

水曜会誌

第22卷 第8号

目 次

講 座

- チタニウムの製錬の歴史（V） 森山徐一郎 479

総 説

- 世界の石油の需給に関する予測について 小林 啓一 488

談 話 室

- 資源工学科および資源工学専攻の改組について 菊地 宏吉 494
教育と研究の今 —材料工学教室の場合— 長村 光造 501

- 研究速報 506

- 会 報 528

- 会員消息 538

- 会員の声 540

平成9年6月30日発行

京 都 大 学

工学部 資源工学教室

冶金学教室

金属加工学教室

水 曜 会

DOWA

鉱業 人夢

地球の資源を大切に
いただきます。

地球の資源を加工します。温もりのある技術で磨きます。

そして、たくさんのぐらしの素材を生みだします。

地球から人へ。資源を活かし、環境をまもり、

夢のある技術で明日をつくるDOWAです。



環境をまもり、人のくらしに還します。

地球から人へ・技術で夢をつくる

同和鉱業

〒100 東京都千代田区丸の内1-8-2 第1鉄鋼ビル
TEL.(03)3201-1062

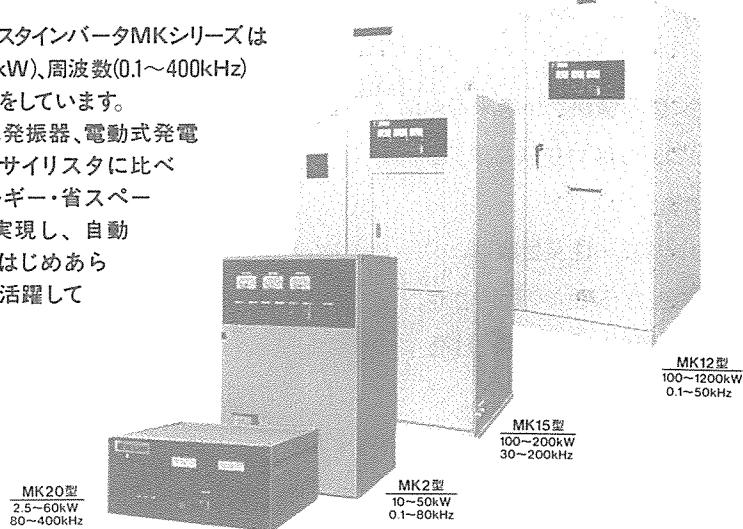
非鉄金属・金属加工・精密加工・電池材料

無機材料・化合物半導体・磁性材料・環境事業

熱処理加工・FA&ビジュアル機器・超電導・資源開発

高効率・超小型で新時代のニーズに応える MKシリーズトランジスタインバータ

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



NETUREN
高周波熱鍊株式会社 (ネツレン)

本社 東京都品川区東五反田2-16-21 PHONE.03-3443-5441 FAX.03-3449-3969
 電機部・常葉工場 東京都品川区東五反田2-16-21 PHONE.03-3448-8900 FAX.03-3448-8901
 電機部・平塚工場 神奈川県平塚市田村5893 PHONE.0463-55-1552 FAX.0463-53-1029
 電機部・名古屋工場 豊明市沓掛町八幡前77-41 PHONE.0562-92-8338 FAX.0562-92-8666
 電機部・大阪サービスセンター 大阪市西淀川区千舟2-14-8 PHONE.06-475-0512 FAX.06-475-0430

DENSO

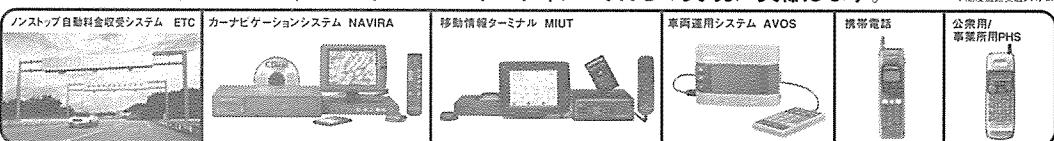
**Mobile
Multimedia**

「モバイル・マルチメディア」

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

デンソーは、「モバイル・マルチメディア」でITSの実現に貢献します。

少高度道路交通システム



株式会社 デンソー

〒448 愛知県刈谷市昭和1丁目1番地
TEL 0566-25-5511(案内)

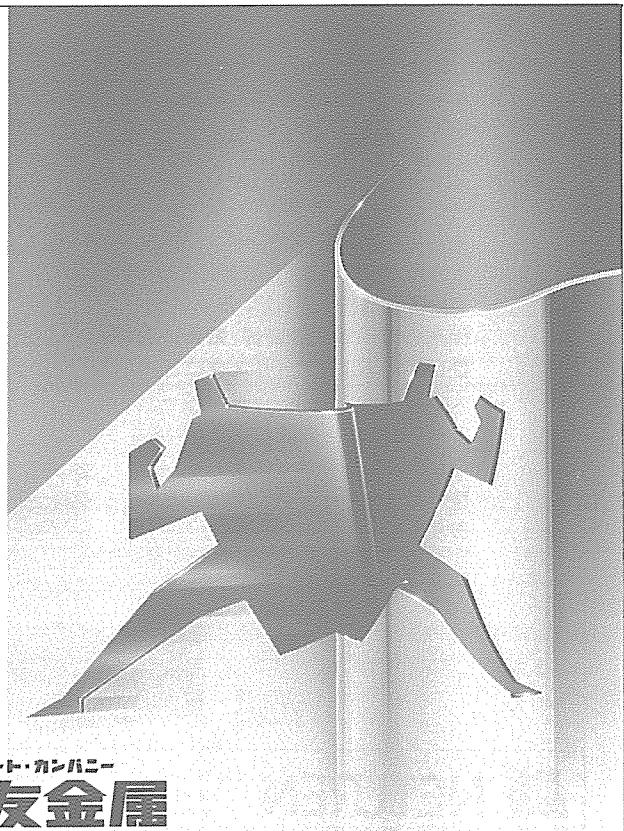
インターネットホームページ <http://www.denso.co.jp>

「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。



丸尾カルシウム株式会社

原料石灰石

鉱山採掘から製品まで

膠質炭酸カルシウム (M S K)

軽質炭酸カルシウム

重質炭酸カルシウム

炭酸カルシウムの総合メーカー

創業 大正15年10月1日

取締役社長 丸尾 儀兵衛

資本金 8億7千百5拾万円

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 ☛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

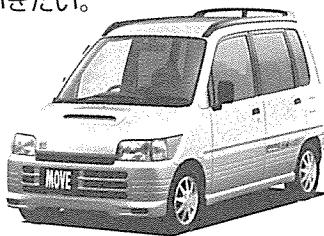


ダイハツ工業株式会社

●スピードは控えめに、シートベルトはしっかりと。

We do COMPACT.

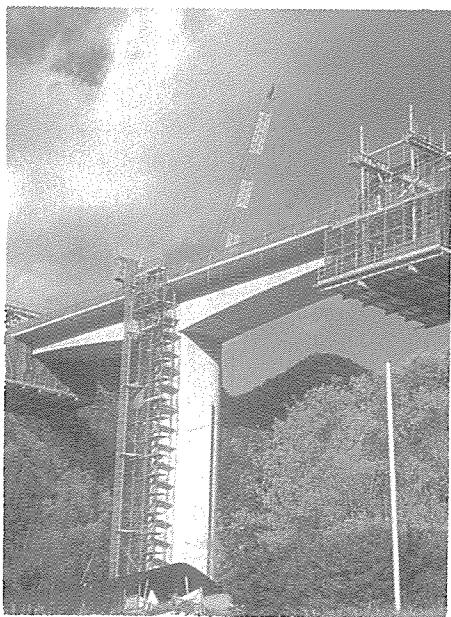
21世紀に向けて、
社会や地球にとって「重荷」にならないクルマを。
それでいて、さまざまな個性を持ち、
夢や満足をたっぷり乗せたクルマをつくっていきたい。



ムーヴ SR-XX

技術と信頼と無限の可能性

Q 機動建設工業株式会社



MAIN TECHNOLOGY

P C タンク
P C 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 T E L 06-458-5461
東京支社 〒112 東京都文京区向丘1-8-12 T E L 03-3813-3641

JOMO

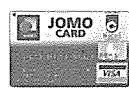
一度使えばちゃんと割引! 使えば使うほどガソリン割引!

ガス割りカード

JOMOカード新登場!!

JOMOステーションで1回でも給油すれば、1.5%OFF(レギュラー)

GP-1プラスなら最大 軽油なら最大
[45%OFF] [15%OFF]
レギュラーなら最大 灯油なら最大
[30%OFF] [9%OFF]



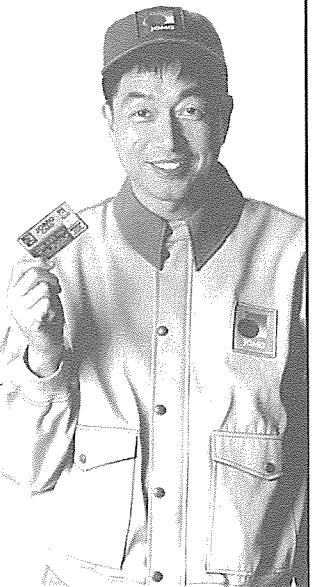
「ガス割カード」の方程式

- ① 当月▶ JOMOカードを使う!
- ② 空月▶ ポイントが決まる!
- ③ 翌々月▶ JOMOカードで給油する!
- ④ ご請求▶ ご請求時におトクを実感!

たのしいドライブ、うれしいメリット。

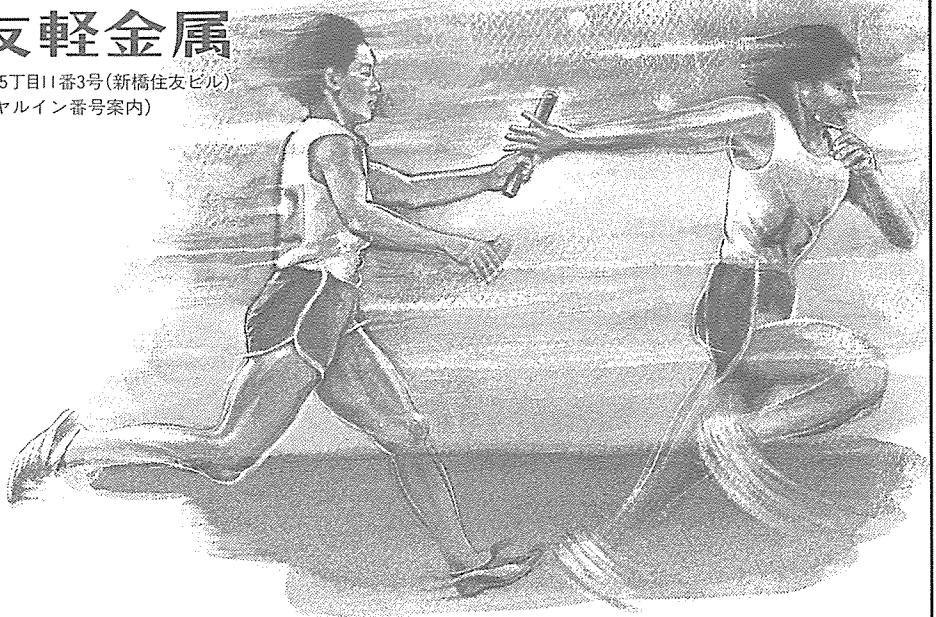
JOMOステーション

株式会社 ジャパンエナジー



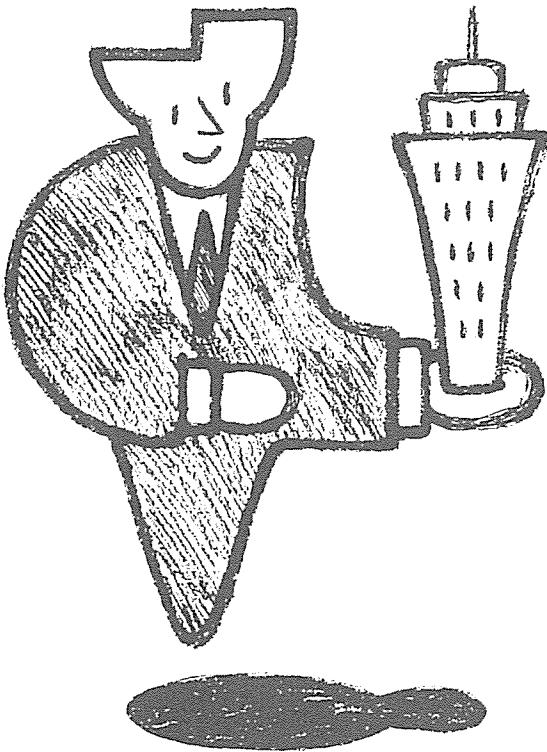
住友軽金属

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



ひと・社会・時代を
見つめています。

よりパワフルに、より積極的に、より柔軟に。

住友大阪セメントは、
ひと・社会・時代の動きを常に見つめながら
さらにテクノロジーを磨き、
新しい時代をきりひらきます。

住友大阪セメント株式会社

〒101 東京都千代田区神田美士代町1番地

PHONE.(03)3296-9600

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。

あなたと創る *Creating Together* 三菱自動車

新しいパジェロ誕生。
「GDI」搭載、
環境エンジン



新・地球基準

GDI PAJERO

*「GDI」は三菱自動車の商標です。

メタルトップワイド ZR-S (オプション装着車)

技術が違う。楽しさが違う

「その差が、三菱。」

自然を知り大地を活かす
株式会社 エイトコンサルタント

代表取締役社長 小 谷 裕 司

建設に関する総合コンサルタント

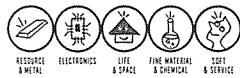
- 建設コンサルタント
- 地質調査
- 建築設計
- 環境調査
- 補償コンサルタント
- 測量
- 情報処理
- 施工管理

●本社/〒700 岡山市津島京町3丁目1-21
TEL(086)252-8917(代) FAX(086)252-7509

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

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

地球の営みと、
ひとつでありたい。



◆ 住友金属鉱山株式会社

石灰の、おせっかい。



今ここを、未来にします。

Here, The Future

HITACHI

『Here, The Future』

——今ここに「未来をひきよせる力」。

私たち日立は、このことばのもとに、誰もが遠い先のことと思っていた未来を、

今ここに、技術の力で

ひとつひとつ実現していきます。

これから日立がお届けする、

今までの常識や制約を脱ぎ捨てた

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 東京都千代田区麹町一丁目四番三号 TEL 03-3269-1111 ㈹

Here, The Future

MITSUBISHI

ベーシックから ドリームまで

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

三菱マテリアル
TEL 03-5252-5206

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

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

まだ眠っている

知恵があります。

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あげ、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。



NKK

日本鋼管株式会社

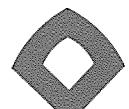
〒100 東京都千代田区丸の内1丁目1番2号

モトは、地球だ。

現代の先端産業を支えているマテリアルの数々。それなくしては、わたしたちの生活は成り立ちません。けれども、どんなハイテク素材もモトをたどれば、すべて地球が与えてくれたもの。地球の恵みから新しい価値を作り出す、それが三井金属の「マテリアルの知恵」です。



三井金属鉱業株式会社 東京都中央区日本橋室町2-1-1 郵便番号 103



三井金属



「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
ウォータースライド
トランスマービル
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笠が丘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)3241-2361

品質第一 すべての基本

J I S 規格票の販売と(?)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

非鉄 中間合金

りん銅、マンガン銅、けい素銅、
ボロン銅、鉄銅等

追求しています。

銅合金 鋳造加工

HZ合金CE、各種青銅、真空脱ガス
処理による鋳造品



株式会社 大阪合金工業所

代表取締役社長 水田泰次

本社	〒910-31	福井市白方町第45号5番地9	TEL (0776)85-1811(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

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

講座

チタニウムの製錬の歴史 (V)

森山 徳一郎*

Metallurgy of Titanium (V)
—A Historical Review—

by Joichiro MORIYAMA

16. 四塩化チタニウムの原料 (続)

16.1 合成ルチル

前記の高チタンスラグとともにチタニウム関連工業の発展により出現した技術としては合成ルチルの製造法があり、一般に up-grading の手法と呼ばれている。チタン鉱物は普通 Fe-O-TiO₂系の組成であるが、酸化されてマグネタイトを含む組成に移行している。

この鉱石中の鉄分を 2 倍の酸化鉄、又は金属鉄まで還元して、硫酸、塩酸、さらには空気酸化により鉄分を除去して、天然ルチルの組成に近い化合物を無機合成する方法を up-grading 技術といい、製品を合成ルチルと呼んでいる。この方法は二つに大別出来、FeO まで還元する方法を弱還元法、金属鉄まで還元して処理する方法を強還元法といいう。

合成ルチルの製造法の概要を理解するために現在行われている方法の説明から始めよう。

表 19 に現在経済的に成立している合成ルチルの製造法を示す¹¹²⁾。

第 1 の Becher 法は強還元法である。West Australia 州立化学研究所の R. G. Becher らはイルメナイトからの Up-grading について多年研究を続け、1960 年には実験室での研究に成功し¹¹³⁾、その後 Western Titanium 社 (RGC Mineral Sand 社) と工業化について協同研究を行い、1968 年には 10,000 トン/年の設備を建設して工業的の問題の検討を重ね、さらに CSIRO* の協力をえ、1974 年、30,000 トン/年の設備による商業生産を開始した。

原料である Capel 地方のイルメナイト鉱は 55~56%

の TiO₂を含有する。これに Collie 産の石炭を燃料および還元剤として加えロータリー・キルン中で加熱し鉱石中の酸化鉄を金属鉄まで還元する。この場合、強還元雰囲気で 1100~1300°C に保持する必要があるので SL/RN ロータリー・キルンが用いられている。また、灰分の少ない Collie 産の石炭が必要である。95%まで金属鉄に還元された生成物は塩化アムモニウム水溶液中で空気酸化を行い、金属鉄を水酸化物にする。これを湿式サイクロンで処理し TiO₂ 分と分離する。次に、2%の硫酸溶液で洗浄し、鉄、マンガンを除去し濾過後さらに洗浄し、乾燥して製品とする。

第 2 の Benilite 法は弱還元法である。イルメナイト鉱中に含まれる酸化鉄は FeO まで還元する。Benilite Corp. of America が開発した方法で鉄分は塩酸で浸出する。

2 倍の鉄と全鉄の比が 0.80~0.90 になるようロータリーキルン中で還元を行う。還元は容易で特殊な炉を必要としない。Taiwan Alkali 社がこの方法による合成ルチル製造の工業設備を 1975 年につくったが、中断しており操業は行われていない。現在この方法で、インドの Indian Rane Earth 社、アメリカの Kerr-McGee 社等が生産している。分り易い工程で、塩化鉄は熱分解により塩酸と酸化鉄とし、塩酸は再び浸出に用い、酸化鉄は製鉄原料として売却する。塩化物からの塩酸分解は工業的にも比較的容易で、またリサイクルの効率もよく産業廃棄物の発生が少ない。一般に浸出には 20%濃度の再生塩酸を用い、加圧浸出を 2 段で 145°C, 2.5 kg/cm², 4 時間で行っている。浸出容器の腐蝕は耐酸耐火物の内張を行って防止している。塩酸の再生工程には噴霧蒸発法が用いられる¹¹⁴⁾。

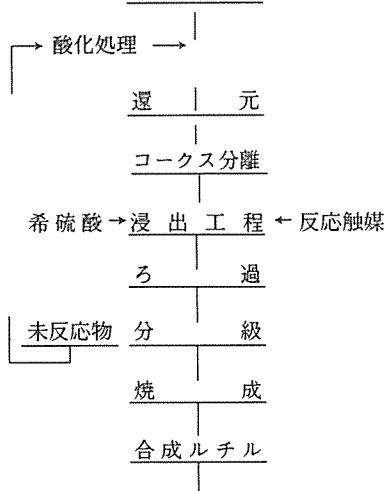
第 3 の石原法はイルメナイト鉱中の鉄分を FeO まで還元して浸出を行う、いわゆる弱還元法による Up-

*京都大学名誉教授

*Common Wealth Scientific and Industrial Research Organization

表 19 合成ルチルの製造法（河合, 1993）

製造方式	製法概要	会社名	(T/年) 生産能力	国名
Becher 法	鉄分を金属鉄の状態に迄還元した後、水中で鉄分を空気酸化して分離除去する。	RGC Minerals Sands Ltd Westralian Sands Ltd Tiwest Joint Venture	317,000 120,000 130,000	オーストラリア 〃 〃
Benilite 法	鉄分を FeO の状態に迄弱還元した後塩酸にて加圧浸出し鉄及びその他チタン以外の成分を溶出除去する。	Dhrangadhra Chemical Works Kerala Minerals & Metals Ltd Indian Rare Earths Ltd Hitox Corp of America Kerr-McGee Chemical Corp	15,000 12,000 100,000 50,000 100,000	インド 〃 マレーシア USA
石原法	鉄分を FeO の状態に迄弱還元した後、稀硫酸にて加圧浸出し鉄及びその他チタン以外の成分を溶出除去する。	石原産業㈱	55,000	日本
	合 計		899,000	

イルメナイト図 53 石原法合成ルチル製造工程
(山田ら, 1972)

grading 技術であり、浸出用の酸としては、硫酸法チタン白工場から出る廃硫酸を用いる方法である。また、この技術は山田らによりわが国で開発された^{115,116)}。

石原産業は 1968 年に 7 万トン/年の硫酸法チタン白工場の建設を終了し、次の段階として塩素法チタン白の工業生産を企画し調査研究を進めていた。もともと、塩素法チタン白の製造技術は Du Pont 法ともいわれ、Du Pont 社が研究し成功した方法であるが同社は世界的なこの方法の独専を意図しており技術の開陳をしなかつた。その後、American Potash and Chemical 社が塩素法チタン白の製造実験に成功したので、石原産業は

表 20 合成ルチルの分析例（河合, 1993）

成分	石原法 (石原産業)	ペニライト法 (HITOX 社)	ピーチャー法 (WSL 社)
T, TiO ₂	95.5	94.85	92.10
T, Fe	1.61	1.06	2.93
MnO	0.03	0.06	0.97
MgO	0.07	0.01	0.29
CaO	0.01	0.10	0.02
Al ₂ O ₃	0.46	0.41	1.57
SiO ₂	0.50	0.74	1.09

1969 年に技術導入の契約を結び 3 万トン/年の工場建設を行った。ところがこの頃からルチル鉱石が不足し値段が急騰した。以上が合成ルチルの製造実験がわが国で行われた経済的な背景であった¹¹⁷⁾。世界各国とも同じ条件であった。

図 53 に石原法による合成ルチルの製造工程図を示す。原料のイルメナイト鉱に 5% の炭素還元剤を加え、ロータリーキルン中で約 900°C で還元して 2 倍の鉄と全鉄の比を 0.95 以上にする。還元した鉱石は空気を遮断したまま冷却した後残留炭素系物質を除く。30% 硫酸溶液によりオートクレーブ中で還元鉱石中の鉄分の浸出を行う。一般に硫酸による浸出では 150–180°C の温度での長時間の処理を必要とするが、30% 硫酸溶液でのこの条件に耐える工業材料は見当たらない。温度を下げるために酸の温度を上げると溶解の速度は増すが、同時にチタン分もとけ出し製品のチタニウム含有量は下る。山田らはいろいろと実験を重ね結果、反応促進剤としてコロイド

状の水和酸化チタンを添加することにより、130°C、8時間の浸出により十分な脱鉄率が得られ、チタン分の溶出による損失も少なく、原鉱石の粒径を保持したままの製品を得ることに成功した。ただ、イルメナイト鉱は天然の鉱物であり、鉱粒はそれぞれ酸溶液に対して Reactivity が異なり溶解速度も変化するので、 TiO_2 含有量 95%になった鉱物粒子と未反応のものとの物理的性質の差を利用して分離して未反応粒子は還元あるいは酸浸出工程にもどして再処理する。 TiO_2 含有量 95%以上の粒子はロータリー・キルン中で 900°Cに焼成して合成ルチルとして市販している。

この方法は反応促進剤の発見で 130°Cのオートクレーブによる浸出が可能であるので、装置に特殊な材料を必要としない。また、硫酸法チタン白製造と併立しており、廃硫酸を用いることが出来、さらに廃液からの回収技術を利用出来る。つまり、硫安、石膏、磁性酸化鉄の製造が可能である。

16.2 その他の合成ルチルの製造の試み

現在、世界的に行われている合成ルチルの製造法は Becher 法、Benilite 法、石原法であり、Benilite、石原法は高温高圧の酸浸出をオートクレーブ中で行うのに対し Becher 法はこのような操作は行わない。それ故、設備費が少なく製造コストは最も安い。しかし乍ら、原料鉱物中のケイ石、アルミナ、カルシア、マグネシア等の

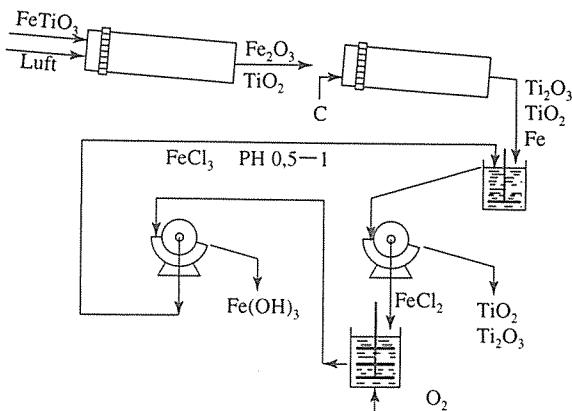


図 54 Summit-Tiron 社 (USA), Oceani 法 (1972 Pilot Plant)

表 21 Summit-Tiron 社の合成ルチルの分析例 (Meyer ら, 1974)

TiO_2	.....94,00	Al_2O_3	.....1,70
FeO	.....2,00	V_2O_5	.....0,15
SiO_2	.....0,50	Cr_2O_3	.....0,10
P_2O_5	.....0,10	$MgO-CaO$	.....0,70
S	.....0,02	Sn	.....0,05
ZrO_2	.....0,20	Mn	.....1,30

残留も多く、鉄分の除去率も悪く、 TiO_2 の含有量は 92-93%である。表 20 に市販合成ルチルの分析の一例を示す。

この他、合成ルチルの製造については多くの開発研究が報告されている。これらは筆者のように永年化学や金の実験に従事したものにとって興味深いものも多い。特徴のある研究成果について少し説明する¹¹⁸⁾。

Oceanic 法, Summit-Tiron 社 (USA)

鉱石をロータリー・キルン中で鉄分を Fe_2O_3 まで酸化し次に炭素により金属鉄まで還元する。これを強酸性の塩化第二鉄溶液で浸出し、鉄分を塩化第一鉄として溶解する。 TiO_2 と Ti_2O_3 は濾過し、塩化鉄溶液は空気酸化により $FeCl_3$ とし、余分の鉄分は水酸化鉄として沈殿させ、濾過して分離する。 TiO_2 の含有量の高い製品が得られる。カナダの Montreal で年産 20,000 トン 1 年の工場が 1972 年建設された。図 54 に工程図、表 21 に製品の分析例を示す。

Murotile 法, Murphyore 社

この方法はオーストラリアで実験された。イルメナイト鉱石は渦流動炉中で水素により弱還元が行われる。次

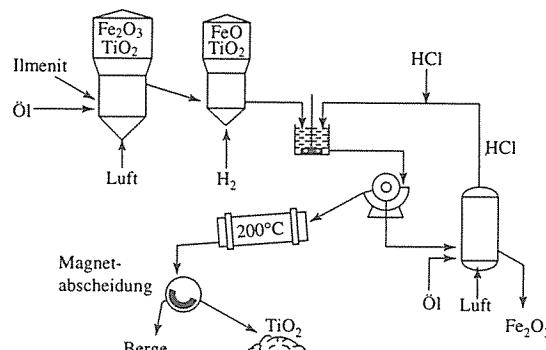


図 55 Murphyore-Murotile の方法
(オーストラリア)

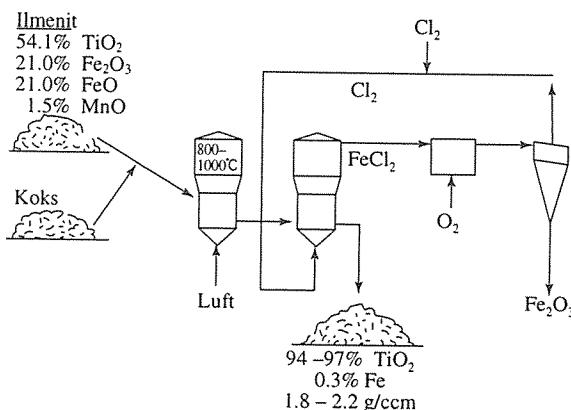


図 56 Chlorine Technology 社 (オーストラリア)

にオートクレーブ中で塩酸による浸出を行い、塩化鉄は塩酸と酸化鉄に分ける。 TiO_2 は洗浄後、磁選で鉄を除いて製品とする。図 55 にこの方法の工程図を示す。

この方法は Brnilite 社の実験とほぼ同じ考え方である。尚、Wah Chang 社がこの方法に近似した開発研究を行ったが、中断して現在は行われていない。

Chlorine Technology 社、選択塩素化法

図 56 に Chlorine-Technology 社による選択塩素化法の工程図を示す。この方法の説明を見当たらぬ。

イルメナイト鉱粉末に炭素を加え、800~1000°Cで渦流動炉で還元される。鉱石粒子は次の渦流動炉に送られて塩化が行われる。鉱石中の鉄分は第一塩化鉄となる。

これを次の分解槽に導き、酸素を吹きこみ酸化鉄と塩素に分解する。

このような選択塩素化法は Du Pont 社¹¹⁹⁾でも、イルメナイト鉱石を 850~1050°Cで炭素加えて塩化し、生成した四塩化チタニウムを他の塩化物から分離精製する。(Cairns, 1969)

同様な方法はわが国でも実験された。木村らは鉱石を直接塩化して鉄分を第二塩鉄に変え酸化チタンと分離する研究を行った^{120~122)}。図 57 にその工程図を示す。

イルメナイト鉱は空気中で 950°Cで酸化して $Fe_2O_3 \cdot TiO_2$ の組成にし、次にコークスを加えて 900~950°Cで塩化する。約 4 時間の後、 TiO_2 含有量 80~85%の生成物は選考鉱工程に送る。まず磁力選鉱で未反応の鉄を分離

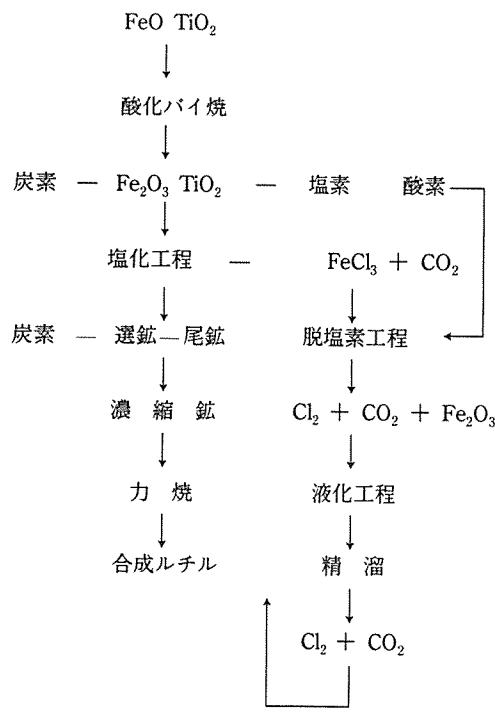


図 57 三菱塩素化法 (木村ら, 1979)

し、次に浮選により残った炭素を除いて乾燥後製品とする。

塩化炉では三塩化鉄が生成する。脱塩素炉では炉の入口で 900°C、出口で 650°Cの温度を保ち、酸素を混ぜて塩素を分離し、酸化鉄は冷却後、バッグフィルターに集める。ガスは乾燥後、7 気圧に圧縮して -50°Cの精溜塔に導き底部から塩素を抜き出す。

16.3 チタニウム・スラグからの塩化用原料の製造

チタニウム・スラグはすでに述べたように、チタン酸グネシウムを主成分とするもので、その成分としては MgO , Al_2O_3 , CaO , SiO_2 と酸化鉄（一部金属鉄）が含まれている。このようなスラグを塩化すると、 $MgCl_2$, $AlCl_3$, $CaCl_2$ を生成し、塩素を消費し、さらにこれらの塩化物は沸点が高いので塩化反応の進行を妨げ、炉中に附着し流动塩化を不可能にする。

それ故、スラグから塩化用の原料をつくる実験も多く行われている。この中の一二の例について考察する。

塩酸溶液によるスラグから合成ルチルの製造¹²³⁾

Toromanoff (スエーデン, 王立研究所) Habashi (カナダ, ケベック, Laval 大学)による実験は、年間 90 万トン Quebec 地方で生産され、もっぱら硫酸法チタン白の製造に用いられている低品位スラグ (70~72% TiO_2) から塩素法に用いる合成ルチルを製造する試みである。実験に用いたスラグの組成を表 22 に示す。

スラグを -400 mesh に磨碎し、10N の塩酸溶液を用いてテフロンで内張りしたオートクレーブ中で 200°Cで 5 時間反応させる。チタン分は一度溶液中にとけ、さらにルチル型の酸化物として析出する。ケイ酸も同様な挙

表 22 低品位 Sorel スラグの分析例

%

TiO_2	71.35
Fe (total)	9.2
Al_2O_3	5.42
SiO_2	5.26
CaO	1.12
MgO	5.24

表 23 低品位 N. Z. Steel 社スラグの分析例

%

SiO_2	17
TiO_2	32
Al_2O_3	20
FeO	2
MnO	2
MgO	17
CaO	9

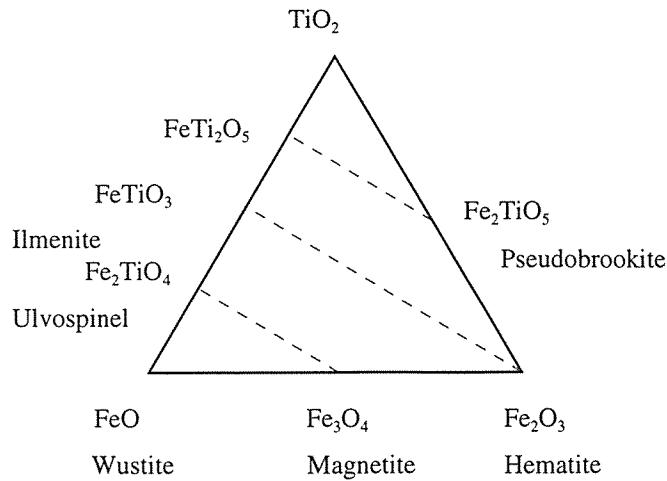
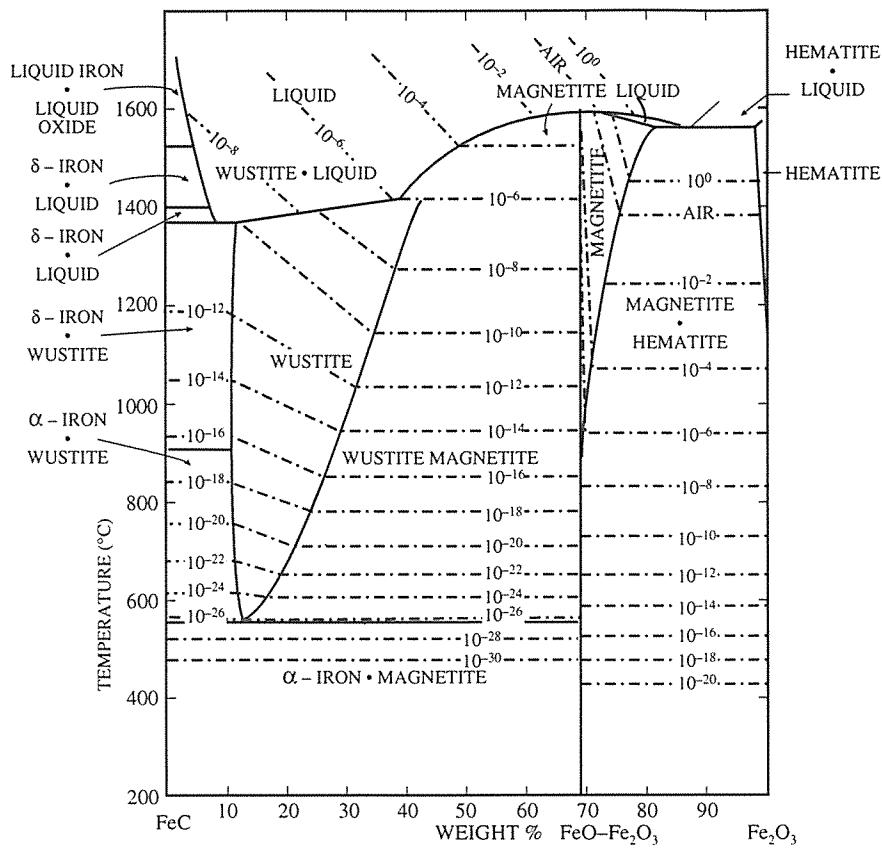
図58 Fe-O-TiO₂系の相図

図59 FeO-Fe₂O₃系の相図
Darken, Gurry (1945-1948)
Muan, Osborn (1965)

動を示し沈澱物中に含まれる。鉄とその他の不純物は液中に残る。塩酸は酸化により再生し抽出工程にもどす。

この方法で 85% 以上の塩化用のチタン原料が得られる。

炭化チタニウムとしての選択塩化：¹²⁴⁾Auckland 大学の研究者の実験である。New Zealand 製鉄会社のスラグは約 32% の TiO_2 を含んでいる。(表 23)

この低品位スラグを $105\mu m$ に粉碎し、15% の炭素を加え混合し、 $1300\sim 1350^\circ C$ で 1~2 時間焼成するとチタン分は還元されて TiC に変化する。これを $200\sim 500^\circ C$ で塩化すると四塩化チタンが 90% の収率でえられる。かなり選択的に塩化が進み、90% $TiCl_4$ 、7~10% $FeCl_3$ 、1~3% VCl_4 の塩化物が採取されている。

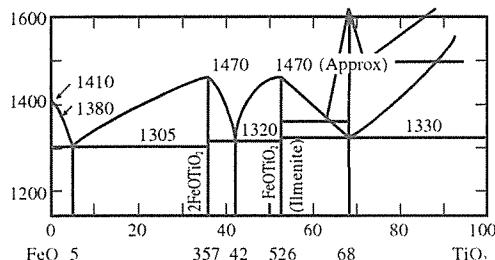


図 60 FeO-TiO₂系
Grieve, White (1939)
千田ら, 京大(1953)

17. 鉄-酸素-酸化チタン系について

17.1 Fe-O-TiO₂系の相図

イルメナイト鉱中では鉄は 2 倍、3 倍で存在する。鉱物の組成は $FeO-Fe_2O_3-TiO_2$ 系の中に広く分散している。図 58 はこの関係を模式的に示したものである。 $FeO-Fe_2O_3$ 系は有名な Darken, Gurry¹²⁵⁾ の研究があり、その後多くの報告がある。図 59 は Muan ら¹²⁶⁾により集録、整理されたものであり、相関係とともに温度組成に関する酸素平衡分圧が示されている。

TiO_2 を含む酸化鉄系は砂鉄の研究としてわが国では研究報告が古い時代から続けられている。例えば、田中ら¹²⁷⁾ 藤木ら¹²⁸⁾ の報告があり、前者は X 線回折によりこの系の全域について検討を加えている。

$FeO-TiO_2$ 系は 1939 年に Grieve と White¹²⁹⁾ 相関係

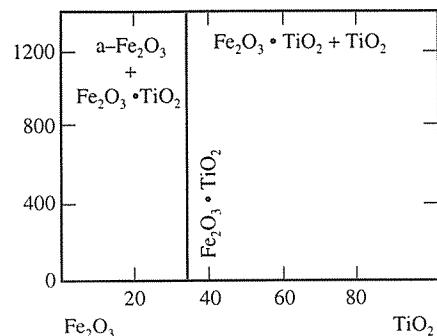


図 61 Fe₂O₃-TiO₂系
Karkhanavala (1959)
田中ら北大, (1959)

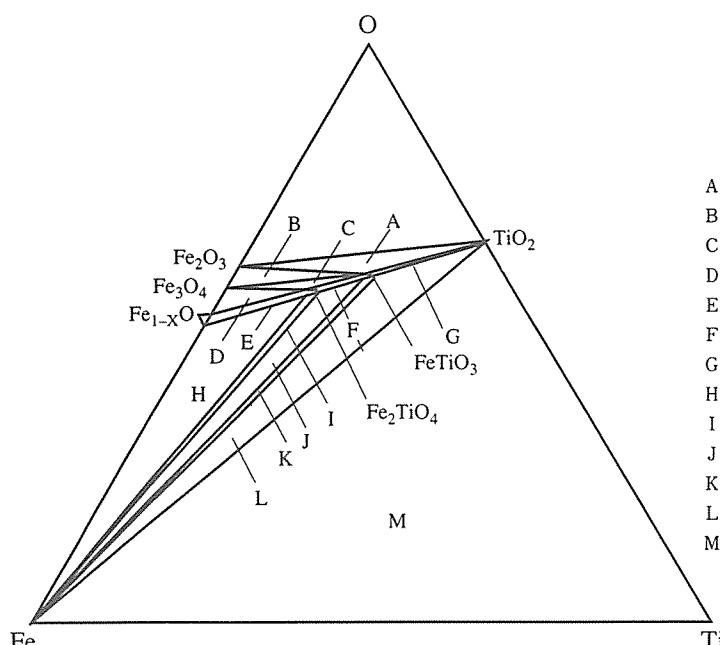


図 62 Fe-O-TiO₂系の模式的 p-t-x 図
(小野, 京大)

- A : $Fe_2O_3-TiO_2-FeTiO_3$ 3 相平衡
- B : $Fe_2O_3-Fe_3O_4-FeTiO_3$ 3 相平衡
- C : $FeTiO_3-Ti_xFe_{3-x}O_4$ ($0 \leq x \leq 1$) 固溶体 2 相平衡
- D : $Fe_{1-x}O-Ti_xFe_{3-x}O_4$ 固溶体 2 相平衡
- E : $Fe_{1-x}O-Fe_2TiO_4$ 2 相平衡
- F : $Fe_2TiO_4-FeTiO_3$ 2 相平衡
- G : $FeTiO_3-TiO_2$ 2 相平衡
- H : $Fe_{1-x}O-Fe_2TiO_4-(Fe-Ti)$ 合金 3 相平衡
- I : $Fe_2TiO_4-(Fe-Ti)$ 合金 2 相平衡
- J : $Fe_2TiO_4-FeTiO_3-(Fe-Ti)$ 合金 3 相平衡
- K : $FeTiO_3-(Fe-Ti)$ 合金 2 相平衡
- L : $FeTiO_3-TiO_2-(Fe-Ti)$ 合金 3 相平衡
- M : $Fe-Ti-TiO_2$ 摂 3 元系

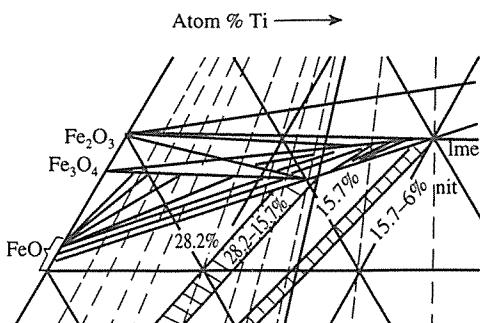


図 63 Fe-O-TiO₂系の相図, 1000°C
(Schmahl, 1960)

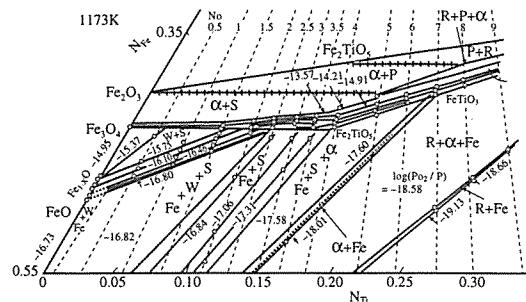


図 64 Fe-O-TiO₂系の相図
(伊藤ら, 1994)

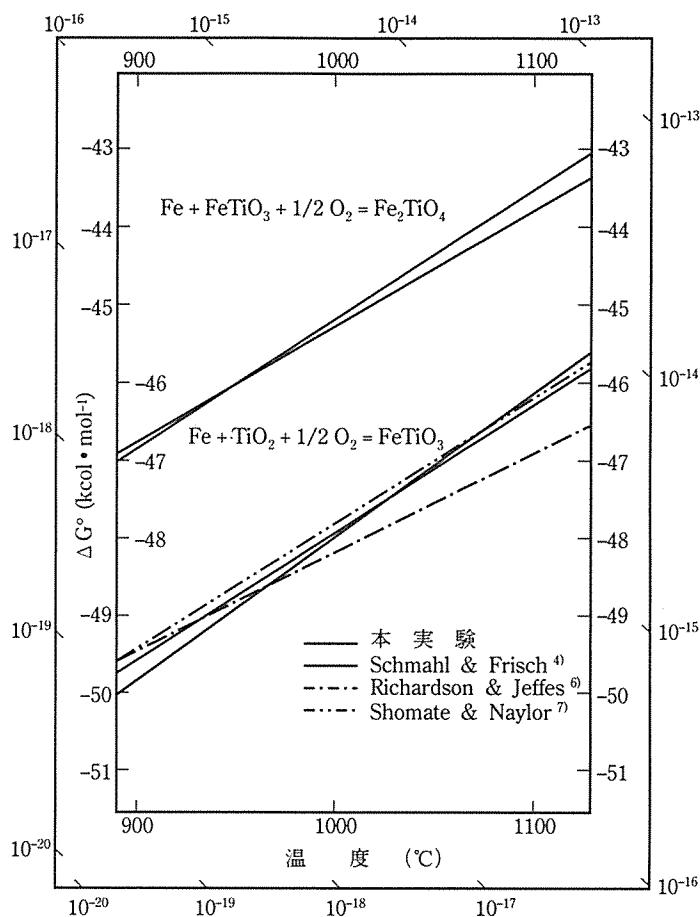


図 65 3相平衡範囲の標準生成自由エネルギー
(小野, 1973)

反応	ΔG° (cal • mole ⁻¹)
$\text{Fe} + \text{FeTiO}_3 + 1/2 \text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{TiO}_4$	$-65,805 + 16.22T$
$\text{Fe} + \text{TiO}_2 + 1/2 \text{O}_2 = \text{FeTiO}_3$	$-69,364 + 16.84T$

について実験を行った。この系では Ilmenite 以外に Fe_2TiO_4 の組成の化合物が存在することを見出した。これについて、Goldschmidt が ulvöspinel という天然に存在する鉱石が上記の化合物に相当すると指摘した。Mose ら¹⁰⁹⁾は $FeO-2TiO_2$ の組成の化合物の存在を示唆しており、千田¹³⁰⁾は $FeOTiO_2-TiO_2$ の相関係についての実験中、この化合物を見出し、融点を実測して $1610^{\circ}C$ であると報告した。さらに田中らはこの化合物について X 線回折実験により存在を認めている。

$Fe_2O_3-TiO_2$ 系 Arizonite $2Fe_2O_3 \cdot 3TiO_2$ ($Fe_2O_3 \cdot 3TiO_2$ とも報告されている) と Pseudobrookite $Fe_2O_3 \cdot TiO_2$ の鉱石が天然に存在すると報告されている。この系では田中ら¹²⁷⁾ Pseudobrookite $Fe_2O_3 \cdot TiO_2$ が安定な化合物であると実験により推定したが、Karkhanaval¹³¹⁾ はこの系について詳細な実験を行い Pseudobrookite が存在することを確認している。

$Fe_3O_4-Fe_2TiO_4$ 系 スピネル型の結晶構造でその格子常数は田中らの測定によると組成に対して直線的に変化することから全域にわたる固溶すると考える。

$Fe_2O_3-FeTiO_3$ 系 菱面体型の結晶構造で両者間の固溶体の形成の可能性はあるが、無機合成による化合物試料の作成がむづかしく、イルメナイト側での固溶が報告されている。

17.2 $Fe-O-TiO_2$ 系の等温平衡図と酸素の化学ポテンシャル

$FeO-Fe_2O_3$ 系 (図 59) において温度を一定にしてみると平衡酸素分圧は組成により変化する。この場合の自由度は相律によりきめられる。このような相関係の表示がいわゆる p-t-x 図である。 $Fe-O-TiO_2$ 系のような複合酸化物の解析にも平衡酸素圧、温度、組成の関係を知ることが必要である。

複合酸化物系の p-t-x 図は多くの系について行われており、また解説も多い¹³²⁾。

$Fe-O-TiO_2$ 系については 1960 年に Schmehl¹³³⁾が $1000^{\circ}C$ における平衡酸素圧と組成の関係を決定した。その後、Webster ら¹³⁴⁾ Taylor ら¹³⁵⁾もこの相関係を検討した。

図 62 に小野による模式的な $Fe-O-TiO_2$ 相図を示す。砂鉄中には Fe_3O_4 と $FeTiO_3$ の 2 点間の組成の鉱物としていわゆるイルメナイト鉱がある。この化合物を還元して酸素含有量を減少させると (図では組成の位置と頂点 0 を直線でむすぶことになる,) $FeO-TiO_2$ の線と交わる。この還元が前処理の弱還元に相当する。

この 2 凝縮相が平衡している範囲では平衡酸素分圧の減少が予想される。さらに還元を進める凝縮相が平衡すると温度が一定では平衡酸素圧は一定となる。

このような相図を作成する方法は(1)複合酸化物の試料

をつくり、一定温度で熱天秤中に吊し、 CO/CO_2 等の混合ガスの組成を変え、酸化物中の平衡酸素分圧と組成の関係の曲線をうる。これらの関係から相律により相関係が定められる。ガス平衡一熱天秤法である。

(2)また、試料を一定温度で混合ガス中に保持し平衡到達後、急冷して金属顕微鏡と X 線解析による結晶解析で相の数、凝縮相の結晶型を決め相関係を推定する方法も併せて行われている。

図 63 に、この系の最初の相関係の実験である Schmehl の相図の一部を、また、図 64 には最近報告された伊藤ら¹³⁶⁾による相図の一部を示す。田中¹²⁷⁾がのべているように、 $Fe_2O_3-FeTiO_3$ から Fe_3O_4 の範囲は試料調整がむづかしく、それ故この領域の相関係は報告者により異っている。

筆者らもこの系について測定したが¹³⁷⁾、平衡酸素分圧の高い範囲では未確定の点があったので、図 65 の 3 凝縮相の平衡範囲のみ示す。

参考文献

- 112) 河合哲朗; チタニウム 42, 73 (1994).
- 113) R. G. Becher, Australian Pat., 247110 (1963).
- 114) N. R. Iammartino; Chemical Engineering, May 24 (1976).
- 115) 山田茂樹; 硫酸と工業, 昭和 49 年月, 32.
- 116) 片岡正三, 山田茂樹; Joint Meeting MMIJ-AIME, May, 1972 東京.
- 117) 石原廣一郎, 80 年の思い出, 昭和 45 年
- 118) K. Meyre, H. Pietsh: Erzmetall, 27, 345 (1974).
- 119) N. C. Kather: Int. J. Miner Process, 1, 287 (1979).
- 120) A. Fuwa, E. Kimura, S. Fukushima: Metallurgical Trans. 9B, 643 (1978).
- 121) 木村悦二, 福島清太郎: 日本鉱業会誌, 95, 75 (1979).
- 122) 木村悦二, 福島清太郎: 日本国金属学会誌; 43, 223 (1979).
- 123) I. Toromanoff, F. Habashi: Int. J. Miner Process, 15, 65 (1985).
- 124) K. D. Hitching, E. G. Kelly: Tr. Inst. Min. Metall. C. 91, 97 (1982).
- 125) L. Darken, R. Gurry: J. Amer. Chem. Soc., 47, 1398 (1945).

- 126) A. Muan, E. Osborn; Phase Equilibria among Oxides in Steelmaking, Addison-Wesley Pub. Co., (1965).
- 127) 平社敬之助, 田中時昭, 栗原二郎: 日本鉱業会誌, 75, 34, (1957).
- 128) 藤木良規, 今井秀喜: 日本鉱業会誌, 81, 2, (1965).
- 129) J. Grieve, J. White; Phase Diagrams for Ceramist による。
- 130) 千田 収, 河野一清, 西村秀雄, 久島亥三雄, 森山徐一郎: 水曜会誌, 12, 433 (1954).
- 131) M. D. Karkhanavalal, A. C. Momin: J. Amer. Ceram. Soc., 42, 400 (1959).
- 132) B. A. Sidebottom, J. White: Tr. British Ceramic Soc., 60, 96 (1961).
- 133) N. G. Schmahl, B. Frisch, E. Hargarter; Z. anorg. allg. Che., 305, 40 (1960).
- 134) A. H. Webster, N. F. H. Bright; J. Amer. Ceram. Soc., 44, 110 (1961).
- 135) R. W. Taylor, H. Schmalzried; J. Phys. Chem., 68, 2444 (1964).
- 136) 伊藤 聰, 阿座上竹四: 資源と素材, 110, 1139 (1994).
- 137) 池田辰雄: 京都大学卒業論文 (1969).
- 138) 小野勝敏: 日本鉱業会誌, 89, 313 (1972).
- 139) F. D. Richardson, J. H. E. Jaffes: J. Iron Steel Inst., 163, 397 (1949).
- 140) C. H. Shomate, B. F. Naylar, F. S. Boericke; U. S. Bur. Mines Rept. 19 (1946).

総 説

世界の石油の需給に関する予測について

小 林 啓 一*

Worldwide Oil Supply-Demand Forecast

by Keiichi KOBAYASHI

1. はじめに

最近、多くの石油コンサルタント或いはエネルギー研究所等によって世界の石油の需要、供給に関する予測が発表されている。その内容を見ると二つの種類に大別出来る。その一つはジュネーブの Petroconsultants 社のキャンベル氏の論文に代表されるように、石油の究極可採埋蔵量から算定した残存可採埋蔵量を用いて供給可能量を予測するものである。そして他の一つは IEA (国際エネルギー機構) による「長期エネルギー見通し」に代表されるように、石油の需要量を経済成長率に基づいて予測し、供給量はそれに合わせているに過ぎないものである。

何れの予測方法も原油のサプライサイドから供給量を予測したものではない。筆者は実際の油田における現場経験をふまえて供給量を予測してみることにした。

2. キャンベル氏と IEA の予測に関する問題点

キャンベル氏は、究極可採埋蔵量を 1.65 兆バレルと評価し、四ケースの石油需要シナリオに対して原油の生産プロファイルを予測している（第 1 図参照：石油鉱業連盟発行の「石油開発時報」1996.5 No.109 藤田和男氏の報告から引用）。そのうちで最も楽観的なケース即ち中東のサウジアラビアのような生産量調整可能な国と石油消費国との間に相互依存の協約が成立したケースでも、2010 年から 6000 万バレル/日（以下 b/d）の生産を維持出来なくなると予測している。従って需要量が現在の量を少しでも上まわってくると忽ち石油パニックが起きるとしている。

一方 IEA は従来の経済成長率をベースとするケース (Capacity Constraint-CC ケース) と節約により経済成長率をやや低くするケース (Energy Saving-ES ケース) の二ケースを想定している（第 1 表参照）。この表から解るとおり、後者の ES ケースでもその需要量は 2010 年に 8200 万 b/d に達する（表の数字には天然軽質油等が含まれているので、9240 万 b/d になっている）が、OPEC (石油輸出国機構) 諸国の増産によってこの量を供給することが可能であるとしている。その時の OPEC 諸国の供給量は実に 4800 万 b/d である。現在の OPEC 諸国の生産量が 2800 万 b/d であるから 2000 万 b/d 増産する必要がある。今から 14 年後に増産能力のある国は、次の項で述べる如くサウジアラビアのみであろうから、サウジアラビア一国で 2800 万 b/d（現在サウジアラビアの生産量は約 800 万 b/d）を生産しなければならない。これは極めて非現実的である。

以上述べたような問題点の他に、両者の予測には EOR (Enhanced Oil Recovery) による増油量が含まれていない等、多くの問題点があるので筆者は次の四点について検討してみた。

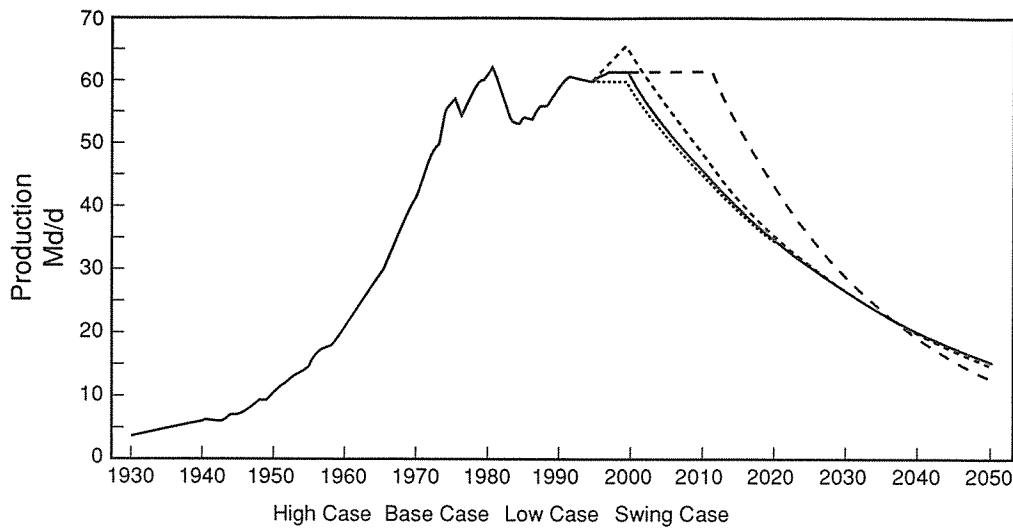
- (1) 2010 年における OPEC 諸国特にサウジアラビアの生産能力
- (2) 2010 年における非 OPEC 諸国の生産能力
- (3) EOR による増油量
- (4) 究極可採埋蔵量

3. 筆者の考え方

3.1 2010 年における OPEC 諸国特にサウジアラビアの生産能力

OPEC 諸国の生産能力については、PIW (Petroleum & Energy Intelligence Weekly, Inc.) が湾岸戦争直前の 1990 年に発表した資料（第 2 表）が参考になる。この

*ジオペック社長/元石油技術協会会長（昭 28, 鉱山卒）



第1図 キャンベル氏の世界の原油生産量予測

第1表 IEA WORLD OIL OUTLOOK (1996)

Year	1995	2000		2010	
		CC	ES	CC	ES
Total Demand	70.3	78.6	76.1	97.1	92.4
Total Supply	70.3	78.6	76.1	97.1	92.4
OECD	21.0	22.5	22.5	21.2	18.3
FSU・CEC	7.4	8.1	8.1	10.6	10.0
ROW	12.1	14.2	14.2	14.8	13.5
Processing Gains	1.5	1.7	1.7	1.9	1.9
Non-OPEC	42.0	46.5	46.5	48.5	43.7
Non-OPEC Share	60%	59%	61%	50%	47%
OPEC	28.3	32.1	29.6	48.6	48.7
OPEC Share	40%	41%	39%	50%	53%

(unit: Million b/d)

表を見ると、湾岸戦争の影響を受けたクウェートとイラク以外の国については1995年の予測と実績が極めてよく一致していることが解る。即ち戦争等の特殊事態が発生しなければ、5年後の生産能力はかなり正確に予測出来ると考えてよい。この考え方に基づき今から四年後の2000年の生産能力を検討してみると、第2表の数字を大きく修正する必要がないことが判明した。ところが問題は2010年の生産能力である。OPECの大産油国といえども今から十年も生産を続ければ減退を始める国も出てくるから予測はかなり困難になる。特にインドネシア、ナイジェリア、アルジェリア等は減退すると考えられる。しかし、幸か不幸かこれらの国の生産能力はOPEC諸国の中では小さい方であるから、その予測を間違えても全

ての量に大きな誤差を生じさせることにならない。従つてOPEC諸国全体としては2010年になっても現在の生産能力を維持出来ると考えてよい。それではその時増産能力はどのくらいあると考えればよいであろうか。サウジアラビアは、後に述べる如く増産能力があることは明らかであるが、アラビア、イラン、イラク、クウェート等の国には増産能力があるか否か検討する必要がある。

筆者は、これらの国々のいくつかの油田の2010年までの増産計画を参考にして2020年まで生産を続けると仮定した場合に、総生産量と残存可採埋蔵量との関係を検討してみた(第2a~2e図参照)。これらの図から、すべての油田が2010年~2020年の間に残存可採埋蔵量の70%以上を生産しつくしてしまうことが解る。即ち2010年~2020年の間にすべての油田が計画生産量を維持することが困難になり、その時点で増産する能力はないと考えてよい。

さて、次にサウジアラビアの増産能力について検討してみよう。第3図はOPEC諸国が生産制限に入る前にARAMCO (Arabian American Oil Co.) が発表したサウジアラビアの増産計画とその後の生産制限の実績をプロットした図である。この増産計画によると、2015年までは1200万b/dを維持出来るとしていた。しかしその後の生産制限により実際には300万b/dまで生産量が低下したが、現在は800万b/dに回復している。この間生産施設はMothballing(密封)されたので急には生産量を回復出来ないと予想する情報も流れたが、実際に殆ど問題なくDemothballing(開封)が終り、2000年にはSHAYBAH油田等の新規油田開発により1200万b/dの生産能力に達するであろう。またMothballing

による生産制限の期間中に生産されなかつた分が 2015 年以降に先送りされると考えると、2020 年頃まで 1200 万 b/d の生産能力を維持することは残存可採埋蔵量の点からも問題ないと考えてよい。因みに Oil & Gas Journal の 1994 年 7 月 11 日号によると、ARAMCO は 1300 万 b/d にする計画があると報じている。

以上の点を考慮して 2010 年の OPEC 諸国の生産能力を予測すると第 2 表の右端の如く 3760 万 b/d となる。

3.2 2010 年における非 OPEC の生産能力

現在の非 OPEC 全体の生産能力は 3500 万 b/d である。これが 2010 年にはいくらになるかを予測することは困難であるが、産油大国アメリカ、ロシア、中国、北海（英國、ノルウェー）の生産量を予測することにより全体をある程度正確に予測出来る。

(a) アメリカは、最近の生産実績を見ると年 4% で減退しているので、2000 年までは 4% で減退するものとしてその後は 2010 年まで 3% で減退するものとする。

第 2 表 OPEC 諸国の原油生産能力増強見通し

単位：100 万 b/d

	1990 年		1995 年		2000 年	2010 年
	予測	実績	予測	実績	予測	筆者の予測
イラク	3.0	3.1	3.5	3.7	3.5	3.5
イラク	4.2	2.0	6.0	0.6	6.0	6.0
クウェート	2.0	1.0	2.5	1.8	3.0	3.0
カタル	0.5	0.4	0.5	0.5	0.5	0.5
サウジアラビア	7.0	6.3	8.5	7.9	10.0	12.0
アラブ首長国連邦	2.2	2.1	2.5	2.2	2.5	2.5
中立地帯	0.6	0.3	0.6	0.4	0.6	0.6
湾岸 OPEC 計	19.5	15.2	24.1	17.1	26.1	28.1
インドネシア	1.3	1.3	1.3	1.3	1.2	1.2
リビア	1.5	1.3	1.5	1.4	2.0	2.0
エクアドル	0.3	0.3	0.4	0.4	0.4	0.4
ベネズエラ	3.0	2.1	3.5	2.6	3.5	3.5
ガボン	0.3	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2
アルジェリア	0.7	0.8	0.7	0.8	0.5	0.5
ナイジェリア	1.9	1.8	1.8	1.9	1.7	1.7
その他 OPEC 計	9.0	7.9	9.4	8.8	9.5	9.5
OPEC 合計	28.5	23.1	33.5	25.9	35.6	37.6

出所：PIW, 他

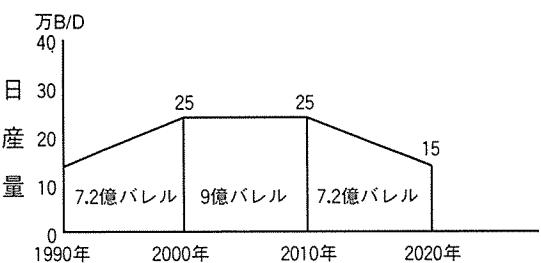
A 油田

$$\frac{\text{30 年間の必要埋蔵量}}{\text{残存可採埋蔵量 ('89年末)}} = \frac{7.2 + 9.9 + 10.8 \text{ 億バレル}}{35 \text{ 億バレル}} \times 100 = [80\%]$$



B 油田

$$\frac{\text{30 年間の必要埋蔵量}}{\text{残存可採埋蔵量 ('89年末)}} = \frac{7.2 + 9 + 7.2 \text{ 億バレル}}{20 \text{ 億バレル}} \times 100 = [117\%]$$

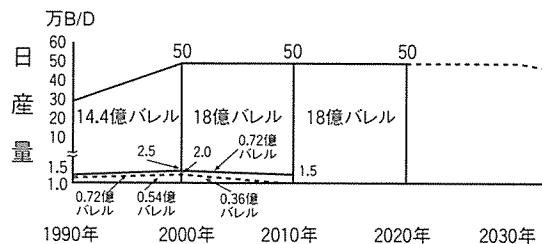


第 2a 図 油田別生産量と必要埋蔵量（その 1）

第 2b 図 油田別生産量と必要埋蔵量（その 2）

C 油田

$$\frac{\text{30年間の必要埋蔵量}}{\text{残存可採埋蔵量 ('89年末)}} = \frac{14.4+18+18\text{億バレル}}{73\text{億バレル}} \times 100 = [69\%]$$

D 油田

$$\frac{\text{30年間の必要埋蔵量}}{\text{残存可採埋蔵量 ('89年末)}} = \frac{0.54+0.36\text{億バレル}}{0.9\text{億バレル}} \times 100 = [100\%]$$

E 油田

$$\frac{\text{30年間の必要埋蔵量}}{\text{残存可採埋蔵量 ('89年末)}} = \frac{0.72+0.72\text{億バレル}}{1.4\text{億バレル}} \times 100 = [103\%]$$

第2c図 油田別生産量と必要埋蔵量（その3）

(b) ロシアは、今後増産に向うと考えられるが、自国の消費量も増えるので2010年まで横ばいとする。

(c) 中国は、タリムなど新規油田の開発が期待されるが、自国の消費量も増えるので2010年まで横ばいとする。

(d) 北海は、2000年まで横ばいとなるが、それ以降は年10%で減退するものとする。

以上の仮定に基づいて非OPEC全体の生産能力を予測すると第3表の通りである。

3.3 EORによる増油量

Oil & Gas Journal が2年毎に実施している全世界のEORによる増油量の調査結果は次の通りである。

1992年 190万 b/d

1994年 190万 b/d

1996年 220万 b/d

1996年の内訳は、アメリカが72.4万 b/d、カナダが51.5万 b/d、中国が16.6万 b/d、旧ソ連が20万 b/d、その他（ベネゼエラ、インドネシア等）が59.3万 b/dである。この量が2010年にはどのくらい増えるかを予測することは極めて難しいが、筆者は以下のように考える。

従来、EORによる増油量を考えるとき、一次回収で30%、水攻法等の二次回収で50%、そしてEORで70%といった回収率を想定することが多い。しかしこの数字は実験室におけるテスト或いは油層シミュレーションの結果によるもので、実際の油田ではブレークスルー等の

F 油田

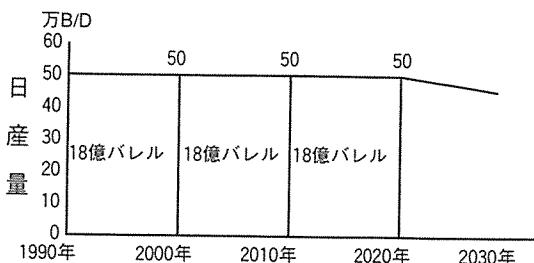
$$\frac{\text{30年間の必要埋蔵量}}{\text{残存可採埋蔵量 ('89年末)}} = \frac{9+10.8+9\text{億バレル}}{25\text{億バレル}} \times 100 = [115\%]$$



第2d図 油田別生産量と必要埋蔵量（その4）

G 油田

$$\frac{\text{30年間の必要埋蔵量}}{\text{残存可採埋蔵量 ('89年末)}} = \frac{18+18+18\text{億バレル}}{76\text{億バレル}} \times 100 = [71\%]$$



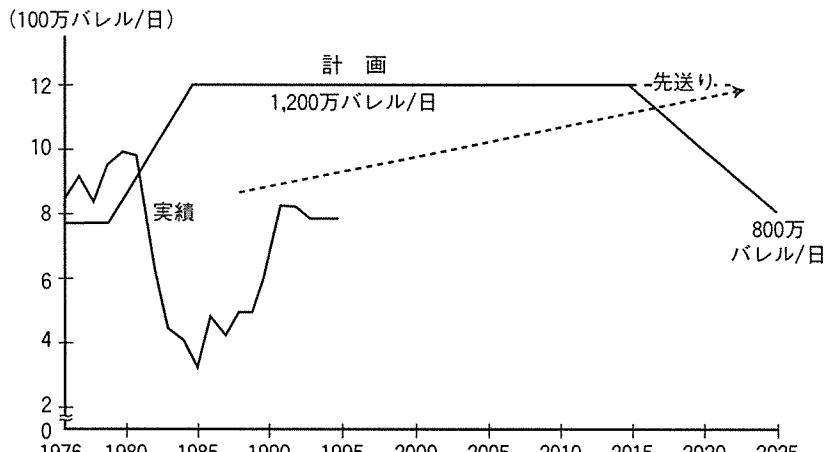
第2e図 油田別生産量と必要埋蔵量（その5）

第3表 非OPEC諸国の原油生産能力見通し

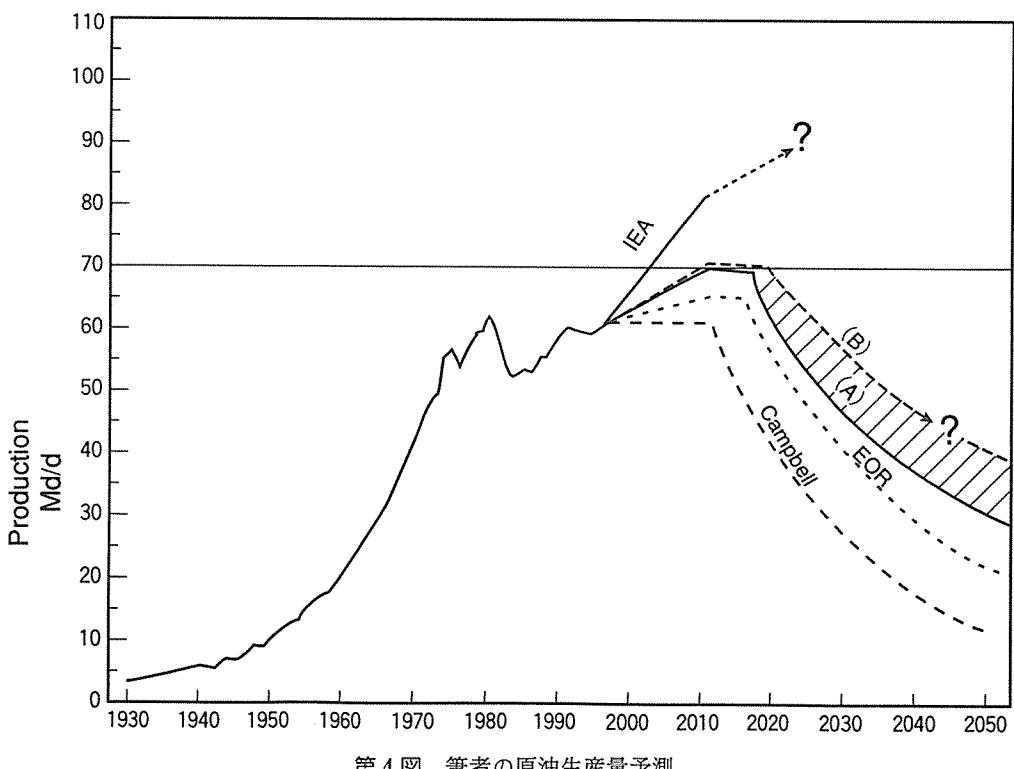
単位：100万 b/d

	1996年	2000年	2010年
アメリカ	6.0	5.0	4.0
ロシア	6.0	6.0	6.0
中国	3.0	3.0	3.0
北海 (英国、ノルウェー)	6.0	6.0	2.0
その他	14.0	14.0	14.0
非OPEC合計	35.0	34.0	29.0

問題があつてこの数字を下回ることが多い。1996年8月19日号のOil & Gas Journalによると、アメリカにおけるCO₂攻法(EORの一つの方法)による回収率は原始埋蔵量の7~10%であると報告されている。水攻法等によって50%まで回収されている油田にこのCO₂攻法を



第3図 サウジアラビアの計画と実績



第4図 筆者の原油生産量予測

適用すると 70%ではなく 57%～60%が回収されることを意味している。従って、若し全世界の油田に EOR を適用すれば、回収率が 50%から 60%に増えるわけであるから究極可採埋蔵量は 20%増えると考えがちである。しかし実際には EOR を全油田に適用することは困難である。例として日本最大の秋田県の八橋油田について考えてみる。この油田においては、ガス圧入法、水攻法等が行われ、30%以上の原油が回収されたがなお 7000 万バレル以上の原油が地下に残存している筈である。にもか

かわらずこの油田に対して EOR を実施する可能性は殆どない。その理由は経済性が低いからである。EOR によって究極可採埋蔵量の 20%も回収出来るならば、経済的に採算がとれると考えがちであるが、実は EOR による増油分を回収するには長期間を要するのである。手に油がついたとき石けん水を流しても簡単にとれるものではないように、油層内の砂粒の表面に皮膜状に附着した油が簡単に取れるとは考えられない。

以上のような理由で、EOR による増油量は一般に云

われているより低く評価すべきであり、2010年におけるEORによる増油量は現在の量の約3倍になるとえた。従って、実質的に増える量は440万b/dである。

なお、水平掘り或いは3次元震探等の新技術によって回収率が著しく改善されたという記事が目につくが、これは実質的には二次回収による回収率50%の中に既に折り込みずみであるので、これらの技術によって究極可採埋蔵量が大きく増えることはないことを付言しておきたい。

3.4 究極可採埋蔵量

上記の3.1, 3.2, 3.3項によって推定した2010年における生産能力を合計すると7100万b/d(OPECが3760万b/d, 非OPECが2900万b/d, EORによる増油が440万b/d)となる。そして2010年以降になると非OPECの生産量は更に減退するであろうが、数年間はOPEC特にサウジアラビアがその減退を補うであろうから2015年までは7100万b/dを維持出来るであろう。以上の状況を図に示すと第4図のカーブ(A)の如くなり、この図により究極可採埋蔵量を計算すると約2兆バレルになる。

しかし実際には世界の全油田が同時に減退を始めるわけではないし、今後20年の間に新油田も発見されるであろうから減退のカーブは(B)の如くなるであろう。このカーブ(B)とカーブ(A)との差(斜線の部分)は2000億バレル以上になる。この大部分は今後20年の間に発

見されなければならない埋蔵量である。2000億バレルを20で割ると100億バレルであるから毎年10億バレルの埋蔵量の油田を10油田発見する必要がある。因みに、Oil & Gas Journalの1996年9月2日号によると、1995年の試掘による全世界の発見埋蔵量は僅かに57億バレルであった。全世界的な探鉱活動を急がなければならない所以である。一説によると未発見埋蔵量が5000億バレルもあるから、石油は50~60年も大丈夫と云われるが疑問を感じざるを得ない。

4. おわりに

筆者の予測によると、2020年頃には石油の需要が供給を上回ることになるので、その不足分を石炭および原子力等によって補う以外に方法はないであろう。その場合当然コストが高くなるからエネルギー節約の気運が起るであろう。このエネルギー節約が大きな効果をもたらす。何故ならば、石油換算で2億バレルを毎日消費する時代であるから5%節約しても1000万b/dになる。この量はサウジアラビアが生産している量に匹敵するから、サウジアラビアの埋蔵量を新たに発見したことになる。このようにして需給をバランスさせながら2040年頃になると核融合および低温超伝導等の技術が実用化され、やがて化石燃料に頼るエネルギー時代は終りを告げるであろう。

談話室

資源工学科および資源工学専攻の改組について

菊地宏吉*

Restructuring of Department of Mineral Science and Technology, Faculty of Engineering, Kyoto University

by Kohkichi KIKUCHI

1. はじめに

21世紀を間近にひかえ、我国はこれまでの経済成長を支えてきた産業技術開発体制では、現在進みつつある国際競争の激化や国内産業の空洞化に対処しきれなくなつておる、我国独自の付加価値の高い産業技術を創出していくことが急務となつてゐるが、これは、当資源工学分野をとりまく環境においても例外ではない。これには、高度な専門知識を有し、世界・国際的な広い視野を持った創造性のある人材が何よりも求められている。

このような社会的 requirement から、京都大学工学部および工学研究科では、学部においては広い範囲の専門基礎教育を施し、また、大学院においては共通の基盤に立つ専門技術の取得ならびに研究活動の可能な体制への改組、すなわち、いわゆる大学院重点化のための改組を断行した。以下、工学部および工学研究科の改組に関し、資源工学関連部分について紹介することにしたい。

2. 工学部の改組

工学部および工学研究科の改組は、工学部高度化調査研究会の検討にもとづき、中川博次、西川禪一、および曾我直弘の三代にわたる工学部長のもとにすすめられた。改組は平成5年の旧化学系5学科の統合による工業化学科の発足をかわきりに開始され、つづいて平成6年には機械系および金属系など7学科の統合による物理工学科が、また、平成7年には電気系3学科の統合による電気・電子工学科および情報、システム系工学科の統合による情報学科が発足した。さらに、改組最終年の平成8年には、当資源工学科および土木系3学科の統合による地球工学科および建築系2学科の統合による建築

学科がそれぞれ発足し、これによって工学部の改組が完了した。

以上のように、工学部および工学研究科では、学部においては従来の23学科を6学科に統合し、また大学院においては、共通の基盤に立つ講座を集めて26専攻に再編成した。これにともなって、資源工学科は学部においては、いわゆる金属系グループから土木系グループへ籍を移し、土木工学科、交通土木工学科、衛生工学科とともに地球工学科を組織した。(図1参照)

2.1 地球工学科の概要

地球工学科の設立構想は、平成3年度に当工学部長であった得丸英勝教授の私案として立案された工学部および工学研究科改組案にその原型をみることが出来る。その後、いろいろな糾余曲折の後、平成7年10月に、現在の形にまとまった。

地球工学科の設立理念は、

人類を発展させてきた自然科学、人文科学、社会科学などの膨大な科学技術を地球学システムと呼ぶ実学的な学問体系とみなし、地球工学は「この地球人類の持続可能な発展に関わる地球学システムにおける資源・エネル

大学院工学研究科

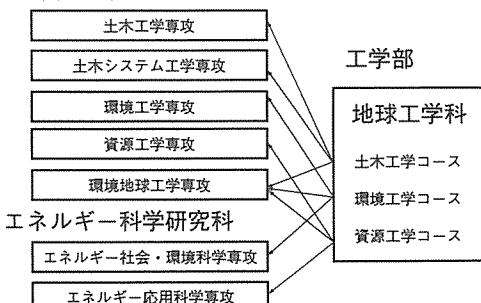


図1 地球工学系の組織

*京都大学大学院工学研究科資源工学専攻教授

ギー、インフラストラクチャーおよび人間・自然環境に関するメインシステムの開発、構築および適用を目的とする学問分野」と位置づけ、地球人類に幸せをもたらす

この分野を持続的に発展させるための技術者・研究者を育成することが、この学科の役割としている。(図2参照)
地球工学科が対象とする科学技術の領域はきわめて広

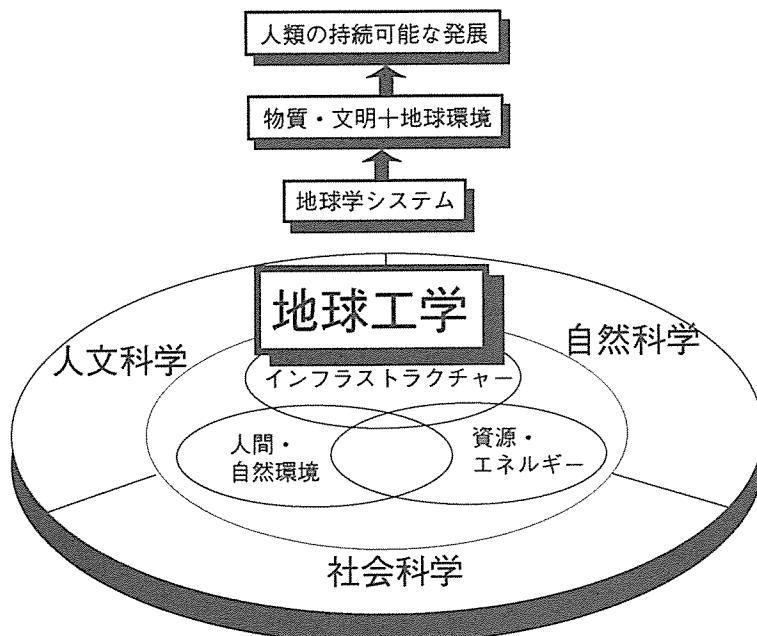


図2 地球工学の役割

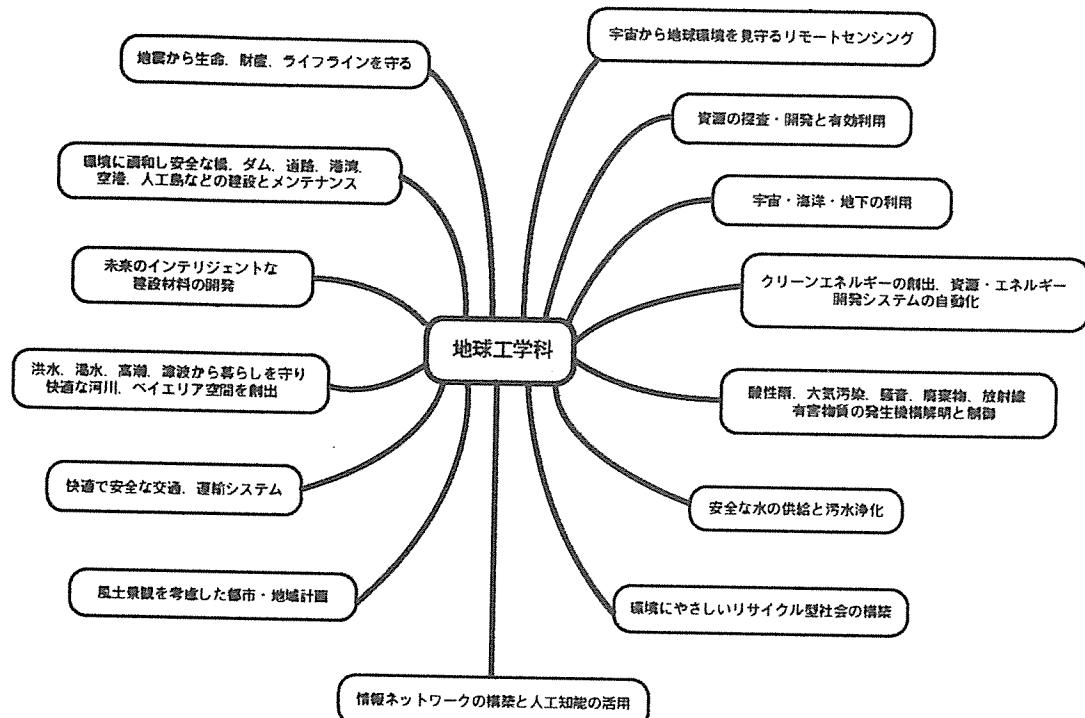


図3 地球工学科で学ぶ内容

地球工学科			
	土木工学コース	環境工学コース	資源工学コース
第四学年	特別研究	特別研究	特別研究
	土木工学専門科目	環境工学専門科目	資源工学専門科目
第四学年	材料学 水文学基礎 土質力学Ⅰ、Ⅱ 測量学及実習 計画システム分析Ⅱ 工業数学B2 工業力学2B 構造力学Ⅲ 水理学Ⅱ 海岸海洋工学 交通システム工学 水・土壤環境工学 大気・騒音工学 水質学 地球環境工学 コンクリート工学 構造設計学 波動・振動学 水資源工学 応用流体工学 岩盤工学 土木施工学 応用測量学 社会システム計画論 都市・地域計画 河川工学 道路工学 鉄道システム 上水道工学 下水道工学 公共経済学 地震・風工学 ターミナル工学 土木法規 地球防災工学 構造実験 土質実験 水理実験 材料実験 地球工学デザインⅠ、Ⅱ 学外実習第一、第二	材料学 水文学基礎 土質力学Ⅰ、Ⅱ 測量学及実習 工業数学B2 工業力学B 水・土壤環境工学 大気・騒音工学 水質学 環境装置工学 環境生物・化学実験 環境物理計測実験 地球環境工学 環境プロセス実験 水資源工学 都市・地域計画 上水道工学 下水道工学 水処理工学 放射線衛生工学 破棄物工学 環境システム工学 環境工学デザイン1、2	土質力学Ⅰ、Ⅱ 測量学及実習 工業数学B2 工業力学2B 弹性学及び演習 材料試験法 一般熱力学 伝熱工学 地質工学及び演習 物理探査工学 波動・振動学 岩盤工学 資源地質学 資源開発工学 工業計測 分離工学 塑性学 工業火薬学 海洋資源論 応用解析法及び演習 製銑製鋼設備 地球工学デザインⅠ、Ⅱ
第三学年			
第二学年		地球工学共通基礎科目 <p>(第二学年) 情報処理及び演習 地球工学基礎数理 基礎環境工学 一般力学 構造力学Ⅰ、Ⅱ及演習 地球エネルギー論 計画システム分析Ⅰ及演習 水理学Ⅰ及演習 流体力学及演習 移動現象論 基礎地質学 地下調査法 環境衛生学 環境生物・化学 工業数学B1</p> <p>(第一学年) 地球工学総論 確率統計解析及演習</p> <p>全学共通科目(自然科学系)</p> <p>(第二学年) 数学 物理学 無機化学入門 生化学入門</p> <p>(第一学年) 数学 物理学 基礎地球科学 基礎物理化学 物理学基礎論実験 基礎有機化学 分析化学及環境化学実験 基礎情報処理演習 図学A, B</p> <p>全学共通科目(保健体育系)</p> <p>全学共通科目(人文・社会系)</p> <p>全学共通科目(外国語)</p>	

図4 地球工学科カリキュラム

範囲であり、具体的に貢献すべき領域として次のような内容が考えられる。

- ①全地球現象の観測、解析と情報分析
- ②空間の創出と施設構築
- ③資源・エネルギーの開発と資源循環システム
- ④省エネルギープロセスの開発
- ⑤人間の安全、衛生、健康の確保とリスクの軽減
- ⑥環境問題の解決、環境の質の向上と快適環境の創造
- ⑦地球環境保全
- ⑧生活基盤の防災と安全性・信頼性の確保
- ⑨風土、文化、歴史、景観および快適性を考慮した都市・地域計画
- ⑩交通、運輸、通信システム
- ⑪新材料の開発と応用技術
- ⑫教育と研究の促進および広報活動

2.2 地球工学科における教育

地球工学科における教育は、第二学年までは地球工学科全体で教育を行い、第三学年から土木工学コース、環境工学コースおよび資源工学コースの3コースに分け、教育ならびに研究指導を行っている。

特に資源工学コースにおいては

- ①資源工学は産業の土台を支える工学である。

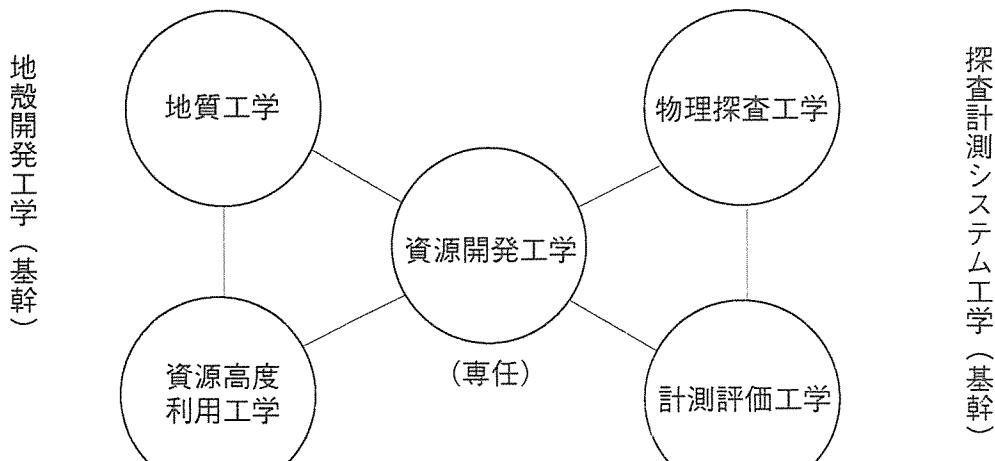
- ②資源工学は人類の持続的発展を担う工学である。
- ③資源工学は地球の思想を大切にする総合工学である。
- ④資源工学は未来の資源エネルギーに挑戦する総合工学である。
- ⑤資源工学は地球の活用と未来像を考える総合工学である。

など、この5つの項目を基本的な思想として、教育および研究指導にあたっている。

地球工学科のカリキュラムは、先行して発足した他学科同様、四年一貫教育という考えのもとに編成され、全学共通科目（旧教養科目）と並んで専門基礎科目が第一学年から開講される。専門基礎科目のうち第二学年までは、地球工学科全体の学生が取得すべき科目を配当し、第三学年以降は各コースが特に必要とする科目を中心配当している。これによって、従来の各学科のもつ範囲を超えた地球工学に関する広い範囲にわたる教育を行うことが可能となり、広い専門基礎学力ならびに技術を持ち、学際領域の研究にも対応しうる人材の育成が可能になるものと考える（図3、4参照）

なお、学生数が一学年約220名であるので、第一、第二学年の講義は同じ講義名での並列講義をよぎなくされている。

人類の持続的発展：資源の安定供給と地球環境との調和



- 資源の探査・評価・開発とその技術の高度化
- 地下空間の有効利用の推進
- 建設・自然災害・環境保全の調査と評価
- 省資源・資源循環などをふまえた資源高度利用

図5 資源工学専攻の教育・研究体制

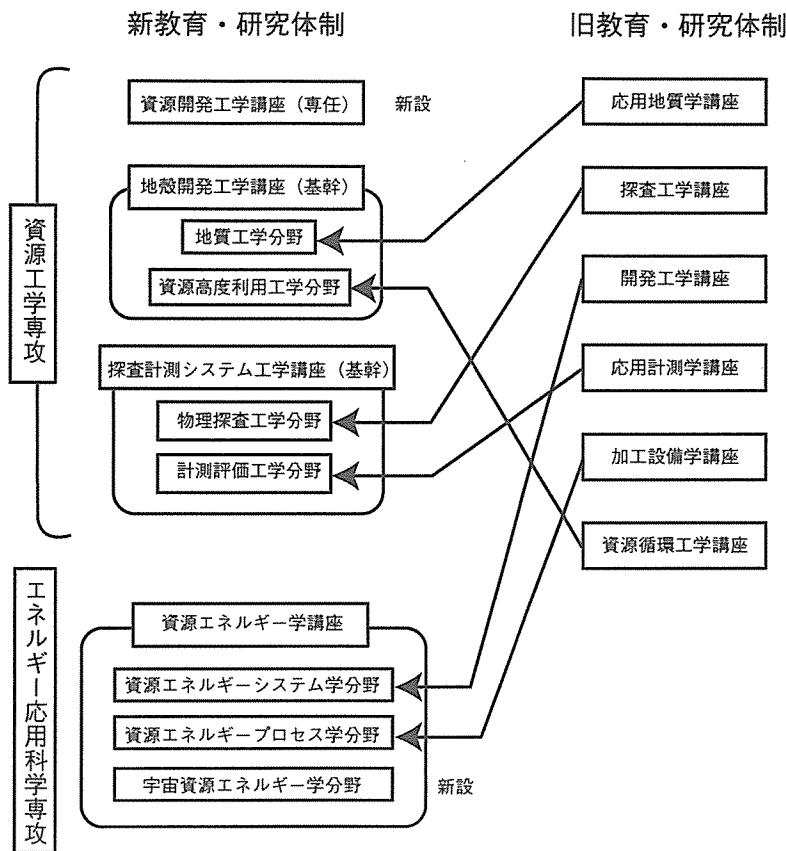


図6 資源工学分野の教育・研究体制の新、旧の関係

3. 大学院における改組

改組前の大学院における資源工学分野の教育ならびに研究の体制は、応用地質学講座、探査工学講座、開発工学講座、応用計測学講座および加工設備学講座の5講座が資源工学専攻に所属し、資源循環工学講座（旧精製工学講座）は平成4年に発足した独立専攻である環境地球工学専攻の協力講座として組み込まれた、いわゆる6講座体制であった。しかし、この体制も平成8年に新たに開設されたエネルギー科学研究科の発足によって、その体制ならびに編成を大きく変えることとなった。

すなわち、改組前の資源循環工学講座を含めた6講座体制をとっていた資源工学分野は、大学院重点化による専任講座設置とエネルギー科学研究科の開設にともなう講座増によって実質的には8講座となったが、エネルギー科学研究科の開設にともなう全学的学問分野の再編成によって、上記8講座のうち、エネルギー関連3講座はエネルギー科学研究科に所属し、エネルギー応用科学専攻の基幹講座たる資源エネルギー学講座を構成することとなった。

一方、専任講座を含めた5講座は、工学研究科に所属

して、新生の資源工学専攻を組織し、資源開発工学講座、地殻開発工学講座（地質工学分野、資源高度利用工学分野）、探査計測システム工学講座（物理探査工学分野、計測評価工学分野）の3講座5分野体制をとり、地球工学系グループの一翼をなすこととなった。（図5参照）

新資源工学専攻の改組における設立理念は、人類の持続的発展のため、資源の安定供給と地球環境との調和に関する問題の解決を目指す教育と研究を行うことである。その具体的な内容は、

- ①資源の探査・評価・開発とその技術の高度化
- ②地下空間の有効利用の推進
- ③建設・自然災害・環境保全の調査と評価
- ④省資源・資源循環などをふまえた資源高度利用などである。

なお、教育および研究体制についての新旧の関係は図6に示すとおりである。

4. 教官および職員の配置

今回の改組により、教官は全員大学院に所属することになり、工学部の授業は兼任により行うことになった。なお、工学研究科資源工学専攻およびエネルギー科学研

表 1.1

講座および分野名		教官	教授	助教授	助手
専任	資源開発工学講座				
基幹講座	地質工学分野		菊地宏吉	平野勇	水戸義忠
	資源高度利用工学分野		斎藤敏明		村田澄彦
	物理探査工学分野		芦田謙		渡辺俊樹
	計測評価工学分野		花崎紘一	塚田和彦	松本義雄

資源工学専攻

表 1.2

講座および分野名		教官	教授	助教授	助手
資源エネルギー学講座	資源エネルギーシステム学分野		西山孝	楠田啓	陳友晴
	資源エネルギープロセス学分野		八田夏夫	宅田裕彦	藤本仁
	宇宙資源エネルギー学分野			福中康博	日下英史

エネルギー応用科学専攻

表 1.3

総務課 ・資源工学 系事務室 専攻	事務主任	宇野 きよ子
	事務官	北山 恵子
	事務官	田原 美穂

5. 終わりに

究科の資源工学関連分野の教官は表 1 に示す通りである。

また、事務職員は、他教室同様、いずれも工学部事務部総務課所属となった。地球工学科事務について小倉専門職員 1 名があたり、資源工学専攻事務は宇野事務主任他 2 名で対処するが、地球工学科運営会議の申し合せにより、各コースに分けられた 3, 4 回生の教務関係事務は各専攻事務室で対処することになっている。

以上、資源工学教室が関連する改組について述べた。今回の改組は旧工学部および旧工学研究科がかかえていた多数の問題点から考えると必然的と考える。

水曜会の組織母体の 1 つである資源工学教室は、明治 31 年 (1898 年) 6 月に開設された採鉱冶金学科を基に、広義には、いわゆる金属系学科の 1 つとして発展してきた学科・教室であり、明年 (1998 年) 百周年を迎える。

この間、昭和 17 年 4 月に採鉱冶金教室から分離、独立して鉱山学教室に、さらには昭和 30 年代になって現われ始めた地下資源に関する国内情勢の変化に対応するためと、当教室の活動範囲を資源の関連するより広い範囲へ拡張させるために、昭和 39 年 4 月に資源工学教室と改め、今日に至っている。

このおおよそ百年の間に、鉱山物資源関連産業を中心

に、建設、鉄鋼、機械および素材産業等の分野に多くの人材を輩出し、我国の産業の発展に寄与してきた。

しかし、資源工学は、我国の基幹産業であった鉱業を中心として発展をとげてきたが、鉱産物資源の枯渇およびコストの上昇などによる鉱業界の衰退により、その主要な対象を鉱業から他の産業に転じることとなった。その結果、対象となる分野が多様かつ広範囲となり、したがって、資源工学分野は全体としてのまとまり、および一貫性が損なわれきつつあるように感ぜられる。

今回の改組によって資源工学専攻は、すすむべき目標が明確となり、地球工学系グループの一翼として、水資

源を含めた資源・エネルギーおよび地下空間の開発ならびに有効利用など現代社会が要求している主要テーマに対し、土木および環境工学との連携によって、重点的かつ的確に応えることが可能になったものと考える。

参考引用文献

- 1) 京都大学大学院工学研究所編：京都大学大学院工学研究科案内 1996年4月
- 2) 京都大学工学部地球工学科編：地球工学科 1996年10月

談話室

教育と研究の今 —材料工学教室の場合—

長村光造*

Teaching and Research Activity in the Department of
Materials Science and Engineering

by Kozo OSAMURA

1. 大学の改革

京都大学は今年創立100周年を迎えたが、現在の材料工学教室の母体となる採鉱冶金学科も同時に大学創立の年に設置されている。それ以来何度かの改組・拡充があったが、工学部では大学院における教育・研究を充実するため、いわゆる大学院大学化の動きが平成5年に始まり平成8年の春には一応工学部全体の改組が終了した。この間の改組の事情については本誌の朝木¹⁾による解説に詳しいので、改組後の状況について主としてここでは紹介したい。

工学部における学部教育改革の考え方は、従来23学科にも細分化された高度な教育は大学院で行うことにして、学部では幅広い知識により広い視野から事象を捉えることができる、豊かな人格形成を目指す教育を施すことが出来るようになることである。工学部は物理工学科をはじめとして工業化学科、地球工学科、電気電子工学科、建築学科、情報学科の6学科に大きくブロック分けされた。我々冶金学科と金属加工学科の旧金属系学科は機械工学科、機械物理工学科、精密工学科、原子核工学科および航空宇宙工学科と協力して1994年に物理工学科を組織した。同科は1,2回生で共通科目の教育があつたあと3回生から図1に示すように材料科学、機械システム学、宇宙基礎工学およびエネルギー理工学の4コースに分けられる。さらに大学院への進学にあたっては、どの専攻を選択してもよいが、カリキュラムの内容から材料科学コースの学生は主として材料工学専攻に進学することになる。大学院の材料工学専攻は学部の材料工学コースの教育に責任をもっており、ここではこれらの全

体のまとまりを材料工学教室とよぶことにする。

なお大学の改組あたり、エネルギーに関する教育研究を行う研究科としてエネルギー科学研究所が平成8年に分離独立した。その研究科に旧金属系から3講座が参加しており、今後も教育・研究の分野で協力関係を維持することになるが、材料工学教室は物理工学科の枠組みの中で教育研究を発展させていくこと、また伝統ある採鉱冶金学科の歴史も発展拡大の過程にあり、資源工学やエネルギー科学研究所の固有の問題は別の機会に論じられるものと思うので、ここでは材料工学に関する問題点をより深く考察することにする。

2. 物理工学科の目指すものと現実

物理工学科は端的にいえば、物作りのための学科とたとえることが出来る。自動車を例にとれば、エンジンの設計、移動体の走行性能の研究からはじまり、具体的な設計、生産プロセスから、さらに材料の研究を一体的に扱っている。その理念は、科学の世紀と呼ばれた20世紀から、来る21世紀に向けて今世紀の科学・技術をさらに発展させ、同時に地球環境・資源・エネルギーなどについての困難な課題を克服して人々に明るい未来をもたらすために科学・技術の発展を目指すことである。

さて学部教育について具体的に説明しよう。A群科目(人文・社会科学系科目)、B群科目(自然科学系科目)、C群科目(外国語科目)、D群科目(保健体育系科目)の4つの群に分けられていて主に1,2回生の間にA群、B群、C群およびD群を全科目共通として履修したあと3回生以上になって工学部科目を履修するということが基本となるが、工学部の専門科目を1,2回生にも履修せざるを得ない場合がある。特に1回生では物理工学総論A、B又2回生

*京都大学大学院工学研究科材料工学専攻教授

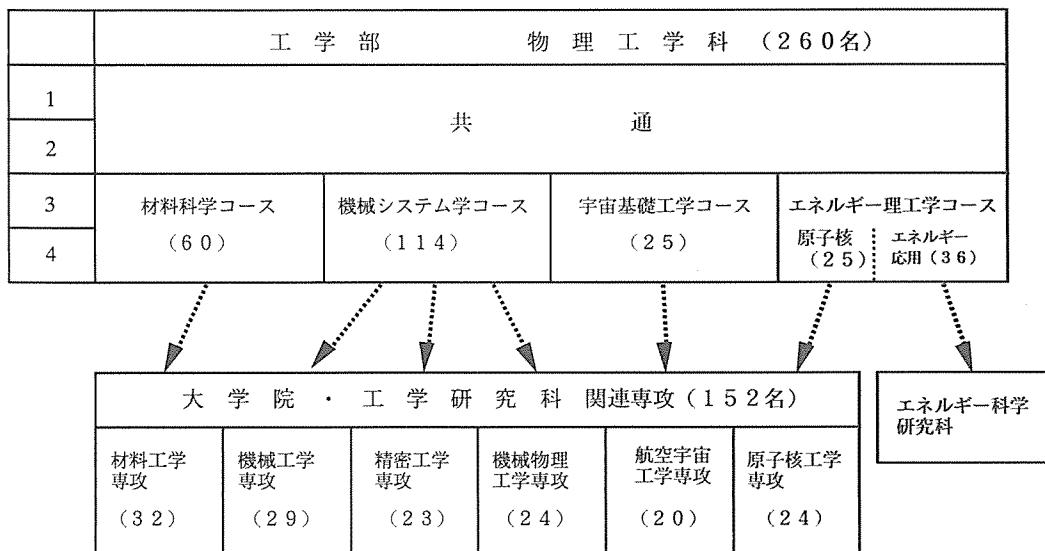


図1 工学部物理工学科および大学院工学研究科関連専攻の構成
各欄の数字は平成10年度の予定数

では計測学、計算機数学、材料力学、熱力学、機械製作、工業数学、材料基礎学1、固体物理学、応用電磁気学、原子物理学、流体力学基礎などを履修するようになっている。このように2回生までは物理工学科の教育では、物作りの基礎を広く学ぶようにカリキュラムが組まれていることに留意する必要がある。3回生になるとコース分属があり、図1に示すように4つのコースに分属されている。

さて全体で260名の内60名の学生が材料科学コースの学生として材料工学教室に分属される。実はこの4月に物理工学科として入学した学生たちが初めてコース分属した年でもある。今年材料科学コースへ分属を希望した学生は他の3コースに分属された学生と少し傾向が違っていた。1つは非常に優秀な少数の学生が材料科学コースを志望したが、第1志望で材料科学を選んだ学生が全体の3分の1程度であった。学生の知識を調べると他のコースに対応する学問分野に較べて材料という分野に馴染みのないのが問題のようで、物理工学科の枠組みの中いかに学生に材料工学に興味をもたせるか等の問題が今回のことでの浮かび上がってきた。

3. 材料工学教室における教育と研究

材料科学コースに分属された3回生には専門科目として工業数学、材料基礎学2、工業力学、制御工学、システム工学、薄膜材料学、結晶回折学、材料組織学、結晶物性学、材料物理学、熱及び物質移動、エネルギー材料熱化学、量子無機材料学などが3回生履修科目となっており、4回生の専門科目としては金属材料学、材料構造物

性、固体物性学、統計熱力学、材料機能学、材料量子化學、材料電気化学、エントロピ工学などが履修科目となっている。科目名のみでは詳細は分かり難いが、従来、旧金属系教室における教育としては物理冶金学、化学冶金学、金属物理学などの学科があり、金属学の基礎教育を担ってきたが、現在の材料科学コースでどういう教科内容が重要であり、また体系的に教えなければならないかやや混乱しており今後も我々は学生に対して分かり易い魅力ある専門教育を提示できているのか、長い目でみて社会に役立つ独自の優れた教育を学生に施しているのかといった観点から検討すべきであると考えている。

大学における教育は研究と不可分であるといえるが、材料工学教室における研究分野の現状についてはどうであろうか。研究の面から見たときに、教室を紹介するパンフレットにあるように原子単位の量子材料設計、表面処理と電気化学、反応プロセス工学、半導体デバイスと薄膜材料学、磁性物理と応用、金属間化合物の材料科学、結晶欠陥と力学物性、超伝導電磁特性と材料、相転移の材料組織学、材料の組織制御、非晶質・メゾ材料の局所構造と電子物性等々の分野で教官が研究活動を行っている。教官の得意分野というのは非常にインパクトをもって学生に対して教育することができるわけで、現在の材料工学専攻で行われている研究分野と、我々が期待する教育内容とを比較して今後の方針とするのは重要である。

4. 材料工学科のアイデンティティー

さて全国的に多くの大学で金属工学や冶金学という教

室名が材料工学に変更されてきた。時を同じくして大学院大学化のような大学の再編成の中で他の学科と一緒になるというケースが非常に増えてきた。大学の事情によっていろいろ異なるが、機械系、化学系あるいは電気系と合同してきた。このような変革のあと数年が経ち、材料工学の立場というのが再検討される状況にある。ひとつでいえば、例えば機械系のようなメジャーな学問分野に対して材料工学がアイデンティティを保しながら発展してきたか、あるいは発展しうるかという問題意識である。このことは京都大学の材料工学の教官が一同に感じる大きな危機感もあるが、暗中摸索の状態の中で、我々に課せられた、まだ答えの得られていない緊急の課題である。

では材料工学科のアイデンティティーとは何であろうか。電子材料、機械材料、建築材料等々多くの工学分野で材料の研究が行われている。つまりある特定の分野で必要な特性を得るために材料開発が行われている。では我々材料工学の材料の研究とは何か?場合により特定の材料を扱うことがあるが、工業化を意識した実用の学という側面をもちらながら、より普遍性のある材料のための材料の研究が要請されることではなかろうか。また一方では先程物理工学科というのは物作りの学科であると規定したが、技術としてみたときに例えば溶鉱炉で鉄を精錬する、あるいは実用金属材料の強度を高める等々の研究対象は、複雑であり、単純化したモデルでは理解するのが困難な体系である。このような複雑な対象を以前から我々は材料工学として教育・研究の場で体系化してきた。確かに我々は物作りの基礎を担う集団であるという自負をもってよいのではないか。直言すれば材料工学の研究者は材料研究の中心意識を持つことであろう。ではこれから普遍的な材料研究の課題は何か。その一つは地球環境への配慮、資源・エネルギーの有効利用を考慮した材料とは何かというのが一つの問題意識であろう。その指針として材料全体に対して高機能化、リサイクル性についての見通しを示すこと、その実用化に積極的に取り組むことがひとつの方であろう。最近ISO14000系の工業規格においてLCA (life cycle assessment)という規格が定められている。材料の研究にもこのような視点が重要と考える。蛇足かもしれないが材料工学と資源工学が大同団結し、回帰するきっかけがここにあるのではなかろうかと考えたりしている。また21世紀に向けて最も発展が期待されている産業分野はエレクトロニクス、新素材、バイオテクノロジーの領域であるといわれている²⁾が、材料研究の究極として目的とする機能を発現させるための材料組織の完全な制御と高付加価値化、原子操作による原子単位の構造構築等々先進的な材料の普遍的な研究課題は多くある。

5. 大学院大学化と博士課程

現在の高度化した学問体系に対して学部教育だけでは不十分であり、大学院での教育と研究が重要であるという認識のもとに大学院化が進められ、修士課程及び博士課程の充実が行われている。文部省の指導もあり、とくに博士課程の教育の充実と国際化の動きが重点項目となっている。ティーチングアシスタント制度の導入や奨学制度を充実し、博士課程への進学を奨励している。現在博士課程修了年齢は27歳であるが、飛び級や早期修了の制度で学位取得が25歳でも可能になってきている。ここで博士課程修了者の進路について考えてみたい。例えば、アメリカの大学や企業の研究所における研究業務の担い手のほとんどはPhDをもつ研究者である。一方日本の企業の研究所ではむしろ修士課程出身者が研究の担い手になっている。これは素質のある修士の学生を採用して会社で教育した方がよいという考え方によるのではないか。査読のある専門学術誌に論文を投稿するが、自立した研究者になる第一歩とすると、修士修了時には論文を投稿できるところまで進むのは10%程度の学生にすぎない。現状では博士課程になって自分で論文を書くトレーニングがなされる。外国の例を見るまでもなく研究者としてもっと博士課程出身者を活用してもよいのではないか。企業には即戦力として博士課程修了者を採用することを、またどんな人材を求めているか大学側に明確に示すことなどを要望したい。なお論文博士との中間に位置する社会人コースについて紹介しておきたい。企業に籍を置き、大学での研究指導を受ける制度である。ケースバイケースであるが、企業での研究業務と大学での研究を組み合わせることが可能で、今春2名が社会人コースを修了した。

6. 材料工学の教育・研究と社会のニーズ

住友金属工業の岡本さんが“まてりあ”的談話室に載せておられるアンケート³⁾によれば、大学でどんな授業科目が必要度が高いかは、金属組織学、状態図、熱力学、統計力学、精錬学、高温反応学、塑性加工学、弾塑性力学、鋳造学、凝固学などが順に重要なものであり、それと同時にもっと勉強しておけばよかった科目の中には技術論、技術史あるいは塑性加工学、弾塑性力学、計算機ソフト、解析ソフト等がある。又大学では基礎的なことを教えること、卒業論文はほとんどの人がもっと実施した方がよいという回答であった。教育方法について卒業研究をやった方がいいという意見は、我々にとって心強いことであり、講義のみならず研究ということとも学生にみっちりとたたき込んでみたいと思っている。次に基礎重視か応用重視かについては、例えば精錬学、アルミニ

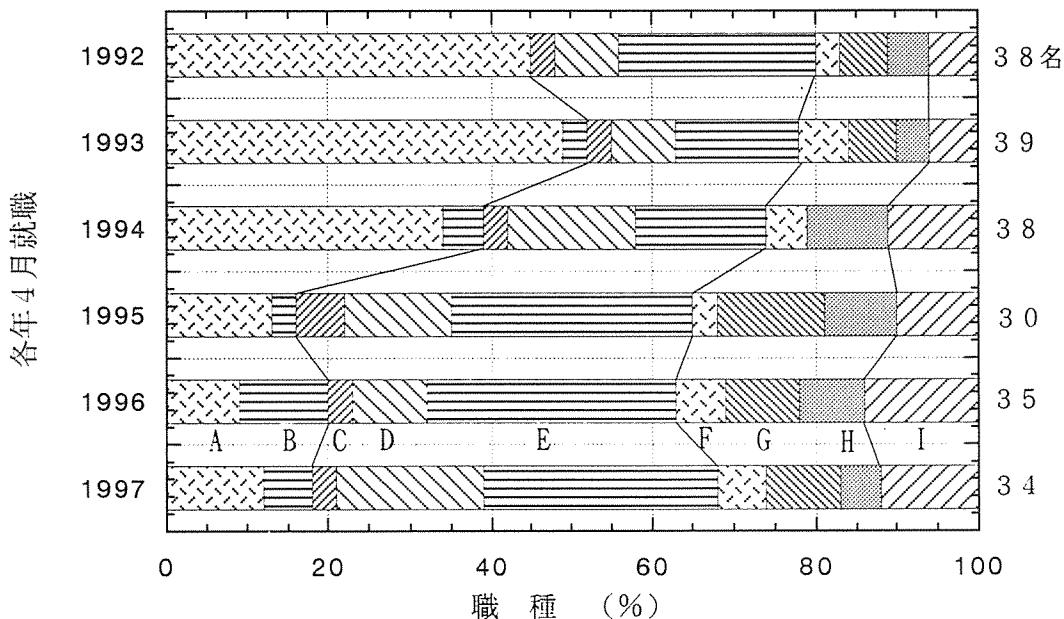


図2 材料工学教室修了者の就職および進学状況

ここで図右の人数は各年の修了者数

A／鉄鋼，B／金属，C／機械，D／重工・自動車，E／電気，
F／電力，G／通信・情報，H／その他，I／博士課程

ウムのJIS規格材料と言った実際的な教え方は現在ではしていないで、前述の3回生以上の教科目に示されるように、かなり基礎的、原則的でかつ金属に限らず幅の広い分野の内容が教育されるようになってきた。

図2に示すように1994年以前は鉄鋼業への就職が第1であったが、1995年以降に重工業と自動車産業に重点が移っている。これには2つの要因がある。大学の改組により材料工学科が発足したこと、鉄鋼業からの採用枠が急に減少したことなどが重なったためである。今年の就職希望調査では鉄鋼業の志望は依然として高い。いずれにしても鉄鋼、金属、機械、重工・自動車、電気産業を含めると7割以上が物作りを基本とする企業に就職していることは興味深い。このような学生の進路も考慮して材料工学での教育内容を再検討しなければならないと考えている。

戦後の高度経済成長を支える人材教育のため大学のいわゆる大衆化が進んだ、一方では昨今の公務員総定員法による定員削減による職員の激減、研究費の実質的減少等大学をとりまく環境が劣悪化している。大学の本来あるべき姿としてCOE(Center of Excellence)の役割、つまり大学人は研究や専門教育の意識が高く、教育環境も立派で、学生も世の中に貢献する意欲に燃えて入学し、そして勉強し、それに対する世の中の評価も充分高いという状況を再構築したいと願っている。そのためには我々の自努力が第一であるが、社会からの協力も必要である。企業は大学に対して基礎的な教育を学生に施し

て欲しい、人材が欲しいというのが実際の要求であるが、教育内容の高度化、大学の活性化のためには研究の面でもより積極的な交流が望まれる。企業における第一線での先端的な研究開発は大学の研究者にとっても重要な情報であり、大学での研究への刺激、ひいては教育へ生かされるのではないだろうか。繰り返せば企業すなわち社会からの明確なニーズが大学に示されることが肝要である。

7. まとめ

ここで述べた要点をまとめると(1)コース分属の問題、(2)材料科学コースの教科内容の見直し、(3)研究分野と教育体制、(4)材料工学のアイデンティティ、(5)大学院大学化と博士課程修了者の進路、(6)社会のニーズ等をとりあげた積りである。この拙稿を読まれるのは水曜会員、つまり身内の方々であるので、是非忌憚のないご意見を頂戴し議論を高めたいと思っている。水曜会大会で「101年目から材料工学が目指すもの」というようなパネル討論を開催してはどうかとも提案します。さらに少し脱線して著者の感想をひとこと加えます。現在の材料工学教室の教授から助手までの教官29名中55%が他学部あるいは他大学出身者であり、また京大金属出身者は東大、阪大、名大等々で教授として教官として活躍している。このように我々の教室は人の交流の盛んな随分開かれた組織であるのではないか。この正念場の時期に教室内外の関係者がそれぞれの経験を出し合って協力しあえば、輝

かしい再出発ができるのではないかと期待している。水曜会員の皆様からも今後の教室の発展のため絶大なる支援と協力をお願いする次第である。

- 2) 三橋規宏;「先端技術と日本経済」岩波新書(1992)
- 3) 岡本篤樹;「鉄鋼業の技術者から見た大学教育」
まりあ 35 (1995) 66.

参考文献

- 1) 朝木善次郎;「京都大学工学部の改組について」
水曜会誌 22 (1994) 78.

研究速報

資源開発工学研究室

資源開発工学研究室では、主として岩盤構造物の安定性評価に係る岩盤および岩盤不連続面の力学特性の定量化と数値解析に関する研究ならびにフラクチャー浸透率評価法に関する研究を実施している。

岩石の三軸圧縮試験における破壊後領域での横方向変形に関する研究

本研究では、岩盤中に開削された空間周辺に生じる緩み域における岩盤の空間への押し出し挙動を定量的に評価し、設計段階から地下空間の安定性評価を正確に行う方法の確立を目的としている。このため、岩石の三軸圧縮試験を実施し、岩石試料の破壊後の横方向変形にスポットをあてて研究を実施している。

岩石の三軸圧縮試験において破壊後の大きな変形挙動と異方性を含めた複雑な変形挙動をとらえるため、8本のカンチレバー式変位計を試料の周囲に45度毎に取り付け、試料の中央部における横方向変形を計測した。その結果、独立した8つの横方向変形を精度良く計測できるようになった。また、フーリエ解析により横方向の変形モードを等方性モード、平行移動モード、異方性モード、破断面に沿う滑りモードに分解し、変形過程においてこれらのモードがどのように変化していくのかを解析することにより異方性を含めた変形挙動の解析が可能となった。さらに、破壊後の岩石試料の軸方向変位と最大横方向変位の関係が直線関係を示し、その傾きが側圧によらず一定となることがわかった。そこで、従来の緩み域における体積歪みが一定という仮定ではなく、緩み域においてこの直線関係が成立するとの仮定の下で弾塑性理論を適用し、静水圧状態にある岩盤に円形トンネルを開削した場合におけるトンネル周辺岩盤の応力および変位についての理論解を導き、この理論解を用いたいくつかのケーススタディーを実施した。

岩盤不連続面の表面特性による力学特性の評価法に関する研究

本研究では、岩盤不連続面の力学特性と表面特性の関係を明らかにし、データの取得が比較的簡単な表面特性から力学特性を評価する方法の確立を目指して研究を実施している。

不連続面の表面特性と力学特性の関係を明らかにするため、X-Yロボットにレーザー式変位計を取り付けた高精度岩盤表面形状計測システムを構築し、岩石の圧裂破面を不連続面モデルとしてせん断試験前後における表面形状を詳細に測定することによりせん断による表面特性の変化を調べた。表面特性の評価には、パワースペクトル密度関数の他に表面の凹凸の勾配を表す関数(VariorgramならびにMEDF)を適用した。その結果、せん断により破壊した領域は他の領域に比べ勾配の大きい凹凸が存在する領域であり、せん断にしたがって表面の凹凸の勾配が小さくなることが定量的に評価できるようにな

った。また、不連続面の開口幅に対するパワースペクトル密度関数のコーナー周波数(かみ込み周波数)から、せん断により不連続面のかみ合わせが悪くなることを定量的に示した。さらに、せん断ピーク強度はかみ込み周波数に相当する波長の1/2のラグに相当するMEDFの値と相関が見られ、MEDFによるピーク強度評価の可能性が示唆された。一方、一般的に用いられているJRC(岩盤不連続面の表面粗さの指標)に代わる指標として、バリオグラム法によるフラクタル次元とスティープネスで定義されるフラクタルモデルを岩盤不連続面表面形状のモデル化に適用し、新たに等JRC線図を作成することにより表面粗さの寸法効果を加味した合理的な岩盤不連続面表面粗さ評価法を提案した。

トンネル掘削の機械化に関する研究

本研究では、トンネル掘削の数値シミュレーションを実施し、新たなトンネル機械化掘削法の可能性について検討を行っている。従来のNATM工法において連続掘進が困難と考えられる発破工法とロックボルトや吹き付けコンクリートなどといった一次支保の組合せに代わり、機械化が可能な掘削機械と一時的な補助支保と現場打ちライニング工法とを組み合わせた工法の可能性について2次元弾塑性有限要素法解析による検討を行った。検討の結果、ECL工法にみられるようにライニングだけでも支保効果が得られるが、現場打ちのコンクリートがある程度の強度を発現するまでの間、一時的に補助支保を併用することでさらに支保効果が改善されることがわかつた。また、補助支保は総荷重が一定の場合、補助支保区間が長いほど効果が大きいことが明らかになった。

フラクチャー浸透率評価法に関する研究

本研究では、岩盤内の流体流動挙動を大きく左右するフラクチャー浸透率をより正確に評価することを目的に、フラクチャー浸透率に及ぼすフラクチャー表面形状の影響について調査を実施している。

フラクチャー浸透率に及ぼすフラクチャー表面粗さの影響を調べるために、表面粗さの異なるシングルフラクチャーを有する人工のコア試料を数種類準備し、そのコアに対してフラクチャー容積測定ならびに空気浸透率測定および水浸透率測定を実施した。その結果、フラクチャー浸透率の測定値は、平行平板間のラミナーフローを仮定して得られる3乗則を用いて計算される浸透率の値に比べて小さく、測定されたフラクチャー浸透率の3乗則からの乖離度はフラクチャーの表面粗さよりも、不連続面の接触状態に大きく影響されることが判明した。また、この事実をBraceらにより提唱されている等価流路モデルに基づく一般式にフラクチャーの表面形状のフラクタルモデルを導入することにより理論的に示すことができた。

教授 斎藤 敏明
助手 松本 義雄、村田 澄彦

注) この分野の研究は、資源工学専攻再編により平成9年度から資源高度利用工学研究室に移行しました。

地質工学研究室

応用地質学講座では、確率ブロック理論による情報化施工、グラウチングによる原位置岩盤の力学的改良効果、グラウチングによる節理のせん断強度の改良効果、節理性岩盤におけるグラウト充填メカニズム、軟岩の凍結融解挙動に関する研究を行っている。

確率ブロック理論による情報化施工

これまでに移動可能ブロックとして存在する可能性を有するブロックが一部露出した時点で、そのブロックの抜け出し確率を求める手法である確率ブロック理論を構築したが、今回は、現在施工中のダム原石山等の大規模岩盤斜面ならびに現在施工中的大規模岩盤地下空洞の不連続面とレース図を用いて掘削シミュレーションを実施し検討を行った。その結果、予測と実測が良く対応し、手法の妥当性が確認された。また、実際に理論を適用するにあたっての管理基準に関する検討も併せて実施した。

グラウチングによる原位置岩盤の力学的改良効果

土木・岩盤構造物基礎岩盤において実施されるグラウチング工は、岩盤の割れ目内に注入材料を填充させることによってその力学的性状ならびに透水性状を改良することを目的として実施されるが、その力学的な改良効果（変形性・強度）については現在のところ数値的に把握されていないのが現状である。本研究では、4地点のダム建設現場（花崗岩分布箇所2地点、カンラン岩分布箇所1地点、粘板岩分布箇所1地点の硬質岩盤地点）において、グラウチングの前後に孔内打撃応答試験および孔内載荷試験を実施し、その力学的な改良効果（変形性・強度）に関する検討を行った。その結果、[1] グラウチング前後で変形係数、静弾性係数および降伏点応力等の物性が上昇している、[2] グラウチング前後で物性の分布のバラツキが減少している、[3] 不連続面部が改良されている、という知見が得られた。これらのこととは、ダムの基礎処理の所期の目的である岩盤の「固密化」・「均質化」・「一体化」がグラウチングによってなされていることを示したものであると思われる。さらに、2つの花崗岩分布地点のうち1地点で実施した改良効果の確認方法は、従来のリボーリング方式と異なるチェック孔を用いた方式であり、この方式によっても改良効果が確認できることが判明した。

グラウチングによる節理のせん断強度の改良効果

本研究においては、これまでにグラウチングによる岩盤のせん断強度の改良効果を把握するための基礎的な検討として、種々の粗さをもった単一節理を有する供試体

にグラウトを注入し、節理のせん断強度の改良効果を把握することを目的とした一面せん断試験を行い、グラウチングにより節理面の粘着力が増加することを確認できた。今回は、これまでの供試体と同様の供試体において、狭在物を節理面に充填させて改良効果の検討を行った。その結果、狭在物の面積占有率が低い場合の方がグラウチングによる粘着力の改良度合いが高いことが判明した。

節理性岩盤におけるグラウト充填メカニズム

効率的なグラウチングを実施することは、ダム基礎岩盤の安定性の確保ならびに施工の経済性の観点で非常に重要である。しかしながら、グラウトの配合、注入圧力、ステージ長などの施工パラメータの決定の際には多くを経験に頼っているのが現状である。これらのパラメータを決定するにあたっては、グラウトの充填メカニズムに根底をおく解析的アプローチによる評価・検討が必要であると考えられる。今回は、不連続面を有するコンクリート供試体を用いた室内実験結果を実施し、グラウトミルクの流れ挙動から閉塞・充填過程に至るまでのグラウチングに関わる様々な考察を行った。

軟岩の凍結融解挙動

花崗閃緑岩の風化岩～新鮮岩供試体を用いて凍結融解試験を実施し、風化軟岩における凍結融解挙動の把握を行った。その結果、間隙率および弾性波伝播速度を用いて劣化状況を関数表現できることが判明した。

教授 菊地 宏吉

助教授 平野 勇

助手 水戸 義忠

資源高度利用工学研究室

地球資源有効利用、地下情報、資源環境モニタリングを主たる特色のキーワードとする資源環境システム設計 (Earth Resources and Environmental System Predictive Design) 及び資源情報システム工学 (Earth Resources Information Engineering) を当専門分野の根幹として、(A) 資源環境システムの予測・設計に関する基礎研究、(B) 地下情報可視化とその有効利用に関する基礎研究、(C) 資源環境モニタリングの基礎研究、(D) 資源環境システム、地下情報、資源環境モニタリングの応用開発及び応用研究等と、その周辺環境に関する研究を推進している。そのための研究員としては、平成8年4月からの大学院改組によって、菅野助教授・新苗助手、修士課程1回生4名（探査工学講座出身者2名+精製工学講座出身者2名）・学部4回生5名（新規当該分野配属5名、うち1名日鉄鉱業に就職+4名資源工学専攻当該新分野修士課程へ進学）の小計11名からなる構成で新しい資源工学専攻において、地球工学の一員としての自覚の下、環境も大切な資源ととらえる資源環境システム、資源情報環境を基礎理念とする研究室を構成、基礎研究を推進している。<http://www.kogaku.kyoto-u.ac.jp/koken/home/html> の96AREで当分野研究課題、96B,C,DRE22001で本年度18件程度の研究成果を公開している。以下研究速報として基礎的研究課題5例の概要、代表的な文献5例を選び記述する。

1. 立体電極配列電位データ解析による地下構造可視化の基礎研究

電極配置は電気モニタリングの根幹で、地表から抽出が難しい小規模、低品位、深部等の地下不均質環境モニタリングに有効な新しい方式の立体電極配列法では、有限要素法2D-3Dアルゴリズムによって微細な構造変化、環境地盤を可視化できるようになった。その分解能の基礎研究が重点的に行われた。

2. Cd及びPbイオンの粘土鉱物による固定形態に関する研究

資源環境土壤汚染、浄化問題は、土の環境圈の重要な課題で、カドミウムや鉛等の重金属類、また土の構成成分である粘土鉱物種類によって吸着量、吸着形態は異なる。CdよりPbの方が多く吸着し、カオリナイトよりベントナイトの方が多量に吸着、pHの吸着量への影響等を検討した。粘土固有の電荷の相違、粘土鉱物の分極現象も強制分極(IP)や自然分極(SP)の有効利用も意義深い。

3. 廃棄物処分場における電界強度法を用いたモニタリングの基礎研究

大量資源消費からの廃棄物処分問題と資源循環環境保全問題は重要な資源環境問題であり、地中電気溶融ガラ

ス固化(ISV)、ジオメンブランスマニタリングや放射性廃棄物深部地層処分モニタリング等簡単な3例題については文献1)で考え方述べた。シート工法の汚染リークモニタリングに効果的電界強度法による有限差分3Dミュレーションを実施した。

4. 水槽実験による地下不均質環境電気モニタリングの基礎研究

銅板及びプラスチック板による水槽単純モデル実験で得られる地表電極配列比抵抗データを地下不均質環境モニタリングに有効利用する基礎研究を実施した。FEM2D-3D解析によって得られる可視化地盤画像の特徴は、用いる電極配列固有の出力特性があり、理論検証も含め極めて興味深い知見を与えていている。

5. 地表電極配列比抵抗データによる地下情報可視化に関する研究

新しくデータ合成法、構造移動法、データ密度法を考察し、地下水流动、地下水資源循環・汚染、活断層や地盤・地質不均質環境の微細な変化を調査する人力問題解決型、単純で高機能指向の基礎的研究を実施した。

参考文献例

- 1) Sugano, T.: Predictive Design for Environmental Electrical Monitoring, Environmental Geotechnics, Balkema, Rotterdam, Vol. 1, pp. 159-164, 1996.
- 2) Sugano, T.: Electric Visualization for Earth Resources and Environmental System Predictive Design. Atlas of Visualization, CRC (USA), Vol. 3, in press, 1997.
- 3) 菅野 強：資源環境システム予測設計における地球物理学アクティビティ、エネルギー・資源学会、第15回論文集、pp. 127-132, 1996.
- 4) 菅野 強・宮垣博道・野村智之：資源環境システム設計における地下情報可視化と擬似効果、可視化情報学会、論文掲載予定、1997.
- 5) 菅野 強・新苗正和・小川 淳・小川弘晃・岸 渉・出口知敬・森山大道：工学へ適用のための比抵抗及び電界強度高密度予測モデルー環境地盤及び廃棄物処分場汚染リークモニタリングー、トンネル調査研究会、第24回、基礎解説、pp. 1-8, 1997.

助教授 菅野 強

助手 新苗 正和

注) この分野の研究は、資源工学専攻再編により平成9年度から資源開発工学研究室に移行しました。

物理探査工学研究室

本分野では、物理探査の高精度化とその資源探査及び地盤・岩盤評価への利用に重点を置いて研究を推進している。

地下レーダの3次元数値モデリング

地下レーダーで用いられる周波数帯の電磁波は、波動現象として捉えることができる。電磁波の挙動を時間を追って観察するために、時間領域有限差分法を用いた3次元数値モデリングプログラムを開発した。均質媒質において周波数、誘電率、比抵抗などのパラメータをそれぞれ変化させて、初動走時、波形およびスペクトルの変化を観察し、それらが理論と一致することを確認した。応用例として、ボアホールレーダーを用いた含水破碎帯の検出、地表型地下レーダーを用いた埋設管探査および空気・岩盤境界の近傍の解析のモデリングを行い、実際の探査計画および解析に有効なことを明らかにした。

弹性波を用いた3次元トンネル切羽前方探査

トンネル掘削時における切羽崩壊等の事故を未然に防ぐために、掘削前に弹性波を用いてトンネル切羽前方の地質状況を調べる研究を行った。その方法として、VSPを水平方向に応用したHSPを適用した。反射点が震源と受振点を焦点とする楕円体の表面上にあることから、複数個の震源と受振点の組による回転楕円体群を描くことにより反射面を自動作図する深度変換法アルゴリズムを開発した。トンネル口元から切羽方向に受振器を等間隔に設置し、多数の発破を行ってデータを取得した。その結果、掘削後に判明した切羽前方の実際の弱層部の位置と反射面の位置がほぼ一致した。

弹性波トモグラフィにおける周波数と分解能との関係

従来の弹性波速度トモグラフィ解析では、周波数を無限大と仮定し弹性波の伝播経路を線とみなして計算が行われる。しかし、人工震源から発生する弹性波の周波数は数10Hz～数kHzである。そこで、フレネルボリュームの概念をトモグラフィ解析に取り入れた新たな解析手法を提案し、P波速度トモグラフィにおける周波数と分解能の関係について研究を行った。波動の伝播経路を表すフレネルボリュームの半径は弹性波の周波数により変化する。同一の構造では、弹性波の周波数が高いほど、再構成結果は速度モデルに近づくことがわかった。均質媒質内の速度異常を持つモデルに対し解析結果を比較することにより、フレネル半径と再構成可能な構造の大きさには密接な関係が存在することがわかった。

波動方程式に基づくフルウェーブインバージョン

フルウェーブインバージョン(FWI)は観測波形のすべてをデータとして用いる方法であり、走時インバージョンに比べて高精度、高分解能な地下構造のイメージが得られる。FWIでは波線追跡の代わりに、各受振点での理論波形を波動方程式モデリングを用いて計算し、観測波形との波形全体の差が小さくなるように速度モデル

を修正する。音響波動方程式及び弹性波動方程式のそれについて差分法と最急降下法を用いた逆解析プログラムを作成した。計算機実験の結果、FWIにより高分解能な結果が得られたが、初期モデルやノイズの影響を受けることが明らかになった。反射波や回折波を利用できること、S波構造が得られることは利点である。

気体・液体の注入による弹性波の亀裂検出能力の向上

岩盤内に存在する潜在的な薄い亀裂や破碎帯を弹性波を用いて高精度に検出することは非常に難しい。そこで、亀裂内に人工的に気体あるいは液体等を圧入して弹性波探査の精度を向上させる方法を検討した。まず、樹脂ブロックモデルにおいて接触のある亀裂モデルを作成し、亀裂内に圧入した気泡をトレーサーとして弹性波の伝播特性の変化を調べた。次に、水圧破碎によって作成された亀裂面を持つ花崗岩試料を用い、亀裂内への注水・排水が亀裂を透過する弹性波に与える影響について検討した。さらに岐阜県神岡鉱山において原位置岩盤内に存在する亀裂を対象に注水・排水時における弹性波計測を行った結果について検討した。その結果、亀裂内に気体・液体を注入することによって弹性波による亀裂の探査・モニタリングを行うことが可能であることが明らかになった。

時間領域電磁探査法に関する基礎的研究

垂直磁気双極子(VMD)を用いた探査手法では、コイルに電流を流して磁気モーメントを発生させ、地下の比抵抗異常による電磁誘導により新たに発生する2次磁界と1次磁界との合成磁界を観測する。電磁探査では比抵抗異常の3次元的な形状の変化が強く影響する。そこで、本研究では、VMDを用いた周波数領域における電磁探査法について、積分方程式による方法と、直方体要素を用いた有限要素法の2種類の方法で3次元モデリングを行い、その結果について比較、考察を行った。今回得られた結果の精度は必ずしも良好とは言えないが、電磁場の基本性質を明らかにすることができた。今後は、要素の高次化や形状比の縮小、内挿関数の改良、境界条件の選択などにより、精度の向上を考える。

教授 佐々 宏一

教授 芦田 譲

助 手 渡辺 俊樹

計測評価工学研究室

応用計測学講座では、材料劣化の非破壊評価や種々の応用的な計測技法に関して、新しい検査・計測法の開発、画像処理などを用いた計測結果の可視化、逆問題的アプローチによる計測結果の評価などの研究を行っている。

電気ポテンシャル法による欠陥同定逆問題の解析

対象材に通電したときの表面電圧分布の測定値にもとづいて表面開口欠陥の深さ及び傾斜角を求める、いわゆる電気ポテンシャル法逆問題解析について検討した。境界要素法によって計算した電圧値と測定値との残差が最小となるように、欠陥の深さと傾斜角を逐次更新していく方法であり、その最適化手法として、遺伝アルゴリズムを利用している。条件によっては、単一極小値を持つとは限らないこのような最適化問題においては、この遺伝アルゴリズムが有効である。アルミ板材を用いた実験に対して本解析法を適用し、その実用性を確認するとともに、観測が制限される場合の解の推定精度についても検討した。欠陥とは反対の裏面での測定からも、試料厚さの1/5程度以上の欠陥ならば、正しい推定解が得られることが示された。

磁気特性の変化にもとづいた鋼材の応力評価

鋼材などの強磁性材料は、応力状態によってその磁気的性質が変化する。本研究では、その微視的磁化特性を顕著に反映する指標として、バルクハウゼンノイズを取り上げ、その出現パターンの変化から応力状態を評価する方法について検討した。バルクハウゼンノイズの出現特性を表す特徴量として、検出方法に依存しない、出現時間、集中度、非対称性といったパラメータを採用し、それらと鋼材の曲げ応力との関係について調査した。その結果、これらの特徴量は、曲げ応力とかなり良い相関が認められ、また、線材加工時の残留応力を分離することも可能であることが示された。また、磁気ヒステリシス特性そのものの変化から、応力状態を求ることについても検討しており、ワイヤロープなどにおいては、この方法によって、その張力がかなりの精度で評価できることが示されている。

漏洩磁束法及び渦流探傷法による平面材の欠陥イメージング

平面材の漏洩磁束探傷や渦流探傷によってえられる2次元の平面スキャニング画像は、表面欠陥の形状や分布を直接的に与えるものではない。そこで、これらの観測画像を欠陥分布を原画像とする劣化画像であると見立て、逆問題的な画像復元技法を適用することについて検討した。漏洩磁束探傷の場合、表面磁荷分布を原画像と

して、単位磁荷の作る磁界の理論解を劣化過程のモデルとして採用し、ウイナー逆フィルタによる画像復元技法を適用した。一方、渦流探傷においては、劣化過程を、非線形変換とコンボリューション積分からなる3段階の劣化プロセスとして解析的に表現し、その逆変換によって欠陥の位置と長さおよび深さ分布を求める方法を採用した。両者とも、この逆問題的なイメージング技法により、測定画像よりかなり解釈の容易な欠陥分布に近い画像が得られることが示された。

振動法による鋼材の欠陥部位の同定に関する研究

一次元部材を対象として、打撃によって与えた振動の共振周波数のずれから、材料中の欠陥の有無とその位置、大きさを求ることについて検討した。対象材を一次元要素35個の集合としてモデル化し、そのうちの任意の1要素に欠陥が存在し、その部分の曲げ剛性が低下しているという問題を設定した。固有周波数の理論値と測定値の残差の重みつき和を最小とする方法によって、欠陥の位置とおおよその曲げ剛性を求め、さらに固有周波数を解としても特性方程式そのものを評価関数とする最適化法によって、曲げ剛性の正確な値を推定する2段階の方法を採用した。3次までの共振周波数の測定でも、傷の位置と大きさをある程度の精度で推定できることが示された。

磁気ヒステリシス曲線のニューラル・ネットによる認識

磁気ヒステリシス特性をニューラル・ネットワークによって認識する事で、その材料の判別や劣化評価を行うことについて検討した。磁気ヒステリシス曲線を表現する方法として、閉曲線の解析的表現法の1つであるフーリエ・ディスクリプタを採用している。このフーリエ・ディスクリプターの係数を入力とし、対象鋼材の炭素含有量を出力とするニューラル・ネットを構築し、いくつかの標準試料についてのヒステリシス曲線を学習信号として、任意の鋼材の炭素含有量が求めうるかどうかについて検討した。3~6次程度のフーリエ係数によっておおよその炭素含有量が求めうることが示された。また、ヒステリシス曲線そのものの認識にニューラルネットワークを用いること、つまり、磁界の強さを入力とし、磁化の強さを出力とするような非線形変換そのものを表現する手段としてニューラルネットワークを用いることについても検討し、いまのところ、プラーザッハ・ダイヤグラムとの組み合わせによって、このような履歴を伴う非線形変換のニューラルネット表現が可能であることが示されている。

教 授 花崎 紘一

助教授 塚田 和彦

資源エネルギーシステム学研究室

資源エネルギーシステム学分野では、枯渇の進む化石エネルギーや鉱物資源を有効に活用しつつ、陸資源に替わる海洋資源エネルギー開発、リサイクルなどを含めた現・近未来における資源エネルギーの安定供給システムの創出に関する研究を実施している。

コバルト資源の供給不安について

資源の安定供給を乱す原因を探ると、資源の枯渇、偏在性、生産国の政情不安、需要予測の困難さ、代替品の問題、バイプロダクトに関わる問題などがあげられる。そこで、現在もっとも需給に不安を抱えたコバルト資源について、複雑に絡み合った原因をひもといてみた。その結果、1995年のコバルト消費量は鉱石生産量を超えており、その差はアメリカの備蓄放出によってまかなわれていることがわかった。このような需給関係は正常ではなく、実質的には供給不足となっている。その原因是ザイールからの生産が極端に減少してきたためと考えられ、現在のザイールおよびザンビアの鉱業状況、政治情勢から判断すると、近い将来生産が急激に回復するとは考え難い。さらに、コバルト資源にはバイプロダクトとしての供給の限界が存在しており、このことを考えあわせると、コバルトの供給は他の資源にみられない厳しい状況にあることが判明した。

GDPとエネルギー消費動向から推測した中国のエネルギー需要見通し

人口が多く、近年10%以上の経済成長を続ける中国のエネルギーの消費動向は、中国のみならず世界のエネルギーの需給動向に大きな影響を持っている。これまでに世界がたどってきた経済発展とエネルギー消費の動きとを比較しつつ、今後の中国のエネルギーの需給動向について検討した。まず、購買力平価を用いると、一人当たりのGDPの増加とエネルギー消費量との間に強い相関関係があることが判明した。次に、近年の中国の経済成長率、中国の人口予測および世界における一人当たりのGDPの増加とエネルギー消費量の関係から、具体的に中国のエネルギー需要を推測した。その結果、中国のエネルギー需要量は石炭換算で2005年には42億トン、2010年にはおよそ60億トンと極めて膨大な量になることが明らかになった。

微小クラックの分類による花崗岩の異方性の把握

均質、等方的とみられる花崗岩にも、しばしば力学的弱面が潜在していることが知られている。この花崗岩の異方性は一般に直交異方性であり、その主な原因は岩石内に存在する微小クラックの選択的な方向性にあると推

察されている。しかしながら、微小クラックの認識が困難であるために、微小クラックの特性と異方性との関係は明らかになっていない。そこで、近年、開発を進めている蛍光法を用いて、微小クラックを顕在化させ、その方向性と異方性との関連を検討した。供試試料としては、直交する3つの力学的弱面が確認されている稻田花崗岩および明瞭な力学的弱面が認められない栗橋花崗閃綠岩の2種の岩石を選んだ。微小クラックを、粒子内にみられる「粒内クラック」、いくつかの粒子を切って存在する「粒間クラック」、粒子と粒子の境界に存在する「粒界クラック」の3つに分類し、それぞれのクラックについて方向性を解析した。その結果、稻田花崗岩では、クラック全長さのうち粒内クラックがそのほとんどをしめ、粒間クラック、粒界クラックの割合は少ないことが分かった。また、粒内クラック、粒間クラックには顕著な方向性が存在し、粒界クラックには特筆すべき方向性は存在しないことが分かった。これらのことから、粒間クラックの方向性がもっとも割れやすいリフト面を決定し、粒内クラックの方向性がつぎに割れやすいグレイン面を決定していることが明らかとなった。一方、栗橋花崗閃綠岩では、稻田花崗岩と異なり、粒間クラックに顕著な方向性は存在していない。これが力学的弱面が形成されていない原因と考えられた。しかしながら、粒界クラック、粒内クラックには、卓越方向が認められるので、これらによるグレイン面、ハードウェイ面に相当する弱面が存在するものと推察された。

太陽電池用シリコン資源の開発

活発な研究活動が行われているが、1次エネルギー消費量に占める太陽光発電の割合は1%に満たない。これは珪石からの太陽電池用シリコン精製過程での電力コストの高さがネックとなっているからである。そこで太陽光発電の低コスト化を実現するために、初期原料である珪石を物理的選別により高純度化することよりコスト削減の可能性について検討した。すなわち、原料珪石として現在使われている低温型石英の他に高温型石英も含めて物理的選別により太陽電池用高純度シリカ原料の開発の可能性を検討した。その結果、EPMAによる不純物の分析では、高温型石英は低温型石英に比べて多量かつ粒径の大きい包有物が含まれていること、高温型石英は不純物が割れ目や大きな間隙に集中しており鉱物分離では有利な条件がととのっていることが示唆され、新しいタイプの太陽電池用シリコン原料の開発の可能性が出てきた。

教授 西山 孝
助教授 楠田 啓
助手 陳 友晴

資源エネルギープロセス学研究室

エアリフト方式による揚鉱管内の流動特性に関する理論解析

本研究の目的は、ガス相の流動様式が他の様式に遷移しても適用可能な支配方程式系を構築することにある。これは、ガス相の体積分率からその流動様式が決定でき、同時にすべての流動特性が導かれる方程式系の確立が不可欠だからである。具体的には、気泡流からスラグ流、スラグ流からチャーン流に遷移する場合にも対応できる方程式系に拡張することを試みている。また、ガス相の流動様式の変化は不連続的に起こるのではなく、連続的に起こると考えて、適当な幅を持つ遷移領域を設定している。流動様式の遷移を考慮した支配方程式系の妥当性を判断するために、これによって得られた数値結果を他の研究者の実験結果を比較し、両者の対応を検討している。この成果は Int. J. Multiphase Flow に投稿中である。

連鉄機鋳型内の溶鋼表面のパウダー巻込み機構とその制御規範の確立

パウダー巻込みを引き起こす主たす要因はメニスカス近傍の流れの構造に起因している。メニスカス近傍の流れ場が速度論的に緩まんであると、自由表面のゆらぎは顕著でなく、波動現象における振幅は小さい。それに対して、自由表面における速度が大きくなると、自由表面のゆらぎは顕著になり、そのくぼんだ位置から溶融されたパウダーが引きちぎられる。そのような観点から、浸漬ノズルの吐出孔の位置と吐出孔角度、さらには吐出孔から噴出する流体（溶鋼）の速度と流束などによって自由表面の形状は大きく変動すると考えられる。これは水一油系のモデル実験の結果から容易に予想されることである。したがって、上記実験結果との対応を考慮して、この数値解析では、溶鋼に代わる作動流体は水とし、溶融したパウダーに相当するシリコンオイルは、それと同一密度をもつ球体の微小粒子群に置き変えている。すなわち、自由表面に浮かんでいる微小粒子群が、どのような状況の下で溶鋼中にもぐり込むかを数値実験することによって確認している。数値実験の手法は MAC 法に基づいている。流れ場の計算は 2 次元固定座標系を採用し、計算領域全体はスラブの幅方向と長手方向（モールドの深さ方向）に平行な直線群によっていくつかの矩形のセルに分割される。また、スタッガード・メッシュ系が導入されている。自由表面の把握は格子線との交点の移動によって追跡している。また、溶融したパウダーの代役をする微小粒子は、液相の流れ場の中において個々の粒子を別々にラグランジュ追跡され、溶鋼内の侵

入経路をフォローしている。さて、これらの数値解析の結果、1 つは浸漬ノズルからの吐出速度が大きくなるにしたがって、自由表面のゆらぎは大きくなる。2 つ目は吐出角度が上向きに大きくなるほど、自由表面のゆらぎは顕著になる。3 つ目は自由表面が下向きにくぼんだ位置に渦度が集中し、その位置からのパウダーの巻込みが起こる。上に述べたように、得られた数値結果は水一油系の水モデル実験の結果に近いことが確認することができた。この研究成果はドイツの Steel Research に投稿を予定している。

ライデンフロスト点より高い温度の金属表面と衝突する超微小液滴の挙動

壁面過熱度が非常に高い領域を対象として、それに衝突する液滴径が数百ミクロンの微細な液滴の挙動の調査を行っている。また、数値流体力学の観点から、実測結果とよく一致する数値実験モデルを確立している。かつ、種々の無次元因子によって、高温壁面上の液滴の力学的かつ伝熱的な挙動特性の規範の確立を目指し、その成果をスプレー流やミスト流による高温金属の冷却能評価への適用を検討している。本研究の成果は米国の Trans. ASME. J. Fluids Engg. に掲載が決定している。

金属材料の成形限界の予測

板材成形の有限要素シミュレーションに延性破壊条件式を導入し、局所くびれの発生の有無によらない成形限界予測モデルの確立を目指している。これは延性破壊条件式から得られる値が一定値を越えると、それを形成限界とするもので、塑性特性の異なる種々の金属板に適用可能な成形限界の予測方法を検討している。この成果はドイツの Steel Research に投稿中である。

スプレー水による高温表面の冷却能評価

本研究は Leidenfrost 点を越える高温表面をスプレー水によって冷却する際の熱伝達率の評価を扱っている。この評価に関する研究は数多くあるが、大概は冷却媒体である水の体積流束の関数で与えられている。特定な条件下では妥当な評価を可能にしているが、別な条件下では適正な評価ができない。一般的には、液滴径、衝突速度および数密度によって評価すべきことを指摘し、新しい評価式を提案し、種々の実験条件下で検証している。この成果は ISIJ Int. に掲載が決定している。

教 授 八田 夏夫

助教授 宅田 裕彦

助 手 藤本 仁

宇宙資源エネルギー学研究室

1) 液一液抽出法による酸化物微粒子の回収に及ぼす金属塩添加の影響

資源の有効利用、地球環境保全などという観点から、未利用資源、都市・産業廃棄物から有用成分を分離する技術の開発が望まれている。この目的のため、エマルジョン系を利用する分離法が注目されている。本研究では、油一水系を利用した微粒子精製法を確立するための基礎的研究の一環として、自然親水性のシリカ及び自然疎水性のタルク微粒子を対象とし、界面活性剤等の捕収剤無添加のイソオクタン一水系を用いて、各微粒子の油滴への捕収現象に及ぼす金属添加剤の影響について油滴一粒子間相互作用の観点から考察を試みている。シリカ懸濁系に硝酸クロムなどの金属塩を添加すると、回収率があるpH値で極値をもつ傾向を認めた。また、タルク懸濁系では、あるpH域で本来の親油性を失われることを確認した。

2) 微粒子形態制御とリサイクル技術

近年、溶媒抽出した有機相から目的金属を直接微粒子として回収する晶析逆抽出法が盛んに研究されている。無電解メッキ廃液からの有価金属のリサイクル研究を行っている。また、晶析逆抽出に超音波を適用し、晶析したシュウ酸サマリウム微粒子形態が超音波照射によりどのように変化するかを検討している。更に酸浸出法による鉛蓄電池正極物質中のアンチモン除去、浮選法による人工ダイヤモンド中の未燃焼グラファイトの除去に関する研究、都市ゴミ焼却飛灰の安定化処理に関する研究などが進行中である。

3) 地球環境調和型材料プロセシングとリサイクル設計

地球環境やエネルギー問題に関連して今後大きな変革を遂げる可能性のある金属製錬プロセスの要素技術の一つに融体中に固気噴流を吹き込み固気液3相間の高速反応を行わせるインジェクション冶金操作がある。この技術は今後、リサイクル問題を組み込んだ形で新たな展開を計らねばならない。我々は高速製錬プロセスに関する物理モデル実験として固気噴流に随伴されたSO₂ガスのH₂O₂水溶液中への化学吸収速度を測定しつつある。

4) 非平衡エネルギー材料プロセシングに関する基礎的研究

太陽電池の普及には飛躍的な生産量の伸びが前提とされ、生産性の高い電析プロセスにも大きな期待が集まっている。電位制御のもとで、化学量論組成に近い化合物半導体の電析機構をイオンの移動速度の観点から検討している。化合物半導体の電析では構成成分であるカルコ

ゲンが水素発生阻害元素なので誘導共析現象が認められる。化合物半導体の非平衡析出機構が解明されれば、太陽電池の生産性が向上する。プラズマCVDなどの成膜過程でも多くの非平衡過程が複雑に絡み合い、特異な界面構造が成膜されている。これらのエネルギー材料プロセシングに種々のin-situ測定技術を導入して非平衡成膜過程を解析してゆく。

5) 宇宙ステーションでの非平衡電気化学プロセシング

宇宙空間での非平衡電気化学界面現象に対する理解はシャトルやステーション内のエネルギー変換及びライフサイクルの維持という面からも極めて重要である。電気化学工学分野の経験に基づいて、落下塔カプセル内に搭載したレーザー干渉計で微小重力場の電極界面現象をその場観察しつつある。現在、電析表面形態をSEM観察し、地上実験との差異を検討中である。微小重力場の銅の電析反応では10秒間という短い電解時間でも低指指数が優先的に成長する。これらの結果を踏まえて宇宙ステーション実験の準備が進行中である。更に宇宙空間における太陽エネルギー変換や資源エネルギー工学の確立を目指して、落下塔やロケット内で達成される短時間微小重力環境下のガス発生電極や結晶成長の研究を行ないつつある。

教授 中廣 吉孝

助教授 福中 康博

助手 日下 英史

材料設計工学研究室

SiO₂の化学結合状態と電子線エネルギー損失吸収端近傍微細構造(ELNES)

ELNESは非占有軌道の部分状態密度を反映するため、注目する原子の化学結合状態に関する情報を与える。また通常、透過型電子顕微鏡に取り付けられた装置を用いて測定が行われるため、局所領域の化学結合状態を得ることができる。ELNESはこのような優れた特性を有するため、未知の系への適用が非常に期待されているが、このELNESスペクトルを解釈するための標準的な解析方法が現状では存在しない。そこで本研究では、様々な結晶構造を有するSiO₂について理論計算によりELNESスペクトルを得る方法を確立し、化学結合状態とELNESの関係を明らかにすることを目的とした。

DV-X_a分子軌道法により電子状態の計算を行い、吸収端に対応する部分状態密度を得て理論スペクトルとした。また、理論スペクトルには入射電子線と試料内の電子との相互作用によって生じる内殻空孔の影響も考慮した。SiO₂についてELNESスペクトルの理論計算は、実験スペクトルをよく再現し、ピークに現れる特徴的な化学結合状態を理解することができた。またSi-L_{2,3}吸収端におけるスペクトルは、SiO₄四面体の連続様式を反映して各ピークが分裂することがわかった。SiO₂ガラスでは、SiO₄四面体の結合角を変化させ、結合角とELNESスペクトルの関係、さらにはSi-Oの化学結合状態との関係を明らかにすることができた。このようにELNESの実験と理論計算を組み合わせることにより、化学結合状態を実験的に評価することが可能になり、さらにはSiO₄四面体の結合角についての新しい情報をELNESにより与えることが可能になった。

イオン結晶中の点欠陥の電子論的研究

本研究では、イオン結晶中の点欠陥の特徴的な電子状態およびそれに伴う光学的・物理的性質との関連を明らかにした。特に、比較的遅れていた写真感光過程に対する理論研究を行い、重要なファクターを明らかにした。得られた主な成果は以下のとおりである。

1) アルカリハライド中のF中心波動関数は各結晶により空間的広がりが異なり、それに伴い空孔近傍の格子緩和量も大きく異なることを明らかにした。

2) AgCl結晶における格子間銀イオンは周囲のイオンと強く共有結合し、それ自身を安定化することを示唆した。特に銀イオン間の共有結合が顕著であり、銀イオンの基本的電子構造と不純物準位によるものであることを明らかにした。

3) AgBr結晶では格子間銀イオンは周囲の銀イオンとの強い共有結合によって銀クラスターを形成し、AgIでは銀クラスター形成に寄与するような結合は生じないことを明らかにした。この化学結合状態の違いによってAgBrとAgI結晶の感光性の違いが説明できることを示した。

4) ハロゲン化銀中での銀クラスター形成の際、格子間イオン間の結合ではなく結晶格子点上の銀イオンとの結合が重要であることを明らかにした。これは特に岩塩

型構造のハロゲン化銀で顕著であり、従来の写真感光メカニズムでは考慮されていなかったクラスター形成における結晶格子点上の銀イオンの重要性を指摘した。

MgO, KMgF₃およびAl₂O₃中の遷移金属不純物による多重項構造の第一原理計算

近年固体波長可変レーザー材料の候補として、酸化物およびフッ化物中に遷移金属不純物を固溶させた物質が注目されている。これらの物質の光学的性質は不純物原子のd電子間の多体効果により生じる多重項と呼ばれるエネルギー状態によって決まる。多重項状態の解析には、結晶が特定の対称性を有する場合は配位子場理論(LFT)に基づく半経験的な方法が適用できるが、対称性が異なる場合や格子がひずんでいる場合などに適用できる一般的な解析方法は存在しない。そこで本研究では任意の環境における多重項状態のエネルギーを第一原理計算により評価する計算プログラムを開発し、実験スペクトルとの対応を検討した。

一電子近似に基づく電子状態計算法であるDV-X_a法を拡張し、電子間の多体効果を摂動として取り入れ、多重項エネルギーを計算した。その際、正八面体型のみに適用できる方法(DV+LFT法)と電子間の反発を任意の環境において正確に評価できる方法(DV多重項法)の2通りの方法で第一原理計算を行った。その結果、計算プログラム(DV多重項法)は電子間の反発エネルギーを正確に評価し、対称性の低い系の多重項構造の解析に対しても有効であることが示された。この方法をより発展させることにより、光学スペクトルの解析や発光素子の設計指針に有効であると考えられる。

3d遷移金属化合物における欠陥構造の化学結合に関する理論研究

本研究は、電子状態の理論計算を用いて、3d遷移金属化合物の化学結合を系統的に議論し、さらに固溶元素や界面などの欠陥構造における化学結合についての研究を行った。主な結果は以下の通りである。

1) チタン化合物ではチタンと非金属元素間の結合が支配的であり、全体の共有結合性は非金属元素の原子番号が大きくなると低下する事を明らかにした。

2) 3d遷移金属炭化物では、金属原子間の結合が炭素の割合や遷移金属の種類によって大きく変化することを示し、そのメカニズムを明らかにした。

3) セメンタイト中の固溶元素は金属原子間の結合に大きな影響を及ぼすこと、固溶元素による硬度変化は金属原子間の結合の変化が重要であることを指摘した。

4) 鉄/チタン酸化物界面では、鉄/チタン炭化物や窒化物界面に比べ共有結合が非常に小さいことを明らかにし、界面における化学結合が鉄中のチタン化合物の核生成能を支配していることを指摘した。

教授 足立 裕彦

助教授 田中 功

助手 西谷 滋人、小笠原一穂

表面処理工学研究室

パルス電解法による鋼表面のFe-Cr合金化処理

めっきの分野において電位や電流を周期的に制御するパルス電解法が注目されている。パルス電解により、結晶粒の微細化といっためっき物の形態制御に加え、直流電解では得られない組成の合金電析が可能になる。しかし、これまでの合金めっきでは、合金成分となる金属すべてのイオンを含む電解浴を用いるのが常であった。これに対し本研究では、合金共析させる金属成分の一つを母材すなわち電極自身とするプロセスを考えた。すなわち、母材となる鋼をCr³⁺溶液中でアノード溶解し、直後にカソード分極によって電流を反転し、溶出した鉄イオンと浴中のCr³⁺イオンを共析させる。このサイクルを繰り返し、鋼表面にFe-Cr合金層を形成させた。

得られた電析物は金属光沢をもつアモルファスであり、90at%以上のクロムを含有する瘤状の表面層と、クロム／鉄比が連続的に変化する層から形成されていた。ESCAからはクロムおよび鉄はいずれも金属状態であることがわかった。

湿式法によるCdTe半導体薄膜の作製に関する研究

CdTeは最も高い太陽光エネルギーの理論変換効率をもつ太陽電池材料の1つである。当研究室ではこれまでに、酸性浴よりテルルの溶解度が大きく、組成制御が容易なアンモニアアルカリ性浴からの電析により、結晶性CdTe薄膜が得られることを見出した。本研究では、低過電圧および低金属イオン濃度での電析により、より緻密な電析膜を得ることを目的とした。

総NH₃濃度5M, Cd(II)/Te(IV)比3の電解浴を用い、カソード電位-0.70V vs SHEでの電析において、平滑かつ緻密な結晶性薄膜を得た。また、カソード電位-0.75V vs SHEにおいて浴中のCd(II)およびTe(IV)イオンの総濃度を減少させても同様の膜が得られた。浴中のCd(II)/Te(IV)イオン比が低い浴からはTeを过剩に含むアモルファスが電析するが、Cd(II)/Te(IV)イオン比が4以上の浴からはCdTe結晶性薄膜が再現性よく電析した。結晶性CdTe電析膜は-0.3~-0.7V vs SHEの広いカソード電位領域で得られた。電析CdTe薄膜はいずれもn型の半導体特性を示したが、熱処理により、特性はp型へと変化した。また、光照射することにより、電析電流密度が著しく増大する興味深い現象が見られた。

2価クロムイオンを含む硫酸浴からのZn-Cr電析

Zn-Cr合金めっきは既存の亜鉛めっきに比べて高耐食性を示すなど優れた特性をもち、次世代の表面処理技術として期待される。これまでのZn-Cr合金めっきの研究では3価クロム浴が用いられているが、水分子との結合が強いCr³⁺イオンは、還元しにくいイオン種である。したがって、Cr³⁺を一旦2価クロムイオンCr²⁺に還元した後、Zn²⁺イオンとともに建浴して合金めっきを行えば、金属クロムが析出しやすくなることが期待される。

これまでに当研究室で、Fe-Cr-Ni合金電析において、Cr²⁺を含む浴を用いたところ、Cr³⁺を含む浴を使用する場合に比べて高い電流効率でクロム含有率の高い電析膜が得られた。本研究では、Cr²⁺を含む硫酸浴からZn-Cr合金の高速めっきを行った。

Cr²⁺浴とCr³⁺浴を比較した場合、Cr³⁺浴からの電解では、通電量の増加とともに電析物のクロム含有量は低下し、亜鉛の析出が顕著になった。また、同通電量で比較すると、Cr²⁺浴からの電析物のクロム含有量が高かった。X線回折は、電析物がアモルファスZn-Cr合金およびクロムを固溶した亜鉛の微結晶からなることを示唆した。すなわち、電析初期には島状の亜鉛の微結晶とそれを取り囲むアモルファスZn-Cr合金相が析出し、時間の経過とともに亜鉛の微結晶を覆うようにアモルファスZn-Cr合金が成長すると考えられた。また、Cr²⁺浴においてもCr³⁺浴と同様に、適量のポリエチレングリコールの添加によって亜鉛の析出を抑制しなければ、クロムと亜鉛を共析させるのは困難であることが明らかとなった。

非硫酸発生型の新しい銅資源処理技術の開発

臭化物を含む塩化第二銅水溶液を硫化銅精鉱からの銅の浸出に使用し、イオウを元素状で回収する新しい銅の湿式製錬法の開発に取り組んでいる。この方法の特徴は浸出液に臭素ガスというボテンシャルの高い酸化剤を含ませることにより、従来の湿式製錬法では困難とされている金や銀などの貴金属回収をめざす点にある。

熱処理によって均質化した種々の産地の銅精鉱をCuCl₂, HCl, NaClをそれぞれ1.0, 0.2, 2.0M含む水溶液で浸出したところ、20時間程度でほぼ全量の銅および鉄が浸出され、元素状イオウを主体とする残渣が得られた。熱処理を施していない精鉱ではより長い浸出時間を要した。また、溶存臭素ガスによる金の溶解過程を詳細に調べ、溶解速度が酸化剤である臭素濃度の増加、共存する塩化物イオンの減少とともに増加することを明らかにした。

誘起共析型合金めっき浴の構造解析

モリブデンやタンクステンは水溶液からは単独では電析しないが、ニッケルなどの鉄族イオンおよびクエン酸などの錯化剤の共存により、Ni-Moといった合金として電析することが知られている。本研究では電解浴の可視吸収スペクトルを、因子分析といった新しい手法により解析することで、浴組成が変化したときに観測される電析状態と浴中の化学種の相関関係を明らかにしようとするものである。

Ni-Mo合金電析浴(pH=5)に関して解析を行ったところ、MoO₄²⁻単味浴およびMoO₄²⁻-Ni²⁺浴では多数の金属イオンを含むクラスタを形成しているのに対し、適量のクエン酸を添加することで、クラスタがこわれ、電析が可能な状態になっていることが明らかとなった。

教授 粟倉 泰弘

助教授 平藤 哲司

助手 邑瀬 邦明, 林 好一

プロセス設計学研究室

物質情報工学

当研究室では、素材プロセスのエネルギー高効率利用を目的としたプロセス設計の基礎研究、還元拡散法による機能性合金の生成機構、さらにはX線を用いた非破壊迅速材料評価法の開発など、広い範囲にわたって研究を進めている。以下に現在の進行状況の概略を紹介する。

固気トップインジェクションの反応工学

従来、NaOH水溶液にアクリル樹脂粉体をCO₂-N₂混合ガスとともに吹き込むコールドモデル実験と1250°Cの溶融銅に銅粉末をアルゴンガスとともに吹き込む高温実験を行い、吹き込まれた固気噴流と液体間の物質移動に関しては無次元式Sh=2.5(Re•Sc)^{0.8}、熱移動に関しても同様のNu=2.5(Re•Pr)^{0.8}が得られた。これに引き続いて、現在、幅1.8m、高さ80cm、厚さ15mmのアクリル樹脂製の2次元容器に水を入れ、容器中央部から固気噴流を吹き込み、流体の流動について検討しつつある。上記の情報はバス・スマルティングの炉設計の基準を与えるものである。

無鉛はんだの開発

現在、膨大な数の電子デバイスが使われており、これのパッケージングにSn-Pb系のはんだが用いられている。Pbの有毒性を考慮して、無鉛はんだの一つSn-Bi系はんだの銅板への濡れ性をフラックスを用いずにメニスコメータによって測定したところ、従来のSn-Pb系と同程度の値を得、いずれの場合にも濡れないことがわかった。一方、帝国メタル工業(株)製のフラックスFR-207およびFR-384を銅板に塗布し、210~270°Cの温度範囲でSn-Bi系はんだの広がり試験を行ったところ、FR-384に比べてFR-207の方が広がりが約30%大きかった。しかし、Sn-Pb系はんだに比べるとFR-207を用いた場合でも広がりは3分の1程度で、Sn-Bi系用のフラックスの開発が望まれる。

還元拡散法による機能性合金の生成機構

希土類元素を含む化合物・合金はさまざまな特性にすぐれたものが多く、その効率的な製造法の確立が望まれている。カルシウムなどを還元剤として用い、希土類酸化物から1段階で金属間化合物を製造する還元拡散法は、有望な方法の一つである。これまで主として軽希土類元素-遷移元素(Fe, Ni)系についてその生成機構を明らかにし、化合物の生成速度の測定を行ってきた。今回は重希土類元素の系としてTb-Fe系を取り上げ、TbFe₂化合物が得られる条件で行ったところ、比較的短時間でTbFe₂が生成するものの、時間の経過とともにTb₆Fe₂₃あるいはTb₂Fe₁₇の生成量が増大した。重希土類の化合物についてはX線回折などの情報が整備されていないこともあり、新しい化合物が発見できる可能性のある分野である。

材料のキャラクタリゼーションの新しい手法の開発や、新しい物理・化学現象の発見およびそのプロセス工学への応用を行なった。列挙すると、

(1) 全反射X線を用いたX線光電子分光法の応用を行なった。有機金属多層膜やモリブデン多層膜の表面から10nmまでの深さの多層膜構造、界面構造、島状構造、化学状態がわかる事を示した。また、X線光電子スペクトルの形状変化によって、固体中の電子の非弾性平均自由行程を測定する方法を開発した。

(2) ホウ素化合物のX線共鳴ラマン散乱スペクトルが、特定のエネルギーのX線を用いるとき、極めて強調される事を見出した。この現象によりホウ素化合物の電子状態、キャラクタリゼーションが従来にくらべ有効に行なう事ができる事を示した。

(3) 強力なX線が、絶縁物の帯電によって放射される事を発見し、そのX線放射の詳しいメカニズムと、発生条件を実験により決定した。3kVの電圧のとき3×10⁻²~4×10⁻²Torrという極めて狭い範囲の真空度の時にのみ強力なX線が発生し、ポータブルで安全なX線源になる可能性を示した。

(4) 亜鉛流動焙焼炉焼鉱の硫黄の化学状態を、試料電流計測によって分析し、焙焼炉操業に関連して残留硫黄の低減方法を提案した。

(5) 蛍光X線ホログラフィー法が、将来、構造解析にとって重要な役割を果たす可能性がある事を指摘した。

(6) 生理的食塩水の一方向凝固において、酸素の共存下では磁場効果がある事を実験的に確認した。

(7) 分子軌道法により、コバルト酸化物のスピントラベルとX線光電子分光法で得られるスペクトル形状との関連を研究した。

教授 朝木善次郎

助教授 河合 潤

助手 田辺 昊生

マイクロ材料科学研究室

p型GaN化合物半導体へのオーム性電極と界面反応

近年、GaN系化合物半導体を用いた青色発光ダイオードが実用化され、現在は青色レーザダイオードの実用化に大きな期待が寄せられている。しかし、その実現には種々の課題が残されている。本研究はその課題の一つであるp型GaNに対する低抵抗オーム性電極材料の開発を目的としている。本年度は、熱安定性に優れると期待される高融点金属(Ti, W, Mo, NiおよびTa)を選定し、電気的特性およびGaNとの反応性を調べた。その結果、Taが800°Cの熱処理後に著しい接触抵抗の低下をもたらすことが判明した。また、GaNと金属間の界面反応性は熱化学データから予測可能であり、Taの場合接触界面近傍にTaGa系の化合物生成が認められた。接触抵抗低下の原因は現在のところ不明であるが、界面障壁高さの低下に起因しているとも考えられる。

ダイヤモンド表面からの電子放出素子

ダイヤモンド半導体は、負性電子親和力を持つと予測されたため低電圧で動作する電子放出素子として期待されている。本研究の目的は、高効率な電子放出特性を持つダイヤモンド電子エミッター素子の電子注入機構を解明するとともに新電極材料を開発することにある。電子エミッター素子の性能を決定する基本的過程は、①ダイヤモンド中への電子注入特性、②ダイヤモンド中の電子伝搬特性、ならびに③ダイヤモンド表面からの電子放出特性にそれぞれ分けられる。本研究においては、目的を項目①に絞り、高い電子注入効率を持つ電極材料を開発することを目指す。本年度は、(1)高精度高圧電源と温度可変型高真真空クライオスタットとを組み合わせた電子放出電流測定システムを完成させた。(2)n型Si基板上に成長させたp型多結晶ダイヤモンドおよびダイヤモンド状カーボンの電子放出特性を測定し、ダイヤモンド表面からの電子放出機構が障壁トンネル型であることを確認し、電子放出が他の金属に較べて容易に起こることを見出した。

ZnSeII-VI族化合物半導体のオーム性電極材料

近年、光エレクトロニクス分野においては青色レーザダイオードの実用化は、20世紀最大の緊急課題である。ZnSe系のII-VI族化合物半導体を用いた青緑色レーザダイオードは、現在のところデバイス寿命が約1時間であり、実用化には10000倍寿命をのばす必要がある。素子の発光寿命が短い最も大きな原因是、金属とp型ZnSeとの接触抵抗が高くオーム性を示さないことがある。これまで、本研究室では、p型ZnSeへの低抵抗なオーム性電極材料の開発を目指してきが、本年度は、金属/p型ZnSe界面の電気伝導機構を解明し、オーム性を得ることが難しい原因を究明した。即ち、金属/p型

ZnSe界面のエネルギー障壁は金属の種類に依存せず、約1.2eVである。この値はオーム性を得るために非常に大きな界面障壁であり、その障壁低下の困難性から低抵抗オーム性電極を得ることが困難であることを結論した。

RFスパッタリング法によるp型GaAsに対するInGaAs基オーム性コンタクトの作製

当研究室では、これまでの研究によりn型GaAsに対して熱安定性に優れたInGaAs/Ni/W₂N/Wオーム性コンタクトの開発に成功している。そこで、本年度ではp型GaAsに対するInGaAs基オーム性コンタクトを作製し、n型GaAsおよびp型GaAsに対して同一のコンタクト材が適用できるかを検討した。

その結果、p型GaAsに対するInGaAs基オーム性コンタクトの接触抵抗値は、H₃PO₄水溶液を用いたエッチングにより減少し、エッチング深さ150nmで最小値を示した。接触抵抗値の最小値は0.2Ωmmであり、現在実用化されているAuZn基およびTiPtAu基オーム性コンタクトに比較して低い値を示した。接触抵抗値は、400°C, 5hrの熱処理に対して一定であり、実用化の条件を満足した。本研究結果より、n型およびp型GaAsに対して同一材料を用いたオーム性コンタクトの作製が可能であることを初めて見出すことができた。この結果は、マスク工程の単純化およびデバイス作製に対するコストの削減が期待できることを示している。

ULSI-Siデバイス用のCu配線に対する拡散バリア材の熱的安定性に関する研究

本研究では、Cu配線材のULSIデバイスへの実用可能性に向けて、Cu配線のエレクトロマイグレーション耐性評価用試料をダマシン法により作製し、この試料に対してバリア材の熱的安定性および耐Cu原子拡散について評価することを目的とした。本実験では、Si(TEOS)/TaN(25nm)/Cu(750nm)をRFスパッタリング装置により作製することができた。Cuの配線パターンのステップカバレッジは、500°C, 30minのリフローを行うことで得ることができた。バリア材およびCuの埋め込みについては、走査型電子顕微鏡を用いた観察により良好に埋め込まれていることを確認できた。バリア材の熱的安定性および耐Cu原子拡散をX線回折分析より評価したところ、ダマシン構造でのTaNバリア材は600°C, 30minまでCu原子拡散を抑制し、かつ熱的に安定であることを示した。本研究により得られた知見は、TaNをバリア材として使用した配線材の実用化に対して有望であることを示した。

教授 村上 正紀

助教授 小出 康夫

助手 森 英嗣

量子材料学研究室

量子材料学分野では、金属合金・化合物の磁性に関する研究を行っている。

本年度はあらたに磁場中比熱測定装置が完成した。また新たに8T超伝導マグネットを導入し、3端子容量法による磁歪測定を復活した。従来からある比熱、磁化率、電気抵抗等の巨視的物理量の測定やNMR、メスバウア効果の測定装置も順調に稼働している。

1. フラストレート磁性体 YMn_2 の NMR

磁気相互作用のフラストレーションは磁性体の基底状態や転移点近傍における特異な物性の原因となる。 YMn_2 はその Mn サイトが完全フラストレート系であり、その磁性に対するフラストレーションの効果が期待される。われわれはこれまでに低温の長周期ヘリカル磁気構造や高温の巨大なスピンの揺らぎなどの特異な磁性をフラストレーションの関連で議論してきている。本年度は NMR を主な手段として YMn_2 の磁性を再検討した。 YMn_2 の磁気秩序状態で NMR スペクトルを測定すると同時に、スピンエコー減衰時間 T_2 の周波数依存性を測定したところ、大きな周波数変化が観測された。そこで、この影響を考慮した補正を行ったところ、スペクトルは等しい強度のダブレットとなった。この結果は中性子回折をもとに提唱されていたヘリカル構造を仮定して矛盾なく説明することができ、以前から問題となっていた NMR と中性子回折との不一致を解消した。また、 YMn_2 の Y を Tb でわずかに置換するとヘリカル変調方向が変化することを、中性子回折実験で新たに見出した。それに対応して、NMR スペクトルも変化し、それは YMn_2 の解析に用いてのと同じモデル・同じパラメータを用いて矛盾なく説明できることがわかった。

2. $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ の温度と磁場による価数転移

Eu は希土類の中で価数揺動を起こすメンバーの 1 つで、平均価数が温度によって大きく変化することが特徴である。われわれは磁場による価数転移を通して、 Eu の価数揺動を理解する手がかりを得ようとしている。前年度までに、 $\text{Eu}(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_2\text{Si}_2$ においてシャープなメタ磁性を観測し、これが磁場による価数転移であることを明らかにした。本年度は新たに $\text{EuNi}_2(\text{Si}_{1-x}\text{Ge}_x)_2$ という系が $x=0.8$ 附近で磁場と温度による価数転移を示すことを見いだした。この系は $x=1.0$ では全温度範囲で Eu は 2 値を示し、低温で反強磁性になる。一方、 $x=0$ では Eu は 3 値の状態にある。その中間組成の $0.7 \leq x \leq 0.82$ において温度による価数転移が生じる。またこの付近の組成でメタ磁性を観測した。この系は $\text{Eu}(\text{Pd}_{1-x}\text{Pt}_x)_2\text{Si}_2$ に比べて広い温度範囲で価数転移温度を制御できるところが魅力である。一方、このような温度による価数変化と磁場による価数転移を配置間揺動モデルによって検討した。その結果、価数の温度変化が連

続的であっても磁場変化は一次転移的になりうることが示された。これは EuPd_2Si_2 の温度と磁場による価数転移の特徴をよく説明している。

3. 反強磁性-強磁性を示す $\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2$ の磁場中比熱

$\text{Ce}(\text{Fe}_{1-x}\text{Co}_x)_2$ は $0.04 < x < 0.3$ で低温で反強磁性、高温で強磁性相を示す興味深い系である。われわれは以前この系の低温比熱を測定し、その組成変化から、強磁性の電子比熱係数 (γ_F) が反強磁性のそれ (γ_{AF}) より大きいことを見いだし、この結果に基づいて熱力学的な関係を提唱した。この系の反強磁性-強磁性転移は磁場によって引き起こるので今回、磁場中比熱測定装置を作製し、 $\gamma_F > \gamma_{AF}$ を確かめることにした。 $x=0.1$ の電子比熱係数の磁場依存性を調べたところ、反強磁性で γ_{AF} は磁場に依存しないものの、磁場が 6T を越えると γ が大きく増大すること、また強磁性になると磁場とともに γ が減少することが明らかになった。この γ_F の磁場依存性は CeFe_2 ($x=0$) でもみられ、スピンの揺らぎが磁場によって抑えられる効果であると考えられる。これらの結果から $x=0.1$ では γ_F が γ_{AF} よりも 1.4 倍大きいことが立証された。

4. 一次の価数転移を示す YbInCu_4 の磁気体積効果と NMR

YbInCu_4 は Yb 系で唯一の一次の価数転移を起こす物質であり、その起源が注目を集めている。この物質の磁歪と NMR を測定した。磁歪は三端子容量法を用いて、磁場は 8Tまでの範囲で測定した。 T_v 以上では磁歪のふるまいは古典的な局在モーメントモデルを用いて説明することができた。 T_v 直下では磁場誘起価数転移に伴う大きな体積の収縮が観測された。 T_v 以下の低温状態では磁場と平行方向に一度のびてから縮むふるまいが見られ、結果として低磁場では体積磁歪がほとんどない状態が観測された。これはコヒーレントフェルミ液体状態の特徴として解釈された。一方、NMR を用いて ^{63}Cu と ^{115}In のナイトシフトの温度変化を測定し、超微細結合定数を評価した。 ^{63}Cu と ^{115}In 位置での超微細磁場は価数転移点で全く異なる温度変化を示し、Yb と配位子との相互作用が異方的であることが示唆された。このことは、 YbInCu_4 の T_v 以上の状態が半金属的であることを深く関わっている。これらの結果、すなわち大きな磁気体積結合および非金属的な電子状態をキーワードとして一次の価数転移の起源を議論した。

教授 志賀 正幸

助教授 和田 裕文

助手 中村 裕之

結晶物性工学研究室

TiAl/Ti₃Al ラメラ組織の破壊

次世代の耐熱構造用材料として有望な TiAl 系金属間化合物において、韌性が高いことで注目される TiAl 相と Ti₃Al 相が層状に積層したラメラ組織について、単結晶状試料を用いて、その破壊韌性に及ぼす環境・破壊速度・組織の影響について研究している。

具体的には、ラメラ組織を持つ単結晶状の PST 結晶を育成し、これから様々な結晶方位をもつ試料を作製した。疲労亀裂を予亀裂として、これらの三点曲げによる破壊韌性試験を環境、荷重速度、組成を変化させて行い、得られた韌性値と破壊機構を相互に比較検討している。さらに SEM 内で同様の試験を行い、亀裂の進展をその場観察することで、破壊挙動を明らかにすることを試みている。

得られた結果は次の通りである。

(1) ラメラ組織中を進展する亀裂は、主亀裂先端付近に発生したマイクロクラックが成長し連結することにより進展することが、SEM を用いた亀裂のその場観察より明らかになった。

(2) 機械的特性が結晶方位により大きく異なるラメラ構造では、環境、速度、組織の効果も結晶方位により異なった。

ラメラ界面に平行に破断する方位では、いずれの場合においても韌性の低い脆性な破壊をする。ラメラ界面に平行な破断は Ti₃Al 層内で起こると考えられる。

一方、ラメラ界面に垂直に破断する方位では、

(1) 真空度が上がるに従い韌性値は増大した。また、大気中で破断した場合、破面には顕著な劈開割れが観察されたが、真空中では破断した場合には規則性のない破面が観察された。

(2) 大気中では韌性値は荷重速度の影響を受け、高速破壊では低速破壊より大きくなかった。また、新空中では韌性値は荷重速度の影響を受けなかった。韌性値の比較と破面観察の結果から、真空中の韌性は荷重速度に依存しないと考えられる。また、大気中で韌性の荷重速度依存性が見られたのは環境脆性の影響であると考察た。

(3) ラメラ組織を構成する各層を同時に横切る方位では、ラメラ組織を構成する Ti₃Al 相の体積率の増加により韌性値は増大した。一方、各層を交互に横切る方位ではラメラ界面に平行なディラミネーションの発生により韌性試験に必要な長さの疲労亀裂を導入することができなかつた。

Ti₃Al の結晶塑性

Ti₃Al は Ti-Al 系金属間化合物の一つであり、Ti-Al 系金属間化合物の中で最も注目されている TiAl(γ)/Ti₃Al(α_2)二相化合物の構成相でもある。そのため Ti₃Al の基本的变形挙動を理解することは重要である。Ti-

25.5at.%Al, Ti-30.5at.%Al, Ti-36.5at.%Al を用い、活動すべり系とその C.R.S.S. の温度依存性を組成の関数として調べるとともに、変形組織の観察を行った。本研究によって得られた結論は以下の通りである。

(1) Ti₃Al の活動可能なすべりは {1100}<11\bar{2}0>柱面すべり、(0001)<11\bar{2}0>底面すべり、{11\bar{2}1}<\bar{1}126>錐面すべりの 3 つである。

(2) 調べた全温度域において底面すべりの C.R.S.S. の組成依存性は柱面すべりのそれより小さく、Al 濃度が増加するに従って底面すべりは容易になる。

(3) 錐面すべりの C.R.S.S. は温度上昇に伴って増加し、逆温度依存性を示す。ピーク温度の前後では変形機構が異なる。

(4) 柱面すべりの活性化体積は Al 濃度の増加に伴って減少し、その中間温度に現れる不連続性の程度は、化学量論組成を有する Ti-25R.%Al では非常に大きいに対し、Ti-30.5at.%Al では小さい。

(5) 柱面すべり、底面すべりで活動する a 転位は APB を挟んで 2 本の超格子部分転位に分解するが、他の超格子部分転位と双極子を形成することが多い。また、低温ほどらせん成分を優勢に持つ傾向が強い。

(6) Ti-36.5at.%Al では荷重軸と底面とのなす角が大きいとき 1000°C付近で双晶変形する。その双晶要素は K₁(4132), η_1 無理指数, K₂無理指数, η_2 [13, 3, 10, 10] であり、変形双晶としてはほとんど観察されていない第 1 種双晶である。

遷移金属ダイシリサイドの変形と格子欠陥

遷移金属ダイシリサイド MoSi₂ は、融点が 2020°C と高く、Ni 基のスーパーアロイに比べて軽量で、非常に優れた耐酸性を示すため、次盛大の超高温構造材料の有力な候補として注目されている。我々の研究室では C11₁ 型結晶構造を有する MoSi₂ と WSi₂ 単結晶の変形挙動に関する研究を続けている。両者の物理的性質（融点、格子定数、電子構造など）はよく似ているにもかかわらず、変形開始温度、活性化するすべり系などの機械的性質は大きく異なり、その原因是、WSi₂ には結晶育成中に

(001) 面上に多くの積層欠陥が導入されるが MoSi₂ にはほとんど導入されない点にある。そこで、(001) 面上の積層欠陥をキャラクタライズしその形成機構を調べ、MoSi₂ と WSi₂ の中間の組成を有する (Mo, W) Si₂ 単結晶を用いて、(001) 面上の積層欠陥の密度と力学特性（変形挙動、破壊韌性値）との関連について現在研究している。

教 授 山口 正治

助教授 乾 晴行

助 手 JOHNSON, David R.

格子欠陥物性学研究室

結晶性材料の強度などの特性を基礎的見地から理解することを目的として、それらの材料特性を決める重要な因子である結晶欠陥や相転移の振る舞いを理論と実験の両面から研究している。以下に今春提出された修士論文の概要を示す。

FePd の規則化過程に及ぼす外部磁場・外部応力の効果

L1₀型規則合金である FePd は、高保磁力磁性体であり、1 軸磁気特性を示す磁気材料としても大変有用な機能材料である。しかし、FePd の規則相には 3 種類のバリエントが存在し、試料全体として単一 c 軸領域が形成されず、1 軸磁気特性を低下させる結果となっている。

本研究においては、外場をかけて規則化させると規則相の生成比率に変化が生じるのではないかと考え、FePd の規則格子の軸比が 1 以下の正方格子であること、およびその c 軸方向に 1 軸磁気異方性を有することに着目し、圧縮応力や外部磁場を凍結不規則試料の [001] 方向にかけながら規則化させた、その結果、3 種類のバリエントの生成比率が等しくならず、外場方向に平行な c 軸を持つバリエントが優先的に生成することが明かとなった。磁場中での規則化については、1 時間時効と 2 時間時効の場合を比較すると、2 時間時効の場合の方が外場方向に平行な c 軸をもつ規則相の生成比率は高かった。また、不規則相中に生成する全規則相の体積分率は、外部磁場が強いほど増加していた。応力下時効においては 1 時間の時効のみを行ったが、圧縮応力 (40 MPa) 方向に平行な c 軸をもつ規則相の生成比率は、磁場の場合に比較して多少高かった。しかし、全規則相の体積分率は非常に小さかった。また、圧縮応力を負荷したまま、転移温度以上からそれ以下の温度に徐冷した試料については、試料全体において単一 C 軸構造を形成することが確認された。

α 鉄中のクロムおよびマンガンと窒素の相互作用

高純度鋼を基にした合金開発を系統的、組織的に進めためには個々の添加元素がその性質を与える影響を知るとともに複数の元素を添加した場合の相乗効果も明らかにする必要がある。そこで本研究では α 鉄中の窒素とクロムおよびマンガンとの相互作用について 2 つのアプローチにより調べる。1 つは液相および γ 相でよく行われている熱力学的な活量測定による方法、もう 1 つは内部摩擦および磁気余効を用いた方法である。活量測定の実験では、測定精度の問題はあるものの、相互作用母系数の温度依存性を表す理論式を用いることにより窒素とクロムの相互作用エネルギーを約 0.23 eV、窒素とマンガンの相互作用エネルギーを約 0.20 eV と見積った。また内部摩擦および磁気余効による実験では、得られたプロファイルを理論計算プロファイルと比較することに

より窒素とクロムの相互作用エネルギーを約 0.17-0.19 eV と見積った。内部摩擦および磁気余効法により得られた相互作用エネルギーは比較的精度が高く、また活量測定による実験からも近い値が得られたことから、見積った相互作用エネルギーの値は信頼性が高いと考えられる。

Ni₃Ga の欠陥構造

L1₂型構造をとる金属間化合物である Ni₃Ga 中の欠陥構造について調べた。中でも、空孔形成エンタルピーの値とその組成依存性、規則度の温度依存性、および、組成依存性を測定した。方法として陽電子消滅法により空孔の高温での挙動を、4 軸 X 線回折法により規則度の測定を行った。

その結果、Ni₃Ga においては構造空孔は存在しないことが明らかになった。また、空孔形成エンタルピーの値は 1.7-1.8 eV と測定され、Ni₃Al についての報告値 1.73-1.84 eV に近い値をとるといえる。組成依存性については、Ni-rich よりも Ga-rich の方が空孔形成エンタルピーは低い値になった。Ni₃Al の場合は Al 濃度上昇に伴い空孔形成エンタルピーは低い値をとると報告されているので、Ni₃Ga の場合も同じ傾向であるといえる。規則度については 1100°Cまで測定を行ったが、焼鈍温度の上昇による有意な規則度の低下は見られなかった。

教授 小岩 昌宏

助教授 沼倉 宏

助手 田中 克志

材料物理学研究室

当研究室では、超伝導材料における実用化のための超伝導特性の向上、また磁束の侵入に関する理論的研究と、メゾ構造制御による高強度 Al 合金の開発、および、合金の相分解現象についての研究を行っている。以下に、昨年度の当研究室における成果を紹介する。

Bi 系酸化物超伝導線材の臨界電流密度の向上

酸化物超伝導体を実用化するためには線材での特性(臨界電流密度)の向上が必要である。銀シース Bi2223 テープ材における臨界電流密度は微細組織、特に 2223 相の析出量や結晶粒の配向性などに強く影響を受ける。そこで、従来の研究によって得られた最適条件下でのプロセスにおいて添加元素として Li, Ga を加えた場合の組織変化と超伝導特性について調べた。

Li 添加については 2223 相の増加の報告例があるが、一段目の 2212 相生成に対しては促進、二段階目の 2223 相生成については抑制するという結果となった。Ga に関しては 2223 相の組織の著しい劣化が認められた。

また、2223 相の配向性に関して超伝導電流の Railway Switch model に基づく解析により、テープ面と結晶粒の配向角は約 8 度であることがわかった。

X 線、 $J_c - \theta$ 各々からみた配向性、 J_c の間の相関については今後の課題である。

Nb 基多層超伝導体のピンニング特性

超伝導材の臨界電流密度 (J_c) の向上に重要な役割を果たす、磁束ピンニングについての研究を行っている。ピンニングセンターの導入方法は多種知られているが、そのうち、複合加工法により数十 nm のメゾスコピックスケールの微細な組織を形成させることでピンニングセンターをつくる方法をとった。第二種超伝導体の Nb に対しピンニングセンターとして常伝導の Cu 及び Cu 合金を利用した人工ピンニング導入により超伝導特性の向上を計った。材料は箔から出発し、Jelly-Roll 法により得た多層材を熱間押し出し、溝ロール圧延、線引き等により綿材に加工したものと、繰り返し圧延による多層膜材を用いた。

これらの試料について組織観察および臨界電流、臨界温度 (T_c) を測定した。その結果、層間隔が小さくなるにつれ、 J_c は高くなるが、小さすぎると逆に J_c は小さくなり、 T_c は低くなることが分かった。ごく薄い場合の J_c 、 T_c の劣化については材料の加工不均一性と、近接効果による影響を考察した。

T_c の劣化は一次元多層モデルで定性的には説明されることがわかった。

第二種超伝導体における磁束格子の観測と理論との対応

第二種超伝導体の混合状態では、磁束は量子化される。ある条件のもとで GL 方程式の解を求めるとき磁束は三

角格子を組むことがわかる。そこで、磁束格子の周期的変調を中性子を用いた Bragg 散乱によって観測した。その結果、三角格子ではあるが初期の理論より予測される 6 回対称ではなく 2 回対称をもつ歪んだ格子が観測された。また、外部磁場と結晶方向の相対的な関係を変えて調べることで、磁束線が結晶の対称性の高い方向に沿う傾向にあることがわかった。

高強度 Al 基合金のメゾスケール構造における材料設計

従来より当研究室ではメゾスケールの構造を制御し Al 合金の高強度化はかっている。今までに析出強化型の Al-Zn-Mg-Cu 合金のアトマイズ粉に微量元素として Mn を添加し熱間押出した合金で高強度が得られている。そこで Zn, Mg による析出硬化を定量的に評価することを試みた。Zn, Mg 量の異なる 7 種類の試料について、放射光小角散乱測定により微細組織に関する情報を得た。その結果、Mg 量の少ない試料では、他の試料と比較して析出物の粒子間距離が大きくなっていること、数密度および体積分率が少なくなっていることがわかった。このことは、この Mg 量の少ない試料で硬度が低いことに対応している。機械的性質と構造パラメータの関係は、整合歪モデルにより説明される。高強度化にとって重要な析出物の体積分率と母相と析出物相の間の整合歪量の増加を、小角散乱法により得られた構造パラメータと硬度、降伏強度の関係を整合歪モデルに基づいて整理した。

その値は組成により異なるが、0.027~0.030 となっていることが明らかになった。また、最も大きな歪量を示す条件では析出相の平衡関係が異なっている

一次規則化を伴う相分解における構造変化

合金の過飽和固溶体は原子の拡散を介し相分解する。

一次の規則化過程を伴った相分離現象は、規則化過程と相分離がカップルして同時に進行する興味深い過程であり、実用上重要な合金の中にもこのような組織形成をおこなうものが少なくない。

このような例として放射光小角散乱法及び熱分析によって Al-Li 合金の相分解極初期の構造を調べた。その結果、従来熱分析で ‘precursory structure’ と推定されたまま、コングルエントオーダリングなどの相分解機構との関連が不明であった低温の DSC の吸熱ピークが ordered region の不規則化の過程に対応していること、その後の発熱反応は単なる δ' の析出過程ではなく、規則領域の周辺部分での不規則化と、中心部分での組成振幅の増大 (スピノーダル分解と δ' の生成) が同時に進行する過程であることが初めて明らかになった。

今後相分解初期過程、特にその規則構造の時間的な発展を調べるために小中角散乱装置の改良を進める予定である。

材料構造物性学研究室

材料の重要な一翼を担っているアモルファス金属・酸化物ガラス・水溶液・ゲル状物質などの非周期系物質の開発や物性理解のために、X線回折法や放射光でのX線異常散乱(AXS: Anomalous X-ray Scatter-ing)法・X線吸収微細構造(EXAFS)・全反射X線回折法などを用いて原子レベルでの構造評価を行っている。現在、当研究室では、他の講座・研究機関・企業などとの共同研究も含め、具体的に下記のようなテーマで研究している。

(1) 誘起共析型合金めっき浴中の錯体構造とめっき機構

めっきは工業的に非常に重要なプロセスであり、日常品から電解銅箔のような高付加価値化製品まで広く利用されており、その研究も盛んに行われている。しかし、めっきが溶液を介して行われる電気化学反応であるにもかかわらず、めっき浴中の金属イオンの構造に着目した研究はほとんどない。そこで、我々は溶液中の金属イオンの環境構造をAXS法やEXAFS法により決定し、電析機構を解明しようとしている。この研究では最近の大きな成果は、誘起共析型モリブデン・ニッケル合金めっき浴中のモリブデン酸イオンのクエン酸イオン添加に伴う錯体構造の変化が電析機構を考察する上で重要であることを見出し、めっき機構解明のための新しい知見を提供した。

(2) シリコン酸化・窒化非晶質皮膜の局所構造と電気特性

半導体の絶縁膜や磁気記録媒体の環境保護膜などに數100 nm以下 の非晶質酸化皮膜や窒化皮膜が広く使われている。このような薄い非晶質膜の定量構造解析法は十分に確立されておらず、電気特性や化学特性を考察するのに必要な原子レベルでの構造情報が不足している。そこで、従来の薄膜法とは異なる全反射X線回折法による定量構造解析法を確立し、Si酸化・窒化非晶質膜の原子構造と物性との関わりについて研究を行っている。

(3) 金属ガラスの局所構造と熱的安定性

東北大学金属材料研究所のグループによって最近報告され注目されている熱的に極めて安定でバルク状の試料が得られるZr基などの多元系非晶質金属の原子構造を、試料中のある特定元素の周りの環境構造を決定できるAXS法により解析し、構造的な立場から熱的安定性機構を考察している。

(4) 全反射X線回折法による液体自由表面・液液界面構造解析用装置の開発

全反射X線回折法による固体表面構造解析は広く行われているが、液体の自由表面や液液界面の構造解析はほとんど行われていない。そこでわれわれは、液体表面・界面専用の全反射X線回折装置を作製した。この装置により水銀電極と水溶液界面での水銀の構造変化などについて現在研究を行っている。

(5) 湾曲グラファイトを使った位置分解能を持つ蛍光X線装置の開発

松下電器産業(株)のスーパーグラファイトの特徴は、任意の曲面を持った等方性グラファイトを製作できることである。この特徴を利用し、半円筒状に整形した等方性グラファイトを使って、これまでの蛍光X線分析装置に欠けていた位置の情報を再現できる蛍光X線分析装置開発を行っている。

(6) 拡張ヒュッケル法による安定性の評価と合金への応用

分子軌道法の一種である拡張ヒュッケル法により凝集エネルギーとエネルギーの揺らぎを計算し、これらがそれぞれ静的安定性の尺度(これは変化の速度に関係なく、変化の方向を判定するのに有効)および動的安定性安定性の尺度(これは変化の速度に関係する尺度)として有効である事を明らかにした。この考え方を6000系のAl合金に適用し、その析出相であるMg₂SiがAl母格子の[100]方向に沿った針状形状で安定であること、この合金の室温時効を抑制し、後の加熱時の時効を促進するような添加元素を選択するには、凝集エネルギーがあまり変化せずかつ室温でのエネルギーの揺らぎが小さくなるような元素を選べばよいことなどを明らかにした。

(7) Zn二元系の固溶性、不溶性、化合物形成性の分子軌道法による評価

a. Zn原子と固溶性を示す元素は、(1)凝集エネルギーの変化が組成平均にほぼ等しく、組成に対して直線的に変化すること、(2)エネルギーの揺らぎはほぼ一定であること、(3)結合性は金属結合性(+静電結合性)であること。

b. Zn原子と不溶性を示す元素は、(1)凝集エネルギーの変化が組成平均から大きく逸れること、(2)エネルギーの揺らぎは激しく上下に変動すること。

c. Zn原子と化合物を形成する元素は、(1)凝集エネルギーの変化が組成平均から大きく正に変化すること、(2)エネルギーの揺らぎは化合物組成のところで鋭く変化し、極小値を示すこと、(3)結合性は静電結合性あるいは共有結合性(+静電結合性)であること。なお、Zn原子と不溶性を示す元素の挙動についてはさらに検討を要するようである。

助教授 松原英一郎

助手 山本 哲

材質制御学研究室

本研究室では、鉄鋼およびチタン合金を中心とした構造材料の組織制御に関する基礎研究として、相変態・析出・再結晶についての組織学的・結晶学的研究を行っている。同時にこれらと密接に関係する現象（形状記憶効果、超塑性変形など）の機構解明や機械的性質などの特性改善に関する研究も行っている。以下に、最近の研究成果の概要を示す。

鉄合金の圧延・再結晶挙動に関する研究

極低炭素鋼の再結晶集合組織によばず冷間圧延前の変態組織の影響を調べた結果、マルテンサイト組織の方がポリゴナルフェライト組織よりも、有効結晶粒径がより細かいために $\{111\} < 112 >$ 再結晶集合組織が発達することを見出した。

また、鉄合金の単結晶の圧延・再結晶挙動を調べた結果、(1) Fe-19Cr フェライト合金の $\{111\} < 112 >$ 単結晶の再結晶における鮮鋭な Goss 集合組織の発達は、剪断帶内での Goss 方位粒の優先核生成ではなく優先成長による。(2) Fe-36Ni オーステナイト合金 $\{001\} < 110 >$ 単結晶において薄い変形双晶の集合からなる変形帶が再結晶粒の優先核生成サイトとなることが明らかとなった。

鉄合金の相変態の核生成サイトに関する研究

相変態の最も優先的な核生成サイトである母相粒界に生成した析出物の結晶学的特徴を調べ、(1) Ni-43Cr 合金の fcc 粒界における bcc 相析出の場合、等軸晶粒界では消滅する母相粒界面積が大きく新たに生成する界面エネルギーが小さいバリアントの析出物の優先性が高い。一方、柱状晶粒界では最密面と粒界面とのなす角度が大きいために、消滅する母相粒界面積についてのバリアント間の相違が小さく複数のバリアントが生成しやすい。(2) Fe-26Cr-7Ni 二相ステンレス鋼の α 柱状晶材からの γ 相析出の場合には、両方の α 母相と整合性の良いバリアントが優先的に生成する、などの粒界析出物のバリアント規制則についての知見を得た。

さらに鉄鋼のパーライト変態における粒内核生成サイトとして近年注目されている非金属介在物の効果について明らかにするため、Fe-12Mn-0.8C 合金とその V 添加材を用いてパーライト変態挙動を調べた。その結果、(1) MnS よりも MnS+VC の複合介在物の方がパーライトの核生成サイトとしてより有効である。(2) パーライトの介在物上核生成は、オーステナイト母相の弱い前加工によってより促進される、ことなどが明らかとなつた。

β 型チタン合金の組織制御に関する研究

β 型チタン合金の高強度化において重要な α 相析出組織の制御に用いられる種々の加工熱処理を施した場合の組織変化を調べ、(1) Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al 合金を冷

延後時効すると、 β 母相中の粗大すべり帯に沿って α 相が列状に分布し、そのバリアントも転位の性格により強く規制される。時効前に回復処理を施すと β サブグレイン境界および粒内から多くのバリアントの α 相が生成し、強度・延性バランスが改善される。(2) Ti-40Mo 二元合金を偏析温度以下で時効すると、823K 以下で β 相の整合二相分離により均一析出した β' 相を析出サイトとして β 粒内に α 相が微細に分散する。一方、Y の少量添加により固溶酸素を固定すると、 β 相の相分離が 773K 以下の低温まで抑制される、ことなどが明らかとなった。

鉄鋼材料の超塑性変形に関する研究

二相ステンレス鋼および高炭素鋼を用い、様々な加工熱処理によってミクロンサイズの微細二相組織を持つ材料を作り込み超塑性変形挙動を調べた。その結果、(1) 1.0%C 高炭素鋼をパーライト変態後熱延し α サブグレイン組織中に θ 粒子を分散させた試料と、パーライト変態後 A1 点以上の温度で一旦部分 γ 化してから焼き入れ、焼き戻しにより $(\alpha + \theta)$ 微細二相組織中で隣接する α 粒間の方位差を大角化した試料とを比較し、後者の方がより大きな超塑性伸びを示すこと、(2) 1.7C 超高炭素鋼でパーライト変態後、A1 点以上の温度で部分 γ 化して焼き入れ焼き戻しを行い $(\alpha + \theta)$ 微細二相組織にすると大きな超塑性伸びを示すこと、(3) Fe-26Cr-Ni 合金を用いて Ni 量を種々変化させて $(\alpha + \gamma)$ 微細二相組織中の γ 相体積率を変えた場合、50% 近傍で特に良好な超塑性特性が得られること、などが明らかとなった。

高炭素鋼の分散強化に関する研究

鉄鋼のさらなる高強度化には、大きな体積率が得られる析出物の微細分散を利用することが不可欠である。本研究では、高炭素鋼でフェライト (α) 中のセメンタイト (θ) 相が 10% 以上の体積率を示すのに注目し、1.0%C 過共析鋼のパーライト組織を強冷延後、A1 点以下の種々の温度で θ 球状化焼純して θ の大きさ、分布の異なる微細二相組織を得て室温引張特性を調べた。その結果、引張強度は θ 粒径に逆比例し、オロワン機構による分散強化によって説明できることが明らかとなった。

教授 牧 正志

助手 古原 忠

エネルギー社会工学研究室

スーパー・メタルに関する研究

1. はじめに

本研究は超微細構造を有するバルク材料をそれと相似な関係にあるマクロ構造から機械加工(圧縮・圧延)により作成し、従来気相成長法でのみ作成可能であった材料を大量に生産する技術を開発することを目的としている。人工的に、ナノメートル寸法の制御された超微細構造をバルク材料として作成することが、単なる圧縮・圧延の繰り返しで達成できたことは、“コロンブスの卵”と呼び得る成果と云えよう。得られた材料は大きな磁気抵抗効果や高い強度など優れた性質を示し、機能材料への応用のみならず、バルクの利点を生かした高強度材料としての応用も考えられる。本研究の成果は学問の発展のみならず多大なる社会への寄与が期待される。

2. 研究開発の内容

試料作成方法: $50\mu\text{m}$ の Fe 箔と $30\mu\text{m}$ の Ag または Cu 箔を交互に 100 枚重ね合せ、 873K で熱間圧縮した後、 573K で熱間圧延をした試料の適当な大きさに切断した後重ね合せ、再び先程と同じ条件で圧縮・圧延を施し、以下、所定の超微細組織が得られるまでこの検査を繰り返した。

電気磁気的性質: 近年その効果が発見され固定磁気ディスクのヘッドに利用されつつある巨大磁気抵抗効果(1)を測定した。従来、この効果は蒸着薄膜でのみ確認されていたため、試料面に平行に電流を流した結果(CIP-MR)が主に報告されているが、本研究ではバルク材料である点を利用してこれに加えて試料面に垂直方向にも電流を流して測定(CPP-MR)する事にも成功した。CPP は従来測られている CIP の約 5 倍の大きな磁気抵抗効果を示すことが見い出された。

試料の微細構造: $5\text{nm} \sim 10\text{nm}$ の厚さの Ag と Fe との完全な結晶整合性を持つことが分かる。試料全体ではこの様な層が数万枚ある。

機械的性質: ホールペッチの関係式として知られるように超微細組織を有する材料は高強度であることが予想される。従来の多層膜試料では大きさに限りがあるため強度試験はできなかったが、本研究により開発された方法においてはバルク材料が作れるため引張り試験を行う事が可能となった。図に示すように純鉄、純銅の複合材料としては非常に高い強度、延性が観測された。

3. 考察

従来一般に用いられている技術である圧縮、圧延、熱処理を用いてナノメートル寸法の制御された層状構造を作成できたことは、“コロンブスの卵”的な意外性と妥当性がある(2, 3)。組織の超微細化に応じた熱処理温度の決定などに非常に厳密なコントロールを必要とする点などに、従来このような試みの成功しなかった理由がある。本研究の成果を踏まえて、この技術は他の多く

の金属元素の組み合わせなど新たな、大きな研究展開が可能である。

4. まとめ

- 1) スーパー・メタルと呼び得るバルク材料でナノメートル寸法の制御された超微細構造を持つ材料を人工的に作成することに成功した。
- 2) 得られた Ag-Fe のスーパー・メタルは、従来材料では測定困難な CCP 磁気抵抗効果の測定を可能にした。測定結果、従来法の 5 倍の磁気抵抗効果を確認した。
- 3) Cu-Fe のスーパー・メタルは 160kgf/mm^2 の引張り強度と 0.75% の伸びを示した。

引用文献

- 1) M.N. Baibich, J.M. Broto, A. Fert, F. Nguyen, Van Dau, F. Petroff, P. Etienne, G. Creuzet, A. Friedrich, and J. Chazelas, Phys. Rev. Lett. 61, (1988), 2473.
- 2) P.H. Shingu, K.N. Ishihara, N. Yamamoto, and K. Yasuna, Ann. Chim. Fr., 8, (1993), 387.
- 3) K.N. Ishihara, T. Matsumoto, A. Otsuki, and P. H. Shingu, Key Eng. Mater., 103, (1995), 77.

教授 新宮 秀夫

助教授 石原 慶一

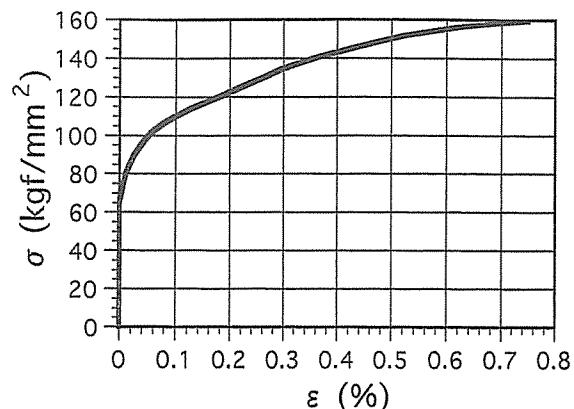


図 3

材料プロセシング研究室

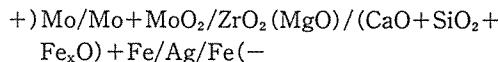
当研究室では金属精錬に関する熱力学、材料の精製・リサイクルプロセスに関する物理化学を研究分野としている。具体的には、製鋼スラグの水和反応、液体鉛の酸化機構、多成分系スラグまたは硫酸塩中の Red-ox 平衡、ガラス中の炭酸ガス溶解度、圧延スラッジからの油分の除去、合金ースラグ間の特定元素の分配比の測定、自由エネルギーの測定などを研究テーマとしている。ここでは1つのテーマを例に取り、その研究内容を紹介する。

(テーマ) $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_x\text{O}$ 系の3相平衡酸素ボテンシャル

(目的) 高炉中のスラグ組成は $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_x\text{O}$ の4元系と考えられるが、ここでは簡単のために Al_2O_3 を省いた $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_x\text{O}$ の3元素で考える。 Fe_xO が Fe に還元される過程で、スラグ組成は3元系状態図の頂点 Fe_xO を従% CaO /% SiO_2 =一定の直線上を変化する。高炉中の% CaO /% SiO_2 は1.0~1.3の範囲にあり、還元の最終段階におけるスラグ組成は $\text{CS} + \text{C}_3\text{S}_2 + \text{L}$ または $\text{C}_3\text{S}_2 + \text{C}_2\text{S} + \text{L}$ の3相領域中にあると考えられる。そこで、この2つの3相領域での平衡酸素分圧と温度の関係を調査した。

(実験原理) 本研究では、酸素センサーを用いた起電力法によりスラグ中の Fe_xO と Fe との平衡酸素分圧を測定した。起電力測定には、9mol%の MgO で安定化されたジルコニアを使用した。このジルコニアは一端閉管状で、この中に重量比 4:1 の割合で Mo と MoO_2 の混合粉末を密に充填し、さらに Mo 棒を挿入し、ジルコニアセメントで固定した。

この酸素センサーは、基準極として使用する $\text{Mo} + \text{MoO}_2$ の平衡酸素分圧と Fe_xO (in slag) + Fe の平衡酸素分圧との差が起電力を与える酸素濃淡電池であり、電池式は次のように表すことができる。



この電池の起電力は Nernst の式から

$$E = \frac{RT}{F} \ln \frac{\text{Po}_{\text{O}_2}(\text{ref.})^{1/4} + \text{Pe}^{1/4}}{\text{Po}_{\text{O}_2}(\text{slag})^{1/4} + \text{Pe}^{1/4}} + E_t \dots \dots \dots (*)$$

で与えられる。ここで、 $\text{Po}_{\text{O}_2}(\text{ref.})$ は Mo(s) と MoO_2 (s) の平衡酸素分圧で、次式で表される。

$$RT \ln \text{Po}_{\text{O}_2}(\text{ref.}) = -576.1 + 0.1692T \text{ [kJ/mol]}$$

E_t は熱起電力であり、次式で表される。

$$E_t = -14.69 + 0.0227T \text{ [mV]}$$

Pe (電子伝導パラメータ) とはイオン電導度と電子電導度が等しくなる時の酸素分圧であり、電解質固有のパラメーターである。本研究で用いた ZrO_2 (9%mol MgO)の場合、

$$\log \text{Pe} = 20.4 - 6.45 \times 10^4 / (T/K)$$

で与えられる。

起電力 E と温度 T を測定することにより (*) 式からスラグ中の Fe_xO と Fe との平衡酸素分圧を求めることができる。

[実験手法] 鉄のリード線を付けた純鉄坩堝にスラグと銀を挿入し、SiC 抵抗炉中 Ar 雰囲気で 1200°C 程度まで加熱する。平衡到達後酸素センサーを挿入し、鉄のリード線と酸素センサーの Mo 線との間の起電力を測定する。1200°C~1400°C の範囲で温度を変え、同じ操作を繰り返す。

[実験結果] 本実験で測定した起電力を平衡酸素分圧に換算し、 $\text{CS} + \text{C}_3\text{S}_2 + \text{L}$ 相及び $\text{C}_3\text{S}_2 + \text{C}_2\text{S} + \text{L}$ 相における平衡酸素分圧の常用対数を温度の逆数に対してプロットすると、Fig. 1 のようになる。最小自乗法を用いると次の回帰直線を得る。

$$\log \{ \text{Po}_{\text{O}_2}(\text{CS} + \text{C}_3\text{S}_2 + \text{L}) / \text{atm} \} = -3.22 - 13000 / (T/K) \pm 0.05$$

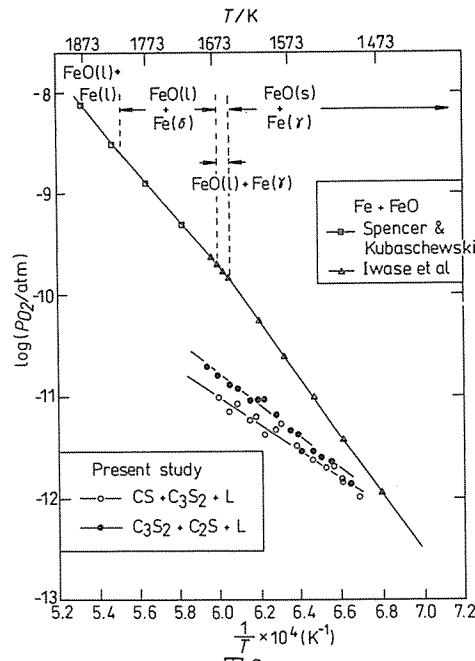
$$\log \{ \text{Po}_{\text{O}_2}(\text{C}_3\text{S}_2 + \text{C}_2\text{S} + \text{L}) / \text{atm} \} = -0.92 - 16400 / (T/K) \pm 0.04$$

Fig. 1 には純粋 Fe_xO と Fe との平衡酸素分圧も比較の為に示す。

Fe_xO の活量は、固体純鉄と平衡する純粋固体 Fe_xO を標準状態とすると

$$\text{Fe}_x\text{O} = [\text{Po}_{\text{O}_2}(\text{slag}) / \text{Po}_{\text{O}_2}^*]^{1/2}$$

$\text{Po}_{\text{O}_2}^*$: 純粋 Fe_xO と固体純鉄との平衡酸素分圧を用いて計算することができる。



教 授 岩瀬 正則

助教授 藤原 弘康

高温プロセス研究室

当研究室ではエネルギー関連材料の開発とその製造に不可欠な気体・液体・固体間の高温熱化学反応の解明により、新規で創造的なプロセスを(リサイクルも含めて)開発しています。超高融点金属の高真空間解、チタンの新製造方法、材料の耐酸化性皮膜、アンモニアガスによる金属リサイクル、酸化物超伝導体の熱力学的他、太陽熱を利用した低温度差で駆動する熱発電素子を開発しています。

鉄基熱電材料とその性能

世界的な電力需要の増加や環境問題、資源枯渇などの状況のなかで新規エネルギーの開発が現代の抱える課題の一つとなっている。本研究では熱電発電を用いて広域低温熱源から電力回収することを念頭に置き、発電素子材料の開発を目的とした。このような目的には従来の半導体材料は資源量などの問題で適合せず、むしろ半導体よりも常温での比抵抗が小さく加工性が良好な金属材料の有意性が生じる。本研究では材料の母合金として量産性や価格からFeを選択し、Feに添加元素を固溶させ最適熱電性能を調査した。その結果、Feに対しAlやSiを添加すると大きくゼーベック係数が変化する事が判明し、中でもAl添加の効果は大きかった。また固溶体の結晶構造において溶質原子の配置が不規則か規則かでゼーベック係数が大きく変化する傾向がみられた。本研究で見いだされたFe-Al系及びFe-Al-Si系合金において得られる相対ゼーベック係数は最大約 $70\text{ }\mu\text{V/K}$ 及び、その熱電性能は高価なNiを高濃度で含有するクロメルーコンスタンタンの組み合わせに匹敵するものであった。

アンモニアガスによる溶融銅の異常蒸発

溶融銅にアンモニアガスを吹き付けると異常な速度の蒸発が見られる。この現象は溶鋼スクラップからの脱銅や新しい微粒子作製法として有望視されている。本研究ではこれまで十分に研究されていなかったアンモニアガス吹き付けによる溶融銅の異常蒸発現象の機構解明を目的として種々の実験を行った。その結果、アンモニアによる溶融銅の蒸発現象は従来考えられていたような窒化物を生成する機構ではなく、なんらかの物理的な機構で溶湯が巻き上げられて起こっていることが分かった。物理的な機構として溶融銅中の過飽和窒素が再放出される際のスプラッシュによる機構を提案し、実験的にこのスsplashによる機構が矛盾なく起こりうることを確認した。

オゾンガスによる酸化促進

オゾンはフッ素に次ぐ強力な酸化力を有していて、無声放電を用いたオゾン発生装置により大量に得ることができる。本研究ではこのオゾンの有する強力な酸化力に着目し、新しい材料合成プロセスへの適用を考え、Ag, Ag_2O , Cr_2O_3 , およびアルカリ土類金属の酸化物にオゾンガスを吹き付けることによって、その反応を実験的に調査し、熱力学的手法により検討した。また、実際のプロセスである鉄鋼精錬の工程への適用を考えてオゾンガスを溶鉄に吹き付け、その炭素除去能力を純酸素ガスと比較、検討した。その結果Agからの Ag_2O の生成、 Ag_2O からの Ag_2O_2 の生成および Cr_2O_3 からの高酸素圧型酸化物 Cr_5O_{12} の生成よりオゾンの化学的酸化力を仮に平衡酸素分圧であらわせると491Kで $4.10 \times 10^{16}\text{ Pa}$ 、603Kで $2.09 \times 10^{10}\text{ Pa}$ および775Kで $3.75 \times 10^7\text{ Pa}$ となり、大きな値を示すことが分かった。また、5分間吹き付けを行った場合オゾンガス吹き付け後の鉄中炭素濃度は純酸素ガス吹き付け後の鉄中炭素濃度より低い値となった。

チタンの新しい精錬プロセスの開発

現在、金属チタンは工業的にはクロール法によって生産されている。クロール法はバッチ方式であるために生産性は非常に低い。本研究では金属チタンを連続的に回収するプロセスを提案し、さらにこのプロセスの根幹としてマグネシウムを溶融浮上させた溶融塩中に TiCl_4 ガスを吹き込むことにより金属チタンを生成し、その形状に関する検討を行った。吹き込み実験は TiCl_4 の吹き込み方法により、マグネシウム-溶融塩界面で TiCl_4 還元反応を進行させるもの(Direct contact)と溶融塩浴中で TiCl_4 還元反応を進行させるもの(Salt mediated)の2つに大別して行い、その結果ともに粉末状の金属チタンを得ることに成功した。生成したチタン粉末粒の大きさは非常に微細であり、前者では $3\sim 5\text{ }\mu\text{m}$ 、後者では $1\sim 3\text{ }\mu\text{m}$ の粒の存在が支配的であることが確認された。

その他、超電導酸化物の熱力学、製鋼ダストからの亜鉛回収、高融点金属の超高純度化、等の研究も精力的に行っています。最新情報は当研究室のホームページをご覧下さい。

(<http://marilyn.mtl.kyoto-u.ac.jp/meibo.html>)

教授 小野 勝敏

助教授 鈴木 亮輔

助手 植田 幸富

メゾ材料研究センター研究室

STM 接合容量の研究

STM の探針と試料の間の容量の距離依存性について、研究を継続している。今年度は主に探針の形状が与える影響について研究を行い、先端形状の異なる探針を用いて、金表面を試料とした一連の容量測定を行った。その結果、非トンネル領域では、STM 接合容量の距離依存性が探針の先端半径や開き角によって支配されていることが明らかになった。即ち先端半径・開き角がともに小さな鋭い探針では容量の距離依存性が小さく、逆に先端が鈍い探針では容量の距離依存性が大きくなる。今回は更に STM 容量の理論計算を行い、実験で得られた探針の形状効果が計算によつても再現されることを確認している。

Si 表面のバリアハイトイメージング

Si (111) の酸素吸着面について、系統的なバリアハイトイメージングを行つた。酸素の吸着サイトでは局所的にトンネル障壁が高くなつており、これは電気陰性度の大きな吸着酸素へ電子が移動したことによつて局所的な仕事関数が増加したためである。またトンネル障壁の増加は、酸素が 1 個吸着したサイトよりも 2 個吸着したサイトの方が大きい。この結果は、吸着酸素数に応じて電子移動量も増加し、仕事関数も増加するという考え方と合致している。

点接触の電子伝導

電極の接点の大きさが電子のフェルミ波長程度に小さくなると、接点の電子伝導に量子効果が現れてくる。金属の接点では、量子効果は原子サイズの接点で顕著になるが、このような原子サイズの接点は、接触している電極を引き離すときに、接点が離れる直前に過渡的に形成されることがある。我々は市販のリレー接点でも、室温で量子効果が現れることを明らかにした。即ちリレー接点が開くときの過渡コンダクタンスを測定すると、コンダクタンスの量子化単位 $2e^2/h$ の整数倍のステップが観測される(図 1 参照)。このコンダクタンスの量子化は金接点のリレーで最も顕著に現れるが、これは金の優れた延性によるものと考えられる。コンダクタンスのヒストグラムを作製すると、 $N(2e^2/h)$ ($N=1, 2, 3$) にピークが現れ、特に $N=1$ のピークは量子化単位に良く一致している。コンダクタンスが $N=1$ の値に量子化されているときには、接点は原子 1 個を介して接触した状態にあると考えられている。接合のバイアス電圧を増加させると、ヒストグラムのコンダクタンスピークは小さくなつて行き、 $N=1$ のピークは約 2V で消失する。この

時の接点電流は 0.137mA である。もしも $N=1$ の状態が単原子接合であれば、原子 1 個に $137\mu A$ の電流が流れていることになる。

リレー接点の他にも、MCB (mechanically controllable break) と呼ばれる手法を用いて Si の微小接合を作製し、コンダクタンス測定を行つてある。接点のサイズを変化させたときにコンダクタンスにステップがいくつか現れるが、これらは量子化単位とは一致しておらず、接点の何らかの安定な原子配置に対応するものであると考えられる。

電界放射に対する表面偏析の研究

Ti 表面への Cu 偏析の XPS 測定から、この偏析表面では仕事関数が 0.6eV 低下することが金材技研のグループによって報告されており、電界放射エミッタへの応用が示唆されている。我々は実際に Ti エミッタを作製し、これに Cu を蒸着して仕事関数が低下するかどうかを電界放射の Fowler-Nordheim 特性の測定を通して検討を行つた。その結果、Cu の蒸着による仕事関数の低下は観測されず、むしろ仕事関数は 0.1eV ほど増加している。この結果は吸着原子の電気陰性度に基づく予想とは一致しているが、金材技研の結果とは相反している。この不一致の原因としては、吸着と偏析の相異などが考えられるが、はつきりした理由は明らかではない(大阪府立大学坂田研究室との共同研究)。

合金の仕事関数

合金表面は清浄化の際に表面偏析のために組成が変化してしまうことが多い、仕事関数の組成依存性は余り良く知られてはいない。我々は CuNi 合金を対象に、拡張ヒュックル法により仕事関数の組成依存性を調べているが、まだ明確な組成依存性は明らかになってはおらず、今後の改良が必要であると考えられる。

教 授 酒井 明

講 師 諸岡 明

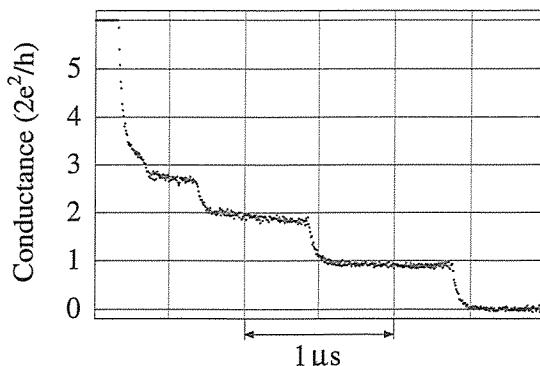


図 1 金接点リレーの過渡コンダクタンスに見られる量子化ステップ

平成9年3月卒業者名簿

改組に伴い、従来の資源工学教室、冶金学教室、金属加工学教室に所属した講座は、工学研究科・資源工学専攻および材料工学専攻、エネルギー科学研究所・エネルギー社会・環境科学専攻およびエネルギー応用科学専攻に所属が変わった。また各専攻には大学院専任講座と、従来の講座を「分野」とし、複数の講座から構成される大講座がある。この名簿では研究科、専攻および講座名は明示せず、研究分野名を用いて「～研究室」として表示した。平成9年3月の卒業者（修士・博士後期課程修了者）には改組のため入学時と卒業時で所属研究室の名称が異なるものもある。本名簿では、卒業者が実際に研究を行った研究室の研究室名で分類した。

旧 資 源 系

学部卒業者

氏 名	研 究 論 文 題 目	就 職 先
資源開発工学研究室		
池 田 智 則	岩石の三軸圧縮試験における破壊後の横方向変形の計測と解析	京都大学大学院
小 森 久	ライニング支保のみによるトンネル掘削工法の可能性の検討	日本コントロールシステム(株)
横 井 巨 人	高レベル放射性廃棄物地層処分におけるペントナイト緩衝材のせん断力学特性	特許庁
地質工学研究室		
今 林 真 人	地熱井の力学的挙動解析手法の構築に関する基礎的検討	日商岩井(株)
沖 真 治	花崗岩の新鮮～風化岩盤の掘削に関する簡易指標に関する検討	(株)コマツ
江 勇希典	北海道幾春別川三笠ぼん別ダム基礎岩盤における不連続面分布性状に関する地質工学的評価および検討	京都大学大学院
阪 口 雅 則	三重県比奈知ダムおよび愛媛県富郷ダムにおけるグラウチングによる変形性の改良効果に関する検討（硬質塊状岩盤のCM級岩盤を対象として）	丸紅商事(株)
下 久 保 一 博	花崗岩岩盤のグラウチングによる変形性の改良効果に関する検討（広島県温井ダムにおける検討）	(株)ハザマ
西 坂 直 樹	空洞壁面データを用いた確率ブロック理論の適用性の検討（葛野川地下発電所用空洞における検討）	京都大学大学院
原 田 光 広	北海道当別ダム基礎岩盤における不連続面分布性状に関する地質工学的評価および検討	京都大学大学院
御 崎 哲 一	珪質粘板岩岩盤のグラウチングによる変形性の改良効果に関する検討（京都山科ダムにおける検討）	京都大学大学院
資源高度利用工学研究室		
小 川 淳	立体電極配列電位データ解析による地下構造可視化の基礎研究	京都大学大学院
小 川 弘 晃	Cd および Pb イオンの粘土鉱物による固定形態に関する研究	京都大学大学院
岸 渉	廃棄物処分場における電界強度法を用いたモニタリングの基礎研究	京都大学大学院
出 口 知 敬	水槽実験による地下不均質環境電気モニタリングの基礎研究	日鉄鉱業(株)
森 山 大 道	地表電極配列比抵抗データによる地下情報可視化に関する研究	京都大学大学院

氏名	研究論文題目	就職先
物理探査工学研究室		
小泉友希	注水・排水による岩石内の亀裂の弾性波探査に関するモデル実験	京都大学大学院
芹澤紀成	波動方程式に基づくフルウェーブインバージョンに関する研究	京都大学大学院(理学研究科)
濱本文徳	制約付き弾性波トモグラフィ解析による空洞周辺の低速度領域の検出に関する研究	住友金属鉱山㈱
三好隆弘	反射法地震探査データの水平分解能の検証に関する研究	京都大学大学院
八木隆夫	アイコナール方程式と相反原理を用いた3次元弾性波トモグラフィに関する研究	京都大学大学院
山口知也	弾性波を用いたトンネル切羽前方の3次元探査に関する研究	京都大学大学院
川合智	ニューラルネットワークを用いた欠落検層データの復元	NTT(㈱)
上坂進一	波動方程式を用いた弾性波トモグラフィに関する研究	
計測評価工学研究室		
金山貴宏	坑内高速人車の走行動搖解析に関する研究	京都大学大学院
斎藤拓	磁気バルクハウゼンノイズをもとにした鋼材の曲げ応力の評価について	京都大学大学院
得納幸史	共振特性を利用した鋼材欠陥部位の同定に関する研究	京都大学大学院
久常公也	PC用鋼線の多重周波数渦流探傷法に関する研究	京都大学大学院
山崎哲律	電気ボテンシャル法によるクラック状欠陥の評価に関する研究	㈱ゼクセル
資源エネルギーシステム学研究室		
伊藤亮嗣	シュレッダーストからの廃熱および金属資源の回収	東京大学大学院
奥田修司	南長岡ガス田の貯留層の特性解析	京都大学大学院
角新支朗	エネルギー消費動向の現状と近未来	京都大学大学院
菅野信	砂岩層を対象とした能動的地熱貯留層の基礎的研究	京都大学大学院
高浦健	太陽電池用シリコン資源の開発	京都大学大学院
藤田聰	蛍光法による地熱貯留層の間隙およびクラックの特性解析	京都大学大学院(聴講生)
資源エネルギープロセス学研究室		
江南貴司	純ジルコニウム板の成形性に関する実験的考察	京都大学大学院
楠洋明	垂直円管内を上昇する気泡の可視化実験	堀場製作所
白石博朗	平面温度を変化させたときの单一液滴の変形挙動	京都大学大学院
宇宙資源エネルギー学研究室		
穂吉哲平	太陽電池化合物半導体の電気化学プロセシング	京都大学大学院
佐々木博司	電磁浮遊炉中の金属液滴とガスの反応	京都大学大学院
中澤克仁	人工ダイヤモンド及びグラファイトの表面自由エネルギーとその浮選分離への応用	京都大学大学院
西田哲郎	都市ゴミ焼却飛灰からの重金属除去に関する基礎的研究	京都大学大学院
宮岸幸司	廃家電製品中の有価金属の回収に関する研究	㈱島津製作所

修士課程修了者

氏 名	研 究 論 文 題 目	就 職 先
資源開発工学研究室 竹 原 秀 明	岩石の破壊後の横方向変形測定結果に基づく空洞周辺の変形解析	社団法人 建設機械化研究所
地質工学研究室 足 立 倫 海 川 口 雅 戯	岩盤不連続面による岩盤ブロック発生予測のための3次元確率ブロック理論の構築に関する基礎的研究 モデルブロック実験による節理内グラウト充填メカニズムに関する基礎的研究	東京電力㈱ 中部電力㈱
物理探査工学研究室 石 賀 琢 也 真 田 佳 典 藤 本 正 道 山 下 善 弘	気体・液体をトレーサーとした弾性波による亀裂探査の高精度化に関する研究 時間領域有限差分法による地下レーダーの3次元数値モデリングに関する研究 弾性波トモグラフィ解析における周波数と分解能の関係に関する研究 積分方程式法と有限要素法による電磁探査法の数値シミュレーションに関する研究	日立製作所㈱ 京都大学大学院 石油公團 応用地質㈱
計測評価工学研究室 菊 池 武 明 佐 藤 知 史 杉 岡 靖 久 西 孝 文	電気ポテンシャル法による欠陥同定逆問題への遺伝アルゴリズムの適用 炭素繊維複合材ケーブルの引張疲労劣化の非破壊評価に関する研究 機械式ワイヤロープ張力測定器の開発に関する研究 解析的なモデルを利用した逆問題的渦流探傷イメージングに関する研究	㈱東芝 ㈱キーエンス 全国朝日放送㈱ 日本 IBM ㈱
資源エネルギーシステム学研究室 藤 井 秀 樹 リ ュ ウ ジ ェ	ニッケル・コバルト資源の枯渇と深海底資源開発 中国の経済発展とエネルギー消費	会計検査院 京都大学大学院 博士後期課程
資源エネルギープロセス学研究室 磯 部 誠 金 城 正 志 黒 田 義 人 鈴 木 浩	Theoretical analysis of flow characteristics of multi-phase mixture in a vertical pipe (揚鉱管内を上昇する混相流体の流動特性の理論的解析とその検討) Predictable modelling of limit in bore-expanding of steel sheets using finite element simulation and ductile fracture criterion (有限要素シミュレーション延性破壊条件式を用いた鋼板の穴広げ加工における成形限界の予測モデル) Finite element analysis of formability of a few kinds of special steel sheets in deep drawing processes (2, 3 の特殊鋼板に対する深絞り成形性の有限要素解析) Predictable Modelling for cooling Process of a Hot Steel Plate by Water Spraying (スプレー冷却による高温鋼板の冷却過程の予測モデル)	新日本製鐵㈱ 川崎製鉄㈱ 東レ キーエンス

氏名	研究論文題目	就職先
宇宙エネルギー学研究室 伊藤 愛 釜田 陽介 三浪 純子	無電解メッキ廃液処理に関する研究 Activating and depressing effect of polyvalent metal cations on the liquid-liquid extraction of ultrafine silica using dodecyl sulfate and cetyltrimethyl-ammonium salt 酸浸出法による廃鉛蓄電池正極活性物質中のアンチモン除去に関する基礎的研究	住友電気工業㈱ （株）クボタ 三重県

博士学位授与者 論文博士

氏名	研究論文題目	主査	取得年月日	備考
物理探査工学研究室 内田利弘 (工業技術院地質調査所)	電気・電磁探査データの2次元インバージョンの安定化と適用に関する研究	佐々宏一	平成8年9月24日	京都大学, 昭和52年卒
長谷川 健 (動力炉・核燃料開発事業団)	電磁誘導探査法に関する基礎的検討と鉱床探査への活用	佐々宏一	平成9年1月23日	京都大学, 昭和55年卒
朝倉俊弘 (財)鉄道総合技術研究所	山岳トンネルの変状メカニズムとの対策に関する研究	佐々宏一	平成9年3月24日	京都大学, 昭和49年卒
資源エネルギープロセス学研究室 馬渕守 (工業技術院, 名古屋工業技術研究所)	Microstructural Control for High Strain Rate Superplasticity and Deformation Characteristics	八田夏夫	平成9年1月23日	京都大学 昭60・資 工修・昭62・資

旧金属系

学部卒業者

氏名	研究論文題目	就職先
材料設計工学研究室 東 誠 荒木 浩之 石井 琢悟 久保 彰弘 小山 幸典 曾根 基樹	アルカリ土類金属酸化物中の酸素空孔の電子状態 BNのELNESの理論計算 クラスター計算によるNi基3d遷移金属合金の混合熱の予測 遷移金属2ホウ化物の結合状態 Li_xCoO_2 の電子論 KMgF ₃ 中の3d遷移金属イオンにおける多重項分裂の理論計算	京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院
表面処理工学研究室 安藤 壽規 中谷 巍 長谷川 順久 藤原 卓 本田 崇 森嗣朗	Pd-Mo合金電析に関する研究 NH_3 アルカリ性CdTe電析浴中の化学種の考察 溶存臭素ガスによる金の溶解 種々の産地から得られた銅精鉱の塩化第二銅水溶液による浸出 微小アンチモン電極によるカソード表面近傍のpH測定 電析により得られたCdTeの光電気化学特性の測定	京都大学大学院 京都大学大学院 東京大学大学院 キャダムシステム㈱ 京都大学大学院 京都大学大学院

氏 名	研 究 論 文 題 目	就 職 先
プロセス設計学研究室 伊藤 雄一郎 乾 仁 美 岡 正 徳 重 兼 晃 人 平 川 直 樹 山 田 容 之	光音響法による熱拡散係数測定法の開発 食塩水の一方向凝固における磁場効果 ラジエイティブ・オージェ効果の研究 還元拡散法による Tb-Fe 系化合物の生成機構 蛍光 X 線ホログラフィー法の開発 Sn-Bi 系無鉛はんだのぬれ性に関する研究	住友銀行 東京大学大学院 ヤンマーディーゼル(㈱) スズキ(㈱) 三菱自工(㈱) 三菱重工(㈱)
マイクロ材料学研究室 浅 水 啓 州 浅 利 琢 磨 小 榎 充 将 鈴 木 正 明 田 中 三 喜 男 前 田 知 幸	p型 InP に対する Ni 基コンタクト材の界面反応 マイクロ波プラズマ CVD ダイヤモンドの Emission Current 測定評価 p型 GaAs に対する InGaAs 基オームックコンタクトの作成 P型 GaN 及び電極材に対する熱処理による電気特性への影響 ULSI-Si デバイス用配線材のエレクトロマイグレーション評価用試料作製 p型 GaN に対する電極材の電気特性に及ぼす熱処理雰囲気の影響	研究生 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院
量子材料学研究室 岡 崎 勝 己 川 口 優 子 阪 田 智 則 清 水 淳一郎 高 橋 正 典 吉 田 彰	GdInCu ₄ の NMR フェリ磁性-反強磁性転移を示す Mn _{2-x} Co _x Sb の低温比熱 価数振動系 EuNi ₂ (Si _{1-x} Ge _x) ₂ の熱膨張 金属絶縁体転移を示す BaVS ₃ に対するディスオーダーの効果 RCu ₂ の NMR Y(Mn _{1-x} Si _x) ₂ の磁性と熱膨張	京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 東京大学大学院 シャープ(㈱)
結晶物性工学研究室 安 藤 誠 悟 石 川 浩 司 今 村 大 大 石 肇一郎 筑 後 一 義 智 原 邦 彦 長 汐 晃 輔	CrSi ₂ 単結晶の塑性変形 MoSi ₂ 単結晶の塑性変形に及ぼす第三元素添加の影響 2相 TiAl 材の TiAl/Ti ₃ Al ラメラ界面における不純物拡散 Solution growth 法による β -SiC 単結晶の育成 Ti-56at.%Al 単結晶における欠陥構造と力学物性 TiAl-Mo 合金の土方向凝固 Traveling solvent 法による化学量論組成を有する TiAl 単結晶の育成	東海銀行京都支店 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 東京大学大学院
格子欠陥物性学 古 良 田 卓 中 本 稔 繩 田 圭 悟 山 下 巧 山 下 博 史	L1 ₂ 型金属間化合物 Ni ₃ Ge における相互拡散 FePd の fcc-L1 ₀ 規則化初期段階におけるエンタルピー変化 斜方晶 TiSi ₂ の弾性的性質 Fe-V 希薄合金中における炭素のスネーク緩和 α 鉄中の炭素とバナジウムの相互作用	京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院

氏名	研究論文題目	就職先
材料物理学研究室		
棚橋秀夫 鶴丸裕史 馬場真也 堀田崇 的場太郎 水谷承靖	Cu合金/Nb超伝導多層材の人工ピンニング特性 Nb-Ti多層超伝導材における組織制御と人工ピンニング効果 Al-Zn合金のG.P.ゾーン生成過程における電気抵抗変化 Ag/Bi2223超伝導複合体の臨界電流密度に及ぼすLi, Ga添加の影響 Al-Li合金における相分解初期構造の解明 Ag/Bi2223超伝導複合体の臨界電流密度の異方性	京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 日本航空 京都大学大学院
材料構造物性学研究室		
田中伸治 村上浩二 塙原淳仁	X線回折法による誘起共析型Mo-Niめっき膜の局所構造解析 「非晶質-結晶」型相変態へのDAFS法適用のための基礎研究 Zn二元素の固溶性、不溶性、化合物形成性の分子軌道法による評価	京都大学大学院 京都大学大学院 日本高速通信
材質制御学研究室		
倉田征児 佐藤栄一 高田亜紀 田中博之 水野吉章 山崎琢也 渡辺正一	高炭素鋼における($\alpha + \theta$) microduplex組織の形成と機械的性質 超高炭素鋼における($\alpha + \theta$) microduplex組織の形成と超塑性 Ti-Mo合金の α 相析出におよぼす固溶酸素の影響 Fe-19%Crフェライト合金{111}<121>単結晶における冷間圧延組織と再結晶 二相ステンレス鋼における($\alpha + \gamma$) microduplex組織の超塑性に及ぼす γ 相体積率の影響 Fe-36%Niオーステナイト合金{001}<110>単結晶における冷間圧延組織と再結晶 Fe-26%Cr-7%Ni合金の α 柱状晶粒界における γ 析出の結晶学	大同特殊鋼㈱ 京都大学大学院 東京大学大学院 京都大学研究生 京都大学大学院 京都大学大学院 東京大学大学院
材料評価学研究室		
西川勲	プラズマジェット法によるチタンの厚膜窒化	住友金属鉱山
エネルギー社会工学研究室		
仕田知経 津井信一郎 橋本勝 長谷川直基 村守宏文 山縣敬彦	繰り返し圧延によるCoFe/Cu多層体の作成 P-HIP法によるTi-B/Ti-Al緻密複合材料の作製 金属粉末を繰り返し圧縮することによるFe/Ag多層体の作製 FeCl ₃ アルコール溶液の焼成による半導体光電極の作製と評価 TiアルキシドによるTiO ₂ 焼成法を用いた光電極の作製と評価 箔を用いた繰り返し圧延によるFe/Ag多層体の作製	京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 特許庁 京都大学大学院
材料プロセシング研究室		
江中崇 大橋誠司 岡田隆 塙田虎之 山中幹 吉田敦彦	CaO+SiO ₂ +FeO系の3相平衡酸素ポテンシャル 高レベル廃棄物固化処理用ガラス中のFe ²⁺ /Fe ³⁺ Redox平衡 ガラス中への炭酸ガス溶解度 圧延廃油からの鉄資源回収 CaCN ₂ の生成自由エネルギー アルカリ硫酸塩中におけるCu ⁺ /Cu ²⁺ 酸化還元平衡	京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院

氏名	研究論文題目	就職先
高温プロセス研究室 辻 隆之 長澤 大 永田 純一 松永 朋也 柳本 大樹 吉田 寛	熱電素子の多層化 オゾンガスによる過酸化物の合成 Phase Equilibria of the System Ca-Pb-O 溶融塩化物中への $TiCl_4$ ガス吹き込み還元による Ti の製造 金属シリコンによるニオブ中の酸素の除去 分解性化合物による溶融銅合金のスプラッシュ	京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 京都大学大学院 東京大学大学院
メソ材料基礎工学研究室 北見 信也 高瀬 経史 松山 隆一	異種金属吸着に伴う金属エミッタの仕事関数変化 CuNi 合金クラスターにおける仕事関数の組成依存性 Si 微小点接触の電子伝導	JR 西日本 東京三菱銀行 あさひ銀行
修士課程修了者		
氏名	研究論文題目	就職先
材料設計工学研究室 伊田 英紀 吉矢 真人	First-principles Calculation of Multiplet Structures of Transition-Metal Impurities in MgO , $KMgF_3$ and Al_2O_3 Relationship between Chemical Bonding of Silicon Dioxides and Electron energy Loss Near Edge Structure (ELNES)	三菱電機㈱ 京都大学大学院
表面処理工学研究室 石川 哲也 内田 英憲 藤堂 英男	パルス電解法による鋼表面の合金化処理 低過電圧電析法による CdTe 薄膜の作製 2 値クロムイオンを含む硫酸浴からの Zn-Cr 合金電析	NTT ㈱ 川崎重工業㈱ シャープ㈱
プロセス設計学研究室 天野 裕之 伊藤 拓哉 稻田 伸哉	全反射 X 線を用いた材料評価法の開発 微小重力場における銅の電析 帶電による X 線発生	京都大学大学院 石川島播磨重工 三菱重工
マイクロ材料学研究室 今堀 旬司 香川 卓也 川上 俊之	Diffusion barrier properties of Tac between Si and Cu Carrier transport mechanism for contact materials to p-ZnSue using intermediate Thermal stability of electrical property in the vicinity of p-ZnSe/metal interfaces	NTT 豊田自動車 京都大学大学院
量子材料学研究室 高柳 史一 中村 彰宏 西馬 聰 原田 高志	フラストレート磁性体 YMn_2 の NMR $EuNi_2X_2$ ($X = Si, Ge, P$) の温度および磁場誘起磁化転移 Magnetovolume effect and nuclear magnetic resonance study of the first-order valence transition in $YbInCu_4$ 反強磁性-強磁性転移を示す $Ce(Fe_{1-x}Co_x)_2$ の磁場中比熱	㈱アドバンテスト ㈱村田製作所 キャノン㈱ 住友電工㈱

氏名	研究論文題目	就職先
結晶物性工学研究室 秋山尚久 岡本明 高濱義久 中本貴之 松田和博	TiAl PST 結晶の破壊靭性 陽電子消滅法による NiAl 中の構造空孔 Ti ₃ Al 単結晶の変形機構 CII _b 型遷移金属ダイシリサイドの欠陥構造と力学特性 陽電子消滅法による MoSi ₂ 中の格子欠陥	クボタ 大阪府 新日本製鐵 松下電器産業 NEC
結晶物性工学研究室 秋山尚久 岡本明 高濱義久 中本貴之 松田和博	TiAl PST 結晶の破壊靭性 陽電子消滅法による NiAl 中の構造空孔 Ti ₃ Al 単結晶の変形機構 CII _b 型遷移金属ダイシリサイドの欠陥構造と力学特性 陽電子消滅法による MoSi ₂ 中の格子欠陥	クボタ 大阪府 新日本製鐵 松下電器産業 NEC
格子欠陥物性学研究室 市坪哲 種池正樹 船尾淳喜	FePd の規則化程に及ぼす外部磁場・外部応力の効果 α 鉄中のクロムおよびマンガンと窒素の相互作用 Ni ₃ Ga の欠陥構造	京都大学大学院 三菱重工 関西電力
材料物理学研究室 田中一郎 樋口優 山本哲也	放射光小中角散乱法による Al-Li 合金の昇温過程における構造変化の解明 超/常伝導複合体における磁束ピニングと超伝導特性に関する研究 メゾ組織制御によるアルミニウム基合金の高強度化に関する研究	住友金属 古川電工 川崎製鐵
材料構造物性学研究室 松井元英	新しいタイプの Zr 基, Nd 基の非晶質合金の局所構造と物性	財団法人鉄道総合技術研究所
材質制御学研究室 池田憲昭 木村成利 長岡亨 墓田一成	極低炭素鋼マルテンサイト組織の冷間圧延・再結晶 ペーライト変態の核生成サイトとしての介在物の効果 Ti-15V-3Cr-3Sn-3Al 合金の加工熱処理による (α+β) 二相組織および機械的性質の変化 Ni-43%Cr 合金の fcc 粒界に析出する bcc 相の結晶学	トヨタ自動車(株) 住友シチックス(株) 山陽特殊製鋼(株) 北海道ガス
エネルギー社会工学研究室 佐藤直人 谷田篤志 寺内雅彦 中曾根修 金薫	HFCVD 法による単結晶ダイヤモンドの Si 基板上へのヘテロエピタキシャル成長 MA Co-Cu 合金の磁気抵抗効果に関する研究 繰り返し圧縮・圧延による Fe/Ag 金属多層体の作製 個体電解質を利用した MA Ag-Cu 合金中の Ag の活量 Cu-Te 系合金の非晶質の作成と熱力学的研究	松下電器産業 トステム 神戸製鋼所 日本ガイシ ウッドランド
材料プロセシング研究室 奥村晃央	高レベル廃棄物固化処理用ガラス中における Fe ³⁺ /Fe ²⁺ red-ox 平衡	新日鉄

氏 名	研究論文題目	就職先
高温プロセス研究室 上田直也 小川貴道 正田雅裕 吉野文徳 脇野雅裕	アンモニアガスによる溶融銅の異常蒸発機構 オゾンガスによる酸化促進 Fe基熱電材料とその性能 還元気相析出法による製鋼ダストからの亜鉛リサイクル Mg浮上溶融塩への $TiCl_4$ 吹込によるチタンの製造	住友金属工業(株) 日本特殊陶業(株) 日本IBM(株) 旭硝子(株) 三洋電機(株)
メゾ材料基礎工学研究室 中根徹裕 安田浩	電界放射の基礎過程に関する研究 金属の微小点接触におけるコンダクタンス	デンソー 日本テキサス・インスツルメンツ
博士後期課程修了者		
氏 名	研究論文題目	就職先
材料設計工学研究室 松永克志 水野正隆	Theoretical Study on Electronic States of Point Defects in Ionic Crystals (イオン結晶中の点欠陥の電子論的研究) Theoretical Study on Chemical Bonding around Lattice Imperfections in 3d-Transition Metal Compounds (3d遷移金属化合物における欠陥構造の化学結合に関する理論研究)	(財)ファインセラミックスセンター (株)神戸製鋼所
マイクロ材料学研究室 内堀千尋	Development of $In_xGa_{1-x}As$ -based ohmic contact to n-type GaAs prepared by RF-sputtering	富士通
材料物理学研究室 北井敬人	メゾスピッコ複合材料の超電導への応用と磁束ピンニングメカニズムに関する研究	ケーエム精工(株)
エネルギー社会工学研究室 安那啓	Nano-scaled material produced by mechanical processing (機械加工を利用したナノスケール材料の作製に関する研究)	日立製作所
高温プロセス研究室 出浦哲史	チタンの精錬プロセスに関する基礎的研究	京都大学エネルギー科学 研究科研究生

博士学位授与者 論文博士

氏名	研究論文題目	主査	取得年月日	備考
表面処理工学研究室 和氣亮介 (新日本製鐵株式会社)	表面処理鋼板の高機能化に関する研究	栗倉泰弘	平成8年7月23日	京都大学大学院 理学研究科修士 課程化学専攻終了 昭和44年3月
材料物理学研究室 川口健一	質量分離された高密度低エネルギー酸素イオンビームを用いた酸化物薄膜のMBE成長に関する研究	長村光造	平成8年4月19日	京都大学大学院 工学研究科修士 課程冶金学専攻修了 昭和62年3月
土井俊哉 (㈱日立製作所)	シングルTl-O層系超電導物質の線材化に関する基礎的研究	長村光造	平成8年4月19日	京都大学大学院 工学研究科修士 課程冶金学専攻修了 昭和62年3月

会員消息

東京水曜会

東京水曜会は、昭和 63 年から開催をしており、今年で 10 年目になる。大学から水曜会会长と資源または材料系の先生に来ていただき、先生のご講演と懇親会を開いている。東京地区に在住の会員は 1520 名で全会員 4700 名の 32% であり、地域的には最も集中している。

今年の東京水曜会は、平成 9 年 2 月 26 日（水）に新橋住友ビルで開催された。出席の申込者は 136 名であったが、実際の出席者は 108 名であった。

出席者の卒業年次別分布は、

昭和 10 年～19 年 4 名

20 年～29 年 31 名

30 年～39 年 40 名

40 年～49 年 23 名

50 年～59 年 10 名

午後 4 時に開会し、水曜会会长で工学研究科材料工学専攻の小岩昌宏教授から「金属学の散歩道」という楽しい題目でお話いただいた。ジュラルミンとタフピッチ銅の語源、お富さんの遊治郎、玄冶店にまつわる「冶」の

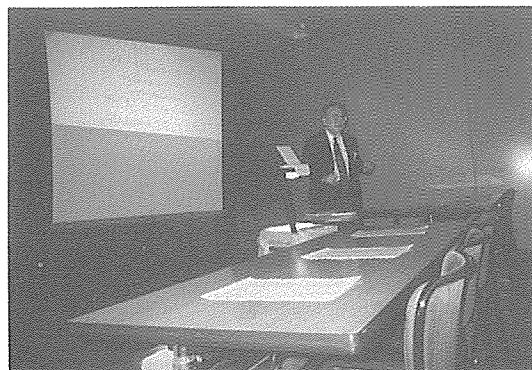
字の解説、高木彬光「肌色の仮面」、福本和也「謎の乗客名簿」、由良三郎「運命交響曲殺人事件」など小説のなかで金属を主題にしたものなど興味のつきない面白いお話をあつという間の 1 時間でした。

つぎにエネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻の西山孝教授より「現代未来における資源の需給について」の題目でお話いただいた。金属資源の消費は先進国や発展途上国の生活レベル向上のため指數関数的に増加してきている。またエネルギー資源も同様である。

21 世紀中に 1～2 の金属の枯渇が起こるだろうし、エネルギーも太陽熱や地熱の開発が進むだろうが、先行きは大問題である。リードタイムの有るうちに総力を上げて将来対策を立てるべきである。ということを豊富な資料や図表で分かりやすくご説明いただいた。

その後懇親会に移り、先生方との久しぶりの挨拶や近況報告、また異業種で付き合いのない方々とも同じ水曜会員として打解けた話合い、名刺や情報の交換など約 2 時間活発に話が続き、午後 7 時半解散となった。

出席者は（敬称略）17 冶・中尾智三郎、18 冶・明田義男、19 鉛・清水良男、19 冶・加藤三郎、20 冶・荒木修、



平成 9 年度 水曜会大会 記念写真（平成 9 年 6 月 1 日 京大会館にて）

東京水曜会
(97.2.26.於新橋住友BLD.)

津田伊三郎 清瀧昌郎 石田喜久
吉田秀隆 八島弘人 松井平一 靖
青木信美 町田 調 滝邊忠雄
松井正治 三田村良太 鈴木公明
辰榮 球 京井熟江 村信之
清水良男 上田喜三郎 真家倫
石井文郎 斎藤元雄 松田好史
中尾智郎 田原正明 福井利安 手塚史展
平原博 桥尾昭吾 松本洋祐 平田八郎
赤澤正久 野村悦二 下川敬治 田中克芳
西山孝 長澤元夫 荒木修 土佐正弘
佐西善男 森薫 大太田豊彦 小林淳男
小岩昌宏 佐伯博藏 奈占屋義代 火山久男
新井勝 永澤正幸 高石研三 吉年一
高山新司 下高田勝治 横本修造 田中莊一
山口進 木村隆昇 木田元昭 齋藤嚴
植田正明 森 政義 藤岡順三 白川幸夫
岩橋俊之 田辺清三 植野泰治
山之内雅彦 石田泰一 才田淳治
川島喜一 奥谷吉正 岩崎滋
植田正明 森 政義 藤岡順三 白川幸夫
小豆野丈 雨宮清 大江孝雄
村主周治 笠原太郎 斎上代一
梶川脩二 河野一清 伊賀久矩

平成9年度 東京水曜会 懇親会寄せ書

太田豊彦、下川敬治、千原學、21鉱・佐伯博蔵、22冶・
田辺精三、23冶・安藤元雄、24冶・青木信美、奈古屋嘉
茂、25鉱・松尾昭吾、25冶・石田泰一、26冶・石井小太
郎、八島正人、27冶・上田喜三郎、京井煦、28鉱・内山
久男、亀谷道夫、吉年一、28冶旧制・車谷省三、津田伊
三郎、町田朗、28冶新制・井上欣一、木村貞治、植田正
明、29冶・岩鶴勇、岩橋俊之、江崎幹、榎本修造、川島
喜一、河野一清、山之内種彦、30鉱・清滝昌三郎、30冶・
赤澤正久、佐藤史郎、31鉱・岡田久、尾尻啓介、31冶・
長澤元夫、野村悦二、村上嗣郎、32鉱・永澤正幸、32冶・
田中克芳、33鉱・飯田秀雄、33冶・梶川脩三、川口宜人、
堀啓一、松本洋祐、34鉱・奥谷吉正、松田好史、34冶・
熱田善男、齊藤晟、杉田宏、田原正明、松井正治、森孝
夫、35鉱・米田元昭、36鉱・笠原大四郎、36冶・岩崎滋、
37鉱・植野泰治、後藤重夫、志田芳久、日比野敏、真砂
野暁、山口善郷、37冶・秦瑛、38鉱・梅津善徳、吉田秀

隆, 38 治・福井利安, 39 治・大辻孝雄, 小原邦夫, 岸田達, 三浦一良, 40 資・新井勝, 萩谷研三, 平澤良和, 40 治・下荒地勝治, 三田村良太, 山口進, 40 金・江村信之, 鈴木公明, 松平靖, 渡辺忠雄, 41 資・真家倫, 42 資・村主周治, 野津能成, 43 資・田中莊一, 43 治・木村隆義, 藤岡順三, 43 金・高山新司, 45 資・山本秀治, 46 治・森政義, 46 金・鬼頭信弘, 48 資・久留島守広, 白川幸夫, 49 資・八田正治, 52 資・雨宮清, 平田八郎, 54 資・室崎宏治, 54 金・石黒哲夫, 55 資・千葉昭彦, 56 金・土佐正弘, 61 金・才田淳治, H1 資・手塚史展, H5 資・馮少孔

今回幹事として、会員への連絡、会場設営、当日の世話等をしたのは、28治・木村貞治、植田正明、37資・植野泰治、38資・吉田秀隆、43治・木村隆義、46資・水落洋一、46治・森政義、48資・白川幸夫、である。

(植田正明記)

会員の声

前号から設けました、会員のみなさまの幅広い意見を募集する「会員の声」の欄に、今回数件の投稿を頂きました。特に、「企業サイドから見た大学教育」につきましては、複数のご意見が寄せられ、関心の高さを物語っています。編集委員会でも、平成8年度に材料工学教室の学生の就職を担当され企業の要望をよく御存知の長村光造教授に、大学の立場からの教育・研究に関するひとつの考え方の紹介を依頼し、「談話室」の欄に「教育と研究の今—材料工学教室の場合ー」と題して掲載しております。

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。多くの「会員の声」をお寄せいただき、水曜会のこれから百年を考える材料や指針を提供していただきたいと考えています。

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、suiyoukai@mtl.kyoto-u.ac.jp

です。その際にはアドレス掲載の是非、所属や卒業年を付記いただけすると幸いです。もちろん、郵便による投稿（はがきも可）でも結構です。その場合は巻末の水曜会誌投稿規定にある原稿送付先までお送りください。皆さまからのご意見、提言をお待ちしています。

Date: Sat, 15 Feb 97 04:38:42 UT
 From: "SHIGERU YOKOYAMA"
 <syokoyama@msn.com>
 To: suiyoukai@mtl.kyoto-u.ac.jp
 Subject: 水曜会誌第22巻第7号の感想

まず、新大学院エネルギー科学研究科の誕生をお祝いいたします。今回号の新宮秀夫氏（教授？）の大会記念講演記事を楽しく読ませていただきました。今後ともこの種の記事の掲載が増えることを期待しております。最後になりましたが、事務局のご苦労に感謝申し上げます。なお、京大のインターネットのホームページのアドレスも掲載してください。

以上

編集部 Reply

京大ホームページ：<http://www.kyoto-u.ac.jp> です。
 なお、以下の homepage も御参照下さい。

<http://www.kumst.kyoto-u.ac.jp/>
<http://hightc.mtl.kyoto-u.ac.jp/>
<http://wakame.mtl.kyoto-u.ac.jp/>

大 学 教 育 と 仕 事

住友金属工業(株) 和歌山製鉄所
 藤原 清人(フジワラ キヨヒト)
 1986院卒(旧高村研卒)

私の場合、大学教育は大いに役立っていると思います。ただ恥ずかしいことに、教科書をあらためて読み返すことは数えるほどしかありません。では、よく言われるように、「ものの考え方や進め方について」大学での教育

が役立ったかといえば、それだけではないように思います。確かにそれは大変重要な事実ではありますが、そういう根本的なものだけでなく、もっと具体的に役立つことが多くあると認識しています。

製鋼の現場でおこる事象はまだまだ目でみて判断することが多く、なかには想像（こんなことが起こっているに違いない）で物事を進めることもあります。そんな時には、やはり大学で学んだ、エントロピーや自由エネルギー、状態図、拡散などという単語が無意識のうちに頭のなかに浮かんできます。（この後教科書を開くかどうかは、人と時間と勿論そのときの事象次第といったところでしょう）

ただしこれは、足し算やかけ算と同じでごく当たり前のこととして頭に入っているので、役に立っているという自覚症状はありません。ただし、自分が何か気がついた事象があった時に、「これを大学教育で得た知識なしに気がついたか」というように考えていけば役に立っていることが多いことに初めて気がづきます。

この文章を書きながらも、自分がついつい日常の業務に追われて、じっくりと物を見たり考えたりする時間（大学教育が役立つ機会でもある）が少なくなっていたことを反省しました。

企 業 サイド か ら 見 た 大 学 教 育

住友金属工業(株) 関西製造所
 古谷 精市(フルタニ セイイチ)
 1987年院卒(旧田村研卒)
 大学を卒業して社会人となって約10年が経ち、その

間の会社生活で経験した種々の事の中で2点ほど学校教育、特に大学教育へ望む事を以下に記述したい。

まず、大学にて工学を修めた技術屋であれ、会社人として何年か経つと経理や経営のセンスが必要とされる。自分の担当する製品の事業性について自ら計画を立案し、実行し、実績をフォローしていく事が必要とされる。つまり、その事業の経営者たる資質が要求されるのである。従って、工学のみならず是非とも経営や経済学についてのセンスを学生時代に知ることができるような教育を大学に切に希望したい。

次に、なんといつても語学教育の充実が大切であると思う。これだけ日本企業がグローバル化してきた昨今では、入社して即海外企業との交渉をする機会や海外出張の機会が必ず出てくる。そうした時のために、高校の英語教育の延長線上のような教育ではなく、即戦力となるように語学教育が充実化されればと思う。

以上偉そうな事を記したが、これらは現在私自身が直面していることでもあり、それゆえ大学教育や学生生活の中で少しでも経験しておけば良かったという思いで記述させて頂いた。

企業サイドから見た大学教育

住友金属工業(株) 未来技術研究所
細見 政功(ホソミ マサノリ)
1990年院卒(山口研卒)

世の中がめまぐるしく変化している昨今、皆がその動きに簡単に右往左往させられている感じがしてならない。今の大学教育にはこれから変化の大きな時代に展望と自信をもって突き進んでいける人材の育成が課題ではないだろうか。そのためには技術的な知識の教授だけでは十分とはいえない。まず、学生は、世の中の仕組みを理解するため、政治と経済を勉強すべきである。次に、歴史を勉強すべきである。これは歴史が繰り返されることを認識するためではなく、世の中の変化がどのように展開されてきたか、歴史から学ぶ姿勢を身につけるためである。例えば、インターネットがすごい勢いで普及してきた最近の現象は、印刷技術が開発された時代と似ているのではないか。その時代に人々はどう対処したのかを知ることが自らが直面している問題を解く糸口になることも有り得るだろう。さらに、未来はどうなるのか、大いに議論すべきであろう。

以上の内容は、自らの反省に基づいた提言である。

熱田 善男 34年冶金卒

昭和30年入学、昭和34年卒業、私たちは工学部は専攻学科別の受験だった。1回生は宇治、2回生は吉田、

T1~T7と専攻学科混合クラスで、勉強嫌いの冶金の学生が、電気や機械の勉強好きな人種と一緒に良い経験をした。語学や数学、物理、化学実験、物理実験、等は手を抜けないが、サボれる科目は皆結構サボっていた。

3回生から赤レンガ。ノート学習になり結構シンドかった。夏休みに工場見学旅行があり、全員で出掛けたのは、たいへん楽しかった。また、希望者には工場実習も特別に手配していただいた。

4回生になると、研究室に3~4人づつ配属され、卒論の実験になった。選択の講義は取らず、毎日、研究室に出る。だべったり、卒論の準備、文献を読んだり、先生の実験の手伝いから始めた。隙を見て、サボリ、外遊びに出た。夏休みの工場実習は就職が内定している会社に行くケースが多く、緊張したのを覚えている。思い出が深いのは、卒業生送別ダンス・パーティ、3回生が主催するので、その準備に忙しかった。ダンスなんて初めてなので、教習所通りが始まる。鴨川に面した普通の家で江崎先生というお母さんのような方に習った。この先生のご長男がノーベル賞を貰われるのは15年ぐらいの話。

教室の先生方の考えは、ガリ勉は余り良くないと、技術者としての思考力と態度に重点を置く指導方針だったような気がする。状態図の読み方やディスロケーションといった面倒な事項は噬んで含めるように教えていただいだ。実験の時間に軟質試料の研磨がうまくいかず、全員研磨キズのまま観察して誤魔化しのスケッチをして、バレて、実験の基本に外れていると厳しくしかられたことがあった。仕上げの卒論の実験は本格的なことをさせていただいたと記憶している。でも、実験が嫌になると、抜けてパチンコで豪華晴らしをしたり、麻雀で徹夜をしたこともある。それを許していただける雰囲気があった。学生時代に遊んでも、社会へ出れば、人並み以上にやる、大丈夫だと、強く信頼していただき、首に紐をつけず、広い牧場のような場所に、放し飼いにしてもらったのだろう。遊びも人格形成になるからいいんだ。学問や技術は、人に教わるものではない、自分の興味と努力で蓄積するものだ、そのような指導を受けたように思える。

冶金は25~26名で比較的少なく、赤レンガの中で、3回生~4回生の2年間と共に過ごして、楽しい記録、叱られたこと、全員がお互いに親しくなり、還暦を過ぎた今でもその友情は続いている。

新しくなった大学が、私たちの頃の冶金のように、勉強嫌いも受け入れて、豊かな人間形成ができる環境をつくることを忘れないで、諸施策を進めてほしい。

逝去会員

平成9年1月16日 金澤一雄 名誉会員
 平成9年1月6日 田中琢磨 昭14・採
 平成9年3月1日 児島泰道 昭36・鉱
 平成8年7月19日 前田耕一 昭25・鉱
 平成9年2月3日 新開芳之助 昭19・冶
 平成9年2月6日 鈴木純 昭28・新治
 平成8年12月26日 松尾健 昭28・新治
 平成3年10月 永田瓊一 昭18・鉱
 平成9年3月1日 児島泰道 昭36・鉱

ご逝去を悼み、ご冥福をお祈り申し上げます。

教室報告

教官人事
 <旧資源系>
 工学研究科・資源工学専攻
 平成9年3月31日 佐々宏一教授は定年退官された。
 平成9年4月1日 平野勇君は助教授に任官された。
 エネルギー科学研究科・エネルギー応用科学専攻
 平成9年3月31日 中廣吉孝教授は定年退官された。
 平成9年4月1日 陳友晴君は助手に任官された。
 <旧金属系>
 工学研究科・材料工学専攻
 平成9年4月1日 津崎兼彰助教授は科学技術庁
 金属材料研究所へ転出された。

平成9年度水曜会誌編集委員

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

平成9年6月20日印刷 平成9年6月30日発行

編集兼
発行者 小岩昌宏

印刷者 小林生男

日本印刷出版株式会社

553 大阪市福島区吉野1丁目2番7号
 電話 大阪(441)6594~7
 FAX 大阪(443)5815

発行所 京都大学工学部
 資源工学教室・冶金学教室
 金属加工学教室

水曜会

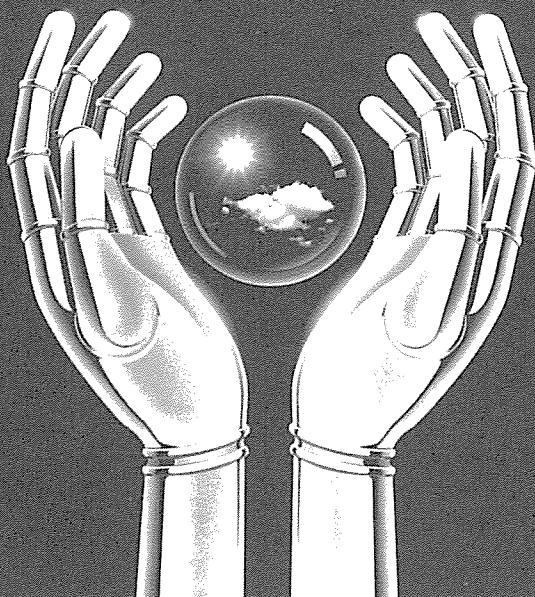
606 京都市左京区吉田本町

振替口座 京都01090-8-26568 電話(075)753-7531(大代表)

銀行口座 第一勧業銀行百万辻支店

普通 476-1242526 水曜会

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、
アモルファシリコン感光ドーム、
電磁波シールド、メモリーディスク

■ MOTORIZATION

自動車・二輪車用熱交換器、自動車専用AIM、
軽量化部品

■ SPORTS

ハングライダー、バット、スキーストック等

■ ENERGY

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

■ FAMILY

食品医薬品包装材、容器、アルミ缶、家庭日用品等



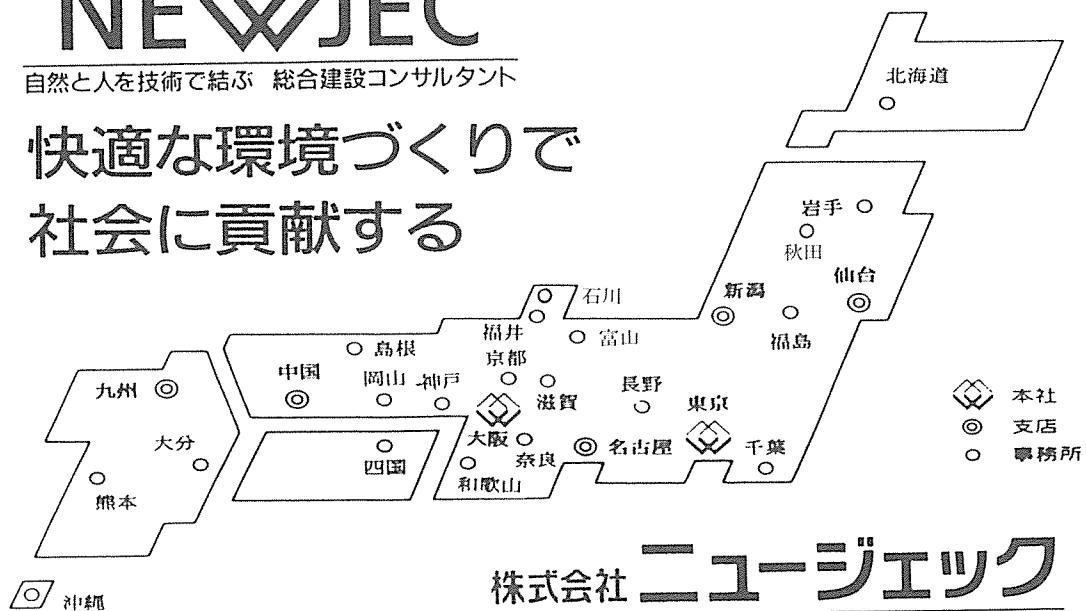
昭和アルミニウム株式会社

東京都千代田区飯橋3丁目6番5号 TEL 03(3239)5321

NEJEC

自然と人を技術で結ぶ 総合建設コンサルタント

快適な環境づくりで 社会に貢献する



本社
支店
事務所

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

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

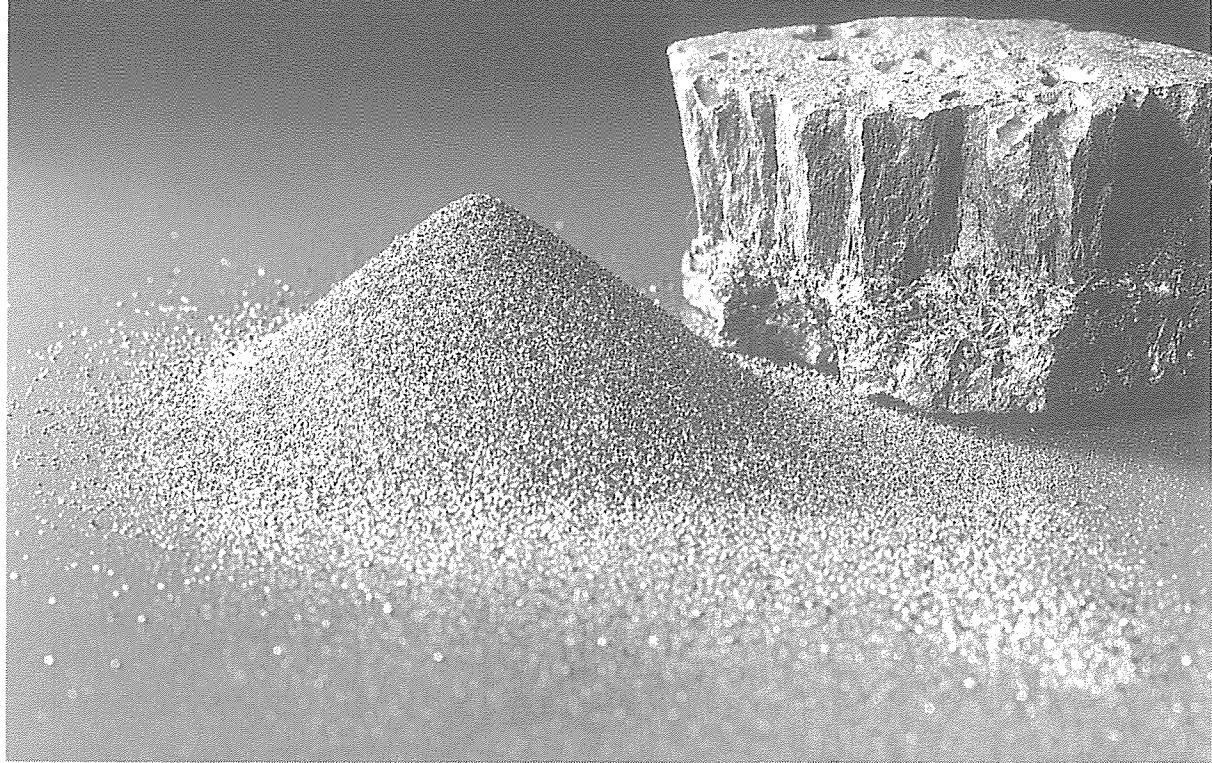
ニーズから発想、シーズから創造。

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リストなわけです。

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 京都市山科区西野山中臣町20
TEL075-581-2161(代表)

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

東京支店 〒103 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 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 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)

福岡営業所 〒812 福岡市博多区博多駅東2丁目17番5号
モリメンビル3階 TEL092-451-8751

滋賀工場 〒527-01 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
Japan (phone) 075-581-2161

Business Headquarters:

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

9-1, 3-chome, Nihonbashi, Chuo-ku, Tokyo, 103 Japan

(phone) 03-3271-4411

Tokyo Branch:

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

Nagoya Branch:

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

Osaka Branch:

Fukuoka Sales Office: Morimen Bldg. 3th floor, 17-5 Hakata-eki Higashi 2-chome,

Hakata-ku Fukuoka, 812 Japan (phone) 092-451-8751

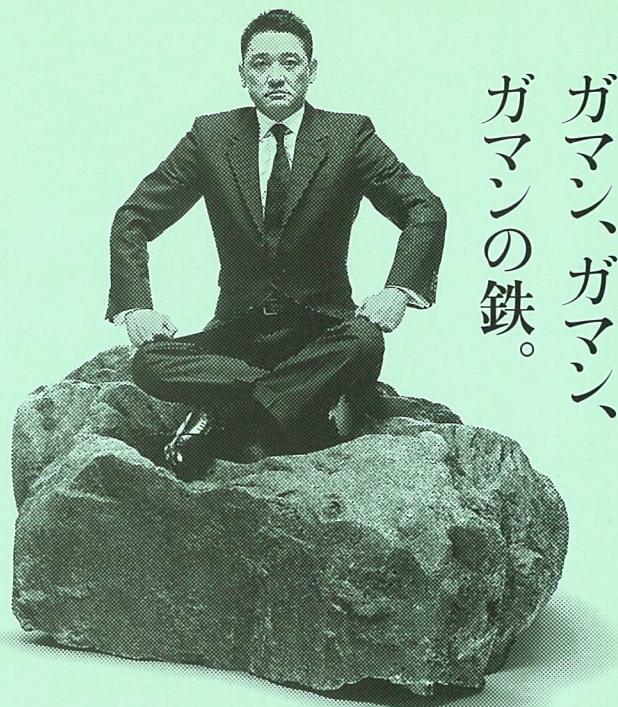
Siga Factory:

514, Azakitura, Oaza Hirayanagi, Koto-cho, Echi-gun, Siga,
527-01 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

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。日新製鋼といふ名

の会社につくられた。亜鉛

メッキにアルミが入つてい

るから、びかの耐食性と

絶妙な加工性をもつ。いく



長寿を誇る鉄である。軽自動車から

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

シの子孫がたくさん生まれ

ることによって世界も豊もし、どうぞ。

鉄+忍耐=ファインスティール、日新製鋼の仕事です。

ホームページを開設しました。ぜひ、ご覧ください。http://www.nisshin-steel.co.jp

日新製鋼株式会社

〒100 東京都千代田区丸の内3丁目4番1号(新国際ビル) ☎ 03-3216-5511

Suiyōkwai-Shi

TRANSACTIONS OF THE MINING AND METALLURGICAL
ASSOCIATION
KYOTO

CONTENTS

Lecture

- Metallurgy of Titanium (V) — A Historical Review— Joichiro MORIYAMA..... 479

Review

- Worldwide Oil Supply-Demand Forecast Keiichi KOBAYASHI..... 488

Forum

- Restructuring of Department of Mineral Science and Technology,

Faculty of Engineering, Kyoto University Kohkichi KIKUCHI..... 494

- Teaching and Research Activity in the Department of Materials

Science and Engineering Kozo OSAMURA..... 501

Current Studies in Laboratories 506

Suiyōkwai Information 528

Letters to Editor 538

Members's Voices 540

Department of Mineral Science and Technology

Department of Metallurgy

Department of Metal Science and Technology

Kyoto University

Japan