

水曜會誌

第22卷 第9号

目 次

退官記念講演

| | | |
|-------------------------|-------------|-----|
| 40年間の研究・教育を顧みて | 佐々 宏一 | 543 |
| 京都大学での教育・研究生活を顧みて | 中廣 吉孝 | 551 |

大会記念講演

| | | |
|--------------------------|-------------|-----|
| アルミニウム工業の最近の話題について | 佐藤 史郎 | 560 |
|--------------------------|-------------|-----|

論 文

| | | |
|---|---------------|-----|
| 熱間圧延用冷却廃水からの γ -Fe ₂ O ₃ の回収 | { 塚田 虎之 | 573 |
| | { 岩瀬 正則 | |

講 座

| | | |
|------------------------|-------------|-----|
| チタニウムの製錬の歴史 (VI) | 森山徐一郎 | 580 |
|------------------------|-------------|-----|

談 話 室

| | | |
|------------------------------|-------------|-----|
| 鉄系合金薄膜のマルテンサイト変態に関する研究 | 森戸 茂一 | 589 |
|------------------------------|-------------|-----|

会 報

| | | |
|-------|-------|-----|
| | | 591 |
|-------|-------|-----|

会 員 消 息

| | | |
|-------|-------|-----|
| | | 593 |
|-------|-------|-----|

会 員 の 声

| | | |
|-------|-------|-----|
| | | 598 |
|-------|-------|-----|

平成9年12月20日発行

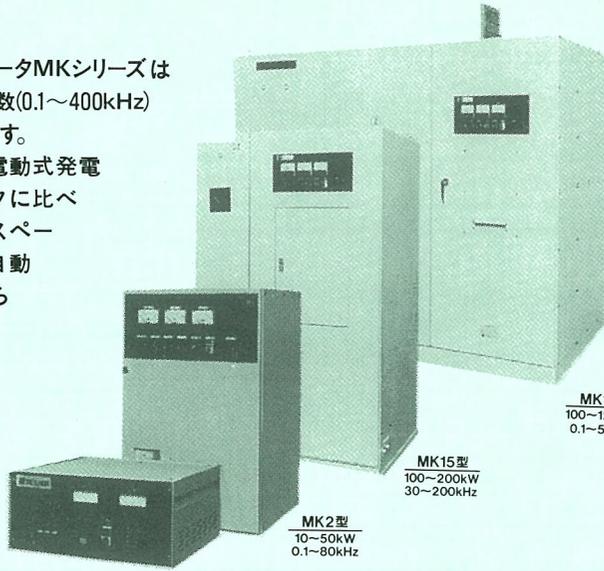
京 都 大 学

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

ネット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。

MK20型
2.5~60kW
80~400kHz



MK2型
10~50kW
0.1~80kHz

MK15型
100~200kW
30~200kHz

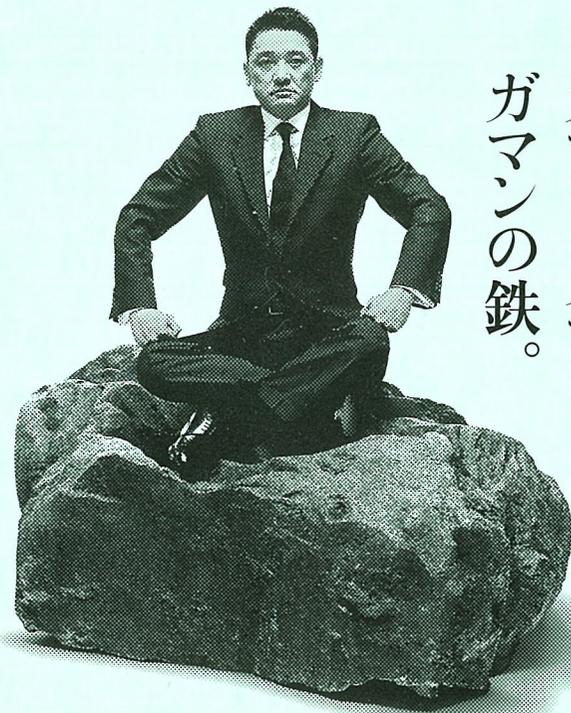
MK12型
100~1200kW
0.1~50kHz

NETUREN
高周波熱錬株式会社 (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.03-3443-5441 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 豊明市省掛町八幡前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

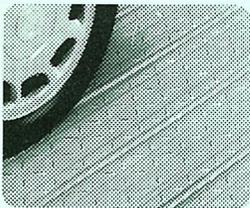
ガマン、ガマン、
ガマンの鉄。



忍耐根性、堅忍、不屈。ワシの大好きな言葉である。ワシ、立体

長寿を誇る鉄である。軽自動車から

駐車場。ワシのたくましい身体は、ガルタイトという名の鉄。日新製鋼という名の会社につくられた。亜鉛メッキにアルミが入っているから、ひか一の耐食性と絶妙な加工性をもつ。いく



つになっても肌にあたりたりせず、れば日本の未来も頼もしいだろう。大型トラックやバスまで、ワシはありとあらゆる車体を背中に乗せる。人間様のためにガマン、ガマンの人生を送るのがワシの至福。近ごろの若者はガマンが足りないなどと言われるが、ワシの子孫がたまたま生まれ

鉄+忍耐=ファインステール、日新製鋼の仕事です。

新・素・材・で・未・采・に・挑・む



ブレイクスルー。

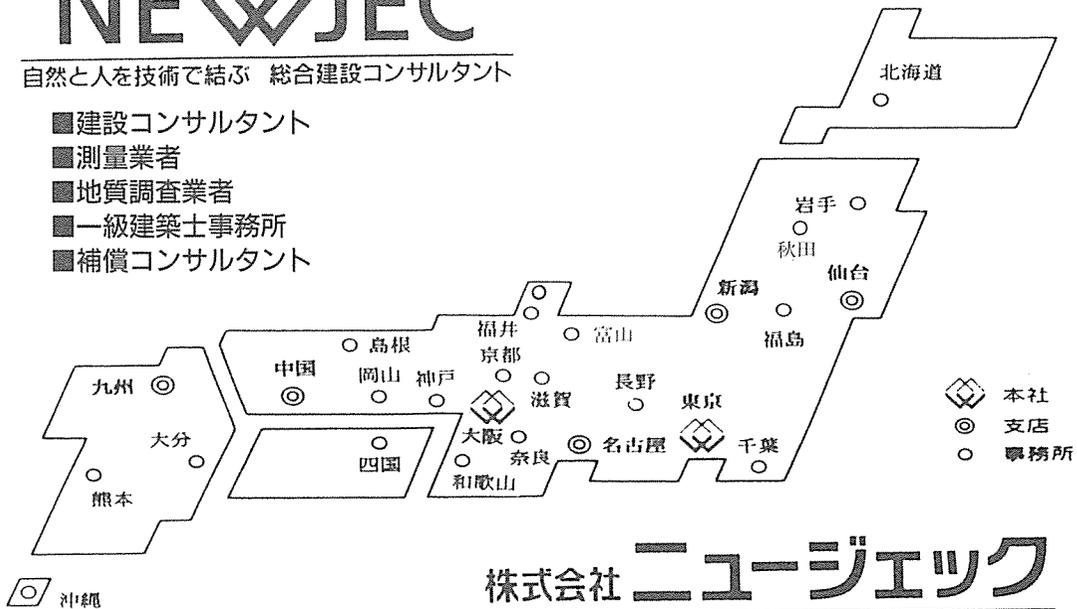
私たちはいつも考えています。つねに可能性を追求し、
カラを破ることを。柔軟な創造力と、たくましい
行動力で明日を拓く。私たちは日立金属です。

日立金属株式会社 高級特殊鋼 エレクトロニクス関連製品 自動車用部品 配管機器 機械・建築構造品 プラント

NEO JEC

自然と人を技術で結ぶ 総合建設コンサルタント

- 建設コンサルタント
- 測量業者
- 地質調査業者
- 一級建築士事務所
- 補償コンサルタント



株式会社 ニュージェック

取締役社長 吉村 清宏

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

ミケランジェロやラファエロに代表されるフレスコ画。石灰しっくい、作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えます。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てて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



創業以来50余年

私たちは合金生産技術の可能性を
追求しています。

**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

**銅合金
鑄造加工**

HZ合金CE、各種青銅、真空脱ガス
処理による鑄造品



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(代) | FAX (0776)85-1313 |
| 大阪 | 〒567 | 茨木市五日市1丁目2番1号 | TEL (0726)26-1313(代) | 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(代) | FAX (03)3278-1329 |

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います。エキサイティングに。

フレームバスター

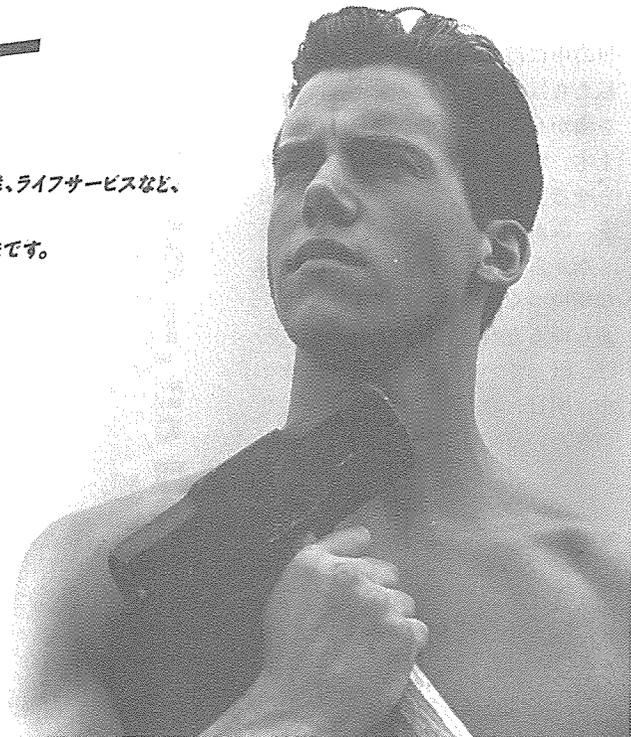
いつも新しい何かにチャレンジしていきたい。

現在の自分から飛び出そうとする人を大切にしていきたい。

新日鉄はいま、エレクトロニクス・情報通信、化学、都市開発、ライフサービスなど、さまざまな分野に活動のフィールドを拓けています。

未知の可能性を創造していく「フレームバスター」、新日鉄です。

新日鉄





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 (MSK)

— 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 8億7,150万円

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
粉体研究所

明石市魚住町西岡1455番地 ☎674-0084 ☎078(942)2112代

工 場

本社工場・土山・土浦・長野・岡山・九州

営 業 所

東京・大阪・神戸・名古屋・九州

ホームページ <http://www.nkk.co.jp>

世の中に役立つ新しいものをつくる。
私たちはそのためにさまざまな知恵
を働かせます。計測、制御、機械、
土木、建築、新材料、情報工学とあ
らゆる領域の技術とノウハウの蓄積
を、みがき上げ、組み合わせ、実証
しながら、社会の基盤づくりや快適
な環境づくりに貢献してきました。
あらゆる方向に発想のアンテナを広
げ、眠っているすぐれた知恵の数々
を、明日へのものづくりに活かして
いきたいとNKKは思います。

知恵があります。

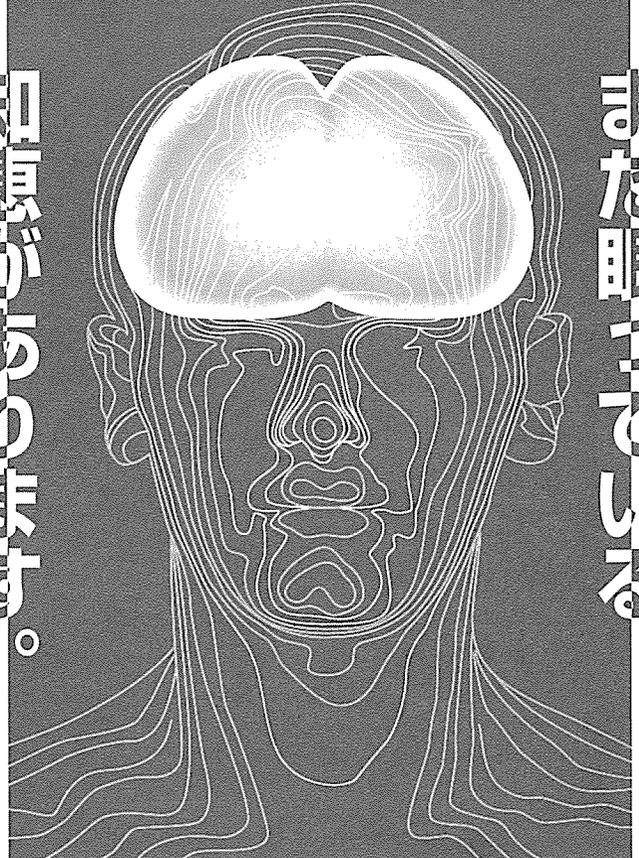
まだ眠っています。



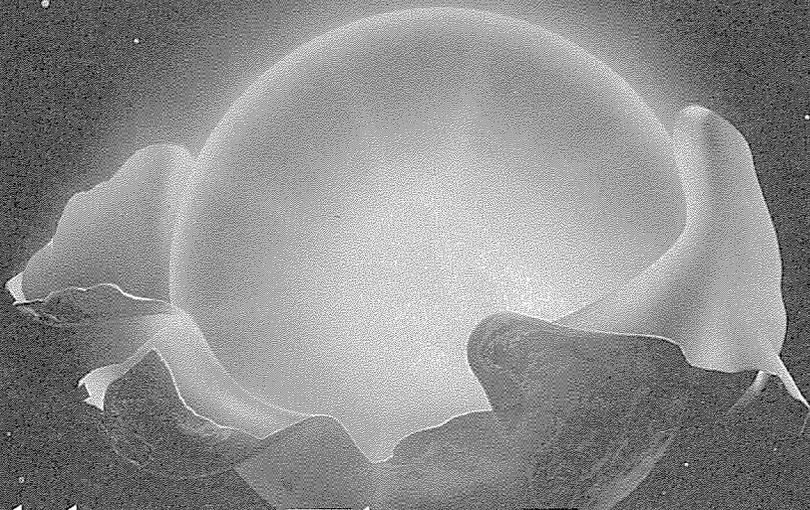
NKK

日本鋼管株式会社

〒100 東京都千代田区丸の内1丁目1番2号



今ここを、未来にします。



Here, The Future

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」。

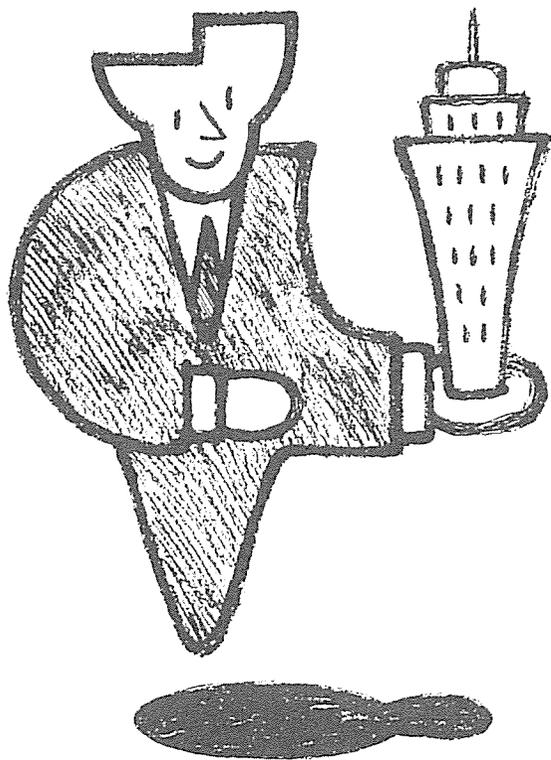
日立といっしょに、ひとりひとりが望む未来、

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)3259-1111(大代)



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土代町1番地

PHONE.(03)3296-9600

「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。

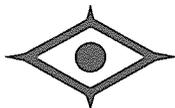
鉄を変える力に、今、喜びと感動を感じつつ……。



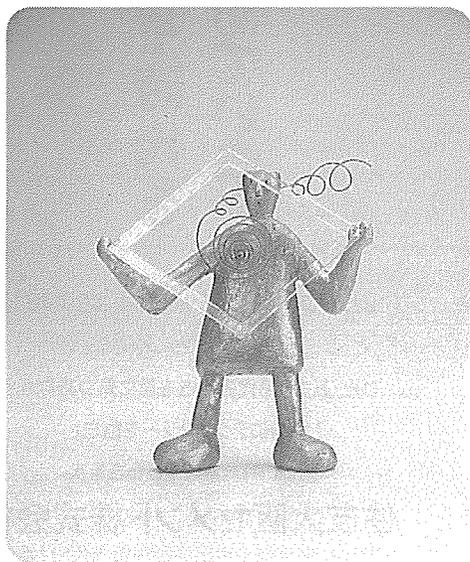
テクノハート・カンパニー
住友金属

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。

業界最高級の技術力を誇る線材二次製品の総合メーカー



神鋼鋼線工業株式会社



より高度な技術を駆使して、
ひとつひとつの夢を結実させる。

——— これがわが社のテーマです。 ———

■本社

〒660 尼崎市中浜町10番地 1
TEL(06)411-1051代 FAX(06)411-1056

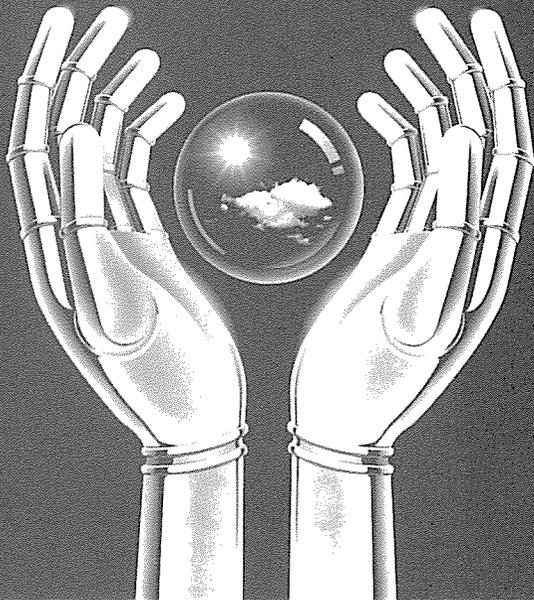
■東京支店

〒103 東京都中央区八重洲1丁目5番20号 石塚八重洲ビル
TEL(03)3272-4671 FAX(03)3272-4680

■大阪支店

〒541 大阪市中央区北浜2丁目6番17号 大阪神鋼ビル
TEL(06)223-0704 FAX(06)201-3476

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、サントイル、
サーモコイル、トリスタン計商用超真空材

■ FAMILY

食品医薬品包装材、容器、アルミ缶、家庭日用品等



昭利アルミニウム株式会社

東京都千代田区飯田橋3丁目6番5号 102-0003 (3239) 5321



「より速く、もっと快適に、

そしていつも安全に」

営業品目／ロープウェイ

ゴンドラリフト

チェアーリフト

Tバーリフト

Jバーリフト

プラットーリフト

スーパースライダー

ウォーターライド

トランスモービル

人工造雪機

各種ゴルフ場機器



安全索道株式会社

本社及び工場：滋賀県甲賀郡水口町笹が丘1番地13 (0748) 62-8001
東京本店：東京都中央区日本橋本石町3-2-12 (03) 9241-2361

JOMO

いつもの緑のステーション。

JOMOステーション

株式会社 ジャパンエナジー

 ジャパンエナジーに関する情報はインターネットでどうぞ。
<http://www.j-energy.co.jp/>

FORCA トウシート工法

『強度が鉄の10倍、重さは4分の1』
炭素繊維の持つパワーを御存知ですか……

トウシート工法は一方向配列の炭素繊維シートを常温硬化樹脂を用いてコンクリート表面に貼り付けるだけの、施工性に優れた補修・補強工法です。

重量の増加を伴わずに高い補強効果を発揮するので、
橋梁施工で今一番関心が高い橋脚耐震補強や、床版の
日活荷重・トンネル・煙突・その他コンクリート構造物の
剥落防止やひび進行防止などにも素早く対応できます。



▲橋梁(張出床版)への施工例

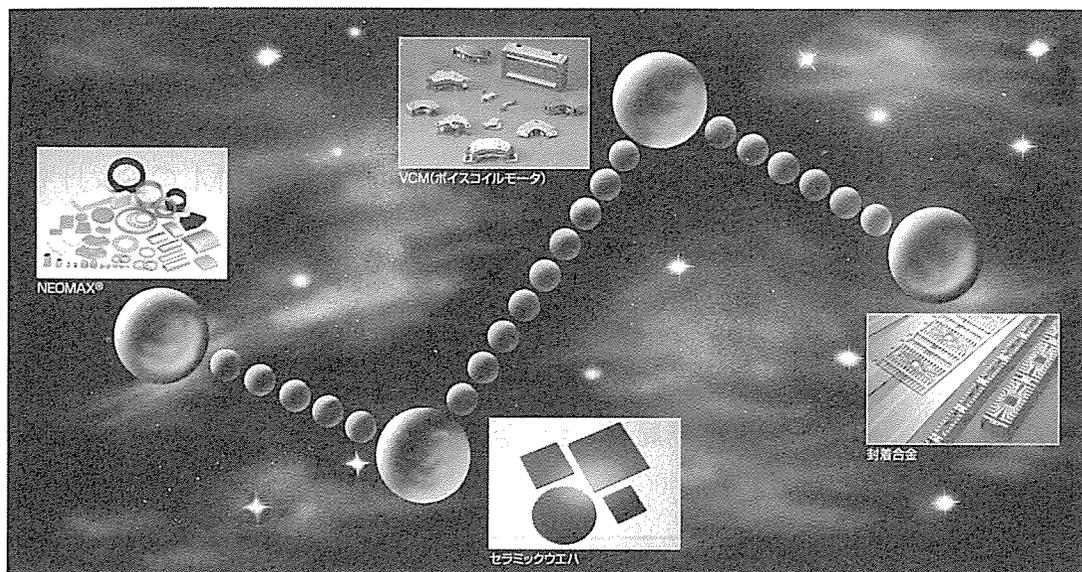
トウシートの優れた性能を今すぐお試しください。お問い合わせは……

 東燃株式会社 トウシート事業室

TONNEN

東京都渋谷区広尾1-1-39 恵比寿プライムスクエアタワー 〒150 TEL:03-5778-5186 FAX:03-5778-5074

エレクトロニクスの向こうに、 新しい時代が見えてきます。



私たちは今、本格的な高度情報化時代を迎えようとしています。こうした新しい世界の創造の先駆けとなってきたのが、コンピュータを中心とするエレクトロニクスの加速度的な発展と進化です。住友特殊金属がKS磁石(永久磁石)を世におくりだしたのが1918年。以来今日まで、より高度化するニーズに応えるとともに、マグネットをはじめセラミックス、金属電子材など、常に世界をリードする製品開発を通し、エレクトロニクス産業の発展を支えてきました。やがてくる新しい社会へ—————。私たちは研鑽と探究を怠ることなく変わらぬ姿勢でエレクトロニクスとともに未来を目指します。

■事業内容

マグネット/NEOMAX®(希土類磁石)、フェライト磁石、鋳造・焼結・圧延磁石
セラミックス/磁気ヘッドコア、セラミックウエハ、PLZT(光素材材料)
磁石応用製品/MRI用磁気回路、VCM、マグロール、その他磁石応用製品
金属電子材/封着材料、バイメタル、クラッド、磁性材料
仮焼原料/フェライト磁石用原料

エレクトロニクスの未来を考える
住友特殊金属

本社/〒541 大阪市中央区北浜4-7-19 住友ビル第3号館 TEL.06-220-8822/FAX.06-220-8909
東京本社/〒171 東京都豊島区高田3-13-2 高田馬場TSビル TEL.03-5952-8530/FAX.03-5952-8558

品質第一 すべての基本

J I S 規格票の販売と(株)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

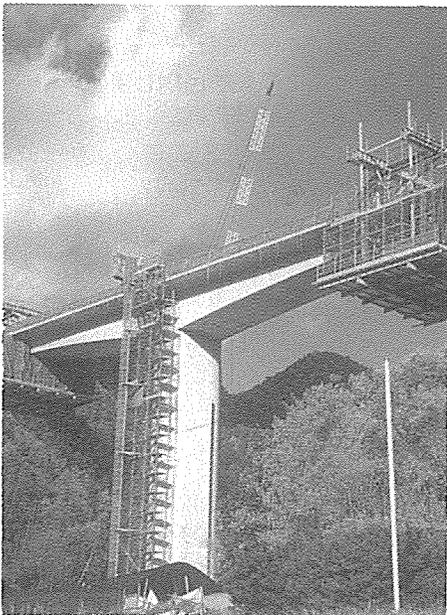
(財)日本規格協会関西支部

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

技術と信頼と無限の可能性

機動建設工業株式会社



MAIN TECHNOLOGY

PCタンク
PC橋梁
推進工法
シールド工法

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4-6-31 TEL 06-458-5461

東京支社 〒112 東京都文京区向丘1-8-12 TEL 03-3813-3641

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。

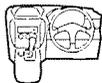


**新フクフク
ピークル**

◎走りボタノシ-

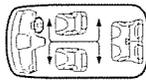


パワーがタノシ、
燃費がウレシ、
環境にヤサシ、
「2.4L GDIエンジン」

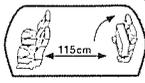


タノシさ、おもいのまま。
「INVECS-II
スポーツモード4A/T」が
インパネシフトに。

◎スペースボタノシ-



タノシさ、行きかう、
仲間とワイワイ、
「ワークスルー」
*安全のため走行中は
移動しないでください



タノシさ、のりのり。
「115cm
超ロングスライド&
テップアップシート」



ALL NEW フルモデル進化。

**RVR
GDI SPORTS GEAR デビュー**

PHOTO: RVRスポーツギア X²・4WD・4人乗り(オプション装着車) ●全長×全幅×全高: 4480×1740×1720mm
●最高出力(ネット): 165PS/5500rpm ●最大トルク: 23.5kg-m/3500rpm

●RVRの詳細情報はインターネットでもアクセスできます <http://www.gdi-rvr.com/>

カープラザ店へ

GDIで走ろう。

CAR PLAZA
20th
ANNIVERSARY
1987-2007
3-7-4

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 京都市左京区川端丸太町東入ル (075) 751-7755(代)

FAX (075) 751-0294

滋賀営業所 〒523 滋賀県近江八幡市古川町1173-68 (0748) 36-6682

FAX (0748) 36-6683



ダイハツ工業株式会社

ダイハツ

●スピードは控えめに、シートベルトはしっかりと。

We do COMPACT.

21世紀に向けて、

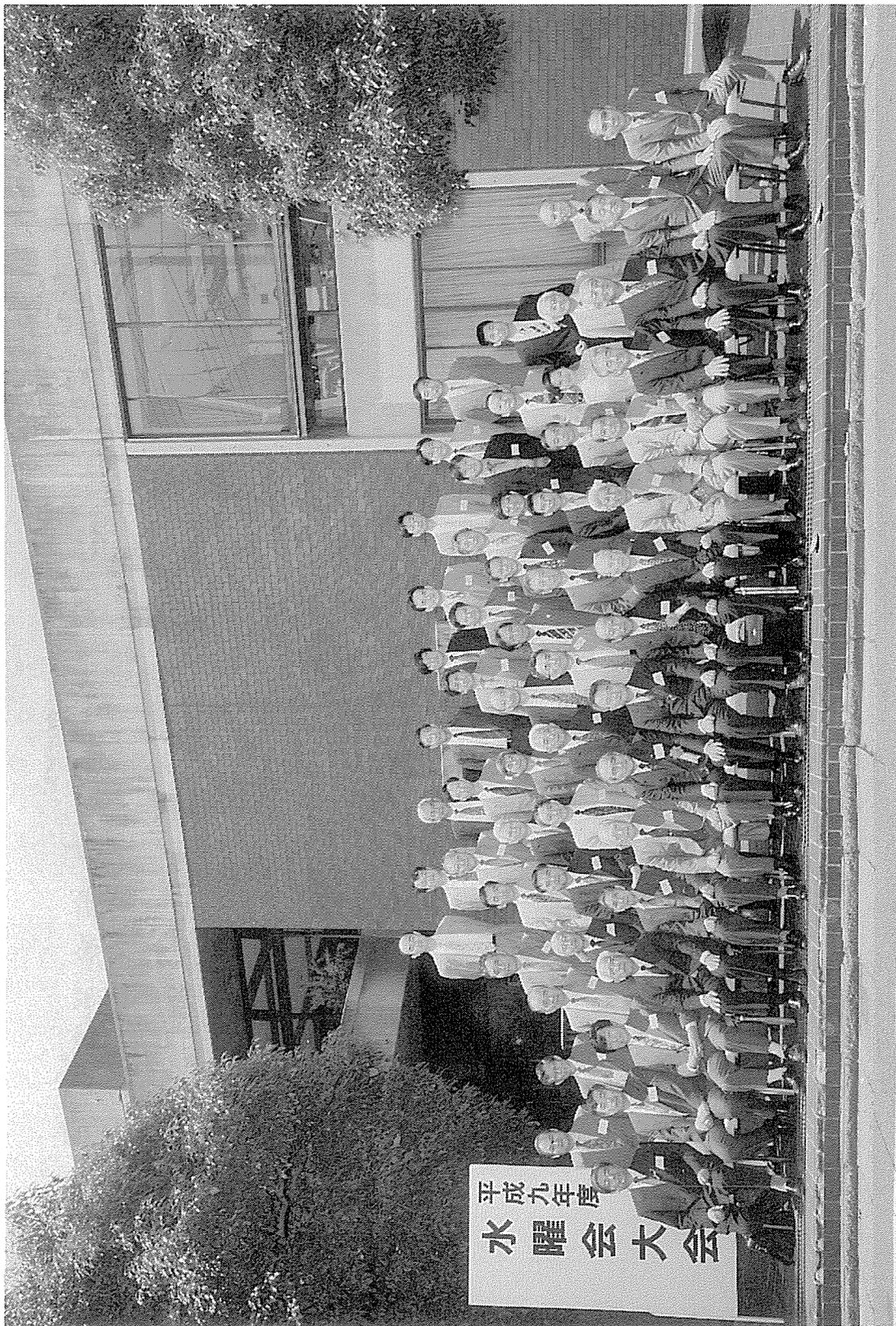
社会や地球にとって「重荷」にならないクルマを。

それでいて、さまざまな個性を持ち、

夢や満足をたっぷり乗せたクルマをつくっていきたい。



ムーヴ SR-XX



平成9年度 水曜会大会 記念写真（平成9年6月14日 京大会館にて）

高田新司
 過本得藏
 永田公三
 長村光造
 中谷恒三
 菅野強
 足之心雄
 木村英三
 植田正明
 若松孝英
 楠井 糶
 佐藤史郎
 小島勢一
 奥川卓爾

三浦春樹
 小椋一真
 中野一真
 新川新三
 野田正和
 野田正和

史良
 田本
 田出
 田之
 田平
 田里
 村上
 龍田
 北口
 藤田
 田田
 富岡
 朝日
 渡辺
 赤澤

水曜会大会

平成九年六月十四日

有朋自遠方来 不亦樂乎

齊藤 敬明
 栗倉 泰弘
 田中 美博
 赤澤 正久
 塩出 啓典
 阿部 光延
 岩田 徳重
 齋藤 修二
 向井 滋
 八田 夏夫
 宮崎 勢郎
 小岩 昌宏
 小田 嶋弘
 小島 勢一
 奥川 卓爾

退官記念講演

40年間の研究・教育を顧みて

佐 々 宏 一*

Retrospection of My Research Life over Forty
Years at Kyoto University

by Koichi SASSA

本日はご多用中のところ、名誉教授の先生方や工学部長先生を始め、このように多くの方々にご出席頂き、感激致しております。心から厚く御礼申し上げる次第でございます。

長年にわたり、ご指導、ご支援を賜りました皆様方の前で、40年間の京都大学での研究・教育を顧みる話ができますことは、私にとって大きな喜びでございます。

只今は、資源工学教室の専攻長である花崎先生からご丁寧なご紹介を頂き、誠にありがとうございました。

退官記念講演といえますと、その方が究められた専門分野の研究の発展の経緯などを述べられることもありますが、今日がご参集頂いた皆様方は、これまでの親しい交わりを通して、私の人生に大きな影響を与えて頂いた方ばかりでございますので、その時期に巡り合えた人々から多くのことを教えられ、それによって、私の今があることをお話ししようと思いました。ただ、過去の資料などを調べる余裕が無く、歳と共に急激に薄れはじめた記憶のみに頼って話を致しますので、厳密さに欠ける部分もあるかと思いますが、お許し願いたいと存じます。

私は学部4回生のときに物理探鉱学講座、現在の探鉱工学講座に配属され、昭和31年に吉住研究室の第1回卒業生として卒業致しました。その後すぐ大学院に進学しましたが、大学院では伊藤先生が担当しておられた探鉱学第1講座、現在の開発工学講座に所属し、昭和36年に博士課程を所定の単位を取得して退学し、京都大学工学部に採用され開発工学講座の助手として研究・教育に従事することになりました。その後、昭和38年10月から2年間、カナダのナショナルリサーチカウンシルから奨学金を支給されて、カナダの資源・地質調査関係の国立研究所の客員研究員として研究に従事し、帰国後、昭

和43年に講師に昇任致しました。昭和52年に吉住先生に声をかけて頂いて、探鉱工学講座に助教授として戻ることになり、昭和58年に教授に昇任し、今年の3月までの20年間探鉱工学講座で教育・研究に従事致しました。この間、伊藤一郎先生、吉住永三郎先生を始め、多くの先生方から多大なご教示とご鞭撻を賜りました。ここに、心より厚く御礼申し上げる次第でございます。

さて、40年を顧みますと、私の研究の中心になっているのは、電子計算機の利用と現場実験だろうと思っています。

まず卒業研究は、さきほど申しましたように、物理探鉱学講座に配属され、清野先生、吉住先生、谷口先生、入江先生のご指導を受け、電磁探査法の一つである中心誘導法に関する実験的研究を行いました。この卒業研究を通して、電磁誘導現象と電子回路の勉強をさせて頂き、非常に有益な1年間でした。大学院では、探鉱学第1講座、現在の開発工学講座に所属し、修士課程では、爆薬が爆発したときの圧力である爆轟圧に関する研究を致しました。この時、マイクロセカンドオーダーの現象を測定するために、特殊な後段加速ブラウン管というブラウン管のみを購入し、当時、その研究室で助手をしておられた藤中先生と共同で測定装置を作り、京都府の亀岡市にある大谷鉱山で、爆轟圧を測定する実験をさせて頂いたのが、最初の現場実験でした。ついで、日本鉱業(株)の日立鉱山で実験させて頂き、爆轟圧の測定に成功致しました。

なお、爆轟圧や爆速に関する研究はその後も継続して行っており、カナダの国立研究所や滋賀県の旭化成工業(株)あいは野工場、住友セメント(株)多賀鉱山、九頭龍ダム建設現場などでも実験をさせて頂きました。これらの一連の研究で昭和47年に(社)火薬学会から論文賞

*京都大学名誉教授

を授与されております。

大学院のドクターコースの1年生の頃に、装薬孔内に作用する爆轟圧の測定に成功致しましたので、次に、この爆轟衝撃によって岩盤内に発生する動的応力の解析を始めました。当時米国においては、歪みゲージを岩盤内に埋め込んで歪みを測定するというのが主流でした。この方法では正しい応力は測定できません。そこで私は、波動による岩盤粒子の振動を測定することによって、動的応力を求める方法について検討を進め、独自の方法を考え出しました。

丁度その時、京都大学に最初の電子計算機であるKDC-1という名称の(株)日立製作所製の計算機が導入され、清野先生が計算機室長を兼務しておられました。この計算機はマシンランゲージでプログラムを作り、孔をあけた紙テープで入力するという、今考えれば気の遠くなるようなものでしたが、これを用いて実測データを解析し、動的応力を求めました。これが、電子計算機との最初の出会いとなりました。この電子計算機のおかげで、1自由面発破のときに岩盤内に発生する動的応力が解析でき、「爆破による岩石の破壊機構に関する研究」と題する博士論文をまとめることができました。この研究に際しては、日本鉱業(株)の京都府の大江山の近くの鉱山や日立鉱山、山形県の赤湯の近くの鉱山などで現場実験をさせて頂きました。

これらの一連の研究の成果を、伊藤先生が米国のミズリーで開催されたRock Mechanicsのシンポジウムで発表されたのがきっかけとなり、カナダ政府から奨学金を得て、カナダの国立研究所において客員研究員として、昭和38年から2年間研究させて頂くことになりました。

カナダでは私は非常に恵まれており、丁度、発破のプロジェクトがその研究所のメインプロジェクトとして設定された時で、そのプロジェクトのプロジェクトリーダーとして研究計画から参画することができました。歳が若く、しかも客員研究員である私をそのように扱ってくれた当時その研究所の所長であったD. F. Coates博士に対して感謝すると共に、我が国では考えられないことだと痛感しました。これは多分、私の学位論文の内容をいくつかの論文としてまとめ英文で発表すると共に、米国で開催されたRock Mechanicsのシンポジウムでも発表しており、その内容を理解して頂いていたことと、それらの内容がこのプロジェクトの目的と一致したからであろうと思っています。当時、京都大学には、先程申しましたように、フォートランが使える計算機はありませんでしたが、カナダの研究所には既にフォートランが使える計算機がありましたので、早速、フォートランを勉強し、1自由面発破の場合に岩盤内に発生する応

力を解析しそれを用いて発破による破壊状況を予測する計算プログラムを完成させました。この応力解析プログラムを用いて予測した破壊状況と実際に発生した破壊状況とを対比するための現場実験をニューファウンドランド州のキャローレイクにある鉄鉱山で実施することになり、プロジェクトリーダーを任されていた私が一人で現場に出張して実験計画の打ち合わせを行い、チャーターした飛行機(DC-3)に実験装置を積み込むと共に5~6人のスタッフが乗り込んで実験現場へ行く、といった大がかりな現場実験をすることができ、満足する成果が得られました。この一連の研究の成果は高く評価され、その概要はその研究所の75年間の研究の歴史をまとめた「A Canadian Research Heritage」と題する本に記載されており、大変嬉しく思っております。

カナダから帰国する少し前に、このプロジェクトの成果を報告する2日間の発表会が開催され、カナダ及び米国のこの分野の研究者が集まりました。第1日の午前中はずっと私が一人で研究成果を説明し、午後はその発表に対するディスカッションというかなりハードなものでしたが非常に良い勉強になりました。その時に、Tensor Codeを作ったカリフォルニア大学のLawrence Rivermore研究所の人と出会うことができ、Tensor Codeのアイデアの説明を受けました。帰国後すぐ、この考え方による波動現象のシミュレーションプログラムのプログラミングを始め、出来上がったプログラムをDays-2 Codeと名付けました。このプログラムはその後改良を重ね、今でもまだ利用できる状態で、このプログラムを用いて解析した不均質材料内の波動現象に関するシミュレーション結果をまとめた、芦田先生と地質調査所の木口さんとの共著論文で、平成2年に物理探査学会から論文賞を頂いております。

また、このプログラムは本州四国連絡橋公団のご好意により、備讃瀬戸大橋建設のための海底発破のシミュレーションに使わせて頂けることになり、計算機によるシミュレーション結果と実際の海底発破の時の実測結果とを比較することができ、両者がほぼ一致することが確かめられたことは、非常に嬉しく、幸せであったと感謝しております。今日もお出で頂いている、本四公団におられた大塚さんをはじめ、本四公団の当時の杉田所長と関係各位、及び、横浜国立大学の教授であった福山先生、現在、横浜国立大学教授の小川先生などに深く感謝している次第でございます。この備讃瀬戸大橋建設に関する調査研究では、伊藤先生、寺田先生、花崎先生、をはじめ、昭和40年代の開発工学研究室の卒業生達と瀬戸内海の大三島や香川県坂出市での多くの現場実験の思い出があります。

また、このDays-2 Codeを用いた動的破壊現象に関

する研究は、破壊のメカニズムの解明を始め、無自由面発破という新しい発破工法の開発に繋がり、予備発破、打掛け発破という新しい発破工法の出現の基礎になったと思っております。この種の研究は開発工学講座のみならず、探査工学講座でも進められております。

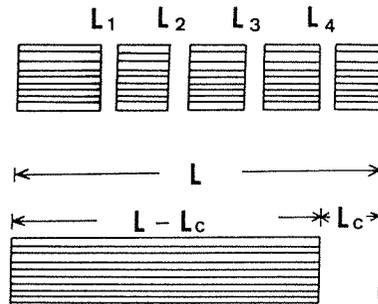
この Days-2 Code とともに、有限要素法にも多くの思い出があります。私が行っていたカナダの研究所に約半年間、サマースチューデントとして勉強をしてこられた、京大の土木工学教室におられる谷本先生が有限要素法の基礎を学んで帰国され、研究室に有限要素法を持ち込みました。当時はまだ有限要素法は京大では開発段階であり、花崎先生などと共に、当時、山小屋と呼ばれていた古い木造の建物の2階で有限要素法のプログラムについて勉強し、CCR とか SLB といった商品名で発売されていたコンクリート破砕器によって発生する準静的圧力によって、材料内に発生する応力やそれによる破壊に関する研究などを行うと共に、日本化薬(株)の姫路工場や旭化成工業(株)の延岡工場などで、現場実験をしていたことも思い出されます。

有限要素法は探査工学講座に移ってからは電気探査に関連するポテンシャル問題の解析に利用し、三角形6接点要素を用いたポテンシャル問題の解析プログラムや純粋3次元有限要素法の基礎的プログラムを作ったことなどが思い出されます。また、電気探査に関しては、吉住先生のご指導を受け、菅野先生を始め、現在、三井金属資源開発(株)の斉藤 章先生、動力炉・核燃料開発事業団の長谷川先生と共に、比抵抗法や電磁法の研究を多くの学生と共に進めており、今日ここで、それらの方々とお会いし、一つ一つが懐かしく思い出されます。

昭和40年代から高まった振動・騒音等の公害問題に関連し、発破振動・騒音の特性とその軽減対策に関する研究が、滋賀県草津の採石場での調査研究から始まり、本四連絡橋建設や関西新空港、広島新空港建設に関する調査・研究へと繋がり、現在でも、関西空港の2期工事のための土砂採取に関連する調査研究へと進んでおります。

これらの研究では、開発工学講座、及び、探査工学講座の多くの卒業生が活発な研究を進めていたことや、三菱鉱業セメント(株)の東谷鉱山や山陽新幹線の三原トンネル、関西電力(株)の高浜など多くの現場での実験が思い出されます。

カナダに行く前に、岩石内に伝播する波動の伝播速度と振幅が破壊の直前に急激に減少するという実験結果を学会で口頭発表して以来、ずっと、現在も継続して続けている、岩石や岩盤内の波動の伝播特性、及び、弾性波探査結果の解釈に関する研究は、今日出席頂いており、このたび北海道大学の教授となられた金子先生などが推



第1図 時間平均速度説明図

進され、金子先生の立派な学位論文の一部となりました。また、この種の研究の成果を実際の岩盤監視に適用する研究を、三井金属鉱業(株)の神岡鉱山で実施させて頂き、貴重な成果をあげることができました。この研究に対して、昭和59年に(社)日本鉱業会より論文賞を頂くと共に、昨年の北海道豊浜トンネルでの崩落事故に関連して、建設省の委託で土木学会内に設置された「大規模岩盤崩壊に関する技術検討委員会」の報告書などにもこの方法が岩盤監視の有効な方法の一つとして紹介されております。

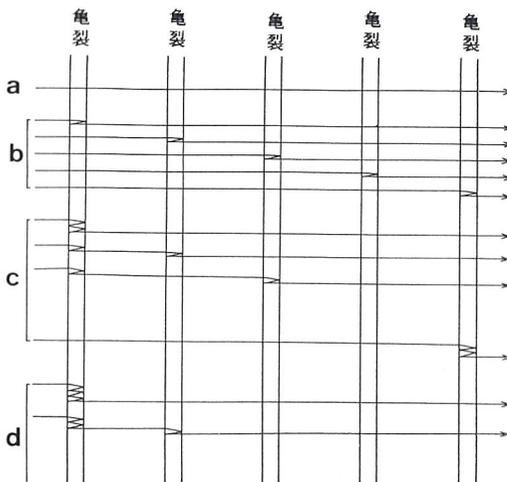
この種の岩盤内の弾性波伝播特性に関する研究は探査工学講座に引き継がれ、多くの有益な成果が得られましたが、ここでは、亀裂岩盤内の弾性波伝播速度の解釈にはWyllieが提唱した時間平均速度の概念が適用できないことを明らかにした研究成果の一部をごく簡単に説明させて頂きます。

いま、第1図に示すように、長さLの区間にn個の亀裂が存在し、それぞれの亀裂の厚さを L_1, L_2, \dots, L_n 、亀裂内の物質のP波速度を C_w とすると、それぞれの亀裂をP波が横切るのに要する時間は、 $L_1/C_w, L_2/C_w, \dots, L_n/C_w$ となりますから、区間Lについては $(L_1 + L_2 + \dots + L_n)/C_w$ となります。一方、この岩盤を構成している岩石のP波速度を C_r とすると、岩石部分をP波が伝播するのに要する時間は亀裂の幅の合計を $L_c (=L_1 + L_2 + \dots + L_n)$ とすると $(L - L_c)/C_r$ となります。したがって、この亀裂を含む岩盤をP波が伝播するのに要する時間はこの両者の和、すなわち、

$$\frac{L}{V_a} = \frac{L_c}{C_w} + \frac{L - L_c}{C_r} \dots\dots(1)$$

になると考え、Wyllieらはこの(1)式を時間平均式、 V_a を時間平均速度と呼んでいます。さらに彼らは岩石に対する物質としてアルミニウムを、亀裂内に存在する物質に対応する物質としてプラスチックを用いてモデル実験を実施し、実験結果が時間平均式を満足することを

示しています。しかし、ここで注意しなければならないことは、彼らの論文には、積み重ねた円盤の数が明記されていないことと、測定に使用された波動の周波数がプラスチック円盤の厚さのほぼ2倍程度であるということです。亀裂岩盤調査に用いられる波動の波長は数メートルであり亀裂の厚さはミリメートル単位ですから、波長が亀裂の厚さよりはるかに長い場合について検討せねばなりません。さらに、時間平均速度の概念は第2図の破線 a に示すように、亀裂面で常に透過のみを繰り返してきた破線の波動のみを取り扱っています。しかし、波動は境界面では透過すると共に反射します。従って亀裂岩盤を透過してくる波動は第2図の破線 a のみならず破線群 b, c, d に示すように破線経路内に亀裂内での反射を含む多くの波動の和で形成されます。そこで、

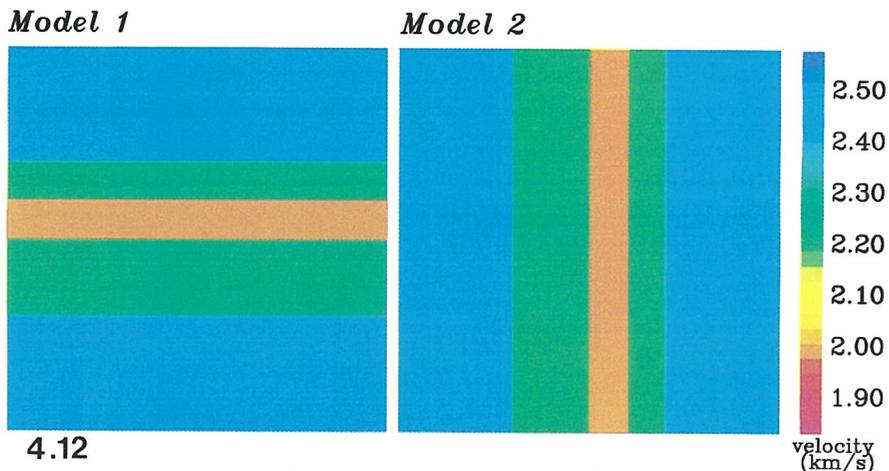


第2図 亀裂岩盤内の波動伝播

このことを確認するために、亀裂の幅の合計である L_c を一定に保ち、亀裂数を変化させた数種類のモデル、すなわち、厚い亀裂が少しあるモデルと薄い亀裂がたくさんあるが亀裂の厚さの合計は同じであるというモデルを作成し、モデル実験を行うと共に、これらの実験モデル内の波動伝播に関するモデル計算をコミュニケーションマトリックス法を用いて行い、実測された波形がモデル計算によって得られた波形と非常に良く一致することを確認すると共に、亀裂岩盤内の波動伝播速度は亀裂幅の合計が等しくても、亀裂の厚さが薄くなり数が多くなるに従って低下し、時間平均速度から等価均質速度へと移行することを明らかにし、亀裂岩盤の弾性波伝播速度の解釈に時間平均速度の概念が適用できないことを指摘しました。

弾性波探査反射法に関しては、マイグレーションやデコンボリューションなどの研究から始め、多くの卒業生が熱心に研究を進めていた姿が思い出されます。これらの研究は、この分野の第1人者である芦田先生の着任によって、飛躍的に発展致しました。

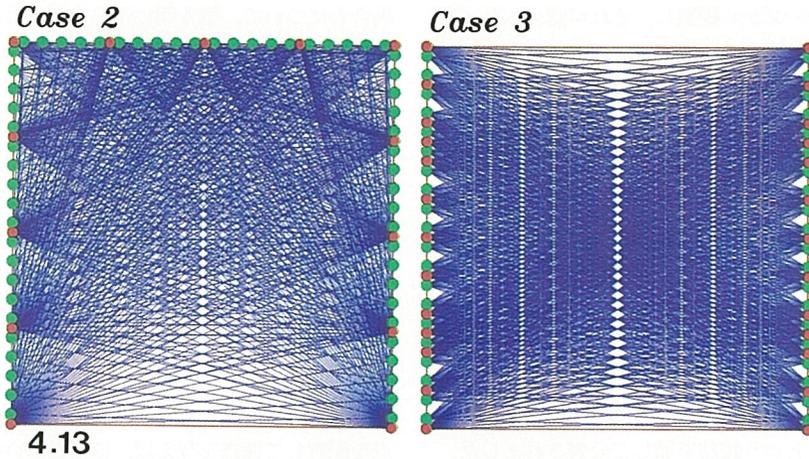
地下を可視化する技術である、弾性波トモグラフィーに関する研究も一つの大きな柱でした。高精度化に関するあらゆる研究が進められ、現在も活発に研究が進められております。渡辺先生をはじめ、多くの卒業生一人一人の研究業績の積み重ねによって、現在の研究室のポテンシャルが形成されたこととなります。この研究でも、三井金属鉱業(株)の神岡鉱山で現場実験をさせて頂き、速度トモグラフィーと減衰トモグラフィーに関する貴重な研究成果を挙げることができました。また、(株)四国総合研究所にお世話になり、香川県の送電鉄塔建設現場で現場実験をさせて頂き、これが、後で少し説明する予定の、トモグラフィーの精度向上に関する重要な一連の研究の始



第3図 解析モデル

まりとなりました。
弾性波トモグラフィに関しては、国際指針の作成も非

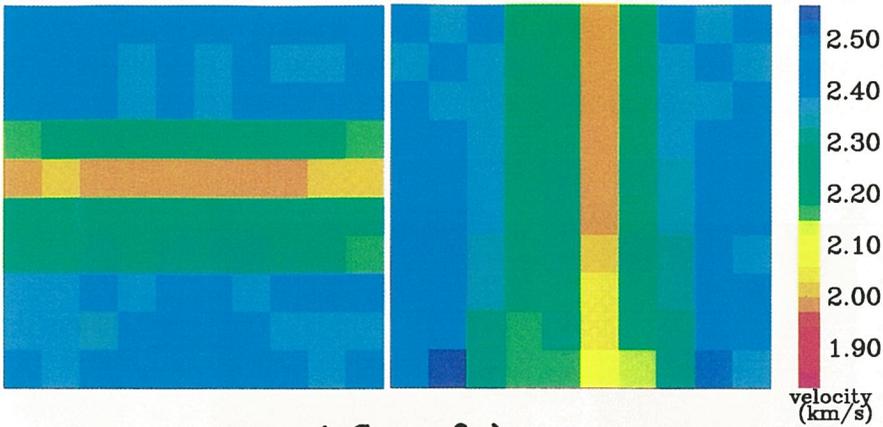
常に貴重な経験になりました。国際岩の力学学会、英語では、International Society for Rock Mechanics, 略し



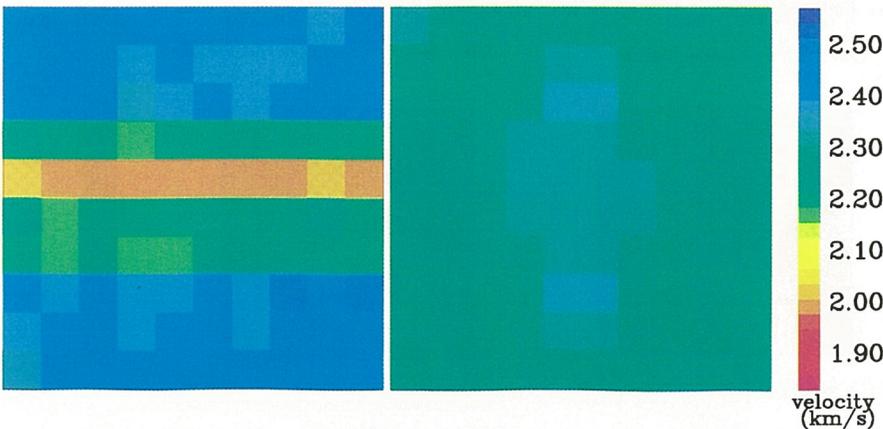
第4図 震源・受振点配置と震源と受振点の組合せ

Model 1

Model 2



(Case 2)



(Case 3)

第5図 逆解析結果

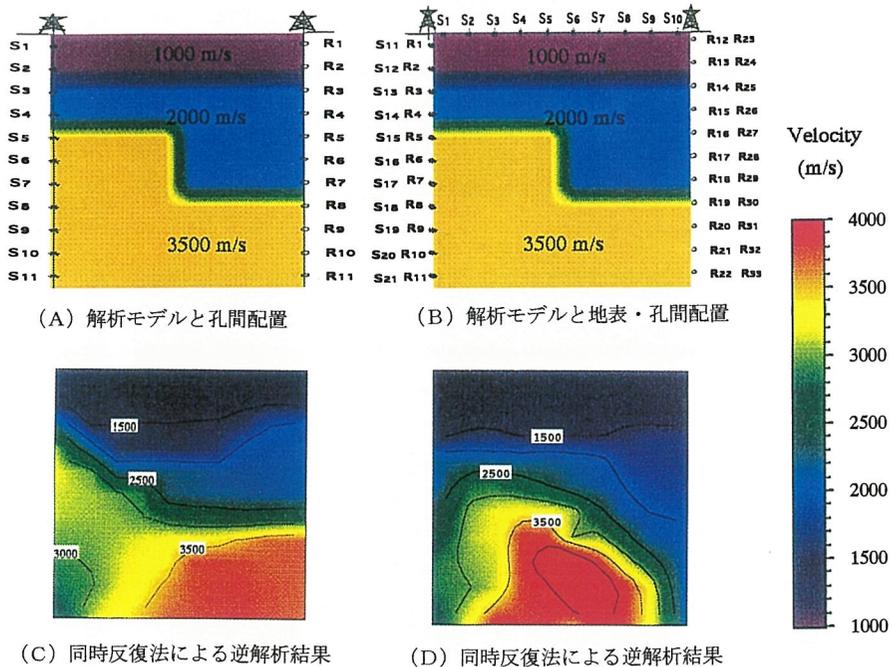
て ISRM と言いますが、この国際学会では各種の試験法の国際指針を作っております。この学会に、ボーリング孔を利用する岩盤調査に関する指針を作ることを、日本のナショナルグループから提案し、それが認められ、私がおの指針を作る委員会のコーディネーターに任命されたことから始まりました。

当時、弾性波トモグラフィは新しい手法で、スウェーデンのストリーパプロジェクトで適用されて以来、岩盤調査手法として注目されておりました。ボーリング孔を利用する弾性波による岩盤調査に関する指針を作るための委員会の発足が認められたことが学会から世界中に公表されると、世界各国から委員が推薦されて、10カ国から出てきた20名のメンバーで委員会が構成され、活発な意見交換を経て、約3年で指針が完成し、学会で承認され、International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences という雑誌を通して公表されました。また、英国の Imperial College の Professor John Hudson に依頼されて、この指針の内容を中心とした記事を執筆し、Pergamon Press 発行の「Comprehensive Rock Engineering」という本の「Geophysical Testing for Rock Engineering」と題する節に掲載されております。この国際指針では、正しい探査計画を立てて探査を実施しなければ、正しい地下構造が得られないことを、例をあげて、説明しています。すなわち、第3図の Modell に

示すように水平な低速度層がボーリング孔と交わるように存在している構造がある場合と、Model 2 に示すように垂直な低速度層がボーリング孔に平行に存在している場合とについて、第4図に示したように震源(赤●)と受振点(みどり●)とを地表とボーリング孔内に配置し、直線で結んだ震源と受振点の組み合わせで探査を行う場合(Case 2: 地表・孔間配置)と震源と受振点をボーリング孔内だけに配置する場合(Case 3: 孔間配置)とについてどのような探査結果が得られるかを示したのが第5図です。第5図より、調査領域の3辺に震源と受振点とを配置する地表・孔間配置(Case 2)では異状物が水平方向でも垂直方向でも低速度層を検出していますが、孔間配置(Case 3)ではボーリング孔に平行な方向に存在している低速度層は検出できないことがわかります。

このように説明すると、調査領域の3辺に震源と受振点を配置して探査を行えば、ほぼ正しい結果が得られるように思われがちです。しかし、地表付近に低速度表土層が存在していると、そうはいきません。低速度表土層の影響に関する研究は、先程申しました四国での現場実験のデータ解析に際して、その問題点が明らかになり、その悪影響の除去に関する研究へと発展致しました。

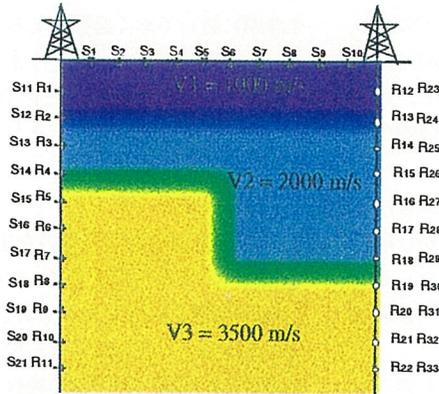
いま、第6図(A)および(B)に示すように、地表付近に弾性波速度が1000 m/sの低速度表土層があり、その下に階段状の断層構造がある場合について、A図に示



第6図 低速度表土層がある場合の解析モデルと震源・受振点配置、および一般に多用されている逆解析法によって得られた解析結果

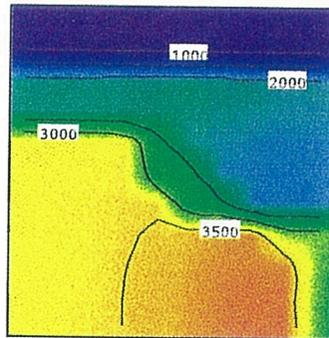
すように、ボーリング孔内のみならず震源と受振点とを配置する孔間配置で探査を行った場合に得られるデータに対して、通常多用されている逆解析手法である同時反復法を適用して得られた逆解析結果が第6図(C)であり、B図に示すように、ボーリング孔内のみならず地表にも震源を配置して探査を行う地表・孔間配置を用いて探査を

行った場合に得られたデータに対して、同じく同時反復法で逆解析した結果が(D)図です。孔間配置の方がやや良いものの、いずれの場合も断層構造は全く検出されていません。そこで、低速度表土層の探査に適している弾性波探査屈折法を用いて、低速度表土層の弾性波速度とその厚さが前以て探査され、既知となっていると考え

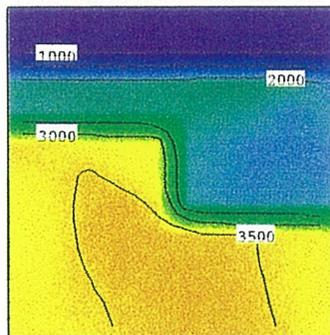


(A) 解析モデルと地表・孔間配置

Velocity (m/s)



(B) 同時反復法による逆解析結果



(C) 最小二乗反復法による逆解析結果

第7図 解析モデル、震源・受振点配置、および既知データを用いて下方接続を行ったのち、逆解析を行った結果

ます。そうすると、地表・孔間配置によって得られたデータを下方接続することによって、低速度表土層の下だけを探索したとみなし得るデータが得られます。第7図の(A)が解析モデルと震源・受振点配置を示したものであり、この審査によって得られたデータを低速度表土層に関する即知情報を用いて下方接続処理を行ったのち、それを同時反復法を用いて解析した結果が第7図(B)であり、最小二乗反復法を用いて解析した結果が第7図(C)です。これらの図より、下方接続を導入することによって、断層構造をはっきりと検出し得ることがわかります。

このように、物理探査は典型的な逆問題なので、最も確からしい解を得るためには、測定精度と既知情報の利用が非常に重要であります。

多くの誤差を含んだ測定データでも、解析結果は得られます。しかし、その結果が実際の地下構造とかけ離れたものになることは言うまでもありません。また、それぞれの探査法には限界があります。その限界を明確に理解しておくことは、非常に重要であります。

探査工学講座の留学生の活躍も最も嬉しいことの一つです。先に紹介した台湾からの留学生の劉さんと中国かの留学生である馮さんは共に大学院終了後も我が国で探査工学の分野で大いに活躍しており、中国からの留学生で博士の学位を取得して帰国した常さんは中国科学院地球物理学研究所で、インドネシアからの留学生で学位を取得して帰国した、サニーさんはバンドン工科大学

で、また、インドネシアからの留学生のヒダヤットさんは、BPPT と呼ばれている科学技術研究所で、それぞれ大いに活躍しております。今後もこれらの留学生をできかぎり、支援して行きたいと思っております。

「真理は雑草の間からそっと顔をのぞかせている」という言葉と、「Practice without theory is blind, theory without practice is sterile」という言葉は私が好んでいる言葉です。工学を発展させるためには、常にこのことを念頭に置いておく必要があると思っております。

以上、長々と述べてまいりましたが、60年余りの人生で、多くの優れた立派な先生方や同僚、卒業生の皆さんなど、多くの人々に巡り合えたことを何よりの幸せと感じ、今日の私があるのはその人々のお陰であると感謝致しております。

どの時期も私なりに、全力を出し切って走りすぎた今、学生時代のスキー競技でゴールを通過したときに感じた「少し安堵感を伴ったすがすがしさ」と共通するものを感じております。これからは、少し余裕を持って、新しい職場である福井工業大学で教育と研究指導を続けると共に、今までの経験を生かし、探査工学と岩盤工学の発展に寄与出来るよう頑張りながら、自然を愛する人生を送って行きたいと思っております。

最後になりましたが、皆様のご健勝と益々のご発展をお祈り申し上げます。

退官記念講演

京都大学での教育・研究生活を顧みて

中 廣 吉 孝*

Looking back over my Research Works and
Education Getting along with Kyoto University

by Yoshitaka NAKAHIRO

1. 結 言

平成9年3月31日に定年退官を迎えるに当たって、平成9年5月17日都ホテルにおいて退官記念講演をさせて頂いた。本稿はその時の講演を取りまとめたものである。

筆者は、昭和32年に京都大学工学部鉱山学科を卒業後、一時会社に席を置いたが、資源工学科に昭和39年に助手として任官した。平成3年に環境地球工学専攻の創設と同時に資源循環工学講座として協力参画し、平成8年にはエネルギー科学研究科の創設に伴い、エネルギー応用科学専攻へ移行し、平成9年3月に定年を迎えた。このように、京都大学での教育・研究生活を通じて絶えず新鮮な気持ちで、また多くのすぐれた専門外の先生方と知己となり接する事が出来たことは幸いであった。本稿においては、32年間の京都大学での研究を中心にして、年代を追いつながら述べたいと思う。

2. 複雑硫化鉱物の処理に関する研究¹⁻²⁶⁾

昭和30年代は黒鉱ブームの時代であり、鉱山界は活気に溢れていた。黒鉱は複雑硫化鉱物の最たるものであり、選鉱処理によりそれぞれの成分鉱物に分離・回収することがきわめて困難な鉱石のために、選鉱成績の向上を目指して学界、業界では鋭意研究が続けられていた。

黒鉱の選鉱上の主な問題点としては、①単体分離と鉱物の多様性、②鉱石の酸化・変質、③微細鉱粒（スライム）、④処理原鉱の均質化、などが挙げられる。

上記のいずれもが黒鉱の選鉱処理を困難にしているが、微細鉱粒の問題を取り上げ、研究を行った。その一つが“硫化鉱物の浮選に対する粘土鉱物の影響”に関する

研究である。

2.1 硫化鉱物の浮選に対する粘土鉱物の影響²⁷⁾

これまで黒鉱のような複雑硫化鉱物の浮選における微細粒子の悪影響は主として“slime coating”の現象に基づくものと考えられてきた。しかしながら、これら微細粒子の化学組成、結晶構造さらに分子構造などと気泡に対する付着性や、気/液界面での微細粒子の挙動などの詳細な検討は従来からあまりなされていない。本研究では、まず微細粒子として各種の粘土鉱物を選び、気/液界面における挙動を明らかにするとともに、粘土鉱物の硫化鉱物の浮選に対する影響を検討した。

Fig. 1はMS型浮選機による閃亜鉛鉱の浮遊率に対する各種粘土鉱物懸濁液濃度の影響を示している。なお、

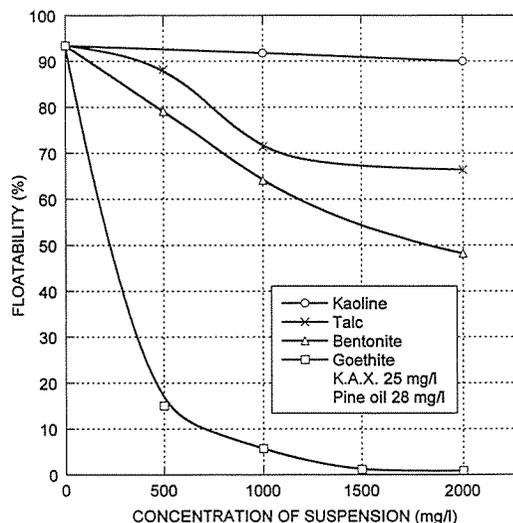


Fig. 1 Effect of clay minerals on floatability of sphalerite

*京都大学元教授、福井鉱業大学建設工学科教授

実験に用いた各種粘土鉱物は、水簸法により $<1\mu\text{m}$ の粒子を採取し実験に供した。Fig. 1 に示されているように、タルク、ベントナイト、針鉄鉱は懸濁液濃度の増加とともに閃亜鉛鉱の浮遊率は低下している。とくに、針鉄鉱の場合は懸濁液濃度 $1,500\text{ mg/l}$ 以上になると閃亜鉛鉱はほとんど浮遊しなくなる。以上の結果からも明らかのように、針鉄鉱、タルク、ベントナイトのようなきわめて微細な粘土鉱物は硫化鉱物の浮選に対して悪影響を与えることが認められる。

粘土鉱物などの微細粒子が硫化鉱物の浮選に著しい悪影響を与える一因として、粘土鉱物のようなコロイドに近い微細粒子は気/液界面すなわち気泡の表面に対しても特殊な挙動を示すことが考えられるので、Donnan-Barker の装置²⁸⁾により、粘土鉱物の気泡に対する付着量測定を行った。測定の結果の一例は Fig. 2 に示すようである。Fig. 2 は、起泡剤としてパイン油、捕収剤としてポタシウム・エチルザンセートを同時添加した場合の粘土鉱物の気泡に対する付着量を示している。本実験結果より捕収剤および起泡剤などの浮選剤を添加した場合、針鉄鉱、タルク、ベントナイトなどのコロイドに近い微細粒子は明らかに気泡に対して付着することが認められる。Fig. 1 の結果と対比すると相関性が認められる。すなわち硫化鉱物の浮遊率を低下させる影響の大きな粘土鉱物の微細粒子は気泡に対する付着量もまた大きくなることが認められる。

本実験の結果からも明らかのように、微細粒子の気泡に対する付着という現象もまた、浮選に対して悪影響を与えている一因と考えられる。

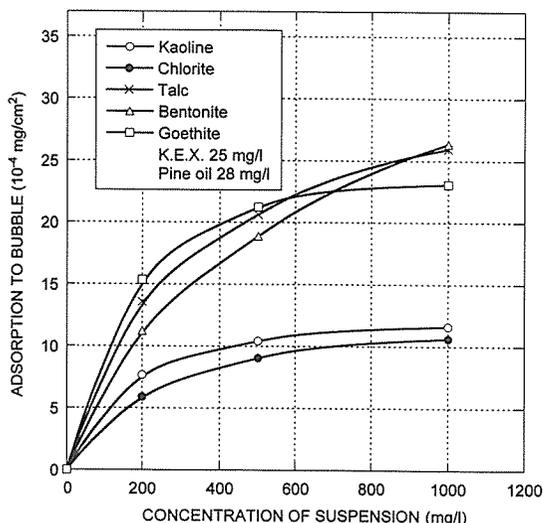


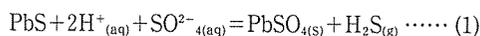
Fig. 2 Effect of foamer and collector on adsorption of clay minerals to bubble

2.2 硫酸化-浮選法によるPb-Zn 鉱物の分離に関する研究²⁹⁾

硫化鉱物の優先浮選の際の抑制剤としては毒性の強いシアン化物が使用されていた。硫化鉱物に対するシアン化物の抑制効果は、1920年にSheridanとGriswoldによって発見されたのに始まるが、この発見により硫化鉱物の優先浮選の基礎が確立された。その後、1924年にKellerとLewisらによるザンセートの発見と相俟って、浮選法は飛躍的な発展をとげた。しかし長い間、シアン化物に代わる有効な抑制剤が発見されなかった歴史がある。その後、黒鉱の浮選において SO_2 -温水浮選法などが出現して、抑制剤としてのシアン化物は次第に使用されなくなった経緯がある。

本研究においては、シアン化物を主たる抑制剤とする従来の方法とは全く異なる浮選法として、硫酸化-浮選法について検討することを試みた。Pb/Zn 鉱物を対象として、Pb/Zn バルク精鉱を硫酸化処理して、方鉛鉱粒子の表面を軽微に硫酸化することにより方鉛鉱を抑制して、閃亜鉛鉱を浮鉱として、それぞれの成分鉱物に分離・回収しようとするものである。

Pb^{2+} はきわめて不溶性塩をつくりやすい金属イオンであり、例えば硫酸のような酸を用いると、



の反応によって、不溶性の硫酸鉛を形成する反応が進行することになる。(1)式に示されるような硫酸化反応の各温度における標準自由エネルギー変化を計算により求めるとTable 1のようである。Table 1にはZnSの硫酸化反応についての結果も併せて示されている。ZnSの硫酸化反応の場合には、 $\text{ZnSO}_{4(\text{s})}$ が生成するが、これは水溶液中においては可溶であるので、結局(1)式のような反応に帰着するので、(1)式に示すような反応に基づいて計算を行った。この場合、各成分の生成自由エネルギー変化はCriss-Cobbleの方法³⁰⁾により計算した値を用いた。Table 1に示されるように、方鉛鉱および閃亜鉛鉱の硫酸化反応の標準自由エネルギー変化の値は、温度が上昇すると負に増加の傾向を示す。とくに、PbSについてはこの傾向が著しい。ZnSについては、温度上昇による標準自由エネルギー変化の値にはほとんど差異は認められない。しかしながら、温度の上昇により反応速度の増大を期待することは可能である。平衡論的には、それほど効果を期待することは難しいと考えられる。(1)式の反応の 25°C における標準自由エネルギー変化は -1.95 kcal/mol であり、平衡論的には起こり易い反応と考えられる。したがって、Pb/Zn バルク精鉱の浮選において、まずバルク精鉱を適当な濃度の硫酸で処理すれば、PbS 表面には PbSO_4 の皮膜が形成されて浮選性を失うのに対し、ZnSの溶出はわずかではあるが進行し、

Table 1 Standard free energy chnges for sulphatization reactions of galena and sphalerite

| REACTION FORMULA | STANDARD FREE ENERGY (kcal/mole) | | | | |
|---|----------------------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | ΔF_{298}^0 | ΔF_{333}^0 | ΔF_{373}^0 | ΔF_{423}^0 | ΔF_{473}^0 |
| $PbS + 2H^+ + SO_4^{--} \rightleftharpoons PbSO_4 + H_2S$ | -1.95 | -4.41 | -6.91 | -10.61 | -14.93 |
| $ZnS + 2H^+ \rightleftharpoons Zn^{++} + H_2S$ | +5.55 | +5.23 | +4.83 | +4.39 | +3.90 |

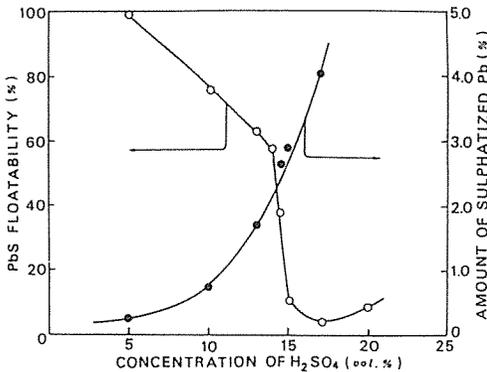


Fig. 3 Floatability and amount of sulphatized Pb on galena at different H₂SO₄ concentrations for 20 minutes at 50°C

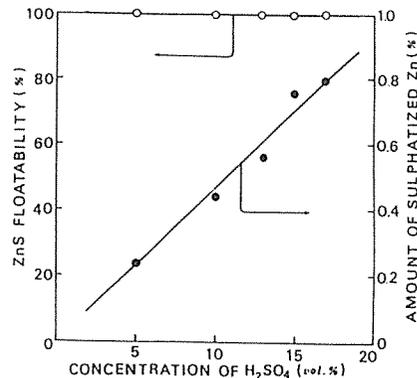


Fig. 4 Floatability and amount of sulphatized Zn on sphalerite at different H₂SO₄ concentrations for 20 minutes at 50°C

清浄な表面をあらわし、硫酸による処理後の浮選においては、たとえば硫酸銅を用いて活性化し、ザンセート浮選により浮遊させ得る。

硫酸化-浮選法による Pb/Zn の優先浮選分離のための基礎的条件を明らかにすることを目的として、まず銅活性化処理、および捕収剤(ポタシウム・エチルザンセート)と起泡剤(バイン油)の吸着処理を行った方鉛鉱試料について、H₂SO₄濃度を種々変化して硫酸化処理を行い、硫酸化された方鉛鉱の抑制効果を改良型京大式浮選機による浮遊率測定から検討した。測定の結果は Fig. 3 に示すようである。なお、Fig. 3 には硫酸化された全 Pb 量 (%) の測定結果についても併せて示されている。Fig. 3 に示されているように、H₂SO₄が5%の場合には方鉛鉱は硫酸化処理によってもほとんど抑制されないが、H₂SO₄濃度の増加とともに方鉛鉱は抑制される傾向を示し、とくに H₂SO₄濃度が14%を超えると方鉛鉱は顕著に抑制され、H₂SO₄濃度が17%における方鉛鉱の浮遊率は4%程度であり、ほぼ完全に抑制されることが認められている。

硫酸化された全 Pb 量についてみると、同じく Fig. 3 に示されているように、硫酸濃度の増加とともに硫酸化された全 Pb 量も増加の傾向をしめし、H₂SO₄濃度15%

における硫酸化された全 Pb 量は2.8%であり、この場合の方鉛鉱の浮遊率は約10%である。方鉛鉱が最も顕著に抑制される17% H₂SO₄の場合についてみると、硫酸化された全 Pb 量は4.1%程度である。このことから、方鉛鉱表面を約4%程度硫酸化するだけで、顕著な抑制効果の得られることが確かめられた。

閃亜鉛鉱は方鉛鉱と同じように、硫酸化されて水に可溶性な硫酸亜鉛を生成する。したがって、Pb/Zn 鉱を硫酸化-浮選法により分離採取する場合には、できるだけ閃亜鉛鉱の硫酸化による溶解を防止して硫酸化を行い、十分満足すべき浮選成績を得ることが必要である。そこで、硫酸化処理を行った場合における閃亜鉛鉱の浮遊性および硫酸化による閃亜鉛鉱の溶解の程度について検討した。Fig. 4 は、硫酸濃度を種々変化して硫酸化処理を行ったのち、浮遊率の測定を行った結果を示している。Fig. 4 には硫酸化された全 Zn 量 (%) も併せてプロットされている。Fig. 4 に示されているように、閃亜鉛鉱の浮遊率はいずれの H₂SO₄濃度についてもほぼ100%を示し、硫酸化処理による浮遊性の変化は認められなかった。また、硫酸化された全 Zn 量は、H₂SO₄濃度の増加とともに直線的に増加するが、H₂SO₄濃度17%の場合においても硫酸化された全 Zn 量は0.8%程度であり、硫酸化

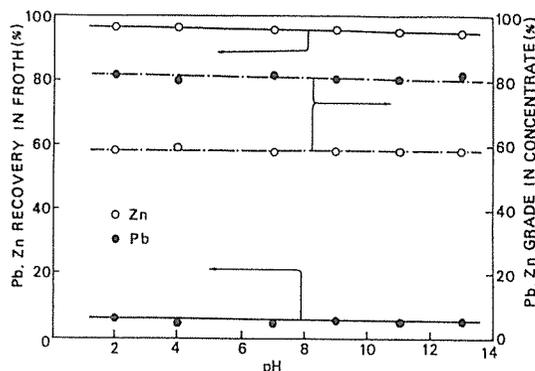


Fig. 5 Effect of pH the differential flotation of sulphatized Pb/Zn mixture in the case of agitation during sulphatization treatment

処理による閃亜鉛鉱の溶解はほとんど認められなかった。

以上の実験の結果を基礎にして、方鉛鉱と閃亜鉛鉱とを混合した試料について、硫酸化-浮選法による優先浮選分離の測定を行った。Fig. 5は、浮選の際のpHを種々変化した場合について実験を行った場合の結果を示している。Fig. 5に示されているように、浮選の際のpHを変化しても方鉛鉱および閃亜鉛鉱ともに実収率の変化は認められず、きわめて広いpH領域においてこの両鉱物の分離は良好に行われることが認められた。また、Pb精鉱中のPb品位は約81%、Zn精鉱中のZn品位は約59%であり、ほとんど純粋の鉱物に近い品位の精鉱が得られた。

以上のように、抑制剤として毒性の強いシアン化物を使用しなくても、硫酸化処理により方鉛鉱の浮遊性はほぼ完全に抑制され、一方閃亜鉛鉱は硫酸化されることなく、銅活性化を行えば十分に浮遊し、硫酸化-浮選法は難処理Pb/Zn鉱の浮選分離にも適用可能であることが確かめられた。

3. 鉱工業水中の有害重金属イオンの除去に関する研究³¹⁻⁴⁵⁾

昭和40年代のわが国の経済成長は加速度的に増大していくと同時に、過去における鉱工業からの水質汚濁の結果が、次第に社会面に具体的な形をとって現れるようになった。熊本県水俣湾沿岸に発生した水俣病、新潟県阿賀野川沿岸における第二水俣病、富山県神通川におけるイタイイタイ病など、水質汚濁による公害は、ついに人体の健康にまで重大な危険を及ぼすようになった。そこで、昭和42年には公害対策基本法、昭和43年に大気汚染防止法、昭和45年には水質汚濁防止法などが制定されるに及び、環境や公害に対する規制が一段と厳しくなった。このような時代背景からも、水質汚濁関連の研

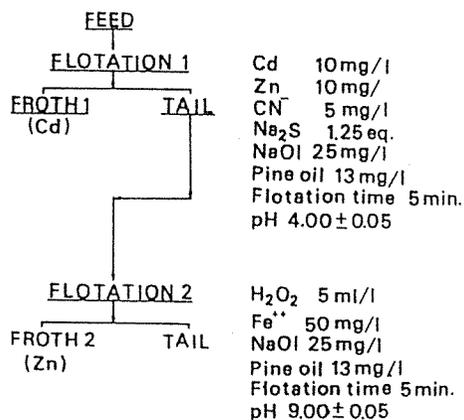


Fig. 6 Flowsheet with the pretreatment of sodium sulphide in the first stage and hydrogen peroxide in the second stage for the separation of cadmium from zinc in synthesized waste cyanide water by the precipitation-flotation method without the addition of flocculant

究が著しく増加した。上記の複雑硫化鉱物処理に関する研究から、次第に鉱工業廃水中の有害重金属イオンの除去に関する研究に重点を置くようになった。以下に、幾つかの研究のうちの一つを述べる。

3.1 沈澱-浮選法による廃水中のCd-CN錯体とZn-CN錯体の優先浮選分離に関する研究⁴⁶⁾

鉱工業廃水中には、重金属イオンの他に、CN⁻、F⁻、Cl⁻のような有害陰イオンが含まれることは稀ではない。例えば、選鉱廃水においては、硫化鉱物の抑制剤としてシアン化合物が使用されている場合には、CN⁻がとくに問題となる。また、金属表面処理工業においては、メッキ浴、シアン液浸漬浴やシアン洗浄槽から排出される廃水中には、多量のCN⁻が含まれている。このCN⁻は多くの場合、重金属に配位して複雑な錯化合物を形成し、廃水の処理を著しく困難にしている。

本研究においては、Pb/Zn鉱山廃水の組成として、しばしば遭遇するようなCd²⁺、Zn²⁺およびCN⁻イオンを含んだ廃水に対する処理法として沈澱-浮選法を適用し、Cd-CN錯体とZn-CN錯体の優先浮選分離の可能性について検討した。

重金属イオンを含んでいる廃水中のCN⁻濃度が高くなってくると、鉄水酸化物による沈澱法、あるいは沈澱-浮選法によっても重金属シアン錯体の除去はほとんど不可能である。廃水中のCd-CN錯体に対して、Na₂Sが顕著な効果を示すことが筆者らの研究によって認められている。この分解反応は下式に示すようである。



上記の反応において大過剰のCN⁻が存在しない限り、定

Table 2 Results of the differential flotation with the pretreatment of sodium sulphide in the first stage and hydrogen peroxide in the second stage

| PRODUCT | CONCENTRATION (mg/l) | | | REMOVAL (%) | | |
|---------|----------------------|-------|-----------------|-------------|--------|-----------------|
| | Cd | Zn | CN ⁻ | Cd | Zn | CN ⁻ |
| FEED | 10.00 | 10.00 | 5.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| FROTH 1 | 56.51 | 10.90 | 25.28 | 91.56 | 15.81 | 73.32 |
| FROTH 2 | 6.84 | 38.99 | 4.87 | 7.57 | 80.01 | 19.99 |
| TAIL | 0.12 | 0.64 | 0.52 | 0.87 | 4.18 | 6.69 |

量的に硫化物を沈澱することが知られている。これは、溶液中の Cd イオン濃度が硫化物の溶解度積を満足することによるものである。一方、Zn-CN 錯体については、H₂O₂による前処理を行い Zn-CN 錯体を分解したのち、Fe⁺⁺による沈澱-浮選を行えば除去可能なことを確かめている。本研究においては、上述の金属シアン錯体の分解反応を利用して、Cd-CN 錯体と Zn-CN 錯体の優先浮選分離の可能性について検討することを試みた。

まず、凝集剤を使用しない場合について、Fig. 6 に示すようなフローシートにしたがい優先浮選分離試験を行った。得られた結果は Table 2 に示すようである。Table 2 に示すように、1 段目の浮選における Cd 除去率は 91.2%、2 段目のフロス中の Zn 除去率は 80% である。CN⁻については、Cd フロス中に相当濃縮除去されているが、これは必ずしも浮選によって除去されたものではなく、1 段目の浮選において pH 4 の酸性領域で行っているため、Na₂S により分解された CN⁻は浮選セル中のエアレーションの影響を受けて一部シアンガスのような形で消失したものと考えられる。2 段目の浮選においては、H₂O₂の添加による処理により CN⁻は分解されて最終尾液中の CN⁻濃度は 0.5 mg/l と排水基準をほぼ満足する成績が得られている。尾液中の Cd 濃度は 0.12 mg/l と排水基準をほぼ満足しているが、本方法により Cd を完全に除去するためには、さらに浮選を行う必要がある。

つぎに、凝集剤として FC-80 を使用した場合について、Cd-CN 錯体と Zn-CN 錯体の優先浮選分離試験を行った。なお、FC-80 はアクリルアミド (CH₂=CHCONH₂) とジメチルアミノエチルアクリレート ((CH₃)₂NCH₂)=C(CH₃)COOM¹, M¹は 1 価陽イオン) との共重合体で、陽イオン有機凝集剤である。放射性廃液の処理に効果のあることが報告されている⁴⁷⁾。実験のフローシートは Fig. 7 に示すようである。得られた結果は Table 3 に示す。Table 3 に示すように、FROTH 1 中の Cd 除去率は 97.7%、FROTH 2 中の Zn 除去率は

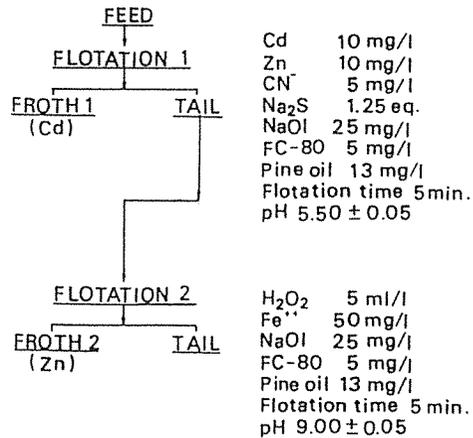


Fig. 7 Flowsheet with the pretreatment of sodium sulphide in the first stage and hydrogen peroxide in the second stage for the separation of cadmium from zinc in synthesized waste cyanide water by the precipitation-flotation method with FC-80 as a flocculant

70.8% である。尾液中の Cd 濃度は 0.02 mg/l、Zn 濃度 0.51 mg/l、CN⁻濃度 0.08 mg/l であり排水基準を十分に満足する成績が得られている。本研究の結果から、このような方法によれば Cd-CN 錯体と Zn-CN 錯体の分別回収は十分可能であることが確かめられた。

4. 資源リサイクリングに関する研究⁴⁸⁻⁵⁶⁾

昭和 48 年に起きた石油ショックは、日本が海外の天然資源にいかにか依存しているかを印象づけた事件であった。その後、資源の枯渇に危機感が増してゆくにつれて、資源と人類が末長く活用できるようにするためにも、資源の節約を実現する「資源リサイクリング」が大きくクローズアップされた。筆者の研究もまた資源リサイクリングに重点を置くようになった。その一つとして、シュレッダー・ダストの有効利用に関する研究について述べ

Table 3 Results of the differential flotation with FC-80 as a flocculant

| PRODUCT | CONCENTRATION (mg/l) | | | REMOVAL (%) | | |
|---------|----------------------|-------|-----------------|-------------|--------|-----------------|
| | Cd | Zn | CN ⁻ | Cd | Zn | CN ⁻ |
| FEED | 10.00 | 10.00 | 5.00 | 100.00 | 100.00 | 100.00 |
| FROTH 1 | 86.84 | 22.54 | 23.14 | 97.69 | 25.36 | 52.03 |
| FROTH 2 | 1.62 | 53.18 | 17.55 | 2.16 | 70.80 | 46.71 |
| TAIL I | 0.02 | 0.51 | 0.08 | 0.15 | 3.84 | 1.21 |

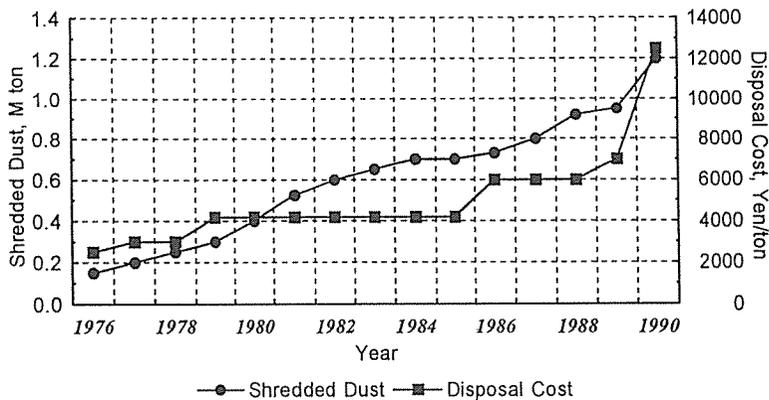


Fig. 8 The amount of auto shredded dust in million of tons per year and the disposal cost waste in Japanese yen per ton

る。

4.1 シュレッダー・ダスト中の有価金属類の回収に関する研究⁵⁷⁾

昭和 53 年頃から、折りからのエネルギー・コスト、電力費の高騰などにより電炉メーカーは不純物の少ない原料鉄屑を選択する傾向が強くなり、クリーンなスクラップを作ることのできるシュレッダー処理方式が大勢を占めるようになった。シュレッダー方式は磁選工程があるので、鉄屑の品質は良く、製造コストおよび公害防止の観点からも電炉メーカーのニーズに最も適合した処理方式である。しかしながら、シュレッダー方式は他の方法に比較してダストの発生量(廃車重量の 15~25%) がきわめて多くて、Fig. 8 に示されているように、年々ダストの処理費用が高騰し廃車処理業者の採算性を悪化させている。シュレッダー・ダストの問題を解決するための一つとして、焼却による減量が考えられる。Fig. 9 に示すように、シュレッダー・ダストは焼却処理することにより約 1/3 程度にまで減量することが可能である。焼却後の炉底灰中には銅、鉄、亜鉛、アルミニウムなどの金属類がごく僅かではあるが含有しているので、これら

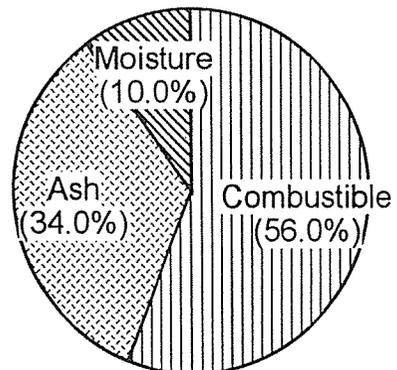


Fig. 9 Example of the composition of the auto shredded dust

金属類を回収・リサイクルすることが必要である。本研究においては、焼却後の炉底灰中の銅を対象にして、テーブルによる分離・回収を試みた。

実験の方法は、Fig. 10 に示すように炉底灰を磁選により鉄分を除去したのち、非磁着物をウィルレー・テーブルの供試試料とした。実験の結果の一例は Fig.

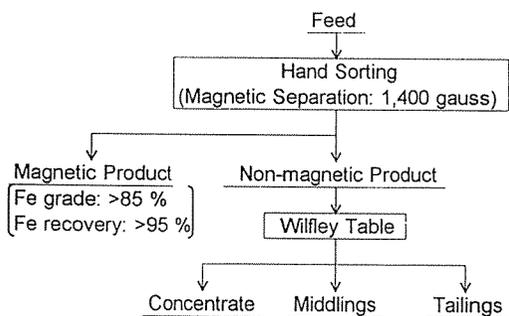


Fig. 10 Flowsheet for the separation of the bottom ash

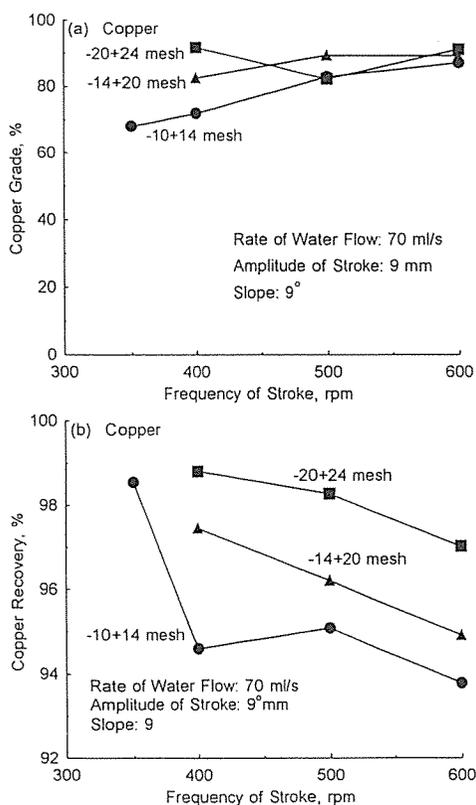


Fig. 11 Effect of frequency of stroke on the grade (a) and recovery (b) of copper in the wilfley table concentrate using three different sieve fractions

11に示すようである。Fig. 11は、流量70 ml/s、ストローク幅9 mm、盤面傾斜9°と一定条件の下で、振動数(rpm)を種々変化して実験をおこなった。Fig. 11に示されているように、振動数を増加すると銅品位は上昇するが、実収率は低下する傾向が認められる。-20+24 mesh 試料の場合についてみると、振動数400 rpmにお

いて銅品位は約90%、銅実収率は約99%であり、良好な結果が得られた。

5. 結 言

以上、本稿においては、昭和39年より複雑硫化鉱の処理に関する研究を開始して以来、時代の背景に沿って定年退官までに行った研究の成果の概略を述べた。

終わりに臨み、長年筆者の研究を支えて頂いた向井先生をはじめ研究室の方々に厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 向井 滋, 横山幸衛, 中廣吉孝, 今西信幸: 水曜会誌, Vol. 15, No. 8, p. 367-370, (1965)
- 2) 向井 滋, 伊藤福夫, 中廣吉孝: 水曜会誌, Vol. 16, No. 2, p. 65-70, (1966)
- 3) 向井 滋, 中廣吉孝: 日本鉱業会誌, Vol. 80, No. 958, p. 115-122, (1968)
- 4) 向井 滋, 横山幸衛, 中廣吉孝, 今西信幸: 水曜会誌, Vol. 16, No. 6, p. 289-292, (1968)
- 5) 向井 滋, 中廣吉孝: 日本鉱業会誌, Vol. 85, No. 969, p. 26-32, (1969)
- 6) 向井 滋, 中廣吉孝: 日本鉱業会誌, Vol. 85, No. 970, p. 77-83, (1969)
- 7) 向井 滋, 中廣吉孝: 浮選, No. 37, p. 1-9, (1969)
- 8) 向井 滋, 若松貴英, 中廣吉孝, 一伊達稔: 日本鉱業会誌, Vol. 85, No. 976, p. 603-605, (1969)
- 9) 向井 滋, 中廣吉孝: 日本鉱業会誌, Vol. 85, No. 981, p. 25-30, (1970)
- 10) 向井 滋, 中廣吉孝: 水曜会誌, Vol. 17, p. 99-102, (1970)
- 11) Y. Nakahiro: Bulletin of Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, University of Queensland, No. 52, p. 1-12, (1975)
- 12) Y. Nakahiro: Bulletin of Julius Kruttschnitt Mineral Research Centre, No. 53, p. 1-5, (1975)
- 13) Y. Nakahiro: The Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. 40, Part 3, p. 101-114, (1978)
- 14) Y. Nakahiro: The Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. 40, Part 3, p. 241-254, (1978)
- 15) Y. Nakahiro: The Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. 41, Part 2, (1979)

- 16) Y. Nakahiro: The Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. 42, Part 1, p. 1-12, (1980)
- 17) 中廣吉孝, 四元弘毅: 日本鉱業会誌, Vol. 96, No. 1109, p. 467-472, (1980)
- 18) 中廣吉孝, 四元弘毅: 浮選, Vol. 27, No. 2, p. 71-74, (1980)
- 19) Y. Nakahiro and H. Yotsumoto: Proceedings of Complex Sulphide Ores Conference, Rome, Italy, p. 1-6, (1980)
- 20) 中廣吉孝, 四元弘毅: 日本鉱業会誌, Vol. 97, No. 1117, p. 179-183, (1981)
- 21) Y. Nakahiro, H. Yotsumoto and T. Wakamatsu: Proceedings of International Seminar on Lead, Zinc and Cadmium, New Delhi, India, p. 11-22, (1981)
- 22) T. Wakamatsu and Y. Nakahiro: Proceedings of MMIJ/Aus. IMM Joint Symposium, Sendai, Japan, p. 145-155, (1983)
- 23) 松原 寛, 四元弘毅, 川口 純, 中廣吉孝, 若松貴英: 浮選, Vol. 31, No. 1, p. 9-14, (1984)
- 24) T. Wakamatsu and Y. Nakahiro and D. Atmowidjojo: Proceedings of XVth International Mineral Proceeding Congress, Cannes, France, Vol. III, p. 293-302, (1985)
- 25) Y. Nakahiro, H. Yotsumoto and T. Wakamatsu: Metallurgical Review of MMIJ, Vol. 2, No. 1, p. 17-30, (1985)
- 26) H. Matsubara, Y. Nakahiro and T. Wakamatsu: Trans. Inst. Min. Met., Sec. C, Vol. 95, p. 1-4 (1986)
- 27) 向井 滋, 横山幸衛, 中廣吉孝, 今西信之: 1) に同じ
- 28) F. G. Donnan and J. T. Barker; Proc. Roy. Soc., A 85. P. 557, (1911)
- 29) 中廣吉孝, 四元弘毅: 20) に同じ
- 30) J. W. Cobble, et al.: J. Amer. Chem. Soc., Vol. 86, p. 5385, p. 5390, p. 5396, (1964); Science, Vol. 152, p. 1479, (1966); Inorganic Chemistry, Vol. 10, p. 619, (1971)
- 31) 向井 滋, 中廣吉孝: 日本鉱業会誌, Vol. 88, No. 1014, p. 477-482, (1972)
- 32) 向井 滋, 中廣吉孝: 日本鉱業会誌, Vol. 89, No. 1025, p. 461-466, (1973)
- 33) 向井 滋, 中廣吉孝: 浮選, No. 51, p. 189-207, (1973)
- 34) S. Mukai and Y. Nakahiro: The Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. 35, Part 4, p. 361-380, (1973)
- 35) 向井 滋, 中廣吉孝: 水曜会誌, Vol. 18, No. 1, p. 51-54, (1974)
- 36) Y. Nakahiro, T. Wakamatsu and S. Mukai: Proceedings of XIIth International Mineral Proceeding Congress, Sao Paulo, Brasil, Vol. II, p. 57-84, (1977)
- 37) 中廣吉孝, 若松貴英, 向井 滋: 水曜会誌, Vol. 18, No. 9, p. 513-517, (1977)
- 38) 中廣吉孝, 若松貴英: 浮選, Vol. 24, No. 3, p. 97-102, (1977)
- 39) Y. Nakahiro: Proceedings of International Symposium on Fine Particles Proceeding, Las Vegas, U. A. S., Vol. 2, p. 1810-1827, (1980)
- 40) 中廣吉孝, 村川健作: 水曜会誌, Vol. 19, No. 4, p. 322-328, (1980)
- 41) Y. Nakahiro: Proceedings of Fourth Joint Meeting MMIJ/AIME, Tokyo, Japan, Session C-3, p. 37-52, (1980)
- 42) 中廣吉孝, 中地重晴, 村川健作, 若松貴英: 日本鉱業会誌, Vol. 98, No. 1127, p. 35-39, (1982)
- 43) 中廣吉孝, 村川健作, 若松貴英: 日本鉱業会誌, Vol. 98, No. 1135, p. 957-962, (1982)
- 44) Y. Nakahiro, S. Nakachi, K. Murakawa and T. Wakamatsu: The Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. 45, Part 1, p. 57-69, (1983)
- 45) H. Matsubara, Y. Nakahiro, K. Murakawa and T. Wakamatsu: The Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. 46, No. 2, p. 35-51, (1984)
- 46) 中廣吉孝, 村川健作, 若松貴英: 43) に同じ
- 47) 古屋仲芳男, 灘谷彰彦: 昭和 55 年度日本鉱業会春季大会講演要旨集, p. 387, (1980)
- 48) 中廣吉孝: エネルギー・資源, Vol. 7, No. 2, p. 103-119, (1986)
- 49) 中廣吉孝, 若松貴英: 資源処理技術, Vol. 38, No. 1, p. 23-29, (1991)
- 50) 中廣吉孝, 大和田秀二: 資源と素材, Vol. 107, No. 2, p. 119-127, (1991)

- 51) 中廣吉孝, 若林 悟, 日下英史, 新苗正和, 若松貴英: 資源と素材, Vol. 109, No. 3, p. 219-224, (1993)
- 52) Y. Nakahiro: The Third IUMRS International Conference on Advanced Materials, Tokyo, Japan, p. 167-170, (1993)
- 53) Y. Nakahiro: The Second International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology, Seoul, Korea, p. 60-68, (1993)
- 54) Y. Nakahiro, K. Takahashi, Y. Fukunaka, J. Yamamoto and E. Kusaka: Proceedings of the Third International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology, Taipei, p. 283-291, (1995)
- 55) 中廣吉孝: 資源処理技術, Vol. 44, No. 1, p. 9-15, (1997)
- 56) Y. Nakahiro, Hussin Kamardin Bin, Y. Fukunaka, M. Niinae and K. Takahashi: Proceedings of Fourth International Symposium on East Asian Resources Recycling Technology, Kunming, China, p. 273-281, (1997)
- 57) Y. Nakahiro, K. Takahashi, Y. Fukunaka, J. Yamamoto and E. Kusaka: 54) に同じ

大会記念講演

アルミニウム工業の最近の話題について

佐藤 史郎*

Recent Topics on the Aluminium Industries

by Shiro SATO

1. はじめに

アルミニウム (Al, 原子番号 13, Aluminium (英), Aluminum (米), 鋁 (中国)) が工業材料として用いられるようになったのは、弗化物溶融塩電解法である Hall- Heroult 法の発明 (1886 年) 以来のことである。アルミニウムは、金属材料として資源に恵まれていること (地殻中の元素として存在度: 8.13%), 性質として、軽量であること (比重: 2.7), 耐食性や展延性に優れること, さらにはリサイクル性がよいこと等々により, 大きく需要を伸ばしてきた。昨年, 世界で生産されたアルミニウムは, 製錬 (新地金) ベースで約 2000 万トンに達しており, また, 我が国のアルミニウム総製品出荷量は, 400 万トンを超えるに至っている。アルミニウムは, 実用されて 100 年余を経て, 汎用金属材料として鉄鋼に次ぐ第 2 の地位を占めるに至っている。

本稿は, 広い視野からみて, 今日のアルミニウム工業の話題の中から, 敢て技術上のことに限らず, 重要かつ興味のある話題を選んで解説するものである。

2. アルミニウム工業のプロフィール

アルミニウム工業は, 次の 3 段階より成り立っている。

- 1) 原材料であるボーキサイトの採掘からバイヤー法によってアルミナを得るまでの工程。
- 2) アルミナから溶融塩電解により金属アルミニウム地金を得るまでの工程。
- 3) アルミニウム地金 (いわゆる新地金) と再生地金,

スクラップ等を原料として展伸材 (板と押出材) や鋳物, 鍛造品等の製品を製造する工程。

2.1 ボーキサイトとアルミナ

表 1¹⁾に世界のボーキサイト産出量を示す。アルミニウムは, 元素として地殻中に多く含まれているが, アルミナ製造用原料としてのボーキサイトは, 地球上において偏在している。

表 2¹⁾に世界のアルミナ生産量を示す。オーストラリアの生産量が突出して多い。アルミナは, アルミニウムの製錬に向けられるものがほとんどすべてであるが, 一部はセラミックスの原料などに供されるものもある (例: 日本)。

2.2 アルミニウム製錬

アルミニウムは, アルミナを弗化物 (Na_3AlF_6 : 氷晶石) の溶融塩中に溶解させ, これを炭素電極を用いて電解することによって得られる。現在, 世界中でアルミニウム電解工場 (製錬所) は 187 か所に存在し, 生産能力は

表 1 世界のボーキサイト産出量 (1995 年)¹⁾

| 主要産出国 | 産出量 (1000t) | 比率 (%) |
|---------|-------------|--------|
| オーストラリア | 42,655 | 37.9 |
| ギニア | 14,400 | 12.8 |
| ジャマイカ | 10,858 | 9.6 |
| ブラジル | 10,214 | 9.1 |
| 中国 (推定) | 6,500 | 5.8 |
| C I S | 6,057 | 5.4 |
| インド | 5,163 | 4.6 |
| ベネズエラ | 5,360 | 4.8 |
| その他 | 11,473 | 10.2 |
| 世界合計 | 112,680 | (100) |

*住友軽金属工業株式会社

平成 9 年 6 月 14 日, 平成 9 年度水曜会大会にて特別講演

23,519,500 トン/年間(1996.6)とされている¹⁾。わが国はこのうち、1製錬所、日本軽金属(株)の蒲原工場、35,000 トン/年間、のみである。一電解工場の生産能力は、1970年代では平均75,000 トン/年(2系列)であったが、今日では平均160,000 トンである。最近計画されている電解工場では、400,000 トン/年(2系列)のものもあり、大型化の傾向が著しい。電流効率は15年前17,000Kwh/トンであったが、今日では15,800Kwh/トン、最新のものでは13,000Kwh/トンとなっている²⁾。

世界のアルミニウム地金(新地金)の生産量を表3¹⁾に示す。主要生産国は米国、CIS、カナダ、中国、オーストラリア、ブラジルなどのいわゆる資源大国である。それにしても、消費大国(世界第2位)の日本において、アルミニウム地金の生産がほとんど行われていないことは淋しい限りである。

表2 世界のアルミナの生産量(1995年)¹⁾

| 主要生産国 | 生産量(1000t) | 比率(%) |
|---------|------------|-------|
| オーストラリア | 13,147 | 30.6 |
| EC | 5,269 | 12.3 |
| 米国 | 4,530 | 10.6 |
| CIS | 4,487 | 10.5 |
| ジャマイカ | 3,030 | 7.1 |
| ブラジル | 2,147 | 5.0 |
| 中国 | 2,080 | 4.8 |
| ベネズエラ | 1,700 | 4.0 |
| 日本 | 743 | 1.7 |
| その他 | 5,803 | 13.5 |
| 世界合計 | 42,936 | (100) |

2.3 アルミニウム材料の加工と用途

アルミニウムは、板・条や押出材、いわゆる軽圧品として用いられるもののほかに、鋳物(ダイカストを含む)や鍛造品としても多く用いられている。また、脱酸剤(製鋼用原料の一つ)や特殊用途(ロケットの推進用粉末など)にも用いられる。これらを総称してアルミニウムの総需要とし、この大きさを先進主要6カ国について、用途別に分類すれば表4のようになる。アルミニウムの用途として、輸送、建設及び包装が大きな位地を占めていることがわかる。表5はわが国のアルミニウム製品の総需要を、製品とその需要分野について示したものである。アルミニウム製品の大半は、板、押出、鋳物の3種類に大きく分類されることがわかる。板類の中では缶材が最も多い。輸出材の多くが缶材であるので、わが国で生産されている板類の約45%は缶材であるとみなされている

表3 世界のアルミニウム地金(新地金)の生産量(1995)¹⁾

| 主要生産国 | 生産量(1000t) | 比率(%) |
|---------|------------|-------|
| USA | 3,375.2 | 17.1 |
| CIS | 3,055.6 | 15.5 |
| カナダ | 2,172.0 | 11.0 |
| 中国 | 1,657.6 | 8.4 |
| オーストラリア | 1,292.7 | 6.6 |
| ブラジル | 1,188.2 | 6.0 |
| ノルウェー | 846.8 | 4.3 |
| ベネズエラ | 627.4 | 3.2 |
| ドイツ | 575.2 | 2.9 |
| インド | 524.0 | 2.7 |
| バーレン | 459.8 | 2.3 |
| 日本 | 18.0 | 0.1 |
| その他 | 3,898.5 | 19.8 |
| 世界合計 | 19,690.2 | (100) |

表4 世界の主要先進6カ国のアルミニウム製品の総需要(出荷量)

| 用途 | 1994年実績(1000t) | | | | | | 合計 |
|----------|----------------|-------|-------|-------|-----|-------|--------|
| | 米国 | 日本 | ドイツ | フランス | 英国 | イタリ | |
| 輸送 | 2,309 | 1,131 | 362 | 227 | 106 | 231 | 4,366 |
| 機械 | 571 | 120 | 119 | 30 | 39 | 76 | 955 |
| 電気機器 | 677 | 236 | 68 | 77 | 24 | 73 | 1,155 |
| 建設 | 1,402 | 950 | 271 | 88 | 76 | 313 | 3,100 |
| 包装 | 2,281 | 402 | 129 | 67 | 121 | 120 | 3,120 |
| その他 | 1,163 | 816 | 305 | 109 | 104 | 174 | 2,671 |
| 輸出 | 1,196 | 189 | 754 | 479 | 171 | 259 | 3,048 |
| 合計 | 9,599 | 3,844 | 2,008 | 1,077 | 641 | 1,246 | 18,415 |
| 年間平均成長率* | 3.1 | 3.7 | 2.9 | 2.9 | 2.8 | 4.9 | 3.3 |

* 1984~1994, 単位 %

表5 日本のアルミニウム製品の総需要(1996年)

| 分類 | 需要分野 | 需要量(1000トン) |
|------|-----------|-------------|
| 板類 | 缶材 | 407.8 |
| | 箔材 | 155.0 |
| | 輸送(自動車など) | 111.2 |
| | 建設 | 84.0 |
| | 輸出(缶材など) | 181.4 |
| | その他 | 302.5 |
| | 計 | 1,241.9 |
| 押出類 | 建設(窓枠など) | 902.0 |
| | 輸送 | 127.3 |
| | 金属製品 | 44.5 |
| | 電機 | 40.7 |
| | 輸出 | 8.3 |
| | その他 | 135.7 |
| | 計 | 1,258.5 |
| 鋳物類 | 自動車 | 950.3 |
| | (うちダイカスト | 593.8) |
| | その他 | 178.5 |
| | 計 | 1,128.8 |
| その他 | 輸入製品 | 191.0 |
| | 鉄鋼向け | 273.0 |
| 総需要量 | | 4093.2 |

る。押出材は建築向けが70%強を占めるが、その多くは窓枠向けとみてよい。鋳物類はダイカスト製品をはじめとして、自動車向けが80%を超えている。つまり、アルミニウムの需要は、缶、窓枠、自動車に大きく依存している。

3. 原料事情

3.1 アルミニウム地金の需給

わが国のアルミニウム工業は、国内にアルミニウム地金(以下、新地金と言う)の製造設備をほとんど有していない。必要な新地金は海外に依存している。表6は世界のアルミニウム新地金の需要を示す。わが国は世界のアルミニウム新地金需要の12%を占め、米国について第2位の大消費国である。

既に述べたように、世界中には187か所にアルミニウム電解製錬工場が存在し、その生産能力は23,519,500トンに達している。しかし、その中には小規模の老朽化したプラントから、新鋭大規模プラントまで、種々のものが中広く含まれている。図1は自由世界のアルミニウム新地金コスト曲線を称されるもので、生産単価とそのコスト以下で生産しうる設備能力の累積生産能力(トン)の関係を示している。世界に存在するアルミニウム電解工場の生産単価は、\$900/トンから\$1700/トンまで中広く分布していることがわかる。そして、新地金の需要は、市場経済のメカニズムによって、常に地金価格の変動を伴いながら生産を調整することによって一つの均衡を保っているも

のとみなされる。表7⁹⁾は世界のアルミニウム新地金の需給バランスを示したものである。

3.2 アルミニウム電解製錬工場とエネルギー

アルミニウムの電解製錬は、大量の電気エネルギー(約15,000KWh/トン)を必要とする。表8は世界のアルミニウム製錬用電力消費とそのエネルギー源(ソース)を示したものである⁹⁾。地域差が大きいことは当然であるが、水力が57.4%を占めていることは注目されてよい。

水力発電を用いた大規模なアルミニウム電解精錬工場として、CIS(ロシア)のブラーツク(Bratsk, 生産850,000トンで世界第1位)やクラスノヤルスク(Krasnoyarsk, 同800,000トン, 同第2位)などシベリア東部のプラントが有名である。これらは、バイカル湖より流出するアンガラ河とそれに続くエンセイ河の水力発電をベースとしている。旧ソ連経済の崩壊後、アルミナの供給に不安が生じたことから生産が低迷したこともあったが、西側の介入によってアルミナ持込による加工賃契約が成立し、最近では順調に生産が続行されているようである⁹⁾。ただ、最近の新聞⁹⁾の報ずるところによれば、クラスノヤルスク製錬所の操業に関し、西側のトレーダーとロシア当局の間の交渉に絡んで、マフィアを巻き込んだ紛争が生じたとのことであり、懸念されるところがないわけでもないようである。

火力発電を用いた新鋭大規模アルミニウム電解製錬工場として、最近の話題を集めたものに南アフリカ共和国のAlsuf社のHill Sideプラントがある⁷⁾。このプラントは、石炭発電による800MWの電力により、2ポットラインで新地金を年間466,000トン生産する西側世界最大のプラントである。Alsuf社は電力会社Eskom社との間で、製錬用の電力単価をアルミニウム新地金価格(LME)の16%とする契約を締結しているとのことである。同様にアルミナの購入価格について、Alcoa社、Alusuisse社、及びBilliton社との間でアルミニウム新地金の価格(LME)の12.5%(平均値)とする契約を締結しているとのことである。

3.3 LMEとJME(TOCOM)

(1) LME

今日、アルミニウム新地金の取引の多くは、ロンドン金属取引所、LME(London Metal Exchange Co.)を介して行われている。

LMEの設立は古く1876年であるが、アルミニウム新地金の上場されるようになったのは、1978年10月のことである。アルミニウム新地金がLMEに上場されるまで、アルミニウム新地金は製造者が発表した価格(PP: producer's price)によって取引されていた。そのため、アルミニウム新地金のLME上場は、当初、製造者からは歓迎されなかったが、LME市場の有利さ、利便さなど

表6 世界の地域別および主要国別アルミニウム（新地金）需要（1994年）

| 地域別新地金需要 | | 主要国別需要 |
|-----------------|---------------|---------------------------------------|
| 地 域 | 需要（単位：1000トン） | 国 別 内 訳 |
| 欧 州 | 5,198.0 | (独:1,501.5・仏:735.0・伊:660.0・英:500.0 他) |
| アメリカ | 6,732.4 | (米:5,407.1・加:532.8・ブラジル:413.8 他) |
| ア ジ ア | 4,751.2 | (日:2,345.8・インド:415.0 他) |
| 旧共産圏 | 2,388.7 | () |
| 総 需 要： 19,723.9 | | |

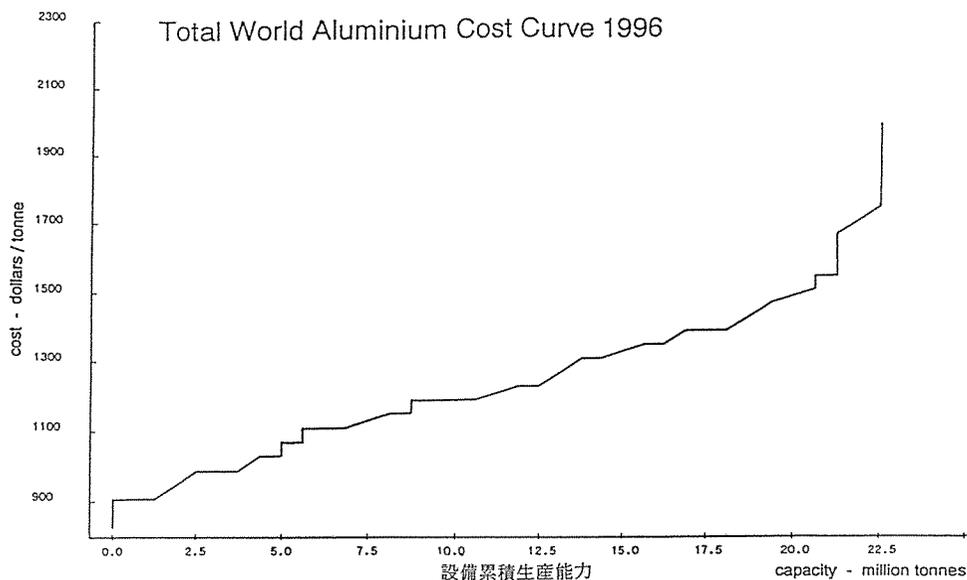


図1 自由世界のアルミニウム新地金コストカーブ

表7 世界のアルミニウム新地金の需要バランス予測³⁾

| 暦 年 | 1995 年 | 1996 年 | 1997 年 | 1998 年 | 1999 年 |
|--------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| | (稼働率) | (稼働率) | (稼働率) | (稼働率) | (稼働率) |
| 旧西側 供給 | 14,389 (88.2) | 15,315 (91.4) | 15,912 (92.5) | 16,306 (94.4) | 16,752 (95.5) |
| 旧東側 供給 | 5,100 (84.0) | 5,353 (84.9) | 5,611 (88.2) | 5,731 (89.4) | 5,836 (89.6) |
| (低品位) | -300 | -300 | -300 | -300 | -300 (94.2) |
| 供 給 計 | 19,189 (87.1) | 20,368 (89.6) | 21,223 (91.4) | 21,737 (93.1) | 22,288 |
| 前 年 比 | (103.7) | (106.1) | (104.2) | (102.4) | (102.5) |
| | (対前年比) | (対前年比) | (対前年比) | (対前年比) | (対前年比) |
| 旧西側 需要 | 17,464 (1.4) | 17,601 (0.8) | 18,029 (2.4) | 18,479 (2.5) | 18,879 (2.2) |
| 旧東側 需要 | 2,695 (6.9) | 2,933 (8.8) | 3,107 (5.9) | 3,256 (4.8) | 3,364 (3.3) |
| 需 要 計 | 20,159 (2.1) | 20,534 (1.9) | 21,136 (2.9) | 21,735 (2.8) | 22,243 (2.3) |
| 需給バランス | -970 | -166 | 87 | 2 | 45 |

が次第に評価されるようになり、取引量が増大していった。図2は1986年から1995年の10年間のLME商

高を示す。この10年間で高い高は18,725千トン（1986年）から飛躍的に増大（約20倍）して、382,546千トン

表8 世界のアルミ精練用電力消費とエネルギー源の内訳, 1995, (GWh) ⁴⁾

| 区 分 | 水 力 | 石 炭 | 石 油 | 天然ガス | 原子力 | 合 計 |
|-----------|---------|--------|-------|--------|--------|---------|
| ア フ リ カ | 6,221 | 3,745 | 0 | 0 | 0 | 9,966 |
| 北 ア メ リ カ | 61,032 | 27,362 | 0 | 80 | 649 | 89,123 |
| ラテンアメリカ | 31,726 | 0 | 0 | 309 | 61 | 32,096 |
| ア ジ ア | 5,280 | 7,740 | 1,185 | 12,095 | 2 | 26,302 |
| ヨ ー ロ ッ パ | 21,950 | 10,144 | 2,697 | 2,288 | 12,162 | 49,241 |
| 大 洋 州 | 6,209 | 17,203 | 0 | 439 | 0 | 23,851 |
| 合 計 | 132,418 | 66,194 | 3,882 | 15,211 | 12,874 | 230,579 |
| 構成比 (%) | 57.4 | 28.7 | 1.7 | 6.6 | 5.6 | 100.0 |

(注) 鋳造/電極工場用は除く。1 GWh = 100万KWh。

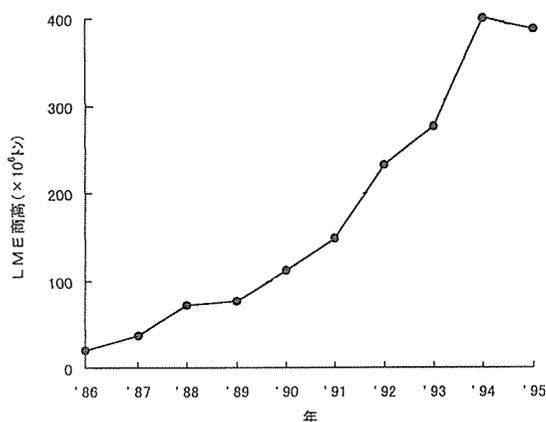


図2 LMEにおけるアルミニウム新地金の取引高の経年変化

(1995)に達している。ここで看過できないことは、アルミニウム新地金の世界の消費量(約20,000千トン)に比して、LMEの商高が約19倍と桁違いに大きいことである。この事は、LMEにおけるアルミニウム新地金の取引が、商高の面においては、需要の実体と大きくかけ離れていることを意味している。LMEにおいては、アルミニウム新地金に限らず、金、銀、銅などの非鉄金属も取扱われていて、これらの商高もやはり、需要の実体とは桁違いに大きい。因に銅のLMEの1995年の商高は493,533千トンであって、需要の実体(約12,000千トン)に比して、アルミニウムの場合より更に乖離は大きい。このことは、アルミニウムも国際的な相場商品の一つとなっており、投機の対象となっていることを物語っている。

アルミニウム工業にとって、地金の需給と価格の動向は死活に係る重要課題である。LMEは取引市場として、透明性、流動性、公正さなどとともに、先物予約市場の機能、いわゆる価格変動リスクに対するヘッジ機能を併せ持つ。このことが世界的なアルミニウム地金の需給を

表9 日本のアルミニウム地金の供給(1995年)

| 区 分 | 内 容 | 1000t |
|-----------|--------|-------|
| 新 地 金 | 国内生産 | 17 |
| | 輸入(開発) | 910 |
| | 〃(長契) | 812 |
| | スポット | 678 |
| | 合 計 | 2,417 |
| 二次合金地金 | 国内生産 | 1,049 |
| | 輸入 | 330 |
| | 合 計 | 1,379 |
| スクラップ | 回収 | 1,200 |
| | 輸入 | 155 |
| | 合 計 | 1,355 |
| 原材料地金 合計* | | 4,102 |

*二次合金地金国内生産を除外

円滑化させ、産業の安定化に貢献していることを認めざるを得ない。ただ、LMEにおける価格の変動の大きさに、アルミニウム業界も需要業界もともに悩まされていることも事実である。LMEは往々にして、その投機的な面が強調されすぎて、工業界からはこれを疎ましく思う向きも少なくない。しかし、その機能上のメリットは十分に認識されるべきものと思う。国内に地金供給源を保有しないわが国のアルミニウム工業界では、アルミニウム地金の価格の変動は自由主義経済の下にある国際相場商品、アルミニウム、の宿命と考え、リスク回避を常に念頭において行動することが必要と考えている。

(2) JME(TOCOM)

わが国は世界第2位のアルミニウム新地金の消費国でありながら、国内にほとんど製錬能力を持っていないため、世界一のアルミニウム新地金輸入国である。この実需を背景として、アルミニウム新地金の先物市場をわが国に設置すること、俗称Japan Metal Exchange - JME -, が望ましいとする考えがあり、紆余曲折を経て平成9年4月7日、東京工業品取引所(東工取、

表 10 日本のアルミニウム新地金の開発輸入 (1995 年)

| プロジェクト | 国 名 | 日 本 側 出 資 者 | 地金引取量 1000ト |
|----------|----------|---------------|-------------|
| NZAS | ニュージーランド | 住友化学 | 54 |
| VENALUM | ベネズエラ | 昭和電工他 5社 | 140 |
| PORTLAND | オーストラリア | 丸紅 | 33 |
| ALPAC | カナダ | 日本軽金属 | 45 |
| ASAHAN | インドネシア | 住友化学他 4社 | 135 |
| BOYNE* | オーストラリア | 住友軽金属他 4社 | 131 |
| AMAZON | ブラジル | 海外経済協力基金他 31社 | 170 |
| ALMAX | USA | 三井物産他 2社 | 160 |
| ALOETTE | カナダ | 神戸製鋼他 1社 | 42 |
| 合 計 | | | 910 |

*BOYNE : 増資後、現在拡張工事中

TOCOM)にアルミニウム新地金が試験上場されることになった。当初の目論見では、他の商品における現物流通量に対する東工取先物市場の取引比率の実績値から推測して、アルミニウム新地金の年間取引量は13,000～66,000千トンとみられていた。しかし、上場開始後数か月を経過したが、1日当たりの取引高は1～3千枚台(1枚はアルミ新地金10トンに相当)に低迷している⁹⁾。原因として、LMEとTOCOMの二重価格の発生を嫌った当業者(アルミニウム工業)がTOCOMに消極的であることや、現在のところ投機筋がアルミニウムの新地金の相場にあまり関心を寄せていないことが係っているものとみられる。

TOCOMのアルミニウム先物取引は、3年間の試験上場としてスタートしたところである。本上場へ移行できるようにするためには、次の3点が必要とされる。1)公正な価格形成、2)一定の取引量に達すること、3)リスクヘッジの要求に応じられること⁹⁾。TOCOMではアルミニウム市場振興特別委員会を設置してさらなる育成を図るとしている。

(追記：10月1日より大阪商品取引所においても、東京工業品取引所について、アルミニウム地金の先物取引が開始された。)

3.4 日本のアルミニウム地金需給

1996年度にわが国で出荷された全アルミニウム製品は4,000千トンを超え、世界第2位である。必要とされた地金は新地金、二次合金地金、スクラップよりなる。1995年のわが国のアルミニウム地金の供給明細を表9に示す。地金供給量4,102千トンの内、新地金は2,417千トン(59%)であり、他に二次合金(主として再溶解した鋳物用塊)とスクラップがそれぞれ1,379千トンおよび1,355千トンである。但し、二次合金地金の国内生産

はスクラップと新地金を用いて行われているため、地金供給には該当しない。新地金の輸入(開発)、いわゆる開発輸入、は海外のアルミ地金製錬プロジェクトにわが国の企業が出資し、出資比率に応じて製造コストで地金を引取ることを基本契約としているもので、表10にその明細を示す。わが国の企業による開発輸入先は、北米、中米、南米、大洋洲、アジアにわたっている。

4. アルミニウムと自動車

4.1 自動車のアルミニウム使用量

今日の自動車において、アルミニウム合金が多く部品に採用されている。軽金属協会自動車委員会が、国産車30車種について各部品のアルミ化比率を調査した(1994年)結果¹⁰⁾、エンジン関係の部品39種をはじめ、ドライブトレイン関係部品22種など部品総計98種にアルミ化の実績が確認された。このうち、半数以上の車種にアルミ化がみられた部品を表11に示す。今後、大物部品として、シリンダーブロック、ボンネット、バンパー、レインフォースメント(フロント、リア)などが期待されている。

自動車に占めるアルミニウム合金の比率は、着実に増大してきている。表12は、日本自動車工業会が普通・小型乗用車の原材料構成比を1973年、1992年、1997年に調査した結果¹¹⁾の要約である。鋼材の使用比率が一貫して減少していることに対し、アルミニウムと樹脂の使用が増加している。アルミニウムは、1992年から1997年に至る5年間において、6.0%から7.5%へ増大していることが特に注目される。同様の調査が米国製の自家用自動車についても実施されている¹²⁾。その結果、表13によれば、わが国と同様の傾向がみられ、アルミニウムの使用比率がこの数年間に顕著に増加しており、本年では1

表 11 自動車部品のアルミ化比率が50%以上の部品

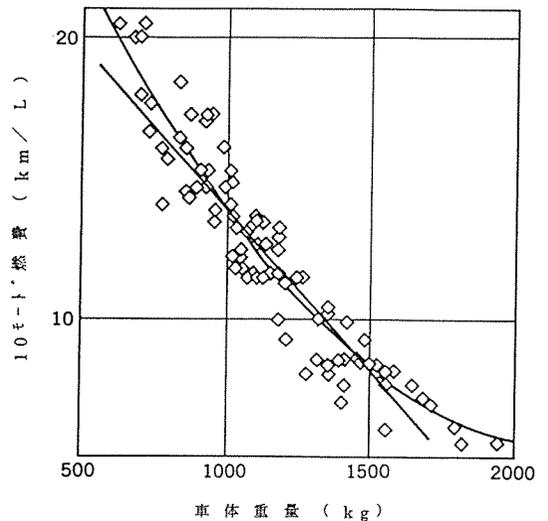
| 部品名 | 採用車数(%) |
|----------------------|---------|
| (1) エンジン | |
| ピストン | 30(100) |
| スタータモータボデー | 29(97) |
| シリンダーヘッド | 29(97) |
| カムシャフトベアリングキャップ | 26(87) |
| スロットルボデー | 26(87) |
| シリンダーヘッドカバー | 26(87) |
| オイルポンプボデー | 25(83) |
| オルタネータボデー | 24(80) |
| ウォータポンプボデー | 24(80) |
| インテークマニホールド | 24(80) |
| ウォータポンプインレット | 19(63) |
| ウォータポンプアウトレット | 19(63) |
| デリバリーパイプ | 16(53) |
| (2) ドライブトレイン関係 | |
| トランスミッションバルブボデー (ロア) | 29(97) |
| (アッパ) | 21(70) |
| (3) ブレーキ | |
| マスターシリンダー部品 | 26(87) |
| (4) 熱交換器 | |
| コンデンサー | 26(87) |
| エバポレータ | 20(67) |
| ラジエータ | 16(53) |
| (5) ホイール | |
| ホイール | 15(50) |

台当り 93.4kg のアルミニウムが使用されている。

4.2 環境保全と自動車の軽量化

今日、地球環境の保全の観点から、二酸化炭素の排出量の削減が真剣に論議されている。わが国は、国民一人当り年間約 3 トンの炭素相当の二酸化炭素を放出している。差し迫った課題は、地球の温暖化を避けるため、二酸化炭素の排出量を 1990 年のレベルに抑制しようとする事 (地球サミット'92, Agenda 21) であるが、その具体的方策の見通しはほとんどたっていないのが現状である。そして、この 12 月には京都で気候変動枠組条約の締約国会議、COP3、を迎えようとしている。

わが国の二酸化炭素の排出源のうち、最大の分野は産業 39.9%、ついで運輸部門 19.2% である。運輸部門のうち、54% が乗用車である。したがって、自動車とりわけ乗用車の燃料消費量を削減することは一つの重要な課題である。自動車の走行距離当たりの燃料消費量 (いわゆる燃費) を向上させるための方法について、中広く研究が行われているが、最も確実な方策の一つは、自動車の重量 (質量) を小さくすること、軽量化である。乗用車の車体重量と燃費の関係を図 3¹³⁾ に示す。燃費は車体重

図 3 自動車の車体重量と燃費の関係 (日本)¹³⁾

量に反比例して向上する。表 12, 表 13 でみたように、乗用車においてアルミニウム部品が、多く採用されるようになってきていることの有力な原因が軽量化にあることは当然のことである。

米国には、自動車製造会社に対し走行距離当りの燃料消費量の下限值 MPG (mile per gallon) を定めた規制、CAFE (Corporate Average Fuel Economy)¹⁴⁾ が存在する。CAFE は、各自動車会社が製造した自動車の燃料消費量の平均値 (MPG) が下限値としての CAFE 規制値を下回ることのないことを求めている。CAFE 規制値は 1978 年に 18.0MPG であったが、1980 年に 20MPG、そして 1985 年に 27.5MPG (11.7km/L) と改訂されて今日に至っている。年々実施される自動車の性能向上 (いわゆるデラックス化) は、往々にして自動車の重量増大をもたらす、この結果、その自動車は CAFE 規制値に抵触しやすくなる。このことを避けるために、自動車の高性能化とともに軽量化を積極的に計ることが必要となる。ここに鋼製の部品をアルミ化する必要性が生じてくる。

アルミニウムの比重 (2.70) は鉄の比重 (7.87) の 1/3 であるが、アルミニウム合金の機械的強度は鋼よりも小さいため、鋼製部品をアルミニウム合金製の部品に取り替えても、重量が 1/3 になるわけではない。オールアルミニウム合金製の車体を有するホンダ NSX (モノコック構造車体) および Audi A8 (スペースフレーム構造車体) について、B-I-W (Body In White, ドア, ボンネットなどのいわゆる蓋物および他の hang on parts を含まない塗装前の車体) の重量を鋼製の場合とオールアルミニウム合金製の場合について比較したところ、ともに表 14 に示すようにアルミ化により 40% の重量の削減が達

表 12 日本の普通・小型乗用車における原材料構成推移¹¹⁾
(日本自動車工業会による)

| | (%) | | |
|-----------|--------|--------|--------|
| | 1973 | 1992 | 1997 |
| 普通鋼材 | 60.4 | 54.9 | 52.1 |
| 特殊鋼材 | 17.5 | 15.3 | 16.9 |
| (鋼材 小計) | (77.9) | (70.2) | (69.0) |
| 銅 | 1.0 | 1.0 | 1.2 |
| アルミニウム | 2.8 | 6.0 | 7.5 |
| その他非鉄金属 | 1.2 | 1.0 | 0.9 |
| (非鉄金属 小計) | (5.0) | (8.0) | (9.6) |
| 汎用樹脂 | 2.9 | 6.2 | 6.2 |
| 高機能樹脂 | — | 1.1 | 1.3 |
| (合成樹脂 小計) | (2.9) | (7.3) | (7.5) |
| 塗料 | 2.1 | 1.5 | 1.7 |
| ゴム | 4.8 | 3.1 | 3.3 |
| ガラス | 2.8 | 2.8 | 2.8 |
| その他 | 1.3 | 7.8 | 7.1 |
| (非金属 小計) | (11.0) | (15.2) | (14.9) |

表 13 米国の自家用乗用車における原材料構成推移¹²⁾kg (%)

| 材 料 | kg (%) | | |
|--------|-------------|-------------|-------------|
| | 1978 | 1990 | 1997 |
| 鋼材 | 1198(73.6) | 987(69.3) | 983.0(66.7) |
| アルミニウム | 50.9(3.1) | 71.9(5.0) | 93.4(6.3) |
| 合成樹脂 | 81.6(5.0) | 102.5(7.3) | 119.8(7.5) |
| その他 | 297.5(18.3) | 264.6(18.6) | 263.8(18.0) |
| 合 計 | 1,628 | 1,426 | 1,460 |

表 14 鋼製車体と全アルミニウム製車体の B-I-W*の重量比較 (単位: Kg)

*B-I-W: Body In White, structural shell without hang-on-parts.

(単位: Kg)

| | NSX | Audi A8 |
|------------|--------|---------|
| 鋼製車体 | 350 | 417 |
| 全アルミニウム製車体 | 210 | 250 |
| 軽量比率 | (-40%) | (-40%) |

成された。図4はアルミニウム合金製の Audi A8 の車体のフレームの構造を示す。

鋼製の自動車ボディの軽量化を目指した企画として、

世界の18か国の鉄鋼メーカー35社による ULSAB-Consortium(Ultra Light Steel Auto Body)¹⁵⁾ がある。3か年で22百万ドルを投じて、材料のみならず設計

面や施工面を根本的に見直し、鋼製車体の軽量化を実現しようとするものである。当事務局の発表によれば、高抗張力鋼を70%使用するなどして、26%の重量軽減が可能となる見込みであるとのことである。

将来の自動車のあり方について、CAFE規制値の動向が大きく影響するであろう。既存のCAFE値27.5MPG

(11.7km/L) について、環境保護グループ側からはこれを引き上げる要求が出されており、既存業界からは現状維持が訴えられているようである。政界をも巻き込んだ論争¹⁶⁾が展開されつつあり、その決着が大いに注目される。

4.3 自動車用アルミニウム材料

自動車用のアルミニウム合金材料について、多くの優れた論文や解説が存在する^{17,18)}。本稿では最近の話題として自動車用ボディパネルと鋳造ピストン用粉末合金について簡単に紹介をする。

自動車用ボディパネルは自動車のアルミ化の中でも最も関心がよせられているものである。今日のところ量産車で、全アルミボディ車は2車種、ホンダ NSX と Audi A8 のみである。他の車種の中にはボンネットを始めとして、フェンダー、トランクリッド、ルーフ等のいわゆる hang-on parts にアルミニウム合金板を採用しているものが散見される程度である。ボディパネル用の板材には、2000 系合金 (Al-Cu)、5000 系合金 (Al-Mg)、6000 系合金 (Al-Mg-Si) がそれぞれ使用されてきた実績を持

つが、最近では焼付硬化型の 6000 系合金が特に有望視されるようになってきている。6000 系合金において、その製造プロセスの熱処理（焼入れ）条件を工夫することにより、塗装後の焼付条件下（例：170°C×30min）で硬化させることが可能である。表 15 は最近のボディシート用のアルミニウム合金板とその機械的性質を示したものであり、SG08 (AA6111 相当) は特殊熱処理として復元処理を施し、成形加工、塗装のあと焼付硬化 (bake hardening) により、塗装後の焼付条件下（例：170°C×30min）で硬化させることが可能である。表 15 は最近のボディシート用のアルミニウム合金板とその機械的性質を示したものであり、SG08 (AA6111 相当) は特殊熱処理として復元処理を施し、成形加工、塗装のあと焼付硬化 (bake hardening) させたものである¹⁹⁾。ここで焼付硬化とは塗装後の塗料の焼付時にその条件下でアルミニウム合金板の析出硬化を生ぜしめることを言う。

急冷凝固によるアルミニウムの粉末合金の中には、既存の合金よりも強度と耐熱性に勝るものが存在する。急冷凝固したアルミニウム合金の粉末において、合金成分

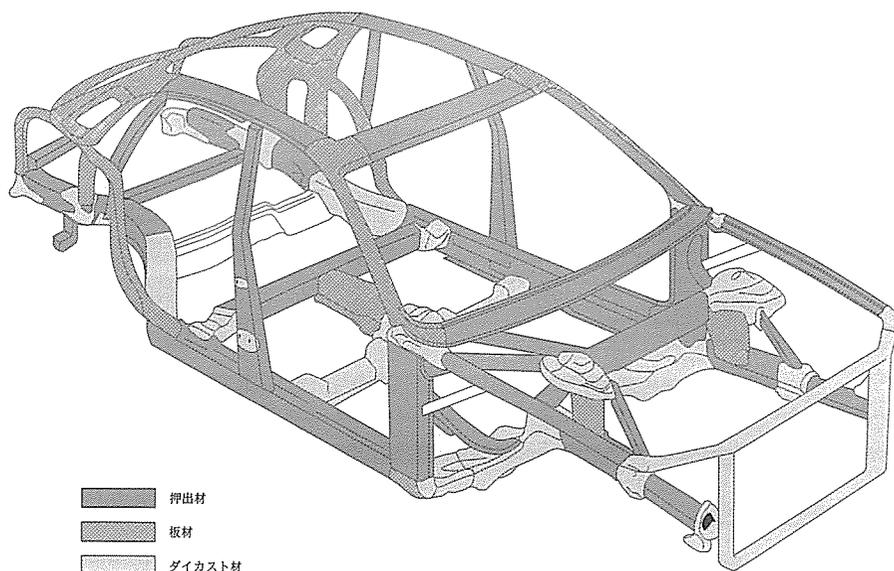


図4 スペースフレーム構造車体の使用材料，Audi A8 の例

表 15 自動車用ボディシートアルミニウム合金板の機械的性質¹⁹⁾

| 合金記号 | 合金成分 | 引張強さ (MPa) | 耐力 (MPa) | 伸び (%) | n-value | r-value |
|-------|-----------------|------------|----------|--------|---------|---------|
| GM245 | Al-4.5 Mg-Mn | 270 | 130 | 28 | 0.30 | 0.80 |
| GC45 | Al-4.5 Mg-Cu-Mn | 275 | 140 | 30 | 0.30 | 0.72 |
| GC55 | Al-5.5 Mg-Cu | 280 | 120 | 35 | 0.31 | 0.80 |
| SG112 | Al-Mg-Si | 240 | 135 | 32 | 0.28 | 0.55 |
| SG08 | Al-Mg-Si-Cu | 280 | 150 | 28 | 0.23 | 0.70 |

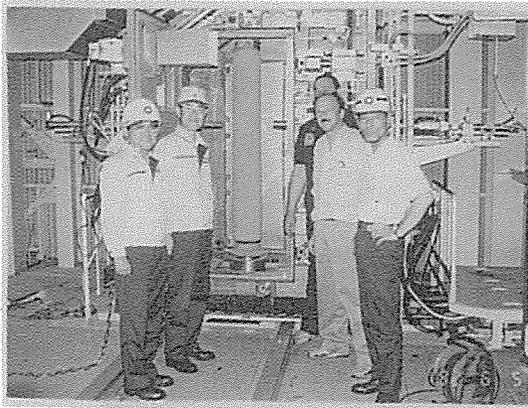


図5 Spray Deposition 法によるピレットの製造, Osprey 装置による

の固溶域の拡大と均一で微細な組織が実現するためのものである。粉末冶金で加工用の材料を得るプロセスは、粉霧、圧縮、封缶、脱気、加熱、押出など多工程を要し、コスト高であり、このことが急冷凝固粉末アルミニウム合金の実用化を妨げていた。解決策の一つとして、スプレーデポジション法 (Spray Deposition) としての OSPREY PROCESS²⁰ (英 OSPREY 社) が導入された。この方式では、合金の溶湯が粉霧されて微粒子となり、半溶融の状態ではピレット状に固められる (図5)。この素材を押出すことにより、容易に鍛造素棒を量産することができる。現在このようにして得られた素棒から、高負荷用のピストンが製造されている。

5. アルミニウム缶と缶材

飲料缶にはスチール缶とアルミニウム缶がある。このところアルミニウム缶の普及がめざましい。缶に使用されるアルミニウム板、いわゆる缶材には、缶の本体 (body) を構成するボディ材、缶の蓋を構成するエンド材及び開缶時の把手に当たるタブのためのタブ材がある。このうちエンド材とタブ材は、アルミニウム缶ばかりでなくほとんどすべてのスチール缶においても、イージーオープンエンド、ステイオンタブ形式のアルミニウム合金製の蓋が採用されている。アルミ缶と缶材について話題になっていることを紹介する。

5.1 スチール缶とアルミニウム缶

わが国で製造された金属缶 (1995年) のシェアを図6に示す²²⁾。アルミニウム缶は14,400百万缶であり、36.9%を占める。アルミニウム缶の消費量は、輸入される缶を計算に入れて、159億缶である。よって、日本人一人当たりアルミニウム缶を年間130缶消費していることになる。わが国のすべての飲料缶の消費量は385億缶とされているので、一人当たりの缶の消費量は年間約320缶となる。米国の飲料缶の年間消費量は981億缶

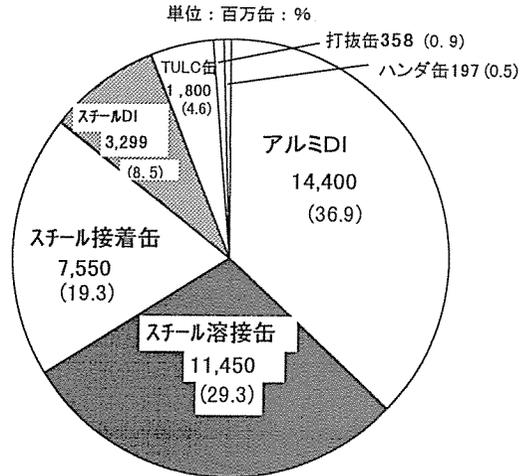


図6 日本の金属缶のシェア (1995)²²⁾

(1995) であるので、米国人は一人当たり年間約500缶を消費していること (日本人の1.6倍) となる。ただ、米国ではスチール缶のシェアは1%以下であるから、消費された金属缶はすべてアルミニウム缶とみてよい。このことから、アルミニウム缶の一人当たりの消費については、米国人は日本人の3.8倍に当たることがわかる。アルミニウム缶の消費における日米の差は159億缶対981億缶、つまり1:8となり、缶および缶材を供給する企業の規模に大きな差が生じていることは否めない。

5.2 アルミニウム缶材

アルミニウム缶は、すべてボディとエンドによりなる two piece 缶である。ボディは一般に 3004 (Al-1% Mn-1%Mg), H-19 (冷間圧延上り)、約 0.3mm 厚さのコイル状の板より D-I (draw and ironing) 法によって成形される。エンドは 5182 ((Al-4.5%Mg-0.3%Mn), H-19, 0.27mm 厚さのプレコート材よりプレス加工によって成形される。

アルミニウム工業にとって、缶材は次のような特徴を有している。イ) 板材の最大の用途である (わが国の缶材は年間40万トンを超えている)。ロ) 成長性が見込める用途である。ハ) 今日、世界市場において大手アルミニウム圧延メーカーの熾烈な競争の対象となっている経営戦略商品である。ニ) 国際的な市況商品である。製缶工業は、生産合理化のため高速、大量生産ラインを導入してきた。その結果、大型コイル (巾 1000~1800mm, 重量 10~15トン) が要求されるようになり、今日のアルミニウム圧延機の仕様の上限は、缶材の要求に合わせて定められていると言ってよい。

製品 (缶ボディ用コイル) の外観を図7に示す。図7から、今日のアルミニウム圧延の規模を感じて頂きたい。

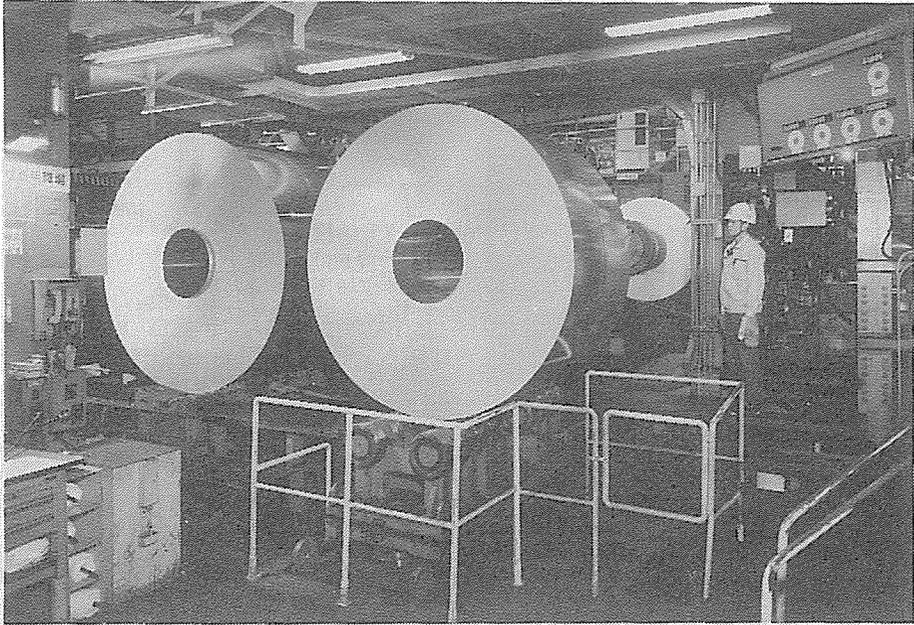


図7 アルミニウム缶用のコイルの外観

わが国のアルミニウム圧延工業は、缶材に依存している面が大であるが、国際的な競争力においては、コスト競争力の面において米国の同業と比較してやや劣勢である。これは、米国はわが国に比して一桁多く国内に需要を有し、ボディ材とエンド材についてそれぞれ専門の工場が存在しうる条件下にある。そのため、量産メリットを享受しうる立場にある。わが国のアルミニウム圧延工業は、缶材とともに少量多品種の各種板材の生産を併せて行っていることから、量産効果を発揮し難い面が存在し、国際競争場裡において、米国よりも不利な立場にあることは否めない。国際的にみて、国内に世界のトップクラスの自動車産業、建設産業、造船産業など、大口需要家を擁するわが国の鉄鋼業よりは、国内需要の規模の面でアルミニウム圧延業が不利な立場にあるものと考えられる。わが国のアルミニウム圧延工業としては、経営合理化の徹底と品質上の優位性を確保することが、将来に向けて生存していくための必要条件であると認識している次第である。

5.3 アルミニウム缶のリサイクル

環境保全と資源の有効利用の両面から、アルミニウムのリサイクル、とくにアルミニウム缶のリサイクルの強化が要望されている。年間、日本人一人当たり130個のアルミニウム缶を消費しているが、このすべてのアルミニウムを溶融塩電解による新地金で供給すると、必要な電力は33.8KWhとなる。この量は日本人が家庭で消費する電力の13日分にも相当する。これは無視できない量である。1996年度の調べによると、アルミニウム缶の

リサイクル率は70.2%に達したことが示されている。大量のアルミニウム缶を消費している米国では、早くからリサイクル運動に力を入れてきたが、リサイクル率は62.2%（1995年）と報じられている。リサイクルされた缶屑、UBC（Used Beverage Can）、は選別、破碎、塗膜の焙焼を経て溶解再生される。リサイクルに要するエネルギーは、電解製錬のエネルギーの5%以下である。溶解酸化ロスを小さくするため、米国では弗化物等のフラックスを用いて溶解を行なっているが、わが国ではフラックスの残滓の処理に問題を残しているため、フラックスを用いないで溶解再生を行っている。そのため、溶解再生の歩留まりが少なくとも2~3%は低くなっている可能性がある。早急に解決すべき課題の一つと考える。

6. アルミニウムと健康

アルミニウムの用途の中で一般人に最も親しみの深いものは、何といっても鍋、湯沸かし器、弁当箱などの家庭用品であろう。最近わが国では、人体内に取り込まれたアルミニウムが老年期痴呆症の一つであるアルツハイマー病の原因であるとする見解が一部の学者より提出された²³⁾。

そしてこのことが、一部のジャーナリズムの報ずるところとなって、アルツハイマー病の原因は即、アルミニウムとする誤った風評を生むに至っている。

アルミニウム業界では、関連団体の協力のもとで、医学界の協力を得ながらこのような誤解にもとづく風評を拂拭し正しい理解を得るように活動を開始したところで

ある。

アルミニウムとアルツハイマー病の関係について、過去にも米国や英国で問題視されたことがあった。しかし、

慎重な検討の結果、「アルミニウムとアルツハイマー病の間に因果関係は認められない」というのが、今日の世界の研究者達の一般的な認識と考えられていた。

そもそも、アルミニウムに神経毒性があるとされたのは、1972年に排泄機能障害を有する患者に腎臓透析をおこなったところ、不幸にしてアルミニウム濃度の高い透析液を用いた場合に「透析痴呆症」が発生したことに端を発している。そして、飲料水中のアルミニウム濃度とアルツハイマー病患者の発生に相関々係がある疑いがあるとの報告がなされた。しかし、透析痴呆症は過剰に血液中に投入されたアルミニウムの神経毒性によるもので、アルツハイマー病とは病理組織学的に異なることが明らかにされている。アルツハイマー病の発症メカニズムは未だ完全には解明されておらず、研究段階にあるとされている。最近の研究の成果として、アルツハイマー病は遺伝子要因(アミロイド前駆体蛋白の代謝異常、 β 蛋白の発生、沈着など)と環境要因(加齢、性別、頭部外傷など)が複合した多因子型の病気であり、本質的な治療法については今後に期待せざるを得ないものとされている。

アルミニウム業界では、関係5団体、すなわち社団法人軽金属協会、同アルミニウム連盟、軽金属製品協会、

アルミ缶リサイクル協会およびアルミニウム箔懇話会が共同してアルミニウム健康団体連絡協議会を組織して、本問題に対処しつつある。同連絡協議会が刊行した資料「アルミニウムと健康」(1996年11月)や「アルミニウムと健康Q&A」NO:1~4によれば、人間は日常生活において食料(表16)や食器等からアルミニウムを数ミリグラム/日摂取(経口摂取)しており、このレベルは世界保健機構、WHOが定めた一日の摂取許容量(ADI: Acceptable Daily Intake), 1mg/Kg 体重・日、からみて、全く問題のない量である。つまり、体重50Kgの人の場合では、一日当たり50mgまで許容されるから、仮に数mgのアルミニウムを摂取しても、健康上の支障を生ずることはないものといえよう。但し、食品によってはアルミニウムの調理器からかなりの溶出が見られることもありうるが、アルミニウム調理器にはアルマイト処理や弗素樹脂膜処理等の防食皮膜処理が施されているので、溶出量は低レベルであることが多く、一日の摂取許容量を超過するようなことは容易には起こり得ない。なお、以上の論議はすべてアルミニウムを経口摂取するときのことについてであって、注射による体内への取り入れは容易ならぬ毒性を示すので、両者は厳密に区別をすべきである。

表16 食品別のアルミニウム含有量(平均値)

| 食 品 | アルミニウム含有量 ($\mu\text{g}/100\text{g}$) |
|----------|---|
| 肉類 | 180 |
| 牛乳 | 110 |
| 卵 | 100 |
| 玄米 | 230 |
| 白米 | 120 |
| 小麦 | 770 |
| 魚類 | 200 |
| 貝類 | 3,800 |
| 葉菜類 | 1,200 |
| 果菜類 | 110 |
| 根菜類 | 260 |
| 果実 | 66 |
| いも類 | 250 |
| きのこ類 | 610 |
| 海藻類 | 8,500 |
| 大豆・ごま | 2,475 |
| コーヒー | 4 |
| ビール | 7 |
| 茶(ティバッグ) | 446 |

以上で述べたようなわけで、通常の生活において食品や食器から経口摂取されるアルミニウムは、アルツハイマー病の発病とは関係のないものとみなされる。アルミニウム業界では、医学界のご協力も得て事態の解明に努め、一刻も早く不安を一掃したいものと考えている。

7. ま と め

アルミニウム工業は大きく3工程に分けられる。すなわち、ボーキサイト採掘からアルミナ製造に至る原材料工程、アルミナから金属アルミニウムに至る製錬工程、アルミニウム地金から板や押出材や鋳鍛造品に至る加工工程、である。

原材料工程や製錬工程は世界的な規模でそれぞれ資源や電気エネルギーに恵まれた地域において盛んに行なわれている。前者はオーストラリア、後者は米国、ロシア、カナダなど。世界のアルミニウム地金生産は年間ほぼ2000万トンであり、需要と供給はよくバランスしている。

日本のアルミニウム工業は圧延、押出、鋳鍛造などの加工工程に限定されており、年間の総製品出荷量は400万トンを越え、米国について世界第2位である。地金の取引の多くがLME(ロンドン金属取引所)の影響下にある。本年4月より東京工業品取引所(TOCOM)において、アルミニウム地金が取引されるようになった(試験上場)。しかし、現在のところ、取引高は期待をかなり下回っている。(なお、10月1日より大阪商品取引所においても取引開始された)。

地球規模で環境保全およびエネルギー節約が重要視さ

れるなか、自動車の軽量化が進められてきている。そして、アルミニウム部品の採用が着実に増大している。最近の開発成功例として、ボディパネル用の焼付硬化型6000系合金板や高負荷ピストン用急冷凝固粉末アルミニウム合金材料 (Spray Deposition 法による) などがある。

アルミニウム缶はアルミニウム圧延材の最大の需要分野であり、その缶材は典型的な国際市況商品でもある。コストダウンと品質の安定が問われている。

最近、一部の学者により、アルミニウムとアルツハイマー病の関係が指摘された。しかし両者の相関関係を裏付けるにたる有力な証拠は示されておらず、むしろ内外の調査からアルミニウムはアルツハイマー病とは無関係である可能性が極めて大きくなってきている。わが国のアルミニウム業界では医学界の協力を得て実態の解明に努めているところである。一刻も早くアルミニウムがアルツハイマー病と無関係であることが立証されるよう念願している次第である。

参 考 文 献

- 1) アルミニウム データ ブック, 日本アルミニウム連盟, “1997)
- 2) Robert Unger: Light Metal Age, June (1997) , 84
- 3) LM 通信, (1997. 2. 4)
- 4) IPAI 資料
- 5) LM 通信, (1997. 6. 6)
- 6) 日本経済新聞, (1997. 8. 29)
- 7) R. P. Pawlek: Light Metal Age, Aug. (1996), 8
- 8) 日刊産業新聞: (1996. 6. 25)
- 9) 浜本 聡: 株式市場新聞(1996. 6. 25), 鉄鋼新聞(1997. 6. 27), アルミ国際会議 (Financial Times) の講演要旨.
- 10) 軽金属協会自動車委員会: 自動車部品のアルミ化調査報告 (第 5 回) , (1994)
- 11) 金属特報 (日刊), (1997. 6. 6)
- 12) American Metal Market, Feb. 24, (1997)
- 13) 西村嘉彦: 住友軽金属, 34 (1993), 264
- 14) Public Law 94-163-Dec. 22, 1975, Title III, Improving Energy Efficiency, PartA-Automotive Fuel Economy
- 15) Al Wrigley: American Metale Market, May 26, (1997)
- 16) Nancy E. Kelly ibid, July 29, (1997)
- 17) 軽金属協会: 自動車のアルミ化技術ガイド, “材料編”, 軽金属材協会, (第 4 版), (1996)
- 18) Yosio Baba: “Invitation to Weight Reduction Using Wrought Aluminium”, Paper preseted to FISITA 96.
- 19) H. Uchida and H. Yoshida: Aluminum and Magnesium Applications, TMS, Materials Week'95, Cleaveland Ohio, (1995). 97
- 20) R. W. Evans, A. G. Leatham and R. G. Brooks: Powder Metallurgy, 28 (1985), 13
- 21) H. Sano, N. Tokizane and K. Shibue: 住友軽金属技報, 35 (1994), 123
- 22) LM 通信: (1996. 7. 5)
- 23) 湯元 昌: Boundary, (1996), 6, 38

論 文

熱間圧延用冷却廃水からの $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の回収

塚 田 虎 之*, 岩 瀬 正 則***

Recovery of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ from Oily sludge generated at mechanical rolling process of steel plant

by Torayuki TSUKADA, Masanori IWASE

This article describes the recovery of $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ from oily sludge generated from waste coolant of hot rolling mill plant within steel work. The process consists of heating oily sludge to 100°C to remove moisture and subsequently to 500°C for eliminating oil, while $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ remains at solid state as a by-product.

1. 緒 言

鉄鋼プロセスには連続鋳造、熱間圧延等に大量の冷却水を使用する。この冷却水は工場建屋別に回収し、再利用する。ただし、冷却廃水には圧延機、連続鋳造機等に使用される潤滑油・グリース等の雑多な油分およびスケール・ダスト等の固形物が混入するので、その再生処理は簡単ではない。一例として新日本製鉄大分製鉄所厚板工場における冷却廃水の再生処理フローを図1に示す¹⁾。まず冷却廃水は厚板工場に隣接した廃水スケールピット(A)に集めたのち、沈澱池(B)に導いて比重差により固形分を簡単に除去する。沈澱池の上澄み液は濾過器(C)、および冷却塔(D)を通したのち再利用する。いっぽう、沈澱池からは固形分を含んだ廃水が回収されるが、これはシックナー(E)、ドラムフィルター(F)を通して固形分を除去する。

以上のように、冷却廃水の大部分は再利用されるが、最後に少量の水分と潤滑油・グリース等の雑多な油分が混入した個体が残る(固形分の主体はスケール・ダスト等に由来する)。これは「含油スラッジ」と呼ばれている。この外観を図2に示す。この「含油スラッジ」は悪臭を

放つので、その処理は注意を要する。現状では、「含油スラッジ」をロータリーキルン(G)で焼却して「焼成スラッジ」を得たのち、これを溶銑予備処理に利用している。ただし焼却処理には1200°C以上の高温を要する(図1参照)。

筆者らは、「含油スラッジ」を低温で処理できるプロセスを考案し、これを用いて $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を回収することを目的として一連の実験を行ったので報告する。

2. 「含油スラッジ」中の固形分の含有率と相の同定

実験に用いた「含油スラッジ」は新日本製鉄大分製鉄所の熱間圧延工場の冷却廃水再生処理プロセスから採取したもので、その組成は、水分約10~15%、油分2~3%、残りは固形分とされているが¹⁾、まず固形分の含有量を明らかにするため、「含油スラッジ」を精秤し、ピーカー内でアセトンにより洗浄し、これを濾過して、固形分を分離し、十分乾燥させたのち固形分の重量を求めた。この結果、「含油スラッジ」中の固形分の含有率は85.2 wt%であることがわかった。

つぎに「含油スラッジ」をX線解析に供した。結果を図3(a)に示すが、図より「含油スラッジ」中の固形分は、主として、FeOと $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ であることがわかる。ここで注目すべきは $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Maghemite) の存在である。 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ はスピネル構造から6配位のFeイオンが一部抜けた構造をとる。 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (Hematite) とは異なりフェリ磁性を有しているため、ビデオ、カセット等の

*京都大学工学部学生 (現京都大学大学院エネルギー科学研究科修士過程)

**京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻

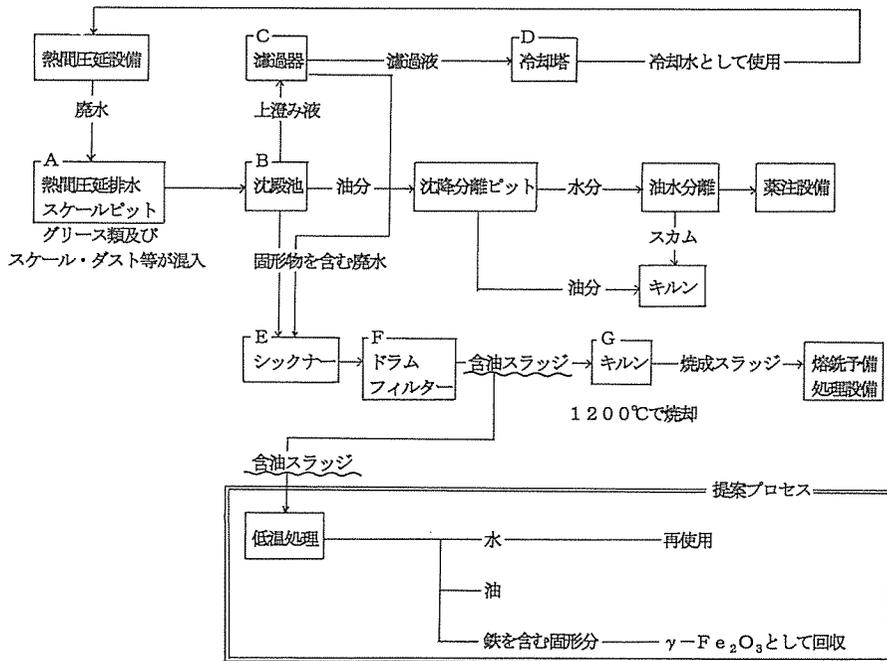


図1 新日鐵大分製鉄所における熱間圧延用冷却水の処理フロー

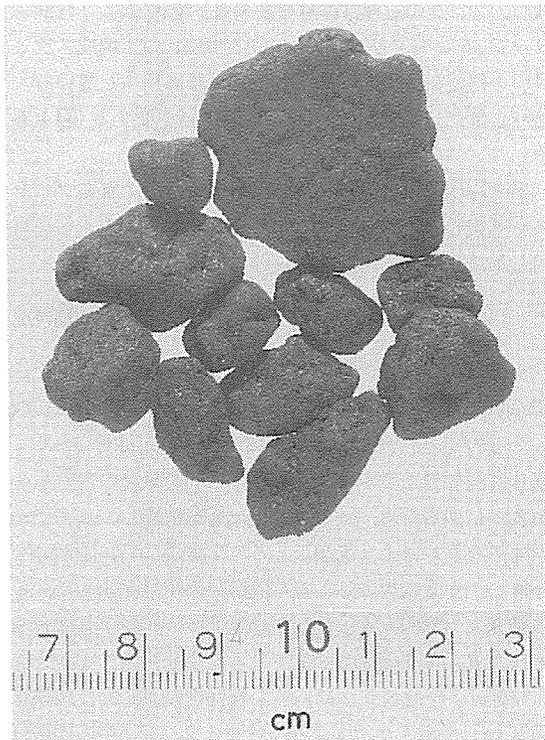


図2 含油スラッジの外観

磁気テープに利用されている²⁾。もっとも Fe_2O_3 の安定相は、 α - Fe_2O_3 であり、 γ - Fe_2O_3 は準安定相である。熱力学データ集にも γ - Fe_2O_3 の熱力学データは与えられ

ていない。

γ - Fe_2O_3 の合成には複雑な過程を要する。すなわち「硫酸第一鉄溶液をアルカリ性として空気を吹き込み、まず含水酸化鉄である α - FeOOH (Goethite) の針状微粒子をつくり、これを水蒸気気流中で300から400°Cで還元して Fe_3O_4 としたあと、空気中で200°C程度でゆっくり再酸化させて γ - Fe_2O_3 を得る²⁾」というものである。

3. 「含油スラッジ」の低温処理プロセス

筆者らが提案する「含油スラッジ」の処理プロセスを図4に示す。これは第一段階として「含油スラッジ」を100°C程度に加熱して水分を蒸発除去し、第二段階ではこれをさらに加熱して油分を揮発除去するものである。

第一段階は単なる水の蒸発であるから容易であるが、第二段階は潤滑油・グリース等雑多な油分を蒸発させるわけであるから、まず蒸発除去のための最適温度を決定しなければならない。温度が高すぎると、油が燃焼することが懸念される。

そこで図5に示す装置を用いて、第二段階すなわち油分の揮発除去の最適温度を決定することとした。この装置では反応容器は、枝管付きの丸底フラスコ(容量500cc)であり、これをマントルヒーターで加熱する。この丸底フラスコ内に「含油スラッジ」120gを装入し、試料を大気中で加熱した。蒸発した水分および油分は、枝管の内部で冷却されて凝縮するので、これをメスシリンダーに貯留する。なお枝管の外側にはシリコンゴム

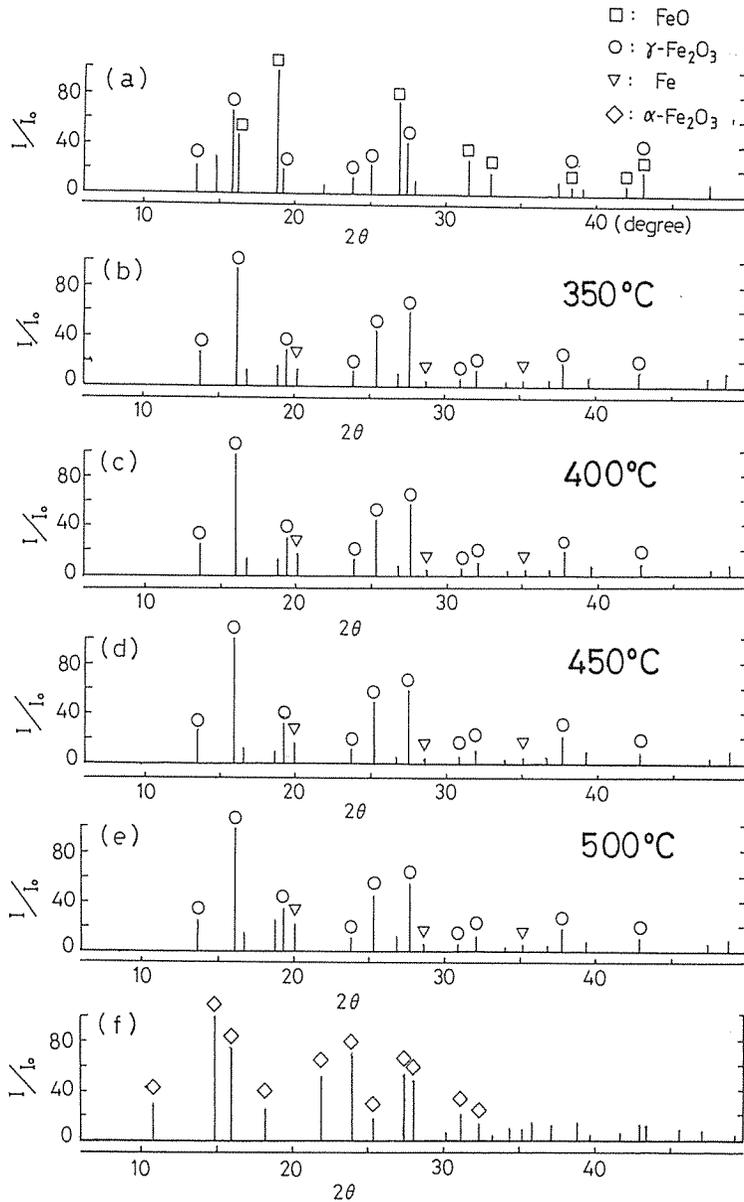


図3 X線回析の結果
 (a) 「含油スラッジ」(未処理)
 (b) 「処理後スラッジ」。処理温度 350°C
 (c) 「処理後スラッジ」。処理温度 400°C
 (d) 「処理後スラッジ」。処理温度 450°C
 (e) 「処理後スラッジ」。処理温度 500°C
 (f) 「処理後スラッジ」を大気中 600°C×35 時間、さらに大気中 850°C×25 時間加熱した試料

チューブを巻き付け、水を流して冷却した。

試料の温度は丸底フラスコ内へ装入したアルメルクロメル熱電対により測定し、丸底フラスコとマントルヒーターとの間に設置したコントロール用熱電対と温度調節器により制御した。

まず、試料を大気中で 110°C まで加熱した。この時の試

料温度と回収した水分量(■)の経時変化を図6に示す。加熱開始後約20分で試料温度は110°Cに到達し、約3時間でメスシリンダー内に15.5 ccの水が回収された。フラスコ内の②および③の位置(図5参照)の温度は、「含油スラッジ」から水が蒸発している間はその蒸気によって約100°Cまで上昇するが、蒸発が終了すると常温近く

まで低下する。つまり本プロセスを実用した場合にはこ

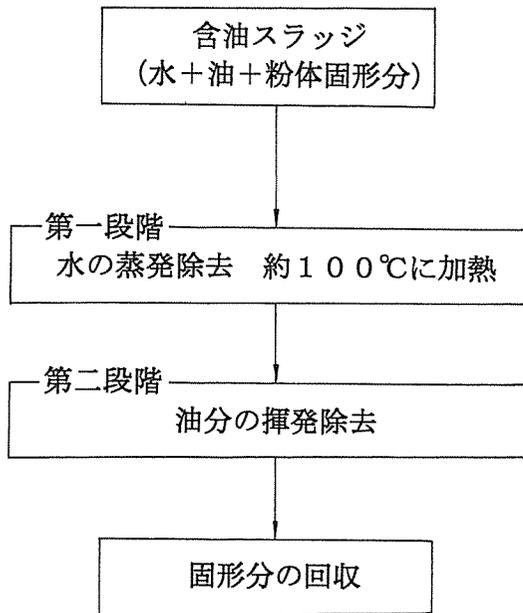


図4 含油スラッジ処理プロセスの概要

の部分の温度を検出することによって第一段階の脱水処理を終了したかどうかを判断することが出来る。

つづいて、試料温度を350°C、400°C、450°Cあるいは500°Cまで加熱して、油分を揮発除去し、メスシリンダーに回収した。回収した油分の量の経時変化を図7に示す。図に示すように、350°C、400°Cでは、5時間を経過しても油分の回収が終了していない。これに対し450°C、500°Cでは、約1時間で油分の回収が終了し、450°Cと500°Cでは回収の速度にはほとんど差がない。つまり処理温度の最適温度は450~500°Cである。この温度域では脱油処理は約2時間で終了する。なお実験中に油分の燃焼は認められなかった。

反応容器を約300°C以上に加熱すると、反応容器内に白煙が認められた。この気体は悪臭を放ち、揮発した油分の一部が、凝縮せずに気体のまま反応容器の外へ逃散したものと考えられる。ただし発生した気体の化学種の決定は本研究の目的ではないので、気体の成分は不明のままである。この気体を水槽中へ上下を逆にして沈めたメスシリンダーへ導いて回収し、その体積を測定したところ「含油スラッジ」100gあたり11700cc(常温・常圧)

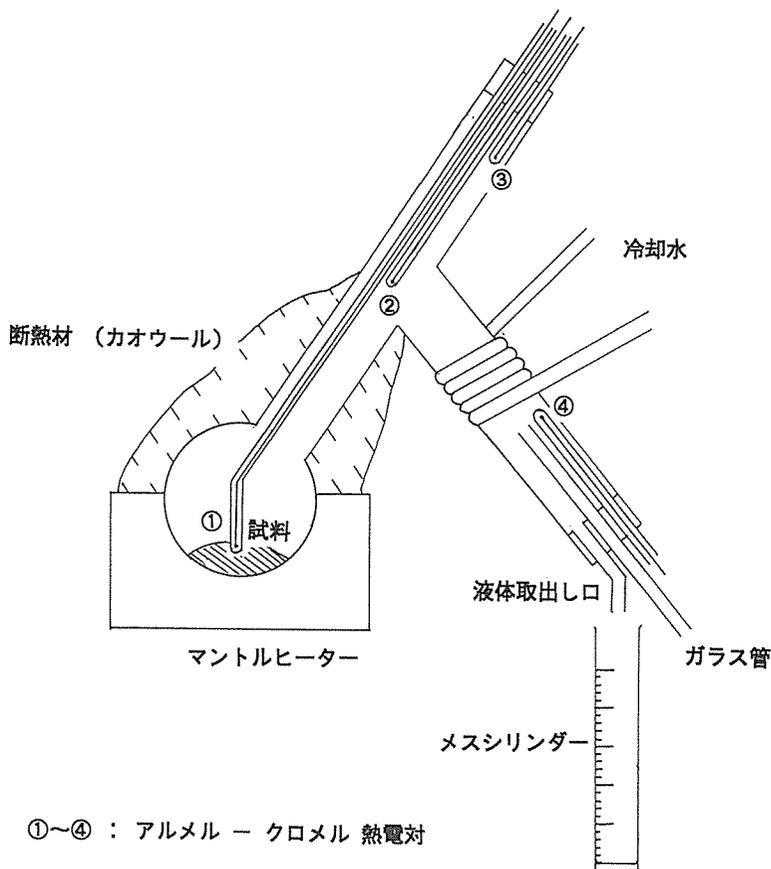


図5 実験装置

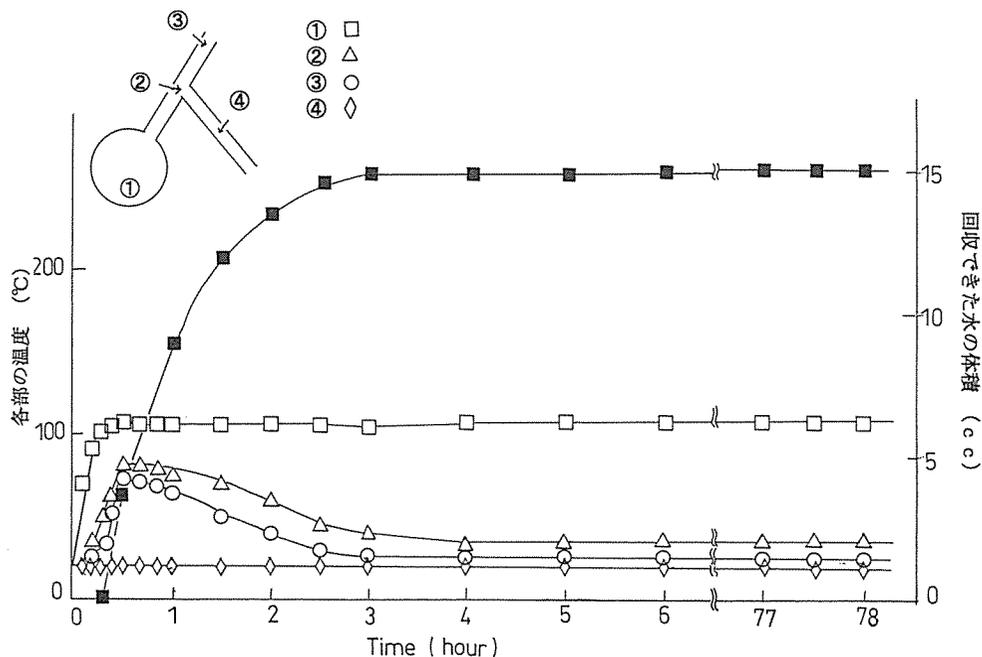


図6 処理中に回収した水分の量の経時変化 (■)。含油スラッジ装入量 120 g。処理温度 (図5の①の温度) 110°C。□ △ ○ ◇は各々、図5の① ② ③ ④の温度を示す。

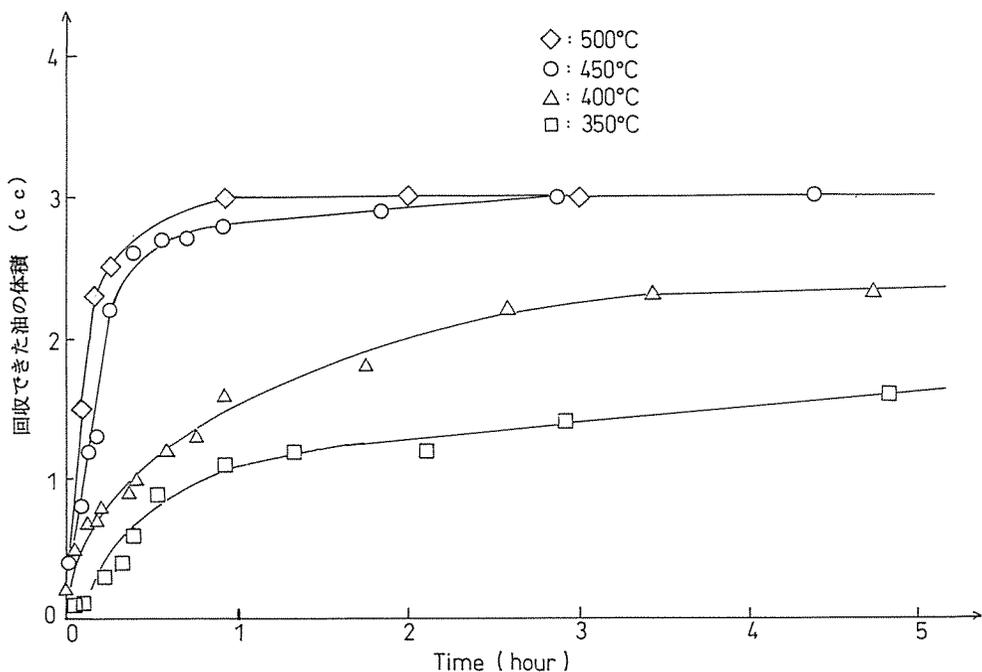


図7 処理中に回収した油分の量の経時変化。含油スラッジ装入量 120 g。処理温度 (図5の①の温度) 500°C。

であることがわかった。

以上のような処理で得られた固形分 (以下これを「処理後スラッジ」と呼ぶ) を 550°C、真空下で加熱し、処理後の固形分の重量変化を追跡したが、重量変化が全く認

められなかった。このことから「処理後スラッジ」には水分、油分ともに含まれていないと判断した。

この処理で回収した液体 (水分+油分) の外観を図8に示す。メスシリンダーの下部にたまった透明な液体は

水，その上の不透明の液体が油分である。これからわかるように，回収した水分と油分とは明瞭に区別できる。また回収した油分は容易に着火するので，燃料として使用できよう。なお「処理後スラッジ」の外観を図9に示

すが，これはほとんど臭気を発しない。

4. 「処理後スラッジ」の性状

4.1 相の同定

まず得られた「処理後スラッジ」を粉末 X 線回析に供した。第二段階の脱油処理温度を 350, 400, 450, 500°C と変化させた時の X 線回析結果を図3(b)～(e)に示す。また粉末 X 線回析の結果をまとめると表1のようである。

脱油処理温度 350°C, 400°C, 450°C, 500°Cではいずれの場合にも Fe および γ - Fe_2O_3 相が認められたが，処理前の「含油スラッジ」に認められた FeO の存在は確認で

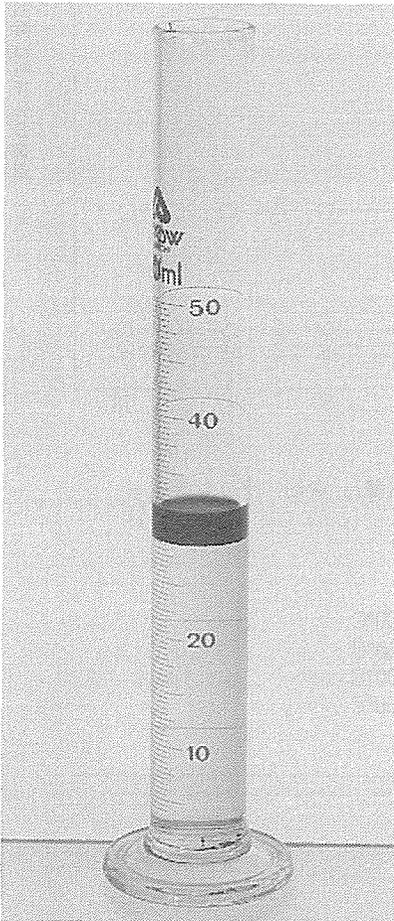


図8 回収した液体（水分+油分）の外観

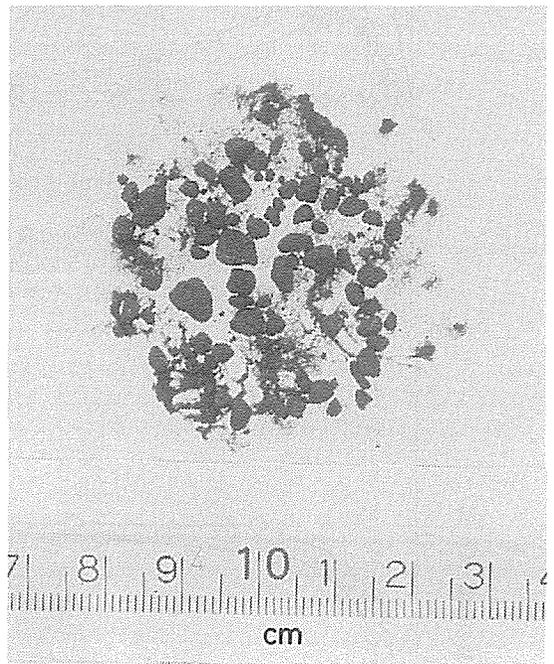


図9 処理後スラッジの外観

表1 粉末 X 線回析のまとめ

| | 処理前 「含油スラ ッジ」 | 処理後 スラッジ 脱油温度 350°C | 処理後 スラッジ 脱油温度 400°C | 処理後 スラッジ 脱油温度 450°C | 処理後 スラッジ 脱油温度 500°C |
|------------------------------------|---------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|------------------------------|
| Fe | × | ○ | ○ | ○ | ○ |
| FeO | ○ | × | × | × | × |
| Fe_3O_4 | × | × | × | × | × |
| α - Fe_2O_3 | × | × | × | × | × |
| γ - Fe_2O_3 | ○ | ○ | ○ | ○ | ○ |

○；存在する X；存在しない

きなかった。このことから、脱油処理中に FeO (あるいは $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$) の一部が還元されて金属鉄を生成したと考えられる。

4.2 「処理後スラッジ」の平均組成

以上のように「処理スラッジ」の主成分は Fe と酸化鉄であることがわかったので、「処理後スラッジ」の平均組成を FeO_n と表すことにする。この FeO_n を大気中 600°C で 35 時間、ついで大気中 850°C で 20 時間加熱して、 Fe_2O_3 にまで酸化し、酸化前後の重量変化から O と Fe の原子比 ($\text{O}/\text{Fe}=n$) を求めたところ、 $n=1.26$ を得た。

つぎに、この値 ($n=\text{O}/\text{Fe}=1.26$ 原子比) を用いて、「処理後スラッジ」中の Fe と $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の存在比を計算すると、 $(\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3)/\text{Fe}=89.4/10.6$ (重量比) となった。つまり、「処理後スラッジ」中の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ の含有率は 89.4 wt% である。

なお「処理後スラッジ」を酸化して得られた試料の粉末 X 線回折の結果を図 3 (f) に示す。この試料については、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ のみが同定された。つまり「処理後スラッジ」を大気中で加熱すると安定相の $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ に変わってしまうことがわかる。

5. ま と め

鋼材の熱間圧延用冷却廃水の再生プロセスから排出される「含油スラッジ」から $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を回収することを目的として一連の実験を行った。得られた結果をまとめると以下のようである。

1) 「含油スラッジ」に含まれる粉体固形分の含有率は 85 wt% であり、この主成分は FeO と $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ である。

2) この「含油スラッジ」から水分と油分を除去して $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を回収する方法として大気圧下最高 500°C 以下で処理できるプロセスを考案した。このプロセスは、第一

段階 (100°C) および第二段階 (450~500°C) の揮発処理により、水分と油分を別々に除去し、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ を回収するものである。

3) 「処理後スラッジ」の主成分は金属 Fe (10.6 wt%) と $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ (89.4 wt%) であり、平均組成は $\text{FeO}_{1.26}$ と表することも出来る。

4) この処理によって FeO は還元されて Fe を生成するが、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ は、処理温度を 500°C まであげても $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ に変化しない。

5) しかし「処理後スラッジ」を大気中 850°C で加熱すると $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ に変化する。

謝 辞

本研究にあたっては新日鐵大分製鉄所 (所長望月志郎氏) ・製鉄部 (森下紀夫部長, 樋口宗之部長, 讚井部長代理) にご協力いただいた。記して謝意を表します。

印刷校正時における追記

本稿を投稿し、査読・受理された後に厚板工場の冷却廃水を数ヶ所から採取し、固形分の X 線回折に供したところ、以下が判明したので追記する。

1) 「含油スラッジ」中に含まれる Fe_2O_3 は、いつでも不安定相である $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ というわけではない。安定相である $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ が含まれることもある。

参 考 文 献

- 1) 新日鐵大分製鉄所：私信
- 2) 田部浩三, 清水哲郎, 笛木和雄編「金属酸化物と複合酸化物」p. 251, 1978, 講談者。

講 座

チタニウムの製錬の歴史 (VI)

森 山 徐 一 郎*

Metallurgy of Titanium (VI)

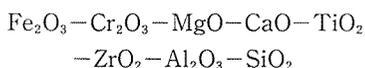
— A Historical Review —

by Joichiro MORIYAMA

18. Ti-O-Cl 系

18.1 塩素や金に関する初期の研究

塩素や金 (Chlorine Metallurgy) については Kroll²²⁾ により塩化物の高温化学について 6 報にわたる解説が報告されており、当時、1952 年においても塩素との反応に関するいろいろの実験結果が説明されている。例えば酸化物と塩素との反応は Barrett ら¹⁴¹⁾によると次の順にその可能性が減少すると記載されており、さらに、



炭素を混合した場合の塩化反応の開始温度についても実験結果を整理して報告している^{142,143)}。

Oxide versus Chlorine. Reaction Start°C

| | |
|--------------------------------|---------------|
| Fe ₂ O ₃ | 400, 500, 525 |
| TiO ₂ | 850 |
| SiO ₂ | 1200 |

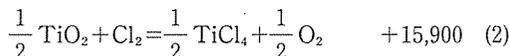
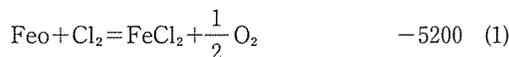
もちろん、反応開始温度 (ignition temperature) は固体の表面積、物理的性質等のいわゆる反応性 (reactivity) に支配されるので一概に表示することは出来ないが初期の高温化学の研究者にとって便利な目安であった。

1950 年、Columbia 大学の Kellog⁶⁷⁾ は塩化物系の高温化学について熱力学的な概説を発表した。この報告は Bureau of Mines の Kelley⁶⁸⁾、Ellinghaam^{144,145)} など、当時の初期の熱力学数値を駆使し塩素や金について細かい計算を行ったものであった。

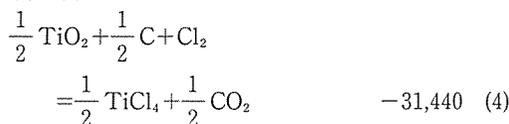
例えば酸化チタンの塩化反応について次のように熱力学的に説明している。1000°C において酸化第一鉄は塩素と反応して塩化第一鉄になり、この場合の標準自由エネ

ルギー変化は負の値を示す。酸化チタンの場合はこれに対して正の値となり、反応の進行が困難となる。この場合には炭素を添加すると標準自由エネルギー変化は負の値となり塩化反応の進行が可能となる。

ΔG° cal
1000°C



(2)+(3)



すなわち、酸化鉄の塩化では標準自由エネルギーの変化は負の値であるが、酸化チタンの塩化では正の値となる。(2)式、そこで炭素を加えることにより、負の値となり塩化反応は進行する。(4)式、以上は Kellog による塩化反応の説明である。

同様のことを、増子¹⁴⁶⁾は酸素と塩素の化学ポテンシャルの関係で説明している。図 65 は 1000 K における $\log P_{\text{O}_2}$ と $\log P_{\text{Cl}_2}$ の平衡関係を示している。TiO₂ と TiCl₄ の平衡線が $P_{\text{Cl}_2} = 1$ と交わる前に $P_{\text{O}_2} = 1$ の線と交わっていれば $\text{TiO}_2 + 2 \text{Cl}_2 = \text{TiCl}_4 + \text{O}_2$ による塩素化は可能である。 $P_{\text{TiCl}_4} = 10^{-8}$ を示しており、工業生産は不可能である。このような場合、TiO₂ と炭素の混合物を塩化すると、 $P_{\text{O}_2} =$ 一定の軸との交点は下り、 $P_{\text{Cl}_2} = 1$ に交わる前に $P_{\text{O}_2} =$ 一定の軸と交わり塩素化の工業的な反応の進行が可能となる。

*京都大学名誉教授

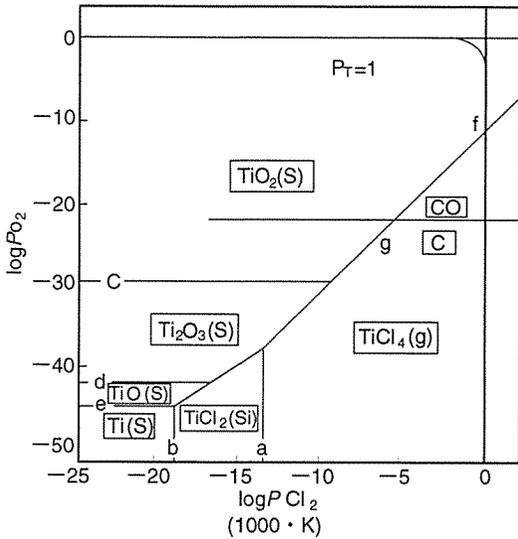


図 65 $TiO_2 + 2 Cl_2 = TiCl_4 + O_2$ についての化学ポテンシャル図増子, (1970)

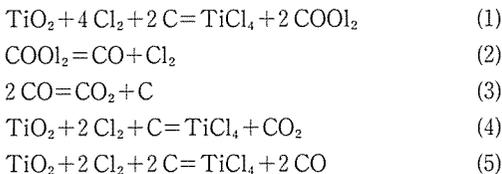
18.2 四塩化チタニウム製造の物理化学

工業的な塩化工程では、天然ルチルあるいは合成ルチル中の不純物は前記の Kellog の熱力学解説が示すように殆ど塩化される可能性がある。

この場合、平衡論的な塩化の可能性の他、化合物の塩化反応に対する活性、(着火温度で定性的に示されることもある)。および塩化物の蒸気圧が顧慮せられる。筆者らの初期の研究の時代に物理化学数値として引用した原典を参考として脚注に記載して置く。

酸化物の塩化については炭素と TiO_2 の混合物を所定の温度で塩素と反応させる方法が用いられた。塩化剤としては、塩素の他の CCl_4 , $COCl_2$ 等も用いられるが、工業的には Bureau of Mines の実験以来、酸化チタンと炭素の混合物が用いられており、初期の固定床による塩素化から流動床に移行する。

塩素化反応の物理化学については National Lead 社の Rowe らの報分が当時の実験結果の中で最も安定したものと思うので引用しよう¹⁴⁷。 TiO_2 の塩化工程では次の反応が生ずる。



R. Hörbe & O. Knacke: Zusammenstellung von Dampfdruckkurven und Erläuterung einiger Anwendungen, ERZMETALL, 8, 556 (1955).
 O. Kubaschewski and E. El. Evans: Metallurgical Thermochemistry, (1951).

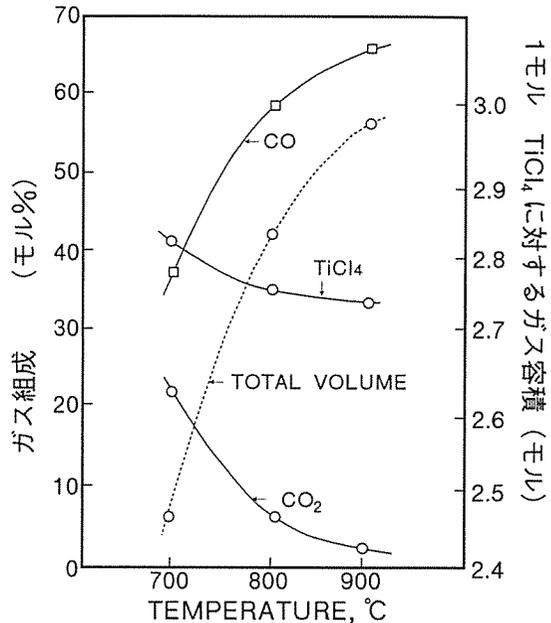
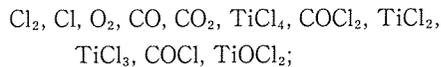


図 66 $TiO_2 + C + 2 Cl_2 = TiCl_4 + CO_2$
 $TiO_2 + 2 C + 2 Cl_2 = TiCl_4 + 2 CO$
 塩化反応の平衡ガス組成
 National Lead 社 (1955).

これらの反応の中で Phosgen は塩化反応の温度で分解するから(3), (4), (5)が主反応になる。

図 66 に National Lead 社の TiO_2 の塩化反応の温度とガス組成の関係を示している。温度が上昇すると生成ガス中の CO/CO_2 比は上昇する。それ故、 $TiCl_4$ モル当たりの炭素量も増大し、さらに生成ガス量も増大し、 $TiCl_4$ の生成ガス中の容量%は減少する。この実験は全圧 1 気圧で行われている。

図 67 は同様の平衡の計算を新しい JANAF の熱力学数値を用いて計算したものである。この Ti-O-Cl-C 系の計算では、凝縮相は TiO_2 と C の 2 種であり、ガスの化学種としては予めの試算により次の 11 種を選んだ。



これらの化合物の ΔG° を JANAF の数表から読みとり、 $\Delta G^\circ = A + BT \log T + CT$ の形で整理した。但し、温度範囲は 800~1300 K である。

まず、 TiO_2 と C を過剰に置いておいて、1 モルの塩表を導入して温度を T、全圧を P_T に保つ。平衡後も固体の TiO_2 および炭素は存在しているとする。

この場合のガス分圧を求める。

(1) 分圧と全圧の関係

$$\begin{aligned}
 P_T = P_{O_2} + P_{Cl_2} + P_{Cl} + P_{CO} + P_{CO_2} + P_{TiCl_2} + P_{TiCl_3} \\
 + P_{TiCl_4} + P_{COCl} + P_{COCl_2} + P_{TiOCl_2} \quad (1)
 \end{aligned}$$

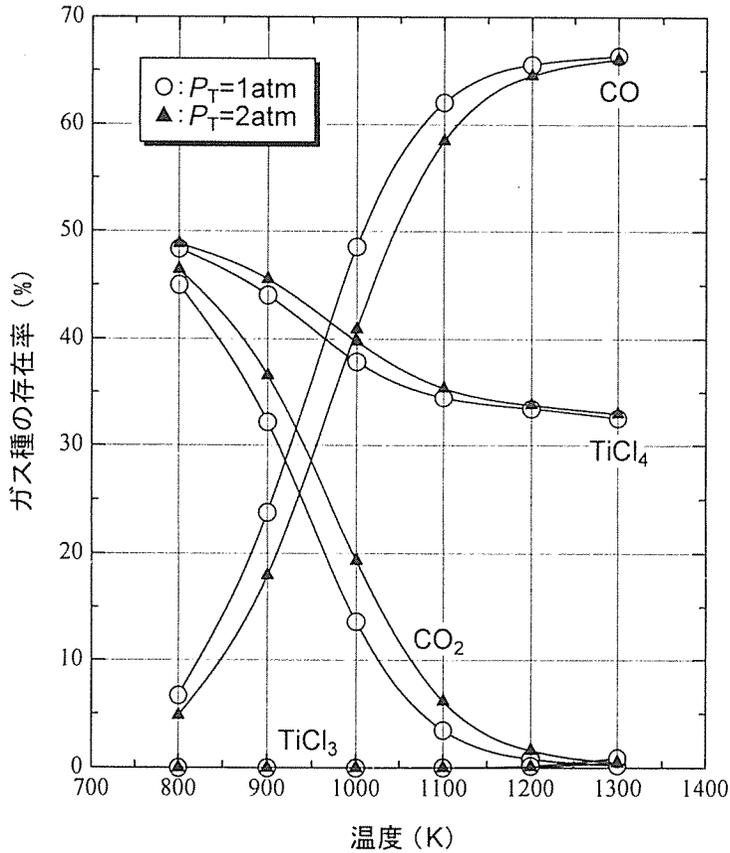


図 67 $TiO_2 + C + 2 Cl_2 = TiCl_4 + xCO + yCO_2$
 塩化反応の平衡について、京大、大石、電算機による計算。

[2] Cl の物質収支式

$$n_{Cl}^{(=2)} = 2n_{Cl_2} + n_{Cl} + 2n_{TiCl_2} + 3n_{TiCl_3} + 4n_{TiCl_4} + n_{COCl} + 2n_{COCl_2} + 2n_{TiOCl_2} \quad (2)$$

[3] TiO₂ の解離関係, $2n_{Ti} = n_{O_2}$ より

$$2(n_{TiCl_2} + n_{TiCl_3} + n_{TiCl_4} + n_{TiOCl_2}) = 2n_{O_2} + n_{CO} + 2n_{CO_2} + n_{COCl} + n_{COCl_2} + n_{TiOCl_2} \quad (3)$$

この 3 式より $\frac{n_i}{n_{T(g)}} \times P_T = P_i$

と平衡定数の関係を用いると、

(1)式は

$$P_T = P_{O_2} + P_{Cl_2} + K_{Cl} P_{Cl_2}^{1/2} + K_{CO} P_{O_2}^{1/2} + K_{CO_2} P_{O_2} + K_{TiCl_2} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2} + K_{TiCl_3} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2}^{3/2} + K_{TiCl_4} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2}^2 + K_{COCl} \cdot P_{O_2}^{1/2} \cdot P_{Cl_2}^{1/2} + K_{COCl_2} \cdot P_{O_2}^{1/2} \cdot P_{Cl_2} + K_{TiOCl_2} \cdot a_{Ti} \cdot P_{O_2}^{1/2} \cdot P_{Cl_2}$$

(2)式は

$$n_{Cl}^{(=2)} = \frac{n_T(g)}{P_T}$$

$$(2 P_{Cl_2} + K_{Cl} \cdot P_{Cl_2}^{1/2} + 2 K_{TiCl_2} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2} + 3 K_{TiCl_3} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2}^{3/2} + 4 K_{TiCl_4} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2}^2 + K_{COCl} \cdot P_{O_2}^{1/2} \cdot P_{Cl_2}^{1/2} + 2 K_{COCl_2} \cdot P_{O_2}^{1/2} \cdot P_{Cl_2} + 2 K_{TiOCl_2} \cdot a_{Ti} \cdot P_{O_2}^{1/2} \cdot P_{Cl_2}) \quad (2')$$

(3)式は

$$2(K_{TiCl_2} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2} + K_{TiCl_3} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2}^{3/2} + K_{TiCl_4} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2}^2 + K_{TiOCl_2} \cdot a_{Ti} \cdot P_{Cl_2}^2 \cdot P_{Cl_2}) = 2P_{O_2} + K_{CO} \cdot P_{O_2}^{1/2} + 2K_{CO_2} \cdot P_{O_2} + K_{COCl} \cdot P_{O_2}^{1/2} \cdot P_{Cl_2}^{1/2} + K_{COCl_2} \cdot P_{O_2}^{1/2} \cdot P_{Cl_2} + K_{TiOCl_2} \cdot a_{Ti} \cdot P_{O_2}^{1/2} \cdot P_{Cl_2} \quad (3')$$

さらに、

(1')

$$K_{TiO_2} = \frac{1}{a_{Ti} \cdot P_{O_2}} \quad (4)$$

(1'), (2'), (3'), (4)式において未知数は P_{O_2} , P_{Cl_2} , a_{Ti} および $n_{T(g)}$ である。

これらの4式より電算機により解を求めた。条件として、 $T=800, 900, 1000, 1100, 1200, 1300$ Kの各温度、全圧は1, 2気圧、また、 $n_{Cl_2}=1(n_{Cl}=2)$ としている。

$$n_i = \frac{P_i \cdot n_{T(g)}}{P_T} \text{ より各成分のモル数が求められる。}$$

この結果を図67で示す。この平衡計算は図66で示された、National Lead社の研究結果と大きな差はない。図67では全圧を2気圧まで変化しているが平衡の組成には大きな変化は認められない。

18.3 塩化反応について^{148,149)}

塩化反応の開始温度は原料である出発材料の化学的性質により異なる。例えばスポンジ・チタニウムは120°Cで反応を開始し、TiN, TiCのメタロイドは250~400°Cで反応を開始する。これに対して酸化チタンと炭素の混合物は700°Cで反応が進むとされている。もっとも、酸化物もその化合物の形により、その炭素の混合物の塩化の挙動は異っている。図68に定性的ではあるが、塩化反応の進行について示す。3価の低价酸化物と炭素の混合物は

300°C付近で塩化反応を開始する。酸化チタン中の3価の化合物の割合が減少すると塩化反応の進行は遅れる。これにCaOが少量加えられると反応はさらにおそくなる。TiO₂と高チタン滓中の成分との化合物はMgO・TiO₂・2 MgO・TiO₂¹⁵⁰⁾ CaO・TiO₂¹⁵¹⁾

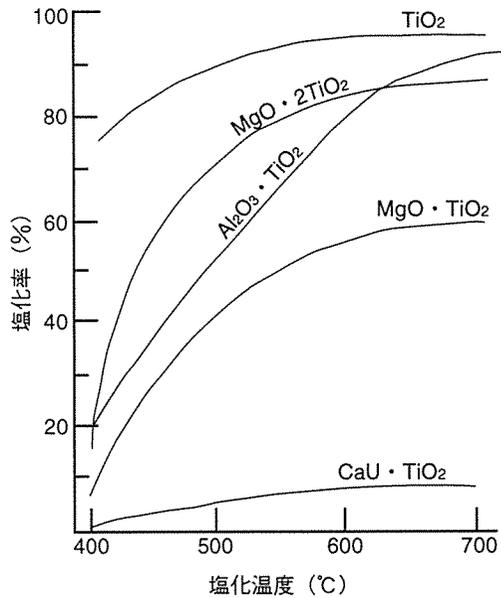


図69 酸化チタンの化合物の塩化率と温度の関係 (京大, 西村山治, 山口昭雄ら, 昭和30年)

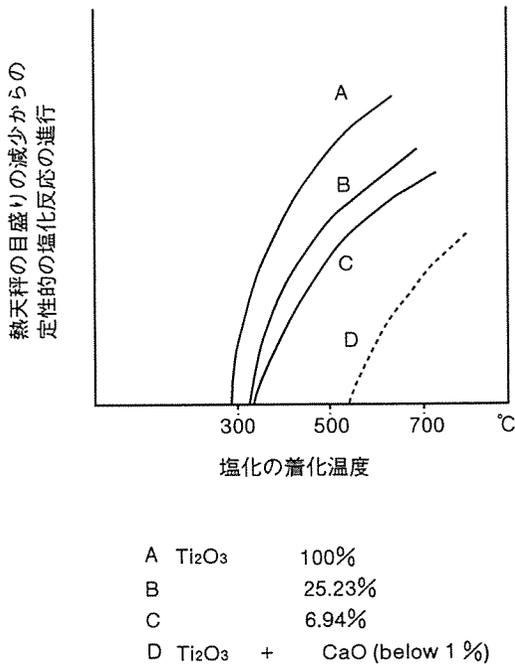


図68 3価の低价塩を含む酸化チタンの塩化反応とカルシアの影響 (京大, 石井, 渡辺, 小島, 昭和29年)

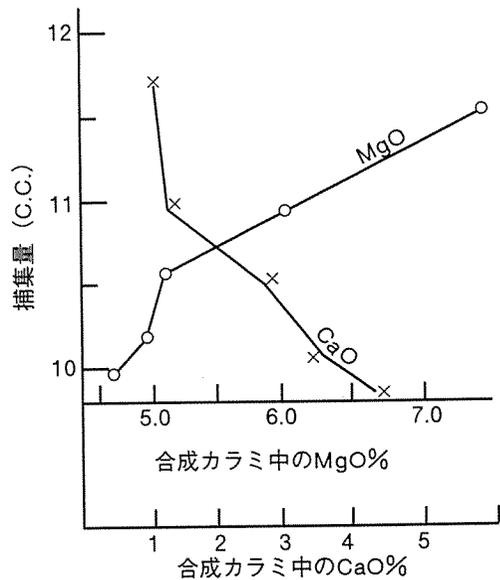


図70 合成カラミ中のMgO, CaOの%と塩化効率の関係 (西村ら, 昭和30年)

表 24 実験用の合成カラミについて (京大, 昭和 30 年)
用いたイルメナイトの組成

| TiO ₂ | Fe ₂ O ₃ | FeO | MnO ₂ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO | CaO |
|------------------|--------------------------------|------|------------------|------------------|--------------------------------|-----|-----|
| 47.29 | 24.89 | 9.15 | 4.55 | 2.21 | 3.27 | — | — |

| 試料の溶成条件 | | | | | | |
|---------|------------|---------|---------|-----------|----------|----------|
| 試料番号 | イルメナイト (g) | MgO (g) | CaO (g) | 溶解温度 (°C) | 溶解時間 (分) | 電流 (Amp) |
| 1 | 100 | 10.06 | 1.12 | >1600 | 60 | 80~120 |
| 2 | 100 | 8.94 | 2.24 | >1600 | 60 | 80~120 |
| 3 | 100 | 7.73 | 3.45 | >1600 | 60 | 80~120 |
| 4 | 100 | 6.70 | 4.48 | >1600 | 60 | 80~120 |
| 5 | 100 | 5.59 | 5.59 | >1600 | 60 | 80~120 |

| 合成カラミの分析値 | | | | | | |
|-----------|------------------|----------|------|------|--------------------------------|------------------|
| 試料番号 | TiO ₂ | Total Fe | MgO | CaO | Al ₂ O ₃ | SiO ₂ |
| 1 | 64.10 | 8.98 | 7.25 | 0.58 | 5.68 | 3.30 |
| 2 | 61.31 | 13.00 | 5.83 | 1.02 | 5.98 | 2.84 |
| 3 | 63.00 | 9.75 | 5.02 | 2.56 | 5.54 | 3.45 |
| 4 | 63.42 | 7.98 | 4.85 | 3.44 | 5.42 | 3.13 |
| 5 | 65.52 | 5.62 | 4.68 | 4.30 | 6.96 | 3.39 |

表 25 わが国の初期の高チタン・スラグの一例

初期の高チタン・スラグの分析例 (%)
日本高周波鋼業

| FeO | TiO ₂ | SiO ₂ | Al ₂ O ₃ | MgO | CaO |
|-----|------------------|------------------|--------------------------------|-----|-----|
| 2-7 | 60-70 | 7-14 | 5-6 | 6-9 | 3-7 |

と Al₂O₃・TiO₂¹⁵²⁾が報告されている。これらの化合物を無機合成し、これまでの実験結果から試料と木炭の比を 3 対 1 として、また 50 mm 径の実験用塩化炉で 150 cc/分の塩素を送り、TiO₂の塩化量の比率から塩化率を定めた。その結果を図 69 に示す。MgO・2 TiO₂, Al₂O₃・TiO₂ に比して CaO・TiO₂の塩化は困難である。実際の高チタン滓中に MgO, CaO が成分として存在するとき、この高チタン滓と炭素の混合物を塩化して四塩化チタンの生成を行う場合、これらの酸化物組成がどのような影響を示すかについての実験結果を図 70 に示す。この実験では横型の実験用塩化炉を用いており、2 時間塩化反応を行った場合の凝縮器ピペットの液量により定性的に比較している。概算してみると CaO の最も少ないスラグで約 65%の塩化率、CaO の最も多いスラグで 28%程度の塩化率となる。これらの試料は研究用としてイルメナイトに CaO, MgO を混ぜ実験用電弧炉で溶製したものであり、スラグ中の CaO, MgO 組成の塩化反応の際の影響を強調するために行ったものである。表 24 にこれら

実験試料の溶製の条件とその分析値を示す。これらの人工鉍物では CaO, MgO の含有量の増加が塩化反応を遅滞する傾向を示している。当時、わが国で試作された半工業的スラグの一例を表 25 に示す。このスラグの塩化反応について石井らは¹⁴⁹⁾はその CaO 組成の影響等について検討を加えたが、前記の人工鉍物におけるような明瞭な結果は得られていない。この頃になり Sorel スラグの輸入により、わが国の高チタンスラグは次第に操業を中止するに到るのである。

18.4 塩化反応速度についての評価

最初に工業的な酸化チタンの塩化反応速度についての実験を行ったのは、National Lead 社の Rowe らであった (図 71)¹⁴⁷⁾。この実験では TiO₂/C, 3.8 の混合物を 0.35 l/分の流量の塩素で 4.0 時間塩化して、その塩化率により反応速度を定性的に評価している。炭素混合物の塩化では 700°C から工業的塩化の可能性がみられる。一方、還元剤として一酸化炭素を添加した場合には 1000°C で工業的な塩化反応が可能となる。

初期のこの時代では固定床での塩化操作が行われていたが、TiO₂と炭素の混合物の塩化は金属又はメタロイドの塩化に比して、発熱量が少ないので、流動床による場合は径 20 in 以上の容器での反応が必要であろうと予測している¹⁴⁷⁾。

ハロゲン化反応についての知見は多くないが、まず Habashi¹⁵³⁾の教科書に従って考えてみる。これらの反応

は固体+ガス(1)=ガス(2)の形に整理されており炭素の酸化、金属のハロゲン化反応、酸化物の塩化、金属および低級フッ化物のフッ化反応等の実験例が引用されている。ハロゲン化反応も一般的に云って、固相⁽¹⁾+気相⁽¹⁾=固相⁽²⁾+気相⁽²⁾と同様に低温では化学反応律速であり、高温になると拡散律速となる。分り易い速度式として、前者の場合は

$$1-(1-x)^{1/3}=rt$$

の式が用いられる。ここに $x=w/w_0$ 。

w は反応生成物の重量

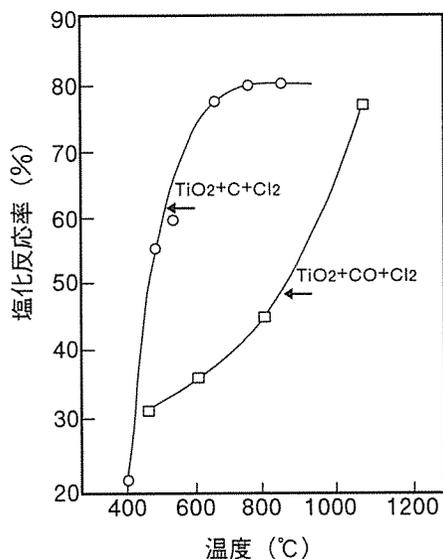


図 71 固定床における酸化チタンの塩化反応速度の定性的な評価 (1955, Rowe ら)

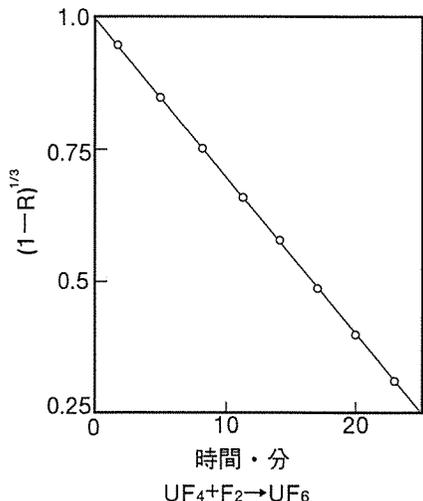


図 72 ハロゲン化反応における未反応殻モデルによる律速の例 (1959)

w_0 は最初の試料重量を示している。

この式は未反応殻モデル、化学反応律速の式あるいはヤ金技術者は McKean 式と呼んでいる。試料を球と考え、未反応球の表面での化学反応により反応が進むとしている。

これに対して高温では焼結がおこるので拡散律速となる。この場合は、

$$\{1-(1-x)^{1/3}\}^2=rt$$

となる。勿論これらの式は、境界の拡散抵抗が無視できる時に成立する。

未反応殻モデルの反応式について塩化反応について適切な実験例が見当たらないのでフッ化反応の例を図 72 に示した。uF₄ をフッ化して uF₆ を製造する際の速度式であり、核燃料製造の基礎として実験された^{154,155}。

チタニウムの酸化物に炭素を混合して塩化を行う場合酸化物粒の表面積や結晶構造のみだれによる反応性により反応速度は影響される。この反応では添加炭素の活性も顧慮する必要がある。

TiO₂ + C + Cl₂ = TiCl₄ + CO + CO₂ 型の炭素の添加を必要とする塩化反応の反応速度に関する定量的な研究報告は少ない。Mahra ら¹⁵⁶ はジルコニアの塩化について炭素を過剰に用い各温度での炭素の消費の速度を実測し塩化反応の速度を求めている。

19. TiCl₄の精製

19.1 液体塩化物との相関係

TiCl₄ は沸点 136.1°C の室温で液体の化合物である。ここで液体塩化物とは、この温度で液体として存在して不純物として TiCl₄ にとける可能性のある塩化物である。これらについて、TiCl₄-SiCl₄ (bp 57.6°C), TiCl₄-SnCl₄

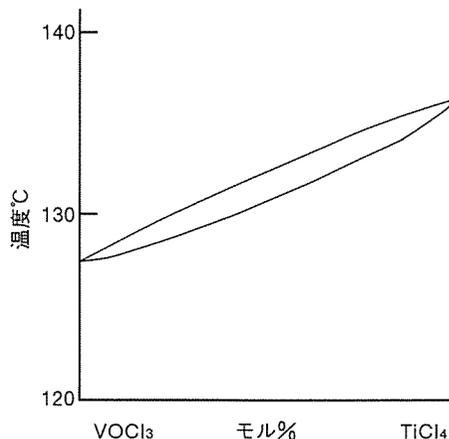


図 73 VOCl₃-TiCl₄ 系の気液平衡図、(石井, 昭和 29 年)。

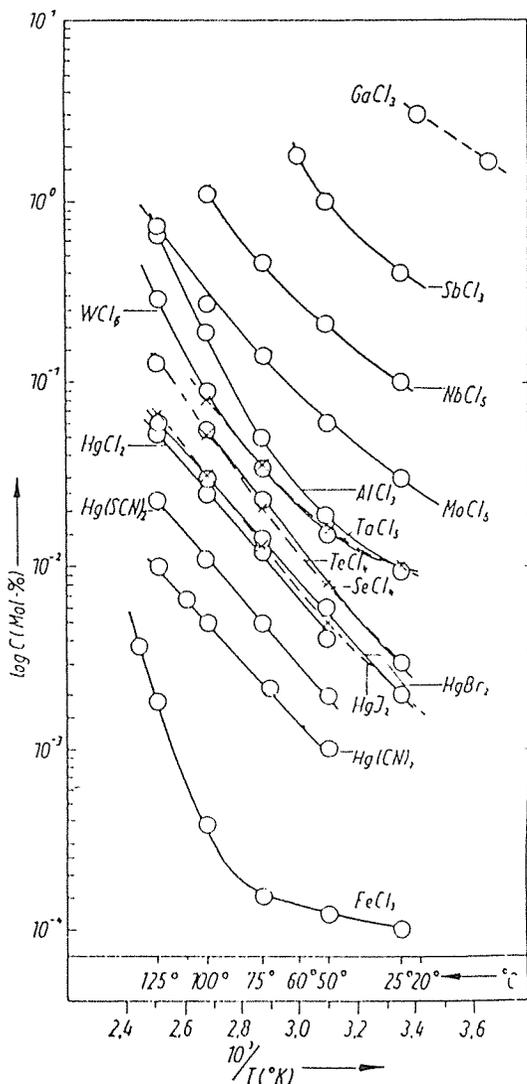


図 74 塩化物の四塩化チタニウム中への溶解度 Ehrlich ら, (1960).

(114.1°C), $\text{TiCl}_4\text{-CCl}_4$ (76.8°C) の各系については那須¹⁴¹⁾により 1 気圧での気液平衡曲線が測定せられている。この結果から、これらの塩化物は四酸化チタニウムによく溶け、理想混合に近い挙動を示している¹⁴⁹⁾。この計算には温度と蒸気圧の関係が必要である。例えば $\text{TiCl}_4\text{-SiCl}_4$ 系について Stull 等の数値¹⁵⁷⁾により理想混合として気液平衡曲線を描くと那須らの測定値とよく一致する。 SiCl_4 の沸点は 57.6°C (56.8°C) と TiCl_4 の沸点に比べて低いので可なりな量混入しても清溜操作により容易に除去出来る。

固定床による塩化で四塩化チタニウムを製造した初期の時代には SiCl_4 の混入がみられたが、流動床による塩化が行われると SiCl_4 の混入は減少している。さらに、最

近の合成ルチル中には SiO_2 の含有は少ない。

イルメナイト鉱石中に V_2O_5 は 0.1~0.4 重量%混在する。この V_2O_5 は塩化工程で塩化バナジルとなる。この塩化物は VOCl_3 の組成で淡黄色の液体で沸点は 127.7°Cである。図 73 は $\text{TiCl}_4\text{-VOCl}_3$ の気液平衡図である¹⁴⁸⁾。

この系も理想混合に近いが、沸点が TiCl_4 の沸点に接近しているため精油操作による分離は段数が多くなり生産性が低くなる。塩化バナジルの化学的な除去について Bureau of Mines において基礎的な実験が行われた¹⁵⁸⁾。銅粉、オレイン酸、硫化水素による処理を工業的方法として採用した。後藤⁶⁰⁾も硫化水素処理について実験を行い、極めて速にバナジウムが除去出来ることを実証した。

19.2 固体塩化物の溶解度

室温から四塩化チタニウムの沸点までの温度範囲で固体である塩化物の溶解度についても、いろいろと実験が行われた。わが国でも後藤⁶⁰⁾の塩化鉄の四塩化チタニウム中の溶解度がある。また筆者らも¹⁵⁹⁾塩化カルシウム、塩化マグネシウム、塩化アルミニウム、塩化マンガン等の四塩化チタニウム中の溶解度を検討している。その後、Ehrlich¹⁶⁰⁾は各種塩化物の四塩化チタニウムへの溶解度を測定した。その結果を図 74 に示す。この中で塩化鉄と塩化アルミニウムの四塩化チタニウム中への溶解度が工業的に重要である。塩化アルミニウムについては後に記するので塩化鉄についての溶解度を次に示す。

| 温度°C | 50 | 100 | 125 | 135 |
|------|--------|--------|--------|--------|
| 重量% | 0.0010 | 0.0032 | 0.0153 | 0.0284 |

参 考 文 献

- 141) L. R. Barrett, F. H. Clews, A. T. Green: Brit. Ceramic Soc., 41, 197 (1942).
- 142) W. Kangro, R. Jabn: Z. anorg. Chem., 210, 325 (1933).
- 143) V. Spitzin: Z. anorg. Chem., 189, 337 (1930).
- 144) H. J. T. Ellingham: J. Soc. Chem. Ind., (London) 125, May, (1944).
- 145) C. W. Dannatt, H. J. T. Ellingham: Disc. Far. Soc., 4, 126 (1948).
- 146) 増子昇: 電気化学, 38, 153, 226, 307, 310 (1970).
- 147) L. W. Rowe, W. R. Opie: J. Metals, 1189 (1955).
- 148) 石井小太郎, 渡辺洋一, 小島勢一, 森山徐一郎, 久島玄三雄, 西村秀雄: 京都大学工学研究所い報, 6, 9 (昭和 29 年).

- 149) 吉田耕生, 阿部隆三, 森山徐一郎, 久島亥三雄, 西村秀雄: 水曜会誌: 12, 195 (昭和 28). 石井小太郎, 森山徐一郎, 久島亥三雄, 西村秀雄: 水曜会誌: 12, 249 (昭和 29 年). 西村山治, 山口昭雄, 森山徐一郎, 久島亥三雄, 西村秀雄: 水曜会誌, 13, 31 (昭和 30 年). 石井小太郎, 渡辺洋一, 森山徐一郎, 久島亥三雄: 水曜会誌, 13, 63 (昭和 30 年).
- 150) 田中泰夫: 日本化学会誌, (昭和 14 年) 212, 314, 949.
- 151) 田中泰夫: 日本化学会誌, (昭和 15 年) 345.
- 152) H. Hamelin: Rev. Mét. 47, 324 (1950).
- 153) F. Habashi: Principles of Extractive Metallurgy, Gordon and Breach Science Publications (1970).
- 154) D. Y. Labaton, K. D. B. Johnson: J. Inorg. Nucl. Chem., 10, 74 (1959).
- 155) G. Vandenbussche: フランス原子力委員会報告, No. 2859 (1966).
- 156) O. K. Mehra, S. Z. Hussain, P. K. Jena; Trans. Indian Inst. Metals, 19, 53 (1966).
- 157) J. H. Perry; Chemical Engineer's Handbook, McGraw-Hill Book Co., New York (1941). Stull; Ind. Eng. Chem., 39, 517 (1947).
- 158) K. Stoddard, E. Pietz; U. S. Bureau of Mines, RI 4153, (1947). Pilot-Plant Distillation and Purification of Titanium Tetrachloride
- 159) 森山徐一郎, 稲垣弘子: 日本鉱業会誌, 76, 101 (昭和 35 年).
- 160) P. Ehrlich, G. Dietz; Z. anorg. u. allgem. Chem, 305, 160 (1960).

談 話 室

最 近 の 研 究

鉄系合金薄膜のマルテンサイト
変態に関する研究

森戸 茂一*

Martensitic transformation in
thin foil of ferrous alloys
by Shigekazu MORITO

私は1997年3月まで筑波大学の学生でした。その後、特別研究員として半年間研究に従事した後、1997年10月1日から材質制御学講座(牧研究室)に助手として就職しました。以前の研究はNi-Al-Mn合金におけるマルテンサイト変態についての研究でした。具体的には透過型電子顕微鏡(以後、TEM)を用いて形態や構造の決定などを行っていました。京都大学に移ってからは主にFe-Ni-Co-Ti合金で現れる薄板マルテンサイト相¹⁾の形状記憶効果について研究を行っています。

まず、私が学生の頃から一貫した研究対象であるマルテンサイト変態について少し述べます。マルテンサイト変態とは、古くは鋼を焼入たときに現れる組織の名前でしたが、現在では、特に金属における、原子の協力現象によって起こる無拡散相変態を指しています。この相変態は比較的低温で生じ、外部応力によっても起こることから、TRIP鋼や部分安定化ジルコニアなどといった外部応力に応答する材料に応用することが出来ます。また、マルテンサイト変態とマルテンサイト相のバリエーション再配列による形状記憶効果を用いた形状記憶合金も有名な応用例です。

この形状記憶合金はNi-Ti系合金が有名で幅広く実用化されています。近年、この合金の薄膜化が可能になりマイクロアクチュエータ用の素材として有望視されています。この合金とは別に鉄系形状記憶合金があります。この合金は比較的安価であり、多少特性が悪くても十分実用に耐えられます。しかし、鉄系合金ではまだ薄膜におけるマルテンサイト変態挙動及び形状記憶効果についての研究がなされていません。鉄系合金は他の合金系と比べてせん断歪が一桁大きいことが薄膜時の歪回復量に有利に働き、バルク材と比べて内部応力が小さいことが従来知られている特性をより良くする可能性があります。そのため、鉄系形状記憶合金の薄膜材における γ (FCC)- α' (BCT)マルテンサイト変態について研究を行うことにしました。

現在その予備研究としての母相粒径と組織の関係及び薄膜化に伴う結晶学的性質の変化を主にTEMを用いて研究しています。用いている素材はFe-31wt%-10wt%Co-3wt%Tiで、1473K、3.6ksの熱処理後に水焼入を行います。平均 γ 粒径は700 μm です。この熱処理ですと83Kで非熱弾性マルテンサイト変態を示します。今までのところ次に示す点が明らかになりました。

1. 形態の変化

本研究で用いた合金マルテンサイト相は粒内を横切るように薄板状に現れます。さらに非鉄系合金のような自己調整形態を持ちません。このことから当初は膜厚が粒径よりも薄くなれば、マルテンサイト相は粒内を横切らず、表面に突き出すと考えました。また、核形成サイトである粒界が減少し表面積が多くなるので、表面で誘起されたマルテンサイト相が現れる可能性もあります。これらは結晶学的な方位関係や内部欠陥が変わってくる可能性を示しています。

しかし、膜厚が100 μm (粒径の1/7)の薄膜でマルテンサイト変態が起こってもその形態には変化が無く、内部欠陥や結晶方位関係にも変化が現れませんでした。また、TEM試料(膜厚100nm以下)では図1に示すように薄板状の形態ではなく、絞の歯のような形態が見られ、

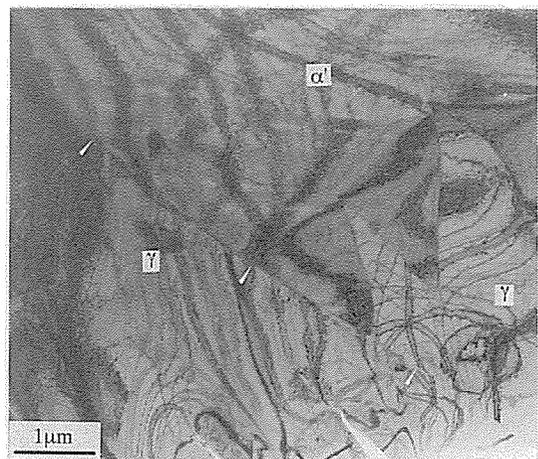


図1 TEM薄膜で誘起されたマルテンサイト相(オースチナイト相, γ)にマルテンサイト相(α')が入り込んでいる。白い矢印は γ 相粒界。

明らかな晶癖面は現れませんでした。

2. 方位関係の変化

結晶方位関係は格子定数、格子不変変形（内部欠陥として観察される）、結晶構造に依存するものであり、マルテンサイト変態において重要な情報となっています。本合金においては、Nの方位関係 $((111)\gamma // (011)\alpha')$ 、 $(\bar{1}\bar{1}2)\gamma // (0\bar{1}1)\alpha'$ が成り立ちます。

膜厚 100 μm の薄膜試料で結晶方位関係を測定したところ、バルク材と同様、Nの関係が成り立っていました。TEM 薄膜では一般的に知られている K-S や N 等の方位関係からずれており、バルク材とは異なる結晶学的特徴を持つことが分かりました。

以上の結果から、マルテンサイトの組織学的特徴は膜

厚が 100 μm 程度まではバルク材と同じですが、100 μm 程度になると大きく変わることが分かりました。これは、マルテンサイトの形状は粒界の拘束よりも母相の拘束力に大きく依存することを意味しています。

今後は実験数を増やすとともに、マルテンサイト変態のその場観察、また他の鉄系合金の測定を行う予定です。他の磁場誘起マルテンサイトの有無なども調べてみる予定です。

References

- 1) T. Maki, S. Furutani and I. Tamura, ISIJ Int., **29**, 438-445, (1989).

*京都大学大学院工学研究科材料工学専攻助手

会 報

平成9年度水曜会大会

●日 時 平成9年6月14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9年度水曜会大会は、平成9年6月14日(土)に80名近い参加者のもと開催された。午前中に資源工学教室、旧金属系教室の研究室見学が行われ、午後は京大会館に場所を移し、懇親会、記念撮影、それに引き続き、総会・特別講演会が行われた。懇親会は京大会館101号室の大宴会場で開催され、小岩昌宏会長や花崎紘一教授の名司会もあり、多くの出席者の方々から近況を聞くことができた。また、異業種で普段付き合いのない方々とも同会員として打ち解けた話し合い、名刺や情報交換など約1時間活発に話が続いた。その後、会館前での恒例の懇親会出席者全員による記念撮影に続いて、同会館2階の大会議室で、総会が行われた。総会では、斎藤敏明教授の司会で議事が進められ、小岩昌宏会長の事業報告では、平成8年度事業報告と水曜会員数の動向について報告があった。続いて、西山 孝会計幹事の会計報告、足立裕彦会計監事の会計監査報告が行われ、いずれも承認された。次に特別名誉会員の推挙が行われ、佐々宏一と中廣吉孝の両名が特別名誉会員として承諾された。次いで次期役員推挙がなされ、会長に八田夏夫教授、副会長に足立裕彦教授、会計幹事に牧 正志教授、会計監事に西山 孝教授が選出された。最後に八田新会長の就任挨拶で総会は終了した。

特別講演会では小岩教授、斎藤教授の司会のもと、次の2つの講演会が行われた。

1. 「アルミニウム工業の最近の話題について」

住友軽金属工業株式会社 社長 佐藤史郎氏

2. 「ペルーにおける鉱山開発」

三井金属鉱業株式会社 資源開発部長 斎藤修二氏

これらは記念講演として本誌に掲載されているが、佐藤氏は産業界の立場からアルミニウム工業の最新の話について、また斎藤氏はペルー高山での過酷な条件下での鉱山開発の実状と現在日本が置かれている国際資源事情について講演され、参加者は熱心に傾聴した。本年度水曜大会はこの講演会終了後、午後4時過ぎに閉会した。

出席者は(敬称略)昭12採鉱冶金・向井 滋, 昭13採鉱冶金・平松良雄, 昭16冶金・広瀬輝夫, 昭17冶金・足立正雄, 昭17冶金・小田嶋弘, 昭17冶金・中尾智三郎, 昭17冶金・宮崎勢四郎, 昭17冶金・村上陽太郎, 昭22冶金・田辺精三, 昭23冶金・安藤元雄, 昭23冶金・川野 豊, 昭24冶金・奥川卓爾, 昭25冶金・富岡敬之, 昭28冶金・岩田徳重, 昭28冶金・植田正明, 昭28冶金・車谷省三, 昭29冶金・小島勢一, 昭30冶金・赤澤正久, 昭30冶金・佐藤史郎, 昭30鉱山・若松貴英, 昭31冶金・荒木泰治, 昭31冶金・三浦春松, 昭33冶金・増田惣一, 昭34冶金・杉田 宏, 昭34冶金・松本義雄, 昭35冶金・朝木善次郎, 昭35冶金・阿部光延, 昭36冶金・恩田 怜, 昭36冶金・新宮秀夫, 昭36鉱山・八田夏夫, 昭38鉱山・花崎紘一, 昭39冶金・永田公二, 昭40資源・斎藤修二, 昭40鉱山・斎藤敏明, 昭40鉱山・西山 孝, 昭40鉱山・藤田武彦, 昭40鉱山・水田義明, 昭40冶金・長村光造, 昭40金属加

工・渡辺忠雄，昭41 金属加工・木村英二，昭41 鉱山・菅野 強，昭41 冶金・田邊晃生，昭41 金属加工・蜂屋正信，昭41 金属加工・牧 正志，昭41 冶金・村上正紀，昭42 金属加工・岩坂光富，昭42 金属加工・濱中亮明，昭42 金属加工・水野直治，昭43 冶金・粟倉泰弘，昭43 金属加工・高山新司，昭44 冶金・土田 豊，昭44 冶金・畑 明郎，昭44 金属加工・岡田康孝，昭46 冶金・東 和臣，昭46 資源・村上建夫，昭46 金属加工・森 省三，昭48 冶金・朝日 格，昭48 冶金・北口善久，昭51 金属系・安達修平，昭51 金属加工・楠井 潤，昭52 冶金・松原英一郎，昭54 冶金・鈴木亮輔，昭55 資源・塚田和彦，昭55 資源・長谷川真治，昭55 金属加工・和田裕文，昭56 金属加工・平藤哲司，昭57 資源・楠田 啓，昭58 資源・新苗正和，昭61 資源・日下英史，昭61 資源・渡辺俊樹，昭61 金属系・荒木達朗，昭62 資源・龍田 健，昭63 資源・藤本 仁，平 1 金属加工・上田良史，平 6 資源・陳 友晴，現教官・小岩昌宏，志賀正幸，山口裕彦，足立裕彦，菊地宏吉，酒井 明，平野 勇，小出康夫，乾 晴行，田中克志，林 好一であった。

平成8年度水曜会会計報告

平成9年3月31日現在

| 収 入 | | 支 出 | |
|---|-------------|-------------------|-------------|
| 前年度繰越金 | 13,846,947円 | 会誌印刷代(製版・郵送料込) | |
| 会 費 | 4,514,938 | 22巻6号 | 1,960,523円 |
| 会誌広告掲載料(製版代込) | | 22巻7号 | 1,683,604 |
| 22巻5号 | 293,390 | 印刷代(封筒他) | 254,579 |
| 22巻6号 | 1,068,612 | 水曜会大会経費(平成8年6月1日) | 890,790 |
| 22巻7号 | 894,055 | 東京水曜会援助 | 300,000 |
| 会誌論文別刷代 | 24,000 | 名簿発行費 | 3,854,898 |
| 名簿広告掲載料(製版代込) | 1,904,810 | 編集委員会経費 | 151,160 |
| 名簿売上 | 3,478,620 | 会誌原稿料 | 225,000 |
| 会誌売上 | 27,000 | 通 信 費 | 151,390 |
| 水曜会大会懇親会費 | 240,000 | 事務人件費 | 488,720 |
| 預 金 利 息 | 34,471 | 文具, コピー代等 | 37,379 |
| 収 入 合 計 | 26,326,843円 | 小 計 | 9,998,043円 |
| 上記の通り会計報告致します。 平成9年6月14日 会計幹事 西山 孝 以上の通り相違ございません。 会計監事 足立裕彦 | | 次年度への繰越金 | 16,328,800円 |
| | | 内訳 銀行普通預金 | 6,188,288 |
| | | 定期預金 | 10,000,000 |
| | | 郵便振替預金 | 113,686 |
| | | 手持現金 | 26,826 |
| | | 支 出 合 計 | 26,326,843円 |

会員消息

卒業 50 周年記念京大冶金甲申会 (昭和 19 年冶金学科入学)

本年は卒業 50 周年に当たり、又京大創立 100 周年にも当たるので、第 9 回京大冶金甲申会(会長 沢村 惇)を京都で開催した。沢村会長他常連の数名が体調不良の為に出席出来なかったのは残念であったが会員夫人 6 名、故津田精三氏夫人ゆかりさん同じく鈴木 弘氏夫人みどりさんの参加を得て計 21 名であった。

午後 1 時旧教室に集合、小野教授に最近の学内の事情

加があり盛大に行われた。

16 日正午過ぎ新しく完成した京都駅に集合。山陰線のホームでは昭和 20 年春に綾部の次の石原駅で下車して、飛行場建設の地ならしに行った勤労動員の思い出に話が湧いた。尚、その地は今は長田野工業団地になっている。

在職時代のヤマを偲ぶ意味もあって、嵯峨よりトロッコ列車で亀岡まで往復し、嵐山を散策後、清滝の溪谷に面した歴史を感じさせる木造様式の旅館「ますや」で全員一泊の宴席で、楽しい一夜を過ごした。



第九回京大冶金甲申会(平成 9 年 11 月 27 日 於 竹茂楼)
 左より後列 寺井, 水内, 田中, 上山, 荻野, 岸野
 中列 兼崎, 鹿取, 田辺, 國安, 荒木, 中野, 山本
 前列 岸野, 荻野, 寺井, 荒木, 山本, 鈴木, 津田, 兼崎

についてお話をお聞きした。次いで大徳寺、塔頭、高桐院に移動、同院内の沢村 宏先生のお墓に詣で、三齊公の灯籠の墓に紅葉散る庭にしばし遊び、次いで南禅寺を散策後、岡崎の美濃吉木店竹茂楼に於いて開宴、風格のある雰囲気の中で可愛い舞妓さんの酌と踊りと京の味で旧交を温めた。戦中から戦後にかけて不自由な腹をへらして過した学生時代であったがのびのびとして明るかった。老顔の中に当時のあの屈託のない笑顔が残っているようである。来年、名古屋での第 10 回甲申会での再会を約して別れた。(岸野 記)

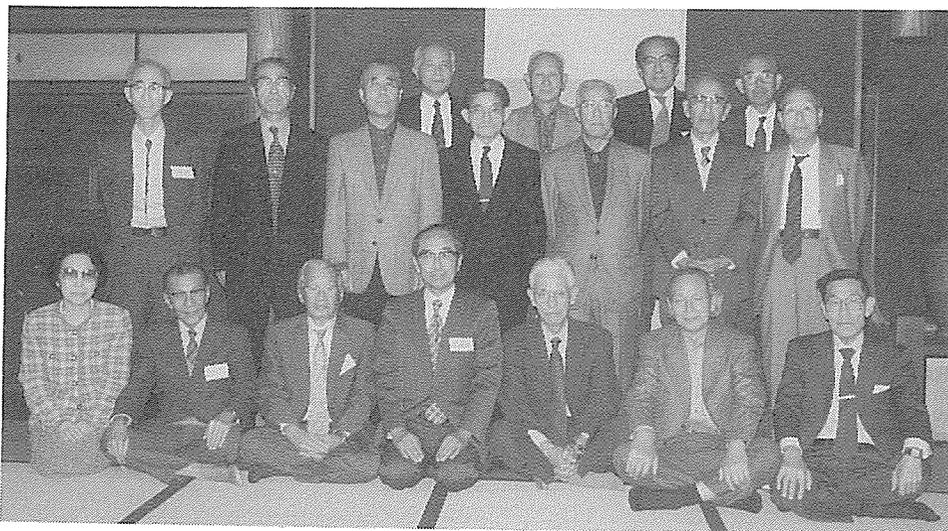
小門純一
 河野純一
 福田一雄
 藤瀬敬
 山崎豊彦
 深松貞夫
 長沢茂夫
 荻野仁

京都大学卒業
 50 周年記念クラス会
 1997. 10. 16~17
 於 京都清瀧ますや

昭和 22 年 9 月鉱山学科卒業 卒業 50 周年記念クラス会を開催

昭和 22 年 9 月に鉱山学科を卒業した我々は、東京地区では最近毎年集まっているが、今年は卒業 50 周年に当たるので、久しぶりに全国大会を平成 9 年 10 月 16~17 日に京都で開催した。該当者 29 名のうち 17 名の参

藤部郁雄
 本山信一
 中谷林平
 中山次郎
 和邇博
 村上幸一
 安達幸夫
 弘田文男



後列左より 村上, 福田一雄, 小門, 安達
 中列 山崎, 長沢, 荻野, 中山, 弘田, 藤瀬, 藤部
 前列 山崎夫人, 河野, 福田次郎, 和途, 山本, 深松, 中谷

翌日は懐かしい京都市内を路線バスで横断して京都大学を訪問。大学の建物は殆ど建て変わったが旧図書館と鉱物標本室などがあったこじんまりした3階建の建物は昔のままで懐かしかった。資源工学の花崎・斉藤両教授より最近改組になった学部と大学院の組織などについて

第4回鉱山昭和24年卒業クラス会

卒業してから49年を経て、第4回の標記クラス会が平成9年10月25日(土)に東京で開催された。生存者

でご説明を受けた後、保管されている各自の卒業論文を見せて頂き、50年前の手書きの筆跡を確認した。

最後は京大会館で乾杯・昼食後再会を約して解散。今回病気で参加できなかった諸君の早期ご回復を祈る次第である。
 (平成9年11月 和途 記)

18名の内11名が出席して盛況でした。当日の写真をご覧下さい。なお、昨年秋の第3回のクラス会は京大会館で平松良雄先生をお迎えして開催されたことを追記します。
 (幹事：篠崎, 神保 記)



前列左より 熊谷, 井上, 神保, 石田
 後列左より 長谷川, 勇野喜, 臼井, 北村, 岸本, 篠崎, 本多

41年振りの再会
(昭和27年京大冶金学科入学生クラス会)

昭和27年京大冶金学科入学の私達は、卒業後一度もクラス会を行ったことがない。

社会が忙しかったのか、世話をする奇特な輩に恵まれなかったのかは別にして、兎に角一堂に会したことがない。

今年になって菊川、河内君達関西勢が一念発起、世話をすることとなった。そして同君のアイデアにより関東、関西の中間の地浜松において平成9年10月15日、実に41年振りに再会のチャンスが作られた。事前の触れ込み

もなかったが卒業生25名中実に16名が参加グランドホテル内聴濤館において夕べの一時を楽しむことができた。

当初、“お前は誰だ”の声があらこちらで聞こえたがやがては歓声、奇声に変わり時の経つのも忘れることとなった。

翌日に、ゴルフ組と観光組に分かれボールを飛ばし転がしながら、あるいは名所旧跡を愛でながら初秋の遠州路を夫々に楽しみ2年後の再会を約束し東西に分かれた。

菊川、河内君ありがとう。

(平成9年11月 野村悦二 記)



二八会北陸旅情記
(昭和28年冶金学科卒)

酷暑の夏が過ぎ秋風が吹き始めると、二八会のメンバーは旅に寄せる期待に胸を膨らせる。

同会は卒業後5年毎に同窓会を行って来たが、卒業40周年を契機に毎年行われる事になり、昨年は九州別府、本年は北陸で行われた。

10月22日小松市の由緒ある料亭「まつや」に着き開宴迄の時間を利用して安宅の関を訪ね、義経辨慶の昔を偲び勤進帳の原点に想いを馳せる。又日本海に沈む落日の残照の美しさに暫し心を奪われる。

宴が始まる。新鮮な海の幸地酒(天狗舞)の美味に舌つづみをうつ。宴酣となり一同はタイムスリップして40

数年前の昔に直ちに回帰し、青春の情熱郷愁の念黙し難く欲談の輪が拡がる。

二次会の場を宿舎松風荘(コマツの厚生施設)に移し、政治、経済、最近の若者、大学時代の思い出等談論風発時間の経過を忘れて深更に及ぶ。

翌23日、白山スーパー林道観光組(10人)とゴルフ組(3名)に分かれる。観光組は舂村、町田両幹事の車に分乗する。

白山スーパー林道にさしかかると葛折りの山道が続く。万丈の山、一刃の谷の錦織りなす光景に陶醉恍惚の境地に誘われる。展望台からは新雪を頂いた加賀の名峰白山の女人の寝ているごとき艶麗な容姿が遠望される。

峠を越えれば岐阜県となり、白川郷の合掌造りの集落が鳥瞰される情景は圧観である。更に下って書食として

山菜そば、熊じる、豆腐等地元料理で飢を癒した後、合掌造りの代表的な岩瀬家を訪問する。90才の矍鑠たる老主人から家の由来を聞く。建築後300年、1尺四方の堅牢な柱、豪壮な藁葺き屋根等世界文化遺産として指定されただけの価値はあると納得する。その夜粟津温泉「かみや」に宿泊し旅の疲れを癒す。当夜も昨夜の延長で延々と話は尽きない。

今回は天候にも恵まれ北陸の美しい風景を十分に満喫する事が出来、又全員の心が一つに溶け合う素晴らしい旅行であったと思われる。これもこの行事を計画実行された舛村、町田両幹事の超人的努力の賜であり、両君に深甚の謝意を表し、次回の再会を約して各自帰途についた。尚旅情覚め止まず、翌24日能登半島一周或いは金沢市周遊を行ったグループがあると聞いている。

顧みれば28年卒業組は旧制最後のクラスである。25年入学当時教授陣には西村、沢村、久島、西原、森田の各先生、又助教授陣には森山、盛、近藤、村上、高村、足立、尾崎の各先生で碩学泰斗が並ぶ絢爛豪華な布陣で「学ぶ」には最も恵まれた環境にあった。しかし「こん

な遊んだ学生はない」「社会に出て務まるのか」といったあまり芳しくない風評が聞かれたとの事で、残念乍ら旧制の掉尾を飾る事が出来なかった。

しかし豈にはからんや期待に反し、卒業後社会的責任を十分に果たし、今同窓会で悠々たる自由の境地に遊んでいる。

これは青春回帰の原点である大学時代に培はれた友情、情熱、ロマン、「遊び」とそして「ささやかな学び」の精神がその後の人生を豊饒なものにしており、更に今後を積極的に生きる活力の糧になっているからである。吾々は冶金科学に学び得た好運な邂逅を神に感謝せずにはいられない。

古稀或いは古稀に近い年令に達した吾々の残された人生は、日本海で見られた輝かしい残照のごとくありたいし、「遊び心」の健全な成長ぶりを祈って止まない次第である。 (松浦 記)

今回の出席者は下記の通り。

浅井、梅田、倉知、車谷、田山、津田、西村、西山、舛村、町田、松浦、森田、山岡、渡辺 (14名)



—小野研究室の同窓会の案内—

1998年2月5日

京都大学小野研究室(旧森山研究室)ご卒業の皆様へ

小野勝敏先生谷川ハリス賞受賞をお祝いする小野研同窓会のご案内

拜啓

京都大学工学部冶金学教室非鉄冶金学講座、および京都大学工学部エネルギー応用工学教室エネルギー材料学分野、略称小野研究室(同、森山研究室)をご卒業の皆様、如何お過ごしでしょうか? 御卒業以来、皆様にはますますご清祥のこととお喜び申し上げます。

さて我らの恩師、教授小野勝敏先生は今春東京で開催されます日本金属学会で谷川ハリス賞を受賞されます。先生のチタンおよびニオブに関する長年のご研究が認められたと聞いております。

つきましては先生の受賞をお祝い申し上げ、少し遅れましたが小野先生の還暦のお祝いも兼ねて、同窓会を下記の要領で行いたいと思います。ご多忙中とは存じますが、先生に授与されるメダルを囲み、日本金属学会最終日に卒業生一同でお祝いしたいと存じます。学生に気さくな先生の御所望もあって、ちゃんこ鍋を囲みあの学生時代に戻った雰囲気でお祝いしたいと思いますので、気楽にご参集下さいますようご案内申し上げます。

なお、本来明治30年開設以来の研究室卒業生全員にご案内すべきところではございますが、本状は前回の同窓会(1993年6月)の名簿に基づいて1965年学部卒業以降の皆様にご案内申し上げます。失礼ながら本状の届かなかった卒業生の皆様にもご参加賜りたく、皆様のご協力をお願い申し上げます。また準備の都合上、2月末日までに御出欠をお知らせ下されば幸甚に存じます。

敬 具

発起人：植木達彦、植田幸富、大石敏雄、岡部 徹、
公門 武、鈴木亮輔、竹下博之、竹村康司、
出浦哲史、中橋良一、西 隆之、西畑敏伸、
前野充男

(五十音順、他にもたくさんいますが書き切れません)

記

日 時：平成10年3月28日(土)、午後5:00より

場 所：ちゃんこ「巴がた」

JR 両国駅より徒歩(同封地図参照)

TEL 03-3632-5600

会 場(記念品代を含む)：15,000円(当日会場にて)

以上

追伸：

1. この機会に1993年6月版の研究室卒業生名簿を更新しております。

1996年11月発行の水曜会名簿等を参考にしておりますが、すでに多くの卒業生の皆様からも直接情報を頂いております。ご面倒ですが、同封葉書にて近況をお知らせ下さい。特にご自分の電子メールアドレスをお持ちの方は、返信用葉書の「連絡欄」に近況と併せてご記入頂くようお願い致します。

また、先輩、同期、後輩の皆様のご住所・勤務先等に関する最近の変更をご存じでしたらご連絡下さいますようお願い申し上げます。

連絡先：606-8501 京都市左京区吉田本町

京都大学エネルギー科学研究科

エネルギー応用科学専攻 小野研究室

永田純一

TEL: 075-753-5453 FAX: 075-753-4861

e-mail: jun@marilyn.mtl.kyoto-u.ac.jp

2. 小野研究室同窓会ホームページを開設しました。

アドレスは<http://marilyn.mtl.kyoto-u.ac.jp/OBOGmeibo/OBOG.html>(半角文字、大文字小文字の区別あり)です。

最新の同窓会名簿などを随時更新して掲載します。卒業生の皆様から頂いた近況なども掲載する予定です。是非御閲覧下さい。ただし、不正使用防止のためにパスワードを設定しております。

(担当 小野研究室 現 M1 永田純一)

TEL: 075-753-5444, FAX: 075-753-4861

e-mail: jun@marilyn.mtl.kyoto-u.ac.jp)

3. 小野研究室ホームページは<http://marilyn.mtl.kyoto-y.ac.jp/meibo.html>

2年前までの度重なる改組により、現在公式名称は、大学院に対しては京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー応用科学教室高温プロセス分野、学部学生に対しては京都大学工学部物理工学科エネルギー応用工学サブコース第5区分、となっておりますが、略称は「小野研」であり、研究室は京大の時計台の東、昔と変わらず同じ金属系の建物の2階北側にあります。

会員の声

前々号から設けました、会員の皆様の幅広い意見を募集する「会員の声」の欄に、今回も数件の投稿をいただきました。

約百年前に設立された水曜会の採鉱・冶金という基盤は、工学部の改組にともない、変化を余儀なくされています。“今”はまさに、水曜会自身のアイデンティティーを見直す時期なのかもしれません。

大学時代の思い出、企業サイドから大学卒業生に望む基礎知識・素養、現場が求める大学での研究、いかに学生へ学科をアピールしていくかというノウハウなど、何でも結構です。さらに、まもなく百周年の事業が予定されております。事業内容などに関する意見や提言などもお寄せ下さい。多くの「会員の声」をいただき、水曜会のこれからの百年を考える材料や指針を提供していただきたいと思います。

なお、「会員の声」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。電子メールの原稿の宛先は、suiyokai@mtl.kyoto-u.ac.jpです。その際には、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。皆様からのご意見、提言をお待ちしています。

現場が求める大学での研究

東京製綱(株) 技術開発本部
村上 雅昭 (ムラカミ マサアキ)
1959年冶金卒業 (旧盛研卒)

自己紹介から始めさせていただきます。昭和34年に卒業後新日鐵に入社、満30年間勤務(その全ての期間研究開発に従事)、平成元年に東京製綱スチールコード(株)に転籍(主として品質保証・技術関係に従事)、平成9年に現職に至る。その間一度も水曜会大会出席・会誌への投稿もせず、親不孝極まりない者にて慚愧に耐えられません。[赤沢博士(S30冶金卒)、太田奨氏(S30冶金卒)に幾度も出席、投稿方勧められましたが、無為に過ごしました]。

今回弊社の守谷氏(水曜会誌編集委員)より投稿依頼があり、私にとりまして一つの節目と考え、また、100周年のめでたい年にあたり長年企業での研究活動に従事した経験から何とかご参考になればと、臆面もなく筆を取りました。付言しますと、私のような不貞の者の見せしめと、100周年を会員の諸兄氏による盛り上げの一例になればと思いました。謝長舌。

早速本題に入ります。要点を先に述べますと次の3項目です。少々勝手な希望です。

1. 大学(詳しくは所属の組織体)が責任を持って実施する研究を宣言して頂きたい
2. 企業の研究者の育成のための、例えば共同研究センターのような開かれた機関の設置
3. 研究の実施に不可欠な費用を明確に受益者負担とし、ケースバイケースでビジネスライクで設定するシステムの構築(公的機関には色々と制約があると

思いますが)

上記3項目についてポイントを絞って補足しますと以下のようです。

1項ですが、企業の現場(工場)では品質保証システムを構築し、工場の経営責任を宣言します。これはよくご存じの「ISO 9000 S」ですが、通常多くの工場は「社会貢献」を宣言しています。この理念を責任を持って実行するためのシステムを作り、認定を受け、内部監査、認証機関による定期監査により厳しくその実施を求めています。

共通の認識として、大学では研究の 카테고리として「純粋基礎研究」「目的基礎研究」を、企業は「製品化(開発)研究」「応用研究」を行っています。一言で言えば企業は「工匠の技を科学する」研究をするに尽きると思います。

この辺の事情は今では故人となられた高村仁一先生と高橋博士(S41年修冶金卒)と私の3人による座談会で企業の本命を鋭く言及されました('88.7.1 NSC 営業旬報)。

ISOを例にとりましたが、「責任を持って実施する研究の宣言」は監査などではなく、大学の紀要を始めとして、色々なメディアを通じて研究経過・結果・知見などを公表して頂たく、切に希望するものです。現場は自らはできない研究を貪欲に求めています。

第2項は企業の研究者のリフレッシュと啓蒙・新研究基盤には是非とも必要です。

第3項は企業として委託研究・共同研究を強く望んでいますが、その受け皿を求めるのに窮しています。せめてその費用負担・人的資源の提供は現実として可能です。21世紀へ向けての課題として[熱田氏(S43冶金卒・21

世紀を考える会(代表幹事)の提起された「高齢者問題」,世界が求める「環境問題」が喫緊のものと考えます。なんらかの点で各企業の現場が取り組んでいます。弊社も例外でなく、今将にモーターショーが開催されています。軽量化を通じての省エネ、排気ガスのCO₂減に取り組んでいます。基礎研究の必要性に迫られています。

以上長文になり、また舌足らずの自己中心の点ご容赦頂ければ幸に思います。

大学時代を振り返ってみて

経済企画庁総合計画局計画課課長補佐
片山 朗(カタヤマ アキラ)
(平成元年 資源院卒)

大学(院)を離れて十年近く経ちましたが、行政事務官として就職する際には、担当助手等から大学時代での努力が無駄になるのではないかと、必ずしも歓迎されなかったようでした。確かにこれまでを振り返ってみますと、経済学はもとより、政治、行政、地方自治から国会対応等に至るまで、勉強することばかりだったというのが率直な感想です。特に経済学で使用される専門用語や人命等の言葉の壁には苦しみました。

現職では、5~10年先までの政府の経済計画の策定作業、またそうした政策による経済効果の予測等に携わっておりますが、学生当時に応用計測学講座で学んだ非破壊検査をはじめとした関連知識や経験はむしろ実際にも役立ってきました。というのも、調査・分析といった分野におけるデータの取り扱いやその分析方法について共通する要素が多いからです。なお、経済学の世界では理工系のツール応用することが流行っているのです。

またそれ以上に、大学院で多少なりとも研究に取り組んだ経験が有益でした。やはり単に大学で講義を聞いているだけでは、できごとから何をすべきかといった問題を自分で見いだすということが身につけにくいと思います。

その他、自作の計測装置を持ち込んでワイヤロープの非破壊検査を行った豊羽鉦山出張、また学会(シンポジウム)への参加等、いろいろな機会が与えられたことに感謝しています。それから、学生の特権でもある自由な時間を利用して様々なアルバイトが経験できたこと、特に某眼科病院における医療画像処理研究については、一種のベンチャービジネスの世界を垣間見たという意味からも印象深い経験でした。(もっとも、社会人として今一番役に立っている経験は、学生時代に夢中だったマーじゃんかもしれません。)

さて、これまでの若干の職務経験からではありますが、最近感じていることを綴ってみたいと思います。

今後の大学の役割としては、やはり社会あるいは産業の発展に対して貢献していくことが基本でしょう。なかでも、産学連携による製品化に向けた研究開発だけではなく、これからの産業界を担っていく人材の育成という観点を重視してほしいと思います。

そのためには、卒業論文研究等においても、学生にとって単なる計算機や測定機器の操作を覚えることに終始せず、例えば実際の現場体験から問題点を研究にフィードバックさせていくといった、その研究本来の目的あるいは意義がはっきり認識できるような工夫がより一層重要だと思います。すなわち、文系就職した身ではありますが、ものを作ること、発見することの楽しさを学生に教えていただきたいと思います。教室としては全ての学生に興味を持たせやる気を出させることは大変でしょうが、何といたって今後当教室のサポーターとなるはずの数多くの卒業生に対して、当分野での研究がいかに重要であるか、何を目指していくのか等をアピールしない手はありません。案外、学生の頃の見聞は、社会人になっても覚えているものです。

ところで職場の周囲を見渡すと、最近多くの経済官庁が政策思考を強めており、また民間シンクタンクが調査能力を高めてきている中で、経済企画庁は熾烈な競争の真っ直中にあります。特に、行政改革による省庁再編の渦中、当庁の存在意義をどう見出ししていくかが問われております。こうした状況のもとで個人的には、当然当庁がこれまで得意としてきた経済分析等のノウハウを活用して他との差別化を図っていくとともに、経済学部出身に限らない当庁に勤務する様々なバックグラウンドを持つ人々の柔軟な発想を発揮する絶好の機会と捉えたいと思います。

なおこうした状況は、何も経済企画庁だけでなく資源工学教室においてもかかわってくるのではないのでしょうか。御教室の今後の発展に向けた戦略を期待しております。

(以上)

会員の声への投稿

山本 健一

平成元年金属系学科卒

平成元年金属系学科卒の山本健一です。

卒業して以来、大学には随分ご無沙汰しています。参考になるような事は何も言えませんが、近況など述べてみたいと思います。

私は平成3年に大学院を修了し鉄鋼メーカーに入社し2年後に機械メーカーに転職いたしました。その間、恩師の一瀬英爾先生の御媒酌で約1年半前に結婚致し

ました。

鉄鋼メーカーでは高炉の操業に携わっていました。そして現在は高速エレベータの開発に従事しています。言わねば物作りの一番始めから一番終わりの所へ移った訳ですが、高炉の操業に携わっていた頃は、H型鋼がエレベータでどんな使われ方をしているのかなんて考えもしませんでした。現在では私の周りでエレベータの設計をしている人で鋼材がどのように作られているのか実際に見た人はほとんどいません。

卒業して会社に入れば、自分の業務をこなすのに精いっぱい、広く世の中の流れなどはわかりにくいと思います。逆説的ですが、社会に出で仕事をしている者より社会に出ていない学生の方が、社会を知りやすいと思います。私は学生時代にはこの事がわからず、仕事をやるようになって、しみじみ実感しています。とりとめの話になってしまいましたが、自分自身への言葉として、もっと見聞を広めていきたいと思っている昨今です。

以上

「会員の声の件」

神戸製鋼

守谷 敏之

昭和 59 年資源卒

水曜会は同窓会兼準学会的な団体で、それなりにユニークな存在であったと思います。

ただし、工学部の編成変更により存在自体が難しい状況にあるように感じています。

水曜会を維持していくためには、これまでのような中

途半端なものから特長のあるものへの変身が必要と思います。私自身では何をどうするかわかりませんが、この機会に皆様の意見を聞き、再考したいと思っています。

企業から大学へ求めることは、

①広い意味での学生の教育（社会人予備軍の教育）

②実用的研究の拡大

③民学（官）での研究協力体制の確立

④情報の公開

等があります。

編集委員会でこれからもお世話になりますが、よろしくお願い致します。

以上

「水曜会」

西 隆之

昭和 61 年冶金学科卒

冶金学科昭和 61 年卒の西 隆之と申します。

現在は住友金属工業(株)総合技術研究所にて製鋼プロセスとくに製錬工程に関する研究開発に従事しております。

大学で過ごした頃を懐かしく思う今日この頃です。

連絡先

〒 314-02 茨城県鹿島郡波崎町砂山 16-1

住友金属工業(株)総合技術研究所

製鋼プロセス 8 & 5 flt

TEL (0479) 46-5113 FAX (0479) 46-5142

e-mail: nishi-tky@aw.sumikin.co.jp

逝 去 会 員

平成9年5月 村上 正司 昭44・金
 平成9年7月11日 片岡 三郎 元教官
 平成9年7月28日 宮川 一男 昭25・治
 昭和61年 小野 暢文 昭25・治
 平成9年8月7日 岡野 重厚 昭16(12月)採
 平成9年10月4日 酒井九州男 昭32・敏
 平成9年10月 山本 行直 昭16(12月)
 ご逝去を悼み、ご冥福をお祈り申し上げます。

平 成 9 年 度 水 曜 会 誌 編 集 委 員

| | | | | | | | | | |
|-----|---------------------------------|--|--|--|--|--|--|--|--|
| 委員長 | 花 崎 紘 一 | | | | | | | | |
| 幹 事 | 楠 田 啓 河 合 潤 | | | | | | | | |
| 委 員 | 市 川 康 明 守 谷 敏 之 鈴木 常 夫 喜 多 敬 二 | | | | | | | | |
| | 川 口 純 馬 淵 守 長 村 光 造 藤 谷 伸 | | | | | | | | |
| | 黒 崎 将 夫 藤 原 弘 康 松 本 克 史 榎 木 義 淳 | | | | | | | | |
| | 東 田 賢 二 吉 田 卓 司 西 谷 滋 人 | | | | | | | | |

| | | | |
|------------|------------------|-------------------------|----|
| 平成9年12月15日 | 印刷 | 平成9年12月20日 | 発行 |
| | 編 集 兼 発 行 者 | 八 田 夏 夫 | |
| | 印 刷 者 | 小 林 生 男 | |
| | | 日本印刷出版株式会社 | |
| | 553-0006 | 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 | 水 曜 会 | |
| | | 606-8501 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 | 第一勧業銀行百万辺支店 | | |
| | 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随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。

金属箔と金属粉の総合メーカー

FUKUDA
FUKUDA METAL FOIL & POWDER CO., LTD.

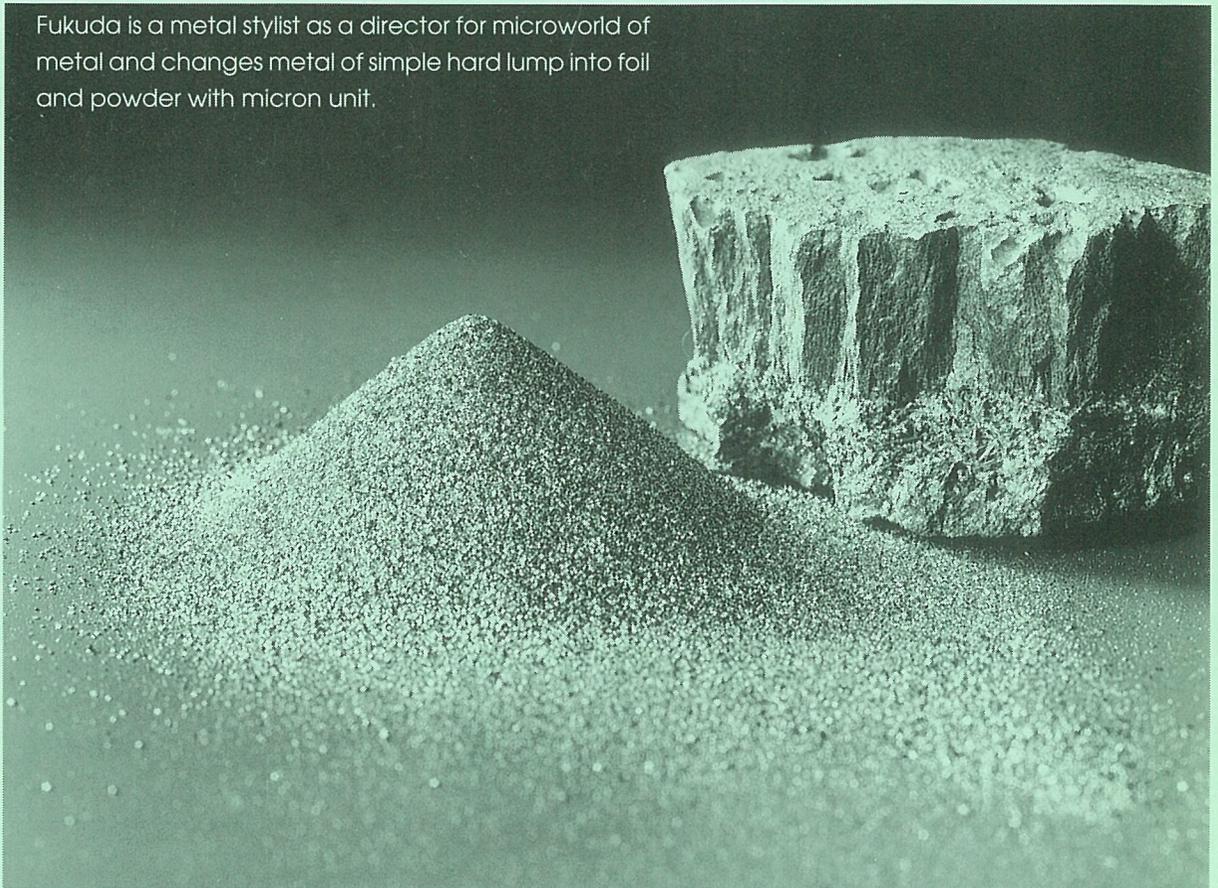
All-around manufacturer of Metal Foil and Powder

ニーズから発想、シーズから創造。

硬い塊でしかない金属をミクロン単位の箔や粉に変化させる……。FUKUDAは金属のミクロの世界を演出するメタルスタイリストなのです。

Idea from needs, and creation from seeds.

Fukuda is a metal stylist as a director for microworld of metal and changes metal of simple hard lump into foil and powder with micron unit.



お問合せ先

本社・京都工場 〒607-8305 京都市山科区西野山中臣町20
TEL075-581-2161 (代表)

営業本部 〒607-8305 京都市山科区西野山中臣町20
TEL075-593-1590 (代表)

東京支店 〒103-0027 東京都中央区日本橋3丁目9番1号
TEL03-3271-4411 (代表)

名古屋支店 〒460-0003 名古屋市中区錦3丁目7番9号
太陽生命名古屋第二ビル3階 TEL052-961-7851 (代表)

大阪支店 〒532-0003 大阪市淀川区宮原3丁目5番36号
新大阪第2森ビル7階 TEL06-397-1022 (代表)

滋賀工場 〒527-0102 滋賀県愛知郡湖東町大字平柳字北浦514
TEL0749-45-0841 (代表)

Head Office/

Kyoto Factory: 20, Nakatomi-cho, Nishinoyama, Yamashina-ku, Kyoto, 607-8305
Japan (phone) 075-581-2161

Business

Headquarters: 20, Nakatomi-cho, Nishinoyama, Yamashina-ku, Kyoto, 607-8305
Japan (phone) 075-593-1590

Tokyo Branch: 9-1, 3-chome, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo, 103-0027 Japan
(phone) 03-3271-4411

Nagoya Branch: Taiyo-Seimei Nagoya Daini Bldg. 3rd Floor, 7-9, Nishiki
3-chome, Naka-ku, Nagoya, 460-0003 Japan (phone) 052-961-7851

Osaka Branch: Shin-Osaka 2nd Mori Bldg. 7th floor, 5-36, 3-chome, Miyahara,
Yodogawa-ku, Osaka, 532-0003 Japan (phone) 06-397-1022

Siga Factory: 514, Azakitaura, Oaza Hirayanagi, Koto-cho, Echi-gun, Siga,
527-0102 Japan (phone) 0749-45-0841

福田金属箔粉工業株式会社

本社／京都市山科区西野山中臣町20 営業本部／TEL.075-593-1590 FAX.075-501-1895

Suiyōkwai-Shi

TRANSACTIONS OF THE MINING AND METALLURGICAL
ASSOCIATION
KYOTO

CONTENTS

Retirement Memorial Lectures

- Retrospection of My Research Life over
Forty Years at Kyoto UniversityKoichi SASSA..... 543
- Looking back over my Research Works and Education Getting along
with Kyoto UniversityYoshitaka NAKAHIRO..... 551

Memorial Lecture in the Annal Meeting of Suiyōkwai

- Recent Topics on the Aluminium IndustriesShiro SATO..... 560

Original Paper

- Recovery of γ -Fe₂O₃ from Oily sludge generated
at mechanical rolling process of steel plant { Torayuki TSUKADA 573
Masanori IWASE

Lecture

- Metallurgy of Titanium (VI)
— A Historical Review —Joichiro MORIYAMA..... 580

Forum

- Martensitic transformation in thin foil of ferrous alloysShigekazu MORITO..... 589

- Suiyōkwai Information 591

- Letters to Editor 593

- Members's Voices 598