているが、“良い”論文と思っていたのにケチを付けられた、ということは有りそうな話だ。そのために普段はおとなしい先生がカーツとなるということも容易に想像できる。似たような状況は世間のどんな分野にもあるであろう。

我々は今、自動車、飛行機、冷暖房、コンピューターを使い、衣服も食事も千年昔には全く想像も出来なかつた生活をしている。その上、千年前にはおよそ想像も出来なかつたであろう恐るべき多くの知識、ビッグバン、ゲノム、カオス、エントロピー、などになじんでいる。ところがこんなに大きな身の回りの変化も、人間の感情の動きの基本的なところでは、何も変化をもたらしてい

## フラクタル構造



Produced by K.N.I. .

題	筆者名	出版年	コメント
哲学の慰め De Consolatione Philosophiae	ボエチウス A. M. T. S Boethius チョーサー訳	480-525 渓水社	残っている幸せのうちひとかけらでも、もらえれば、天に昇るように感ずる人がどれ程いるか。 人間の自由意志はあるか。 偶然はあるか。 神的予知と人的予知。
幸福について－人生論－ Aphorismen Zur Lebensweisheit	ショウベンハウエル Arthur Schopenhauer	1851 新潮文庫	幸福の2つの大敵は苦痛と退屈。 これらは一方から遠のくと他方に近付くもの。 賢者は侮辱されない（何をされても）。 目先や環境に左右されないこと。（見えるぞ！見えるぞ！） 運がすべて、汝の息子に運を授けて海にすてよ。 金言集：騙されて失った金ほど上手に使った金はない。
幸福論 Der Eudamonismus	フォイエル バッハ L. Feuerbach	1867-69 福村出版	あらゆる行動は幸福衝動による。 まず、そのものを失って、ありがたさが判る。 幸福衝動を（イエズス会のように）押さえるべきではない。 幸福衝動と良心、徳との融合。
幸福論 Gluck	ヒルティ Carl Hiltiy	1891-99 岩波文庫	万人の共通のもの、幸福追及。 地上のものは重視してはいけない。 幸福と至福、至福はキリストを信すことによってのみ可能。 神の存在を試してはいけない。無条件の信仰。 聖書に最も多く使われている言葉、「恐れるな」。 人間とは何か、どこから来てどこへ行くのか。 金色に輝く星の彼方には誰が住むのか。（ハイネ） 仕事の仕方、時間の作り方。
ハマトンの幸福論 The Quest of Happiness	ハマトン P. G. Hamerton	1897 講談社	現状の持続をどれ程願っているかで幸福の程度が知られる。 ポジティブ幸福（何かやる）， ネガティブ幸福（うしろめたたくない）。 幸福が失われると、別の幸福が取って代わる。 どんな幸福も不完全なもの。

The Science of Happiness	H. S. Williams	1909 Harper and Brothers Pub.	The problem of happiness is the problem of problems. Sound body. How to sleep. How to work. Life companionship. The coming generation. How to die. Right living right death.
幸福学 Le Science de Bonheur	ジャン・フィノー Jean Finot	1916 大日本文明協会編	楽天主義 古来幸福の神聖を説いたものはストイック派とキニク派のみ。 ショウベンハウエルは厭世家の中でも最も甚だしい者がだが、1831年のコレラ流行の時ベルリンを逃れた。 幸福（ボヌール）→狭い時間と景福（フェリシテ）→比較的長い時間 至福（ペアティテュド） 幸福は道徳的生活においてのみ生ずる結果である。
幸福論 Propos sur le Bonheur	アラン Alain	1928 Paris 白水社	道徳論の第一の義務は上機嫌。 楽觀主義に徹すべし。 ほほえみを、いかなる時にも絶やすな。
幸福論 The Conquest of Happiness	バートランド・ラッセル Bertrand Russell	1930 みすず	個人の考え方方に限定した幸福になる方法。 煙突掃除人の仕事のまずさが気にならない人。 何が人を不幸にするか。何が幸せにするか。 (退屈、疲れ) (科学者) (単純でいられる) 宇宙の市民、自分と後世を分けて考えない。
どうしたら幸福になれるか How to be Happy Through Human	ウルフ W. Beran Wolfe	1931 U. S. A. 岩波新書 青404a, 404b	人間は①何も考えず、ただ生まれて育って死ぬ人。 ②人生ビジネスと考える人。 ③自己形成をする人（自己彫刻）（精神科医）。
幸福論	三谷隆正	1944 岩波文庫	日本のヒルティ、一高教授。 良き健康、清純な家庭と一生を投じて悔いなき職場。 それに増して大なる幸福は、イエスを信じて真実一路。 その恩賜として受け取るもの。（歴史多く、生活の工夫は少ない。） 絶対者の存在に関する。パスカルの賭け、信ずる事に賭けた方が得。
幸福論 Spate Prosa 晩年の散文	ヘルマン・ヘッセ Hermann Hesse	1949 新潮文庫	散文の一編。Das Glück 黄金色の時間。没時間的な、時間も歴史も以前も、以後も知らない、純粹な完全な現在（子供の頃の記憶に存在）。
幸福論 The Way to be Happy (The Common-Sense Psychology)	グールド Lawrence Gould	1950 新入社	不幸な人の直し方。90%の無意識部分の開放。 フロイトの精神分析「幸福に至る科学的な方法」 なおせないものは我慢せねばならぬ。 「人の不幸は自分で自分に期待することと、自分が達成し得ることとの差異によって測られる」アドラーの法則。
幸福論	寺山修司	1970 角川文庫	本を捨てて町に出よう。 「幸福を軽蔑する者は軽蔑に値する幸福しか得られない」 アランやヒルティではないヤサグレ幸福論はないのか。 偶然が必然か。 偶然が本当にあれば、理性的判断や科学的常識から開放される。 幸福になった後の「幸福論」は？ 幸福論は永遠に到達しえない闇いの原理。
生きるための幸福論	加賀乙彦	1980 講談社 現代新書	悪人なら殺しても良いか。 本当の幸福。 自分のような者でも不幸な人の役に立つ。
幸福	向田邦子	1985 新潮文庫	素子と数夫。 不幸の中に転がっている幸福を拾いあげる。

幸福論	下田弘	1991 青工社	一高教授、明治40年生まれ 崇り、家相、(偶然ではない)。 ①何も考えない人 ②ひとつのことにつこだわる人 ③色々考える人 不幸論としたかった。
新しい時代の幸福論	藤川吉美 周暁燕	1992 慶應通信	女性の幸福論。 幸福の基礎的条件は自尊心の充足。 グループ、社会の不幸は「囚人のジレンマ」に原因がある事が多い。 社会システムはその開放のためにある。
幸福論	紫門ふみ	1992 PHP	いつでも幸福というわけにはいかない。幸福は巡って来て、巡ってゆくものだ。 はた目にはスイスイの人にもそれなりの悩みがあるものだ。 (ポエチウスと同じ事いってる)。

ないことが歴史を読むと判ってくる。我々は皆、千年という年月はすごく長い期間であると思っている。したがって今から千年後の世界を想像せよといわれても誰しも直ぐには頭がめぐらないであろう。しかし上に述べたように、千年昔と今を較べて見ると、それはほんの昨日のようにも感ずることができる。つまり、千年後の世界は、今の我々の世界とそんなに掛け離れたものでは無いのである。

ところで、千年昔といえば、25年を1世代として約40世代である。自分の親は2人、祖父母は4人、曾祖父母は8人、…というように40世代さかのぼると我々は誰も例外なく、 $2^{40} = 1$ 兆人の祖先がいることになる。平安時代の日本の人口はおそらく多く見ても1千万人位だろうから、その頃の人々はみんな、つまり、実方も行成も、それから恐れ多くも一条天皇も含めて何重にも我々の親戚であることには疑いの余地が無い。

その頃に、喜んだり悲しんだり、幸せであったり、不幸であった人々がみな我々ひとりひとりの共通の祖先であるとは愉快なことではなかろうか。我々は身の回りの人々の幸せを自分の幸せと感じ、悲しみもまた自分の悲しみと感することは皆同じである。千年昔の実方の憤慨も、行成のしたり顔も我々は自分の親戚として分ち合う気になることが出来る。こう考えると今の自分の幸せや不幸せも時の流れの中のひとコマに過ぎないことが実感されよう。数え切れない過去の幸せや不幸せの結果として今の我々の幸せや不幸せがあり、今の我々の幸せや不幸せが自分と少しでも係った総ての同世代の人々を通して未来の数え切れない幸せや不幸せの原因となるという訳である。

衣、食、住の最低レベルは充足されないと何といおうと不幸であることは、間違いない動物としての人間の本性である。戦後の食糧難を知る者にとって、空腹で幸せなことは絶対にないと断言できる。断食をして修行する人ももちろんいるが、いつでも食べられるという事が

判っていれば断食を楽しむことは容易である。本当に食べ物が乏しい時に断食する人はいない。この最低レベルが満たされた後の幸せが何かを考えることは、ほとんど人間とは何かというのと等しい難問である。人は様々な異なる感覚をもって幸せを感じ、不幸を感じる。ある人の幸福は別人の不幸かも知れないとは良いいわれることである。人は生まれ持った性格(脳の機能の違いであろうか)によって小さなことで幸せになれる人もあり、いつも不幸な人もいる。また何かと運の良い人もいるし、いつも不運な人もいる。一生かかる段々と幸せになる人もいるし、それほどでもないのに一生を振り返ると結構幸せだった人もいる。また一生、いつもみじめであったのに、一瞬の輝きで最高の幸せを得る人もいるであろう。

いずれにしても人間の体に100兆個もの同じ基本的構造の細胞がそれぞれ異なる機能で働いているのと同様に、1個人は同世代だけでなく過去と未来の数え切れない人間のうちの1人にしか過ぎない。それらの人間は皆同一の基本構造を持ちながら、ひとりひとりが皆異なる性質を持って異なる機能で動いている。自分の幸せ不幸せは生きている我々が作ったものであると同時に我々の先祖が作ったものである。千年昔の文化を我々が今味わうことが出来ると同じく、千年後の世界に生きる人々に今の我々の文化をエンジョイしてもらえることを望まぬ人はいないと思う。つまり、人間の幸福は時間を含めた考えによって決まってゆくもので、定常的、不变の幸福というものは無い。つまり、幸福は達成されてめでたし、めでたし、というものではない。ささやかな幸運も、それを守ろうとした途端に“不幸せパターン”に陥っていることになる。いつでも身を捨てる気持ちでいないと“幸せパターン”に乗れないのが人間の宿命であろう。過去、現在、未来全部考えに入れて、今を生きることは、どんなことかを考えて見ることのできるのが人間の特性であり、我々はこれを意識して生きることにより誰しも

がどんな状況でも幸福でいられる。

ながられば、またこのごろやしのばれむ、憂しと見し

次の和歌を一喝（ゲ）（しめくくり）と受け取って、こ  
の歌を生きて実感できるように今の生活を頑張ること、  
頑張ることの出来ることをもって幸福と考えたい。

世ぞ今は恋しき。

（新古今集、藤原清輔）

## 講座

## チタニウムの製錬の歴史 (IV)

森山 徒一郎\*

Metallurgy of Titanium (IV)

-A Historical Review-

by Joichiro MORIYAMA

## 12. クロール法によるチタニウム製造の際の鉄の挙動

## 12.1 Mg 中の鉄の溶解度

四塩化チタニウムを活性金属で還元する場合、Na, Ca, Mg により特徴のある還元の様式が認められるることは、既に述べた。これらの還元では、それぞれの金属およびその塩化物の高温性質でその還元の進行が左右せられる。前節で Maddex の提案を例にして述べたように、四塩化チタニウムのマグネシウム還元では、析出したチタニウム・スponジは反応管内壁に強く附着している。このことは、クロール法様式の還元反応の連続化を困難にしている。Ca, Na を四塩化チタニウムの還元剤として用いる際、それぞれ、特徴ある現象が認められる。Mg 還元では、析出スponジと反応管内壁の附着は極めて強固であるのが特徴である。

Emley<sup>79)</sup>によると、マグネシウム合金に鉄が混入すると著しく耐蝕性が悪くなり工業材料としての価値が軽減することから、20世紀のはじめから多くの脱鉄の研究が報告されている。Emley は Mg の化学処理による不純物の除去する方法を次のように分類している。(a) 溶解している不純物をフラックスにより置換反応で除く。(b) フラックスにより物理的に処理する。(c) 適当な元素を加えて不純物を析出させる。(a) の例は Mg 中に Na が混入している際、MgCl<sub>2</sub>で処理して置換反応を行う方法がある。(b) は酸化物が懸濁した際、フラックスで処理して、金属相から塩化物相に移行させる方法がある。(c) の方法の例としては、Mn により Mg 中の Fe の溶解度を減少させる方法、あるいは Zr 等を加え Fe と間化合物をつくり沈降させ Fe の含有量を低下させる方法が知られており、工業的にも用いられている。

マグネシウム中には Fe, Mn がかなり溶解する。鉄の溶解度については多くの報告がある<sup>80-82)</sup>。表 9 のマグネシウム中の鉄の溶解度によると 1000°C では 0.2~0.3% の溶解度があり、融点附近では 0.02~0.03% になる。クロール法様式の還元では発熱反応であり反応管壁から熱量が除去されるので内壁に鉄が析出することになる。

## 12.2 Mg 中の鉄とジルコニウムおよびチタニウムの溶解度積

マグネシウム中の鉄を減少させる方法としてジルコ

表 9 マグネシウム中の鉄の溶解度

温度 °C	Fahrenhorst	Mitchel	Siebel
650	0.025-0.026	0.035	0.016-0.020
700	0.035-0.040	0.050	0.036
750	0.051-0.060		
800	0.100-0.112	0.112-0.115	0.077
900	0.186-0.201	0.212-0.220	0.140
1000	0.320	0.265	
1100	0.560		
1200	0.840		

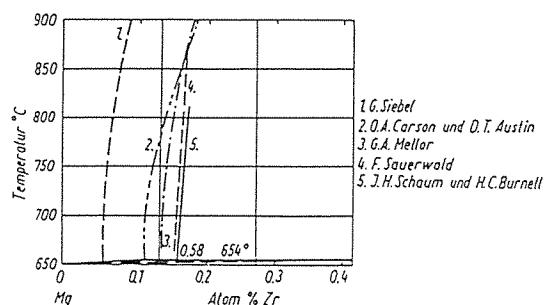
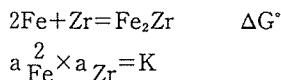


図 39 マグネシウム中のジルコニウムの溶解度 (Schneider ら, 1960)

\*京都大学名誉教授

ニウムの添加が一般的である。この操作によりマグネシウム中の鉄含有量は 0.002% 以下まで下降する。この機構としては、マグネシウム中に  $\text{Fe}_2\text{Zr}$  の金属間化合物が析出し、これを沈降除去すると Fe 分が除去出来る。図 39 はマグネシウム中のジルコニウムの溶解度を示している。800°C で 0.6% 程度溶解する。また、この添加の方法は四塩化ジルコニウムによっている。この方法について、Claustahl 工科大学の Schneider らは物理化学的な解説を行っている<sup>83)</sup>。



ここに、 $a\text{Fe}_2\text{Zr}$  は化学量論的な化合物で組成は 1 に近いので、近似的に 1 としている。Schneider は Clausthal 工科大学の物理化学の教授であったので、上記 K の値を溶解度積としているが、溶解度積は本来、水溶液化学の概念であり、高温溶液では希薄溶液の場合、活量係数およびその間の interaction parameter を顧慮する必要がある。

しかし、この実験結果では  $\log N_{\text{Zr}}$  と  $\log N_{\text{Fe}}$  の一定温度での関係を求めると直線関係が認められる。図 40 にはこの関係を示している。1, 2, 3 は温度は 800°, 750°,

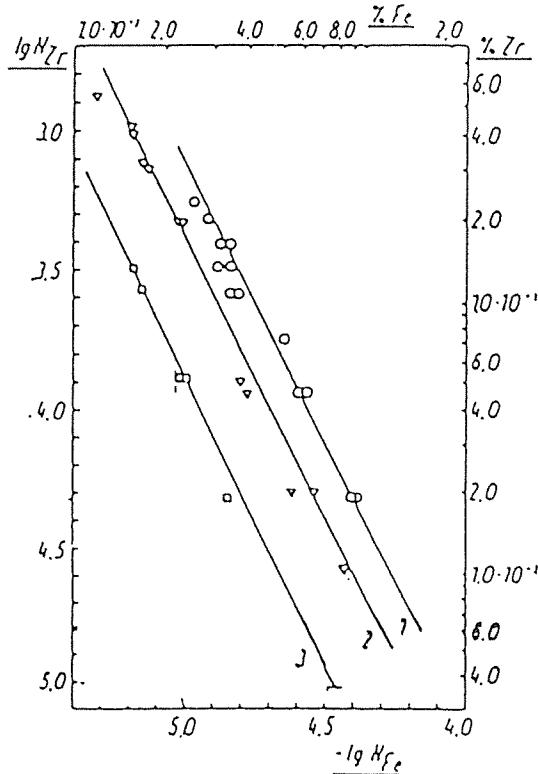


図 40 Zr と Fe の原子% の対数値の関係  
(Schneider ら, 1960)

700°C である。図 41 では Mg-Fe-Zr の等温相図においての  $\text{Fe}_2\text{Zr}$  とその溶解度を示している。例えば 700°C においてジルコニウムを 0.121 重量% 溶解したマグネシウム中の鉄の溶解度は 0.0015 重量% である。析出物を沈降で除き、残ったジルコニウムを水素化物として除去したマグネシウム中には Fe は 15 ppm しか含まれない。このようにマグネシウム中の鉄をジルコニウムで除去する方法は古くから知られた有効な手段であった。ジルコニウムを用いるのは比重から沈降が容易であるからである。このような関係はチタニウムでも同様である。表 10 にはマグネシウム中のチタニウムの溶解度を示している<sup>84)</sup>。この場合もジルコニウムと同様に  $\text{Fe}_2\text{Ti}$  の金属間化合物が析出する。図 42 に  $\text{Fe}_2\text{Zr}$ ,  $\text{Fe}_2\text{Ti}$  等が析出した際の溶解度を示す。この実験結果から溶体中の鉄の含有量は数 ppm まで下降する。

以上の実験結果から、四塩化チタニウムのマグネシウム還元では、溶体のマグネシウムのねれ性と Mg 中の鉄の溶解度、 $\text{Fe}_2\text{Ti}$  の析出により、チタニウムがスポンジとして形成すると考える。

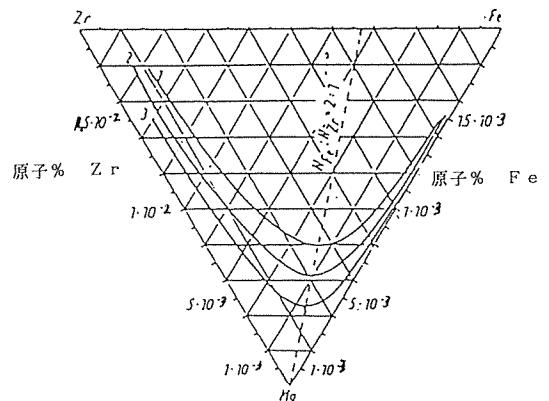


図 41 マグネシウム中の  $\text{Fe}_2\text{Zr}$  の析出の溶解度積と相関係 (Schneider ら, 1960)

表 10 マグネシウム中のチタニウムの溶解度  
(Fincher ら, Bureau of Mines, Rolla, 1968)

温度 °C	重量 %
700	0.018
800	0.034
900	0.064
1000	0.103
1100	0.186
1200	0.268
1300	0.420
1400	0.551
1500	1.035

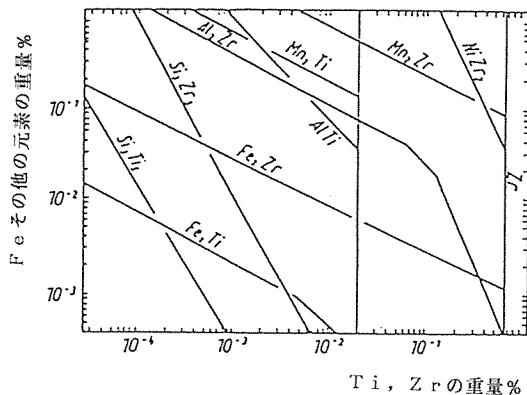


図 42 溶融マグネシウム中の Ti, Zr の溶解度と Fe その他の元素との溶解度積 (749°C).  
(Schneider ら, Clausthal T. U. 物理化学科, 1960).

### 12.3 チタニウム・スポンジについて

四塩化チタニウムをマグネシウムで還元すると、生成したチタニウムはスponジ状となり、還元反応容器の内壁に強く付着する。この現象の考察については既に述べた。チタニウム・スponジという言葉は一般的に用いられ、工業的な術後として定着しているが、チタニウム・スponジの性質について検討した実験は少ない。1966年ソ連のサンドレルら<sup>85)</sup>はチタニウム・スponジの物理的性質、主に、スponジ中の種々の細孔の分布について興味ある実験結果を報告した。

実験方法として、反応管中に生成したスponジを各部分から試料を採取する。次に、これらを真空蒸溜炉に入れ、960~980°Cで44時間、真空分離を行ない、反応生成物である塩化マグネシウムを除く。このスponジの細孔の分布をポロシメーターで測定する。

半径 10μ 以下、10~100μ、100μ~250μ、250μ~500μ、500μ 以上に分類し、細孔の分布を求める。図 43 には、クロール法様式の還元反応における四塩化チタニウムの単位反応管断面積当りの供給速度と半径 10~100μ の細孔のスponジ中に占める割合を示している。供給が大きい時はこれらの細孔の分布の割合は低く、供給を大にするとこの分布は増す。図 43 に示すように、半径 10~100μ の割合を横軸にとっている。このような実験では、半径 10μ 以下の細孔も、何れの還元速度においても、10%内外の割合で存在するが、この細い細孔は蒸溜工程では、高いインピーダンスを示し、内部からの塩化マグネシウムの工業的蒸溜への寄与は少ない。実験的に蒸溜反応に律速するものは、10~100μ の細孔の存在の分布となる。1950 年の真空蒸溜装置には大口径の油擴散ポンプが設けられていた。油擴散ポンプの特性から、径が大になると、通常の設計では速度係数あるいはホー係数

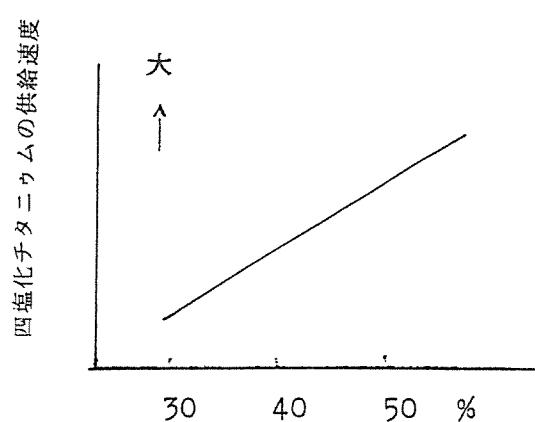


図 43 反応器への四塩化チタニウムの供給速度と生成スponジ中の細孔径の変化 (1966, ソ連文献)

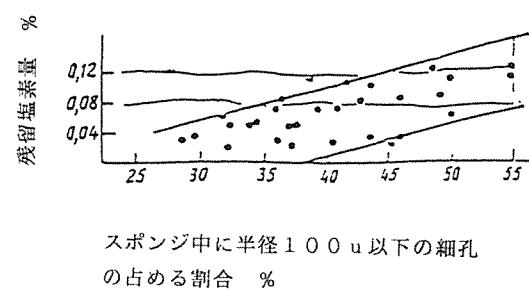


図 44 チタニウム・スponジ中の残留塩素量と半径 100 μ 以下の細孔の占める割合 (1966, ソ連文献)

数\*は普通、30%をこえ、40%に近づく。それ故、蒸溜装置内は高真空に到達し、細孔内のインピーダンスは大になり、細孔内の塩化マグネシウムの除去は工業操作では長時間を必要とし、この著者は実験結果から、この範囲の細孔からの蒸発の寄与を採用していない。図 43 では縦軸には反応容器内への四塩化チタニウムの供給速度を定性的に示している。原著では kg/時の単位で表示されている。この実験では同じ反応容器で実験が行われているので、このような表示しているが、単位面積当りの供給速度で示すのがより定量的で望ましい。この値は壁面からの熱量の除去、マグネシウムと塩化マグネシウムの交換の速度等により律速されるが、実験装置による検討はあるが<sup>72)</sup>、工業用反応器の数値は公表されていない。

ともかく、この図では、ゆっくり四塩化チタニウムを

\*速度係数 (speed factor), ホー係数 (Ho's coefficient)

供給すると  $10\sim100\mu$  (半径) の形成の割合は少なく、次の真空蒸溜の際の気体論的なインピーダンスは少なく、同じ装置により、より多くの塩化マグネシウムの除去が期待される。図 44 に半径  $10\sim100\mu$  の細孔の分布とスポンジ中に残留する塩素量の関係を示している。35%以下 ( $10\mu$  以下を含めても 45%) の分布では塩素含有量は 0.04% となる。このような細孔の分布を得るには還元反応の際の四塩化チタニウムの供給の速度をおそくすることになる。実際の操業では生産性との関係が重要である。

スポンジチタニウムはマグネシウムから析出した鉄により反応管内壁に強固に付着している。管壁のものは鉄分が多く、中心部のものは少ない。チタニウム製錬工場では鉄分の多いものはフェロチタンとして市販する。

### 13. クロール法によるチタニウム製造の装置について

第 2 次世界大戦までの時代、真空技術は研究室における実験に役立つことが目的であった。当時、筆者の読んだ成書としては、前出の Espe ら<sup>28)</sup>の著作および星合<sup>26)</sup>須賀<sup>27)</sup>のものがあるが、電気工学の研究者による電子管の製造に関するものか、実験物理のための実験技術についての著述であった。

ところが、第 2 次大戦中、アメリカを中心として、多くの巨大なプロジェクトが行われた。このために真空装置自体も大型の工業的な装置となり、当然のことではあるがガラス製から金属製へと移行する。これに関するエンジニアリングも開発せられ、また、気体論を基礎とする実験式も多く報告され真空装置の設計が可能になった。この頃の真空技術の発展について書かれたものに Gutherie<sup>28)</sup>らの著作がある。

クロール法によるチタニウム製造の一連の装置は化学冶金における最初の大型真空装置であった。それ故、当時、わが国の冶金技術者に多くの刺激を与えた。アーク溶解は 1954 年、神戸製鋼所の高尾、草道<sup>29)</sup>により工業的研究が行われ、200 kg のインゴットの製作に成功し、さらに 1957 年には 1t ものインゴットの溶製を行っている。これはその後大型化し今日の 10 トン炉にいたっている。

真空や金では昭和 30 年後半から溶鋼の脱ガスについての多くの研究が行われており、これらを総括して真空や金の国際的な研究組織として発展している。これらの詳細については Winkler ら<sup>30)</sup>の著作を参考して貰いたい。

第 2 次大戦後の時代は真空技術自体、進歩した年代であった。例えばキニ一型ポンプ、メカニカル、ブースタポンプがあり、排気能力および到達真空度が著しく上昇している。この頃の真空技術の概略については筆者が往時読んだものの中では、Dushman<sup>31)</sup>と上田<sup>32)</sup>の成書によ

く説明されている。

### 14. チタニウム-窒素系について

チタニウム-酸素系については、すでに 7 節において相関係および固溶体の熱力学について説明した。この頃ではチタニウムと窒素の挙動について考察してみる。

チタニウム-窒素系についての最初の研究は Ehrlich<sup>33)</sup>により行われた。常温で  $\alpha$ -Ti は窒素を固溶し、50 原子%までに TiN 相を形成することを X 線解析で見出した。

その後、Clark<sup>34)</sup>により窒素の添加によるヨード法チタニウムの格子常数の変化が測定された。さらに Jaffee ら<sup>35)</sup>は固溶度の測定のため容量法で窒素を加えて試料を調整して金属組織および硬度等の物理的性質について実験した。引続いて Jaffee ら<sup>36)</sup>はヨード法チタニウムに  $Ti_3N_4$  を混じアーク炉で溶製し低濃度範囲であるが  $\alpha$ - $\beta$  変態の濃度と温度の関係を求めた。

その後、1954 年にチタニウム-窒素系相図は Palty ら<sup>37)</sup>により作成された。この相図は現在も用いられている。実験の方法は、アーク炉で試料をつくり、焼純後、

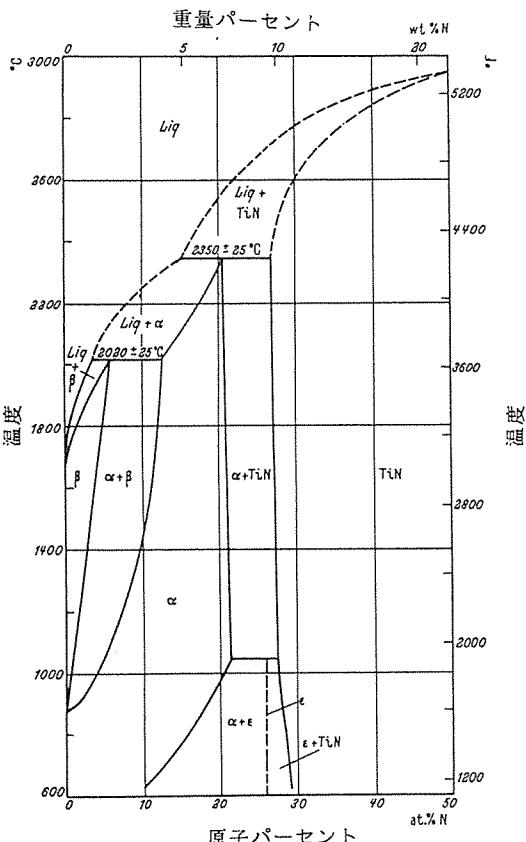


図 45 チタニウム-窒素系の相図  
(Palty ら, 1954)

顕微鏡組織、X線解析、融点の測定を行っている。図45にチタニウム-窒素系の相図を示す。融点の測定はcadoffら<sup>98)</sup>の方法によっており、窒素の分析はKjeldahl法による。TiNの融点として2950°C(C. Agte(1931), K. E. Friedlich(1924))の値を用い、Tiの融点としてB. W. Gonserの1725°Cの値を採用している。この相図は酸素との系と似ており、また、少量の窒素を固溶することにより、酸素と同程度硬度を増す(図46)。20±25°Cにおける $\alpha+L=\beta$ と2350°Cの $TiN+L=\epsilon$ の包晶反応が生ずる。さらに1000~1100°Cでは $\alpha+TiN=\epsilon$ の包晶反応がある。この反応は遅く1000°Cでは96時間で完結しない。 $\epsilon$ 相は $Ti_4N$ 又は $Ti_3N$ に相当すると、Paltyらは述べているが、 $Ti_2N$ との報告もある。

TiN相においては窒素の拡散速度はTiに対して速い。また、窒化の反応速度についてはGulbransen<sup>99)</sup> Bars<sup>100)</sup>の報告がある。

窒化物の標準生成自由エネルギーと温度の関係を図47に示す。酸化物の標準生成エネルギー・温度図と異なる点は、金属窒化物中でチタニウム、ジルコニウムの窒化物が最も安定であることである。活性金属であるカルシウムの窒化物はチタニウム、ジルコニウムのそれより、

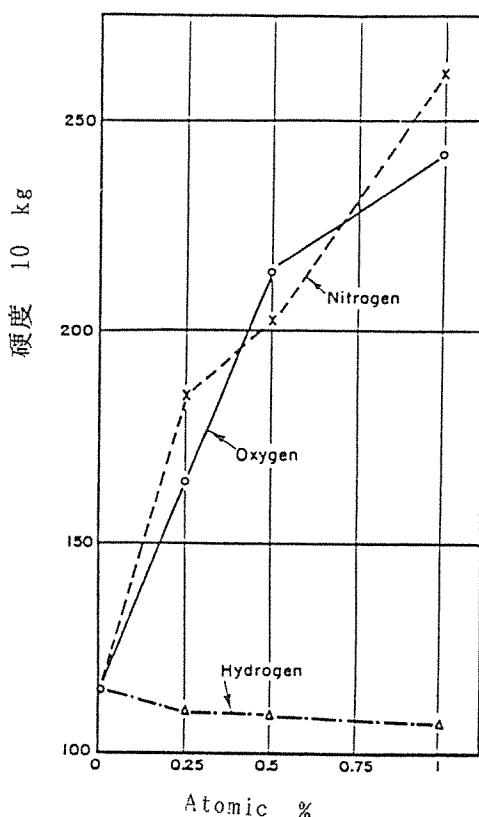


図46 窒素の硬度への影響  
(Jaffeeら, Battelle研究所, 1949)

はるかに不安定である。もともと、チタニウム製錬は固溶する酸素を出来るだけ除去することを目的として行われた。しかし、窒素については考え方が異ってくる。

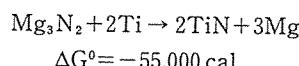
Bureau of MinesのHenryら<sup>101)</sup>は窒素について実験を行った。実験装置は径12 inの不銹鋼製の反応管中に11 in径、長さ15 inのるつぼをいれ、マグネシウムを装入し四塩化チタニウムを800~850°Cで滴下し還元を行い、低価の塩化物の生成を防止するため、マグネシウムは理論量より過剰に用い、全量の70%で反応を終結する。次に底部に孔を開けて、マグネシウムと塩化マグネシウムを流し出す。その後、12 in径、7 ftの真空レトルト中で950°C、10<sup>-4</sup> torrで20~30時間、真空分離を行う、約12 lbのチタニウム・スponジが得られる。

このスponジを1~2 in径に破碎し、40 t/in<sup>2</sup>で圧縮して2×1×10 inの電極をつくり、これを自溶して3-1/2 in径のインゴットにする。これを次に1120°Cで50%鍛造し熱間で圧延して、3/4 inの厚さまで伸し、1120°Cで水冷する。表11には、この実験で標準的な還元で得られたスponジの分析値を示す。還元の初期に生成する底部のスponジに酸素、窒素とも多く含まれる。

表12に製造工程でトラブルが生じた際のガスの混入についての実験例である。

標準的な操作では窒素は30 ppm、酸素は0.06~0.15%が含まれる。

還元剤のマグネシウムが汚染され、酸素および窒素含有量が高いと生成スponジ中のガス不純物は高くなる。酸素の場合はチタニウム-酸素系の物理化学から推定出来るが、窒素の場合、800°Cで計算すると次のようになる。



マグネシウム中の窒素はそのままチタニウム中に移行し、TiNあるいは $\epsilon$ 相<sup>\*</sup>となる。

この他、窒化物は還元工程中の真空装置からの空気の漏洩により、また、蒸留工程中の真空の不良の際にも生ずる。後者では汚染は著しい。

TiNは古い時代に組織学的に鉄鋼中で確認された黄色の化合物であるが、チタニウムでは $\epsilon$ 相のこわれ易い組織として検出されている。

チタニウム・スponジを溶解すると化合物は局所的な介在物として析出し機械的な欠陥の原因となる。航空機用素材では重大な問題となる。

## 15. 四塩化チタニウムの原料

### 15.1 再びイルメナイト資源について

\*Henryらは $Ti_2N$ の化学式で示している。

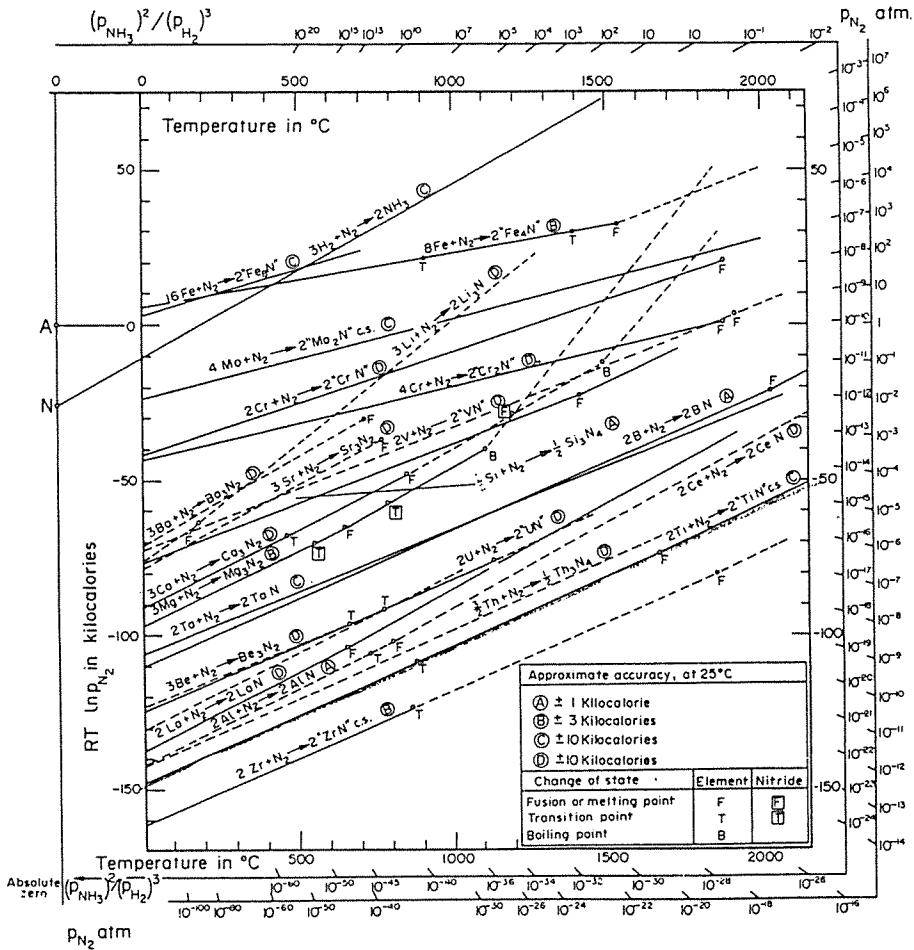


図 47 窒化物の標準生成自由エネルギー  
(Olette ら, フランス鉄鋼研究所, 1962)

表 11 チタニウム・スponジ中のガス不純物の含有量  
(ppm) (Henry ら, Bureau of Mines, 1973)

		スponジ			
		上部	中心部	壁	底部
酸素	max	1190	1600	1770	3200
	min	433	235	443	400
	mean	851	802	1058	1438
窒素	max	94	114	144	255
	min	9	12	10	44
	mean	37	52	62	139

第2次世界大戦中、わが国では鉄鋼資源の枯渇のため砂鉄製錬の研究が行われていた。当時は  $TiO_2$  分の少ない砂鉄から鉄分の採取が目標であった。

敗戦後、チタニウム産業の出現により、電気炉銑業界の数社が高チタニウム鉱滓の製造研究を行った<sup>102</sup>。表 13 には第2次世界大戦後、行われたチタニウム・スラ

表 12 窒素含有量の分析

(Henry ら, Bureau of Mines, 1973)

	インゴット中の含有量 ppm		
	N	O	C
<b>標準操作</b>			
一段溶解	33	595	124
二段溶解	39	1555	304
空気汚染 Mg			
一段溶解	4170	1956	165
二段溶解	2866	1550	205
還元中のリーク			
一段溶解	1988	2350	256
	1700	1100	205
部分リーク	745	1030	174
蒸留工程中			
のリーク			
一段溶解	7830	2950	318
部分リーク	3520	1880	326

表13 昭和20年代における砂鉄製錬会社によるチタニウム・スラグの製造実験  
(通産省、昭和28年)

砂鉄	スラグ							
	T.Fe	TiO <sub>2</sub>	TiO <sub>2</sub>	FeO	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO
新報国砂鉄	52.5	21.4	45-47	5-8	10-15	7-10	5-10	
北越電化	40.9	29.9	65-75	3.9	11-12	6900 Kwh*		
土佐電気製鋼	47.8	17.1	45	6.1	16.4	9.2	8.7	9.5
						3120 Kwh*		
日曹製鋼		30	65	4	11			
日本高周波	43.6	32.9	66-68	5.5	5.4	9.3	3.6	6-8
						4000 Kwh*		

\* 錄トン当たりの電力

グについて、製造実績を示す。

低品位の原料砂鉄を処理したので、エネルギー消費が高い。その後、外国産の品位の高い砂鉄を処理して、高チタニウム・スラグの製造研究が、北越メタル、太平洋金属、住友金属鉱山、日本カーバイト等で行われたが、経済的には成功していない。

すでに本稿の表1で世界のチタニウム原料生産能力を示したが、チタニウム工業の原料としては、硫酸法酸化チタン用のものと、金属チタニウムおよび塩素法酸化チタン用の原料に大別される。

硫酸法酸化チタンの場合は、原料を粉碎して硫酸に溶解して水溶液として処理するのであるから、イルメナイト並びに含チタニウム原料は粒度分布等は余り問題でなく硫酸への溶解性が大切な条件である。イルメナイトは広く硫酸法チタン白顔料の原料として用いられている。一方、ルチル型の結晶構造のものは硫酸に溶け難いので不適当である。

一方、クロール法様式による金属の製造ではイルメナイトを原料として塩化物をつくると、塩素が消費され、また塩化鉄は塩化炉内に付着し操作を困難となる。それ故、塩化のための原料は酸化チタン分が出来るだけ高いことが望ましい。

金属チタニウム製造用のルチル鉱石の需要は余り大きいものではなかったが、昭和30年代、後半になると Du Pont 社の塩素法酸化チタンが成功してルチル鉱石の需要が増大する。当時 Du Pont 社は塩素法酸化チタンを年間15万トン生産しており、原料はオーストラリアの Leucoxene をルチル鉱石と共に用いられている。

## 15.2 チタニウム・スラグについて

表13で説明したようにわが国の砂鉄からのイルメナイトにマレーシア産の鉱石を加えて電気炉で還元を行い、TiO<sub>2</sub> 82%, FeO 4%に濃縮すると 4000 Kwh の電力を必要とする。われわれはスラグの基本として Fe-O-SiO<sub>2</sub> 系を考えている。このことは地球上の火成岩中に SiO<sub>2</sub> が 45% 含まれている事実から一般的な考え方

であり岩瀬ら<sup>11)</sup>の実験についてはすでに述べた。 TiO<sub>2</sub>-SiO<sub>2</sub>-CaO 系についてはその後 Ross<sup>103)</sup>らが SiO<sub>2</sub>-CaO-TiO<sub>2</sub> 系と CaO-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> 系の相図を検討し CaO-SiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> 系における 1400°C の融点の範囲を示した。

これに対して Quebec Iron and Titanium Corporation のスラグの製造は異った考え方で立脚して行われた。

National Lead 社の Sigurdson らは従来の研究と異なり、TiO<sub>2</sub>-CaO-MgO の高チタニウム範囲での研究を行った<sup>104)</sup>。この基礎データとしての MgO-TiO<sub>2</sub> 系<sup>105)</sup>, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> 系<sup>106)</sup>, CaO-TiO<sub>2</sub> 系<sup>107)</sup> の相関係は報告されている。これら 2 成分系の相図には共晶点が存在する。それ故、CaO-MgO-TiO<sub>2</sub> 系および CaO-MgO-TiO<sub>2</sub>-Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 系中にも融点の低い範囲がありうると考えて Sigurdson らは三成分系の検討を行った。

実験の方法は 0.005×0.3×2.2 in の白金片を加熱し、その上で人工スラグを溶融する。この場合、温度測定は光高温計によるが、白金の放射率は Bureau of Standard の温度補正と融点が確認されている物質を溶解して確認を行った。

この場合の融点は試料を望遠鏡で直視し粒子の角がとけ、急速に球状になる温度を採用している。粘性域としては固体粒子が消滅する温度とする。

Sigurdson らは実用上 fluid zone および Viscous zone の表現を用いている。図48は、この新しいスラグに対する Sigurdson の初期の実験結果である。この図から 1450°C 以下の広い融体範囲が見られる。

この系に Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> を 10~30 モル% 加えた融体を冷却すると CaO-TiO<sub>2</sub>, MgO-TiO<sub>2</sub> と MgO-2TiO<sub>2</sub> と Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub> の混晶が認められる。Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> は単体として析出することはなく 30 モル%までは融点に顕著な影響を与えないが、40 モル%になると粘性が増して来る。

CaO-TiO<sub>2</sub>-MgO-TiO<sub>2</sub>-TiO<sub>2</sub> 系は CaO-TiO<sub>2</sub> (40 モル%), MgO-2TiO<sub>2</sub> (60 モル%) に共晶点 (1360°C)

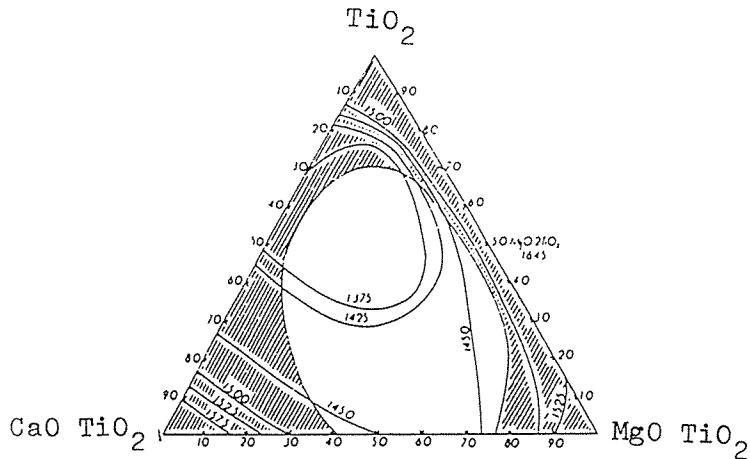


図 48 Sorel スラグの融点図, モル%  
白地は融体範囲  
斜線は粘性範囲  
(Sigurdson ら, National Lead 社, 1949)

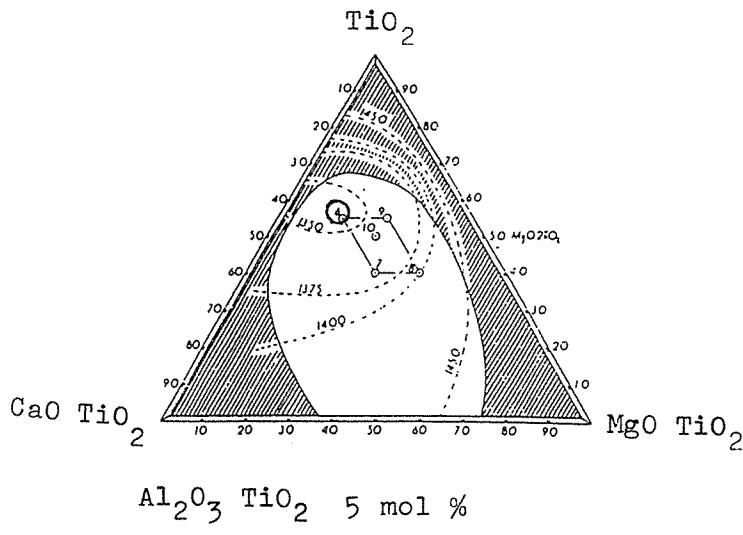


図 49 Sorel スラグの融体範囲の組成 (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 5 モル%)  
(Sigurdson ら, 1949)

が存在すると報告されている。さらに TiO<sub>2</sub>側に低融点範囲が認められており (例えば MgO・TiO<sub>2</sub> 13.5, CaO・TiO<sub>2</sub> 20, TiO<sub>2</sub> 65 モル%, 1375°C) TiO<sub>2</sub> の含有量の高いスラグの採取の可能性を示唆している。

図 49 には、Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>・TiO<sub>2</sub> 5, MgO・TiO<sub>2</sub> 14, CaO・TiO<sub>2</sub> 29 TiO<sub>2</sub> 52 モル% の組成が 1350°C の融点範囲にあることを示している。この組成を重量%で示すと

TiO<sub>2</sub> 75% となり、酸化チタニウムの含有量の高い融体がこのような酸化物系で形成されることを示している。

Sigurdson の実験はその融点測定装置から分るが、酸化雰囲気中で行われた。工業的な総業では鉄分を還元分離するため還元雰囲気で行われ、低価の酸化物を含まれこの結果をそのまま適用することは出来ない。

事実チタン鉄鉱からの鉄の採取が過去 100 年以上試

みられ成功を見るに到らなかったのは、ケイ酸塩系のスラグで低融点範囲が十分広く存在しなかったことと、低価の酸化物を炭化物の生成で粘性が増したためと考えられている。

1949年にArmantら<sup>108)</sup>はSigurdsonの実験結果を基礎として製錬の研究を行った。表14に実験に用いたチタン鉱の分析値を示す。最初の実験では6KWの高周波誘導炉中で外径3in, 高さ4inの黒鉛るつぼを用いて還元を行った。

還元が進むにつれてスラグ中のFeO含有量は減少する。一方、これによりTiO<sub>2</sub>も還元されてい3価のTiの含有量は増す。一定量以上では炭化物も析出して焼結状態となり流動しなくなる。表15ではスラグ中のFeO含有量と3価のTiの関係を示している。また、スラグ中のFeO含有量を分析することにより、3価のTiの含有量を知ることが出来る。

表16では同じ配合でCaOの量を変化してみると、CaO量が少ないと2価の酸化鉄量も減少し流動性を失い、焼結して来る。

次に40KVAの単極電流炉でさらに検討された。電極の径は1-1/4in, 深さ9inの実験炉であった。操業温度は1450~1550°Cであり、基礎実験で得られた表17の融体スラグの化学組成が確認された。さらに、Mooreら<sup>109)</sup>はこのスラグの生成の過程及びその組織(顕微鏡とX線解析)について検討した。

表14 チタン鉱の分析 (Armant, 1949)

	MacIntyre Ilmenite N. Y. %	Baie St. Paul Ore Quebec %
TiO <sub>2</sub>	44.6	38.8
FeO	36.7	28.3
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.2	19.7
CaO	0.8	0.9
MgO	2.6	3.8
SiO <sub>2</sub>	4.0	3.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.2	2.8

表15 スラグ中のFe(2価)とTi(3価)の関係 (Armant, 1949)

Burden	Baie St. Paul	100
CaO	5	
MgO	1	
C	15	
TiO <sub>2</sub> %	58.7	63.2
Fe <sup>2+</sup> %	9.2	8.3
Ti <sup>3+</sup> %	0	0.4
	65.8	67.5
	4.5	2.5
	66.4	0.7
	3.3	7.8
		8.9

これらの研究と同時にカナダのQIT社(QIT Fer et Titane Inc)はAllard Lake地方のイルメナイトの大鉱床の開発のため、安価な電力により、さらに大型の電気炉の設備により製錬を始めた。この会社はNew Jersey Zinc COとKennecott Copper Coとの合弁でSorelに設立された。この計画は将来の顔料工業の需要を予想し1700万ドルの投資にいたったと記されている<sup>110)</sup>。

約35%のイルメナイト鉱から電気炉操業により、70%の含チタニウム・スラグと銑を製造するもので、炉は54ftの長さ、25ft中の密蔽式で6本の電極で通電する。

炉は5基建設されたが、1基当たり135トン/日の高チタン・スラグと100トン/日き銑が生産される。目標としては5基で700トン/日の高チタンスラグと500トン/日の銑、300トン/日の一酸化炭素の製造を目標とした。

Havre St. Pierreのイルメナイトは40.5% Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>、34.5% TiO<sub>2</sub>になるように調合し、5/8inに粉碎し乾燥後、鉱石100部に対し、無煙炭15部を混合し、自動装置で炉壁に沿って投入される。

高チタンスラグは炉材を著しく浸透するので、投入の割合と炉壁温度から、スラグと炉壁の間に固体状態の

表16 CaO添加量と粘性の関係 (Armant, 1949)

Burden	Baie St. Paul			100
	CaO	MgO	C	
CaO	3	4	5	7
TiO <sub>2</sub>	70.5	68.9	67.5	62.0
Fe <sup>2+</sup>	2.5	2.0	2.5	5.0
	Cinder	Viscous	Fluid	Fluid

表17 融体スラグの生成のための添加量の上限と下限 (Armant, 1949)

鉱石 装入量	MacIntyre	Baie St. Paul
Ore	100	100
CaO	6	8
MgO	1	5
C	15	15
予想されるスラグの化学分析値		
TiO <sub>2</sub>	68.6	62.8
Fe <sup>2+</sup>	4.6	3.9
CaO	10.2	12.4
MgO	5.5	10.7
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.8	4.5
SiO <sub>2</sub>	6.1	5.6
	6.2	5.6

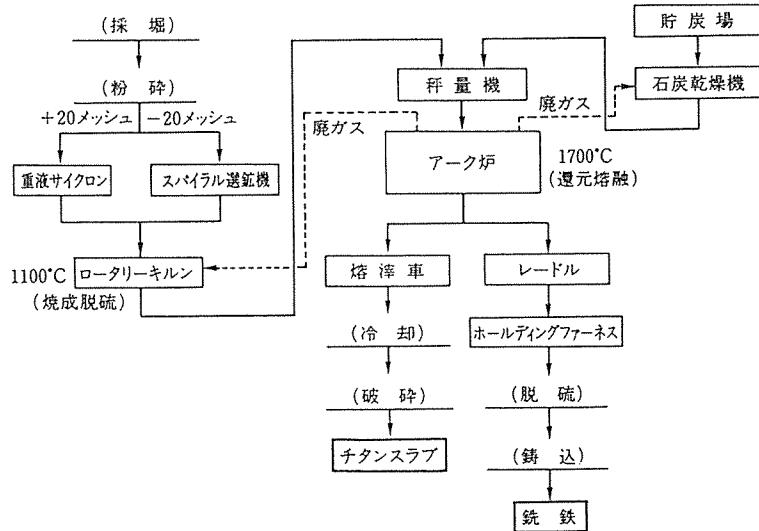


図 50 Sorel スラグの製造工程  
(河合, 1994)

表 18 チタニウムスラグの分析  
(河合, 1994)

Constituents	Sorel slag (Canada)	Richards Bay slag (South Africa)	Tinfos slag (Norway)
T. TiO <sub>2</sub>	78.9	84.6	76.5
As	17.6	32.0	11.2
Ti <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (TiO <sub>2</sub> )	17.6	32.0	11.2
T, Fe	9.2	7.9	5.2
MgO	4.76	0.98	8.6
CaO	0.32	0.19	0.6
SiO <sub>2</sub>	2.26	2.19	5.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.48	1.06	1.6
MnO	0.23	2.07	0.5

装入物を残し、塩基性耐火物の炉壁を保護している。炉の天井にはクロム・マグネサイト煉瓦が用いられる。

電気炉は 220~440 V の電圧で、16,000 Kw(最大の実績)で操業される。初期の QIT の操業は TiO<sub>2</sub>含有量の高いスラグの製造を目標にしたが、その後、銑鉄の製造も安定し炉床に鉄が 12 in, スラグが 30~40 in の深さに保持され、銑鉄は 12 時間毎に底部から、スラグは 4 時間毎に上部のタップホールから炉外にとり出す。銑はイオウ含有量 0.5% であるので、60 ton の電気炉でカルシウム系スラグを用いて 0.05% まで脱硫する。スラグは 1600°C で取鍋にとり、30×10×1 in の型に铸こみ、水冷後、1/2 in 以下に破碎し製品として出荷する。初期のスラグは TiO<sub>2</sub> 70%, Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 4%, Fe 4%, MgO 5%, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 6% と報告されている。

このスラグは 1950 年以来、Quebec のイルメナイトの大鉱床、安価な電力供給と、アメリカの大非鉄製錬会社による巨額な投資により、独占的なスラグの生産を行って来た。1992 年度では 105 万トン 1 年の生産能力と報告されている。

このスラグの製造工程を図 50 に示す<sup>111)</sup>。Sorel の町で選鉱と製錬が行われるので “Sorel Slag” と呼ばれる。

1950 年には塩素法のチタン白工業はなかったので、このスラグの TiO<sub>2</sub> 品位は 80% で十分であった。その後塩素法チタン白工業の発展に伴い、QIT は南アフリカの現地資本と合弁で RBM 社を設立し、南アフリカの Richard Bay のイルメナイトを原料として、1979 年から TiO<sub>2</sub> 品位 85% のスラグの生産を始め、その生産能力は 100 万トン/年に達し、80% を塩素法チタン白、20% を硫酸法チタン白用の原料として販売している。この他ノルウェーの Tinfos 社がノルウェー産の鉱石から 75% TiO<sub>2</sub> 品位のスラグを 20 万トン 1 年の能力で製造している。表 18<sup>111)</sup> にチタン・スラグき分析例を示す。

## 文 献

- 79) E. F. Emley; Principle of Magnesium Technology, Pergamon Press, (1966).
- 80) E. Fahrenhorst, W. Bulian; Z. Metallkunde, 33, 31 (1941).
- 81) D. W. Michell; Tr. Inst. Metals, 175, 570 (1948).
- 82) G. Siebel; Z. Metallkunde, 39, 22 (1948).

- 83) A. Schneider, J. Stendel; *Z. anorg. u. allgem. Chem.*, 303, 227 (1960).
- 84) L. C. Fincher, D. H. Desy; *Tr. A. I. M. E.*, 242, 2069 (1968).
- 85) ソビエト 文献: P. A. サンドレル, P. B. ララー  
ソフ; スポンジ チタンの物理的な諸性質に対する  
製造条件の影響 (1966).
- 86) 星合正治: 真空工学, オーム社 (1936).
- 87) 須賀太郎: 高真工学, 共立社, (1940).
- 88) A. Gutherie, R. K. Walkering: *Vacuum Equipment and Techniques* (National Nuclear Energy Series) McGraw-Hill, (1949).
- 89) 高尾善一郎, 草道英武; 神戸製鋼所報告 (1959).  
草道英武; 金属, 65, 6 (1995).
- 90) O. Winkler, R. Bakish; *Vacuum Metallurgy*, Elsevier Pub. Co., (1971).
- 91) S. Dushman, *Scientific Foundation of Vacuum Technique*, John Wiley (1949).
- 92) 上田良二: 真空技術, 岩波全書 (1955).
- 93) P. Ehrlich; *Z. anorg. Chem.*, 259, 1 (1949).
- 94) H. T. Clark; *J. Metals*, 1, 588 (1949).
- 95) R. T. Jaffee, I. E. Campbell; *J. Metals*, 1, 646 (1949).
- 96) R. T. Jaffee, H. R. Ogden, D. J. Maykuth; *A I M E*, 188, 1261 (1950).
- 97) A. E. Palty, H. Margolin, J. P. Nielsen; *Trans. Amer. Soc. Metals*, 46, 312 (1954).
- 98) I. Cadoff, J. P. Nielsen; *J. Metals*, 5, 248 (1953).
- 99) E. A. Gulbransen, K. Andrew; *J. Metals*, 1, 741 (1949).
- 100) J. P. Bars, E. Etchessabar, J. Debuige; *J. Less-common Metals*, 52, 51 (1977).
- 101) J. L. Henry, S. D. Hill, J. L. Schaller, T. T. Campbell; *Metallurgical Transactions*, 4, 1859 (1973).
- 102) チタニウム工業. 通産省鉱山局編, チタニウム懇話会, 昭和 28 年.
- 103) H. U. Ross; *J. Metals*, 10, 407 (1958).
- 104) H. Sigardson, S. S. Cole; *J. Metals*, 1, 905 (1949).
- 105) H. V. Wartenburg, F. Prophet; *Z. anorg. u. allgem. Chem.*, 208, 373 (1932).
- 106) E. N. Bunting; *Bur. Standards Jnl. Research*, 11, 725 (1933).
- 107) H. V. Wartenburg, H. J. Reusch, E. Saran; *Z. anorg. u. aligem. Chem.*, 230, 257 (1936-37).
- 108) D. L. Armant, S. S. Cole; *J. Metals*, 1, 909 (1949).
- 109) C. H. Moore, H. Sigurdson; *J. Metals*, 1, 914 (1949).
- 110) D. I. Brown; *Iron Age*, 1951, Nov., 129.
- 111) 河合哲朗; チタニウム 40, 106 (1992).

## 総 説

## 希土類永久磁石材料開発の現状

広 沢 哲\*

Recent Progress of Research and Developments  
in Rare Earth Permanent Magnet Materials

by Satoshi HIROSAWA

## 1. 緒 言

希土類磁石材料は情報通信社会の到来と共に飛躍的な発展を遂げ、パソコン用コンピューターとその周辺機器、携帯電子機器を中心として、我々の生活の隅々にまで浸透している。その駆動力となっているのは、電子機器の小型軽量化への飽く無き要求である。

希土類磁石の生産量は1994年に世界で3800トンに昇ったと推定されている。その50%は日本で生産された。世界の磁石生産量の中で日本が占める比率はアルニコ磁石が16%，フェライト磁石が23%で、希土類磁石の占める比率はこれらと比べると圧倒的に高い。この傾向は本多光太郎によるKS鋼の発明に始まる輝かしい歴史を持つ日本の磁石産業が最先端のハイエンド磁石材料を国内市場に供給して行く使命を担い、それに応えなければ生き残れない宿命にあることと無関係ではない。

重要な機能材料である永久磁石材料の使用量は電子立国度のパロメーターとも言える。今後も増加の一途をたどることは間違いない。しかし、日本の磁石産業が生き残れるかどうかは別の問題である。希土類磁石においても海外シフトの潮流は既に始まっている。その中で、新材料の果たす役割は大きい。希土類磁石材料は今後どのように変化し発展していくのであろうか。本稿では希土類磁石の製造プロセスを切り口として材料開発の動向を概観する。

## 2. 希土類磁石の製造プロセス

最近、宮島は日本応用磁気学会誌上で磁性体研究の20年の研究動向を概観し、材料創生に用いられたプロセス

を4つの段階に分類している<sup>1)</sup>。それによると、第一段階は組み合わせ加工で元素を組み合わせて溶解や焼結し、さらには熱処理を加えて素材を作製する段階、第二段階は製法加工された人工材料で、真空蒸着・スパッタリング・超急速冷等により第一段階で得られた素材に加工を加えて新しい特性を付加する段階である。第三段階は低次加工された人工材料であり、一次元的な構造変調を加えて製法加工した材料の段階である。人工格子膜、多層膜、エピタキシャル膜、結晶配向した薄膜などである。第四段階は高次加工された人工材料の段階であり、二次元的あるいは三次元的に構造変調した場合である。

希土類磁石の発展の歴史の中で中心的な出来事は1983年に公表されたNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B系永久磁石の発明である。Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B系永久磁石が米国のCroat<sup>2)</sup>と日本の佐川<sup>3)</sup>によって独立に発明されたことは広く知られている。Croatが液体超急速冷法による非平衡材料創生の方向からNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B磁石に到達したのに対し、佐川は当時の高性能永久磁石材料Sm-Co系永久磁石の製造方法すなわち粉末冶金的手法を用いて、性能の壁を破る超高性能な焼結磁石を開発した。

佐川による焼結Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B磁石は上の第一段階に、Croatによる超急速冷磁石は第二段階の材料ということになる。

## 2-1 焼結法

焼結法による希土類磁石の製造は1970年代のSm-Co系磁石の開発と製造開始によりほぼ工業的に確立された。焼結Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B磁石はその土台の上に更に改良を加えて極めて短時間の内に工業化された<sup>4,5)</sup>。開発会社（住友特殊金属株式会社）が特許の実施権を国内外の磁石メーカーに供与する方針を取ったこともあり、その生産量は急速に増え、1995年には日本国内だけでも1900トンが生産された。

\*住友特殊金属株式会社 開発本部 研究開発部  
基礎研究室 主任研究員

焼結希土類磁石の中で、現在最も磁気特性が高いのは焼結 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 磁石である。この材料は発明から既に10年以上が経過して成熟期に入った。その研究開発は磁気特性の向上と生産工程の合理化によるコストダウンを同時に達成しようとする技術開発に集約される。

永久磁石材の性能指数である最大磁気エネルギー積 ((BH)<sub>max</sub>) は永久磁石を通る磁束 (B) と磁界 (H) との積の最大値であり、真空中に置かれた単位体積の永久磁石が周囲の空間に作り得る静磁エネルギーの2倍に当たるエネルギー量に相当する。((BH)<sub>max</sub>) は磁石材料の飽和磁化を J<sub>s</sub> とすると理論的限界値  $J_s^2/4\mu_0$  を越えることは出来ない(図1)。

希土類焼結磁石は主相となる金属間化合物を数  $\mu\text{m}$  の大きさまでに粉碎して単結晶粒子の粉末とし、磁界中で磁化容易方向を揃えて圧粉成形した後、不活性雰囲気中で焼結し、さらに微構造制御のための熱処理を施して製造される。この熱処理の主な目的は保磁力 ( $H_{cJ}$ ) を最大にする(あるいは調整する) ことにある。希土類焼結磁石の ((BH)<sub>max</sub>) は  $H_{cJ}$  が充分大きい ( $H_{cJ} > J_s/2$ ) 場合、以下の因子に依存する。

1) 主相となる金属間化合物の飽和磁化  $J_s$

2) 主相の結晶配向度

3) 焼結密度

4) 非磁性介在物の体積比率

Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B の場合を例に取ると、主相の飽和磁化は Fe

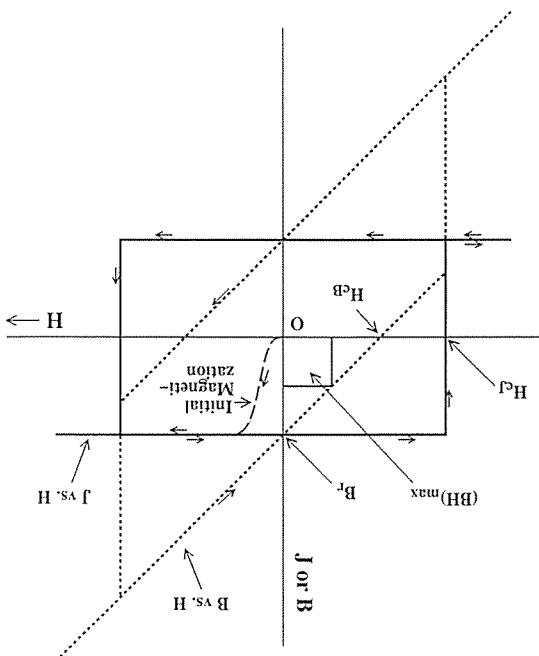


図1 永久磁石材料のヒステリシス曲線と残留磁束密度 ( $B_r$ )、保磁力 ( $H_c$ ,  $H_{cJ}$ )、最大磁気エネルギー積 ((BH)<sub>max</sub>)。

を他の元素で置換すると、キュリー温度と耐食性向上のために添加される Co の場合を除いて、低下する (Co の場合も  $J_s$  はほとんど増加しない<sup>6)</sup>)。従って、(BH)<sub>max</sub> を極限まで高くするには添加元素を用いずに主相の配向度を高め、焼結密度を大きくし、非磁性介在物の存在比率を低減することが必要である。非磁性介在物として最も重要なのは焼結時に液相となって液相焼結を実現する Nd に富む相と、粉碎過程などで混入する不純物である酸素が磁石成分の Nd と化合して生成する酸化物である。Nd 酸化物が生成すると実質的液相量が減少し焼結が困難となる。

Nd に富む液相成分の存在比率を減らすためには、組成を Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B の化学量論的組成比に出来る限り近づける必要がある。それを実現し、かつ良好な焼結性を確保するためには、粉碎前の原料合金の鋳造組織において Nd に富む相が均一に分散していることが重要となるため、比較的大きな冷却速度で均一に鋳造できる方法が必要になる。

主相の結晶配向度は磁界成形時の配向磁界の大きさに最も影響を受ける。現在はプレス成形機に磁界発生コイルを設置して磁界を印加する方法が最も一般的であるが、さらに磁界強度を高めるためにパルス磁界により数十テスラの強磁界を印加する方法の実用化が検討されている。例えば佐川らは高磁界パルスとゴムの弾性を利用した一種の疑似等方性プレスと組み合わわる技術を提案している<sup>7)</sup>。

磁界配向後の圧粉体成形過程で粉末の配向をできるだけ乱さないことも重要である。現在の (BH)<sub>max</sub> の記録は金子と石垣により得られた 431 kJ/m<sup>3</sup> である<sup>8)</sup>。

## 2-2 超急冷法

超急冷法は等方性 Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B 磁石粉末の製造方法として、米国の General Motors 社によって永久磁石の製造方法としては初めて開発され、Delco-Remy 社の Magnequench Division (現在は Magnequench International 社) により工業的操業が行われた。技術的詳細は一切公表されていないが、不活性雰囲気中で溶解された原料合金を底部にノズルを有するタンディッシュに注ぎ、高速回転する(周速度約 19 m/s) 水冷ロール上に落下させて急速凝固させる方法である。1995 年に本方法により約 1300 トンの磁粉が製造されたと言われている<sup>10)</sup>。それらの磁粉は樹脂により結合して成形され、プラスチック・ボンド磁石として小型ブラシレス・サーボモーターやステッピングモーターなどを中心に国内外のモーターメーカー等により使用されている。

一方、超急冷法は新磁石探索の方法として数多くのグループにより標準的な実験手段の一つとして広く用いられている。特に、結晶粒子間の交換結合により等方性材

料でも残留磁束密度が飽和磁化の6~7割に達する現象（レマネンス・エンハンスメントと呼ばれる）の発見<sup>11)</sup>と後述するナノコンポジット磁石の開発研究がこの方法の工業的価値を更に高める可能性がある。

### 2-3 温間塑性加工法

1985年にLeeらは超急速冷によって作製した微結晶Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bフレークをさらにホットプレスにより圧密化し、バルク体とするする方法、さらにこのバルク体を温間で塑性変形させ、原料フレークではランダムな方位を持っていたNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B化合物相の応力下での方位選択性な結晶粒成長により、異方的テクスチャを賦与することが出来ることを示した<sup>12)</sup>。ここまで来ると「製法加工された人工材料」と呼ぶにふさわしい第2段階の材料と呼べるであろう。この方法はいくつかの日本企業によつても開発研究がなされ、後方押し出しによるラジアル異方性（径方向に結晶軸が配向した異方性）を有するリング形状のNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B磁石<sup>13)</sup>の生産に使われている。

また、塑性変形を加えない等方性のホットプレス・バルク磁石はモーター用途に適した範囲の磁気特性を有しているとされ、工業的に生産されている。ホットプレスの手段としてプラズマ活性化焼結あるいは放電プラズマ焼結といわれるプロセスが提案されており、ネットシェイプのホットプレス磁石の製作例が報告されている<sup>14)</sup>。

### 2-4 鋳造法

鋳造法によって希土類磁石を得る試みは1988年の下田らの鋳造Pr<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B磁石<sup>15)</sup>に始まる。鋳造Pr-Fe-B合金を温間で加工することにより、結晶粒の方位を揃えることが出来ることも示された。この変形は転移のすべりによる塑性変形ではなく、希土類に富む第2相の溶融により生成した液相の中で固相(Pr<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B)が応力により割れながら回転する機構によると考えられている<sup>16)</sup>。

Nd-Fe-BあるいはNd-Fe-C合金でも鋳造磁石は可能である<sup>17,18)</sup>。しかしながら、現在は磁気特性と小型・肉薄形状の場合の均質性の面では焼結磁石が優れており、鋳造磁石は工業化されていない。

### 2-5 メカニカルアロイング法

メカニカルアロイング法は溶解法で不可能な範囲にまで実験対象をひろげることが出来る元素の組み合わせ加工法と位置づけることが出来よう。その意味で、この方法は新材料の探索研究に適した方法の一つである。

Shultzらはメカニカルアロイング法を用いて単体元素の金属粉末を原料として超急速冷材と同様なNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B磁石材料（粉末、等方性および異方性フルデンスバルク磁石）が作製できることを示した<sup>19)</sup>。この方法は希土類金属間化合物の製造手段として工業化されたことはない。製造コストを超急速冷法と競合できるレベルにまで下げるために必要なスケールアップ技術に挑戦した企業ないし

官公立の研究機関が存在しなかったことが最大の原因と思われる。しかし、この方法は超急速冷法と並んで現在も新磁石材料探索の有力な手段として多くのグループにより用いられている。特に、後述するナノコンポジット磁石の合成には優れた方法であり、数多くの研究成果が得られている。

### 2-6 薄膜プロセス

スパッタリングにより薄膜希土類磁石を合成する方法はCadieuらによって早くから報告されている<sup>20)</sup>。雰囲気ガスの濃度と基盤温度との制御によって生成膜に結晶配向を持たせることが出来る。Sm<sub>2</sub>(Co,Fe,Cu,Zr)<sub>17</sub>型化合物は膜面内に、Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B型化合物は基盤面に垂直に磁化容易方向が配向した薄膜磁石が報告されている<sup>21,22)</sup>。希土類・遷移金属間化合物は室温～約400°Cの基盤上ではアモルファスとなる場合が多いため、400°C以上の基盤加熱が必須である。

薄膜磁石の厚さはバルク磁石からの加工が困難な数μm～数十μm程度で、マイクロマシン等への応用が考えられている。膜厚が比較的厚い例として、Kapitanovらはアルゴン・イオン・プラズマ・スパッタ法で作製した30～300μmのNd-Fe-B厚膜磁石を報告している<sup>23)</sup>。Lemkeらはスパッタ法で作製した垂直異方性Nd-Fe-B薄膜にフォトレジストと酸によるエッチングを使ってマイクロパターンを形成し、1μmの厚みで5μm四方の磁石ドットを作製した<sup>24)</sup>。

一次元的な構造変調を加えて製法加工された人工材料としての多層膜永久磁石はSkomskiとCoey<sup>25)</sup>によって交換結合した異方性2相磁石が次世代の1MJ/m<sup>3</sup>超高性能磁石の実現手段として提案されて以来、いくつかのグループで研究が開始されている。これについては第5節で述べる。

## 3. 気相一固相反応を利用した希土類磁石製造の新しいプロセス

### 3-1 気相元素の格子間侵入による磁気特性調整

最近の希土類磁石研究の特に新しい傾向として、気相一固相反応の利用がある。希土類一遷移金属合金は室温付近で水素ガスと反応し、結晶構造を保ったまま水素を吸蔵する事が知られているが、水素あるいは窒素原子を格子内に拡散吸蔵することにより、磁気的性質を調整することが出来る。特に、窒素の場合は鉄に富む希土類一鉄金属間化合物の磁性に劇的な変化を引き起こすことが1990年にCoeyとSunによって示され<sup>26)</sup>、その後の気相侵入型元素による磁気特性調整(Gas-phase interstitial modification; GIM)の研究ブームの引き金となった。GIMに用いられるガスは窒素、窒素一水素混合ガス、アンモニア、アンモニア一水素混合ガス、炭化

水素ガス等である。GIM とその手法で得られた希土類遷移金属化合物に関する総合的な解説は藤井らによりなされている<sup>27)</sup>。

一方、水素の場合は窒素の場合と異なり磁性の劇的な変化こそないが、室温附近で希土類遷移金属化合物から可逆的に吸脱を繰り返すことができるという利点を活かした利用の仕方がある。すなわち、急激な水素吸蔵の際の体積膨張に伴うクラックの生成を利用して原料合金の粉碎を極めて容易にする事ができる。この方法の利用によって希土類焼結磁石の原料微粉末の製造を高能率で行うことができるようになった<sup>28)</sup>。

### 3-2 HDDR プロセス

希土類磁石における水素のもう一つの重要な利用方法は、高温での水素化による不均化反応を利用して結晶粒径をサブミクロンサイズに調整する方法である。この方法は水素化 (Hydrogenation), 不均化 (Disproportionation), 脱水素 (Desorption), 再結合 (Recombination) の頭文字をとって HDDR 法と呼ばれ、1988 年に初めて武下らによって  $Nd_2Fe_{14}B$  合金に適用され、高保磁力という機能性を発現させることができることが示された<sup>29)</sup>。さらに、窒素侵入型化合物磁石 ( $Sm_2Fe_{17}N_x$  あるいは  $Nd(Fe_{1-x}M_x)_12$ ) の結晶粒径の微細化手段としても HDDR プロセスが検討された<sup>30,31)</sup>。

HDDR 法を適用するには対象とする希土類化合物が次の二つの条件を満たすことが必要である。ひとつは結晶粒の粗大化が起こらずしかも希土類のような重い元素が拡散できる  $700^{\circ}\text{C} \sim 900^{\circ}\text{C}$  の温度範囲で化合物に水素

化による不均化が起こることである。もう一つの条件は、この温度範囲で水素圧力を低下させることにより希土類水素化物 ( $RH_2$ ) を分解させたときに生成する活性な希土類金属元素と不均化成生物とが反応して目的とする化合物に再結合することである。

幸い、希土類-鉄系化合物の多くはこの温度範囲において大気圧の水素ガス下で不均化するので、HDDR 法が一つの有効な組織調整手段となっている（図 2）。特に、 $Nd_2Fe_{14}B$  化合物に関しては、Co, Ga, Zr などの添加元素により HDDR 法を適用する前後で結晶方位が保存されるという著しい特徴があり<sup>32)</sup>、そのメカニズムと共に、異方性磁石の製造方法としても注目を集めている。

HDDR プロセスで形成される異方的テクスチャの特徴は  $Nd_2Fe_{14}B$  の c 軸の方位が保存されるということである。富田らは水素化により分解した組織を透過電子顕微鏡により観察し、元の方位に整列した多数の  $Nd_2Fe_{14}B$  微結晶が分解組織中に分散していることを突き止め、脱水素に伴う再結合反応がこれらの微結晶を核にしてスタートするとした<sup>33)</sup>。

### 4. 永久磁石の新しい形態～ボンド磁石

ボンド磁石は磁石粉末を樹脂で結合した複合材料である。磁石粉末の充填比率は体積比で 60~80% であり、同じ磁石物質のフルデンス磁石と比較すると  $(BH)_{\max}$  の値は高々  $1/3$  から  $1/2$  程度である。ボンド磁石の歴史はたいへん古く、むしろ焼結磁石が現れる以前から知られていた。しかしながら、ボンド磁石の生産量が急速な増加を見たのはモーターに多用されているリング磁石など、焼結品からの加工では比較的加工コストがかさむ形状の製品が研削加工などの 2 次加工を必要とせずに成形できる利点が広く認識されてからである。

ボンド磁石の主成分となる磁石材料によって、フェライト系、アルニコ系、希土類系に分類される。また、組み合わせる樹脂の性質により、室温でフレキシブルなものと、リジッドなものとに分けることが出来る（図 3）。例えばフェライト磁石のフレキシブル・ボンド磁石としてゴム磁石が日常生活でなじみが深い。希土類ボンド磁石においても現在はほとんど全ての選択が可能になってきている。

ボンド磁石の成形方法はカレンダーロール、射出、押し出し、圧縮の 4 通りがある。磁石粉末の充填比率、従つて磁気特性はこの順に高くなる。原料比の高い希土類磁石では他の材料との差別化のため、磁気特性が高いことが求められる。

現在、希土類ボンド磁石の原料としては以下の 3 種が実用されている。

- (1) 金属間化合物  $SmCo_5$  を  $2 \sim 3 \mu\text{m}$  に微粉碎したも

#### THE HDDR PROCESS IN $Nd_2Fe_{14}B$

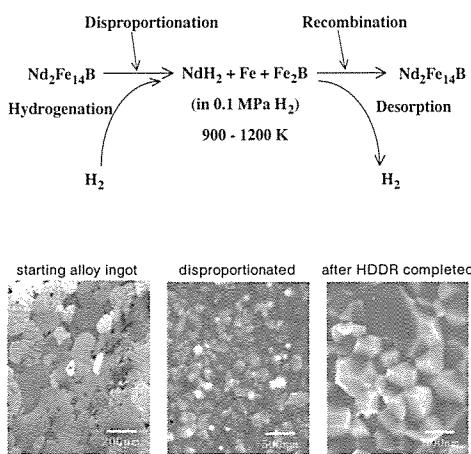


図 2  $Nd_2Fe_{14}B$  合金の HDDR プロセスと金属組織の変化。

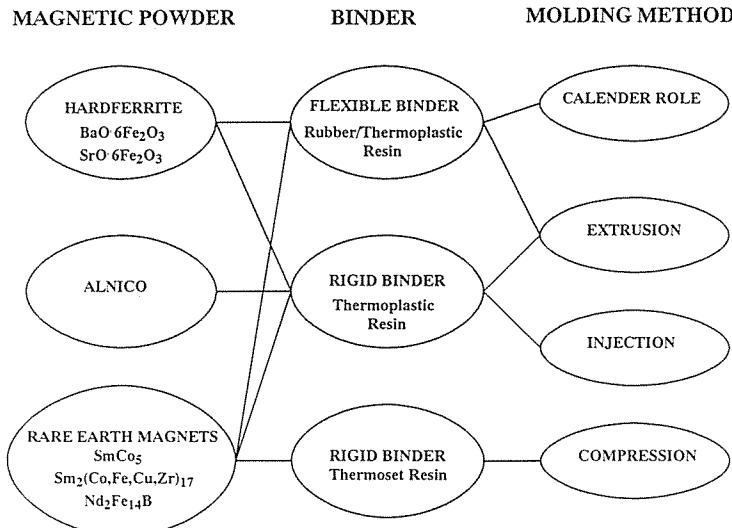


図3 ボンド磁石の構成要素の関連。

- の。
- (2) SmCo<sub>5</sub>とSm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>型金属間化合物の数十nmの整合析出組織を有するSm<sub>2</sub>(Co,Fe,Cu,Zr)<sub>17</sub>磁石合金を数10~数100μmに粉碎したもの。
  - (3) 超急速で製造した40nm程度の結晶粒径を有する厚み数10μmのNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B化合物フレークを数百μmに粉碎したもの。

これらの内、最初の二つはハード磁性相の結晶方位が一つの粉末粒子の中で一つの方向に揃った異方性磁石粉末である。成形時に磁界によって磁石粉末を配向できるため、高い磁気特性を得ることが出来る。

一方、希土類ボンド磁石の中で現在最も使用量が多いのは超急速により作製されるNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>B等方性磁性粉末を使用したボンド磁石である。等方性ボンド磁石が種々の応用分野に浸透してきたの理由の一つは樹脂と磁性粉末を混合してプレス成形するという工程の単純さによる製造コストの安さである。等方性であるため磁化配向の必要がなく設備が簡単で済むうえ、成形サイクルを速くできるメリットは見逃せない。しかも、方位がランダムであるにも係わらず、レマネンスエンハンスマント効果によって、飽和磁化の70%程度の残留磁化が得られる。

レマネンスエンハンスマント効果は方位の異なる磁性粒子間の交換相互作用により、それぞれの粒子の磁化の方向が結晶粒界近傍で共通の方向に僅かに傾いて交換エネルギーを下げようとする結果、方位がランダムな一軸異方性粒子の集合体の全体の磁化方向の残留磁化が、粒子間の相互作用がない場合の0.5J<sub>s</sub>よりも大きくなる効果である<sup>34)</sup>。この現象は結晶粒径が小さく結晶粒界の影

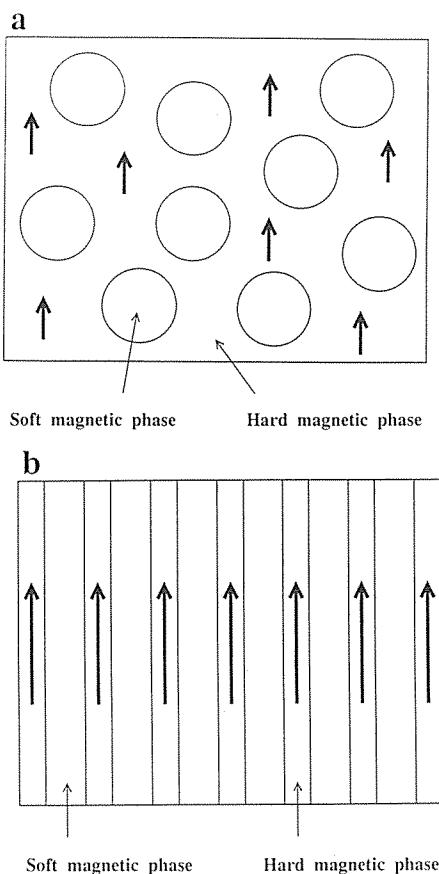
響が大きい場合ほど大きい。しかし、結晶粒径が小さくなりすぎると結晶磁気異方性が平均化されてしまうので保磁力が低下することになり、結晶粒径にはある最適値が存在する。Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bの場合は約10nm~20nmである。金属組織の制御により、等方性磁性粉末でも160kJ/m<sup>3</sup>を越える高特性の材料が得られることが示されている<sup>35)</sup>。

Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bの異方性磁石粉末は温間加工した異方性磁石を微粉碎する方法とHDDRプロセスを適用する方法がある。後者の方が工程が単純なため製造コストが低いと考えられており、しかも成形したボンド磁石の磁気特性も高い。HDDRプロセスによる異方性磁石粉末を使ったボンド磁石は現在実用化が進められている。

## 5. 新らしいハード磁性物質～ナノコンポジット磁石

三元系ほう化物Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bの発見は従来の希土類と遷移金属を組み合わせるという2元系の材料の改良研究から、さらに非金属系元素を組み合わせて従来知られていなかった化合物の探索研究に多くの研究者を駆り立てた。その中からSm<sub>2</sub>Fe<sub>17</sub>N<sub>3</sub>に代表される炭窒化希土類鉄系化合物のような新しいハード磁性材料が見つかった<sup>36)</sup>。さらに、永久磁石の磁化挙動についての理解も飛躍的に進歩し、構造制御したナノコンポジット構造の材料でNd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bを越える可能性を探ろうというアイディアが生まれた<sup>25,37)</sup>。

これまでの永久磁石材料の発展はマグネットラムバイト化合物からSmCo<sub>5</sub>, Sm<sub>2</sub>Co<sub>17</sub>, Nd<sub>2</sub>Fe<sub>14</sub>Bへと次々に前世代の材料を越える磁化を有する化合物が発見されることによって(BH)<sub>max</sub>の壁を破ってきた歴史である。

図4 ナノコンポジット磁石の概念図<sup>25)</sup>.

構造制御したナノコンポジットハード磁性材料はハード磁性相の大きな結晶磁気異方性と $\alpha$ -FeやFe-Co合金の高い磁化(体積当たり)とを組み合わせて、従来のハード磁性相の飽和磁化の限界を越えようとするものである。図4にSkomskiとCoeyが提案したナノコンポジット磁石の組織の概念図(矢印は磁化容易方向)を示す。

表1に代表的なハード磁性相の飽和磁化、キュリー温度、異方性磁界、 $(BH)_{max}$ の限界値( $1/4\mu_0 J_s^2$ )と現実に得られている値を示す。同じ表に現在提案されているいくつかのナノコンポジット磁石の飽和磁化と $(BH)_{max}$ の限界値を示した。ただし、この限界値はハード磁性相の方位が全ての結晶粒にわたって揃っている理想的な場合の値であって、実現されたものではない。

現実的にナノコンポジット磁石を得る方法としてこれまで検討されてきたのは超急速冷法やメカニカルアロイング法などであるが、これらの方法ではハード磁性相の方位を一方向に揃えることができない。その結果、期待通りの高磁化の材料は得られていない。今までに得られた等方性ナノコンポジット磁石の磁気特性については筆者らの解説を参照されたい<sup>38)</sup>。しかし、今までに得られた等方性の材料の研究からソフト磁性相を多量に含むという特質から来る材料独自の性質のいくつかが明らかになった。そのひとつは磁化のリコイルが大きいという特長である。図5にその様子を $Fe_3B/Nd_2Fe_{14}B$ ナノコンポジット永久磁石と $Nd_2Fe_{14}B$ だけからなる従来の超急速冷磁石との比較で示す。ナノコンポジット磁石の

表1 永久磁石材料の可能性と現実

物質系	$T_c$ (K)	$J_s$ (T)	$\mu_0 H_A$ (T)	$(BH)_{max}$ (kJ/m <sup>3</sup> )	
				Theoretical	Real
$SmCo_5$	1000	1.10	28.0	240	183 <sup>a</sup>
$Sm^2(Co, Fe, Cu, Zr)_17$	1200	1.26	3.5	316	270 <sup>b</sup>
$Nd_2Fe_{14}B$	588	1.60	7.0	509	431 <sup>c</sup>
$Sm_2Fe_{17}N_3$	747	1.57	26.0	490	176 <sup>d</sup>
$Fe/Sm_2Fe_{17}N_3$		2.16		880	
$Fe_{65}Co_{35}/Sm_2Fe_{17}N_3$		2.43		1100	
$Fe_3B/Nd_2Fe_{14}B$ (isotropic)		1.6		345	66.1 <sup>e</sup>
$Fe/Nd_2Fe_{14}B$ (isotropic)		1.85		400	93.4 <sup>f</sup>

a) 異方性焼結磁石 (K. S. V. L. Narasimhan, Proc. 5th Int. Workshop on Rare Earth-Cobalt Permanent Magnets and Their Applications, Roanoke, VA, June 1981 (Univ. Dayton, 1981) p. 629))

b) 異方性焼結磁石 (S. Liu and A. E. Ray, IEEE Trans. Magn. 25 (1989) 3785)

c) 異方性焼結磁石 (Y. Kaneko and N. Ishigaki, J. Mater. Engng. Perf. 3 (1994) 228)

d) 異方性ボンド磁石 (K. Machida, H. Izumi, A. Shiomi, M. Iguchi, and G. Adachi, Proc. 14th Int. Workshop on Rare Earth Magnets and Their Applications (World Scientific, 1996) Vol. 1, p. 203)

e) 等方性ボンド磁石 (H. Kanekiyo, M. Uehara, and S. Hirosawa, IEEE Trans. Magn. 29 (1993) 2863)

f) 等方性ボンド磁石 (H. A. Davies, Proc. 8th Int. Symp. Magnetic Anisotropy and Coercivity in Rare Earth-Transition Metal Alloys, Birmingham 1994, (Univ. Birmingham, 1994) p. 465.

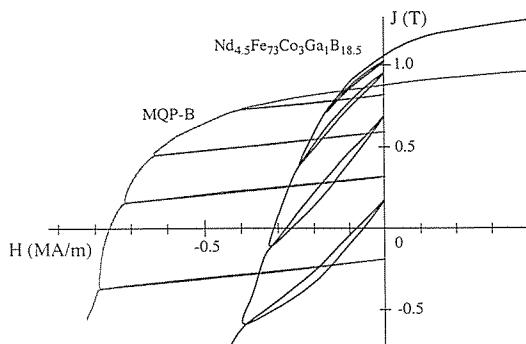


図 5  $\text{Fe}_3\text{B}/\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  系ナノコンポジット磁石と従来の  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$ 「単相」磁石の磁化のリコイルの比較。

磁化のリコイル挙動は、外部減磁界の印加によりソフト磁性相の磁化だけが回転し、ハード磁性相の磁化が不可逆的に反転する前に外部減磁界を減ずるとソフト磁性相の磁化がハード磁性相との交換結合により元の方向に戻る過程に対応する。このような性質の応用の仕方が今後見いだされるであろう。

図 4 のような構造を人工的に作りだそうとする研究が最近ますます盛んになってきている。まだ基礎研究の段階ではあるが、エピタキシーや加熱基板上での方位選択的な結晶成長などの原理を使って異方性のハード磁性多層膜を作製することが試みられている。ナノコンポジット永久磁石はまさに第二第三段階の製法加工された人工材料ということができ、今後の研究の大きな分野になるに違いない。

## 6. 結 観

永久磁石材料開発の現状を材料創生プロセスの観点から概説した。基本となる物質そのものの研究開発については最新の動向を充分に伝えることができたかどうか不安を覚える。引用した文献も片寄っており、全てを網羅することは到底できなかった。材料の研究開発に携わっておられる本誌の読者に、永久磁石材料のように古い歴史を持つ材料でも材料プロセスの面で常に新しい話題があるということを認識して頂ければ幸いである。

## 参 考 文 献

- 1) 宮島英紀：日本応用磁気学会誌, 20, 887-895, (1996).
- 2) J. J. Croat, J. F. Herbst, R. W. Lee, and F. E. Pinkerton: J. Appl. Phys. 55, 2078-2982, (1984).
- 3) M. Sagawa, S. Fujimura, N. Togawa, H. Yamamoto, and Y. Matsuura: J. Appl. Phys. 55, 2083-2087, (1984).
- 4) 佐川真人, 広沢哲：応用物理, 61, 234-240, (1992).
- 5) 佐川真人, 石垣尚幸, 広沢哲：日経サイエンス, 26 (9), 64 (1996).
- 6) M. Sagawa, S. Hirosawa, H. Yamamoto, S. Fujimura, and Y. Matsuura, Jpn. J. Appl. Phys. 26, 785-800, (1987).
- 7) M. Sagawa and H. Nagata, IEEE Trans. Magn. 29, 2747-2751, (1993).
- 8) Y. Kaneko and N. Ishigaki, J. Mater. Engineering and Performance, 3, 228-233, (1994).
- 9) Metal Powder Report 42, 448-450, (1987).
- 10) J.J. Croat, EA-01, 41st Ann. Conf. Magn. Magn. Mater, 12-15 November, 1996, Altanta.
- 11) G.B. Clemente and J.K. Keem, J. Appl. Phys. 64, 5299-5301, (1988).
- 12) R.W. Lee, E.G. Brewer, and N.A. Scaffel: IEEE Trans. Magn. MAG-21, 1958-1963, (1985).
- 13) N. Yoshikawa, H. Yamada, Y. Iwasaki, K. Nagata, and Y. Kasai, Proc. 13th Int. Workshop on Rare Earth Magnets and Their Applications, Ed. C.A.F. Manwaring, D.G.R. Jones, A.J. Williams, and I.R. Harris, (University of Birmingham, 1994), p. 635-644.
- 14) M. Wada and F. Yamashita, IEEE Trans. Magn. 26, 2601-2603, (1990).
- 15) T. Shimoda, K. Akioka, O. Kobayashi, and T. Yamagami: J. Appl. Phys. 64, 5290-5292, (1988).
- 16) Y. Yuri and T. Ohki, 13th Int. Workshop on Rare Earth Magnets and Their Applications, Ed. C. A. F. Manwaring, D. G. R. Jones, A. J. Williams, and I. R. Harris, (University of Birmingham, 1994), p. 645-654.
- 17) 三野修嗣, 中野啓一朗, 日本金属学会秋期大会一般講演概要 (1992. 10), p. 342.
- 18) J. Eisses, D. B. de Mooij, K. H. J. Buschow, and G. Martinek: J. Less-Common Metals, 171, 17-25, (1991).

- 19) L. Schultz, J. Wecker, and E. Hellstein: *J. Appl. Phys.* 61, 3583-3585, (1987).
- 20) F. J. Cadieu, *Thin Films* 16, 145-231 (1992).
- 21) F. J. Cadieu, H. Hegde, and K. Chen, *J. Appl. Phys.* 67, 4969 (1990).
- 22) S. Yamashita, J. Yamasaki, M. Ikeda, and N. Iwabuchi, *J. Appl. Phys.* 70, 662 (1991).
- 23) B.A. Kapitanov, N.V. Kornilov, Ya. L. Linetsky, and V. Yu. Tsvetkov, *J. Magn. Magn. Mater.* 127, 289-297 (1993).
- 24) H. Lemke, T. Lang, T. Goddenhenrich, C. Heiden, *J. Magn. Magn. Mater.* 148, 426-432 (1995).
- 25) R. Skomski and J. M. D. Coey, *Phys. Rev. B* 48, 15812-15816 (1993).
- 26) J. M. D. Coey and H. Sun: *J. Magn. Magn. Mater.* 87, L251, (1990).
- 27) H. Fujii and H. Sun: *Handbook of Magnetic Materials* Vol. 9, Ed. K. H. J. Buschow (Elsevier Science B. V., 1995), p. 303-404.
- 28) P. J. McGuiness, I. R. Harris, E. Rozendal, J. Ormerod, and M. Ward, *J. Mater. Sci.* 21, 4107-4110 (1986).
- 29) 中山亮治, 武下拓夫: 日本金属学会秋期大会概要集, p.419, (1988).
- 30) C. N. Christodoulou and T. Takeshita, *J. Alloys and Compounds* 196, 155-159 (1993).
- 31) 田附匡, 中村元, 杉本諭, 岡田益男, 本間基文, *日本応用磁気学会誌*, 17, 165-170 (1993).
- 32) R. Nakayama and T. Takeshita: *J. Alloys and Compounds*, 193, (1993).
- 33) T. Tomida, P. Choi, Y. Maehara, M. Uehara, H. Tomizawa, and S. Hirosawa, *J. Alloys and Compounds* 242, 129-135 (1996).
- 34) T. Schrefl, J. Fidler, and H. Kronmuller, *Phys. Rev. B* 49, 6100-6110.
- 35) H. A. Davies, J. Liu, and G. Mendoza, *Proc. 9th Int. Symp. Magnetic Anisotropy and Coercivity in Rare Earth Transition Alloys*, Ed. F. P. Missell, V. Villas-Boas, H. R. Rechenberg, and F. J. G. Landgraf (World Scientific Publishing Co., 1996), p. 251.
- 36) 新しい磁石材料の総合的なレビューは K. H. J. Ruschow, *Rep. Prog. Phys.*, 54, 1123-1214, (1991), および文献 27.
- 37) E. F. Kneller and R. Hawig, *IEEE Trans. Magn.* 27, 3588-3600 (1991).
- 38) 広沢哲, 金清裕和, 日本応用磁気学会第 91 回研究会資料, 91-5 (1995).

## 談話室

# 日本の石油産業 —その問題点と将来の課題—

米津栄次郎\*

Petroleum Industry in Japan  
—Points at Issue and Problems in Future—  
by Eijiro YONETSU

## 1. 緒 言

顧みますれば、太平洋戦争後における日本の石油産業は、戦争当時の年間 200 万 kℓ の規模から高度成長期を経て 2 億 5 千万 kℓ の規模にまで発展致しました。戦後の復興期には石炭の傾斜生産を原点とする産業政策が功を奏しましたが、生産流通コストと消費利便性からエネルギー革命と呼ばれて、エネルギーの主流は石炭から石油へ移行致しました。

この発展を支えたのが外貨管理体制及び 1962 年に制定されました石油業法であり、原油の輸入及び精製から販売に至るまで経営全般にわたって国家の強力な行政指導の下におかれています。このことは、石油の安定供給確保という面で多大の貢献をしましたが反面、石油経営の自主的な判断を喪失させムラ社会的な業界構造を生む事になります。

## 2. 規制緩和

1973 年第 4 次中東戦争勃発を契機として原油価格は 4 倍に高騰第一次石油ショックが発生しました。石油依存度の高い日本は戦後最大の狂乱物価に陥り、民生用灯油を据え置く一方で当時贅沢品扱いされた揮発油大幅値上げを認める政策が取られました。この、揮発油独歩高の価格体系は海外から安い揮発油を売り込む圧力になつたため、消費地精製主義の崩壊を恐れて 1986 年特定石油製品輸入暫定措置法（所謂特石法）が施行され、無条件で安い揮発油等を輸入する事が出来なくなりました。

しかしながら 1980 年代の需要低迷と世界第 2 位の經

済大国の位置づけから、エネルギー政策は安定供給を主目的とする体系から供給効率性をも重視する体系へと変更され、規制緩和というアクションプログラムが実行されました。即ち、①設備許可運用の弾力化②揮発油生産割当の撤廃③サービスステーション（ガソリンスタンド）建設規制の撤廃④原油処理枠の撤廃であります。但し一時的には需要の回復・湾岸戦争等により事業環境は改善しその効果は減殺されました。そして第 2 次の規制緩和策として、1996 年 3 月特石法は廃止されました。

## 3. 問題点

日本国内の揮発油市況は国際価格に比較して大幅高となっているので、特石法廃止後の製品輸入に関しては、揮発油に集中する可能性が高くなっています。日本の揮発油価格の国際化とは揮発油販売価格が安くなる傾向を意味します。石油製品は連産品であるため、石油精製という観点では他の油種にコストを転嫁する必要に迫られます。他油種の値上げも容易ではありませんから、何れにしても揮発油価格の低落は、石油精製・石油元売・石油流通を含めた石油業界全体の収益環境をとりわけ悪化させるのは必須であります。

## 4. 将来の課題

## (1) 新価格体系の浸透

現在、揮発油税 53 円 80 銭・軽油引取税 32 円 10 銭が課せられていますが、税抜きの特約店仕切価格の油種別格差を無くし燃料油全てにつき 34 円前後にするというのが、新価格体系であります。元売会社主導の可否・仕切公表の是非・リペートの根絶・内々価格差の是正・中間三品（灯油・軽油・A 重油）の値上げという指摘され

た課題を克服して新体系を如何に浸透させるかが重要であると思われます。

(2) セルフサービスステーション(ガソリンスタンド)  
の導入

ノンサービスで給油も顧客が行うのが究極のセルフであり、現在それは認可されませんが、何れ近い時期にガイドラインが示される予定となっています。顧客のニーズ・住宅の密集地では安全面の更なる配慮・揮発油市況軟化の促進・大規模経営の可能性など、様々な課題がありますが、コストダウンの決め手という観点からは不可避と思われます。

(3) 元売会社以外の製品輸入及び異業種の小売分野への参入

一定の品質と備蓄義務を満たせば、総合商社・大手特約店が揮発油等の製品輸入を行う事が可能となりました。スーパー・マーケットやコンビニがサービスステーションを併設し戦略的な低価格営業を行う例が出始めました。新規参入の輸入業者も販売物流面で完全に元売に依存しないのは困難であったり、輸入総数量が僅少であったり致します。小売段階でもフランスの事例に見られる様に元売と関係無く大きなシェアを獲得するに

は、様々な課題があります。只、石油業界が従来の業者の枠組みの中で処理出来る環境とは明らかに異なる事態になっているのも事実であります。

## 5. 結語

元売会社・特約店の従来の様な営業的機能は相対的に意義を失う事になり、非効率サービスステーションの整理統合、製品流通網のリストラが進展するのは必定であります。規制緩和の進展は事業運営の自主性が増大する反面、経営全般に亘る横並びの経営から、「普通の商売」としての責任が要求される事になります。消費者ニーズの視点に立ちつつ限り無きコストダウンを指向する事であります。電力用石炭の増大はありますが、石油は価格・使い易さ・安全性の面で他のエネルギー源を凌駕しており、依然として日本の石油産業は、エネルギーの重要な一翼を担う基幹産業として、21世紀も、素晴らしい発展を遂げるものと信じています。

最後に、世界的には未だ丸腰の平和は保たれていない事及び日本には石油が産出しないと言っても良いこと等から、安定供給への配慮はなお欠かせない事を今一度想起しておきたいと思います。

## 談話室

## 最近の研究

## My Research Interests

David R. Johnson\*

I first came to Japan about two years ago and joined professor Yamaguchi's laboratory as a JSPS postdoctoral fellow. I am originally from the USA and grew up and attended school for most part in the state of Tennessee. Working in a culture different from my own has been quite interesting and fun. The difference in language has sometimes proved frustrating but is to be expected and everyone has been very kind in this regard.

My research interests center around processing, microstructure, and the resulting mechanical properties of intermetallic alloys. Prior to coming to Kyoto, my doctoral research with professor Ben Oliver at the University of Tennessee consisted of processing and measuring the mechanical properties NiAl-based in-situ composites. The objective was to increase both the fracture toughness and elevated temperature strength by creating composite materials via directional solidification. This work consisted of first developing containerless processing procedures for producing high purity ingots. High quality, large size ingots were produced from known systems (NiAl-Cr for example) and the microstructural characteristics, fracture toughness and

elevated temperature strength were all measured. After this initial investigation, a number of new systems consisting of ternary eutectics between NiAl, a Laves phase, and a refractory metal phase were identified from examining exploratory arc-melted ingots and the process was repeated.

My research at Kyoto University is concerned with microstructural control by directional solidification of the fully lamellar gamma+alpha<sub>2</sub> TiAl-based alloys. We feel that by aligning the lamellar microstructure parallel to the ingot's axis, the combination of strength and toughness can be optimized. This is a challenging problem since the lamellar microstructure is formed from the solid state and depends greatly upon the cooling and heating rates. The two peritectic reactions near the equal atomic composition in the Ti-Al system only complicate matters further. However, we have recently aligned the lamellar microstructure in TiAl+Si alloys by directional solidification techniques. This work consisted of characterizing the basic shape of the Ti-Al-Si liquidus surface near the gamma TiAl region. With this information, a small composition range was identified where the microstructure could be aligned using a seed material. We are now extending this work into other TiAl based ternary systems.

---

### 新しい金属性 LB 膜の開発における材料設計 小笠原一楨\*

Materials Design in the Development  
of a New Metallic LB Film  
by Kazuyoshi Ogasawara

私は 96 年 5 月 31 日まで京大理学部物理学第一教室 固体物理学研究室の博士課程の学生でしたが、6 月 1 日付けて京大工学部材料工学教室材料設計研究室に助手として就任する事が出来ました。院生時代は有機超薄膜の構造及び電子物性に関する実験的研究を行っていましたが、現在は電子状態計算をもとにして材料の性質を理論

的に理解し、未知の材料の性質を予測するという、材料設計の研究に取り組んでいます。一見、全く異なる分野のようですが、その接点となつたのは院生時代に私が開発した新しい金属性 LB 膜<sup>1)</sup>だったと考えられますので、そのことについて書いてみたいと思います。

LB 膜とは図 1 に示すように、水面上に形成された単分子膜を基板に移し取って作成する有機超薄膜のことです。製膜に用いる分子は水面上で安定な両親媒性分子（親水基と疎水基の両方を持つ分子）でなければなりません。現在、有機超伝導体などの機能性分子にアルキル基などを附加して両親媒性を持たせ、機能性 LB 膜を作

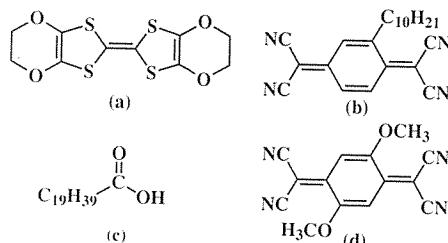
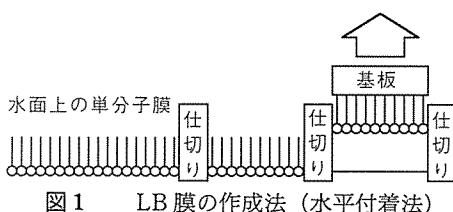


図2 (a)BO, (b)C<sub>10</sub>TCNQ, (c)アラキン酸及び(d)(MeO)<sub>2</sub>TCNQの構造式

成する研究が盛んに行われています。例えば、BO及びC<sub>10</sub>TCNQ(図2)から成る電荷移動錯体をアラキン酸(図2)と混合して作成したLB膜は、初めて金属的な電気伝導度の温度依存性を示した安定なLB膜として注目されています。私の博士課程での研究テーマはこのLB膜の物性を調べることでしたが、研究を通じて本来金属的な錯体の70%以上が、LB膜中では乱れのために半導体的な振る舞いをしていることを知り、適切な分子設計を行ってこの乱れを制御し、より金属的なLB膜を自分で開発してみたいと考えるようになりました。

まず、BO分子とTCNQ分子の特徴を理解するためにHückel法を用いた分子軌道計算を行ったところ、BOの最高被占軌道は分子の中心部に集中し、TCNQの最低空軌道は分子の両端に集中している事が分かりました。BOとTCNQが電荷移動錯体を形成すると、これらの軌道は電荷の分布を表わすことになるので、端に電荷の集中しているTCNQは分極した水分子と結合しやすく、親水性になると考えられます。これに対して、BOは電荷が分子の中心部に集中しており、更に両端には疎水性のエチレン基が存在するので、疎水性であると考えら

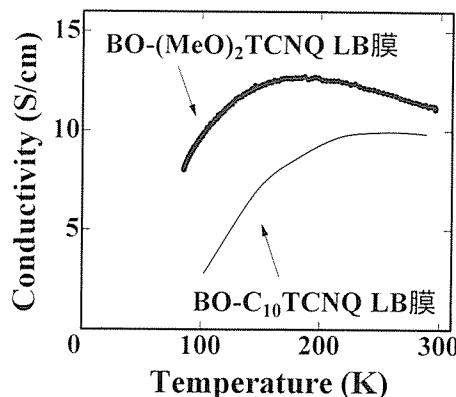


図3 BO-(MeO)<sub>2</sub>TCNQ LB膜及びBO-C<sub>10</sub>TCNQ LB膜の電気伝導度

れます。また、BOは2次元層を形成する凝集能力が強いので、BOとTCNQの錯体は水面上で疎水面と親水面に挟まれた両親媒性の層を形成すると考えられます。

以上の考察からLB膜形成の為に必要と考えられたC<sub>10</sub>TCNQのアルキル基は重要でなく、むしろこれが乱れの原因になっていると考えて、BOと金属的な電荷移動錯体を形成する別のTCNQ誘導体を探したところ、BOと(MeO)<sub>2</sub>TCNQ(図2)の錯体をアラキン酸と混合することにより、安定な金属LB膜が形成されることを発見しました。このLB膜では図3に示されるように、低温で増加するという金属的な電気伝導度の温度依存性はBO-C<sub>10</sub>TCNQ LB膜の場合(250 K)に比べてより低温(180 K)まで伸びており、予想通り金属的な振る舞いがより明確になっています。このLB膜の開発を通じて材料設計というものに深く興味を抱くようになり、現在、より厳密な電子状態計算を駆使しながら材料設計の研究に専念できる機会に恵まれたことを、とても嬉しく思っています。

## References

- 1) K. Ogasawara, T. Ishiguro, S. Horiuchi, H. Yamochi and G. Saito, *Jpn. J. Appl. Phys.*, 35 (1996) L571.

## ULSI デバイスに用いられる Cu 配線の バリアメタルに関する研究

森 英嗣\*

Diffusion barrier properties between Si and Cu  
by Hidetsugu Mori

### はじめに

LSI デバイスの微細化および高性能化にともない、2010 年代の ULSI デバイスの配線材には  $0.1 \mu\text{m}$  オーダーの配線幅が要求されている<sup>1)</sup>。デバイスの配線材には、従来より Al 合金が使用されている。しかし、デザインルールが  $0.1 \mu\text{m}$  オーダーの場合、Al 配線は要求限界を超える、デバイスの性能を劣化させる要因となる<sup>2)</sup>。この原因として Al の電気抵抗、ストレスマイグレーションおよびエレクトロマイグレーションが挙げられる。そこで、現在では上記の要求を満足する配線材として Cu が着目されている<sup>1-3)</sup>。Cu は、Al に比較して低い抵抗率を有するため、配線遅延の減少に寄与し、ULSI デバイスにおける配線材として期待されている<sup>3)</sup>。しかしながら、配線材として Cu を用いた場合には、Cu 原子が Si 基板または  $\text{SiO}_2$  層に拡散するため、Cu の拡散を防止する必要がある。この課題は、Cu 配線と Si 基板または  $\text{SiO}_2$  層との間にバリアを形成させることで解決できる。Al 配線が ULSI デバイスの要求限界を越えた現在、Cu 配線材およびバリア材の早急な研究規模の拡大が迫られている。

本稿では、Cu の拡散を防止するバリア材の最近の研究について述べる。

### バリア材の作製および評価方法

Cu 拡散および Si に対するバリア材の作製には、スパッタリング法あるいは反応性スパッタリング法を用いる。このときの真空度は  $\sim 10^{-8} \text{--} 10^{-6}$  Torr である。スパッタリング法を用いて作製されたバリア材の構造は、Cu、バリアメタルおよび Si 基板の 3 層からなり、Cu/バリア材/Si で表現できる。作製したバリア材の試料に対しては、真空中または  $\text{N}_2$  雰囲気中で熱処理を行い、Cu 原子の拡散の温度依存性を評価する。さらに、電気抵抗測定、X 線回折分析、透過型電子顕微鏡を用いた Cu/バリア材/Si 構造の断面観察およびイオンビーム分析装置（ラザフォード後方散乱法）を用いた各元素の拡散挙動の分析を行い詳細に評価する。

### 最近のバリア材に関する研究

Cu 配線に用いられるバリア材の初期における研究では、 $\text{W}^4)$ 、 $\text{TaN}^5)$ 、 $\text{Ti}^6)$  の単体金属が用いられた。これらのバリア材は、膜厚が  $20 \sim 220 \text{ nm}$  のとき、 $400 \sim 500^\circ\text{C}$

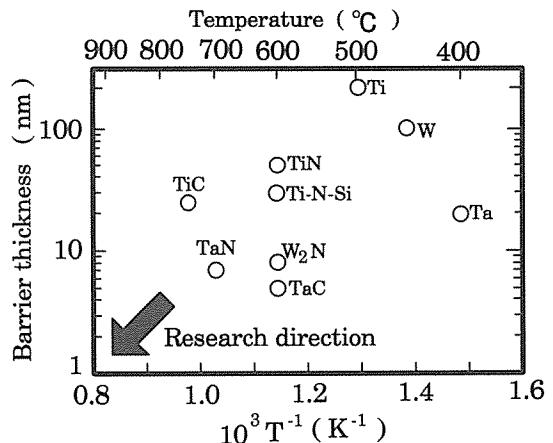


Figure 1. Plot of barrier thicknesses versus stable temperatures for Cu/barrier/Si structures.

の温度に対して  $5 \sim 40 \text{ min}$  の熱安定性および耐 Cu 拡散性を示した<sup>4)-6)</sup>。その後、これらの金属に第 2 成分として N を含有させたバリア材が開発された。例えば、TiN が挙げられる<sup>7)</sup>。TiN は、融点が  $2949^\circ\text{C}$  であり Ti（融点： $1675^\circ\text{C}$ ）に比較して高く<sup>8)</sup>、また酸化物（Ti-O）に比較して結合力も強い<sup>9)</sup>。研究の結果、TiN（50nm）バリア材は、 $600^\circ\text{C}$ で  $60 \text{ min}$  の熱安定性および耐 Cu 拡散性を示した。

最近では、反応性スパッタリング法を用いて TiN に Si を含有させた 3 元系の Ti-N-Si バリア材が開発されている<sup>10)</sup>。Ti-N-Si は、 $600^\circ\text{C}$ 、 $30 \text{ min}$  で熱安定性および耐 Cu 拡散性を示し、Ti および TiN に比較してバリア性が向上した。この時のバリアはアモルファス状態であった。このアモルファスバリア（30nm）は、界面に酸化膜が不要であり、密着性に優れているため、Cu 配線に用いる有望な材料である。しかしながら、これらのバリア材の厚さは、 $30 \sim 200 \text{ nm}$  であり、ULSI デバイスとして実用化するには不向きである<sup>11)</sup>。加えて、デバイスの微細化にともないダマシンおよびコンタクトホール内における配線材の使用の頻度が増すため、バリア材には  $20 \text{ nm}$  以下の膜厚が要求される<sup>11)</sup>。

本マイクロ材料学研究室でも、Cu 配線に用いられるバリア材の研究を行っており、従来のバリア材に比較してさらに薄膜化させた  $10 \text{ nm}$  以下のバリア材を開発してきた。その結果、 $\text{W}_2\text{N}$ （8nm）<sup>11)</sup> および  $\text{TaN}$ （7nm）<sup>12)</sup> を作製でき、 $600^\circ\text{C}$ で  $30 \text{ min}$  および  $700^\circ\text{C}$ で  $30 \text{ min}$  の熱安定性と耐 Cu 拡散性をそれぞれ見出すことができた。

さらに、本研究室ではカーバイドメタルにも着目した。一般に、カーバイドメタルは  $1800 \sim 3984^\circ\text{C}$  の融点を示す<sup>8)</sup>。特に、 $\text{TaC}$  や  $\text{TiC}$  などの融点はそれぞれ  $3984^\circ\text{C}$  および  $3067^\circ\text{C}$  あり<sup>8)</sup>、 $\text{TaN}$  ( $3093^\circ\text{C}$ )、 $\text{TiN}$  ( $2940^\circ\text{C}$ ) に比較して高い。この高融点の特長を生かせ

ば20nm以下の薄膜でも熱安定性および耐Cu拡散性を示すバリアメタルの作製が期待できる。そこで、カーバイドバリアメタルの作製を試みたところ、反応性スパッタリング法(流入ガス: Ar+CH<sub>4</sub>, ターゲット: Ta, Ti)を用いてTiC<sup>13)</sup>およびTaC<sup>14)</sup>バリア材を開発することができた。とくに、5nmのTaCバリア材では600°Cで30minの耐熱性と耐Cu拡散性を得ることができた。

図1に、これまで検討されてきたバリア材の膜厚と耐Cu拡散温度の関係を示す。主に、30~200nmの膜厚を持つバリア材に対し、400~750°Cの間で耐熱性および耐Cu拡散性が明らかにされている。他方、本研究室では薄膜化および耐熱性に着目して検討したところ、5~25nmのバリア材に対し600~760°Cの間で耐Cu拡散性を見い出すことができた。今後は、0.1μmオーダーの配線幅を持つCu配線の開発に念頭を起き、図1の矢印で示したように5nm以下のバリア材の実現が要求される。さらに、これらのバリア材が実用化されるには、エッジカバレッジおよび配線材のエレクトロマイグレーションの検討も必要である。

### 参考文献

- 1) 柴田英毅:電子情報通信学会論文誌, C-II Vol. J-78-C-II No.5 165-176 (1995).
- 2) 阿部一英, 原田祐介, 橋本圭市, 鉄田 博:電子情報通信学会論文誌, C-II Vol. J-78-C-II No. 5 311-318 (1995).
- 3) 五十嵐泰史, 山野辺智美, 伊藤敏雄:LSI配線における原子輸送・応力問題第2回研究会予稿集, 17-16 (1995).
- 4) L.C. Lane, T.C. Nason, G.-R. Yang, T.-M. Lu, and H. Bakhru, *J. Appl. Phys.* **69**, 6719 (1991).
- 5) N.A. Bojarczuk, L.A. Clevenger, K. Holloway, J.M.E. Harper, C. Cabral, R.G. Schad, and L. Stolt, in *Electronic Packaging Materials Science V*, Mater. Res. Soc. Symp. Proc., Vol. 203, edited by E.D. Lillie, P.S. Ho, R. Jaccodine and K. Jackson (Materials Research Society, Pittsburgh, Pennsylvania, 1991), p. 383.
- 6) N. Cheung, H. von Seefeld, and M.-A. Nicolet, in *Proceedings of the Symposium on Thin Film Interfaces and Interactions*, edited by J. E.E. Baglin and J.M. Poate (The Electrochemical Society, Princeton, NJ, 1980), p. 323.
- 7) J.O. Olowolafe, J. Li, and J.W. Mayer, *Appl. Phys. Lett.* **58**, 469 (1991).
- 8) L.E. Toth, *Transition Metal Carbides and Nitrides*, Academic Press, New York and London (1971) p. 1-11.
- 9) 作花清夫:オキシナイトライドガラス, 内田老鶴画, 1-54, (1989).
- 10) 飯島 匠, 下岡義明, 須黒恭一:電子情報通信学会論文誌, C-II Vol. J-78-C-II No. 5 266-272 (1995).
- 11) M. Uekubo, T. Oku, K. Nii, M. Murakami, K. Takahiro, S. Yamaguchi, T. Nakano, and T. Ohta, *Thin Solid Films* (1996) (in press).
- 12) T. Oku, E. Kawakami, M. Uekubo, K. Takahiro, S. Yamaguchi, and M. Murakami, *Applied Surface Science*, **99**, 265-272, (1996).
- 13) 岡田 毅:平成7年度京都大学工学部金属加工学科特別研究報告書, 14-30, (1996).
- 14) J. Imahori, T. Oku, and M. Murakami, *Thin Solid Films* (submitted).

### 材料工学教室に移って

林 好一\*

In the department of the materials science and engineering  
by Kouichi Hayashi

私は高校時代までを南国鹿児島に住み、大学4年間を九州大学理学部物理学科で学び、大学院修士課程では同大学院工学研究科応用物理学教室に籍を置いていました。学部時代はまじめに勉強せずとも比較的楽に単位がそろい、しかも卒論等もなかったため、修士時代にその反動で大変苦労した記憶があります。修士課程に於いて、次世代電子デバイス材料として注目され初めていた有機超薄膜の構造評価に取り組み、從来解明が困難とさ

れた有機超薄膜における面内構造を新しい全反射X線回折装置により明らかにしました。

その後、博士後期課程への進学時に、当時の私の担当教官が京都大学工学研究科電子工学教室に配置替えとなつたため、自らも籍を京都大学に移しました。ここで研究テーマとして、従来の有機超薄膜材料の構造に関するを行う予定でしたが、やはり電子工学教室に所属しているということで、電子物性評価という側面からのアプローチが必要であるということを教官により言い渡されました。そこで、実際の機能性有機超薄膜の開発を念頭に置いて、新規に開発したエネルギー分散型X線反射率測定法、蒸着時“その場”導電率測定装置を用いて、光電子機能性を有する有機分子の結晶成長の評価、

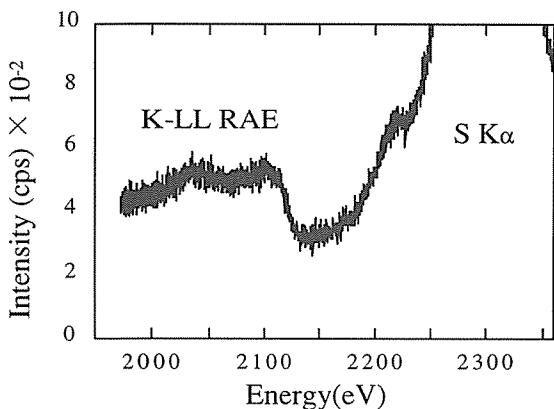


図1 硫黄(S<sub>8</sub>)からのK $\alpha$ 線の低エネルギーサテライト。K-LL RAEサテライトのスペクトル形状は、Sの化学結合状態を反映している。

電子物性の評価により、構造一物性間の相関性に関する研究を行い、今年の3月に学位を頂きました。このように私は当教室の助手職に任官されるまでに、所属を転々とし住処も北へ北へと異動してきました。また、自分の専門が基礎物性的なものから、より材料工学的な物へと変化してきており、当教室に来たのもある必然性があつたのでは、と思っています。

私の研究は上に述べたように、有機超薄膜の構造、物性評価に関するものが主体でありましたが、その評価手法に一貫としてX線の物質界面に対する全反射現象を利用し、超薄膜材料の評価に対し威力を発揮する“全反射X線分析法”を用いてきました。そして、その全反射X線分析法に新たなアイデアを盛り込み、改善してきたことも自分の研究の大きな一部を占めていると思います。このような研究を行っていたことから、あるきっかけで、昨年の4月に当教室の河合先生のなされている全反射X線光電子分光の実験のお手伝いを高エネルギー研でさせて頂くこととなりました。そこで、有機超薄膜、無機多層膜を試料として、得られた光電子強度のX線入射角依存性を調べ、各元素の深さ方向の分布、及び超格

子構造からのプラグ反射の影響を評価しました。当時は電子工学教室に所属する大学院生でしたが、この実験がある意味で、初めて本材料工学教室で行った仕事と言えます。ある意味では、これが縁で本教室の助手に採用させて頂くことになったと思っています。今後も、この全反射X線光電子分光法の様々な可能性を摸索し、完成に近づけることが課題であると認識しています。

実際に助手になってからの仕事として、蛍光X線の詳細な分析による化学状態の分析があります。従来の蛍光X線分析というと、単に組成評価というイメージがあったのですが、そのスペクトルを詳細に調べることにより、電子状態に関する様々な情報が得られることが分かりました。そこで、まず手始めに硫黄(S<sub>8</sub>)の蛍光X線、特に放射的オージェ効果によって生じるサテライトを島津の新型蛍光X線装置(XRF-1700/1500)を用いての測定をしました。(図1)このサテライトの形状はSの化学状態によって敏感に変化するため、種々のS化合物に対するスペクトルの変化を調べています。後には高分解能2結晶X線装置を用いて、そして詳細にスペクトル形状を分析することにより、DV-X $\alpha$ 法に分子軌道計算を用いて化合物の電子状態の詳しい解析を行う予定です。

次に高エネルギー研の放射光実験施設で行う実験として、今年の11月に絶縁体の光電子分光測定を行います。放射光を用いた光電子分光実験の場合、絶縁体であると試料の帯電による光電子ピークのシフト、ブロードリングが測定を困難にします。これらを克服するために、熱電子を放出するフラッドガンと金属メッシュを用い、帯電を中和させる方法の確立を目指し、その手法の有用性を検討します。また、来年度の研究計画として、蛍光X線自体の干渉現象を利用した蛍光X線ホログラフィーの実験を行う予定であります。この手法は、最近、個体結晶の立体構造が分かる手法として注目されています。現在、来年度の高エネルギー研での実験に向けて、準備を進めているところです。

### 希土類の気相分離プロセスについて

邑瀬 邦明\*

Vapor Phase Separation of Rare Earth Elements  
by Kuniaki Murase

今春、大阪大学大学院工学研究科博士後期課程を修了し、引き続き日本学術振興会特別研究員として研究に従事した後、平成8年7月付けて表面処理工学講座(栗倉研究室)の助手に就任いたしました。大阪大学では応用化学を専攻し、足立吟也教授の御指導のもと、主に希土

類の新しい分離法の開発に関する研究に携っておりました。このたびは伝統ある水曜会誌に寄稿の機会を設けて頂きありがとうございます。以下に、簡単ではありますが、その研究について紹介させて頂きます。

磁性材料や発光材料、水素吸蔵材料など非常に多彩な分野において、希土類元素を構成成分とする機能性材料の開発研究が進展を見せており、しかしながら、希土類諸元素は化学的な性質が互いに類似し、製練過程において相互に分離しにくいという難点をもち、その豊富な資源(可採年数1200年といわれている)の割には高価とい

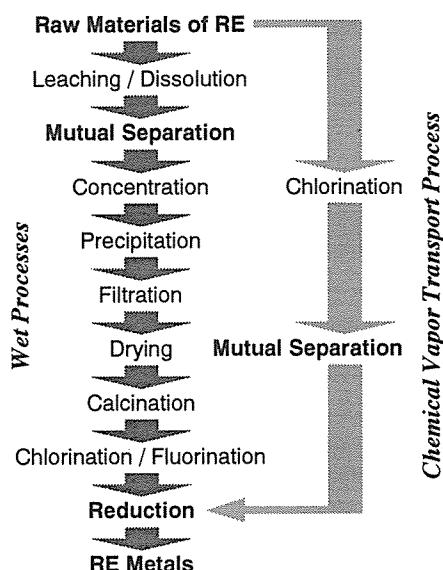


Fig. 1 Comparison of chemical vapor transport process with wet processes for separation of rare earth elements

える。

希土類元素は Sc, Y, および La から Lu の 17 元素の総称であるが、このうち Sc および自然界に存在しない Pm を除く 15 元素はモナサイト (monazite) やバストネサイト (bastnaesite) などの鉱石として同時に産出される<sup>1)</sup>。相互分離プロセスとして、現在では主に溶媒抽出法が工業的に採用され、技術的には十分確立されている。しかし、このような湿式処理を伴う分離プロセスでは、当然のことながら原料を鉱酸などまず溶液化する必要があり、また、分離操作の後にも固体に戻すため、溶液の濃縮、沈殿剤の添加、沈殿の濾取・乾燥・焼成といった数多くのステップが付随している（図 1）。特に、希土類イオンは水溶液から電解により還元できないため、金属希土を得るには、まず固体の酸化物とした後にハロゲン化し、溶融塩電解を行わねばならず、プロセスはさらに複雑となっている。より簡便なプロセスが求められるわけであるが、湿式分離法であるかぎり、この煩雑さは免れえないだろう。したがって、希土類を気相を経由して分離精製することが可能となれば、より安価な供給が実現できると考えられる。

さて、多くの金属ハロゲン化物が、揮発性の高い塩化アルミニウムや塩化アルカリなどを錯形成剤とし、気相錯体 (vapor complex) と呼ばれる一連のハロゲン架橋化合物を形成することは 1960 年代より明らかとなっていた<sup>2)</sup>。気相錯体の形成により、金属ハロゲン化物の気相中の濃度を 500–600K といった比較的「低い」温度においても、見かけ上、高く保つことができる。とりわけ希土類塩化物  $\text{RCl}_3$  は、高温でも揮発性に乏しく、いわゆる

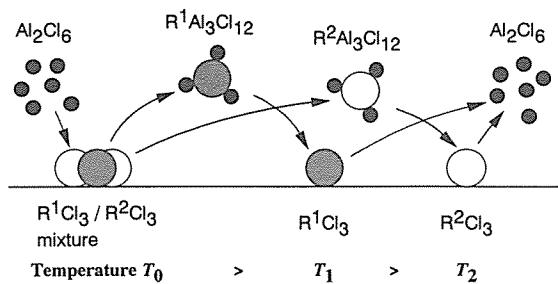
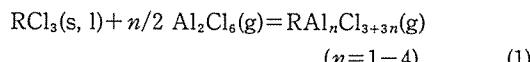


Fig. 2 Schematic representation of mutual separation of mixed rare earth chloride,  $\text{R}^1\text{Cl}_3$ – $\text{R}^2\text{Cl}_3$ , with chemical transport mediated by vapor complexes  $\text{RAl}_3\text{Cl}_{12}$ .

塩素化製錬においても不揮発性残渣として得られる化合物であるが、気相錯体生成



により、容易に気相中に取り込むことが可能となる。本研究では、これら気相錯体を輸送媒体とする希土類元素の新規な気相分離プロセス（化学気相輸送法）の可能性について多角的に検討を行った。

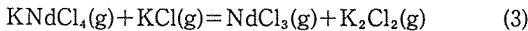
研究ではまず、La から Lu に至る各塩化希土について、 $\text{AlCl}_3$  との気相錯体の安定度の違いを気相輸送量をもとに評価した。その結果 1200K 付近で 2 倍が安定となる  $\text{EuCl}_3$  を除き、原子番号の大きな、すなわちイオン半径の小さな希土ほど錯安定度が増加することを見出した<sup>3)</sup>。そこで、適当な温度勾配を設定した流通式反応装置を使用すれば、この安定度の差を利用し、気相錯体の分解反応を選択的に行い（図 2）、 $\text{PrCl}_3$ – $\text{ErCl}_3$ 、 $\text{PrCl}_3$ – $\text{SmCl}_3$ 、 $\text{PrCl}_3$ – $\text{GdCl}_3$ – $\text{ErCl}_3$  系などのモデル混合物の乾式相互分離が可能との知見を得た<sup>3)</sup>。さらに、 $\text{PrCl}_3$ – $\text{NdCl}_3$  系などの分離が極めて困難な隣接元素の混合物においても、 $\text{KCl}$  系気相錯体を分離媒体として用いることで、湿式法と同等の高い分離効率が得られることを明らかにした<sup>4)</sup>。 $\text{PrCl}_3$ – $\text{NdCl}_3$  二成分系では、輸送現象を化学工学的にシミュレートし、反応条件と分離係数の相関関係を解析した<sup>5)</sup>。また、 $\text{K}_2\text{CO}_3$  を錯形成剤  $\text{KCl}$  の前駆体として使用することで、希土類精鉱あるいは粗酸化希土を直接原料とする輸送反応も実現した<sup>6)</sup>。

このように、気相錯体を用いることで希土類の乾式分離が達成されたわけであるが、さらに、この手法を鉱石の製錬のみならず廃棄物からのレアメタル回収プロセスにも適用した。金属間化合物の研磨屑からの回収においては、 $\text{Sm}_2\text{Co}_{17}$  型や  $\text{Nd}_2\text{Fe}_{14}\text{B}$  型磁性材料スラッジあるいは  $\text{LaNi}_5$  系水素吸蔵合金スクラップから一回の輸送操作で 99% 以上の純度の  $\text{LuCl}_3$ 、 $\text{CoCl}_2$ 、 $\text{NiCl}_2$  を回収

した<sup>7)</sup>。また、重質油の燃焼残渣からの金属(V, Ni, Mg)回収に対しても、適切な分離のフローシートを与えた<sup>8)</sup>。

一方、分離媒体として重要な役割をもつ気相錯体そのものに関し、その蒸気圧や構造を調べた。

$\text{NdCl}_3\text{-KCl}$ 溶融塩から発生する  $\text{KNdCl}_4$ ,  $\text{KCl}$ ,  $\text{K}_2\text{Cl}_2$ ,  $\text{NdCl}_3$  の各気相化学種の蒸気圧は高温質量スペクトル法を用い、明らかとした。ここでは、気相平衡反応



のエンタルピー変化から、 $\text{KNdCl}_4$  気相錯体が 2 つの末端塩素と 2 つの架橋塩素を有する  $C_{2v}$  構造であることを示した<sup>9)</sup>。

さらに高温ラマンスペクトル法により、 $\text{RCl}_3\text{-AlCl}_3$  ( $\text{R}=\text{Nd, Gd}$ ) 系溶融塩、アモルファスおよび結晶性固体の構造を解析した<sup>10)</sup>。局所的にはこれらの構造は互いに類似しており、 $\text{Nd}^{3+}$  と  $\text{Gd}^{3+}$  はそれぞれ 9 および 8 配位と考えられる。気相錯体の中心金属元素の配位数は、対応する溶融塩での配位数と等しいことから、気相錯体  $\text{NdAl}_3\text{Cl}_{12}$  および  $\text{GdAl}_3\text{Cl}_{12}$  は、 $\text{Ln}^{3+}$  イオンに 3 つの  $\text{AlCl}_4^-$  ユニットがそれぞれ 9 個および 8 個の  $\text{Cl}$  で配位した構造であると推定した。

以上のように本研究では、希土類を気相で分離するといった従来にない全く新しい手法の開発を目的とした。本法は、前述のようにただ簡便あるだけではなく、分離希土が塩化物として得られ、これを直接、金属希土製造の原料ができる利点(図 1)も兼ね備えた優れた手法と考えられる。

## 文 献

- 1) C. K. Gupta and N. Krishnamurthy, Int. Mater. Rev., 37, 197 (1992).

- 2) For example: K. Hilpert, Structure and Bonding, 73, 97 (1990); G. N. Papatheodorou, Current Topics in Materials Science, 10, 249 (1982).
- 3) a) K. Murase, K. Shinozaki, Y. Hirashima, K. Machida and G. Adachi, J. Alloys Comp., 198, 31 (1993); b) G. Adachi, K. Shinozaki, Y. Hirashima and K. Machida, J. Less-Common Met., 169, L1 (1991).
- 4) K. Murase, K. Shinozaki, K. Machida and G. Adachi, Bull. Chem. Soc. Jpn., 65, 2724 (1992).
- 5) K. Murase, K. Fukami, K. Machida and G. Adachi, Ind. Eng. Chem. Res., 34, 3963 (1995).
- 6) K. Murase, T. Ozaki, K. Machida and G. Adachi, J. Alloys Comp., 233, 96 (1996); T. Ozaki, T. Miyazawa, K. Murase, K. Machida and G. Adachi, J. Alloys Comp., in press.
- 7) K. Murase, K. Machida and G. Adachi, J. Alloys Comp., 217, 218 (1995).
- 8) K. Murase, K. Nishikawa, T. Ozaki, K. Machida, T. Suda and G. Adachi, Sep. Sci. Eng., in contribution.
- 9) K. Murase, G. Adachi, M. Hashimoto and H. Kudo, Bull. Chem. Soc. Jpn., 69, 353 (1996).
- 10) K. Murase, G. Adachi, G.D. Zissi, S. Boghosian and G. N. Papatheodorou, J. Non-Crys. Solids, 180, 88 (1994).

---

\*京都大学大学院工学研究科 材料工学専攻 助手

## 会報

## 平成8年度水曜会大会

- 日 時 平成8年6月1日(土)
- 会 場 京都大学工学部1号館、6号館および京大会館

平成8年度水曜会大会は、6月1日(土)資源工学教室、材料工学(旧金属系)教室並びに京大会館において会員80名以上の参加のもとに開催された。

午前中は研究室紹介が行われ、午後から会場を京大会館に移して、懇親会、記念撮影、総会、特別講演が行われた。

懇親会は101号室にて志賀教授の司会のもとに開かれ、中広教授の開会の辞に引き続き、向井名誉教授の音頭で乾杯が行われた。和やかな歓談のうちに会は進められ、青山三樹男(昭27年鉱山卒)、阿部光延(昭35年冶金卒)、梅津善徳(昭38年鉱山卒)、藤田武彦(昭40年鉱山卒)、岡田康孝(昭44年金属加工卒)の各氏にスピーチをいただいた。

引き続き京大会館前にて記念撮影(本誌口絵に掲載)を行った後、会場を210号室に移し、午後1時40分から粟倉教授の司会で総会が開かれた。まず中広会長から平成7年度の事業報告が、また足立会計幹事から会計報告、菊池会計監事から会計監査報告がなされ、いずれも承認された。事業報告では、現在の会員数が4806名であること、今年度に終了した工学部改組の経緯および今後の水曜会の運営方針についても述べられた。次いで次期役員の推挙がなされ、会長に小岩教授、副会長に花崎教授、会計幹事に西山教授、会計監事に足立教授が選出された。最後に小岩新会長の就任挨拶で総会は終了した。なお、次の総会は平成9年6月14日(土)に開催される予定である。

特別講演会では花崎教授、山口教授の司会のもと、次の2つの講演会が行われた。

1. 「東南アジアにおけるNEDOの省エネルギー技術の支援事業について

－インドネシアのセメント産業事情に即して』

新エネルギー・産業技術総合開発機構 梅津善徳氏

2. 「新大学院エネルギー科学研究科発足の経緯－幸福論」

京都大学エネルギー科学研究所 教授 新宮秀夫氏

これらは記念講演として本誌に掲載されているが、近未来において解決が急務であるエネルギー問題について、梅津氏は省エネルギーの観点から、新宮氏は新しいエネルギー利用の観点からそれぞれ力のこもった講演をされ、参加者は熱心に傾聴した。本年度水曜会大会はこの講演会終了後、午後4時半過ぎに閉会した。

## 平成 7 年度水曜会会計報告

平成 8 年 3 月 31 日現在

取 入	支 出
前 年 度 繰 越 金 13,197,518 円	会誌印刷代 (製版・郵送料込)
会 費 3,920,020	22巻4号 1,755,728 円
会誌広告掲載料 (製版代込)	22巻5号 1,918,756
22巻3号 406,115	印刷代 (封筒他) 287,266
22巻4号 1,150,710	水曜会大会経費(平成 7 年 6 月 17 日) 1,158,051
22巻5号 1,095,864	東京水曜会援助 300,000
会誌論文別刷代 2,000	編集委員会経費 283,139
名簿売上 185,130	会誌原稿料 142,000
会誌売上 16,500	通信費 102,226
水曜会大会懇親会費 237,000	事務人件費 433,600
預金利息 94,180	文具、コピー代等 46,424
	弔慰費 (小林積造氏) 30,900
収入合計 20,305,037 円	小計 6,458,090 円
上記の通り会計報告致します。	
平成 8 年 6 月 1 日	
会計幹事 足立裕彦	
以上の通り相違ございません。	
会計監事 菊地宏吉	
次年度への繰越金 13,846,947 円	
内訳 銀行普通預金 3,652,196	
定期預金 10,000,000	
郵便振替預金 183,703	
手持現金 11,048	
支出合計 20,305,037 円	

## 「会員の声」の欄の投稿募集

編集委員会ではこのたび水曜会誌に「会員の声」の欄を設けることにいたしました。毎年、水曜会大会はがきの通信欄には数多くの近況報告が寄せられますが、なかには大学に対する意見や提言も見受けられます。「会員の声」はこのような会員のみなさまの幅広い意見を募集して掲載しようというものです。内容は大学や研究、水曜会に関係することであればなんでも結構です。とくに最近の大学の改組についての意見、企業サイドから見た大学教育への注文、水曜会の将来像などについては意見をお持ちの方も多いのではないでしょうか。奮ってご投稿下さい。なお、「会員の声」の欄の投稿につきましては電子メールによる投稿を推進いたします。電子メール原稿の宛先は下記の通りです。もちろん、郵便による投稿(はがきも可)でも結構です。その場合は巻末の水曜会誌投稿規定にある原稿送付先までお送り下さい。みなさまからのご意見、提言をお待ちしています。

電子メールによる宛先

suiyoukai@mtl.kyoto-u.ac.jp

## 会員消息

卒業50周年記念クラス会  
 (昭和21年鉱山学科卒)

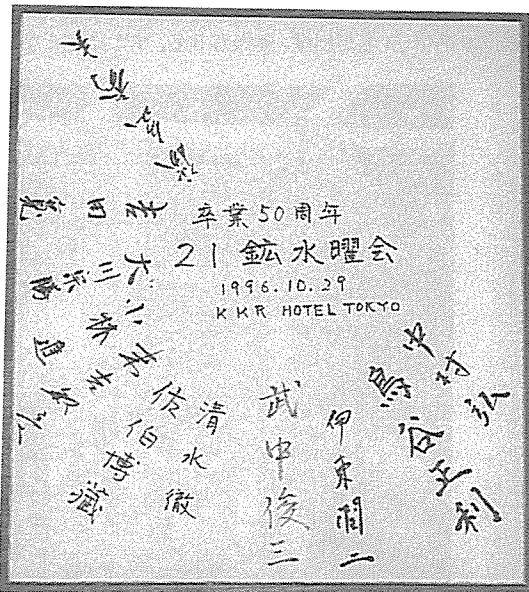
昭和21年9月鉱山学科を卒業した私達はクラス会を「21鉱水曜会」とし、関東地区では毎年催し、数年おきに全国によりかけて行ってきましたが、今年は卒業50周年に当たりますので、全国によりかけ、平成8年10月29日東京のKKR HOTEL TOKYOで21鉱水曜会を催しました。山形・名古屋からも出席し、11名（ほかに義妹1名同伴）が集まり、なつかしい楽しい時をもつことができました。なかには50年ぶりの再会もあり、実に楽しいものでした。

私達が卒業した昭和21年は終戦まもない混乱の時代で、卒業時に就職が決まっていた者は極く僅かでしたが、其後金属・石炭・亜炭・石油鉱山をはじめ、学校、官庁等々でそれぞれ活躍し、日本の復興、発展に寄与できたと思っています。一方閉山、鉱山災害等で大変苦労した者も多いのが実状です。

私達全員がすでに古稀をだいぶすぎましたが、お互いまず健康に注意して、趣味などをいかしつつ、心ゆたか

な人生をおくりたいと思っています。

(平成8年11月 佐伯博蔵 記)



第8回・京大冶金甲申会を奈良で開催  
(昭和19年冶金学科入学)

初秋の好日、9月26日はすがすがしい行楽日和りであった。

青によし奈良の都、若草山のほとり春日ホテルで、京大冶金甲申会(昭和19年入学の同期生・澤村惇会長)を開催。30名中14名が出席、奥様方5名、すでに亡くなら

れた会員の奥様(津田ゆかり様)、先日突然事故死した伊賀崎君のお嬢さん(陽子さん)の出席をえて、全員21名であった。

まず伊賀崎君のご冥福を祈って黙禱。久しぶりの顔もあり、宴会は大変な盛り上がりであった。古希をすぎた者ばかりであるが、若い学生時代にもどり、元気いっぱいであった。「来年の京大100周年には盛大にやろうぜ」と来年の再会を約して散会。  
(大町記)



後列左より 上山、萩野、寺井、中野、大町、岸野、水内  
中列 鹿取、山本、長坂、村上、田辺、田辺夫人、荒木  
前例 荒木、萩野、寺井各夫人、澤村、伊賀崎、津田、岸野夫人

訃 報

時實正治氏

水曜会会員、立命館大学名誉教授、時實正治先生は病氣療養中のところ、平成8年6月10日心不全のため逝去されました。享年68歳。

先生は、昭和25年3月京都大学工学部冶金学科を卒業後、株式会社神戸製鋼所に入社されましたが、昭和28年4月から再び京都大学に戻られ大学院で学ばれた後、昭和33年9月に工学部冶金学科の助手になられました。その後助教授を経て、昭和47年4月立命館大学理

工学部教授(機械工学科)になられ、平成5年3月停年により退官され、立命館大学名誉教授の称号を受けられました。退官後も立命館大学理工学部の非常勤講師を務めておられました。

京都大学には13年間 在任されておられましたが、その間、昭和33年9月から昭和40年3月までは冶金学教室鉄冶金学講座(盛研究室)の助手、昭和40年4月から昭和47年3月までは金属加工学教室特殊鋼学講座(田村研究室)の助教授として多くの学生の教育・研究に尽力されました。

ここに謹んで哀悼の意を表します。

## 会員通信欄

平成8年度水曜会大会はがきの通信欄に多くのご返事がありました。  
ここにその一部を掲載いたします。なお、文章を損なわない程度に表現を若干  
変えた部分もあることをお断わりします。

川島 浪夫（冶金、昭5年）病気治療中。

上野 健二（採鉱、昭12年）御陰様で元気に過ごしています。囲碁三昧のこの頃です。去る4月29日坂本側からケーブルを利用して根本中堂にお詣りしました。昭和8年春新入生歓迎比叡山があり、この根本中堂で昼食を御馳走になったこと、故小田川先生から天の時地の利人の和にちなんでこの日の行事、山と私共の仕事との関わりなど有意義なお話があったことなどを思いだし感無量でした。御恩に背くような結果になり申し訳なく思っています。

新持喜一郎（冶金、昭12年）3元合金平衡状態図の紙上合成実験や金属材料の寿命予測に関する研究資料に眼を通しながら元気に爽やかに過ごしています。

吉村 善次（冶金、昭12年）今度昭和12年度同級会に出席し久方ぶりに母校を訪れた。地上4階地下一階の軍隊の兵舎を思はせる実用面のみを考えた建物がびっしりと並ぶ中で土木工学の教室が昔のままも威厳のある。しかも情緒深い雰囲気を漂はせて遺っているのが嬉しかった。今后も引き続き改築が進むであろうが環境面についても改善されることを要望する。

岡田 新（冶金、昭13年）病気ばかりしながら読書散歩の静かな余生を過ごしています。

公荘 唯成（採鉱、昭13年）ご盛会を祈り上げます。

金春 眼藏（冶金、昭14年）現在入院中です。

中路 武雄（冶金、昭14年）小生も84才と高齢になりましたので、昨年弁理士試験に合格された弁理士白木大太郎氏と共に本年4月1日より特許事務所を経営することにしました。港先生によろしく。

高嶋 宏（冶金、昭15年）満80歳を越えましたが、何とか元気で「数病」息災を願って頑張っております。教室も冶金とか金属とかの名称が消えて、

「材料工学」となり金属、非金属、無機、有機化学材料などすべての物を対象にしてバク然となった感あり。

藤原 正長（採鉱、昭15年）昨年5月末貝島興発（株）を退職、1年を経過いたしました。昨年10月末傘寿（満80才）を迎えました。体の方は到って元気ですが頭の方が怪しくなり始めた様です。

古賀五百里（採鉱、昭16年）雇われの身分から来るストレスは全く無くなり自由奔放に余生を楽しんでおります。反面、老化現象には逆らいようがなく病院とのおつき合いだけは欠かさず続けさせていただいております。

小酒井正平（採鉱、昭16年）満80才を越していますが元気です。

今野 勇策（採鉱、昭16年）両足悪く歩行困難。欠席させて頂きます。

坪田 元幸（冶金、昭16年）無事に過ごしております。足が悪く遠くへはいけません。園芸を楽しんでいます。

成瀬 一郎（採掘、昭16年）手術後満3年近くなり、漸く元気になりました。然し段々の加齢には抗し難く、無理はできません。5月23日、クラス会（10名参加）を夫妻をたてまえに京都で行いました。各位の御健勝を祈ります。

広瀬 輝夫（冶金、昭16年）昭和16年12月卒業の会は採治合同で毎年、大阪、東京で集まっております。30名の卒業者は今は14名に減り、出席者は奥さんも含めて約15名の会です。私は元気です。

柳沢 雅勇（冶金、昭16年）相変わらず独居生活続けております。6月は月一杯、娘とIsrael, Jordanを旅行して来ます。

中尾智三郎（冶金、昭17年）案内拝受、同期会を兼ね久しぶりで参上の予定です。よろしく。

成瀬 光芳（冶金、昭17年）成人病療養中。

宮崎勢四郎（冶金、昭17年）月～金曜日10時ご

ろ散歩のつもりで出勤し 2 時間位居るだけで帰宅する毎日です。

明田 義男(冶金, 昭 18 年) お陰でますます元気でくらしています。周辺で少しづつ欠けていくのが寂しいですが、同期のもの 10 人鳥羽に集まり、お互いの健康を祝しました(5 月 15 日)。盛会を祈る。

氏家 正作(鉱山, 昭 18 年) 御盛会を祈ります。

北村 洋二(冶金, 昭 18 年) 引退生活ですが何とか元気で過ごしています。教室の御繁栄を祈ります。

小山 昌重(冶金, 昭 18 年) 御盛会をお祈ります。

斎藤 康(冶金, 昭 18 年) 昨年は年初に震災で家が毀れ年末ぎりぎりに漸く新居に入る事が出来、目下は気楽に居ります。

加藤 三郎(冶金, 昭 19 年) 東京水曜会には出席しました。

窪田 穂(冶金, 昭 19 年) 老化現象がはなはだしくほとんど家に引込んでボンヤリしているのが現状です。

荒木 修(冶金, 昭 20 年) 一応健康には恵まれ、楽しく生活しております。

井上 正康(鉱山, 昭 20 年) 京大 7 年、熊大 31 年、八代高専 7 年、熊本工大 6 年、計 51 年間の教職を楽しく大過なく送ることができました。山野を跋渉しては猪の領域を侵し、鼻息にびっくりする事もあります。

近藤 良夫(冶金, 昭 20 年) 每年出席しなければと思いつながら今年も先約があり欠席です。元気でがんばっています。

本田順太郎(冶金, 昭 20 年) 被災地神戸の復興に努力しています。

本原 吳朗(冶金, 昭 20 年) 日頃御世話様深謝します。扱、私事昨年病床に在り、近く心臓血管治療の為入院の予定です。現状では大会に参加は不可能です。不悪御諒承ください。

森本 芳行(冶金, 昭 20 年) 新宮教授のお話を聞かせて頂き度く思います。

佐伯 博藏(鉱山, 昭 21 年) おかげさまで元気です。油絵、ハイキング等も楽しんでいます。

武中 俊山(鉱山, 昭 21 年) 今年三月末で大学での教職に終止符を打ち、四月より(社)未踏科学技術協会の専門委員として核燃料の製造過程中に発生する廃棄物の無害化と有効利用の技術開発に従事することになりました。

中村 弘(鉱山, 昭 21 年) 昭和 20 年 1 月~8 月終戦時まで、秋田県花岡鉱山に京大より 47 名勤労動員で行きましたが、その時一緒に働いた女子てい

集隊員の消息を調べています。”中国人捕虜虐殺(四百数十名)の報が寄せられていますが、7 月の(第 2 回)慰靈祭には参加したいと思っています。

石井 千秋(冶金, 昭 22 年) 持病もちですが、のんきにすごしています。

大町 良治(冶金, 昭 22 年) 同級生の伊賀崎君の突然の事故死(H.8.4 月下旬)にびっくりショックを受けています。

柏木 健(冶金, 昭 22 年) 年初より糖尿病、神経痛にてなやまされています。

新名 恒三(冶金, 昭 22 年) 体調芳しからず旅することは負担となっています。電子メール、インターネットで遊ぶのが精々といったところです。

高橋 達海(鉱山, 昭 22 年) 元気で余生を楽しんでいます。大会の御盛況をお祈りします。

田辺 精三(冶金, 昭 22 年) 三菱マテリアル退職後 3 年経過、相変わらず忙しく、又元気に暮らしております。90 年以降、東京水曜会には欠席 1 回のみ、反面本体会には出席 0 で申し訳ありません。同期の伊賀崎君がこの 4 月不慮の災禍で御他界、痛恨の極みです。

寺井 士郎(冶金, 昭 22 年) 本年 4 月 27 日同窓伊賀崎君(本誌 22 卷 5 号会員消息に同窓会記事投)死亡の報に接し、色即是空、空即是空の思ひただ故人の冥福を祈るのみでした。

藤部 郁雄(鉱山, 昭 22 年) 宇部空港よりニュージーランド・豪州旅行。山口大学水田教授夫妻と機中で一緒でした。

山本 勝司(冶金, 昭 22 年) 特に連絡すべき近況の変化はありません。

和辻 博(鉱山, 昭 22 年) 同級の諸兄とはご無沙汰致しております。来年の秋(11 月はじめ位)に卒業 50 周年記念のクラス会を京都で開催することになりました。全国各地よりご参集を待っています。

安達 克己(鉱山, 昭 23 年) 生涯現役のつもりで頑張っています。

生長 克己(冶金, 昭 23 年) 鉄鋼メーカーから金属建材関連の子会社に出向後、日米の鋼構造建築の相異点を研究し日本の問題点の改善に努力していますが、進度の遅さに歯がゆい思いをしております。

川野 豊(冶金, 昭 23 年) 71 才になりました。きわめて元気です。

竹内 修造(鉱山, 昭 23 年) 昨年 6 月末に退職しました。以来趣味や旅行などに樂しみを求めて、カッコ良く言えば”悠々自適”的日々を過ごしています。

安井 正人(冶金, 昭 23 年) 漸く時間的余裕が出

来、幸い元気ですので関東、中部の山歩きを二人で楽しんでいます。御盛会をお祈り致します。

小田 正三(鉱山、昭24年) 小生、S.43年より局部焼鉄工事業を営んで居ります。お陰様で健康に恵まれ現在も続けて居ますが、景気の波の間を漂い乍ら生き残るべく努力中です。

鹿取 精一(冶金、昭24年) 定年退職11年、バブルもリストラも関係なく「毎日が日曜日」

小松 英一(冶金、昭24年) 急病で入院し、御返事が遅れました。

神保健二郎(鉱山、昭24年) 本年秋には、石川・熊谷両氏の提案で平松先生をお招きして、京都で“鉱山昭和24年卒業クラス会”を開催することにしており、楽しみにしています。

鷹取 正六(冶金、昭24年) 70才になりましたが、現在のところまだ現役で会社勤務です。

平野 坦(冶金、昭24年) 小生宅の周辺は震災後の建築ラッシュですが、小生宅は昨年6月で修理が完了し、落着いた生活をとりもどしております。水曜会の御発展を祈念致します。

村上 震一(冶金、昭24年) どうにか元気に送っています。皆様方の御健勝をお祈りします。

木村 茂(鉱山、昭25年) 土木用耐度工具の製造と鐵付層の非破壊検査の研究に老骨に鞭打っております。

楠本 隆成(鉱山、昭25年) 近況：成人病予防のため、適度の運動をエンジョイしています。散歩(バード・ウォッティング)、テニス、サイクリング、スキー、登山、ゴルフ、謡曲(観世流)等々、日々是好日です。これも年金のお陰、感謝しています。今年満70才を迎えます。「古希もざらなり。」の昨日です。当面摂生、節制、節省を心掛けています。

松尾 昭吾(鉱山、昭25年) 齢、70になろうとしておりますが、お陰をもちまして心身ともまだ健全で、もうしばらく会社勤めが続きそうです。ご盛会をお祈り致します。

貝渕 栄四(冶金、昭26年) 定年退職後はエンジニアリングからは事実上離れていました。私としては可能な手段で日本の民主化のためにつとめています。健康、体力には心配していません。現時点では100周年行事には出席の予定です。

木村 治(鉱山、昭26年) 平成7年6月末三井鉱山(株)関係会社から退職し元気で年金生活に入っています。

木村 宏一(鉱山、昭26年) 相変わらず若いつもりで動いていましたが、急に肺炎になったり便通が

悪くなったりして年を感じています。それでも年1~2回の関係技術協会の国際会議には全部出席し、何時まで続くやろと思いながら頑張っています。先生方もお元気で。

田辺 定男(冶金、昭26年) たまに風邪をひく程度で元気に過ごしています。年に2~3回、クラスマートとのゴルフを楽しんでいます。

二宮 修(鉱山、昭26年) 今年も参上できず申し訳なく残念に思います。相変わらず医療機器関連の資料作成を手伝ったり山野跋涉の時間を過ごしたり気ままな日々を送っています。車中では京大ゆかりの諸先輩の書を読むことが多いのですが速度はすっかり落ちました。

目加田正雄(鉱山、昭26年) 元気です。

青山三樹男(鉱山、昭27年) 従来通り元気で会社の経営に従事しています。

上田喜三郎(冶金、昭27年) 昨年6月に完全退職し、のんびりと碁、Golf、スポーツジムで暮らしています。

岡村 照雄(鉱山、昭27年) この4月に千葉県から転居しました。引越後のごたごたした雑用に追はれています。次回から出席させて頂くつもりです。

杉本 和夫(鉱山、昭27年)いつもお世話様です。

谷口 照雄(鉱山、昭27年) 御盛会をお祈り申し上げます。

寺田 孚(鉱山、昭27年) 昨年岐阜県可児市虹ヶ丘4-3-3にできた上記(名城大学都市情報学部)の学部長をやっています。若松先生にも来て頂いて教務委員長の仕事もやってもらっています。

松岡 秀夫(鉱山、昭27年) 先約があって残念ながら大会には出席できません。リタイヤーして3年になりますが書道、園芸、表装をやったりパソコンをつづいたり、時々小旅行に出かけて駄句をひねったりで結構忙しく暮らしております。

浅井 浩実(冶金、昭28年) 第一線を退き九州に帰って参りました。幸い健康に恵まれ晴耕雨読の生活を楽しんでいます。

植田 正明(冶金、昭28年) 大会準備御苦労様です。東京水曜会を種々御支援いただきましてありがとうございます。

岡本 成基(鉱山、昭28年) 昨年3月心筋梗塞で入院。第一線から退く準備を徐々に進めています。

倉知 三夫(冶金、昭28年) 京都大学卒業6目を迎えたが、お陰様で毎日元気に楽しく過ごさせていただいております。4月14日~19日には台湾：台北に夏は中国：長春、上海等を訪れる予定で

す。御盛会をお祈り上げます。

佐々木賢治(鉱山、昭28年) 当日は予定があるため残念ながら欠席させていただきます。

西村 義雄(冶金、昭28年) 平成8年3月に65才を迎えたため、今住んでいる茨木市では健康保険が4月から老人医療費扱いになりました。嬉しいような悲しいような妙な気分です。でも年はとりたくないものですね。

吉年 一(鉱山、昭28年) やっと待望の初孫(男児)にめぐまれて大きな楽しみが増えました。ゴルフ、碁、語学(英、独、仏、伊会話)の研修と毎朝1時間の歩行、それに孫との触れ合い等々、結構忙しい毎日を過ごしています。

浅野 謙三(鉱山、昭29年) 業務都合上出席できません。

大久保勝夫(冶金、昭29年) 卒業してアッという間に42年が経ちました。会社生活での最終イニングに入り、コンピューターネットワークというフォークボールにタイミングを狂わされていますが、チタンという心強い素材に助けられてゴルフの遊びでは若い人達と張り合っています。過去の延長では先の読めない時代となりましたが水曜会の益々のご発展をお祈り致します。

菅野 斎(冶金、昭29年) 昨年3月末第2の勤め(高校教師)も終わり地域のボランティア活動などして悠々自適の生活を送っています。

兵頭 経義(鉱山、昭29年) 昨年6月末で顧問をやめ自適の生活に入りました。幸い健康に恵まれて快適に生活しています。

渡辺 洋一(冶金、昭29年) 元気です。老け込んでおりません。盛会をお祈り致します。

赤澤 正久(冶金、昭30年) 5月24日から6月1日までストックホルムで開催される超硬物質の国際会議に出席するため出張しますので欠席させていただきます。夕食を懇談会にしてその日の内におそくなっても東京方面へ帰れるようなスケジュールにして下さい。参加者もふえるでしょう。

清滝昌三郎(鉱山、昭30年) 昨年金属鉱業事業團に移りました。

佐藤 史郎(冶金、昭30年) 東京水曜会にて水曜会長(中広先生)より京大工学部の高度化(改組)の話を聞きました。大きな改革ですので少々驚きましたが21世紀に向けて正しい選択であろうと思っています。アルミ圧延、伸銅業界も時代に遅れないよう自戒に努めます。

塙出 啓典(冶金、昭30年) 行政書士として交通

事故処理や出入国手続にとりくんでおります。残念ながら欠席。

荒木 泰治(冶金、昭31年) 鉄鋼業界は米国、ASEANのミニミル発展が目覚ましく、その中小生も微力を注いでいます。

重本 昭伸(鉱山、昭31年) H8.3月末で(株)神戸工業試験場を退職しました。

長澤 元夫(冶金、昭31年) 製造業殊に基幹産業が冴えぬ中ですが利用技術面に活路を求めて頑張っています。

藤井 洋二(鉱山、昭31年) 読書と散歩の毎日です。

石井 榮一(冶金、昭32年) リタイヤ後コンサルタントのまね事をしています。

小林 信幸(鉱山、昭32年) 平成7年より古河機械金属(株)を退職し上記会社(古河不動産(株)大阪事業所)に移籍しました。

永澤 正彦(鉱山、昭32年) 残念ながら海外出張のため欠席します。

里見 祥明(冶金、昭33年) 水曜会にはすっかり御無礼致しております。3月には久しぶりに同窓会に参加致しまして大変懐かしいひと時を過ごすことが出来ました。毎日歩くことに努めています。

高野 昭吾(鉱山、昭33年) いつもお世話になつて有難うございます。

本間 良治(鉱山、昭33年) 63才になりましたが、相変わらず土木機械(主として掘進材)の開発的設計にあけれています。

熱田 善男(冶金、昭34年) 還暦を過ぎてアムウェイのビジネスにチャレンジしています。

伊藤 二郎(鉱山、昭34年) 現在ニフティ(株)の常勤監査役は來たる6月末で退任します。サラリーマンで無い生活を楽しみたく思っています。

児玉 幸夫(鉱山、昭34年) 本日は厚生年金の現況届を発送して安心したところです。年金はわずかばかりですが細々とくらして居ります。当地は久留米市の高地にあり、近くの山を登って居ります。

佐藤 隆介(鉱山、昭34年) 上海に長期出張中の為欠席します。

杉田 宏(冶金、昭34年) 海外出張中のため残念ながら欠席いたします。

高橋 克侑(鉱山、昭34年) 午前中語学の勉強、午後は小説、評論など好きな本を読んでいます。時々畠仕事。夜は娯楽のためにすごしています。

林 明夫(冶金、昭34年) リタイヤ後、今迄できなかった事を色々やりだしゆっくりする暇もな

い状態です。

南浦 基二(冶金, 昭34年)久しぶりに出席したのですが今回もたまたま海外出張と重なり欠席せざるを得ません。水曜会のますますのご活躍ご発展をお祈りいたしております。

朝木善次郎(冶金, 昭35年)大変申しわけございませんが他の用件と重なり失礼させて頂きます。

中林 一郎(鉱山, 昭35年)平成7年7月北海道から大阪へ転勤しました。

赤井 慎一(冶金, 昭36年)昨年6月に取締役を退任し、当社としては初めての役職である常任理事として研究開発を担当しています。ニューマテリアルセンターでは幹事長として村上陽太郎先生のお世話をっています。またニューダイヤモンドフォーラムでは技術調査委員長をやらせていただいています。

恩田 恵(冶金, 昭36年)永らくご無沙汰しております。皆様にお会いできるのを楽しみにしております。

笠原大四郎(鉱山, 昭36年)来年に停年を迎えるので職探しにいそがしくしています。

山本 隆造(冶金, 昭36年)本年7月末の株主総会後退社し故郷に帰る予定です。今後共よろしくお願いします。

片岡 隆昭(鉱山, 昭37年)健康上の都合により本年3月末住友金属工業(株)を早期退職致しました。又、3年休養し英気を養って第2の人生をスタートしたいと思っています。

秦 瑛(冶金, 昭37年)昨年倉敷で一瀬名誉教授、柳島章也(冶金, 昭37年)氏、大西正之(冶金, 昭39年)氏とゴルフを楽しみました。一瀬先生のすばらしいバーディー2発に残る3人大いにハッスルさせられてしまいました。鉄冶金教室の昔話をなつかしさひとしおでした。

大辻 孝雄(冶金, 昭39年)会の成功をお祈りします。

福武 剛(冶金, 昭39年)子会社へ出向。久しぶりに研究現役のまねごとをやっています。

中島 恒(冶金, 昭40年)(財)日本エネルギー経済研究所への出向を終え、「96.4.1より動燃事業団核燃料サイクル工学研究室勤務となりました。

成田 舒孝(金加, 昭40年)H.8.4.1より九工大に勤務しております。電話093-884-3361

三浦 義明(資源, 昭40年)6月末にはSUMATRA, INDONESIAで水力発電所のEngineering Servicesの仕事をする予定です。

水野 弥一(資源, 昭40年)京大アメリカンフットボール監督。

望月 志郎(資源, 昭40年)昨年10月より住所を変更しました。リストラの中、鉄の未来を信じて頑張っています。

渡辺 忠雄(金加, 昭40年)4月に本社へ転勤しました。新しい仕事に張切っています。

水野 昭宏(冶金, 昭42年)元気でやっております。ISO 9000's取得の勉強を始めました。

山川 洋(冶金, 昭42年)元気で頑張っています。

黒木 正純(冶金, 昭43年)ポンプ、タービンの製造のなかで各種材料を取り扱いながら昔の学生時代を思い出しております。懐かしさに加えて当時の不勉強さがつのるばかりです。

高山 新司(金加, 昭43年)大学一年生になった気分で毎日をenjoyしています。

福田 隆(金加, 昭43年)2年半振りに研究所に戻ってきました。社内会議の出席、団体の会合の出席と自分で研究する時間が無くなりつつあります。若い人に研究論文を発表させるだけでなく自らも発表しようと準備中のこの頃です。水曜会の先生方には今後とも御指導よろしくお願ひします。当日結婚式の仲人で出席できません。

南 一彦(金加, 昭43年)欠席させていただきます。皆様によろしくお伝え下さい。

浅井 達雄(資源, 昭44年)松下電器のグローバル&グループ経営を支える情報通信ネットワークの企画を担当しています。CTI等の新しい技術に取組んでおります。自宅では京阪奈マルチメディア実験に参加しています。

池田 辰雄(冶金, 昭44年)鉄鋼のサバイバル競争にいそしむ毎日です。最近は東南アジアの仕事が増えつつあり新たな気持ちで取組んでいます。水曜会大会が盛会であるようお祈りします。

中野 勇男(冶金, 昭44年)企画管理部門(間接部門)から直接部門(LSI試作ラインのデータ管理etc.)へ異動しました。1996.4.1から。

八十 致雄(金加, 昭44年)卒業してから早27年目に入りました。おかげ様で元気で山陰、安来の地でやっております。皆様方の御健勝をお祈りしています。

大下 紀男(資源, 昭45年)元気にやっています。

河合 潤(金加, 昭45年)現在製鐵所の製造部門(厚板および圧延)を担当して、長期化する不況の中で四苦八苦しております。

平岡 裕(冶金, 昭45年) 研究室引越等のため欠席致します。皆様に宜しくお伝え下さい。

井上 実(冶金, 昭46年) 最近金属系学科が改組された事を聞きますがどのように変わったのでしょうか?簡単な系統表(組織編成表)がありましたら送って頂ければ幸いです。

中澤 直樹(資源, 昭46年) シンガポールへ赴任中ですので欠席させて頂きます。

中村 元(資源, 昭46年) 一昨年の秋からメタンハイドレートを天然ガス資源として探鉱開発する可能性を探るためのプロジェクトに携わっています。

山田 範保(資源, 昭46年) 内閣外政審議室に向して戦後50年をはさみ丁度2年間、従軍慰安婦、台湾軍属、シベリア韓国人の帰還などの諸問題をみてきました。義務教育から大学まで近代史教育がない現状を憂います。

江上 明(金加, 昭47年) 一年半の東京単身赴任を終え関西へ戻ってきました。

岡本 秀樹(資源, 昭47年) 坑内掘の石炭は570万トン/年程度です。一方、日本の石炭の消費量は年間1億3千万トン弱で、民間の見通しでは今後数年は年率4%程の増加という勢いです。安定確保と地球環境対策が課題です。

神田 正昭(資源, 昭47年) 所用により参加できません。

内貴 治三(冶金, 昭47年) 3月中旬より16年間所属していた供給部より潤滑油販売技術部へ移りました。後方部隊より前線部隊(営業)へ出てきたようになります。

伊庭 良和(金加, 昭48年) 金属材料を離れて早12年、炭素繊維シートを用いたコンクリート構造物の補強を広めるため頑張っています。

川村 健一(資源, 昭48年) 本人は目下米国出張中です。元気で世界中を飛び回っている様子です。盛会をお祈りいたします。(代、父)

朝倉 俊弘(資源, 昭49年) ここ数年出席できず残念です。幹事の先生方申し訳ありません。最近、小5の娘に「言う事聞かないと、もう一緒に風呂に入らなければ」とおどかされます。そろそろ子離れして卒業後20年間の研究生活の中間まとめを行わねばと考えています。

柏井 善夫(資源, 昭49年) 1995年12月から東京勤務となりました。

白井 泰治(金加, 昭49年) 新任地で張切っております。国際会議で海外主張のため残念ながら出席

できませんが、ご盛会を祈念致しております。

中田 裕久(金加, 昭49年) 現在アメリカにいますので欠席させて頂きます。

服部 寿(金加, 昭49年) 今年3月に2度目の転職をいたしました。半導体の検査装置の米国系メーカーです。当業界のメモリー不況がそろそろ始まりそうです。

三方 正樹(金加, 昭49年) 一年半後、現在の桜島工場は閉じられユニバーサルスタジオに生まれかわります。我々製造に関係する者は遠く九州有明工場に移ることになります。

楠井 潤(金加, 昭51年) 東洋アルミの研究所で急冷凝固アルミ粉の研究を続けています。

坂本 弘樹(金加, 昭51年) 平成6年10月技術管理部から製鋼部に配属変更となっております。

本間比呂詩(金属, 昭51年) 業務都合が付かず欠席させて頂きます。

丸岡 邦明(冶金, 昭51年) スチール住宅に少し関わることになりました。

金沢 敬(冶金, 昭52年) H8.4月より東京本社に異動しました。

久保田耕平(冶金, 昭52年) 材料の研究も沈滞気味なのでしょうか?新しい発想の研究を考える最近です。

津崎 兼彰(金加, 昭52年) 教室名は材料工学教室となり、講座名は材料機能学講座(大講座)材質制御学分野と変わりましたが、牧研究室の一員として一環して構造材料を中心とした研究教育を行っています。金加昭52卒の方々、積極的に通信欄に発信下さい。

増田 剛志(資源, 昭52年) 品質管理部門でISO9001取得に追われています。TPMも一緒で大変です。

小松原 望(金加, 昭53年) この4月から本社勤務となりました。16年間の研究生活を支えに元気の出る鉄鋼業を目指したいと思います。よろしくご指導下さい。

宮下 卓也(金加, 昭53年) 被災後、どういう訳か東へ東へと流れています。勤務先は明石のままでですが、住所は神戸から尼崎に、上の娘はこの春から吹田の中学校に通い出しました。水曜会の発展を祈ります。

宮脇 新也(金加, 昭53年) アメリカ・オハイオ州の製鉄所で条鋼の圧延を担当しています。

竹土伊知郎(冶金, 昭54年) むずかしい時代、むずかしい世代になってきました。元気にやっており

ます。

中井 俊忠 (冶金, 昭54年) 特にありません。同期の玉井君お元気でしょうか?

西村 恵次 (資源, 昭54年) 昨年('95)8月、4年間のU.S.A.(デトロイト)勤務を終え帰国致しました。

福島 賀(資源, 昭54年) MITSUI KINZOKU (U.K.) Ltd. 英国・ロンドン勤務。

矢内 雅造 (金加, 昭54年) 景気は今ひとつですが、負けずにがんばっています。

竹川 穎信 (金加, 昭55年) 現在、電気カミソリの開発に携わっています。刃の開発のために髪や肌についても調査し知識習得に努力しています。

福田 啓一 (金加, 昭55年) 今春、3年余の東京勤務を経て関西(大阪)に戻ってまいりました。

渡辺 雅英 (金加, 昭55年) 一昨年、村上先生より工学博士号をいただきましたが、クレームの折に役立っているばかりで恥ずかしい限りです。昭和55年卒の初めての同窓会やりませんか?

近藤 雅芳 (金属, 昭57年) 現在、日立造船より(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)へ出向しています。

田中 俊彦 (金属, 昭57年) 原子力発電関係の仕事ですが同窓の方と出会う事はほとんどありません。他分野の近況が知りたくて一度参加してみようと思います。

前田 佳均 (冶金, 昭57年) 大学に移籍して1年になります。研究室(光物性)の体制も整い各所との共同研究に忙しい毎日を過ごしております。

竹内 正 (冶金, 昭58年) 車両評価部署へ移って約1年半。自動車全体が見える部署で、それまでの樹脂・軽金属の経験も直接生かすことができ、もちろん在学中の鋳鉄や破壊力学の知識も役に立っています。忙しくも楽しい毎日です。研究室の先輩である森田重役からは、「おまえはいつもわしのところから逃げる。」とおしかりを受けておりますが、当分は森田さんの輩下になりそうもありません。

山元 一幸 (金属, 昭58年) 山元一幸は、現在ロンドン勤務中のため欠席いたします。(代筆, 風岡)

吉留 良史 (資源, 昭58年) 米国Houston駐在より帰国して1年以上たちました。毎日往復3時間かけて通勤しております。

田中 秀敏 (金属, 昭59年) 転勤で大阪に移りました。自転車通勤から電車通勤となり、じっと立ったままの通勤で足が毎日痛んでいます。

堀田 将人 (資源, 昭59年) (株)日本興業銀行

ロンドン支店に勤務しております。(代筆, 金輪)

藤野 真 (金属, 昭59年) 東京に転勤になり一年足らずですが家族全員新天地での生活を楽しんでいます。

北垣 淳一 (金属, 昭60年) New York店勤務の為欠席させていただきます。(代筆)

清洲 光持 (冶金, 昭60年) 栃木県に2年半いました・・・が、今年の秋頃からインドネシアに長期滞在になりそうです。今度関西にはいつ戻れるかな・・・。

古谷 精市 (金属, 昭60年) 元気で頑張っています。

西村 香介 (資源, 昭61年) 東京ガス(株)(海外)現在ミネソタ大学に留学中。(代筆, 金輪)

本間 和樹 (金加, 昭61年) 初めて出席させて頂きます。

森本 聰 (冶金, 昭61年) 昨年3月に結婚し、12月に引越を行いました。

奥村 英之 (金属, 昭62年) まだPittsburgh大学にいます。

龍田 健 (資源, 昭62年) 家族3人変わりなく元気に過ごしております。(娘も早いもので2才7ヶ月になりました。)

二見 周 (金加, 昭62年) 相変わらず開発事業本部で頑張っています。

古澤 光一 (金加, 昭62年) オムロンでは課長になって5年目に3ヶ月のリフレッシュ休暇があることは有名ですが、それと別に35歳で2週間の休暇が取れる制度もあります。今年はそれを使って6月にフロリダのディズニーワールドへ行こうと計画しています。

村田 和俊 (冶金, 昭62年) 固体電解質型燃料電池(SOFT)をやっております。

中島 俊明 (金属, 昭63年) 今年は友人の結婚式のため既に2度も京都を訪れることが出来ました。

山中 淳史 (金加, 昭63年) 御無沙汰しております。当方は元気でやっております。小岩先生にもよろしくお伝え下さい。

朝比奈 健 (金属, 平元年) 一年間の米国生活を終え、家族3人平穏無事に暮らしております。

上田 良史 (金加, 平元年) 7月に長男が満一歳になります。

大屋 昌之 (資源, 平元年) 三十路を向かえ、早くも体力の衰えを感じ最近トレーニングジムに通いはじめました。とりあえずつき出しあげ始めた腹を支える筋肉をつけ、更なる成長に備えようと考

えております。

切畠 敦詞 (冶金, 平元年) 今年8月から1年間、海外業務研修でカナダ McGill 大学へ行きます。

嶋 瞳宏 (金属, 平元年) 平成6年8月から米国メリーランド州立大学に留学しております。

清水 健一 (冶金, 平元年) アメリカカーネギーメロン大学 (博士課程) 留学中。

良房 宏之 (資源, 平元年) 入社して8年目になりましたが、元気にやっています。現在はWindowsのソフトウェアの開発を行っています。

黒川俊一郎 (資源, 平2年) NEC本社より開発研究隊としてシアトルマイクロソフト社に在勤しております。

黒川八寿男 (金加, 平2年) 九州に転勤になり、丸2年が過ぎました。なかなか大学のほうへ顔を出せないのが悩みのタネです。

松井 巖 (金加, 平2年) 昨年2月末に新日鐵(株)を退社しまして、父親が経営している会社へ入社致しました。

宮本 哲 (資源, 平2年) 忙しくも充実した毎日を送っています。

矢追 善史 (金属, 平2年) シャープ株式会社よりマサチューセッツ工科大学に出向中。

小笠原 慎 (資源, 平3年) おかげ様で健康にやっています。

小河 淳 (冶金, 平3年) 皆様には御無沙汰致して申し訳ございません。とりあえず元気でやっています。

上西 朗弘 (金加, 平4年) 所用のため欠席します。皆様お変わりなくお元気でしょうか。

葛原 亨 (資源, 平4年) 中広先生、日下先生、新苗先生の先生方、お元気ですか?精製工学の皆様、頑張ってますか?!去る2月6日妻が女児を出産し、子供は順調に育っています。家庭内が落ち着きましたら大会にも出席させて頂こうかと思います。

座間 悟 (金加, 平4年) なかなか京都に行く機会がありませんが元気でやっています。

中川 和則 (資源, 平5年) 皆様御健のこととお喜び申し上げます。私は社会人二年生として現場で無難にがんばっています。仕事の関係上欠席させて頂ますが、みなさまの御栄達をお祈り申し上げます。

山本 淳一 (資源, 平5年) 日立造船(株)リサイクルシステム部にて粗大ごみ処理施設等の設計を担当しております。

山本 宗彦 (資源, 平5年) 現在、日本航空乗務員の訓練のためNAPAに滞在していますため出席できません。水曜大会の今後のご活躍とご発展を心よりお祈り申し上げます。(代筆、母)

出井 康博 (金加, 平6年) 新入社員で元気です。

小川 典子 (金属, 平6年) 今年もまた就職活動します。(留年してしまいました)

柏村 真純 (金属, 平7年) 9月迄アメリカに留学しています。

小島 雄三 (資源, 平7年) 日々それなりに忙しい日々を送っております。

森 卓史 (金属, 平8年) 只今研修期間ですので住居が定まっておりません。

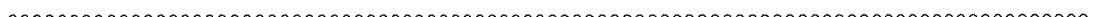
張 欣 (金属, 平8年) 修士課程の勉強に忠実しております。

津久井克幸 (元教官) 沼倉先生は如何お過ごしでしょうか。私は今新しい仕事を立ち上げ様と四苦八苦です。京都にはまた遊びに伺います。

鈴鹿 恒茂 (元教官) 老体、歩行困難のため、残念ながら欠席致します。御盛会を祈ります。100m歩いては一休み、息をはずませフウフウ、腰曲がり杖なしでは歩けない状態です。幸に上半身は健康です。本会のお世話役御苦労さまです。

港 種雄 (元教官) 右足の痛みがとれずよわっています。ご盛会を祈っております。

山岡 幸男 (元教官) 世界の成長センター、アジアの最前線に転職しました。外国企業に就職すると日本の柔質がよく見えます。



## 逝去会員

## 教室報告

平成8年6月10日	時實 正治 昭25・治	教官人事
平成6年7月29日	山本 潤造 昭22・鉱	資源工学教室
平成4年9月	都甲 仁 昭28・鉱	平成8年11月1日 芦田謙助教授は教授に昇任された。
平成8年4月11日	石橋 正士 昭32・鉱	平成8年11月1日 斎藤敏明助教授は教授に昇任された。
平成7年11月25日	尾上 良愛 昭17・冶	
昭和62年6月28日	三浦須恵藏 昭9	
平成8年8月17日	中村 研二 昭21・冶	材料工学教室
平成8年4月21日	今田 治徳 昭32・鉱	平成8年7月1日 林 好一君と邑瀬邦明君は助手に
平成8年4月7日	川勝 光夫 昭25・冶	任官された。
平成8年10月6日	千田 収 昭25・冶	平成8年10月1日 富井洋一講師は京都大学大学院
逝去日不明	美濃 正昭 昭50・金	エネルギー科学研究所助教授に昇任された。
ご逝去を悼み、ご冥福をお祈り申し上げます。		

## 平成8年度水曜会誌編集委員

委員長	山口正治	斎藤敏明	馬淵守
幹事	平藤哲司	喜多敬二	川口純
委員	花崎紘一	勝山邦久	東田賢二
	森茂昭	西谷滋人	河合潤
	河合潤	吉田卓司	森木義淳
	高崎誠	中島義夫	結城勇
			(順不同)

平成8年12月15日 印刷 平成8年12月20日 発行
編集兼 発行者 小岩昌宏
印刷者 小林生男
日本印刷出版株式会社
553 大阪市福島区吉野1丁目2番7号
電話 大阪(441) 6594~7
FAX 大阪(443) 5815
発行所 京都大学工学部 資源工学教室・冶金学教室 金属加工学教室
水曜会
606 京都市左京区吉田本町
振替口座 京都 01090-8-26568 電話 (075) 753-7531 (大代表)
銀行口座 第一勧業銀行百万辻支店
普通 476-1242526 水曜会

## 水曜会誌の企画と投稿のお願い

水曜会誌編集委員会

本委員会では、会員の皆様の近況や展望など幅広い内容記事を紹介する『談話室』を設け、投稿を募っております。『談話室』は、会員各位の意見・情報交換の場としてご利用頂くことを目的としたもので、投稿規定（次頁に掲載）の分類では『各種記事』に相当します。具体的には、

- 第一線で活躍中の会員の幅広い展望・随想
- 各企業の研究所の紹介（特殊機器や意外な研究内容など）
- 研究についてのトピックス（形式は問わない）
- 国際会議や海外出張の紹介・こぼれ話
- 種々の分野でご活躍の会員の特異な体験記事
- 新教官の自己紹介や抱負など
- 水曜会の活動における歴史的こぼれ話

などを企画しております。掲載分には薄謝を進呈いたします。奮ってご投稿下さい。また、他に取り上げるべき企画などご意見がありましたら編集委員会までお知らせ下さい。さらに、投稿規定に従い、論文・講座・総説などにつきましても投稿を隨時受け付けております。

会誌発行は現在のところ6月、12月の年2回行っており、各号の原稿締切は3カ月前となっております。また、編集委員会は1月末、7月末に開催しておりますので、皆様からのご意見、ご投稿をお待ちしております。

## 水曜会誌投稿規定 (昭和 62 年 4 月 23 日改訂)

### 1. 投稿要領

- (1) 投稿原稿の著者（連名の場合は 1 名以上）は水曜会員でなければならない。ただし、水曜会誌編集委員会（以下編集委員会という）で認めた場合はこの限りではない。
- (2) 投稿原稿は論文、報告、総説、講座、資料、会員消息などとし、分類指定がない場合には編集委員会が判定する。
- (3) 投稿原稿の分類はつぎの基準にしたがうものとする。
  - a. 論文 他の刊行物の未発表のもので、独創性をもつ著者の基礎研究または応用研究の成果、技術の開発改良などを内容とするもの。
  - b. 報告 現場の操業報告などに類するもので、学術的に価値があると認められるもの。
  - c. 総説 特定の問題について普遍的に広い視野から解説し、その推移を知るうえに役立つもの。
  - d. 講座 特定の問題について掘り下げて解説し、会員の啓蒙、再教育に役立つもの。
  - e. 資料 学問のあるいは技術的に価値のある内容を含み、会員の参考資料として役立つもの。
- (4) 論文、報告には英文表題のほかに 100 語前後の英文概要を添付されたい。
- (5) 原稿の長さは必要な図・表を含めて次表に示すとおりとし、これを越える場合は必要経費を負担されたい。但し依頼原稿についてはその限りではない。なお、会誌 1 頁は図表のないときには 2,400 字（25 字×48 行×2 列）であり、表題および英文概要是刷上り 1/4 頁～1/2 頁を要することを考慮されたい。

分類	制限ページ数
論文	会誌刷上り 6 頁以内
報告	会誌刷上り 6 頁以内
総説	会誌刷上り 10 頁以内
講座	会誌刷上り 10 頁以内
資料	会誌刷上り 4 頁以内
各種記事	会誌刷上り 4 頁以内

- (6) 投稿に際しては本会規定の原稿用紙を使用し、原稿整理カードを添付されたい。
- (7) 原稿の送付先はつぎのとおりとする。

〒 606-01 京都市左京区吉田本町

京都大学工学部資源工学・金属系教室内

### 水曜会誌編集委員会宛

- (8) 原稿は水曜会誌編集委員会が受理した日をもって受理日とする。
- (9) 投稿原稿に対し、編集委員会は査読を行って掲載の可否を決定する。また、査読結果に基づき編集委員会は投稿原稿に対して問い合わせ、または内容の修正を求めることがある。
- (10) 編集委員会は、用語ならびに体裁統一のため編集係によって文意を変えない程度に投稿原稿の字句の修正をすることがある。

- (11) 初校は著者にて行ない、第 2 校以降は編集委員が行う。初校における原文訂正の必要のないようとくに留意されたい。
- (12) 別刷については実費を負担されたい。著者は、著者校正と同時に別刷必要部数を申し出るものとする。

### 2. 原稿の書き方

- (1) 章・節などの区分はポイント・システムによる。すなわち、章に相当する 1・緒言などは中央に 2 行分をとり、節に相当する 1・1 実験方法などは左端に書き、つぎの行より本文を書くようにする。また、項や目に相当する(1)試料などは左端に書き、2 字分あけて本文をつづける。

- (2) 図面は鮮明なものであること。刷上り図面の大きさは横幅でもって指定するものとするが、横幅は 1 段 (65 mm 以内) または 2 段通し (140 mm 以内) のいずれかとなることを考慮されたい。原図は刷上り図面の少なくとも 2 倍に書かれたい。この際図面の縮尺を考慮して作図し、とくに図中の文字の大きさについては十分に注意を払われたい。また、原図の左下隅に著者名、論文名、図表番号などを必ず明記されたい。

- (3) 単位は国際単位系 (SI 単位系) によることが望ましい。

- (4) 参考のため文献を記す場合には本文の肩に 1), 2)などを付し、論文末尾につぎほ形式で書き加えること。

1) 大塚一雄、宮越 宏：日鉄誌、87,[1001], 521-525, (1971)

2) M. R. Taylor, R. S. Fidler and R. W. Smith: Metallurgical Trans., AIME. 2, [7], 1793-1798, (1971)

[注] 原稿用紙などは編集委員会までご請求下さい。

今ここを、未来にします。

Here, The Future

**HITACHI**

『Here, The Future』

——今ここに「未来をひきよせる力」。

私たち日立は、このことばのもとに、

誰もが遠い先のことと思っていた未来を、  
今ここに、技術の力で

ひとつひとつ実現していきます。

これから日立がお届けする、

今までの常識や制約を脱ぎすぎてた

まばゆい技術や製品に触れてみてください。

そこには日立の持てる先進技術と

アイデアのすべてを注いだ、

計り知れない「可能性」が

みなぎっているはずです。

その「可能性」を大いに活かして、

『Here, The Future』。

日立といっしょに、ひとりひとりが望む未来、

それぞれの社会が望む未来を

ひきよせてていきましょう。

◎ 株式会社 日立製作所

〒101-10 東京都千代田区神田駿河台四丁目6番地 TEL(03)3258-1111(大代)

# Here, The Future

Kubota

美しい日本をつくろう。

生命の見る夢。  
地球の見る夢。

# LOVE THE EARTH MORE

「ラブ・ジ・アース・モア」水や土などの環境と人間の  
共生に取り組むクボタからの呼びかけです。

株式会社クボタ

87年度ノーベル医学・生理学賞受賞 利根川 進

屋根で  
力ラダを  
張る鉄。



雨、台風、嵐、暴風、雪・屋根が立ち

向かうものを考えたら、最初にアタマに浮かぶような

ものです。しかし、これだけ

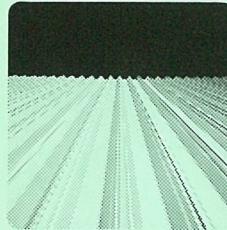
ではありません。例えば、家

の中で起こった子供たち

のケンカの声。外で走って

いる車の音などの騒音。そ

して、万が一の地震も…。毎日の何気



ない「平和」をつくってくれる屋根も、

実は日新製鋼のファイン

スティールでできているの

です。鉄に頼もしいをブラン

スすれば、毎日はもうとほ

つとできると思う。ただの

鉄の塊が、人に近くなる

とき、そこにファイン・スティ

ール、そして日新製鋼がいるはずです。

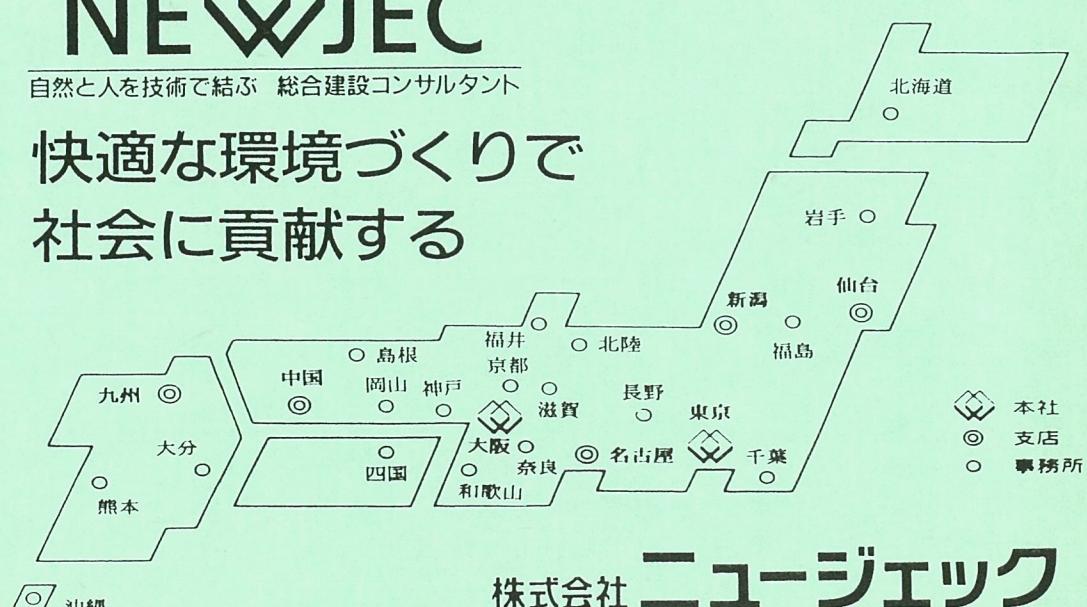
## 鉄十頼もし=ファインステンレス、日新製鋼の仕事です。

日新製鋼株式会社 〒100 東京都千代田区丸の内3丁目4番1号(新国際ビル) ☎ 03-3216-551

**NEW JEC**

自然と人を技術で結ぶ 総合建設コンサルタント

### 快適な環境づくりで 社会に貢献する



株式会社 **ニュージェック**

取締役社長 錦織 達郎

大阪本社：大阪市中央区島之内1-20-19 TEL. 06-245-4901  
東京本社：東京都文京区西片1-15-15 TEL. 03-5800-6701

# Suiyōkwai-Shi

TRANSACTIONS OF THE MINING AND METALLURGICAL  
ASSOCIATION  
KYOTO

## CONTENTS

<b>Memorial Lectures in the Annual Meeting of Suiyōkwai</b>	
NEDO's Role in Promoting Energy Conservation in Southeast Asia	
—An Energy Conservation Project in the Indonesian Cement Industry—	
.....	Yoshinori UMEZU..... 413
Pursuit of Happiness .....	Hideo SINGU..... 427
<b>Lecture</b>	
Metallurgy of Titanium (IV) — A Historical Review— .....	Joichiro MORIYAMA..... 437
<b>Review</b>	
Recent Progress of Research and Developments in Rare Earth	
Permanent Magnet Materials .....	Satoshi HIROSAWA..... 448
<b>Forum</b>	
Petroleum Industry in Japan	
—Points at Issue and Problems in Future— .....	Eiji YONETSU..... 456
Research Interests	
My Research Interests .....	David R. JOHNSON..... 458
Materials Design in the Development of a New Metallic LB Film	
.....	Kazuyoshi OGASAWARA..... 458
Diffusion barrier properties between Si and Cu .....	Hidetsugu MORI..... 460
In the department of the materials science and engineering .....	Kouichi HAYASHI..... 461
Vapor Phase Separation of Rare Earth Elements .....	Kuniaki MURASE..... 462
Suiyōkwai Information .....	465
Letters to Editor .....	469

Department of Mineral Science and Technology

Department of Metallurgy

Department of Metal Science and Technology

Kyoto University

Japan