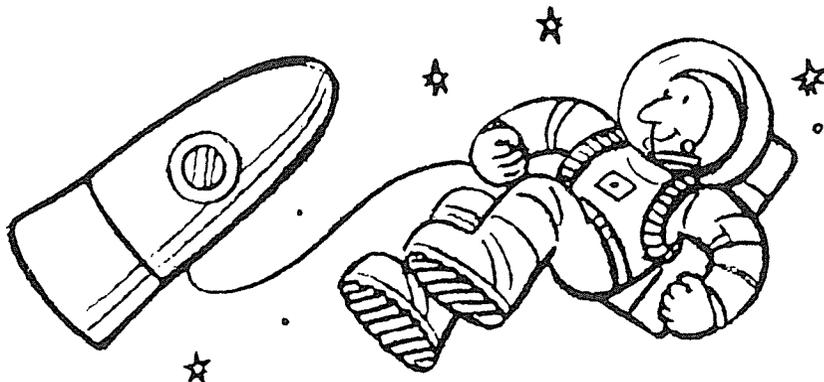


そこに大同特殊鋼がいるから。
ほら、ね。宇宙の夢もどんどん近くなる。



私たちは、航空宇宙や自動車、
エレクトロニクス、エンジニアリングなど、
さまざまな分野で未来を拓いています。

 **大同特殊鋼**

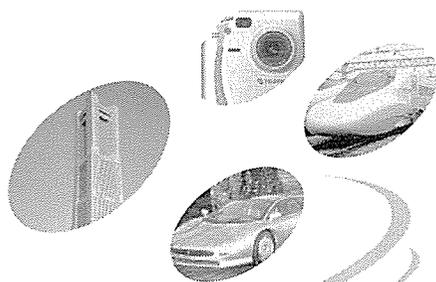
DAIDO STEEL

本社 〒460-8581 名古屋市中区錦1丁目11-18 (興銀ビル)
東京本社 〒105-8403 東京都港区西新橋1丁目7-13 (大同ビル)
大阪支店 〒541-0043 大阪市中央区高麗橋4丁目1-1 (興銀ビル)
<http://www.daido.co.jp/>

世界を

あっ!

と言わせる仕事



Nippon Light Metal

私たちは時代の流れが求めている
マテリアル“アルミニウム”で
それを実現します。



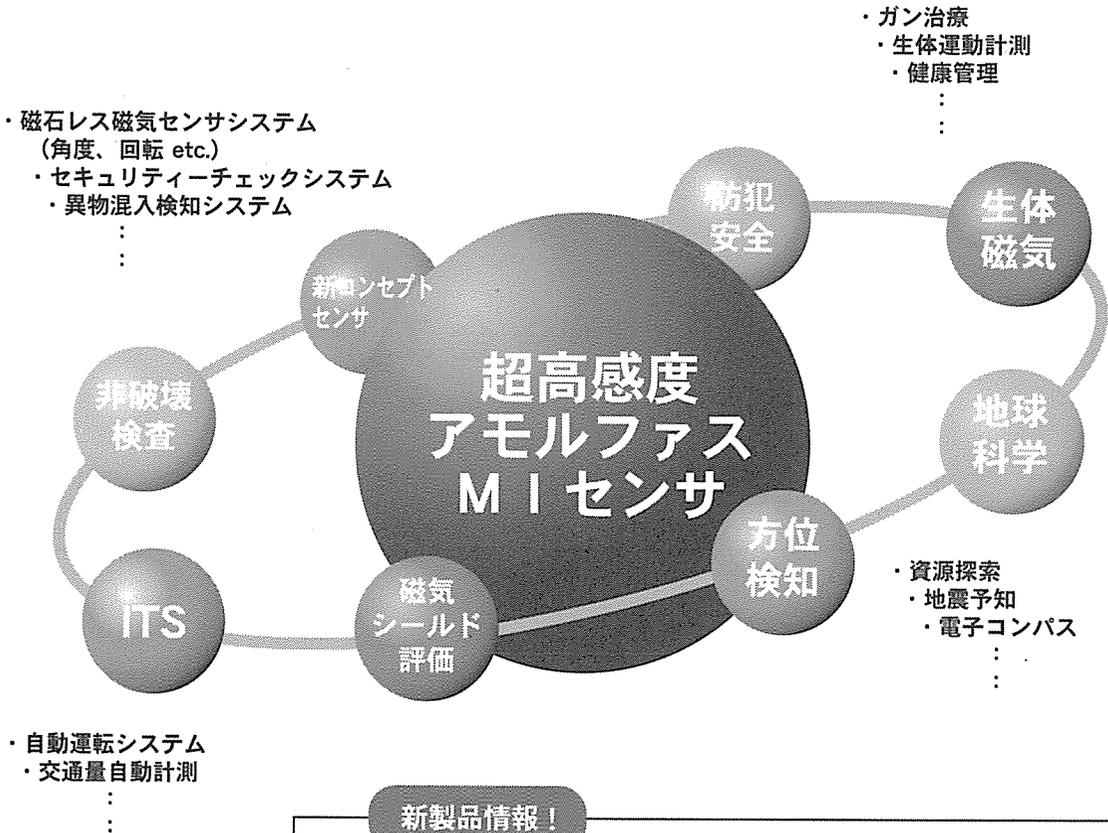
日本軽金属株式会社

〒140-8628
東京都品川区東品川2-2-20天王洲郵船ビル
TEL 03-5461-9333

URL: <http://www.nikkeikin.co.jp/>

超微小磁気の世界へ！

アイチ・マイクロ・インテリジェントは、超高感度MIセンサを応用した、高度磁気センシングシステムを提案します。

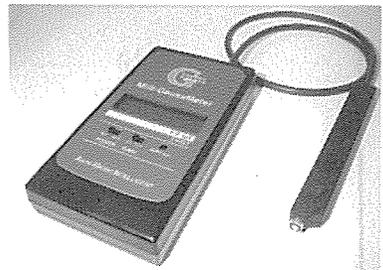


新製品情報！

ミリガウス・メーターTM

生体磁気、地球環境の
フロンティア研究に
必須のツール

地磁気の1/1000まで
測定可能！



アイチ・マイクロ・インテリジェント株式会社

<http://www.aichi-mi.com/>

本社： 〒476-8666 愛知県 東海市 荒尾町ワノ割1番地
TEL: 052-603-9957, FAX: 052-603-9831
名古屋事務所： 〒468-0051 名古屋市 天白区 植田3丁目1507 レスカールK 2階
TEL: 052-848-3351, FAX: 052-848-3358

創業以来60余年

私たちは合金生産技術の可能性を
追求しています。

非鉄 中間合金

りん銅、マンガン銅、けい素銅、
ボロン銅、鉄銅等

銅合金 鑄造加工

OMアロイ、各種青銅、真空脱ガス
処理による鑄造品



株式
会社

大阪合金工業所

代表取締役社長 水田 泰次

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

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



OBUYASHI

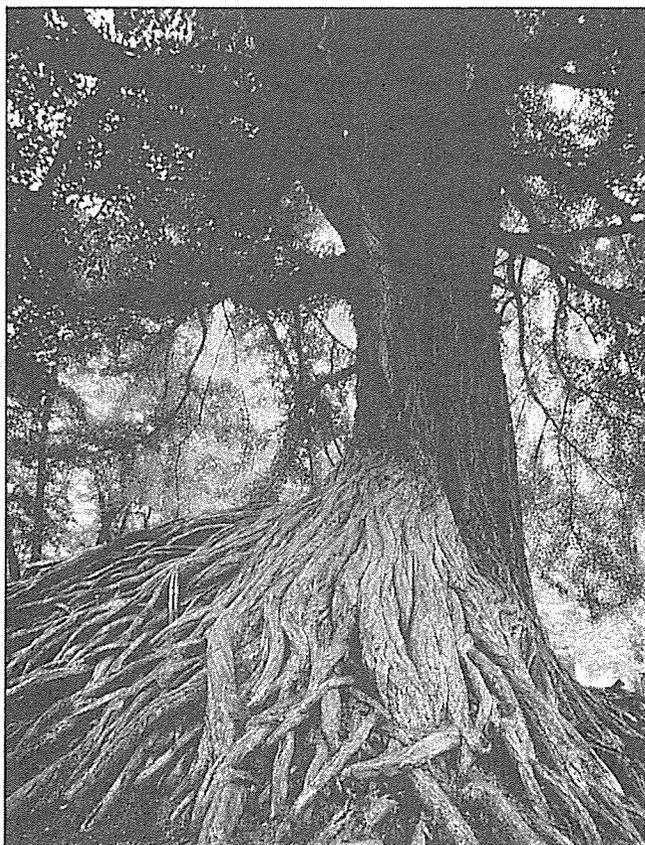


あしたのものがたり

出会は、
人をゆたかに育ててくれます。
ひとりひとりの夢は、
語られ、共有されて
あしたのたしかなかたちに
なっていくます。
たてものは、人と未来が
出会う場所なのです。

大林組

<http://www.obayashi.co.jp/>



どっしりと
新世紀の大地に根ざす。

◆ 住友大阪セメント株式会社

〒101-8677 東京都千代田区神田美土代町1番地
TEL. (03) 3296-9600 ホームページ <http://www.soc.co.jp/>

ナタルスタイリスト

FUKUDA
FUKUDA METAL FOIL & POWDER CO., LTD.

金属粉1,000品種以上を揃え どんなニーズにもお応えします

粉末冶金材料

導電材料

顔料

摺動材料

表面硬化・接合材料

触媒



FUKUDA



福田金属箔粉工業株式会社

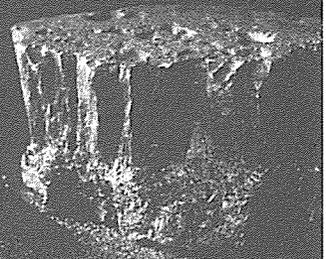
本社・京都工場 〒607-8305 京都市山科区西野山中臣町20番地
TEL (075) 581-2161 FAX (075) 581-7271

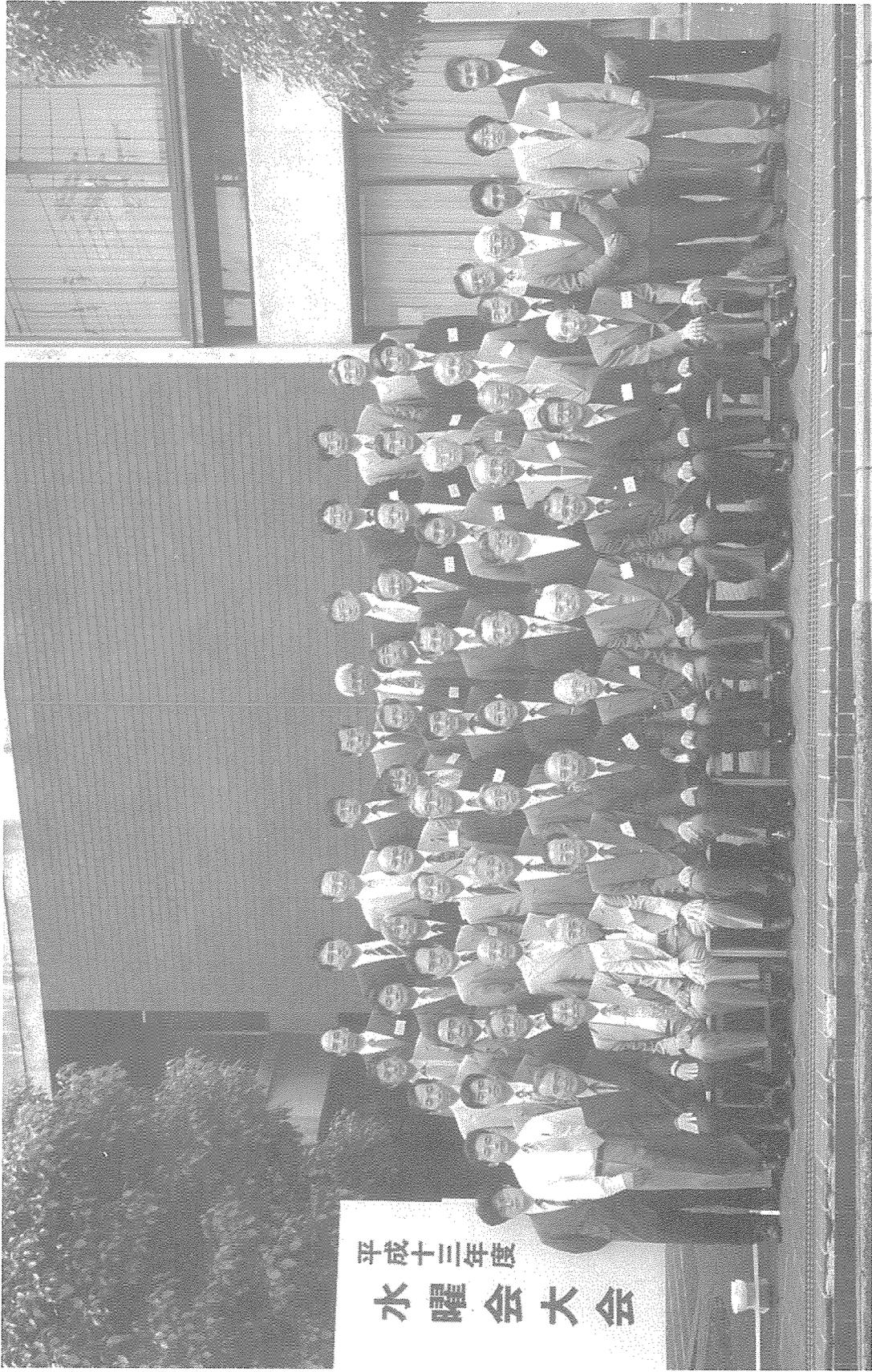
東京支店 〒103-0027 東京都中央区日本橋3丁目9番1号
TEL (03) 3271-1230 FAX (03) 3271-4425

名古屋支店 〒460-0003 名古屋市中区錦3丁目7番9号
(太陽生命名古屋第二ビル3階)
TEL (052) 961-7851 FAX (052) 961-0102

大阪支店 〒532-0003 大阪市淀川区宮原3丁目5番36号
(新大阪第2森ビル7F)
TEL (06) 6397-1022 FAX (06) 6397-1033

滋賀工場 〒527-0102 滋賀県愛知郡湖東町大字平柳字北浦514番地
TEL (0749) 45-0841 FAX (0749) 45-0815





平成 13 年度 水曜会大会 記念写真 (平成 13 年 6 月 16 日)

退官記念講演

研究とあそびどころ
—セレンディピティを追って—

小 岩 昌 宏*

Retrospection of My Research Life
—What is Serendipity?—

by Masahiro KOIWA

定年退職を迎えるにあたって、平成12年3月3日に材料工学教室で最終講義の機会を与えていただいた。当初は40年近い研究生活でとりあげたテーマを振り返って研究内容中心の専門的な話をするつもりで準備をはじめた。ところが中学の同窓会の折に友人達から「定年になる前に京都大学を見に行きたい、できれば最終講義も聞かせてほしい」との希望があった。そこで聴衆の中には私の専門としてきた材料科学に関してはまったく素人の人もいることを念頭において話の構成を考えた。最終講義はある意味で長年の研究生活の総決算をする機会であるから、これまで発表した学術論文を整理し、いろいろな角度から点検評価をすること、更にその内容を一般の人にも理解できる形で説明することを試みることにした。また、研究生活に必要な英語をどう学んだか、計算機とどのようにつき合ったかなど研究の周辺の話を取りあげ、後進の人々の参考に資することを心がけた。3月3日には、教室職員・学生諸君はじめ研究室出身の卒業生、東北大学在職時以来の共同研究者や知人、大学、中学の同窓の友人が東京、名古屋、大阪からもお出でいただいて感慨深く最終講義を終えることができた。この度水曜会誌への寄稿を求められたので、当日の講義の内容をもとに、言い残したことも加えて書くこととした。

1. 私の研究と論文

私は1964年に東京大学大学院博士課程を修了して東北大学金属材料研究所に21年間勤務したのち、京都大学工学部に移り15年を経て定年を迎えた。あわせて36

年間大学での教育研究の生活を送ったことになる。これに大学院学生として過ごした5年間を加えると41年になる。この間に発表した英文論文は210編で、図1に年度別の発表論文数を示した。この図には研究者としての節目となる出来事を書き込んである。1992年と1999年に京都で開催した国際会議の組織委員長を務めたこと、1997年からの3年間、文部省科学研究費補助金特定領域研究「材料組織制御をめざした相変態の微視的機構の解明」の領域代表者を務めたことは、何とか重責を果たすことができたという達成感とともにとくに忘れ難い思い出である。

高村仁一先生(故人、京都大学名誉教授)から、京大へ来る気はないかとの打診があったのは、確か1983年秋の日本金属学会秋期講演大会(秋田大学)の折だった。東北大学金研で教授になって4年、ほぼ研究室のスタッフもそろい実験装置の立ち上げができつつある時期で当初はまったくお受けするつもりはなかった。研究室を建設途上で投げ出すことにより東北大や研究室のスタッフ・学生に迷惑をかけることが気掛かりであったし、個人的にも家を建てて間もないこと、3人の子供の学校のことなどが気になった。しかし、高村先生から「ゆっくり考えて結論を出してください」と粘り強くおすすめいただいたこと、金研の先輩教授方をはじめ数人の方に相談したところ「大学の人事交流が停滞している中でそういう話があれば前向きに考えたら」との助言を頂いたことなどから、1984年夏にお受けする旨の返事をして翌年4月に京都へ赴任した。

研究論文の解析

さて、210編の研究論文を内容別に分類してみたのが

*京都大学名誉教授

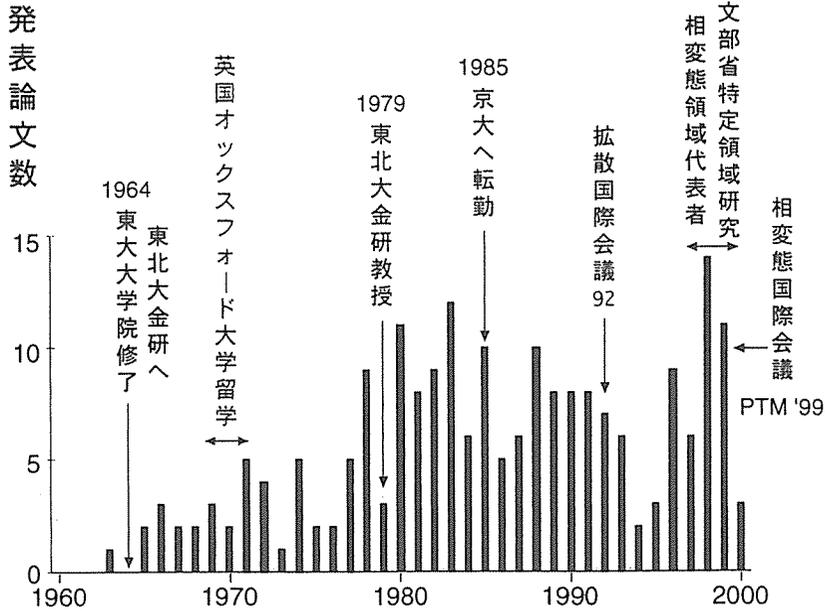


図1 年度別発表論文数.

表1

発表論文(英文210篇)の解析 I

1. 研究内容別	
A. 力学的性質に関するもの	90
内部摩擦	61
水素化物析出	24
Snoek効果	13
転位、双晶	14
その他	10
弾性率測定	17
六方晶の転位芯構造	12
B. 原子移動、拡散に関するもの	68
ランダムウォーク、相関係数など	26
金属間化合物中の拡散	18
チタン中の高速拡散	11
トラッピング、回復挙動	8
C. 結晶構造、相変態など	38
規則-不規則変態	15
照射損傷、イオンチャンリング	13
水素水素化合物	10
D. その他	14

表2

発表論文(英文210編)の解析 II

2. 主たる発表雑誌			
Philosophical Magazine	39		
Materials Trans., JIM (日本金属学会)	28		
Acta Materialia	24		
Defect and Diffusion Forum	10		
J. Physical Soc. Japan (日本物理学会)	9		
Scripta Metallurgica	8		
J. de Physique, C	8		
J. Less Common Metals	6		
Radiation Effects	5		
Materials Science & Engg, A	3		
Intermetallics	3		
3. 共著者数			
単独論文: 23	共著者 1: 48 共著者 2: 64		
4. 共著者別論文数			
沼倉 宏 45 (京大)	石岡俊也 31 (神奈川大)	中嶋英雄 29 (阪大)	吉成修 25 (名工大)
田中克志 23 (京大)	箕西靖秀 14 (東北大)	安田秀幸 9 (阪大)	有田真之 6 (現姓 田中)

表1である。私の研究分野をキーワードで表すとすれば、「内部摩擦、拡散、ランダムウォーク、相変態」が妥当なところであろう。表2には論文を発表した雑誌別の論文数を記してある。学部4年になって研究室配属が決まってから、図書室で専門の雑誌を手にとる機会が多くなったが、当時よくみた雑誌が Philosophical Maga-

zineと Acta Metallurgicaであった。Journal of Applied Physicsもよくみたが、字が小さくぎっしり詰まっているのに対し、前2つの雑誌は図面も大きくゆったりした感じで読みやすかった。研究者としての駆け出しの頃に好印象をもった雑誌への掲載数が多かったのは

当然とも言えるが、こういう整理をしてはじめてそのことに気づき、三つ子の魂百までと我ながら感心している。第2位(日本金属学会)と第5位(日本物理学会)は日本の学会が発行している英文誌である。現在学術雑誌は欧米諸国の学会・出版社から発行されているものが主力となりつつあり、日本人研究者も日本で発行されている雑誌に投稿しながらない傾向がある。投稿料(別刷り購入代)が高く、発行部数も多くない(したがって当該分野の研究者の目に止まる機会が少ない)雑誌への投稿が少ないのは無理からぬことではある。しかし、このまま推移すると学術情報の発信は全て欧米に集中し、日本から発信基地がなくなるということにもなりかねない。「格別の愛国心をもって国内発行の学術雑誌への投稿を」と日本金属学会の会長を務めていた際に会員諸氏に呼びかけたが、自分自身の論文の18%弱(37篇)は国内誌に出したものであり、まずは後ろ指を差されない程度かと思っている。

表2には発表論文の共著者に関するデータも示してある。沼倉宏氏(京大工)は東北大金研における筆者の研究室の最初の大学院学生であり、大学院博士課程修了後に京大に来ていただき、研究室の立ち上げに協力していただいた。石岡俊也氏(神奈川大学理学部)は学生時代からの友人で、東北大金研では別の研究グループに属していたが、拡散の相関係数、ランダムウォークに関する計算などで共著の論文をいくつか書いた。中嶋英雄氏(阪大産研)はやはり東北大金研での研究室の仲間であり、チタンや金属間化合物における拡散に関する論文はほとんど全て同氏との共著である。吉成修氏(名古屋工大)は筆者が助教教授のときの大学院学生で、金研で助手として研究室作りに協力してもらった。金属中の水素の挙動、水素化物の析出と内部摩擦に関連する仕事は彼の学位論文ともなったものである。

自選論文ベスト3

さて210編の論文の中から代表作(自信作?)3つを選べと言われたらどうなるだろうかと考えてみた。共著の論文の場合には、自分の貢献が大きいと自負できるものに限って考えた。主観的に良い論文であるという自信があることだけではなく、他の研究者からも相応の評価を受けている論文であることを確認するため、Citation Indexを調べてみた(Citation Indexの仕組みや利用法については筆者の書いた解説¹⁻³⁾を参照されたい)。その結果選んだのが下記の3編である。

- (1) 体心立方格子中の侵入型不純物原子の拡散におけるトラッピング効果

M. Koiwa, *Acta Metallurgica*, **22** (1974) 1259

引用 82 回 (うち自己引用数 7 回)

- (2) 体心立方三元合金におけるスネーク効果の理論

M. Koiwa, *Philosophical Magazine*, **24** (1971) 81

引用 32 回 (うち自己引用数 9 回)

- (3) 規則合金における拡散機構

— B2 型格子における 6 ジャンプ空孔機構の詳細解析

M. Arita, M. Koiwa and S. Ishioka, *Acta Metallurgica*, **37** (1989) 1363

引用 18 回 (うち自己引用数 2 回)

(1)は金属中の水素の挙動に関する研究が盛んであった時期に発表したもので、鉄中の水素の拡散係数の温度依存性が異常であることの定量的な説明を与えたものとしてよく引用された。

(2)はオックスフォード大学で在外研究(ラムゼー卿記念研究員)中に発表した5連作の最初の論文である。当時、体心立方三元合金における内部摩擦のスネーク・ピークの形状から置換型原子と侵入型原子の相互作用を論ずる研究論文がいくつか発表されていた。しかし、いずれもデバイ型ピークの重ね合わせにより実測されたピークの形状を再現し、各成分ピークの成因を論ずるという理論的基礎があやふやな方法に立脚したものであった。この論文は、相互作用ポテンシャルが与えられたときの緩和効果を厳密に計算する処方を与えたもので発表当時にも一応の評価は得たものの、実際に実験データを解析して見せなかったこともあり敬遠された感がある。比較的最近になって、高感度・高精度の自動測定装置が普及したこと、高純度の試料作成が可能になったこと、鉄鋼材料とくに薄板中の侵入型原子C, Nの挙動が新たな注目を集めたことなどにより、再びよく引用されるようになったことは著者として嬉しい限りである。

(3)は京都大学へ赴任してからはじめた金属間化合物中の拡散機構に関する論文で、最初の博士課程の学生、田中真之君(旧姓 有田)の学位論文の一部となった仕事でもある。

忘れ難い1冊の本

ところで、上記の(1)、と(3)の論文では、確率過程論における mean first passage time (平均初回通過時間)という量(さまざまな素過程を経て起こる現象を総合的に捉えたとき、その平均速度の逆数)を計算している。オックスフォードの自然科学系図書館の書架で見かけたまたま手にとった本 D. A. McQuarrie, *Stochastic Approach to Chemical Kinetics*, Methuen's Review Series in Applied Probability, Volume 8, 1967 にこの概念に関する詳しい解説があったのである。全部で68ページの小冊子であるが、私の研究生活でおおきな影響を受けた本を挙げるとすれば、これを省くわけには行かない。

大学院生時代の論文

なお、大学院学生時代に書いた論文は、橋口教授から

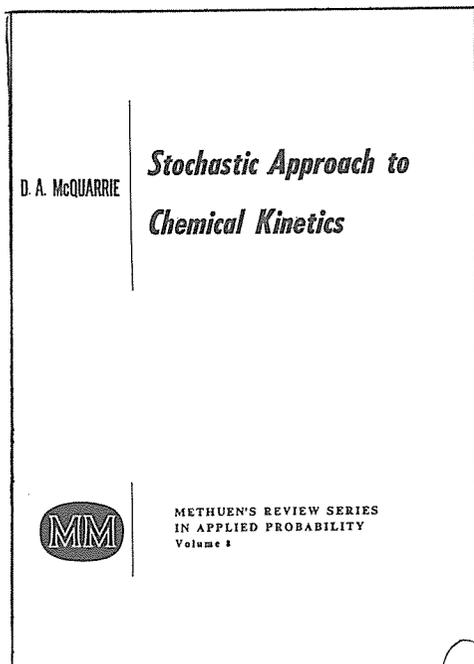


図2 オックスフォード大学の図書館で出会った1冊の本。

与えられたテーマでの研究の報告であり、同教授との共著であるから、自選論文ベスト3の対象外とした。しかし、内部摩擦の専門書には詳しく紹介されているものであり、橋口教授の学士院賞受賞の理由にも挙げられているので、番外として記しておくことにしよう。

(4) 加工した銅の低温内部摩擦ピーク

M. Koiwa and R.R. Hasiguti, Acta Metallurgica, 11 (1963) 1215

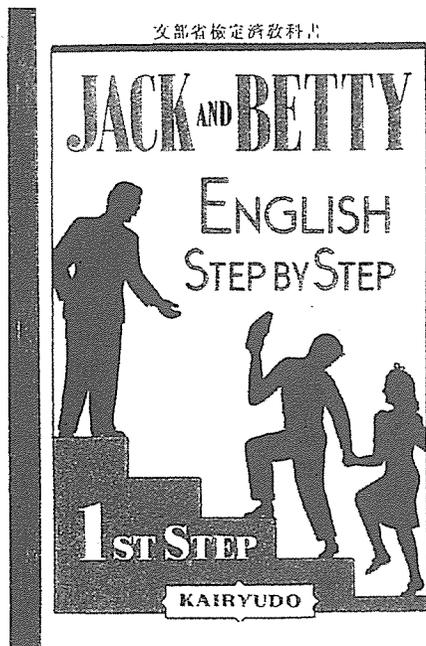
(5) 転位の熱的離脱による内部摩擦ピークの理論と銅の P_1 ピークへの適用

M. Koiwa and R. R. Hasiguti, Acta Metallurgica, 13 (1965) 1219

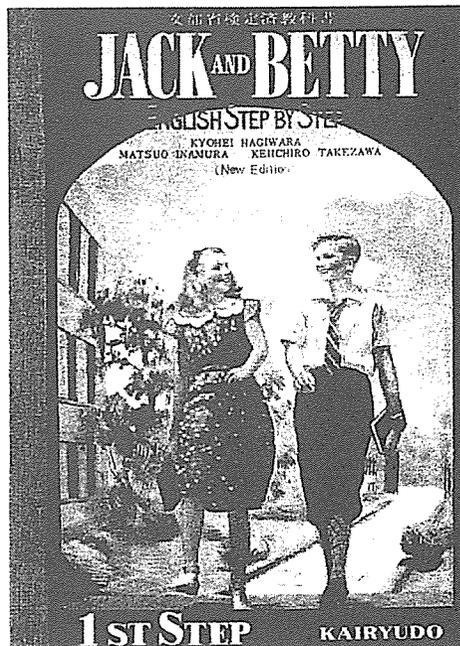
2. 英語と私

十数年前に「永遠のジャック&ベティ」(清水義範, 講談社, 1988) という本が出版された。「Jack and Betty」は昭和24年から10年間ほどの間、全国の8割以上の学校で使われた中学用英語教科書である。シカゴ近郊の町エヴァンストンに住むアメリカの中産階級の中学生男女ジャックとベティが主人公として登場する。清水義範の本は50歳になったジャックとベティが34年ぶりで再会する場面を描いたパロディである。

書店の店頭でこの本の一部を立ち読みして、中学1年(愛知県西枇杷島中学)のときに英語を教わった日向英昭



S. 24~33年度用



S. 26~33年度用

図3 中学校の英語教科書。

先生のことが頭に浮かんだ。CBC(中部日本放送)でディレクターをされていると聞いたことを思い出し連絡をとって約40年ぶりで再会を果たした。生徒一人一人に英語の名前をつけ、その名前呼び合う約束で進められた授業は活気に満ちていた。受験勉強中であった先生は、1年後に北大文学部に進学のため退職されたので、教師としての生活は短かったが「人生のうちでもっとも濃密であった一年」と同窓会の折に回顧される。その授業を受けた同窓の友人3人が私の最終講義を聴きに来てくれた。(その一人、工藤泰司君が教科書「Jack and Betty」の復刻版(開隆堂)を貸してくれた。「桃の日や 晴れて友垣 講義閉ず」と一句送ってくれたのだが、悲しいことに平成13年7月18日、帰らぬ人となった。)

ラジオ講座のすすめ

よき師に恵まれて英語への門をくぐった私は、NHKラジオの基礎英語講座を一時期熱心に聴講した。「ウェイフィールドの牧師」などの著作で知られている英国の小説家、Oliver Goldsmithはドアに「外出中」の札をかけて散歩に出かけ帰宅してその札を眺めて「留守では仕様がなし」とまた引き返した……といったエピソードが教材にあったことを覚えている。余談になるが私の3人の子供たちには、小学6年と中学1年では基礎英語を、中学2、3年では統基礎英語を聴講するようにすすめた。また中国からの留学生にもこれらの講座を聴くことをすすめ、英語と日本語の両方のいい勉強になったと感謝されている。

ラジオ講座には高校進学後もお世話になった。高校1年のときに5球スーパー受信機を組み立て、それまで使っていた高一受信機(高周波増幅一段付き)では聞こえなかった東京の民間放送の電波を愛知県でも捉えられるようになったのである。高校へ入学した昭和27年、東京の文化放送から旺文社の大学受験ラジオ講座が放送され始めた。ブラームスの大学祝典序曲をテーマ曲とする講座は、たしか夜9時か10時に始まったと思う。岩田一男(一橋大学)、野原三郎(明治大学)、J. B. ハリスなどが英語を担当した。塩田良平(二松学舎大学)のおっとりした話し振りの国語の講義はいまも耳に残っているような気がする。町立裁縫女学校を母体にスタートした高校(愛知県立半田高校内海分校、現内海高校)は普通科、家庭科各クラスの小規模校で大学進学を目指すものはごく少数であったけれど、励ましあってこの講座で学んだ友人とともに進学を果たすことができた。

英会話学校に通う

大学では研究室配属が決まる4年のはじめまでは英語に関する特筆すべき思い出はない。海外から研究室を訪れる研究者の講演を聴いたり、片言の会話を交わすう

ちに英会話の必要性を痛感した。大学院修士課程在学中に東京と京都で結晶格子欠陥に関する国際会議が開かれることになり、諸外国から著名な研究者が参加することを知らされ、意を決して英会話の学校に通うことにした。神田美土代町にあるYMCA英会話学校の夕刻2-3時間、週3回のコースに入った。ところが初等科は30人近くの大クラスで、ミシガン・メソッドとか称するpattern practice中心の授業であったが講師も不慣れな人が多かった。たまりかねて中級クラスに代えてもらったら、人数も半分程度で話す機会も増えたいぶまじになった。エジンバラ出身の英国人の先生と懇意になり、帰途は逆方向であったが先生と毎晩一緒に神田駅まで歩き話し相手になってもらった。やがて進級した上級クラスは大学病院の医師、国会図書館職員、大学付置研の助手など近い将来に渡米する計画を持った少人数で、自分の言葉で話す訓練の良い機会となった。

オックスフォードの二年間⁴⁾

大学院を終えて東北大金研に赴任し、5年後にオックスフォード大学に行く機会を得た。日本学術会議の化学研究連絡委員会が選考し、文部省が在外研究員として2年間英国へ派遣する“ラムゼー卿記念研究員”に選ばれたのである。本来、化学を専攻する研究者を対象とするものであるが、冶金学科卒業の私が選ばれたのは、委員長の水島三一郎先生が八幡製鉄基礎研究所(現 新日鉄)所長を勤めておられ、金属に親近感を持っておられたであろうことが幸いしたのかもしれない。英語の試験はブリティッシュ・カウンシルに委託して行われた。大学入試センター試験に似た形式の問題の他に、「なぜ英国で研究したいか?」という題でエッセイを書くという課題が与えられた。Hume-Rothery, Cottrellなど英国の優れた金属学者の著書に感銘を受けたこと、C. P. Snow(物理学者出身で研究者を主題にした小説を数冊書いている)の本を読んで、英国の大学のシステムに関心があることなどを綴った。

海外から訪れる研究者の講演を聴いたり、短期間研究室に滞在する研究者の世話をしたりで英語にはかなり慣れたつもりであったが、長期間滞在するとなると先方もお客さん扱いはしてくれないし失敗と苦勞の連続であった。当時は電話も全自動ではなく、長距離は交換手にこちらの番号を伝えてつないでもらう方式だった。「こちらはOxfordのxxxx番です。」のオックスフォードのアクセントが違っていると何度いってもわかってもらえない。ついには「オウ、エックス、エフ、オウ、アール、ディ」とスペルを言うようやわかってもらおうという情けないこともあった。計算機センターで計算を依頼する(当時はカード・デッキを抱えて行って依頼する方式だった)際にもcontrol cardのコントロールの発音(ア

クセント)がまずくて係員との意思疎通に時間を要した。研究上の discussion でも言いたいことがうまく表現できないいらだたしさを感じることも多かった。他大学から訪れるビジターの講演も、日本ではよく理解できたのに、聴衆がすべて(私以外は) native speaker であるから joke が頻出し、満場爆笑でもこちらにはさっぱりわからない。それでも半年ほど経つとここは肝心だから何度でも聞き返してはっきりさせねばならないのか、それとも聞き流しておけばいいことかがなんとなくわかるようになってきた。滞英2年目の夏には、フェリーで大陸に渡り、一月の間、オランダ・ドイツ・スイス・イタリア・フランスの大学や研究所を訪ね歩いた。英語が母国語でない人々と話してみると、自分の英語もまんだらでもないと少し自信をもつことができた。

ところでオックスフォード大学の Department of Metallurgy は1957年の創設で、大学全体の歴史の中では比較的新しい学科である。長年、Inorganic Chemistry Laboratory にあって数々の業績をあげ、金属学の基礎を築いた Hume-Rothery を遇するためにできたものである。この学科に長期滞在したのは日本人としては私が最初である。私が行って1年ほどしてから当時阪大に居られた山口正治先生が来られた。それが縁となって、日本へ帰国してから六方晶金属中の転位芯の計算機シミュレーションの共同研究をするなど親交を深めた。私が京都大学へ転勤してからまもなく同氏も移ってこられ、10年余にわたって同じ教室に在籍し協力して研究をすすめることができたのは幸いであった。

3. 論文執筆・口頭発表と私

研究成果を論文に書いて発表すること、学会などで口頭発表することは研究者の重要な義務である。私の大学院での講義の最初の2, 3回はこれらに関する話を話すようにしてきた。また、日本金属学会の会報に“日本語で発表する人のために”、“発表の技法”など論文執筆や講演に関する小文をいくつか投稿した⁵⁻⁸⁾。

論文を書くときの心がけ

私が初めて論文(英文)を書いたのは大学院修士課程の終わりごろである。当時(1961年ごろ)、日本物理学会誌に「Journalの論文をよくするために」というシリーズが連載されており、上田良二、近角聡信、高橋秀俊などの諸先生が自分の経験を含めて有用なアドバイスを述べておられた。初めて論文を書くにあたって、このシリーズを熟読したものである。後にこのシリーズをまとめて「Journalの論文をよくするために—物理学論文の著者への道—」と題する冊子が刊行された。私の手元には、1977年発行の増訂版第2刷がある。これには“失敗談と

箴言”と題する私の寄稿したものも載っている(日本物理学会に問い合わせたところでは、この冊子は1984年10月の第4刷を最後に絶版となっている)。共同研究者の論文草稿、学術雑誌の査読論文、学位審査論文などで英文の書き方についてコメントする際にも、この冊子を参照することが多かった。

2年間の英国での在外研究の間に7編の論文を書いた。その草稿を Professor J. W. Christian をはじめ周辺の研究者に読んでもらっていろいろコメントしてもらったことが、私の英文論文執筆力を高めるのに大いに役立った。帰国後も論文原稿は投稿前に友人に読んでもらって意見を聞いて修正するのを常とした。幸いにも親身になって読み、鋭いコメントをしてくれる友人が二三いた。駆け出しの頃は書かずもがなのことまで記してつい冗長な論文を書くことが多かったが Hume-Rothery の忠告⁷⁾にしたがって、簡潔に書くことを心がけるようになってからは査読者から大幅な修正の指示を受けることは少なくなり、無修正でパスすることも稀ではなくなった。前に述べた自選論文3篇の最後の「金属間化合物の自己拡散機構」に関する論文に対する査読者からのコメントは、暖かく心に残るもので、その冒頭部分をここに記しておきたい。

This manuscript provides a clear step forward in the analysis of diffusion in ordered alloys. It is clearly written, as is almost all of the work associated with Professor Koiwa, and is very worthy of publication. Since there is increasing interest in intermetallic compounds, this paper has application to significant practical materials also...

査読される身、査読する立場

査読者には、しばしば競合相手である研究者が選ばれることがあり、あら探しので意地悪なコメントがくることがある。私自身もそうした経験が2回ほどあり、反駁しても無駄のように思われたので取り下げて他の雑誌に投稿した。しかしこれは極端な場合で、普通は査読者の指摘には素直に従うべきである。査読者が誤解しているケースも少なからずあるが、誤解を生じないように論文を簡潔かつ明快に書き直す努力をすることが望ましい。実際、査読者のコメントを虚心坦懐に受け止め、大幅に書き直すことにより、自分の主張をより明快に読者に伝えることができる形になったということも何度かあった。

年齢を加えるにつれていろいろな雑誌から査読を頼まれる機会も増えた。自分が精通していない分野の論文であってもひきうけざるを得ないこともあった。そんなときは当該分野の関連論文をいくつか読んで勉強する必要があった。Peer review(同等の—能力などが—の人によ

る査読)により学術誌に掲載される論文の質を保証するという制度を維持するためには、その恩恵を享受するだけでなく奉仕もまた必要である。他人の論文を公正にかつ批判的に読むことは精神的に緊張を強いられ、時間も掛かる気の重い作業である。しかし、真摯にその作業に取り組むことによって自分の問題意識を研ぎ澄まし、新たな研究の発想を得る機会となることもある。自選論文の一つに挙げた「三元合金のスネーク効果」の仕事は、日本金属学会誌への投稿論文の査読に端を発するものであった。

1993年からおよそ8年間、エルゼビアから刊行されている Materials Science & Engineering, A の Editor を務め、多くの方々に査読者としてご協力をいただいた。原則として1ヶ月以内に返送してほしいと依頼し、期限を過ぎて戻ってこない場合は督促するのだが、「今日中に速達でお送りします」と返事があってもさっぱり音沙汰ないという編集者泣かせの人も二三いた。Peer review を依頼されることはその人の研究者としての実績と見識が評価されてのことである。本稿の読者の方には、査読を依頼された場合には投稿者の身になって、可及的すみやかに処理されることをお願いしておきたい。投稿される論文の大部分は複数の著者による共著論文であったが、共著者として名前を連ねている人の了解がないまま投稿され、後に取り下げることになったケースもある。また、著名な研究者が共著者であるのに、推敲が不十分なまま投稿されてくるものも多かった。論文執筆の経験のない学生が書いた論文にほとんど目を通さないまま投稿を許可する指導教授もいるらしい。そんな論文に付き合っ、論文の書き方で指導していただいた何人かの査読者には頭が下がる。

講演には万全の準備を

英国滞在の2年間(1969-1971)には、自分の研究について話す(英語で)機会は何回かあったが、時間を厳密に限られて話すという経験はなかった。はじめて国際会議で講演したのは1972年だったと思う。そのときの経験を記しておこう。誰でもがするように図面(当時はOHPではなくスライドを使用した)を用意し、原稿を書いて練習を始めた。ところが与えられた時間は15分であるのに45分かかかるのである。そこでテープに録音して聞き返し、徹底的に原稿を見直してみた。聴衆に伝えたいメッセージは何か?それを伝えるのに最小限何を言うべきか?短時間では理解してもらえはしないような細かなことを言い過ぎてはいないか?などに留意して原稿を書き直した。不要な文章はカットしできるだけ単純な短い文章を用いること、あわせて図面も厳選し聴衆の注意を散漫にさせるような不要な情報は省くようにした。発表練習に付き合っ聞いてくれる人がいない場合

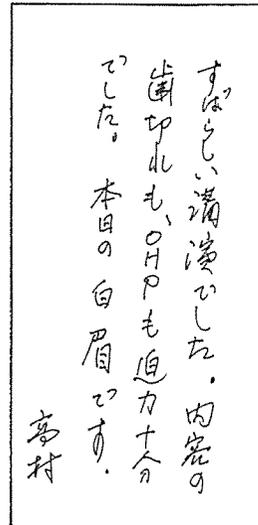


図4 ハンガリーの国際会議の折、高村仁一先生から渡されたメモ。

でも聴衆がいることを想定した練習を繰り返し、テープ録音を聞きなおしてみ、舌が回りにくい文章・聴衆にわかりにくかろうと思われるところは書き換えるなどして原稿に何度も手を入れた。研究者としての駆け出しの時期にこういう経験をつんだおかげで、それ以降の国際会議での発表、招待講演などもおおむねうまくすることができた。“nice talk !!”と発表後に握手を求めてくれる海外の友人の賛辞がまんざらお世辞ではないと思えるのも、それだけ時間をかけて準備しているからという自負があるからである。

1988年9月、ハンガリーのバラトン湖畔で開かれた拡散の国際会議、DIMETA-88では、“Diffusion Kinetics and Isotope Effect in Ordered Alloys”という題で招待講演を行った。終了後に座席に戻ると、近くに座っておられた高村仁一先生がそと紙切れを渡してくださいました。「すばらしい講演でした。内容の歯切れも、OHPも迫力十分でした。本日の白眉です。高村」とあった。忘れられない心温まる思い出である。

こうした自分の経験をもとに、研究室に配属された学生諸君には「完全な原稿を作ること。ただし、講演時には原稿を見なくてもよいようになるまで練習すること」、「自分の講演をテープに録音し聴いて見ることをすすめてきた。配属された当時は人前で話す経験が余りなかったこともありしどろもどろであったのに、大学院をおえて巣立ってゆく時期には口うるさく言わなくても立派に講演ができるように成長した姿を見ることができたのは大きな喜びであった。

講演と討論に関する箴言

ここで、講演とその後の討論に関する格言を紹介して

おきたい。

おばあちゃんにうまく説明できないようなら、君はまだ十分理解しているとはいえないね。(“You do not really understand something unless you can explain it to your grandmother.” — Albert Einstein)

10年ぐらい前に“Grandmam’s language”という表現でこのことを読んだか聞いたかして以来、「講演の最初の数分は予備知識がまったくない人が聞いてもわかるように話さない」と学生諸君に話してきたが、誰がどういう状況下でいったことかははっきりわからなかった。ごく最近、出所はアインシュタインであることがわかった。でも彼は相対性理論をおばあちゃんにわかるように説明できたであろうか？それはともかく、専門家は素人にも自分の研究の目的と意義を理解してもらえよう努力をするべきである。

科学研究における論争においては、敗者こそが真の勝者である。なぜなら、彼こそが多くを学んだからである。(In the discussions arising while cooperating in scientific research (=philologo suzethesei) the winner is the one who lost because of what he has learnt.)

1997年9月、イタリアのアンコーナで“The Challenge of Magnesium Alloys”と題する日本-イタリアセミナーが開催された。両国からの参加者あわせて十数名のこじんまりした集まりで、じっくり議論することができた。このとき、イタリア側の企画責任者 G. Caglioti (ミラノ工科大学) の挨拶にあった言葉で、ギリシャの格言だそうである。学会講演の際の質疑が感情的な言い争いになることもある。「論争は真理を明らかにするためである」ことの確認を迫る格言で、自省しつつ味わった次第である。

最後に、論文執筆、口頭発表に関する本で私がよく参照したもの、学生諸君に推薦したものの何冊かを記しておこう。

- (1) 清水幾太郎：論文の書き方，岩波新書，1959.
- (2) 末武国弘：科学論文をどう書くか，ブルーバックス，講談社，1981.
- (3) 木下是雄：理科系の作文技術，中公新書，1981.
- (4) 諏訪邦夫：発表の技法，ブルーバックス，講談社，1995.
- (5) 湊宏，R. L. Rich：化学英語—英語らしい表現とその使い方—，東京化学同人，1969.
- (6) 中村輝太郎 編著：英語口頭発表のすべて，丸善，1982.

4. 計算機と私

私が大学に入学した昭和30年代には、計算尺と対数表は理工系学生必携であった。学位論文執筆のための数値計算には電動計算機（確かドイツ製だった）と数表が頼りだった。数千円の電卓で簡単に複雑な計算ができる今日とは、文字どおり隔世の感がある。ちなみに、1957年製の世界初の純電気式計算機は機一体型で約140 kg、48万5千円、1965年発売のトランジスタ使用の電子式卓上計算機は机に乗るサイズで38万円であったという。ルート・キーとメモリーがついたのが画期的だったように記憶しているが定かではない。

博士課程を修了して東北大学金研に赴任したのは1964年であるが、この頃から計算機が盛んに使われ始めた。私がFORTRANの講習会に出席し、プログラムを書き始めたのは1968年頃だと思う。計算機への入力媒体は紙テープからカードへとかわり、私自身の利用形態もTSS (Time Sharing System: 複数の利用者が電話線等を通じて結ばれた計算機を時間を分割して利用する形態) 主体へと変化した。

計算機は日進月歩で次々と上位機種へ更新されていくけれども、初心者向きのわかりやすい手引書がなかった。東北大学の大型計算機はこの頃からNEC製であったが、メーカー（日本電気）や大学の計算機センターに要望してもないものねだりで、結局、自ら乗り出してそうした手引書を作ることになった。半年ほどの期間は担当原稿の執筆、協力者が書いた原稿の修正などに明け暮れ、1978年3月にセンター資料K「TSSの使い方—初心者のために—」（1980年6月発行の第2版以降は—初心者と中級者のために—となっている）を発行することができた。「FORTRANプログラムの読み書きはできるが、TSSの利用経験は全くない」初心者でも、この資料をはじめから順に読めば、講習会にでることなく、経験者の助けを求めることなく、TSSを使い始めることができる——そんなガイドブックになることをめざした。とかく尻込みしがちな新規ユーザーにも「最初の10ページを読めば使えます」と勇気づけたものである。定年間近なある工学部の教授から「おかげで私もTSSが使えるようになりました」と感謝されたのは嬉しい思い出である。その功績が評価されて、京都大学へ移って5年も経ってから全国共同利用大型計算機センター長会議の議による功労賞を頂いた⁹⁾。この資料の評判は学外にも伝わって、同じく日本電気の計算機を使っている大阪大学でも複製して使用された。

東北大学在職中は大型計算機センター運営委員として、またその広報誌であるSENACの編集委員として計算機利用の推進にはかなりの時間とエネルギーを注ぎ

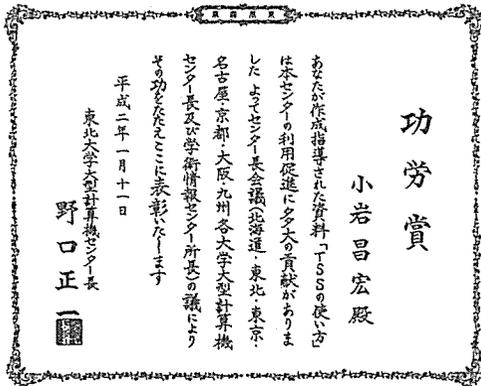


図5 計算機利用の手引きを書いた功績により受賞した功労賞。

込んだ。金属関係データベースである METADEX の導入には、金研の所長・事務部長の理解を求め、金研の予算で購入し大計センターで運用し全国の利用者に開放した。こうした作業を通じて一緒に苦労していただいた当時の大計センター職員、小畑征二郎さん（現仙台電波高専教授）とはいまでも親しくお付き合いしている。やがてマイコン時代が到来し、「マイコンと大型計算機をつなぐ」を SENAC に寄稿したのは 1981 年、「大型計算機を英文ワード・プロセッサとしても使おう—英文テキストの spelling check 用サブシステムの紹介—」の寄稿は 1982 年である。まもなくワープロ・パソコンが手ごろな値段になり、急速に普及したのでわざわざ大型計算機をそんなふうにする必要はなくなった。

1985 年に京都大学へ転勤してしばらくは計算機と疎遠になった。新たに研究室を立ち上げるのに忙しく暇がなかったこともあるが、何よりも京大の大型計算機が FACOM であり、東北大の NEC とは設計思想が異なっており使い勝手が違ったことが最大の理由である。しばらく経って研究室の諸君のすすめで MAC を使い始めたが、10 年近く経ったいまでも独り立ちできずトラブルに直面するごとに若い友人の助けを求めているし、最近使いかけている WINDOWS にも手古摺って、マニュアル頼りの独習の難しさを痛感している。学生時代からの友人、甘利俊一氏（理化学研究所フロンティアグループディレクター）に最近会ったところ「私は E-mail とワープロにしかパソコンを使っていません（お絵かきはできません?）」という。ニューロ・コンピューターの権威である彼にしてそうかと意を強くしたのだが、同世代の限界と相憐れむべきか？情報化の趨勢は疑うべくもなく、コンピューターの効率的利用の促進・普及の必要性は当然のことであるけれど、真の創造的研究は深い思索と苦勞の多い実験からこそ生まれることも併せて強調しなければならぬ。

5. セレンディピティと私

セレンディピティという言葉はここ数十年ほどの間、科学技術の研究の進め方に関連して新聞、雑誌、書籍などで見かけることが多くなった。私が初めてこの単語を知ったのは、「ラングミュア伝」(A. Rosenfeld 著、兵藤申一・雅子訳、アグネ、1978)の書評をしたときだから、1978 年の末頃だと思う。以来あれこれ調べた結果をまとめて、ある雑誌に書いた^{10,11)}。ここではその概要とその後調べたことを記す。

オックスフォード英語辞典によれば、この語は Ceylon の古名 Serendip から来ており、Horace Walpole が“The Three Princes of Serendip”という物語の題に因んでつけたものである。Horace Walpole (1717~1797) は英国の著述家である。彼が、フィレンツェの英国領事である友人あてに送った手紙に、Serendipity という語を造ったと以下のようにのべている。

……この発見は、正しく私が“serendipity”と呼ぶ類のもので、この“serendipity”は非常に味のある言葉で、その定義をいうよりも由来をお話の方がよく分っていただけたと思います。その昔、私は「セレンディップの3人の王子」という他愛ないおとぎ話を読んだことがあります。王子たちは、偶然と賢明さに助けられて、探し求めていたものではないものを発見するのです。たとえば、彼らのうち1人は、歩み進んできた道の左側の草だけが喰われている—右側の方が豊かに繁っているにもかかわらず—という事実から、ごく最近同じ道を右眼が盲目であるらくだが通ったはずだと発見するのです。serendipity という言葉の意味がお分りいただけたでしょうか？自分が求めていたものを発見するというのは、この範ちゅうには入らないのです。

この「セレンディップの3人の王子」の原本は、1557 年にヴェニスで発行された「Peregrinaggio di tre giovani figlioli del re di Serendippo」(イタリア語)である。シカゴに住む弁護士、Remer 氏は“Serendipity”について約 200 頁の本 (T.G. Remer, Serendipity and The Three Princes, University of Oklahoma Press, 1965) を刊行している。この本には著者がなぜこの言葉に関心を抱くに至ったかの経緯にはじまり、ウォルポールの手紙、童話の出版と翻訳、各界におけるこの語への関心など、いふならば“Serendipity のすべて”が述べられているといっても過言ではない。また本の約 60 頁は、童話原典の初めての完訳英語版に当てられている。ここでは、その冒頭部分の筆者による抄訳を掲げておく。

昔々、ずっと遠くの東方に、Serendippo という国があり、立派な王様が治めておりました。王様には3人の

王子があり、偉い学者を招いて教育した甲斐あって賢く育ちました。一人前に育つたと判断したとき、1人1人呼び出して質問してみると、3人とも賢く、身のほどをわきまえた受けこたえをするので、王様は内心大層嬉しく思いました。でも表向きは気に入らないふりをして、他国でもっと経験を積み、知識を磨いてこい—と送り出しました。

母国を離れ Beramo という王様が治める国(ペルシア)についた3人は、自分が飼っているらくだの行方が分からなくなったと探している男に会いました。「そのらくだは、片眼で」、「歯が1本欠けており」、「足を1本怪我しているではありませんか?」と3人の王子は口々にたずねました。そんなによく知っているのは、お前たちが盗んだからにちがいない、とその男に訴えられて、王子たちは牢屋に入れられてしまいました。ところが間もなく、らくだは家に戻ってきたので、その男はすぐ王様に話して3人を牢から出してもらいました。「見たこともないらくだの様子がどうしてわかったのか?」とたずねる王様に3人は口々に答えました。

「旅をしてくる道すがら、片側の草はよく繁っており、反対側はそうでもないのに草を喰べた跡があり、そのらくだは片眼しか見えないとおもいました」

「道には草のきれはしが散らばっており、ちょうど欠けた歯のすき間位の大きさだったのです」

「はっきりした脚あとは3つ足分で、足をひきずったあとが目立ちました」

王様は3人の王子の賢さと注意深さに感じ入り、客人として手厚くもてなしました。…

なお、「セレンディップの3人の王子」の邦訳は出版されていないが、横井晋訳「ある神経学者の歩いた道 追求・チャンスと創造性」(金剛出版, 1989)の巻末にその概要が付されている。また久保田競、夏村波夫著「セレンディピティ ツキを呼ぶ脳力」(主婦の友社, 1990)には絵本の形式であらすじが紹介してあるので、関心ある向きは参照していただきたい。

さて、冒頭で述べたようにセレンディピティという言葉は研究者の心構えを説くときによく引用され、京都大学でも井村裕夫総長が1995年3月の博士学位授与式で触れておられる(井村裕夫著「時計台の朝—大学の未来を見つめて」、1998)。その一節に次のようなくだりがある。

……セレンディップの三人の王子は父国王の命令で、国を取り巻く大洋に出没するドラゴンを退治する方法を記した巻物を探す旅に出ます。この巻物は見つからなかったけれども、彼らは旅の途中で予期しない出来事に会い、多くの人の好意によってよい結果を得たという物語であります。…

是を読んで私は首をかしげた。上述のように、Remerの本にある話には“国を取り巻く大洋に出没するドラゴンを退治する方法を記した巻物”は登場しない。その出所を調べた結果次のような事情が判明した。

異説セレンディピティの由来

「セレンディピティ」の語源探索にとりくんだ詳しい道行きを竹内慶夫氏が「オリジナリティーとセレンディピティ」と題して日本大学文理学部の「学叢」第41号(1986年12月, 45-55頁)に記しておられる。また、新関暢一氏もその訳書「創造的発見と偶然 科学におけるセレンディピティ」東京化学同人, 1993(原著者G. Shapiro)の訳者あとがきで「私とセレンディピティ」の関わりを述べている。両氏がともに最後に辿り着いた文献としてあげておられるのは、Elizabeth J. Hodgesの著、

The Three Princes of Serendip (Constanble Young Books Ltd., London, 1965), である(Hodgesは Serendipity Tales, Athenum, New York, 1966 という本も書いている)。これはイタリア語で出版された原著を踏まえてはいるが、話の構成をはじめとして大胆奔放に手を入れ、創作をまじえて書いたもの(子供向きの絵入りの本)で、ここにドラゴンが登場する。毎日新聞の「余禄」(1999年8月23日)には、セレンディピティという単語の紹介として、新関暢一さんの話を紹介している。井村総長もこれらに基づいて話されたのであろう。セレンディピティの語意自体については「偶然に思いがけない発見をする能力」として紹介されており講話の本質にかかわることではないが、補足的に述べられた語源の説明は異説であることを指摘しておきたい。

出所不明の異説セレンディピティいろいろ

ついでに「異説」のいくつかを紹介しておこう。私の知人の多くは、「セレンディピティ」という語を外山滋比古氏のエッセイで知ったという。同氏は以下のように述べているが、その出所はなんであろうか?

この三王子は、よくものをなくして、さがしものをするのだが、ねらうものは一向に探し出さないのにまったく予期していないものを掘り出す名人だった、というのである。(思考の整理学, 筑摩書房, 1986)

主人公の王子たちはさがそうとしているのでもない宝ものを掘り出すことにたけていた。(名言の内側, 日経, 1988)

阿刀田高の小説、エッセイでも「セレンディピティ」を時折みかける。そのひとつを以下に記す。

セレンディピティの意味は複雑だ。多岐に分かれている。定義が異なっている。まず私が知っている定義を言えば“捜しものがあるとき、一生懸命にそれを捜しているあいだは見つからず、あきらめたあとでヒョイとそれ

の才能と定義する。でもそうだとしたら凡人である研究者は“serendipity”はないとあきらめるべきか？いやそう捨てたものでもない。R. S. レノックスは、好奇心や認知力が生まれつきほかの人たちより強い人もいるかもしれないが、それらを助長することは可能であると述べている。『セレンディピティ的発見のための教育』(Journal of Chemical Education, 62 (1985) 282) という論文で学生が好運な偶然を利用できるような心構えを育てるいくつかの方法について述べている。第一の方法は、予想されたことばかりでなく予想されなかったことも含め、すべてを観察し記録するという訓練を課すことである。また、指導者は学生につけさせたノートを詳細に点検し観察能力と記録能力を評価・指導することの重要性を指摘している。セレンディピティの恩恵をこうむるための準備のもうひとつの方法は、その研究分野を注意深く勉強しておくことである。『偉大な発見の種はいつでも私たちの周りに漂っているのだが、それが根をおろすのは十分待ち構えた心に限られる』

しょせん研究に王道はなく、着実な努力の積み上げ、行き届いた研究指導の重要性を改めて確認せよということであろうか。

材料研究とセレンディピティの一例—ジュラルミンの発明¹²⁾—

R. M. ロバーツ著の「セレンディピティ」(安藤喬志訳, 化学同人, 1993) には、アルキメデスの「ユリイカ」をはじめとして、天然ゴム、合成ゴム、合成染料、レーヨン、テフロンなど 36 章にわたって思いがけない発見・発明のドラマが語られている。その中にははてごないが、金属合金に関しても偶然に幸いされた発明がある。その一つとしてジュラルミンの例を見てみよう。

今日の Al 製錬の基であるアルミナの氷晶石による溶融塩電解法は 1886 年に発明された。しかし、構造材料としては強度が不足で、強力合金の開発が要求された。ドイツのベルリンの近郊、Neubabersberg にある理工学中央研究所では、歩兵の兵器用薬莖の材料として黄銅に匹敵する加工性、切削性、安定性を有するアルミ合金の開発を旨とした(ドイツは銅資源に乏しい国であるから、資源的に豊富なアルミニウムに着目したのであって、軽量がねらいではなかったという)。冶金部の研究者 Alfred Wilm は、合金元素添加というありきたりの方法以外に、当時すでに鋼について行われていた圧延材、鍛造材を熱処理する方法を試みた。1906 年 9 月、彼は初めて時効硬化現象を確認し、後年ジュラルミンと呼ばれることとなる合金を発明した。その時の劇的な物語はまことに有名である。Cu 4%, Mg 0.5% を含む Al 合金を 9 月のある土曜日に焼き入れし、硬さの測定を午後 1 時まで行い、その続きを翌々日の月曜日に行ったとこ

ろ著しく硬くなっていたという。Wilm は、はじめ硬度計が狂ったのではないかと思ったそうである。もし、この実験が半ドンの土曜日ではなく平日に行われていたとしたら、時効による硬化現象は見過ごされてしまったであろう。その意味でまことに幸運な偶然に恵まれた(serendipitous な!) ものといえよう。

Wilm の研究成果は、論文としては 1911 年に発表された。その題目は「Mg を含む Al 合金の物理冶金学的研究」となっており、Mg が時効の主役を担うと考えたらしい。今日では Al に比して原子半径の小さい Cu 原子が平板状に集合体(G.P.ゾーン)を形成し、転位の運動の障害となるため硬化するとされている。この合金はデュレン市にある Dürener Metallwerke で生産に移された。当初、商品名として硬いアルミニウムを意味するハルトアルミニウム(Hartaluminium)が考えられたが、国際市場を考慮してジュラルミン(Duralumin)が採用された。dur はフランス語で“硬い”を意味し、ラテン語に由来する。Dürener Metallwerke という生産工場の名前にもつながりのある意味深い商品名である。

6. おわりに

東北大学は研究第一主義を標榜し「一に研究二に研究、三四がなくて五に研究」と謳われたところで、とくに本多光太郎を創始者とする金属材料研究所では、昼夜を分かたず実験に打ち込むことを奨励された。もっともこれは草創期の話であり、その伝統が今でも生きているのか、あるいはいつ頃まで継承されていたといえるのかは分からない。私が京大へ転じた頃には、両大学を比較してどう思うかという質問をよく受けたが、東北大学では付置研究所、京都大学では工学部と所属部局の性格が違うことによる差異の方が大きいように感じた。とにかく金研では(私が在籍していた頃は)研究が主体であり、教育は念頭に置く必要はなかった。京都大学へ誘っていただいた高村仁一先生は「大学の本務は“研究教育”ではなく、“教育・研究”である」と教育の重要性を強調され実践された方であった。

東北大学でも工学部原子核工学科での学部の講義、金属系学科での大学院の講義を一部担当したが、京都大学ではもちろん講義の義務と責任は大きかった。それなりの努力はしたつもりで、講義が終わってからも居室に質問にくる熱心な学生もいた。講義は話し手と聞き手の相互作用であり、いかに努力してもはかばかしい反応、手ごたえがないと疲労感が大きい。定年間近になってそういう疲労感を覚えることがあったのは、学生の質的变化に応じた“教育技術”の工夫が足りなかったのかもしれない。講義に情熱を燃やした先達の話に勇気付けられたこともある。自分の学生時代を振り返り、教師としての

経験も踏まえて書いた一文¹³⁾にも記したことを再録して、現役の教師として教育の重責を担っておられる方の参考に供したい。

山岡 望は第六高等学校(岡山大学の前身)の化学教師として34年間勤務し、教育に情熱を傾注した人である。「創造的科学研究への比類なき貢献ならびに化学史を通じての化学教育界への寄与」により1977年、日本化学会より第1回化学教育賞を受けている。その教育への傾注ぶりは「山岡 望伝 ある旧制高校教師の生涯」(内田老鶴圃, 1985)に詳しい。その一部を以下に引用する。

山岡は化学担当の教師として当然、ほとんど理科の生徒を相手に授業を行っていた。ただ大正の終りころ数年、文科の授業を受け持ったことがある。文科の授業は大学進学とは関係がなく、気が楽であった。その代わり生徒のほうも無関心で、ろくに講義を聴かないように見える。

聴く気のないものに聴かせるための骨折りは大変。理科の講義に対する努力より五倍も十倍も骨が折れる。苦心惨憺手をかえ品をかえて放駒を繋ぐのに骨を削ったものである。しかしそれほど苦心しても「遠山に矢を放ち、虚空に歌声を散らすような」もので、一向に手応えがなく、張りあいのしないことこの上なしの感じてあった。

あるときは「火」についての講義でアンデルセンのともしびの詩の話をした。ガンジス河のほとり、月夜、乙女は身をかがめて燭火を水に浮かべる。燭火はゆれながら流れをくんだり、かなたへ遠ざかる。その光が目にとどいている限り、火が消えずにいたならば、彼はまだこの世に生きているしるしである—と彼女は信じている。彼女はささやいた、Er lebt!

山岡は文科の授業を手応えのないものと感じていた。ところがである。40年を経たのち当時の「文科の諸君と会すると、誰も彼も化学の講義の印象を告げてくださる。…実は皆が聴いていたらしいのである。中には、英詩を朗々と暗誦したり、講義のことば使いまで覚えていられるものもある」。ガンジスの灯は40年も消えずにいたのであった。Er lebt!

山岡の放った矢は、しっかりと生徒たちの心的的を射っていたのである。化学教育に生涯をささげ講義に心血を注いだ山岡は、

現役の間は時にむなしさを覚えたけれど後年同窓会の折などに卒業生から講義の思い出などを聴かされ、往年の苦勞がむくわれ、教師冥利の思いを味わったのである。時として学生の無反応・無感動に苛立ちを覚えることもあった私の教師生活において、山岡の経験談は「だからといって手を抜いてはいけない」という無言の教訓ともまた大いなる励ましともなったのである。

京都大学材料工学教室が Materials Science の世界に冠たる教育・研究の中心としていっそうの発展を遂げることを念じつつ、この稿をとじる。(2001年8月記)

参 考 文 献 (著者はいずれも小岩昌宏)

- 1) Science Citation Index について, 日本金属学会会報, 14 (1975) 203.
- 2) Science Citation Index の功罪—米国の材料関係学科の評価をめぐる—日本金属学会会報, 22 (1983) 1055.
- 3) 学術雑誌のランキング—Science Citation Index, とくに Journal Citation Reports について—日本金属学会会報, 28 (1989) 987.
- 4) オックスフォードの2年間, 日本金属学会会報, 11 (1972) 53.
- 5) 日本語で講演する人のために 日本金属学会会報, 22 (1983) 75.
- 6) 発表の技法—書籍紹介—日本金属学会会報, 23 (1984) 10.
- 7) ヒューム—ロザリーの忠告—科学論文の書き方—日本金属学会会報, 14 (1975) 35.
- 8) 印象に残る講演, あたりあ, 38 (1999) 33.
- 9) 東北大学大型計算機センターと私, SENAC, 23 (1990) No. 4, 17. 7
- 10) Serendipity とは何か, BOUNDARY, 4 (1988) 第5号, 73.
- 11) 続 Serendipity とは何か—日本に来ていた「逃げたらくだ」—BOUNDARY, 4 (1988) 第10号, 74.
- 12) ジュラルミンのえていもろじい, 日本金属学会会報, 24 (1985) 32.
- 13) 材料科学を学ぶ—学生として教師として—あたりあ, 33 (1994) 853.

退官記念講演

一言でわかる経済学

(Verbum Sapienti : 賢者には一言で足りる)

新 宮 秀 夫*

by Hideo SHINGU

経済学の目的

P. A. Samuelson の “Economics” 17 版 2001 年、には、こう説明してある。

“全ての人々が物質的に豊かになること、欠乏をなくす事。”

そして結論の所は、持続的成長の維持が必要であり、そのためには技術革新による生産性の向上が不可欠である、と締めくくられている。

技術革新こそ最も重要であると、経済学者から技術者にゲタをあずけられては、黙っているわけにもいかないので、何が経済学なのかを、簡明にサマライズしたくなる。おそらく世界で最もよく知られた経済学の教科書に挙げられた経済学の目標には、少し首をかしげたくなる気もするが、先ず従来の経済学の全貌を見渡してそれから、本当に経済学は何を目指すのか考えてみよう。

三人の経済学者

知っている経済学者を 3 人挙げよ、という質問を入社試験でできたら、どう答えますか？

誰にもまず納得してもらえらるだろう答えは、

アダム・スミス (1723-1790)、カール・マルクス (1818-1883)、メイナード・ケインズ (1883-1946) でしょうか。

ではこれら 3 人が何を言ったのでしょうか。

当今流行の言葉でいう、マイクロ経済学の代表とされる

のが、スミスです。マイクロ経済学というのは端的に言えば、個人の身の回りの金銭的損得を考えることです。スミスは、個人の行動は、なんのかの理屈を言っても、結局は自分の利己的な心すなわち、損得ずくできまる。と断定して、個人の能力を最大限に発揮させるためには、個人の行動がその人の利益につながるような、世のなかのシステムにしたらよろしい、と言っています。

全国民が個人の能力を最大限に発揮して頑張れば国全体が富んでくるのは当たり前です。国全体の経済の事すなわちマクロ経済のことは、スミスによれば、マイクロ経済の面倒さえしっかり見ておけば自動的に（見えざる手にみちびかれて）上手くいくであろう、とされているわけです。

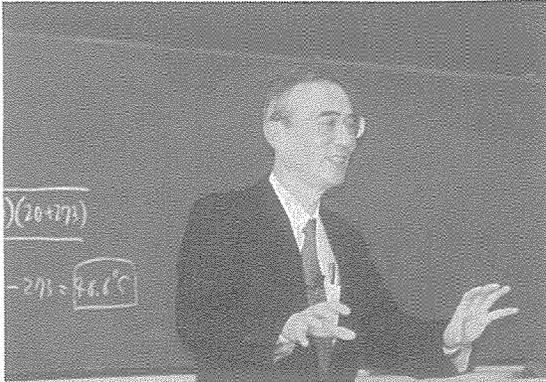
国を富ませ、社会の発展をもたらすのは、高邁な理想に基づく人間の行動ではなくて、最も卑しい己の利得を優先する人間の私悪の心である。私悪は公益につながるものである。とスミスは、臆面も無く言っているのです。

そして、そのためのシステムは、政府が個人の活動に干渉しないこと、つまり自由放任、規制なし (レセ・フェール, laissez faire) であるべきだと言うのです。

スミスはこれらのことを、国富論 (An inquiry into the nature and causes of The Wealth of Nations, 1776) に書いたのです。彼はその 18 年前に道徳情操論という本を書いた道徳学者でしたから、国民の福祉や豊かさを大切に考える立場に立って、国がまず富めば、その富はおのずと、国民すべてにゆきわたるであろうと、楽観したのでしょう。

ところが、スミスの予想とはまったく逆に、スミスの時代から始まった産業革命、すなわち技術革新と工業化

*特定非営利活動法人 (NPO)
京都エネルギー・環境研究協会
<http://web.kyoto-inet.or.jp/org/enekan/>



がスミスの描いた自由放任の経済システムのもとで進行した結果、国は富んでも、国民の大多数は、とんでもない貧困におちいってしまいました。

機械をつかい、分業がすすんで、石炭エネルギーの利用によって、人間ひとりの労働によって作り出される製品の量は何十倍にも増えたはずで、単純に考えれば、それまで、10日掛かって作れた品物が1日で作れるようになれば、後の9日は遊んで暮らせるはずで、人間は余裕とゆとりを楽しむことのできる、ユートピアに近づくはずなのに、実際起こったことは、子供までが工場場で寝る暇も与えられずに働かないと食べて行けないような世の中になってしまったのです。

サムエルソンのいう技術革新、生産性の向上は、なんら国民の福祉に寄与しないばかりか、逆に生活条件を悪化させてしまったのです。その惨状に憤った人の代表がマルクスでした。国が富んでいるのに国民がより貧乏になるのは、資本家、金持ちが労働者を搾取、つまり騙し討ちをしているのだ、と、資本家の私悪は公益につながるものでは決してない、金持ちは、取れるものは根こそぎ取って、出すものは舌だけだ、と言ったかどうか、もっと激しく、もっと具体的に理屈をのべて、自由放任の資本主義を攻撃したのがマルクスです。そして、共産党宣言(1848)を書いて、結局、財産の私有が悪の根源であるから、私有を禁止して、労働者は能力に応じて働き、必要に応じて与えられる世の中を目指さねばならない、と言い放って資本家を震え上がらせました。そして、その理論を資本論(1867)という大作に書きました。

共産党宣言を読むと、確かに不公平はけしからんと繰り返し書いてありますが、技術の進歩によって、社会が豊かになりその恩恵を皆が享受して行くのだ、言っていますから、経済学の目的としては、サムエルソンと同じなわけです。

マルクスは自分が働いて得た利益も、自分に必要な分だけ取って、余分はより必要な人に分かち与えればよいと言います。それで世の中がよくなるのだから皆が幸せ

に感じるだろう、と想像したのですから、人の本性は善である、と言う孟子の発想すなわち、性善説を信じたと言えるでしょう。それに対して、スミスは人は己の利益を最優先すると見たのですから、荀子や、楊子の発想すなわち、性悪説をとったと見れば分かりやすいでしょう。つまり、経済学は人間の本性(ほんせい)をどう見るかによって、どう組み立てるか大きく違ってきます。

さて、マルクスの予言によると、資本主義は労働者を搾取しつつ富を増し、それを再び投資してさらに富をふやす、拡大再生産、というシステムをとっているが、労働者を搾取し続けることによる、富の片よりは勿論自然の原理に反しているのだから、必ず破局を迎えるはずでした。

まず破局を迎えたのは、ところが資本主義の発達していない農業国のロシアでした。ここでは、トルストイの小説を読むとその雰囲気分かる農奴制と言う農民搾取のシステムが破綻をきたしてマルクスのいう私有禁止の共産主義に一挙に移ってしまったのです。

ロシアほど国が貧乏でないヨーロッパの国々や、アメリカでは、大金持のほかにも、資本家でもないけれど資本主義の恩恵をこうむってまずまずの生活の出来る、中産階級と呼ばれる人々の数もかなり出来ていて、一挙に私有禁止にはしる程には社会的圧力が高まらなかったのです。けれども、貧富の差の拡大は社会的歪を増大して行き、とうとう1929年に大恐慌と呼ばれる経済活動の大きな停滞、つまり銀行、企業の倒産、失業、貧困と言う事態になってしまいます。

自由放任の資本主義ではどうにもならない、けれども私有禁止のマルクス主義もいやだ、というアブも嫌いハチも嫌い、じゃあどうするの、という時に出了のがケインズの理論でした。

どんな超越的な方策があるのかと思いますが要するに、政府が資本家の動きを制御する方法についてケインズは考えたのです。国全体としての現在および将来の経済を考えたのでケインズはマクロ経済学の代表とされています。

金持ちは決して進んで貧乏人すなわち労働者にお金を余分に恵んだりはないのですから、いやでもお金を労働者に出すように資本家を仕向ける方法を考えねばなりません。それには賃金が高くても雇用をしたくなるような社会にすれば良い、つまり就職口が多くなって、ひとが足りない状況をつくらねばなりません。

職を増やすには資本家がどんどん投資をして仕事をつくる状況を実現せねばならない、資本家は金利が高ければ投資しないで儲かるから投資をしない、金利が下がれば、お金を持っても、儲からないし、安い金利でお金を借りて企業を起こす事も出来る。ケインズは消費と

投資の合計を有効需要と呼んで、利率の低下は有効需要を増す、有効需要が増せばそれにつれてまた投資もふえる、乗数理論、という“ねずみ講”的な至極簡単かつ効果てきめんなメカニズムで、職が増えて、賃金が上がり、企業が成功すれば資本家も儲かると提案したのです。ケインズ革命、とまで言われるこの経済学上の大発明(?)は本当はこんなに簡単な説明ではすまないのでしょうか。本当はこんなに簡単なことなのです。

ケインズは、社会に富の分布があることつまり、貧乏人がいたり、金持ちがいたりする不公平はしかたがない、それを避ける事は出来ないけれども、それが極端に過ぎる事はよくない。と主著“The General Theory of Employment, Interest and Money ; 雇用, 利子 および貨幣の一般論 (1936)”に書いています。

現在の政治や経済の動きを見ても、消費が冷え込んで景気に悪影響が出ている、などという理屈をつけて自由化による物価の低下と安定を計るべきだという意見が幅をきかせる。また一方では、景気が悪くなって失業がふえたとなると、利率をさげて景気回復を期待しようとする。という様な論議が繰り返されますが、これらはまさにスミス流で行くのか、ケインズ流で行くのか、という話です。いずれもエネルギーの大量使用に支えられた、成長経済だったのですが、20世紀の経済は東欧や中国をのぞけば、スミスとケインズの経済学が支配してきたと言い得ます。

さて、これで就職試験の模範解答の三人の経済学者の言をたどって、産業革命らしい経済学の大筋を理解した事にして、次に、同じ流儀で少し詳しく歴史上の経済学に関係する人々の面白い言葉、著書とその解釈を楽しんで、それらをサマライズする事によって、これからの経済学、そして経済の進むべき道について考えてみましょう。

誰がどんな事を言ったか

アリストテレス (BC 384 ころ - BC 322 ころ)

所有財産は家(オイコス)の一部だから、財産を獲得する術を、家政術(オイコノミア)と呼んだ。これが経済学、エコノミクスの語源(政治学1巻4章)。アリストテレスは、財産を獲得する術は家政術の他に商人術があるが、交換や高利貸によって財産をつくる商人術は非難されるべきものだと言っている。

貨幣について、それは例えば農夫と靴工とが、食料と靴とを取引する時に、そのように著しく差異のあるものに、通約性を、人為(ノモス)的に決めて交易の正義を保たせる働きをするものであり、貨幣はそれ故に、ノミスマ、と呼ばれる。と述べている(ニコマコス倫理学、5巻5章)。

司馬遷 (BC145-86)

史記列伝の中の貨殖列伝には、如何にしてさまざまな人物が大きな財産を築いて、王侯貴族でもないのに、それらと並ぶ、あるいはそれらをしのぐ贅沢な生活をする事ができたかを(彼らは素封家と呼ばれる)、ダイナミックに面白く描いてある。蓄財術の例には、製鉄業などの産業を興した者、景気の循環を見通して商売をうまくやった者、人が奴隷を軽んじているのに、自分だけは彼らを大切に、やりたい放題商売させてその上前をとって成功した者、など、アイデアと合理性と実行力が大切なことは、今の世の中と少しも変わらない。

冒頭には、老子80章にある有名な小国寡民の幸せな社会、つまり成長率ゼロの社会に今の世界をもどす事は不可能なので、やはり産業の活性化により、物質的に満ち足りることが幸せにつながるのだ、とサムエルソンの本と同じことが書かれている。そして、人間は己の利益の為には、命をかけて頑張るので、珍しい産物も手に入るようになり、すばらしいサービスも提供されるのです。とスミスの考えをすっかり、スミスと同じように具体的に例を面白おかしく挙げて書いている。

桑弘羊 (漢の昭帝 : 在位 BC 86-74, の頃の人)

漢の昭帝の始元六年(BC 81)に行われた、塩と鉄の専売の是非を論ずる、政府と民間知識人との間の公開討論の記録“塩鉄論”が昭帝の次の宣帝の時代に桓寛という人によってまとめられた。討論は、御史大夫、すなわち政府の最高官であった桑弘羊らと、科挙を通った知識人のグループとの間で行われた。

文学と呼ばれている知識人たちの主張は、塩と鉄の専売はケシカラン、統制をやめて民間に任せなさい、というのだが、それによって商売が繁盛して景気が良くなります、という主張ではなく、むしろ政府が専売で儲けているのが良くない、それは農民を主として人民を苦しめていると見ている。つまりその理想とする社会は、農耕中心の節度ある経済社会で、政府が専売によって利を稼ぐ例をしめすから、一般の商人たちも交易による利をもとめて、実体のない経済成長を目指すことになる、と非難している。

桑弘羊はこれに対して、“農商交易、以利本末、財物流通、有以均之”、すなわち、交易、流通によって、お互いに利を得る事が出来、広い国の中で財が等しくゆきわたる事になるのだ。と経済学の基本を堂々と述べている。

これを読むと、桑弘羊という人の聡明さが、際立っているのに対して、文学のグループの論議の幼稚さが暴露されている。桑弘羊の頭には、スミス流もケインズ流も十二分に理解されていたように見える。

文学が、政府は細かい法律を作り、厳しく税を取り立てるので人民は困っている、と主張するのに対して、桑

弘羊は“言之非難，行之為難”つまり，言うは易く行うは難し，と述べている。経済学の最も弱い急所がここにあるのは今も昔も変わらない事が分かる。専売による利点と自由化による利点とをどちらも欲するのが，今も昔も社会の一般人の望みなので，皆の言う事を聞いている訳にはいきません，ということだろう。

井原西鶴 (1642-1693)

史記の貨殖列伝などにおそらく習ったのだろうが，日本永代蔵は分限者すなわち金持ちになった人々の物語，成功談といえる。けれども西鶴はその成功の原因を的確に抽出して浮き彫りにしている。つまり一般化しうる真理を示してくれるところに読み応えがあり，経済学のテキストとしての価値を与えている。

この本はいくつもの小話からなっているけれど，“それ，世の中に，借り銀の利息程，恐ろしき物はなし”という第一話に始まり，お金の殖え方の指数関数的な原理つまり複利的経済成長の恐ろしさが何度も取りあげられている。また，綿を打つ機械を外国（もろこし）人からまねて，それをひそかに縦打から横打に改良して生産性を倍増して大もうけするなど，技術革新の大切さも見事に描いている。

これも第一話にある，“この娑婆（しゃば）に掴み取りはなし”，という言葉は話の筋には直接関係ないのに，ことさら話を盛り上げるために挿入されているが，技術の進歩によって，夢のエネルギーを人類が手に入れて，皆が豊かに，欠乏なく暮らすなどと言うことの不可能な事をさらりと述べているように読める。そこには，人間の幸せは何か，ということや自然のルールとして，楽なことはないと言う原理にふれている。

石田梅岩 (1685-1744)

フランスの重農主義者のケネーとほぼ同年代の梅岩は庶民に“心学”という，人のあるべき道を説いた人。心学にもとづく商人道を，都鄙問答（とひもんどう），という書物に書いている。まことの商人は先も立ち，我も立つことを，思うなり，というのが梅岩の商人道で，アリストテレスの言う交易の正義の成り立つことが重視されている。ケネーは商工業者を非生産者，として，農民のみを生産者としてのが，梅岩の時代の日本では既に，商業の発達が，交換による価値の発生を事実として梅岩に感させたのだろう。梅岩の経済学は“儉約”がキーワードとなっている（儉約齊家論）。商人が儉約を言うのは面白いが，いまの経済学では消費が奨励されて，景気回復の為には不要の物でもどんどん買いなさい，などと言ってはばからない学者さえいる。限られたエネルギーの供給のもとで，環境を守りつつ暮らして行くには，儉約が第一であることに，今も昔も変わりはない。小泉八雲は1894年に，極東の将来，という題で講演して，西洋の

浪費文明は東洋の儉約文明に，いずれ負けるであろうと言って，日本は西洋かぶれして儉約の精神を忘れる危険性が見えるが，そうなったら，日本も終わりだと述べている。極東の将来：訳 <http://www.kumamotokokufu-h.ed.jp/kumamoto/bungaku/yakumo3.html>

ペティ：William Petty (1623-1687)

経済を論ずるのに数学的手法を始めて用いた人。と言われるが，アリストテレスのニコマコス倫理学などの記述には通約性とか，均等化が数字で論じられているから，西洋的には，伝統ののっとった手法ともいえる。賢者には一言で足りる：Verbum Sapienti，という大変面白い題の本を出しているが，そこには，王国の富（wealth of the kingdom）と題して，国の総資産を見積っている。英国では土地の資産額が最大の項目だが，その見積りは，21年分の地代をもってされる。21年（あるいは18年）とは，ひとつの農地に祖父，父，子が同時に働く期間を基礎とする面白い計算。

また“土地が富の母であるように，労働は富の父でありその実用原理（active principle）である”というような労働価値説の先駆けのような考えを，租税貢納論：A treatise of Taxes and Contribution (1662) に述べている。国の富の見積もりをする目的は，正しく税金を課する為だったが，そのために労働が価値を生んでいることに着目したらしい。

物を生み出す労働が大切なので，法律家，宗教者，医者，などの“不生産者”は数を少なくすべきだと主張した。“生産者”とは，海員，兵士，手工業者，商人，などとしているのだが，これは重商主義の影響だろう。

重 商 主 義

国の富はその所有する金銀財宝である，貿易差額によりこれを蓄積する事こそ国富をますことである。

マン：Thomas Mun (1571-1641)

日本語ではMunもMannもおなじマンなので紛らわしい。イギリス東インド会社が設立された（1600年）当時のその会社の理事だということだから，重商主義の立役者であるのは当然だろう。貿易差額として金銀が英国に流入する方策の最大のポイントは，素材を輸入して付加価値の高い商品に変えて輸出することだ，と分かりやすい説明をするのは，政府役人を説得する必然性からか？その著書名もずばり，“外国貿易によるイングランドの財宝：England's Treasue by Foreign Trade (1664)”。

重 農 主 義

農業だけが財を生み出す，商工業は非生産者とみなす。

ケネー : François Quesnay (1694-1774)

経済表 (tableau économique: 1758) を描いたことで有名。国民を、農民(生産者)、商工(非生産者)、と地主の3グループに分け、相互の経済的やり取りを金額表示によって図示する、という画期的方法を編み出した。モデルの背景には、医者として、人体の血液循環と、一国における、お金の回転との対比があったらしい。また、カンティロン: Richard Cantillon (1697-1734) の描いた農民、都市住民(商人)、地主間の交易(三つの地代、すなわち農民が、自分たち、都市住民、地主に対して払う“地代”)、についての定量的考察(物量と金銭の)を参考にしたらしいことも推察される。

カンティロンは「商業一般の性質に関する論考: Essai sur la nature du commerce en général (1755)」, という本を書いて、その冒頭に「土地は富の引き出される源泉、労働は富を生産する形態であり、富それ自身は生活の糧や便宜品や享樂品である」と述べている。先述のベティの言葉と同じ内容だがより説明的だ。これは重農主義の基本的発想として受け取る事もできるが、農商工が産業の全てである事は今も変わりなく、地主を消費者と置きかえて考えれば、そのまま現在の経済に当てはまると言える。

そのような背景の下で恐らく描かれたケネーの経済表は、金額表示で一国の諸産業の経済的やり取りの全貌を、表にして把握しようというアイデアを明快に示しており、現在使われている後述する Leontief による産業連関表と全く同じ数学的構造であり、驚くべき新発想である。

ミラボーという重農主義経済学者が、経済表は人類の三大発明(言葉とお金に次ぐ)のひとつだと言った、とスミスの国富論に参照されている。エンゲルスは、ケネーの経済表はスフィンクスが旅人に与えた謎みたいに誰にも意味は理解されていないが、マルクスが始めて謎を解いた、その結果がマルクスの再生産表だ、と述べている。

古典派経済学

重商主義、重農主義、に続いて産業革命による工業発展の世の中を見て、商工業における活動も農業に並んで生産を行っているのだ、と気がつき、労働が財を生産すると言う、労働価値説を国の経済的な富の評価の基本に据えようという発想が生まれた。

アダム・スミス: Adam Smith (1723-1790)

スミスの国富論に、釘を作る工程での分業の有名な話が書かれている。スミスは生産性の向上こそ国の富を増すために重要だと見抜いている。分業によって一人の労働が従来の人分にも相当する生産を生みうることは、

国民の数が十倍増えた事と同じだ、しかも実際の人数と生活費は変わらないのだから、国の富は十倍増えたことになる、と言われれば誰でも納得するだろう。生産過剰、失業、恐慌などという恐ろしい事態が発生することなど、決して予想出来なかったろうと、想像できる。

マルサス: Thomas Robert Malthus (1766-1834)

有名な、人口論、の結論のところを読むと、貧困や苦難は人を失望させるものではなくて活気づけるものである、と書かれている。人口が増えれば一人当たりの食料の分け前が減る。それは当たり前だから病気や戦争で人口が増えないように自然(神?) がコントロールされている。とズバズバ本音を言い放つものだから、よほどガリガリ亡者の利己主義者だったかと思われそうだが、ペーパーバックのテキストの解説には、彼は素晴らしく魅力的で思いやりのある、皆から愛される人物だったと書かれている。

農村での小作農の貧困と、産業革命の進行につれて発生し始めた工場労働者の貧困をみて、救貧制度や私有財産の廃止などの社会的議論がおこる中で、そのような制度は全くの無駄で人をダメにするだけだ、苦難こそ人の生きる力の源だ。と正しくは有っても、誤解されやすい理論を述べたので、誰にも無視できないけれど困った意見だと現在もみなされ続けている。原著はフランス革命に影響されて、私有の禁止などを求める理想主義者の意見を批判することを表明する長いタイトルになっている: An Essay on the Principle of Population, as it Affects the future Improvement of Society, with Remarks on the Speculations of Mr. Godwin, M. Condorcet, and other Writers (1798).

セー: Jean Baptiste Say (1767-1832)

セーの法則で有名。供給は需要を生む(c'est la production qui ouvre des débouchés aux produits), と簡潔にそれは表現される。一般には需要があるから供給の必然性が生ずると考えられる。逆説的である所がこの法則の面白い点だろう。セーは、供給側つまり生産者は物(サービスも?) を作ってそれを売ってお金が入らなければ、ものを買えないのだから、供給が先で、その結果として、需要が生ずる、と述べている。多くの経済学者は、セーの法則が成り立てば、いくら物を生産しても供給過剰にならない事になるが、実際には供給過剰はよく起こる現象なのだから、この法則はおかしい。としてセーの法則をあざ笑おうとする。しかしこの法則がどんな経済学の教科書にも必ず書かれる理由は、そんな細かい解釈をこえて、ものが無ければならぬ済ますけれども、手近にあればたとえ無駄と判っていても、それを使い消費するのが人情である。という人間の本性をうまく表現している点にある。

セーは、農業生産、工業生産の両方が生産活動を支えている状況を見、更に資本の重要性に気づいて、生産の三要素を、土地、労働、資本とに分けた。これは当時としては新しい見方だけれども、資本に対する理解が不十分で、利潤が利潤を呼ぶ資本と労働との関係を見抜いていないとして、マルクスからは俗流経済学者と呼ばれている。

リカード：David Ricardo (1772-1823)

古典派経済学者の中では後期の人。産業資本家のはっきりと力を持ち始めた時期になって、経済を動かす地主、資本家、労働者が、地代、利潤、賃金を通じて対立するものであることを明確にした。そして、生産されるものの価値は投入された労働量により決まる、というペティによって言い出された労働価値説を経済学の基本とした：On the Principle of Political Economy and Taxation (1817)。

マルクス主義経済学

古典派経済学の次に現れたのが、マルクスの経済学である。すなわち資本主義のもとでは富の資本家への偏析が避けられない、という構造的欠陥を指摘して、私有を禁止した共産主義社会を打ち立てない限り、技術革新と生産性向上による人類の富の増加は、かえって人類の悲惨な生活を助長するものとなる、という主張である。

マルクス Karl Marx (1818-1883)

共産党宣言 (1848) を出したときマルクスは 30 歳、エンゲルスは 28 歳だった。共産主義という妖怪 (スペクター) がヨーロッパをさまよっている、という有名な文句を冒頭に掲げる熱意は若さのたまものだろうか。その妖怪の真相を書こうとしたのが、資本論、Das Kapital, Kritik der politischen Ökonomie (1867-1894) だ。労働力の賃金としての支払いは、労働者の生活を保証する額でよいのだが、実際生産される物の市場価値は常に賃金を上回るのだから、生産を繰り返して資本家はどんどん資本を増大させる、資本はもちろん再投資されてさらに利潤を生むであろう。けれどもそんな資本家の掴み取りが長続きするはずはない、物を作り過ぎれば売れなくなって、恐慌になる。という簡単なメカニズムがまず第一の資本主義の欠陥なのだ。

マルクスは資本には国境が無い (国際独占資本主義) 点を指摘して、そんな事をしてプロレタリアート (労働者) を搾取し続けると、恐慌の繰り返しとその末には革命に至る必然的コースがしかれている、みている。

20 世紀の歴史はマルクスの予言が外れて、資本主義が成功して先進国では豊かな夢の世界に近づくとも見える。けれども、先進国といわれる国々が掴み取りをして良い目をみる事が出来るのは、一つには、後進国の

人々を搾取していることと、もう一つには化石燃料、原子力のエネルギーを浪費、つまり労働者でなく自然環境を搾取してきたためだろう。つまり資本主義が成り立って行く為には、何かを搾取し続けなければならない仕組みになっている、というように資本論を読めなくもない。となると、共産主義の妖怪は 20 世紀には一時眠っていたけれども、21 世紀には再び目をさますかも知れない。それよりも、妖怪は搾取された者のオバケだから、今度は、共産主義ではなく自然環境の妖怪かもしれない。

これは本当のオバケだということになる。

驚いたことに、資本論は恐ろしく大部な書物なので、マルクスの考えが全て書きしるされているのだろうと、想像していたが、実は当初のプランのうちの始めの部分だけが書かれたにすぎないらしい。そして、プランの最後には、世界市場、というタイトルがつけられる予定だったということだ。今、超大国がアメリカ一つになってしまって、アメリカの思うままにグローバリゼーションという言葉がもてはやされている。マルクスは、世界市場、グローバリゼーションこそ最も危険な段階であると予言したのかも知れない。

エンゲルス Friedrich Engels (1820-1895)

マルクスの盟友で共産党宣言も、資本論も共著者として草稿を書き、まとめを行った人物。産業革命 (industrial revolution) という言葉をつくったり、ケネーの経済表をスフィンクスの謎と言ったりするアイデアの持ち主だと窺い知ることが出来る。文明は人間の卑しい所有欲の支配する社会をつくってしまった。古き人類社会に存在した、自由、平等、友愛の社会の復活を目的としよう。と性善説をルソーに学んだような意見をもっていたようだ (Der Ursprung der Familie, des Privateigentum und des Staats (1884)。

エンゲル：C. L. E. Engel (1821-1896)

家計に占める食費の割合 (%), をエンゲル係数と呼ぶことを中学校でならった。これほど判り易い係数があるかと思われるほど簡単で、しかもそれが何を意味するかという説明すら中学生にも必要でない。経済学の色々な用語が一般人に難解である中でこの係数は特に光っている。彼はこの係数を使う事を、ベルギーの労働者家族の生活費の今と昔：Der Lebenskosten belgischer Arbeiter-familien früher und jetzt (1895), で提案した。

先述のエンゲルスと生まれるのも死ぬのも一年あとの同じドイツ人、とは紛らわしい。プロシヤ王国統計局長を長く勤めた人。

新古典派経済学、限界革命

1840 年生まれ作家ドーデーの「風車小屋便り」を読

むと、南フランスのプロバンス地方の風車による製粉業が、一昔前の事として描かれている。ドーデーの時代には風車はすでにパリから来た“いやな奴ら”の建てた蒸気製粉工場のために廃止に追い込まれてしまっている。そんな雰囲気から、つまり産業革命が行き渡って、生産性が飛躍的に増大し、生産過剰や恐慌も何度か起こり、マルクスの言う共産主義の妖怪におのきなながらも、スミスらの古典派経済学の新しい展開の必要に迫られて出てきたのが、新古典派と後に呼ばれることになる、限界分析 (marginal analysis) という手法を掲げる人々だった。

荒っぽく言えば、今もこの時代に作られた経済学から大きく外れた発想はないので、経済学の歴史はこれでおしまい、と言えなくもない。その新古典派を理解する事は、限界分析とは何かを理解することだと見ればよい。

さて限界分析、と呼ばれるものの中で最もよく使われる、限界効用、についてそれが何かを先ず調べよう。限界とは英語のマージナル (marginal) の訳語であり、マージナルは商売のマージンや、レターペーパーの余白、つまり余った部分、余った場所の意味から来ている。つまり本来そのものが有する意義に付け加わった余分がマージンだといえる。効用はユウティリティ (utility) の訳語で、それは役に立つ度合い、有りがたさ、の事をさす。

限界効用は、ある品物、あるサービス、がある一定の量だけ手に入ったとき、あるいはひとに与えたときに、それによって得られる、あるいは与える事の出来る、有りがたさを指す。しかし、同じ量の品物や、サービスでも、有りがたさは一定ではない。一リットルの水は、砂漠ではとても有りがたいけれど、水道からいつでも出せるときには、水一リットルが本来もつ必要性以上の有りがたさはない。この本来の必要性以上、つまり余分の有りがたさが、限界効用と呼ばれる。砂漠においては水の限界効用は高く、家庭でのそれは低いことになる。そして品物、サービスの価格は限界効用できまる。

このように一単位の増加による効用の増加量、という定義は、品物を X 、効用を Y とすれば、 dY/dX 、すなわち微分係数なのだから、最初からそう説明すれば良いのだけれど、それでは余りに簡単すぎて、経済学の権威がなくなるので、習慣上 (経済学では) そうしない事にしてある。すぐに判るように、 Y を利益率に置き、 X を生産量にして、限界利益率、という見方が出来るし、その他の限界分析というものも自由に考え得る。

限界分析の手法は、新古典派のジェボンズ (イギリス)、ワルラス (フランス)、メンガー (オーストリア) が各々独自に考えたとされている。おそらく、産業革命の結果生じてきた余分の生産物、資本が、処分されずに溜

まる事によって引き起こされる恐慌を避けるための、経済活性化の方策を考える基礎理論として、その物の本来の使用価値ではなく、インフレートした限界価値を持ち出す必然性があったのだろう。

限界価値の概念、とくに、物の充足度が増すにつれて効用が減る、いわゆる限界効用逓減の法則 (the Law of Diminishing Marginal Utility) は、ゴッセン (Hermann Heinrich Gossen 1810-1858) が 1854 年に書いた本、「Entwicklung der Gesetze des menschlichen Verkehrs und der daraus fließenden Regeln für menschliches Handeln」に人の欲望の充足に関連して明確に書いているので、“ゴッセンの法則”とも呼ばれている。けれども、上記三人が、資本主義の経済活動の分析には、使用価値と限界価値とを、分けて考えることが必要である事を、はっきりと認識して提示したことに意義があり、その意味で画期的なので、限界分析の経済学への適用の始まりは限界革命、と呼ばれている。

ワルラス: Marie Esprit Léon Walras (1834-1910)

「経済学と正義 (1860)」という本を出している。そして「Éléments d'économie politique pure, ou théorie de la richesse sociale (1874)」に、商品の交換において等価な交換、すなわち正義が行われる条件は、取引当事者が欲望の最大満足を得ようとする行為が妨げられない自由な判断と行動とが可能なる事である。そのような条件の下では損得のない交換が成立するとして、それを一般均衡の定理と呼んでいる。その時の価値の尺度には当然、限界価値の導入が必然となる。

経済の進歩を商品の希少性 (rareté: 限界効用) の減少であると定義して、生産物、サービス、に加えて資本も取引の対象にいれ、更に貨幣の量と社会に存在する総資産の量とのバランスまで考慮した上で、国の経済活動が、スミスの言う、個人のインセンティブすなわち私欲に駆られた行動の自由な発露の条件の下で、正義すなわち取引の損得なしという、アリストテレスが 2000 年以上前に考えた状態、すなわち一般均衡に至るであろうと考えた。

ジェボンズ William Stanley Jevons (1835-1882)

化学、地質学、植物学を学んで、オーストラリアで貨幣の試金分析官をした後イギリスへ帰って経済学を教えた。最初に書いた本「石炭問題: The Coal Question (1865)」は当時大反響だったらしい。中身は、工業の進歩とそれに伴う経済の発展の元はエネルギー、即ち石炭の大量消費である、と極めて明確に問題の真髄を見抜いて提示している。経済学をエネルギー利用量の観点で捕らえる発想を示した功績は大きい。

それに関連して、例えば鉄鋼の生産のエネルギー効率が改善されて、従来の 1/3 の石炭使用量で済ませる効率の良い技術が出来たら、その分鉄鋼が安価に供給される

ので、鉄鋼の利用が増え、生産量が増すので返ってエネルギーの消費量は増えるものと述べている。言いかえると、省エネ技術の発達は返ってエネルギー消費の増大につながる、というジェボンズのパラドックスと呼ばれる意見を書いている。

商品の交換価値について、ジェボンズはその商品の消費から生ずる本来の価値と、その商品を欲する人間の欲望から来る価値とを分けて考えることを提案して、限界効用の概念を明示した：The theory of political economy (1871)。限界効用の概念の提示が明快でありジェボンズの本を通じて広まったので、限界革命がジェボンズ革命と呼ばれることもある。

メンガー：Carl Menger：(1840—1921)

オーストリアの経済学者で価値の本質を究めようとした人と言われる。価値の本質となると、限界効用の概念に思い至るのは当然かもしれない。前二者と同じく、ある財を得て欲望の満たされる度合いがその財の数量が増すとともに減る、という原理をとりあげて、限界効用を定義している。欲望とか満足度をこれら三人が同時に独立に考えて限界分析に到達している事は興味深い。恐らく、最大多数の最大幸福、を目指すというベンサム(1748—1832)の打ち立てた功利主義(utilitarianism)の思想がヨーロッパの経済学者の基礎に浸透していたであろう。ドイツ語で限界効用は日本語と同じ意味の、Der Grenznutzen となっている。

ピグー：Arthur Cecil Pigou：(1877—1959)

ピグー的課税(Pigouvian tax)、という言葉をつからないでは、環境問題の議論に寄せてもらえない、というような困った傾向になると、議論が目的なのか、環境を大切にしたいのかの心配になる。製品を造るのに、環境汚染廃棄物が出ても、それを垂れ流し、ほかしっ放し、で済ませれば製造会社は安く製品を売れる。けれども出た廃棄物は国や自治体がお金を出して始末しているのだから、始末代に相当する税金を廃棄物一トン当たり幾らという計算をして課税する、と言う当たり前のやり方がピグー的課税だと説明されると、そんなこと説明は要りません、と言われるかもしれない。ピグーは要するに、今まで企業の外部で支払われていた、環境保全費を企业内部で払わせないとダメだ、そうすれば、その費用は製品に上乗せされるだろうから、それを買う消費者も製品をエンジョイするときに、環境保全費を負担することになる。こんな、先に書いたケネーの経済表にあるような経済活動の連関が、環境に関する“製造と消費”についても生ずるよにするシステムが、外部費用の内外部化といわれるものだ。

ピグーは「厚生経済学：The Economics of Welfare (1920)」に、限られた資源を浪費することなく大切に使

う事が有利となるような税金をかけるべきだと書いている。つまり自由主義経済のなかで国民が進んで浪費を避けるようにするには、浪費に大変なお金が掛かるようにすることだ、と説明する。けれども消費(浪費)を減らして個人が貯蓄しても、その貯蓄は銀行が勝手に投資して、産業を拡大する元手に利用されてしまうのだから、資本主義の経済では資源の節約は難しい(とはピグーは言っていない!)

ちなみに、ピグー的課税と共に話題にされる、ボーモルとオーツ(Baumol and Oates)の課税は、環境汚染廃棄物処理の外部費用を見積もるのは大変だし、正確さも期待できない、肝心なのは環境の汚染を望ましいレベル以下に抑えることなのだから、とにかく先ずいい加減な額でも良いから税金をかけて、環境汚染レベルの方をモニターして、基準に達しないようであれば税金を上げる、基準以下になりそうであれば、税金を下げるという、トライアル、アンド、エラーのことを指している。

ケインズ：John Maynard Keynes (1883—1946)

前記ピグーと同年代のイギリス人だが、ピグーがジェボンズの伝統を引き継いで、エネルギー浪費に支えられた経済規模の無制限の発展を心配して、厚生経済学を始めたのに対して、ケインズは、自分の先生だったケンブリッジ大学のマーシャル教授の目指した経済の実務的な面である、雇用、賃金、貨幣の安定性、などについての政策上の具体策を考案する事に力を注いだ。

セーの法則(前述)では、供給がそれ自身の需要を生む、と言われるが、実際問題としては無制限に生産を増やせば、生産過剰になることは当たり前のことだ。ケインズは、国民が所得の内から貯蓄に回した分だけ新投資を行えば需要と供給とが均衡できる、といういかにも当たり前のような結論を述べた。そして、需要とは消費だけでなく、消費プラス貯蓄と考えればよろしい、それが有効需要だとしている。そうすると今年の有効需要(国民所得とイコール)の内、貯蓄分すなわち投資分だけ次年度の有効需要は増える。増分の国民所得に占める割合を、 a 、とすればそれは複利法の利率と同じものだから、ケインズの経済は元金と利率の和、 $(1+a)$ を乗数とする指数関数的な成長経済だとわかる。

ケインズはピグーと逆に、国民の所得格差をなくして国民の福祉を増すためには、相続税や累進所得税を積極的に適用すべきだと考えている。ピグーは性善説的、ケインズは性悪説的な発想のようだが、同じ目的で手段がまっ逆さまとは、偉い学者の理論が政策に影響する時には面白いでは済みませんよと言いたい。

シュンペーター Joseph Alois Schumpeter (1883—1950)

ケインズと同じ年に生まれヨーロッパからアメリカに

渡って活躍した、日本で人気の高いシュンペーターを飛ばしては叱られる気がするので、触れなければならぬ。

創造的破壊(新生産様式や技術革新)によって革新し続ける所に資本主義の本質があると言うが、資本主義は没落する運命を持つ、などと意表をつく発言をするところが人気の源だとわかる。しかも、没落する原因はその失敗によってでなく成功によってである。と逆説的に云われると、何か本当みに思える。

景気は循環する、といい、循環の波の波長にはいくつもある、最も長い波長が、コンドラチエフ循環である、というも何か予言めいて、当たりそうだ。しかし本人は循環して景気が悪くなったり、恐慌になっても、結局は過ぎ去ればまた循環するので平気、と見ていたらしい。科学の価値はその実用性にはなくて、その本質は思考の遊びである。というのなら、経済学の目的についても、破壊的な提案が欲しかった。

フリードマン: Milton Friedman (1912—)

マネタリズムと呼ばれる経済政策を掲げる学者の元締めでシカゴ大学教授だった人。お金だけが大事、というマネタリストの標語はなんだか拝金主義の集団かと誤解されそうだが、とんでもない。彼等のいうマネーは世間に出回る貨幣の量のことで、貨幣量の制御によって、経済のコントロール、例えばインフレを抑えるとか、景気を活性化するとかを実行できる(すべき)と主張する。

一体、一万円札は日本中になん兆円分あるのだろう、と考えると不気味だが、それよりもその札束の量はなにを基準に決めてあるのだろう。造幣局の印刷能力は大したものだから日銀が命令すればなん兆でもあつと言う間に刷れる。政府の支払いを、どんどん刷つたお金で済ませば、赤字国債など必要ない。そうすれば、あつと言う間に大インフレになる事は誰にでもわかる。インフレになったら皆が困る、と思うとまた大間違いで、大喜びする者も多い。一番喜ぶのは政府で、なん百兆円という累積の国債や隠れ借金の実質額がインフレで目減りすれば、大助かりだ。経済とはこんなに危険なものらしい、けれどもそんなことは2千年も昔の桑弘羊の塩鉄論に書いてあることは前述した。

フリードマンはケインズの政策すなわち政府が利率や税率のコントロールをしたり、補助金をだしたり、公共事業を景気対策に行ったりする事に大反対する。お金だけが大事、という標語は、貨幣の流通量の制御以外には政府は一切口出ししないことこそ、経済を自然な、健全な状態に保つ手段であると主張する。そもそも資本主義はスミスの自由放任の経済の上に成り立っているのだから、いらぬ手出しを人間の浅知恵でやって、一時上手くいっても、その後始末も考えれば、とんでもないことに

なる。といわれると、ケインズを信じてばかりいるのも安全ではないらしいと心配になる。

マネタリストの主張は、貨幣の流通量は、経済成長に合わせて一定の決まった割合で増減すべきである、と言うことで、極めてまっとうな理論のように思える。それは決まったルールであるべきでケインズのように状況をみて右往左往するのは自由主義経済ではない、と主張するので、フリードマンの説は新自由主義と呼ばれる。

ジョージスクレーゲン Nicholas Georgescu-Roegen (1906—1994)

ルーマニア生まれの、数学者、経済学者。経済学の解説書に紹介される事が少ないのは、不思議だ。著書、エントロピー法則と経済過程: The Entropy Law and the Economic Process (1971)、は自然科学の知識の人間活動にかかわる問題を総括して、経済の流れがどのような自然のルールに縛られているかを考えたものだ。経済の基本である生産活動とは何か、を考えようとすると、労働による財の製造とは何を意味するかを理解することの必然性に気が付くだろう。

先述したジェボンズはエネルギーの消費の増大が経済活動の拡大に直接関連している事に気が付いて「石炭問題」を書いたが、労働による財の製造は、エネルギー問題のもう一歩奥にある、エントロピーの問題を抜きには決して説明できない事を、ジョーレスクレーゲンは、始めて本に書いて明確に指摘した。エネルギーは増えもせず減りもせずに動きまわる。という表現は面白おかしくエネルギーの本質を衝いている。つまりエネルギー量はそれをいくら「使って」も、変化しない、変化している(増えている)のはエントロピーであると言う事だ。財の生産と言うと如何にも良いことをしているように聞こえるが、実はエントロピーの赤字、つまり全体としてみれば地球上のエントロピーの生産(増大)を起こしているだけだと説明がされる。

化石燃料や原子力エネルギーの利用は、許されるエントロピー増大の予算を超えて赤字を増大させているのだから、誰かがいつかそのツケを払わねばならない、誰かとは我々の未来世代、つまり子孫である。と、結論はジェボンズの「石炭問題」と同じだけれども、ジェボンズは安価なエネルギー(石炭)が無くなれば、また元の質素な、イギリス国民に戻れば良い、と結論を書いている。エントロピーの見方とエネルギー的見方はそこに大きな違いがある。すなわちエントロピー法則は物事の変化は不可逆であると断言するもので、予算以上にエントロピーを増大させてしまった時は、決して“後始末”は出来ない、元の質素なイギリス人に戻ろうとしてもだめです、と言うような、恐ろしくて、判っていても直視したくないような、経済学の根本問題を G.レーゲンはこ

の本に書いている。

だからどうする、という結論は書いてない、塩鉄論の桑弘羊と同じで、言うは易く行うは難し、なのだけれども、行うは難い理由は、G.レーゲンが、経済学の目的、人間の生活の目的を、“生の享受 (enjoyment of life)” だとして、それを、“消費の享受” プラス “余暇の享受” マイナス “労働の苦痛” と置いて、その最大化を目的として、経済学を組立てようとしているためだ。この目的はサムエルソンのそれと同じなのだから、結局自縄自縛におちいってしまう。2千年以上前にアリストテレスが、“遊ぶために働く”、と言う考えのナンセンスであることを指摘して、人生は仕事を楽しむように生きるべきだ、と言ったことをG.レーゲンともあろう博学にして頭脳明晰な人が理解していないのは不思議だ。一言付け加えれば、“労働の苦痛”は苦痛であるからこそ、享受できるのであって、楽な仕事に幸せはない、というのが人間の本性なのだ。

レオンチェフ：Wassily W. Leontief (1906—1999)

産業連関表 (Input-Output Table) を描いて、多くの産業間の物流、を金額表示で行列にして明示。線形代数の手法で産業間の連関を分析する手法を編み出した：The Structure of American Economy (1941)。産業連関表 (IO table) は現在日本でも5年毎に404部門 (または32部門) の産業間の相互の流通を詳しく記述して総務庁から発表されている。

各産業の年間総生産額をベクトルと見て、それを、 X 、とし、各産業が消費者に供給する製品の金額 (最終需要と呼ばれる) をやはりベクトルとして、 F 、であらわし、金額表示の産業連関表 (行列) の各要素を各産業の総生産額で除した表 (投入係数表) を、行列、 A 、とすると、レオンチェフの解析では、それらの関係が、

$$(I - A)^{-1}F = X$$

で表される。つまり、最終需要のベクトル F を与えれば、それを満たすための総生産額 X が、レオンチェフ逆行列 $(I - A)^{-1}$ からたちどころに計算できることになる。産業連関表はしたがって、現在の産業構造の基本的な性質をそこから知り得るデータだと言える。産業間の経済的連関を図示する方法は、前述のケネーの経済表に既にその基本的発想は完全に示されている。ケネーは、農業と工業の2産業部門と地主 (消費者) との間の連関を金額表示で描いた。それは、地主を消費者と見て、実質上2部門の産業連関として行列に直して解析すれば、オープン・レオンチェフモデルといわれる多部門の連関表の発想と一致する。逆にレオンチェフの連関表はケネーの経済表に描かれた、単純な、農業と工業の連関におけるお金の流れを例に取ればその基本がわかり易い。

ケネーの経済表に書かれている事は、整理すると下表

のようになる。

	農	工	地主	総生産
農	20	20	10	50
工	10	0	10	20
地主	20	0		
総生産	50	20		

表中の数値はケネーの経済表 (範式：formule、と呼ばれるもの) にある億ループリと言う金額。農、の列を縦に読むと、農業は農産物を生産するために20億を農業自身に支払い、10億を工業に支払い20億を地主に地代として払う、そのお金は農産物の生産による50億の収入によりまかなわれる。工、の列は、工業者が食料と工作原料の代金として農に20億支払うだけ。地主 (消費者) の列は、地主が農民から買う食料に10億、工業品を買うのに10億支払う事が示されている。

農民は30億使って50億の農産物を作るからネットに20億の財を創出しているが、工業は20億使って20億の財を作るのだから、ネット生産ゼロ、だとケネーは見えて、工業者を、非生産者と定義した。

レオンチェフは、そこを考えて農民は工業者から10億分の農具を買わないと生産できないのだから、間接的に農産物20億のネット生産に関連している、と見なせることを理解した。そして、上記のような表を、総生産額を1.0に規格化して、行列に直し、逆行列を計算するなどして、連関の大きさを数値化できることを示した。行列の扱いとして連関を整理するならば、ケネーの2部門の連関でさえ、皆から難解だと非難された問題を、数十、数百の産業間の連関について容易に扱える。レオンチェフの業績の偉大さが分かる。

レオンチェフの手法に従って上記の、ケネーの経済表から整理して示した表を、投入係数表にすると下記のようなになる。この表中の農と工に関する数値は、産業間の取引をしめすもので、生産のためのプロセスに於ける、やり取りを表示するので、中間投入と呼ばれる。

	農	工
農	0.4	1.0
工	0.2	0
地主	0.4	0
総生産	1.0	1.0

この中間投入係数を行列に書くと、投入係数行列が次のように得られる。

投入係数行列を, A , その逆行列を, $(1-A)^{-1}$, とすると,

$$A = \begin{pmatrix} 0.4 & 1.0 \\ 0.2 & 0 \end{pmatrix}, \quad (1-A)^{-1} = \begin{pmatrix} 2.5 & 2.5 \\ 0.5 & 1.5 \end{pmatrix}$$

となる.

この2部門の産業のやり取りが, どんな連関を持つのかは, 得られた行列の固有ベクトルによって示される.

A の固有値は, 0.69, $(1-A)^{-1}$ の固有値は, 3.225

固有ベクトルは, どちらも, $\begin{pmatrix} 1.0 \\ 0.29 \end{pmatrix}$ となる. これを見ると, 総生産 1.29 のうち, 農業の寄与は 1.0, 工業のそれは 0.29, の程度であると見なせる. つまり, 工業はケネーが述べたような非生産者ではなく, 生産活動に約 22.5% の寄与をしていることになる. 固有値の大きさはこの解析では, 産業全体のサイズを任意に考えるので, 数値の大きさには意味はない.

サロウ: Lester Thurow (1938—)

ゼロ・サム社会: The Zero Sum Society: Distribution and the Possibilities for Economic Change (1980), は本来, 経済活動は誰かが儲ければ誰かが損をするゲームであって, 皆が儲かるなどと言う事を願うのは, 阪神と巨人が同時に優勝する事を願うのと同じくナンセンスであるということを, 説明してくれている. 勿論そんなことは MIT の教授に説明されなくても, 小学生でも分かっている. いや小学生には分かっていることが, 欲に目がくらんだ大人には分からないし, それをよい事に, 殊更そんな有り得ないことが, 有るかのように誤魔化して, うまい汁を吸う連中もいる. 資本利得(キャピタルゲイン)への課税の強化などによるゼロサムゲームの勝者と敗者のゲイン調整をしないと資本主義(アメリカ)社会は危ないと書いている. けれども, 結局そんな政策が取られる事にはならないと, 何か, 投げやりの結論に対しては, 何とか身を挺して頑張ってくれませんか, と云いたくなる.

ま と め

アリストテレス以来経済学は, 如何にして限られた資源を有効に利用して楽な生活を, 出来るだけ多数の人が楽しめるかを考えてきた. いつの時代でも, 公平に生産物が国民に分配されれば, 大変な飢饉の年でなければ, 何とかそこそこの生活は出来たはずだ. しかし社会の動きには必ず富の偏析が伴うもので, 公平な富の分布が実現した社会は歴史上皆無だ. 経済学では富の偏析が怪しからん, と考えた人たちもいるが, 多くは, 何とか富の偏析を含みつつ, なを皆が楽しく生活できるだけの生産を挙げる事をむしろ, 目指していろいろ考えをめぐらし

て来た.

ところが本当は, ジェボンズやマルサスが気がついたように, 生産が増えて豊かになるとそれに応じて人口も増え, 生活も贅沢になるので, 結局生産性の改善や技術革新は, 皆が豊かになる結果を生まないと言う原理もある程度当たっている.

振り返ってみれば, 我々の生活も 50 年前と較べれば, 今は, はるかに豊かで楽な生活を, 昔とは比べ物にならない多くの人びとがエンジョイ出来ている. ジェボンズやマルサスの言う, 生産増加と消費増加(分け前減少)の“いたちごっこ”, で生産性の進歩が勝ったようにも見える. 戦後の日本では, 何のかのいっても, 皆が儲かったのだろうか?

皆が儲かるようにするためには, 経済の規模がどんどん大きくなること, すなわちパイが大きくなって誰もが分け前にあずかる事の出来るシステムが必要となる. 19, 20 世紀の経済学は, 新古典派の限界価値の理論に始まって, 成長を如何に維持するか理論と実践を探ってきたと言える. 20 世紀の一時期, 世界の限られた国々で, あたかもそのような経済学の夢が実現に近づいた如くに見えるのは, 実は本来手を出してはいけない禁断のエネルギーに手を出したからだ. ジェボンズ等はエネルギー資源に限りがあることを心配したが, G.レーゲンは, それはエネルギーに手を出したと言うより, 閉じ込められた小さいエントロピー資源を掘り起こして, それを大急ぎで大きくして, 子孫に取り返しのつかない赤字を押し付けているのだと言う.

開けてはいけないパンドラの箱を開けてしまった人類に未来は無いか, 今からでもふたを閉める努力をする甲斐があるのか. 少なくとも経済学は今後は, 従来のようにパンドラの箱をもっと広く開ける方策を論ずる学問ではありえないことを, 自覚すべきだろう.

経済学の新しい目的

冒頭に掲げた経済学の目的は, 端的に云えば皆が金持ちになる事だった. そんなことが不可能であることは, 考えるまでも無く自明なはずだ, しかしここに挙げた錚々たる経済学者のほとんどが, そのような不可能な目標を当然の前提として受け入れて論議を進めている. 塩鉄論の桑弘羊が, 云うは易く行うは難し, と云わねばならなかった理由は, 皆が経済の規制と, 放任との両方のメリットを欲したからだ, と, 前述した.

人がそのような矛盾した欲望を抱く事は, しかし, 人の本性としてしかたがないし, 自分の行動を振り返って, 胸に手を当ててみれば, 如何に自分が, “いいことばかり” を願って生きてきたか分かるだろう. 矛盾はしていますが, 誰もがそう願う事は自由だし, それが人間

を、人間らしくして、生きる意欲、活力を生むことも良く分かる。人間がそんな、あさましい願望をもって、わいわいと面白おかしく暮らして行くためには、しかし経済学はそんな願望を無視して冷徹に人類の幸せを見通して、目的を設定しなければならない。

経済学は人のあさましい願望をかなえる事を目的とする学問であろうとしたのでは、学問たり得ない。なぜかという、第一に、そんな願望がかなえられる為には、どこかに“しわ寄せ”が無いわけには行かない事、第二に、願望がかなえられても、誰もハッピーにならない事、が言えるためだ。

第一の、しわ寄せ、とは何かというと、既に述べたように、この娑婆に摺みどりは無い、と言う西鶴の言葉どおり、あるいはG.レーゲンのいうエントロピー法則によって、いいことが起こるためには、どこかで悪い事が起らないとつじつまが合わない、というのが自然の掟、だと云う事だ。しかも、G.レーゲンのエントロピー法則の説明では、ちょっといいことが起こるためには、それよりはるかに大きな悪い事が起らねばならない、というゼロ・サムどころか、マイナス・サムの誠に困った(?)ルールで宇宙の森羅万象は動いているらしい。

誤解を受けるといけないので、ことわっておくが、ここで云う、いいこと、悪いこと、は例えばお金に換算できるような、物質的な損得を指している(精神的なことではない)。だから、そのしわ寄せを、今までエネルギー資源の浪費に押し付けて来たけれど、その付けが、実は子孫に回っていくのですよ、つまり、しわ寄せの行き着く先は自分の子孫なんです。とうことになるので、これ(みな物質的に豊かになること)は経済学の目的の設定には最も避けるべき、事柄であろう。

第二の、物質的に豊かになっても誰もハッピーにならない、という事を考えてみよう。これは、“感動は前進、満足は後退”、という言葉に端的にその真髓が表されている。一般に幸福は満足とイコールと見なされている。しかし易経の最初の卦である乾(けん)つまり陰陽の六個の符合が全部“陽”つまりオールポジティブの卦は、“亢龍有悔(こうりゅうくひあり)”と説明される。つまり昇り詰めた龍はあと何をしたらいいのか、もう目的を達成してしまったらあとは、うろろうとさまよう以外にすることがない、天に昇ろうと、必死に頑張っていたときの苦しい状況がなんと懐かしいことよ。天に昇ればどんなにすばらしいかと思っていたのが、結果がでってしまったら、逆に不幸のどん底ではないか?という解説だ。

満足が幸福であるとは、ベンサム始めた功利主義の“最大多数の最大幸福”と言う標語に影響された発想だろうが、経済学のかなでも、前述の限界効用についての論

議のなかでは満足度を価値の目安にすることが一般的だ。これは、経済学が、現実離れた学問とみなされ勝ちとなっている原因かもしれない。

では満足でなくて何を指すのがいいのだろうか、個人は既に述べたように、いいことばかり起こることを願っている、つまり満足を願望している。経済学は、そんな個人の願望を満たしたら皆、天に昇った龍と同じ不幸に見舞われることをはっきりと認識していなければならない。

人間は龍と違って愚かな生き物だから、することが無くなると中国古典の“大学”やスミスの国富論に書かれているように、“小人閑居して不善をなす、至らざる所なし”となる。つまり満足してしまっただけでなくなれば、どんな悪い事もやる、という不幸に陥る。スミスは具体的に、一週間と言う時間まで例示して、そんなに短い時間でさえ、する事なしに過ごさねばならないと、一般人(common people)は一生を台無しにするような馬鹿なことをしてかすものだ、と国富論に書いている。

それではどうしたらいいのか?答えは既に出ている、天に昇る龍の、昇り続ける状況を作る事を、経済学の目的とすれば良い。人間がいつも努力しなければならない状態にするにはどうすれば良いだろう。アリストテレスが述べたように人は仕事のなかに楽しみを作らねばならない。仕事は苦痛を伴う物であることは、G.レーゲンの、人生の享受の方程式に見ても明らかだ。そこに解がある。苦痛を無くしてしまったら仕事が仕事でなくなって、アリストテレスの言う楽しみ(幸せ)をそこにみつけることは絶対に不可能なのだ。人は仕事を何のためにするか、仕事は苦痛でもそれを頑張るやる駆動力はなにか、と考えると、経済学ではそれは、生活費を得る為という事が第一にあげられる。ここに大きな誤解がある。ドイツにボスニアから難民として移住した人が、ドイツの法律で、生活費は十分に家族を養うに余りあるだけ政府から支給されているが、ドイツ人の職を奪っては困るという事で、いっさい仕事をさせてもらえない状況となり、こんな苦痛には耐えられない、述べている。人は仕事をしてそれが他の人の為になり感謝される事によって、仕事の苦痛は楽しみに変わるのだ。アリストテレスの言う仕事に楽しみを見つける、とはここにポイントがあるのだろう。

具体的な経済学の目的もここまで考えれば、簡単に思いつける。楽な生活、la dolce vita、を皆に保障しようとするために、エネルギー浪費にしわ寄せをして経済活動を無理に活性化してはいけないのだ。第一で述べた“しわ寄せ”によって人が“幸せ”になるのならまだしも、返って不幸になるのであれば、一石二鳥の逆で、いい事なし、の目標を従来の経済学は掲げてきたことになる。

結局、エネルギーの浪費を省いて、多くの人が、苦しい仕事をしてそれが、人から感謝されるような社会、経済の仕組みを考えることを、今後の経済学の目的とするべきあることが以上で明らかとなった。エネルギー・環境の問題の解決策は、徹底した省エネルギー以外に方法

は無い。しかもそれこそ人間を幸せにする社会につながるものなのだ。

参 照

「幸福ということ」NHK ブックス (1998)。

「黄金律と技術の倫理」開発技術学会叢書 (2001)。

経済学・賢者の一言

経済学に関連した、すばらしい一言を述べた人物と、その一言をまとめて見ました。但し、人物と一言とはバラバラにしてあります。クイズとしてお楽しみください。(人物はほぼ年代順に挙げてあります)。

京都エネルギー・環境研究協会 新宮秀夫

人物	一言
() アリストテレス	1 石炭問題(energy 問題),限界分析(marginal analysis)
() 司馬遷	2 供給は需要を生む,la production ouvre des débouchés
() 桑弘羊	3 拡大再生産、妖怪(スペクター)を放った人,資本論
() 井原西鶴	4 経済表、血液循環、重農主義、マダム・ボンパドール
() 石田梅岩	5 感動は前進、満足は後退、亢龍有悔
() W.ベティ	6 悪は、失望ではなく活力を与えるために世ある,人口論
() T.マン	7 ゼロ・サム社会、誰かが儲かっただけ、損する人あり
() F.ケネー	8 賢者には一言で足りる、土地は富の母、労働は富の父、
() A.スミス	9 産業連関表、全産業間の取引を表示、線形代数で処理
() T.R.マルサス	10 言うは易く行うは難し,塩鉄論(漢代の経済論争)
() J.B.セー	11 家計の中で食費の占める割合(%)
() D.リカード	12 この娑婆(しゃば)に掴み取りはなし、日本永代蔵
() K.マルクス	13 生産は常に赤字、エントロピー法則と経済過程
() F.エンゲルス	14 景気は循環する、資本主義はその成功によって没落する
() C.L.E.エンゲル	15 マネタリズム、通貨量のルールのみ守る、新自由主義
() M.E.L.ワルラス	16 東インド商会、重商主義
() W.S.ジェボンズ	17 貨幣による交易の正義、ニコマコス倫理学
() C.メンガー	18 有効需要、乗数理論、雇用、利率、お金、マクロ経済
() A.C.ピグー	19 限界効用 (Der Grenznutzen)
() J.M.ケインズ	20 貨殖列伝、金持ち(素封家)の成功談
() J.A.シュンペーター	21 労働価値説、古典派後期の人
() M.フリードマン	22 限界価値、希少性 (rareté)、一般均衡理論
() N.G.レーゲン	23 厚生経済学、外部費用の内部化、環境税
() W.W.レオンチェフ	24 産業革命(industrial revolution)の名づけ親、革命
() L.サロー	25 見えざる手により私悪が公益になる,国富論,ミクロ経済
() 日めくり暦、易経	26 商売はあちらも立ち,こちらも立つことを思うべし,倭約

大会記念講演

特殊鋼の技術—今とこれから

小 沢 正 俊*

Trend in development of special steels ; Current Status and Future

by Masatoshi OZAWA

1. はじめに

日本の特殊鋼は、1910年代に電気炉による商業生産が開始され、戦後、鉄鋼業の発展に伴い成長して来ました。オイルショック以降1970年代に鉄鋼の国内生産は飽和いたしますが、自動車に多く使用される特殊鋼は、自動車生産の増加に伴い1990年ごろまで増加してきました。(図1)現在では、日本の特殊鋼は、世界的に見ても大きな地位を占めております。1998年度のデータで見ますと、世界の鉄鋼生産に占める日本の割合は、鉄鋼全体で12%、普通鋼11%に対し、特殊鋼は27%と世界の特殊鋼の1/4強を占めております。これは、日本の特殊鋼の高い技術水準を示すものと考えています。本日は、「特殊鋼の今とこれから」と題して、これまでの特殊鋼開発の経緯と現在の到達点を大同特殊鋼での開発を例にとって紹介し、さらに将来展望についての若干の私見を述べたいと思います。

2. 特殊鋼の製造プロセス

特殊鋼は、スクラップと合金原料を電気炉にて溶解し、各種炉外精錬(真空脱ガスRH、取鍋精錬LF、AOD)を経て、連続铸造(湾曲型、垂直型)または鋼塊に铸造いたします。これを加熱炉、分塊圧延、製品圧延(棒、線)、熱処理の後、棒鋼、線材にいたします。これらを鍛造したり、切削してユーザーが製品に加工して使用します。具体的には、自動車のエンジン部品、トランスミッションの歯車や軸受、各種金型などに使われます。これらの各製造工程の進歩が特殊鋼の品質を支えてきました。その事例については後で述べます。

3. 材料開発の背景

材料の開発は、図2に示しますように、社会的ニーズと経済的ニーズに材料の技術的シーズが結びついた時に成り立ちます。現在のキーワードを図中に挙げてあります。社会的ニーズは、社会の将来像、これから顕在化する社会問題などに関わっております。この緊急度が高くなりますと商品として成り立つ経済的ニーズになります。社会的ニーズは、長期的ニーズ、または経済的ニーズの先行指標と捉えることも出来ると思います。

現時点では、地球規模の環境問題がその例であります。高度成長時代にも経済効果を期待した省エネ技術は開発されましたが、地球規模の温暖化抑制とは結びつかず、温室ガス排出削減を意識した材料の研究開発が行われるようになったのは、比較的近年になってからと思います。現在では、京都議定書に見られる削減目標の具体化、各種排出規制の強化により、経済的にも達成しなければならないニーズになっております。これに対応して、特殊鋼では、温室ガス削減のためのエネルギー効率の向上や排出抑制技術に寄与する高強度材料や耐熱材料の開発が行われています。

現在の特殊鋼開発の殆どが、3つのEとITに、即ち環境(Ecology)、エネルギー(Energy)、経済(Economy)と情報技術(Information Technology)に関わっております。以下の「特殊鋼の今」の紹介事例の中にも、これを見ることが出来ます。

4. 自動車用構造用鋼の今

図3に自動車技術と鋼材の動向を示します。自動車用鋼材には、1) 小型・軽量化のための高強度化、強靱化、2) 工程省略、3) CVTなどの新機構に対応した新鋼種や熱処理・表面処理技術、4) 鉛快削鋼の非鉛化などが現在

*大同特殊鋼(株)常務取締役

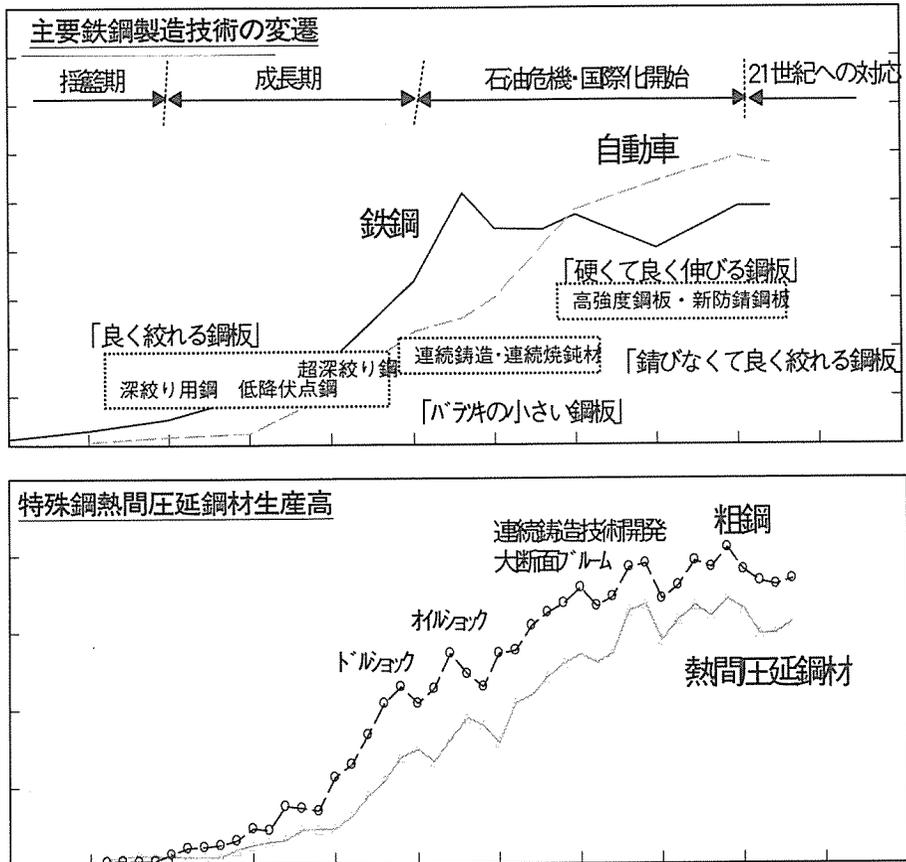


図1 特殊鋼熱間圧延鋼材の生産高と製造技術の変遷

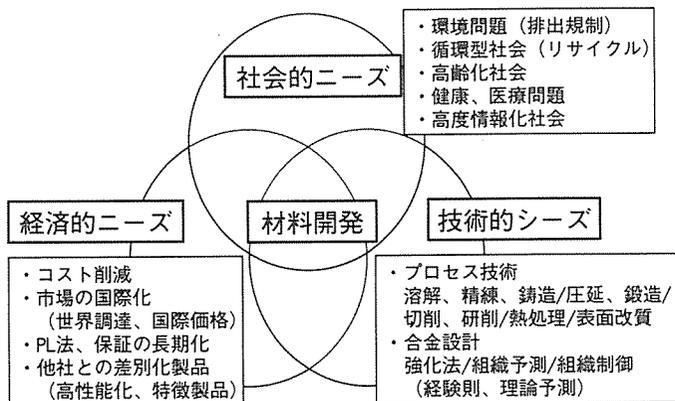


図2 材料開発の背景

求められております。これらに関係した開発は、従来からも行われております。図4に特殊鋼の製造技術の進歩と自動車部品用鋼を示しましたが、精練、鑄造、圧延技術の進歩に伴い新鋼種が開発されてきており、特殊鋼開発で製造技術の果たす役割は大であります。最近では、低温制御圧延もできるようになり、鋼材の組織制御も大幅に進歩しております。以下「自動車用構造用鋼の今」

を示す幾つかの例をご紹介します。

4.1 軽量小型化・高強度化：歯車用鋼、軸受鋼

強度を必要とする代表的な部品として、トランスミッションなどに使用される歯車や軸受があります。苛酷化する負荷に耐えるため、歯車用鋼や軸受鋼の強度は近年急速に上昇しております。

図5に浸炭歯車の高強度化の歴史を示しました。歯車

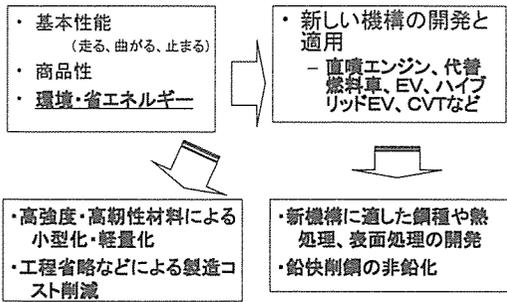


図3 自動車技術と鋼材の動向

の歯元の曲げ疲労強度は、1970年以降急速に上昇しており、専用鋼の開発、ショットピーニングの適用により現在の強度は、従来に比べ1.4倍以上の高強度になっております。将来的には、1.6倍以上を目指して、高濃度浸炭、炭化物析出浸炭などの新浸炭技術を適用した開発が進められております。

軸受鋼の転動寿命も年を追って上昇しております。(図6) これは、製鋼技術、精錬技術の進歩により、鋼中酸素量を大幅に低減できるようになり、結果として破壊の起点となる酸化物系介在物が低減されたことによります。図7に鋼中酸素量と転動寿命の関係ならびに低酸素

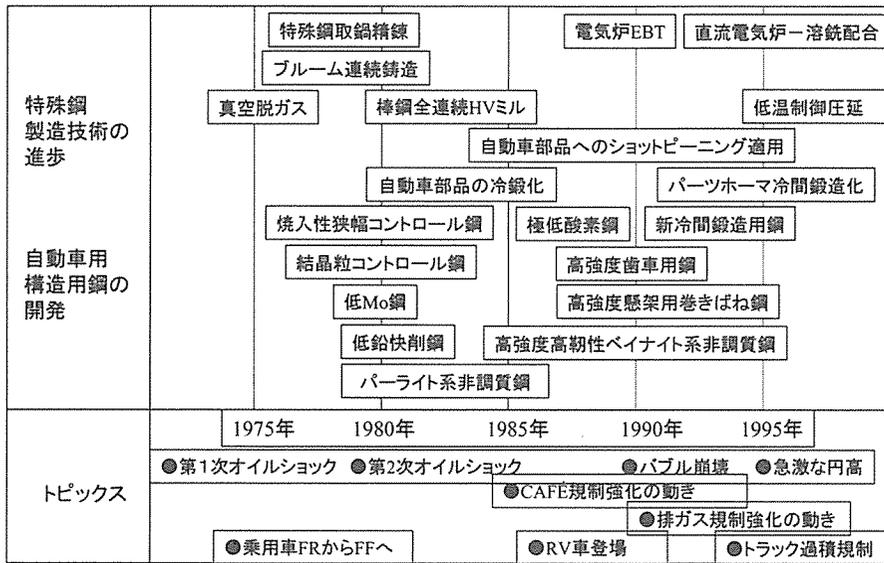


図4 特殊鋼製造技術の進歩と自動車部品用鋼

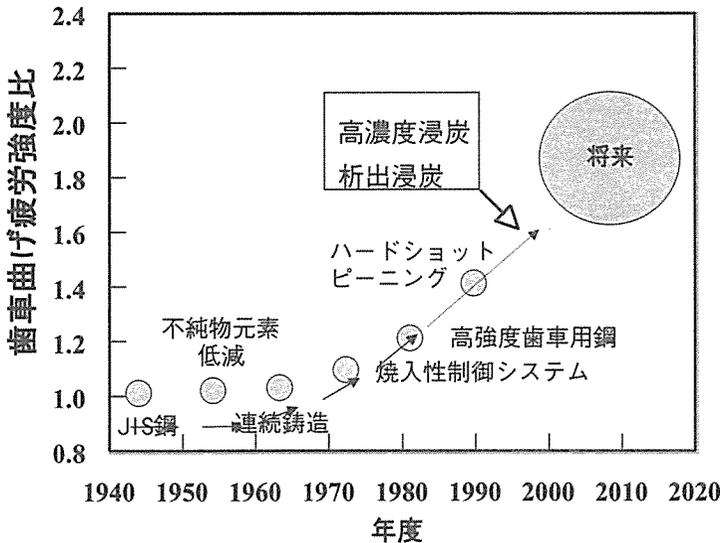


図5 浸炭歯車の高強度化の歴史

SUJ2 → 新材料(Si, Ni活用)
クリーン化の極限追求

将来

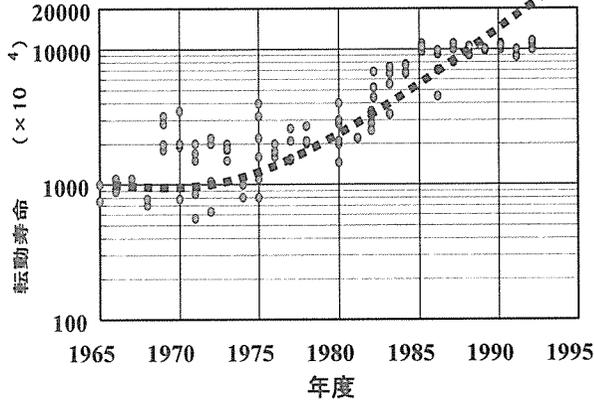


図6 軸受鋼の寿命向上の歴史

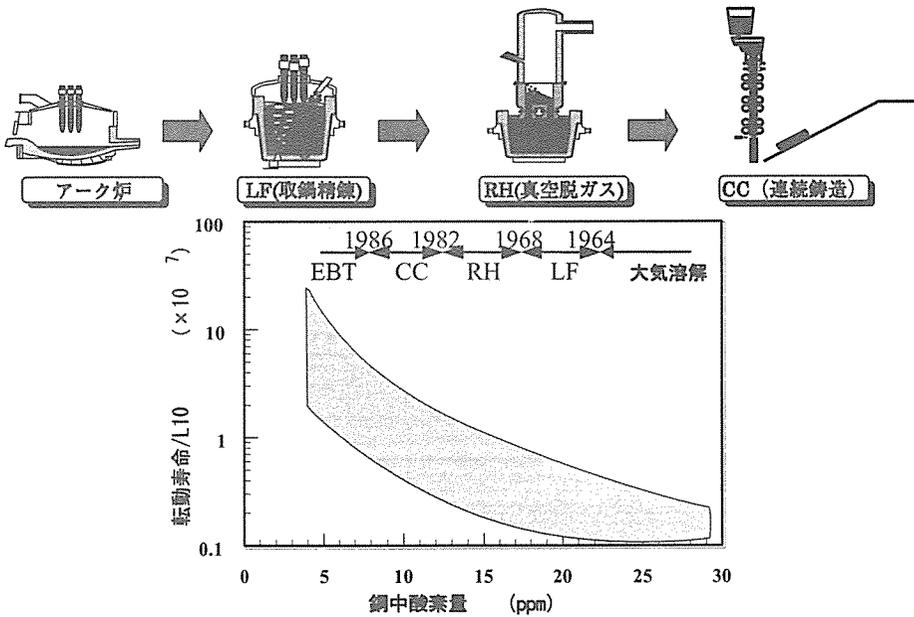
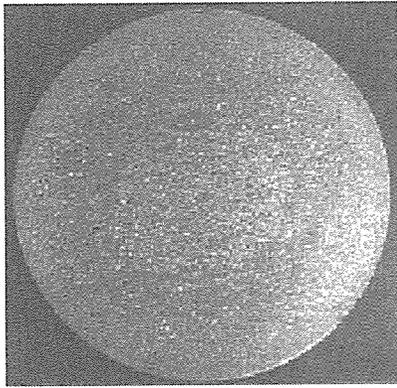


図7 軸受鋼のクリーン化（製造技術の遷移）と軸動寿命

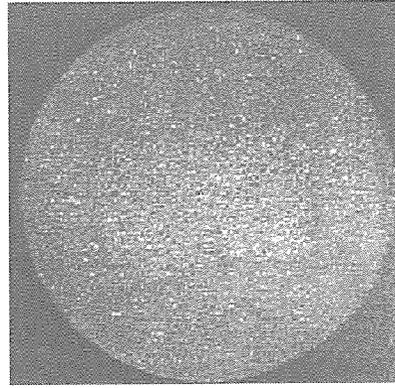
化を支える製造技術を示します。取鍋精錬 (LF), 真空脱ガス (RH) の導入が低酸素化に大きく貢献しております。現在では、酸素含有量が 5ppm レベルと極めて低い軸受鋼の製造も可能になっております。このレベルは、分析精度が問題になるくらいであります。今後は、介在物の寸法制御を含めた清浄化の極限追求と Ni や Si を活用した新鋼種の適用により更に寿命延長が図られるものと考えます。

4.2 工程省略：定歪鋼

熱処理による変形は、部品精度に関係するため仕上げ加工にとって重要な問題になります。熱処理変形は、部品の形状により、前加工時の残留歪や、冷却の不均一による熱歪や鋼材の相変態などが原因になって生じます。特に鋼材の相変態による変形は、熱処理を行う限り避けられませんが、軸対象の部品形状ならば鋼塊の鑄造形状を軸対象にすることで、円周の各部位ではほぼ変形を一定



Steel A (丸鑄型)



Steel B (矩形鑄型)

図8 連続鑄造鑄型によるマクロパターンの違い

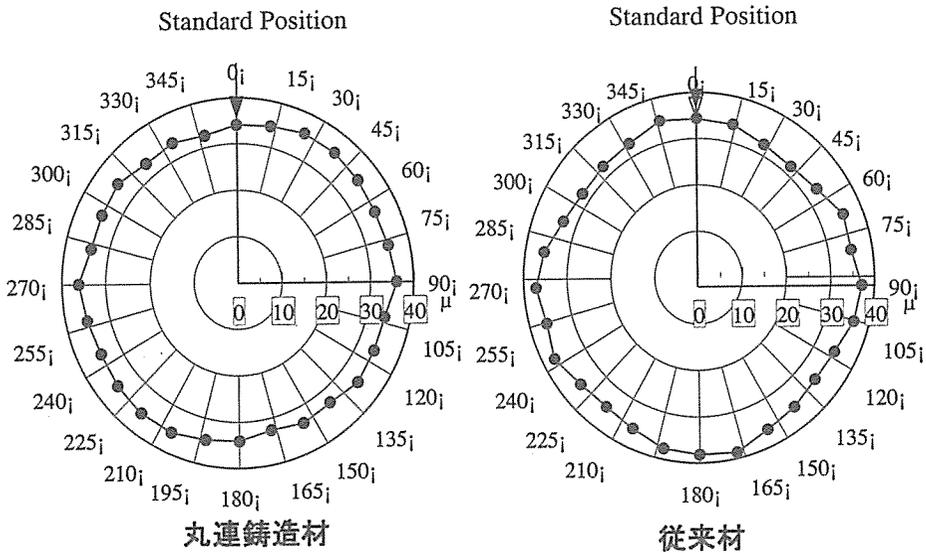


図9 齒車試験片の熱処理変形

にすることができます。熱処理変形が一定ならば、その量を事前に見込んで仕上げ加工代を最小にしたり、加工を省略することが可能になります。図8は、連続鑄造の鑄型形状によるマクロパターンの違いを示します。図9は、この軸対象の丸形状鑄片を用いて製造した齒車の熱処理変形を測定した結果ですが、従来の各形状に比べ、円周方向の各部位での変形が均一化し、ほぼ一定となっております。このような鋼材を定歪鋼と呼んで、部品加工のニーズにより、適用しております。

5. 情報技術向け材料の今

ここ数年、ハードデスクドライブ HDD の高性能化と低廉化は著しいものがあります。HDD の技術動向を図10に示します。高容量化のための高精度化、低コスト

- 1. 高容量化 → 高精度化
 記憶密度 : 1.6G/in²(1997) → 20.0 G/in²(2000)
 ヘッドフライングハイト : 0.02~0.04 μm
 cf. たばこの煙 5 μm
 髪の毛 50 μm
- 低コスト化 → 高生産性
 \$1000 パソコン、\$80 HDD
- 小型化
 1in マイクロドライブ

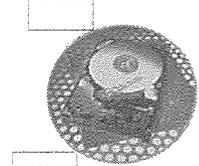


図10 HDD用のステンレス鋼の技術動向

化、小型化が動向です。HDDには、多くのステンレス鋼が使用されていますが、特にメディアを回転させるス

ピンドルモータのハブにステンレス鋼が使われており、この部品だけで500トン/月も使用されています。速い技術進歩とモデルチェンジのためハブは切削加工で製造されますが、高精度化と切削加工コスト低減のため快削ステンレス鋼が使用されます。

このステンレス鋼には、図11に示すような特性が要求されますが、その中には耐アウトガス性というHDD特有のものがあります。これは、湿潤環境下で銅配線などを硫化腐食させる硫黄を含有するガスの放出性です。硫化腐食が起こりますと記憶されている情報が損傷、消失する重大な損害を与えます。従来は硫黄含有量の多い金属以外の物質が問題でしたが対策が進み、高精度化と共に含有量の少ない快削ステンレス鋼も問題になりました。快削ステンレス鋼では、硫化物MnSが溶出してガスを発生します。そのためHDD用快削ステンレス鋼では、熱間加工性は悪くなりますが、Mn/Sの値を小さくしてMnの一部をCrに置換し溶出ししないように安定化しております。そのような配慮をして開発

1. 被削性 … 生産性、高精度対応
2. 耐食性 … コンタミネーション防止
3. 耐アウトガス性 … コンタミネーション防止

< アウトガス >

被削性向上のために使用される硫黄化合物(MnS)が、使用中に湿分などにより化学反応おこし硫化ガスを発生すること。
この硫化ガスにより、ヘッド、ディスクが破損する。

図11 HDD用ステンレス鋼の要求特性

されたのがDHS1という鋼種です。成分を表1に示してあります。密閉湿潤環境下で銀箔と試験片を同装して試験した時の結果を図12に示します。アウトガスが生じるSUS430Fの場合には銀箔が硫化して黒くなりますが、DHS1の場合には若干変色する程度です。被削性と耐食性も従来材同等以上の性能が得られております。

6. 環境対応の新しいニーズ：快削鋼の非鉛化

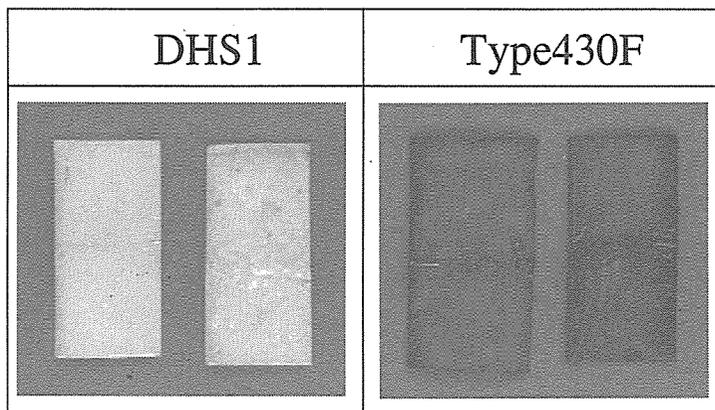
快削鋼には、ドリル性などの被削性を改善する目的や耐食性をあまり劣化させない快削元素として、鉛が添加されることがしばしばあります。現在の快削鋼に添加されている鉛量は、規制を受けるレベルでなく少量ですが、環境問題に対する意識の高まりから使用を制限する動きにあります。これを受けて、非鉛快削鋼の開発が進められおり、これから普及していくところであります。鉛を使わずに優れた被削性を付与するために、2つの手法で鋼種開発が行われております。一つは、従来快削鋼に用いられていなかったTiの炭硫化物の微細分散を利用する方法あり、もう一つは、オキサイドメタラジーを活用してMnSの形態と組成を制御する方法であります。以下に、その開発事例を紹介いたします。

表1 HDD用アウトガス対策フェライト系ステンレス鋼 DHS1の化学成分 (wt%)

	C	Si	Mn	S	Cr	Pb	Te	Mn/S
DHS1	0.02	0.3	0.35	0.28	19	0.16	0.03	1.25
SUS430F	0.05	0.3	0.9	0.30	16	-	-	3.0

* SUS430F: ハブ、スリーブなどに広く用いられてきた鋼種

Ag foils after outgas test



specimens : w/o passivation, # 400 finish

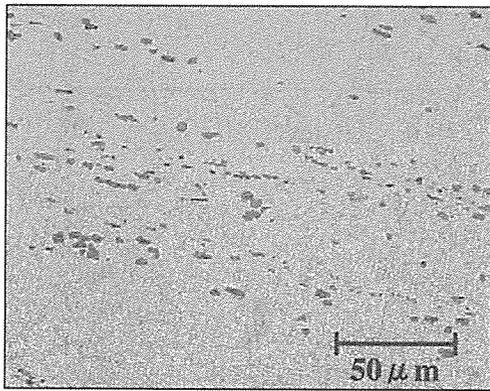
図12 DHS1のアウトガス特性

6.1 Ti 炭硫化物快削ステンレス鋼

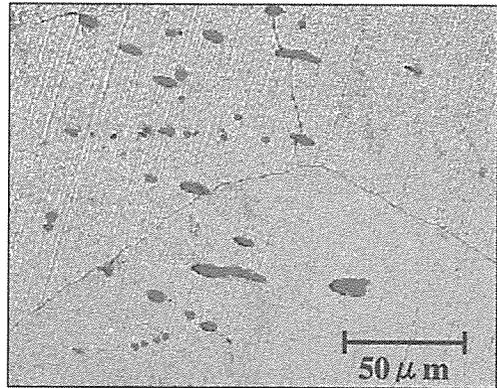
Ti 炭硫化物 ($Ti_4C_2S_2$) は、その存在は知られておりましたが、結晶粒の微細化に検討された程度で、積極的に被削性付与に活用されておりました。被削性の付与には、介在物が量的にある程度必要で、そのためには Ti を %オーダーで添加する必要があるため敬遠されたのか知れません。図 13 に、SUS430 系 (16%Cr) の Ti 炭硫化物快削鋼 (以下 TICS と呼びます) のマイクロ組織を示します。従来の SUS430F の MnS に比べて、TICS 鋼の Ti 炭硫化物が微細に分散していることが判

表 2 Fe-16 mass% Cr ベース TICS 鋼の特性

	TICS	SUS430F	SUS430
快削元素	Ti炭硫化物 (微細)	MnS (30-50 μm)	-
旋削性	○	○	×
表面仕上げ粗さ	○	×	○
ドリル穿孔性	(○)	○	×
耐食性	○	×	○

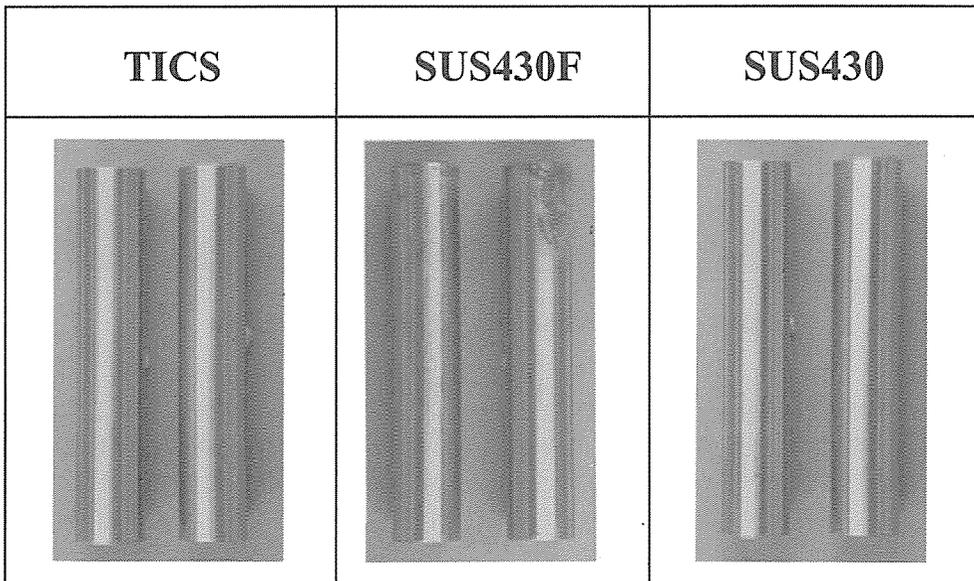


TICS ($Ti_4C_2S_2$)
<Ti 炭硫化物>



SUS430F (Fe-16Cr-0.2S)
<MnS>

図 13 Ti 炭硫化物快削ステンレス鋼のマイクロ組織



35°C, 5% NaCl, 96h

図 14 塩水噴霧試験結果

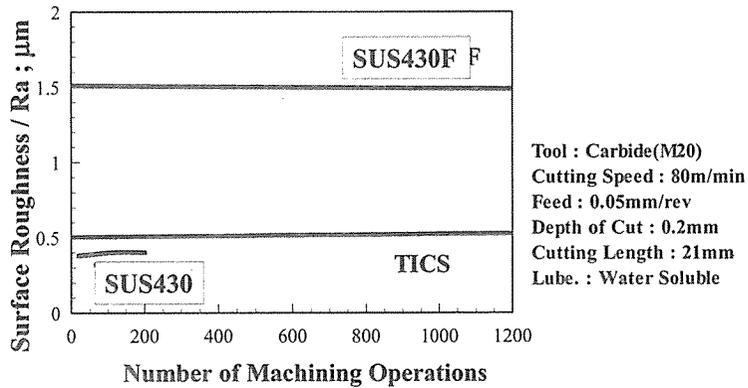


図15 切削表面の仕上げ粗さ

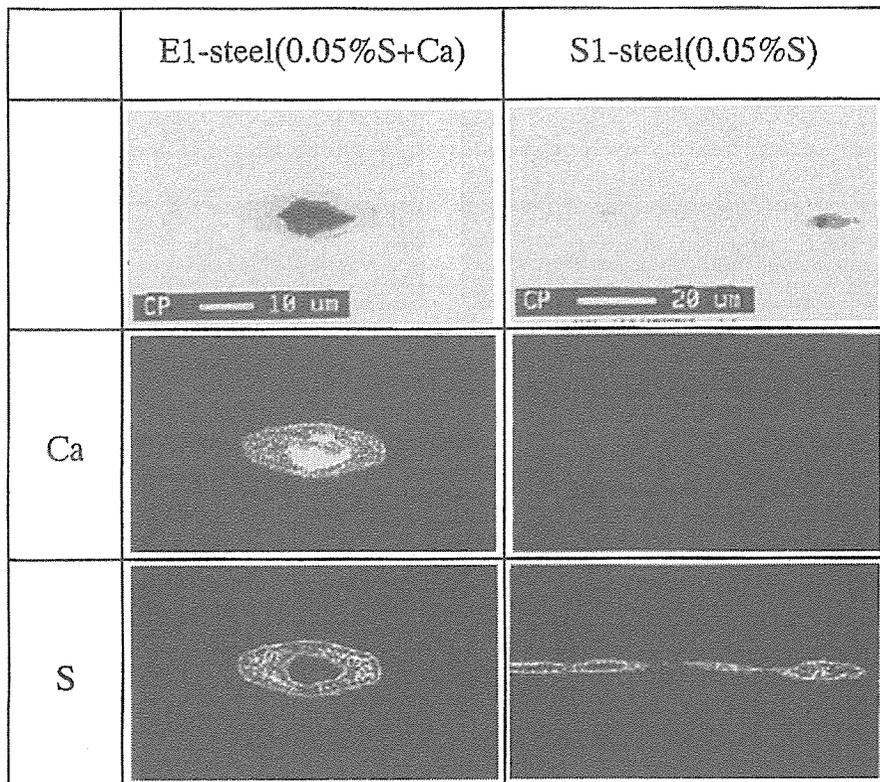


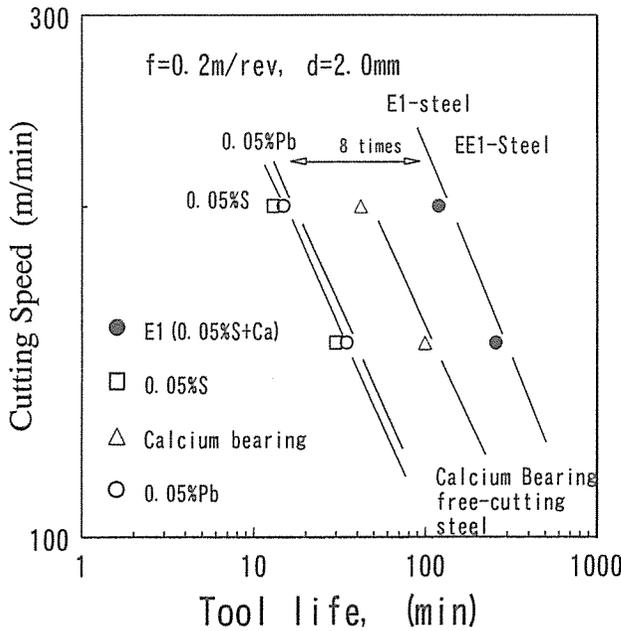
図16 硫化物形態制御型Ca快削鋼の二重構造硫化物

ります。これらの被削性と耐食性を評価し、表2にまとめました。Tiの炭硫化物は、化学的に安定なため耐食性を害することが無いので、ステンレス鋼の快削化に適します(図14)。また、微細に分散させることができますので、精密切削にも適しております(図15)。

6.2 硫化物形態制御構造用鋼

構造用鋼では、従来のMnSの形態を制御して被削性を向上させ、含鉛快削鋼を代替する開発が進められてい

る。図16のEPMA分析結果に示すように、酸化物を核にMnとCaの複合硫化物が外側に形成した二重構造介在物を特徴とする快削鋼が開発されております。現実の鋼ではすべての硫化物が二重構造介在物になるわけではなく、通常のMnSと共存しています。介在物中に含まれるCaが、工具表面で保護皮膜を形成し、潤滑の役目も果たして、工具寿命を改善します。図17に、新快削鋼(図中ではE1鋼)の優れた被削性と工具表面に観察



S45C系 焼ならし

	E1-steel(0.05%S+Ca)	S1-steel(0.05%S)
Ca		
S		

図 17 旋削加工性

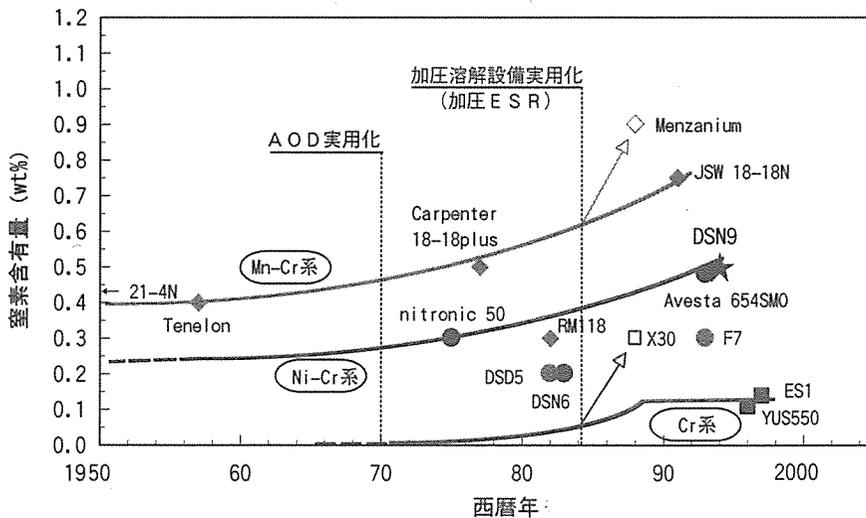


図 18 高窒素ステンレス鋼の窒素添加レベルの推移

される Ca 化合物の保護皮膜を示しました。

7. ステンレス鋼における新しいシーズ：超高窒素鋼

ステンレス鋼において、窒素は強度と耐食性を上昇させることから、従来よりオーステナイト系を中心に窒素の活用が図られ、色々な鋼種が開発されてきました。最近では更に積極的に活用することが学会等でも検討され、高窒素鋼の国際会議がたびたび開催されています。

図 18 に含窒素ステンレス鋼の窒素量の推移を示しま

した。高 Mn 系では古くから窒素を多量添加した鋼種が開発されておりますが、Ni-Cr 系では最近になって高窒素化が行われ、大気溶解で 0.5%N の鋼種が開発されるようになりました。Cr 系のマルテンサイト系では、大気中で窒素を添加することが難しく開発が進みませんでした。近年、高窒素化のため加圧溶解製造法が出現し、欧州において加圧 ESR として実用化され、マルテンサイト系での窒素添加が可能となりました。日本でもまだ実験室レベルですが加圧製造材の開発が進められ

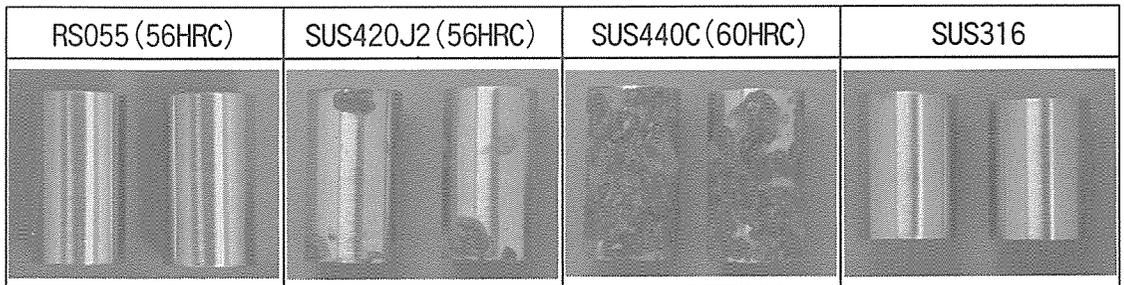
ています。

大同特殊鋼でも、加圧鋳造溶解を用いて、これまでの材料屋の「夢」であった、特長ある鋼種を目標に開発を進めています。耐食性を害するCを低減した低Cマルテンサイト系ステンレス鋼に加圧溶解鋳造で窒素を多量添加し、SUS440Cの硬さ(58HRC)とSUS316以上の耐食性を有する鋼種の開発です。加圧誘導炉実験設備の圧力制約(最大9気圧)で目標には未達ですが、目標に近い特性が得られておりますのでシーズとして紹介します。開発された鋼種は、RS055(0.02%C-18%Cr-1%Mo-0.5%N)であり、1) 溶湯中での窒素量の確保、2) 凝固時の窒素ブローの抑制、3) Mf点上昇による残留オーステナイト抑制を考慮して成分設計してあります。図19に塩水噴霧試験結果と硬さを示しますが、得られた特性は、56HRCの硬さでSUS316を上回る耐食性を有しております。これを位置付けると図20のようになります。将来、加圧力を上昇させ、それに見合った成分にすれば、目標は十分達成できると考えています。

8. 将来展望

特殊鋼の将来は、これまで紹介したような材料技術に加工技術を最適に組合せ、製品のベストな品質とコストを達成する方向になると思われま(図21)。塑性加工との組合せで考えると、材料特性のデータベースと変形シミュレーションが一体となって、材料の組織を予測・制御し、一方で変形荷重や金型寿命など工程を最適化できるようにになります。材料の持っているポテンシャルを最大限に引出すことが低コストでできるようになります。最終的には、製品から逆に部品加工工程、素材加工と熱処理、材質の最適化ができるようになれば理想と考えます。塑性加工シミュレーションを活用した素材の組織制御は、一部で実用化され始めています。例えば図22は超合金を鍛造する時の例ですが、鍛造ステップ毎に各部位の温度と結晶粒径が時系列で計算できます。どのような工程が、結晶粒を微細化するのに適しているかなど実際に鍛造しなくても検討することができ、素材の

RS055の塩水噴霧試験結果



35°C X96H, 5%NaCl 水溶液

図19 加圧溶解鋳造高硬度ステンレス鋼の耐食性

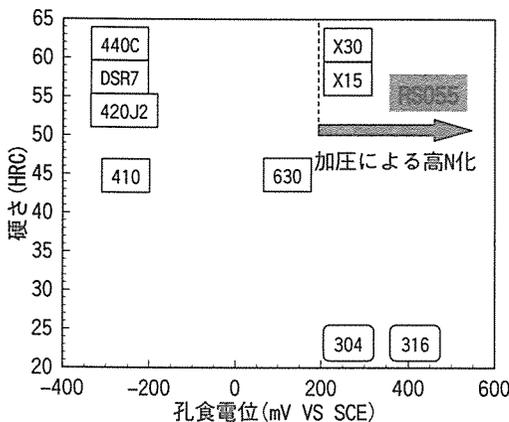


図20 加圧溶解鋳造高硬度ステンレス鋼の特性

将来展望

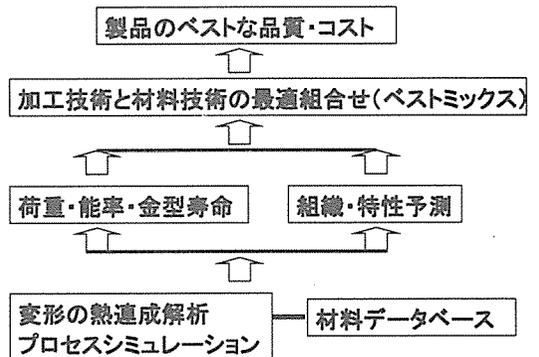


図21 将来展望

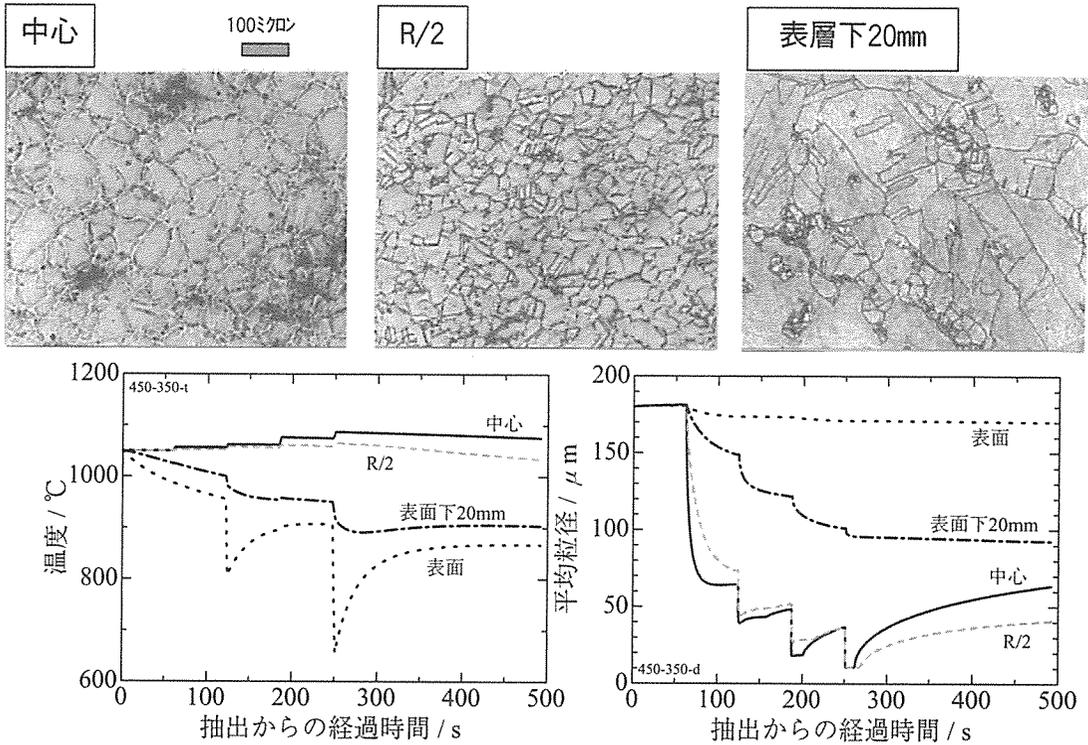


図 22 超合金の鍛造過程の組織シミュレーション

作り込みが可能です。このような技術を製品まで適用すれば、環境負荷が小さく、高品質・低コストな製品の開発につながるものと考えています。

9. ま と め

特殊鋼は、コストパフォーマンスの高い構造用材料として産業を支えてきました。特に自動車産業の発展に大きく寄与してきました。現在も今日的課題である3E(環境, エネルギー, 経済性)とIT(情報技術)に対応しており、将来的にも大きく貢献できるポテンシャルを有すると共に将来に向けた材料開発を活発に進めていると考えます。

10. お わ り に

最後に、特殊鋼の開発、研究を担う人材について私なりに考えるところを述べたいと思います。

特殊鋼の「明日を拓く」ためには、若手技術者、研究者の育成が急務と考えます。育成のためには、日本人の脆さを克服する開眼への転機を与える必要があると考えます。日本人的思考の脆さとは、見方が一元的、受け身、真剣勝負をしない、あいまい(阿吽の呼吸)など色々識者に指摘されていると思います。「特殊鋼のこれから」を託す若手技術者の思考を戦略的思考に革新するためには、現状否定と原点回帰、限界への挑戦を常に意識し、志向させることが重要と考えております。

大会記念講演

火薬産業の趨勢
—自動車用安全部品への火薬類の応用—

北 尾 盛 功*

The Trend of Industrial Explosives
—Application of Pyrotechnics to Automotive Safety Devices—

by Shigetaka KITAO

1. はじめに

ただいま、ご紹介いただきました日本化薬の北尾でございます。今年4月、花崎先生より6月の水曜会大会で何か話をしてくれないかとのご相談がありました。日頃はもとより、卒業以来先生には大変お世話になっていることでもあり、またつい最近では、昭和39年頃の水曜会誌のバックナンバーのコピーをお願いしたりもしており、お役に立てるのならとお引き受けした次第です。ところが、どのようなお話をすればよいのか、何がお話できるのか、考えてみるとこれは大変な事をお引き受けしたと反省いたしました。先生ともご相談して、首記題名で、火薬類を利用した自動車用安全部品であるインフレーター等について、主に話させてもらうことを条件に、清水の舞台から飛び降りることにしました。面白くない話になると思いますが、しばらくお時間をいただきます。

2. 火薬業界への貢献

私は、昭和37年に当時の伊藤研究室でお世話いただくことになりました。昭和41年修士課程終了まで、学部2年修士2年の計4年間を当教室において御指導いただくという幸運に恵まれました。その頃の研究室には、伊藤先生を中心に若園先生、寺田先生、佐々先生、花崎先生がおられました。伊藤先生、佐々先生および花崎先生は、動的応力が物質とくに岩石や金属に作用する場合の応力解析に関する研究をされていました。また寺

田先生は動的応力に対する岩石強度に関する研究や硝安油剤爆薬（ANFO爆薬）の流動装薬時における静電気発生メカニズムなどの研究をしておられました。若園先生は、電気雷管に使用される延時薬や起爆薬の爆発・燃焼特性に関する研究やANFO爆薬の爆発速度の測定、無煙火薬の密閉容内燃焼に伴う圧力測定なども行っておられました。また余談ながら、当研究室では、バクテリアリーチングという面白い研究もされておりました。これは、溶液中の単体硫黄(S)を酸化して強力な産生溶液をつくり出すことで繁殖する鉄バクテリア（フェロバチルス・フェロオキシダンス）を利用するものです。たとえば、黄銅鉱粉末をこのバクテリアの入った溶液中に硫黄粉末と一緒に混合させて、振動機にかけておくと、銅イオンが溶出(leaching)してくるというものです。この研究は、今後あらためて脚光を浴びるのではないかと思います。話を元に戻します。

とにかく、動的応力解析の研究成果はいまなお世界における発破理論として高く評価されています。発破理論の構築や火薬類の反応に関する当研究室の研究結果が、その後の産業火薬の業界に大きく貢献しています。

また、当研究室を卒業された方々は、現在なお指導的立場で御活躍されていますことを、ここで御報告させていただきます。

3. 産業火薬類の趨勢

第2次世界大戦終了後の昭和20年代(1945~1955)においては、国内産業の再編・強化のために、基幹となるべきエネルギー資源としての石炭の増産や国内鉱業資源

*日本化薬株式会社

の開発が叫ばれました。当然のことながら、石炭鉱山 (coal・mine)、金属鉱山 (metal・mine) とともに活況を呈しておりました。これらの鉱山の開発には火薬類が不可欠であり、火薬業界も増産に追われるという状況でありました。

しかし、昭和30年代に入って、エネルギー源の石炭から石油への転換によって、また国内炭が外国炭に比べて競争力を失うなどの理由によって、石炭鉱山は逐次閉山のやむなきに至りました。金属鉱山についても、外国からの安価な原鉱石や金属材料の輸入によって、次第に競争力を失い閉山に追い込まれていきました。

昭和40年代には、ごく少数の石炭鉱山や金属鉱山のみが存続するという状況となりました。したがって、火薬類の需要量は減少し、その向先の大半は土木建設工事あるいは石灰石鉱山ということになりました。この状況は火薬業界にとっても深刻な合理化を強いることになりました。

軍用途以外の民生用としての火薬類を産業火薬と呼んでいます。昭和40年(1965)以降の産業火薬類の年間使用量の推移を表1に示します。

トンネル掘削やダムサイトの爆破などに使用される爆薬は、昭和50年代(1975~1985)で約6万トンです。平成7年(1995)の6.2万トンをピークに、最近では6万トン前後で推移しており、それ程減少しない状況です。ただ、この30年の間に、爆薬の種類が大きく変化したことを述べなければなりません。従来のニトログリセリンなどを主成分としていたダイナマイトから安価な硝安油剤爆薬 (ANFO)、あるいは爆発威力を落さずに取扱上の安全性が格段に向上した硝安・油・水系のエマルジョン爆薬に転換が行われてきたということです。今後ともこの傾向は変わらないものと思われます。

一方電気雷管を中心とする雷管類の使用料はこの30年から40年の間に激減しました。それは、雷管を多数必要とする坑道掘削などのトンネル発破が減ったことによります。

表1の右端に、雷管1本当たり爆薬の使用料(kg/本)が

表1 産業火薬類の年間使用量推移

暦年	爆薬 (TON)	雷管 (万本)	爆薬量/雷管数 (Kg/本)
1965	40000	15000	0.27
1975	60000	8000	0.75
1985	60000	5000	1.20
1995	62000	2000	3.10
2000	58000	1500	3.87

ありますが、1965年の0.27kg/本から2000年には3.87kg/本と激増しております。発破方法の進歩により、一発破当りの掘削量が大幅に向上し、より効率的な発破が実施されるようになったことが判ります。今後とも、火薬類の使用量は漸次減少していくものと推定されます。

このような、発破を中心とする産業火薬類の使用料が年々減少する傾向の中で、関係企業は合理化に努力してきたわけではありますが、同時に火薬類の新規分野への応用・開発にも注力してきました。ロケットの補助推進薬や爆薬の力で二枚の異種金属を衝突させることによってクラッド板を製造するという爆発クラッドの技術などがあります。また、自動車の衝突事故における乗員保護装置への応用についても研究・開発がなされてきました。私自身も、ここ15年程その方面の仕事に携わって参りました関係上、本日はとくに、火薬類の自動車安全部品への応用に係わる歴史的経緯と現状についてお話させていただきます。

4. 自動車乗員保護装置への火薬類の応用

4.1 乗員保護装置

現在皆さんが乗っておられる乗用車には、シートベルトと運転席用のエアバッグ(ステアリングに内蔵されている)が装備されています。さらに助手席用のエアバッグ、側突用のサイドエアバッグあるいはカーテン用のエアバッグなどが装備されているものもあるでしょう。

これら装置のいずれにも火薬類(火工品と呼んでいます)が使用されています。衝突・事故の衝撃で乗員が移動・突出することをくい止め傷害を防止する必要があります。そのために、乗員を固定したり体の弱い部分、例えば頭部、顔面、胸部そして首などを保護する装置が必要です。シートベルトやエアバッグはそのために不可欠です。しかも装置はスピーディに作動しなければなりませんし、衝突信号を受けてから数ms以内という速さで作動が開始されなければ意味がありません。固体から気体への燃焼反応速度が大きい、いい換えればエネルギーの開放速度が大きい火薬類の応用が極めて有効であるということになります。

4.2 研究・開発の歴史的経緯と現況

1950年から1965年の間、主として米国のジェネラルモータズ、フォード、ドイツのベンツなどが研究を開始しました。ちなみに日本の火薬メーカーでもエアバッグ用のインフレーターの研究を、1964年頃に一部開始しましたが、数年で下火となりました。乗員保護装置の設計に当たって必要でかつ基本となるべき衝突のモードと乗員の傷害部位および傷害値(傷害の程度を示す数値)との関係が明らかでなかったからです。この事情はどこでも同じでした。その後これらの関係が、自動車王国と言わ

れる米国において、膨大な実験データから次第に明らかになってきました。

1966年には、米国で自動車安全法が制定され受動拘束装置搭載の方向性が打出されました。衝突事故が発生すれば、自動的に乗員を拘束する装置を作動させるためのシステムの開発が加速されたわけです。

その後、1985年には、有名な米国連邦自動車安全基準いわゆる FMVSS208 号が発効し、受動式拘束装置の搭載が義務付けられました。特に米国では、自動車の普及率が高く、事故による保険料の支払額も増加したため、保険業界が搭載の義務化を強く望んだという事情があります。この 208 号を機に、世界的に搭載の気運が高まってまいりました。日本では、搭載の法的義務付けはありませんが、米国向輸出車には搭載が不可欠であることも手伝って、自動車メーカーが自ら搭載計画を作成し実施に移していきました。乗員保護という安全性が売物になるという方向が採られたとも言えます。

1987年には、エアバッグを搭載した車が、日本でも売出されるようになり、年毎に普及率は伸び続けました。現在、乗用車（新車）には、運転席用のエアバッグは、ほぼ 100%搭載されている状況です。また、1996年頃からベルトテンショナー付シートベルトの採用が始まり、今や世界的に見ても、急速に普及しつつある状況です。これも、火薬の力を利用したもので、衝突時にシートベルトを自動的に締める装置（マイクロガスジェネレータという火工品を組込んだもの）を付与したものです。詳しくは後でも御説明します。

4.3 自動車の衝突速度と傷害の程度との関係

傷害部位について、とくに注意が払われなければならないのは、頭部、顔面、胸部および首部であります。最近では、ドライバーがハンドルの下部に滑り込んだために、膝部に重傷を受けるというケースも多いようです。その対策も重要なテーマとなっております。

ここでは、時間の関係もありますので、頭部と胸部に関しての話を致します。

頭部に作用する加害力と傷害の程度との関係を評価するために、HIC 値（Head Injury Criteria）が定義されています。

HIC 値 = $\left[(t_2 - t_1) \left\{ \int_{t_1}^{t_2} a(t) dt / (t_2 - t_1) \right\}^{2.5} \right]$ で与えられます。

t_1 は加速度の作用開始時刻、 t_2 は加速度がほぼ元の 0 に戻る時刻、 $a(t)$ は時間 (t) の関数としての加速度です。HIC 値は、頭部傷害の程度との関係を見る上で、今のところ有用な数値であると言われております。頭部生存限界は、HIC 値 < 1000 であると言われております。500~550 程度の場合には、脳内出血などが認められるようです。また加速度の持続時間が 10 ms 程度の場合には、その

大きさが 60 G 以下にすることが望ましいとも言われています。

次に、実際に車が衝突した場合に、ドライバーの頭部に作用する加速度波形の一例を図 1 に示します。速度が 50 km/h の正面衝突において、一般平均男性の頭部に生ずる加速度・時間曲線です。横軸は時間 (ms)、縦軸は加速度 (G) です。衝突開始時刻を時間 0 としてあります。この加速度波形は、おおむね sin カーブで近似できます。HIC 値は約 150 ということになっています。正面衝突であるか、側面衝突であるかという衝突モードの違いや車種の違い、あるいは乗員の衝突時の姿勢や拘束の仕方の違いなどによって、波形は矩形になったり台形になったりもします。したがって波形の違いによって HIC 値も違って参ります。これらの諸問題については、今後さらに解決されていくものと期待するものでありますが、かなり複雑で難解であることも事実です。

次に胸部について説明します。図 2 は、衝突によって胸部に生ずる動的荷重と胸部の変位によって、傷害の程度がどのようになるかを示した一例です。横軸は胸部の変位 (in)、縦軸は動的荷重の最大値 (lb) を示しています。それらの組み合わせによって生ずる傷害の程度の領域を明示しています。上部が危険領域、中の斜線部が

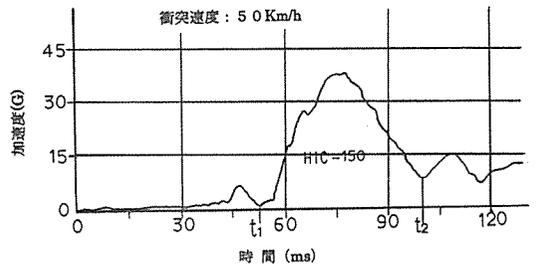


図 1 頭部に生ずる加速度時間曲線

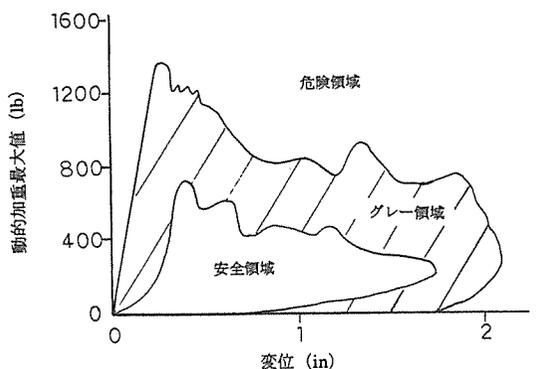


図 2 胸部傷害の程度

グレー領域，下部が安全領域です。

500 lb-3 in が，肋骨骨折の限界であり，胸部生存限界は 60 G-3 ms (60 G 以上の加速度が 3 ms 間作用する) 程度であると報告されています。

4.4 シートベルトとエアバッグによる拘束システムの概要

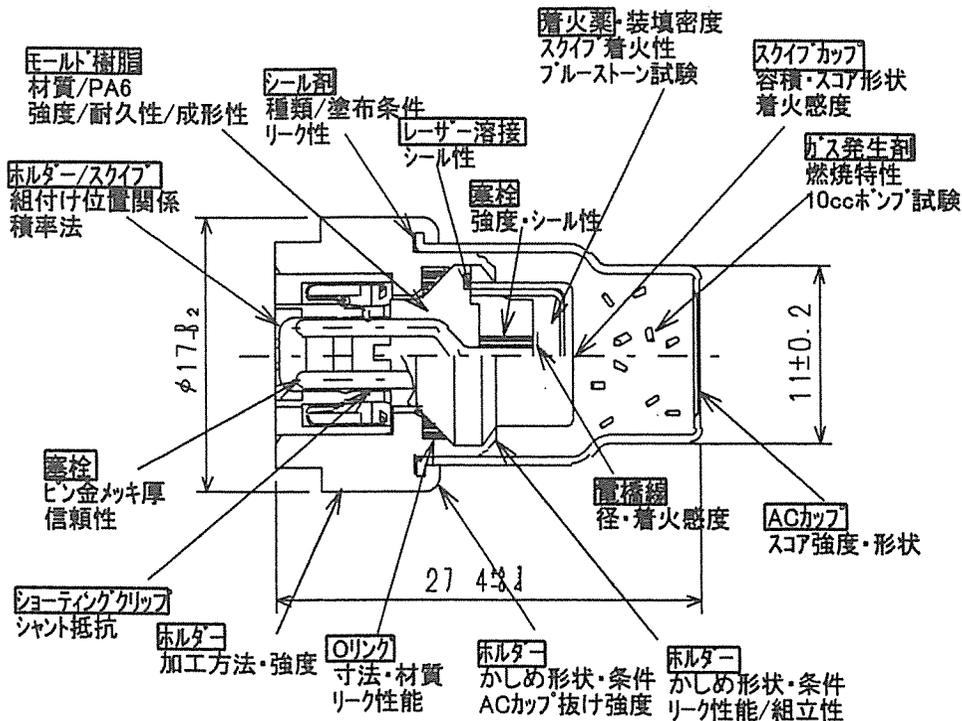
先に述べましたように，傷害を防止・軽減するためのシステムの中心を成すものは，各種のシートベルトとエアバッグであります。そしてこの両者を併用したシステムが最も効果的であると認識されるようになりました。システムの目的は，乗員の移動量を減少させて，車内での二次衝突を軽減させ身体への負荷を極小にすることにあります。しかも，不自然は乗員姿勢に対しても効果的であることが要求されます。シートベルトによる脱出時の妨害を無くす工夫や非衝突時のエアバッグの誤展開などのシステム自身の不具合による派生的傷害の防止策を講ずる必要があります。そして，何よりもこのシステムには経時による性能劣化などが生じないという高い信頼性が求められます。

シートベルトには，衝突に伴うベルトの繰出し量の増加を阻止するためのロック機構が不可欠です。また，お

ぎなりのシートベルトの着用では効果は激減します。最近では，それを解決するために，衝突を感知した後，火薬を燃焼させ，その燃焼圧力でピストンなどを駆動させて，ベルトを積極的に引き込む方法が採用されるようになりました。プリテンショナーと言われますが，その効果は大であります。これに使用される火工品は，MGG (Micro Gas Generator) と言われています。構造の一例は，図3に示す通りです。信号によって点火するスクイブと引込力の源となる発ガス剤などで構成されています。

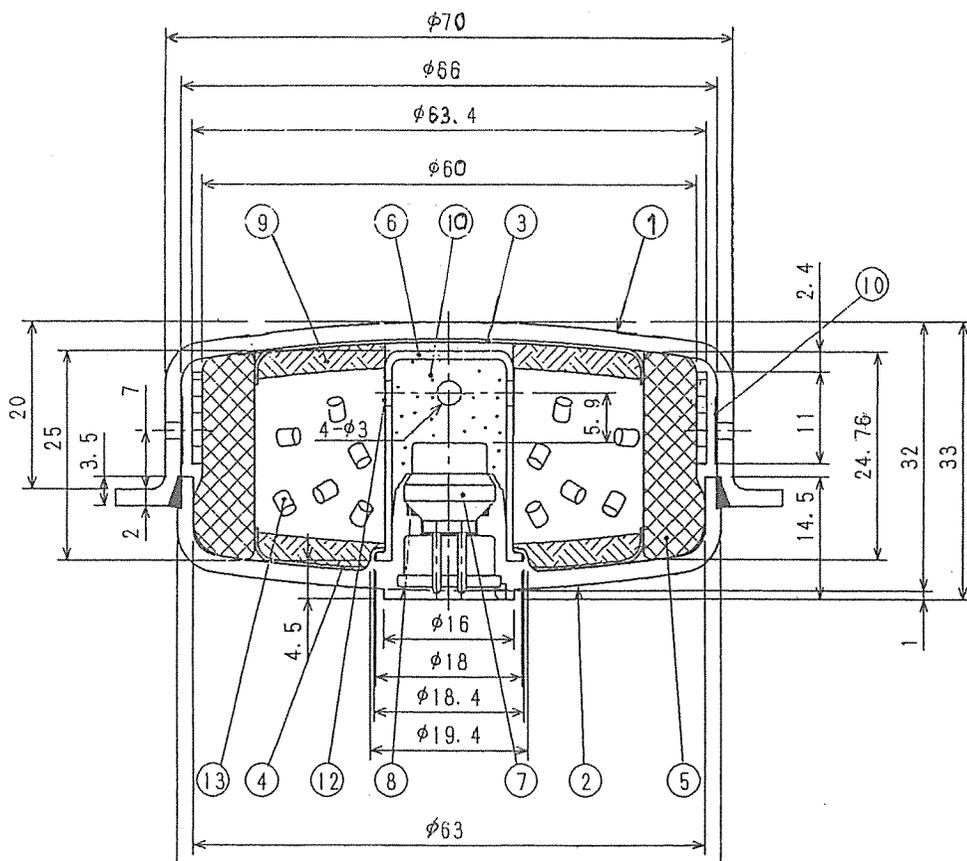
エアバッグは，シートベルトの効果が及ばないところを補完し，衝撃を軽減・緩和するための補助拘束装置で SRS (Supplemental Restrain System) の主要素となっています。

図4に，運転席用でシングル点火タイプのインフレーター (ガス発生器) の構造の一例を示します。最近では，デュアル点火タイプのももあります。これは，衝突の大きさによって，発生ガス量を調整するもので，より傷害の防止を効果的にすることができます。今後，米国を中心に普及するものと考えられます。原理的にはシングルタイプのもを2個使用したものと同じです。図4



寸法の単位：mm

図3 MGGの構造 (一例)



寸法単位：mm

部品 1, 2 : 容器、部品 7 : スクイブ (点火具)、部品 10 : エンハンサ、
部品 13 : 発ガス剤、部品 5 : フィルタ、部品 10 : ガス出口シール材

図4 運転席シングル点火用インフレーター

からも判るとおり、スクイブ (点火具)、エンハンサ (発ガス剤を点火するもの) および発ガス剤の三要素が、ハウジング (容器) 内に収容されています。点火のための電気信号がスクイブに入りますと、スクイブからエンハンサへ、そして発ガス剤へと伝火されていきます。多量のガスがガス出口よりバッグに供給されますので、バッグが膨らんでいきます。衝突信号を受けてから約 10 ms までにパッドカバーが破れてバッグの展開が始まります。25~50 ms までにフルバックとなり、80~100 ms 後にはドライバーの視界が回復するまでに収縮します。バッグ展開の様子は、次の高速度写真のとおりです。

フルバックになる前に、顔面が膨らみつつあるバッグに突入することが大切であります。フルバック後に突入すると頭部・首部に大きな傷害を受けることとなります。突入のタイミングを確保するために、極めて高い精度の時間的制御を必要とします。ただ膨らめばよいとい

うものではありません。

5. おわりに

以上エアバックシステムの概要とその構成部品の一部である MGG やインフレーターについて申し述べて参りました。雑駁な御説明で、誠に申しわけありませんでした。最後に、では一体、実車 (乗用車) における衝突事故例からはどんなことが判っているのか、本当にエアバッグの効果はあるのかということについて、最近のデータから代表的なものを選んで申し述べたいと思います。

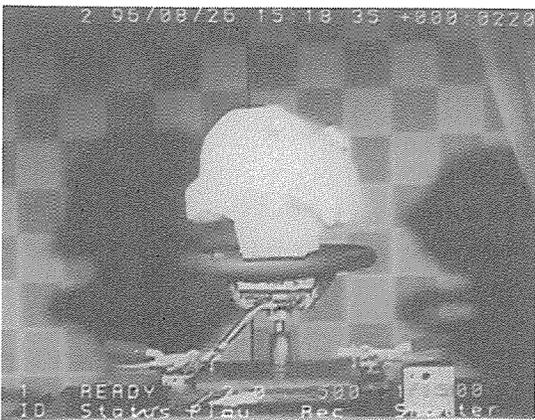
図5に、実車における事故時の衝突速度と傷害レベルとの関係を示しました。横軸は、衝突前後の速度差 (km/h) で、縦軸は MAIS 傷害レベル (Maximum Abbreviated Injury Scale) 値です。MAIS の 1 は軽症レベル、2 は中等症レベル、3 は重傷レベル、4 は重篤レ



衝突信号から 2ms 後



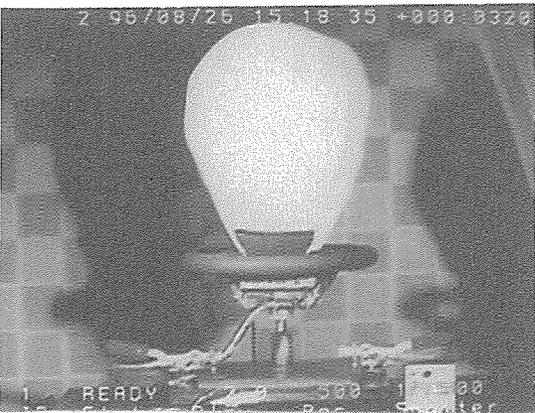
32ms 後



6ms 後



42ms 後



16ms 後



54ms 後

写真 エアバッグの展開の様子

ベル, 5 は瀕死レベル, 6 は既死レベルを意味します。また, 黒丸表示は頭部傷害が認められる場合を, 白丸は頭部傷外が認められない場合を示します。

図 5・1 はベルトを着用しているがエアバッグが搭載

されていないときのもので, 図 5・2 はベルト着用でエアバッグも搭載されているときのもので, これらの図から, 例えば衝突前後の速度差が, 80 km/h のときをみると, エアバッグなしの場合には既死であるものが, エ

ΔV : 衝突前後の速度差

MAIS : Maximum Abbreviated Injury Scale

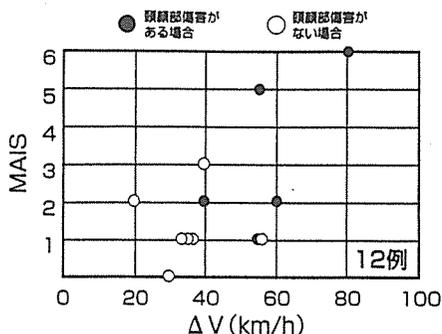


図5・1 ベルト着用運転者のMAISと ΔV との関係—エアバッグ装備なし—

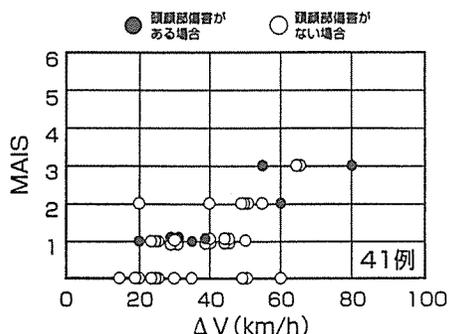


図5・2 ベルト着用運転者のMAISと ΔV との関係—エアバッグが展開した車—

図5 実車における衝突速度と傷害レベル

エアバッグがある場合には重症で済むということが判ります。エアバッグの効果はあります。またベルトを着用しない場合は、お話にならないという結果が報告されています。

いずれに致しましても、始めにも述べましたように、MGG付ベルト着用とエアバッグの搭載が、乗員保護の基本であることを、改めて申し上げ、終りと致します。

御静聴ありがとうございました。何はともあれ、先ず

は事故を起こさないことです！！

参 考 文 献

- ・エネルギー物質ハンドブック，火薬学会編，共立出版株式会社，1999
- ・ITARDA インフォメーション No. 29, (財)交通事故総合分析センター，2000

総 説

マイクロエレクトロニクス実装技術の現状と動向

貫 井 孝*

Current Status and Trends of Microelectronics
Packaging Technology

by takashi NUKII

1. はじめに

エレクトロニクス機器は、時代と共に概ね次の様なステップを歩み、進展し続けて来た。

- ①人々は、本能的な欲求に基づく便利さを求めこれに見合う商品の登場を待つ。
- ②これが市場に出れば、機能（音質、画質等）の向上を求める。
- ③まもなく低価格化を待望し、これの進行と共にマーケットは第1段の拡大を遂げる。
- ④使い易さ、コンパクト性への強い要求が新たな商品へと変遷せしめ、これが飽和状態に達すると、マーケットは第2段の拡大期を向かえ、やがて成熟期に入る。

この発展サイクルを担ってきたのが半導体/液晶デバイス技術とその実装技術であり、これらが相俟ってここ1/4世紀の間に日本のエレクトロニクス産業の発展に多大なる役割を果たしてきた。多くの人々の生活に利便性や楽しさを付与し、新たなライフスタイルを提供する民生機器や情報端末機器の実現にまで導いたのは、まさに実装技術の大いなる足跡である。

更に、現在はグローバルネットワークの急進展、多様なデジタル・モバイル商品の登場、通信インフラの整備/拡大の中で情報が瞬時に全世界を行き交う新・情報化社会にある。これに伴い、個人一人ひとりが情報の主役としていつでも、どこでも簡単に画像・音声・映像などリアルな情報のキャッチ・発信ができるパーソナル情報端末の創出が切望されている。この実現のためには、多くの分野の技術の深化と融合が必要であるが、これら

の広範な要素技術をまとめ、ひとつの商品にまで仕立て上げる原動力をエレクトロニクス実装技術が担っており益々その真価を発揮すべき時代に入っている。

本稿では、まず、エレクトロニクス実装技術の本質・要素技術分野について概説し、次にとりわけその主軸をなすマイクロ接合分野に焦点をあて、技術体系、具体的な要素技術の内容と動向について述べることにする。

2. エレクトロニクス実装技術の本質と要素技術分野

実装技術の役割を具体的にみてとるため、今や情報機器には不可欠の存在となっている LCD (Liquid Crystal Display: 液晶ディスプレイ) のドライバーLSI 実装技術¹⁾についてその変遷を歴史的に概観する。1888年に液晶が発見されてから、はじめてディスプレイに应用されたのが、1972年である。それ以降の動きを図1に実装技術の面から記している。更に、この変遷の要素をわかりやすく示したのが図2である。

当初、パッケージされたLSIがPWB (Printed Wiring Board: プリント配線基板) に搭載されたものがFPC (Flexible Printed Circuit: フレキシブル配線基板) によってパネルと接続されていた。次の段階ではモールドレジンを排し、LSIのペアチップを直接基板上に搭載し、細線ワイヤにより電極を結線するいわゆるCOB (Chip On Board: 配線基板上へのチップの直接搭載) 方式が用いられ、その基板は同じくFPCを介してLCパネルと接続される。そして更に、FPCを単なる接続用基板としてでなく、LSI搭載を兼ねるという考え方のもとTCP (Tape Carrier Package) に変貌をとげ、「TCPが異方性導電膜を介してLCパネルと接続される」現在の主流形態に至っている。次の段階では、更にフィルムも除去されLSIそのものがパネルの配線上に搭載されるCOG (Chip On Glass: ガラス上へのチップ

*シャープ(株) A1210 プロジェクトチーム
(昭和48年・金卒)

液晶応用商品	電卓	腕時計	ラップトップコンピュータ	カラー-LCTV
実装構造断面図	<p>キーシート LCD FP ガラス</p>	<p>散乱板 LCD セラミック ゴムコネクタ</p>	<p>FPC FP LCD FP PWB</p>	<p>LCD TCP LSI PWB 溶ダリング</p>
商品化時期	1973	1973	1984	1984
ドライバー-LSIの形態	FP (Flat Package)	FP	FP	TCP (Tape Carrier Package)
メーカ	シャープ	セイコー・エプソン	シャープ	セイコー・エプソン
ドライバー-LSIの接合方法	溶ダリング	ゴムコネクタ	導電性エラストマ & 異方性導電膜	溶ダリング

液晶応用商品	B/W LC-TV	ワープロ	ビューファインダ (一体型VTR)
実装構造断面図	<p>導電性ペースト LCD バンブ付き LSI</p>	<p>LCD TCP 異方性導電膜 LSI PWB</p>	<p>LCD モノリシック ドライバー</p>
商品化時期	1985	1986	1988
ドライバー-LSIの形態	バンブ付き LSI	TCP	ドライバーモノリシック
メーカ	Citizen	シャープ	セイコー・エプソン
ドライバー-LSIの接合方法	導電性ペースト	異方性導電膜	

図1 液晶ディスプレイにおける実装技術の歴史

の直接搭載)方式へと発展する。そして、遂にはSiパルクのチップもなくなりパネル上に駆動用薄膜トランジスタを形成する形態の登場となる。

このようにある段階で本質的に不要(言い換えれば必要悪)なものを取り除かれ、あるいは削除され、商品性を上げて(額縁の極小化)きているのがわかる。

これは典型的な例であるが、電子回路モジュールは、基本的にはこの様な経緯をたどっている。しかし、ある

ものを削減しようとするそれが持ち得ていた役割を他の領域でまかなう必要がある。それを可能とするためには、学術的背景を踏まえた広範囲の材料・工法・装置の革新的開発が必要であり、それが達成された時、ようやく「優れたコストパフォーマンス」「スリム」「コンパクト」といったキーワードを得ることができる。

これを一般的に表現すると図3の様になり、これが実装技術の本質である。

実装技術を具体的に研究・開発・応用していくためには多分野の学術的要素が必要であり、次の様な学術分野の蓄積・先端研究がベースとなって実装要素技術を支えている。

- (1) Micro interconnection：メタラジカル接合（金属学・物理学）、非メタラジカル接合（化学・材料科学）
- (2) Wiring substrate：基板材料（化学・材料科学）、配線形成（電気化学・物理学・材料学・金属学・化学）
- (3) Electronic component：半導体パッケージ（電子工学・化学・物理学・材料学）、チップ部品／センサー（電気化学・物理学・材料学・電子工学）
- (4) Thermal management：熱設計（伝熱学・熱力学・機械工学・金属学）、放熱材料（金属学・化学）

- (5) Design/Simulation：回路設計（電子工学）、応力解析（力学・材料学）
- (6) Reliability：寿命評価／予測（数理工学・力学・材料学）、故障解析（物理学・化学）
- (7) Equipment/Production：生産装置（機械工学・電気／電子工学・金属学・力学・材料学）

従来、この領域はほとんど企業において実践されてきた傾向が強いが、日本の最も得意としていた当該領域が相対的に弱体化しつつあるとの認識から昨今では大学、公的機関での研究が急速に増え、また次世代に備えた国家プロジェクトも進行中である。

3. エレクトロニクス実装におけるマイクロ接合技術の体系と技術の潮流²⁾

Si や GaAs といった半導体ウェハ上に能動素子（場合によっては受動素子も）が形成され、電極部以外が SiN や SiO₂ などの保護膜で覆われた状態以降、また受動部品や機能部品については、それぞれが機能をもちかつ電極を備えた状態に仕上げられた後、いかにして回路基板上に電氣的、機械的に安定に搭載（接続）するかがこの範疇に入る。

さて、半導体デバイスの基板上への組み付け（マイクロ接合）は、ウェハプロセスが完了した後、各半導体チップ単位に分括されたところからはじまる。

ここから基板に取り付けられるまでの過程は大きく分けて、図4の様に3つに分類することができる。1つは、いったんパッケージに収め、これを基板に接続する方法、2つ目は複数の半導体チップを高密度に1つの基板に搭載し、それぞれ相互結線したものを1つのパッケージとして扱い、これを本基板に接続する方法、3つ目は直

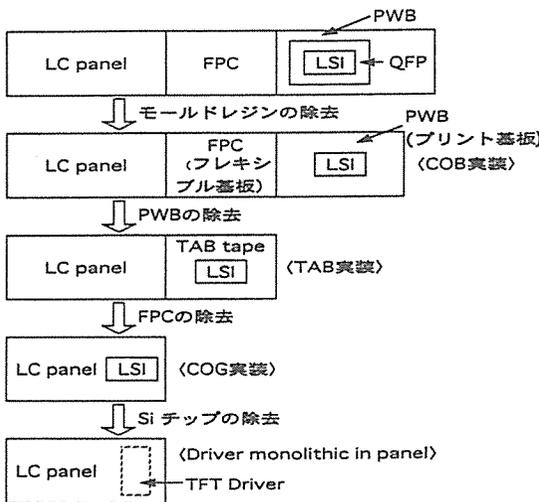


図2 液晶ディスプレイ用ドライバーIC実装技術の変遷要素

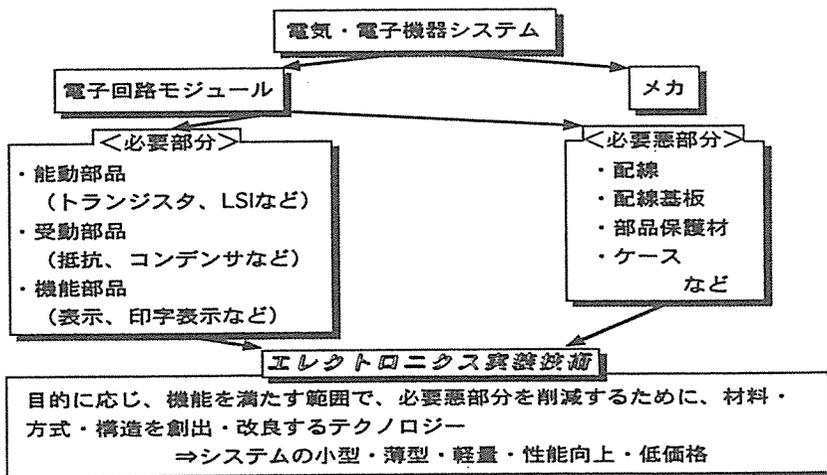


図3 エレクトロニクス実装技術の概念

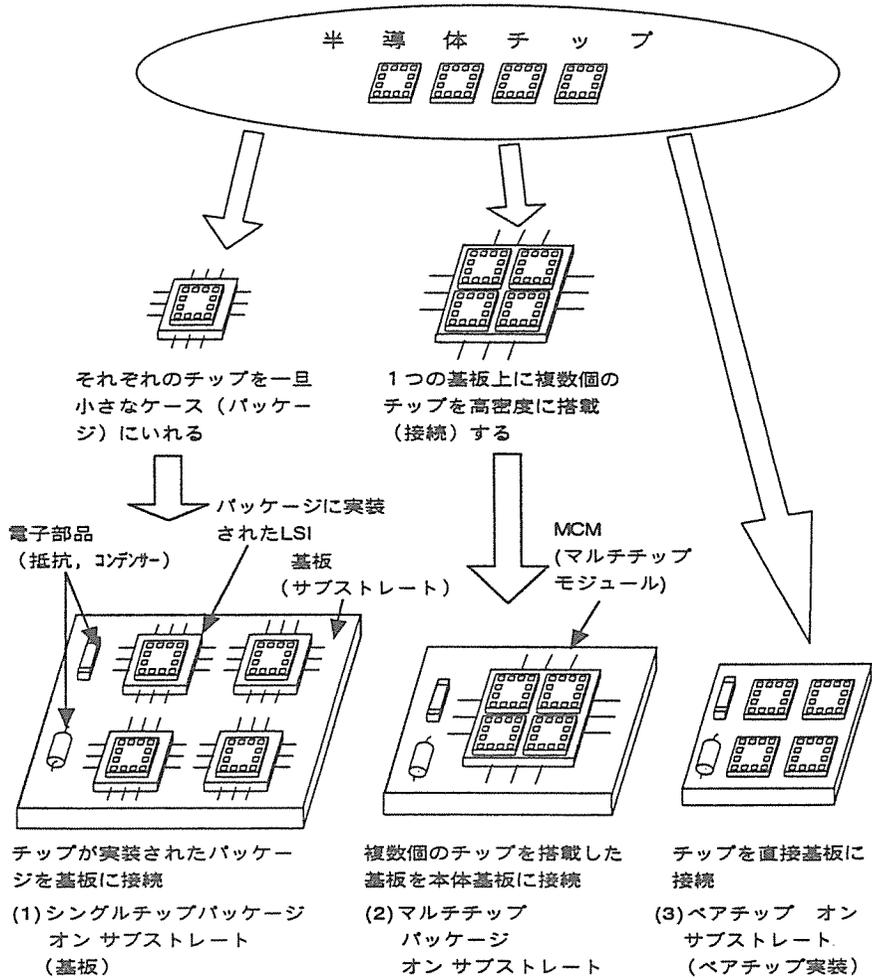


図4 半導体デバイスの回路基板上への搭載（接続）形態の分類

接、半導体チップを基板に接続する方法である。

ここでは、それぞれの形態を便宜的に(1)Single Chip Package on Substrate, (2)Multi Chip Package on Substrate (MCM), (3)Bare Chip on Substrateに分類し、配線基板上への組み付けについて説明する。なお(3)はベアチップ実装とも称される。

3.1 Single Chip Package on Substrate

3.1.1 汎用型半導体パッケージとその実装技術

これは、半導体チップを収納するパッケージの材料によって、3つに分けられる。樹脂モールドされたパッケージ、セラミック系材料によるパッケージ、さらには、金属系材料によるパッケージがある。まずリードフレーム（コバル系やCu系材料）にチップを固定する。チップの固定には、Pd, Ag, ガラスなどの微小粒がエポキシ系樹脂やバインダに混合された接着剤（ペースト）を用いる方法やあらかじめリードフレーム上のチップ搭載部にコートされたAu膜とチップ（Si）とのAu/Si共

晶反応により固定する方法が主なものである。

この工程をワイヤボンディング工程と称する。次は、リードフレームのリード部とチップ電極とを結線するプロセスである。これには、通常Auの細線ワイヤ（約 $25\mu\text{m}\phi$ 程度）が用いられ、チップ電極であるAl膜（約 $1\mu\text{m}^2$ ）とリードのAuコート部を繋ぐ。通常のAl膜は大気中では薄い酸化膜に覆われているため、これを破壊しつつAl-Auの固相拡散を生じさせることが必要で、熱や圧力や超音波が加えられる。またリード側とはAu-Auの相互拡散を生じせしめるため、同様のエネルギーを加える。この工程はワイヤボンディング工程と称され、多くのマイクロ接合技術の中でも最も古く且つ長い実績を誇り、現在も数多く使われている。これに関して過去多くの金属学的見地からの研究の蓄積があり、Al-Au間の金属間化合物生成による信頼性上の課題も解決をみている。

これが完了すればチップ、ワイヤ及びその接合部を電

氣的、機械的に外部環境から保護し、ユーザが使い易い様にする目的で樹脂封止される。樹脂封止にはトランスファモールド法（粉末あるいはタブレット状の材料を金属のポット部より注入し、溶解流動させてキャピティ内で成形封止を行う方法）や流動浸漬法（流動粉末状態の樹脂に加熱したリード付 LSI を浸漬させる方法）をはじめいくつかの方法があるが、トランスファモールド法が圧倒的主流をなす。そして、最終的にモールド樹脂からリードが延在した形で打ち抜かれ、さらに次に示す基板上への搭載形態に応じて、リードフォーミングが行われる。

さて、基板への接続工程となるが、リードスルー実装タイプと表面実装（SMT: Surface Mount Technology）タイプに分けられる。前者は、挿入機によって、あらかじめ基板配線の一部に設けられた穴（スルーホール）にパッケージリードが挿入され、一般に裏面（リードが突き出た面）から共晶はんだを用いたフローはんだ付けにより固定される。一方、表面実装タイプは、基板上のリード接続部にはんだペーストを印刷し、マウントと称される装置によりパッケージを精度よく搭載した後、リフロー炉（炉内がはんだ融点以上の温度にコントロールされた炉）を通過させることにより、はんだ接続がなされる。

今日では、表面実装タイプが主流を成す。とりわけ、携帯型機器・情報端末機器・需要創造型商品といわれるものはほとんどがこのタイプと考えるとよい。

1980年代のリードスルー型実装から SMT への移行は、実装面積、電気特性・設計・生産性など多くの面で「モノづくり」の進化をもたらした。材料、設備、プロセス技術、チップ部品・半導体パッケージ技術のまさに協創が実装の原点をつくり、発展させた時代である。1980年前後から10年間でリードピッチ1.0mmから0.5mmに狭ピッチ化し、チップ部品面積も20%にまで減じた。当該手法は実用に供してからかなりの時を刻んでいるが今なお情報／携帯端末をはじめ民生機器実装のベースは SMT であり、工夫と改善が続けられている。

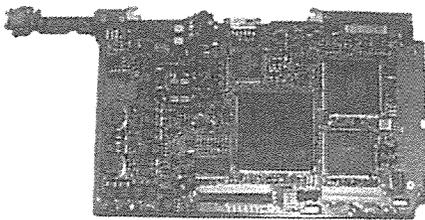
一例として、カラーPDAのメイン基板、サブ基板の概観と仕様をそれぞれ図5に、表1に記すが、合計部品点数1176点、はんだ付ポイント数5436ポイントというレベルに到っている。これを可能にするためには、①薄型多層基板への256ピン（端子）LSIを含む高密度両面リフローのためのN²雰囲気リフローシステムの開発、②はんだ量を安定化し、ブリッジを防止するための高品位はんだ印刷機・マスク・はんだペーストの開発を軸とする仔細な SMT 要素の確立がベースとなっている³⁾。

3.1.2 超小型パッケージ：CSP (Chip Size Package) と実装技術

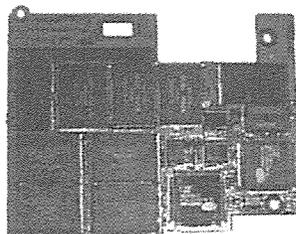
さて、90年代になって大型コンピュータ分野のダウンサイジング化、需要創造型民生商品の必要性、マルチメディア構想などの時代背景と共に、MCM（図4参照）が大きな話題となった。しかし、MCM 開発／実用化の過程でその汎用化にあたっては、課題も大きくクローズアップされてきた。大きな魅力を感じつつもテスト／KGD (Known Good Die)、インフラ、コスト、設備投資などの問題に対面し躊躇する中で、4～5年前に登場したのが「極めて小さなパッケージ；CSP」である。（図6）ユーザ（基板実装側）からみれば、既存の SMT プロセスをベースにし、しかも小型化が可能という点で、大変受け入れられやすいものであった。現在、それを搭載

表1 カラーPDAの電子回路モジュール仕様例

	メイン基板	サブ基板
基板材質 (外形寸法)	ガラエポ6層0.8mm (155×78mm)	ガラエポ6層0.6mm (86×65mm)
部品点数	1004点	172点
	計1176点	
半田付ポイント	3680ポイント	1756ポイント
	計5436ポイント	
最小ピッチIC搭載	0.4mmピッチ 256pinQFP	0.4mmピッチ 128pinQFP
最小チップ部品	1005	1005



メイン基板(IC実装面)



サブ基板(IC実装面)

図5 カラーPDAの電子回路モジュール外観

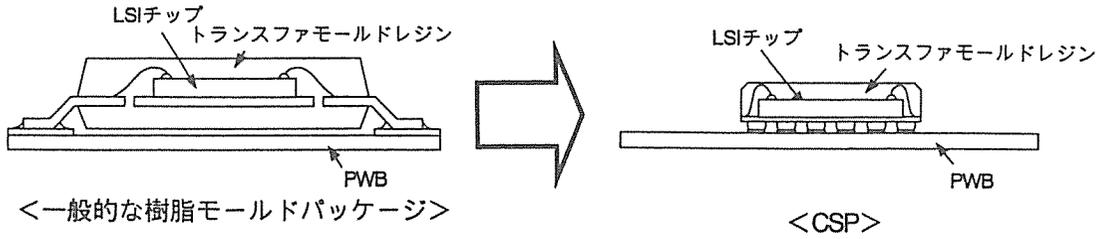


図6 CSP実装の概念

表2 CSPによる実装面積削減効果

デバイス	8Mフラッシュメモリ (42端子)	5Mフラッシュメモリ (64端子)	ASIC (160端子)
従来 パッケージ	TSOP (Thin Small Outline Package) 周辺端子：ピッチ0.5mm	SSOP (Shrink Small Outline Package) 周辺端子：ピッチ0.5mm	QFP (Quad Flat Package) 周辺端子：ピッチ0.5mm
CSP	マトリクス端子 ：ピッチ1mm	マトリクス端子 ：ピッチ1mm	マトリクス端子 ：ピッチ0.8mm
従来パッケージ/ CSP実装面積比較	<p style="text-align: center;">従来パッケージ ICチップ CSP</p>		
削減率	76%	64%	79%

表3 CSPによる重量低減効果

従来 パッケージ	タイプ	SOP	TSOP	TSOP	SSOP	QFP	QFP
	端子数	28端子 (周辺)	28端子 (周辺)	40端子 (周辺)	64端子 (周辺)	100端子 (周辺)	176端子 (周辺)
	重量	0.71 (g)	0.38	0.451	1.61	0.60	2.43
CSP	サイズ	6×6 (cm ²)	7×13	8×8	9×15	10×10	12×12
	端子数	28端子 (マトリクス)	28端子 (マトリクス)	40端子 (マトリクス)	64端子 (マトリクス)	100端子 (マトリクス)	176端子 (マトリクス)
	重量	0.06 (g)	0.14	0.11	0.22	0.16	0.23
重量低減率		92%	63%	76%	86%	73%	91%

した商品も続々と登場し、爆発的な拡大をみせた携帯電話には早くから搭載され、薄型化・軽量化に寄与している。CSP化することにより、従来のQFPに比べ面積が

70~40%減じ、重量についてもそれ以上の削減効果のあることは周知の通りであり、またこれが大きな特長である。(表2, 表3)

しかしその一方で、QFPにおいて基板とパッケージを連結するリードが応力を緩和する効果を担っていた分をどう吸収していくかという課題がある。パッケージに占めるLSIの比率が増大していくにつれ(ペアチップはその究極であるが)、基板とデバイス側の熱膨張率をはじめとする物性の差が顕著になる。実装された状態での評価として温度サイクルテストによる熱疲労寿命の確認、改良は勿論のこと、実際のマウント工程から筐体への組みつける工程に到るプロセスに耐えられるか、或いは落下・衝撃に耐えられるか等、配慮が必要である。信頼性の向上のためには、パッケージ電極構造・材料、基板デザイン・構造・材料や実装プロセスなど、パッケージ/基板/実装をトータル的に観て、科学的アプローチに基づく解決が必要であり、多くの研究がなされている⁴⁾⁵⁾⁶⁾。また、今後様々なCSPのラインアップがなされていく中で電極数、ピッチ、サイズ等が変化した場合、それぞれのPWB実装時(PWBも変わる場合があるだろう)の熱ストレスによる寿命を早く見極め商品化スピードを上げたいというユーザの願望もある。これに対応するため筆者らが研究開発した信頼性予測技術⁷⁾を以下に記す。

3.1.3 CSP実装における熱疲労信頼性予測技術

本方式は後述のフリップチップ実装と同様に、ほとんど半導体チップサイズで回路基板上に搭載し得る極めて有用な手法であるが、デバイス下面のボール状電極を介して回路基板に直接接合されるため、基板/デバイス間の熱膨張率差に伴う温度サイクル下での熱ストレスの蓄積により、はんだボール接合部が最終的に破断に到る熱疲労の課題を抱えている。この課題の解決には材料、プロセス、構造にいたる様々な観点から追究が必要であるとともにもその結果、実用に供するか否かスピーディな判

断が求められる。

さて、熱疲労に関するCoffin-Mansonの低サイクル疲労破壊の経験則は、以下の式で表される。

$$N_f = (\Delta \epsilon_{in} / \epsilon_0)^n \tag{1}$$

ここで、 N_f は疲労破壊に至る平均寿命温度サイクル回数、 $\Delta \epsilon_{in}$ は、1回の温度サイクル負荷での非線形歪み振幅、 ϵ_0 と n は材料ごとに決まる値で一定の値である。そこで、シミュレーションで得られたはんだボール接合部の非線形歪み振幅と実験で得られた寿命のデータがCoffin-Mansonの経験則に合致し ϵ_0 と n を決定できれば、以後は、シミュレーションで非線形歪み振幅を計算すれば、接合部の寿命： N_f を予測できるのではないかという点に着目して検討を行ったものである。

具体的には、あるCSP実装体について温度サイクル試験(高温125°C、低温-40°C、1時間に1サイクル)と同じ温度負荷を与えシミュレーションを実施し、非線形歪み振幅を求め、もう一方で、それと同じCSP実装体を実際の温度サイクル試験にかけ、平均寿命を求める。以上のようにして、実装構造体の異なる7種類(表4)について平均寿命と非線形歪み振幅を得た。そして、これらの値、寿命： N_f 、非線形歪み振幅： $\Delta \epsilon_{in}$ を両対数グラフにプロットしたものを図7に示す。これらのプロットした点を上述の(1)式：Coffin-Manson則に最小二乗法によりあてはめると、

$$\epsilon_0 = 0.21 \quad n = -2$$

が得られ、その結果(1)式は、

$$N_f = (\Delta \epsilon_{in} / 0.21)^{-2} \tag{2}$$

と、具体化することができる。図7からもわかる様に、

表4 温度サイクル試験結果に基づく平均寿命とシミュレーションに基づく非線形歪み振幅

NO.	サンプル仕様	平均寿命 (cyc.)	非線形歪み振幅
(a)	CSPサイズ：12mm ² 、電極端子：0.8mmピッチ・176端子、はんだボール：0.45mm ϕ 、印刷ステンシル厚さ：0.15mm、温度サイクル試験：-40°C/125°C 1cyc./1h、実装構成：片面 〔標準サンプル〕	1109	0.00640
〔標準サンプル〕からの変更点			
(b)	はんだボール：0.35mm ϕ	442	0.01257
(c)	電極端子：92端子	603	0.00856
(d)	印刷ステンシル厚：0.10mm	874	0.00700
(e)	実装構成：両面	965	0.00697
(f)	CSPサイズ：16mm ² 、電極端子：280端子	1708	0.00509
(g)	温度サイクル試験：3cyc./1h	1280	0.00506

各プロット点はほぼ直線上にあり、(2)式を用いることによって CSP 実装における熱疲労寿命を予測することができる。

3.2 Multi Chip Package on Substrate

1つの基板上に、能動部品(IC, トランジスタ, ダイオードなど), 受動部品(抵抗, コンデンサなど)をはじめとする電子部品をできるだけコンパクトに集積化した状態で搭載し、一定の回路機能をもたせ、これを本体基板(マザーボード)に取り付ける構成は古くからあり、一般にハイブリッド IC と称されている。代表的な例は、セラミック基板上の Ag/Pd や Au などの厚膜配線に IC をダイボンディング, ワイヤボンディングし、さらに抵抗, コンデンサも厚膜やチップ部品として組み込んだものである。この類のものは現在でも自動車関係やオーディオ回路などに用いられている。しかし、もう少し狭義の意味で MCM を捉えると、大型コンピュータに端を発する。MCM は大型コンピュータの分野で半導体デバイスの高速性能を最も効果的に導き出し、多少のコスト

犠牲を払いながらも進展してきた。とりわけ、1980年に IBM 社より発表された TCM モジュール (Thermal Conductive Module) は代表的なものである。しかし、最近では、民生・情報機器へ展開を試みる動きもある。

電子機器のデジタル化による LSI 比率の増加、また回路の動作スピードの向上が求められる今日、LSI を可能な限り高密度に搭載し、高放熱且つ高速動作を実現する構成として、MCM もその一手法として注目されている。

MCM の要素技術は、端的にいえば、LSI をベアチップ状態で搭載する技術、基板技術、放熱技術、パッケージング(封止, 端子取り出しなど)技術である。しかし、その技術内容は民生用, OA 用, 大型コンピュータ用, 通信用などにより、様々なレベルがある。ベアチップ接続技術においては、後述のようなワイヤボンディング (Wire Bonding: WB), テープオートメテッドボンディング (Tape Automated Bonding: TAB), フリップチップボンディング (Flip Chip Bonding: FCB) が用いられ、また基板技術においては Si, 金属, セラミック, ガラスエポキシなど幅広い材料の上に多層化をはかった基板を用いる場合が多い。放熱のためには、AlN 基材や、金属板を有効に構造化したものが検討されている。また、パッケージングに於いては、大掛かりなキャップ封止タイプから通常のトランスファームールドタイプまで、千差万別である。

これらの要素を目的(機能, コスト)に応じてどう組み合わせ、そしてこれらの要素をどうマッチングさせていくかが、MCM の最大のポイントである。

3.3 Bare Chip on Substrate

ベアチップを直接基板に搭載・接続(ベアチップ実装)する基本技術には、図8の様にワイヤボンディング方

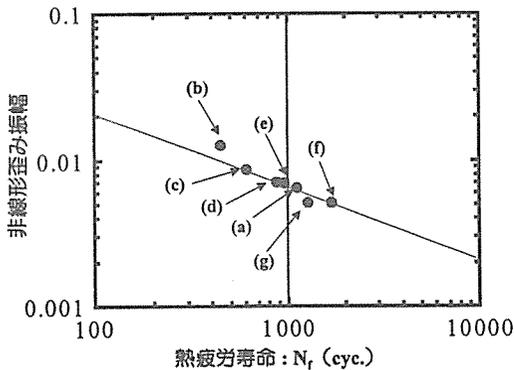


図7 熱疲労寿命と非線形歪み振幅

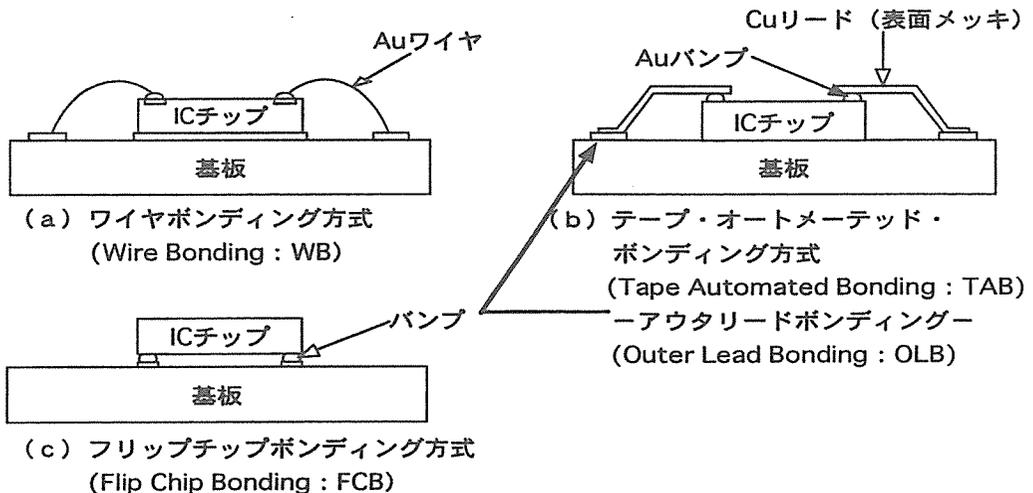


図8 ベアチップ実装方式

式、TAB方式、フリップチップボンディング方式がある。それぞれについて以下に説明する。

3.3.1 ワイヤボンディング方式

これは、LSIのAl電極と基板配線電極とを、文字通りワイヤで結線する技術で最も歴史があり、長年の実績を有する。技術的には、40μmピッチレベルが開発され、また材料面でも脱金化の観点からCuが検討された時期もあったが現在ではAuあるいはAlがほとんどである。なお、樹脂でワイヤをコートしたのも一部でつかわれている。

本技術は、ウェハから分離された半導体チップを特に電極処理をすることなく用いることができ、またWB技術の基本も確立されているため適用用途は幅広い。一般の半導体チップのパッケージングに用いられるのはもとより、サーマルヘッドドライバやLEDプリンタ用ドライバおよびLEDのセラミック基板上への搭載、さら

にはICカードなどプリント配線板上へのCOB (Chip on Board) 実装にも用いられている。

3.3.2 TAB方式

この方式の基本は、まず配線を形成した長尺のフィルムキャリヤテープに、半導体チップを一旦接続し(通常これをILB: Inner Lead Bondingと称する)、表面部を簡単に樹脂コートした後その周辺部で打ち抜き、これを基板上に接続する(通常これをOLB: Outer Lead Bondingと称する)工程である。概念図を図9に示す。これらの工程はリール・ツウ・リールで連続的に作業がなされる。

さて、ILBであるが、これはテープのデバイスホール部に延在する金属めっきされたCuリードとLSIのAl電極とを突起物を介して接続する。突起物は、バンブと称されチップ側に形成する方法が一般である。ウェハ状態から出発し、中間金属層を介してめっきによりAuの

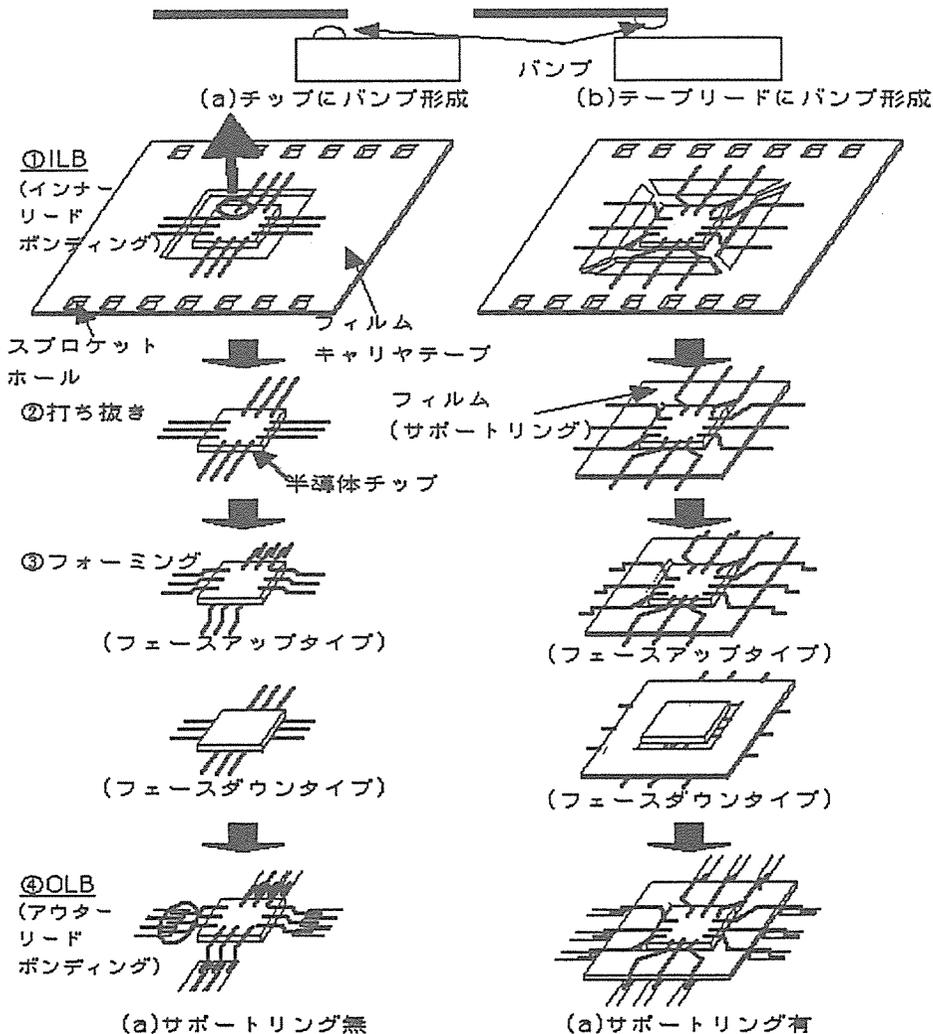


図9 TAB基本プロセス

突起(約 $15\sim 20\mu\text{m}^3$)を設ける。一方、リード側は通常CuリードにSnめっきが施されており、Au/Sn共晶接合のもとでILBはなされる。AuめっきCuリードとの間でAu/Au熱圧着接合する場合もある。次にOLBであるが、図9の様に、半導体チップ+リードあるいは、半導体チップ+リード+テープの状態で打ち抜かれ、リードが基板配線にはんだ接続されるのが、通常である。

OLBには、アウターリードをフォーミングする方式とフォーミングしない(フォーミングレス)方式がある。前者は、応力緩和構造となるため、高精度リードを用いる微小ピッチ接続に適しているが、フォーミングに金型が必要で、その管理や精度に十分な注意が必要である。この方式で、リペアを可能とし、かつ信頼性に優れる世界最小のPWB上 $150\mu\text{m}$ ピッチを可能とする技術が開発されている⁸⁾⁹⁾。後者は、逆に応力に対しては相対的に弱い反面、金型が不要で、生産する側からは都合の良いシステムである。この方式では $220\mu\text{m}$ ピッチ281ピンを液晶タッチメモにて実用化され、これによりQFP比で実装面積1/4、実装厚1/10、重量1/70が可能となっている¹⁰⁾。また、接続リード構造を工夫し、またはんだフレット部の耐応力形状の研究の結果(図10)、強度を1.6倍、耐久性を従来の10倍以上に引き上げ $180\mu\text{m}$ ピッチ接続実現されている¹¹⁾¹²⁾¹³⁾。更に、当技術は磁気ヘッドデバイスへも応用¹⁴⁾されている。

TAB技術は、70年代から存在する長い歴史を有する技術であるが、とりわけ日本では80年代後半のLCDという好ターゲットを得て、上述の回路基板へのOLBから脱し、新たなコンセプトのもと急速に伸長してきた。そしてLCDモジュール実装の中でその要求に対応しながらその技術も大きな発展を遂げている。TCP(Tape Carrier Package)とパネルの実装にあたって

は、TCP/パネル間の位置合わせマークや隣接TCP間のスペースが必要になり、TCP/パネル間の接続ピッチはドットピッチよりやや小さい値が必要である。即ち、 $50\mu\text{m}$ ピッチ接続が要求される時代になっており、これと共に、ILBピッチも $50\mu\text{m}$ が必須となってきている。50 μm ピッチILBを達成するためには①インナーリードとバンプとのアライメントマージン確保、②インナーリードの引っ張り強度の向上が要求される。①のためには保管環境(湿度、温度)の最適化によるTCPのインナーリードの累積精度の安定化やアライメントマークの適正化を行うと共に、②に対しては従来の1.7倍の高強度Cu箔を用いている。これにより、図11に示す様な50 μm ピッチILBによりTCPの量産化に到っている¹⁵⁾¹⁶⁾。

次に、この場合のOLB¹⁶⁾であるが、図12のプロセスの様にほとんどがACF(Anisotropic Conductive Film:異方性導電膜)を用い、熱と圧力でパネル電極に接合される。接合部は粒子を介した圧接構造となっている。

3.3.3 フリップチップボンディング方式

この実装形態は、チップの電極に突起を設け、配線基板の電極と対向させた状態で相互の電極を接合するものである。本技術の源流は、1963年代前半、IBM社のコンピュータに採用されたSLT(Solid Logic Technology)にさかのぼる。これはCuボールをはんだで被ったような突起をチップ側に設け、基板の電極と加熱溶融接続するものである。これはC4(Controlled Collapse Chip Connection)¹⁷⁾といわれる形態に発展し、時代とともに多様な展開を遂げている。以下に具体的内容について若干触れてみる。

- ・はんだバンプ形成法:メタルマスクを用いた蒸着法、フォトリソを用いためっき法、はんだワイ

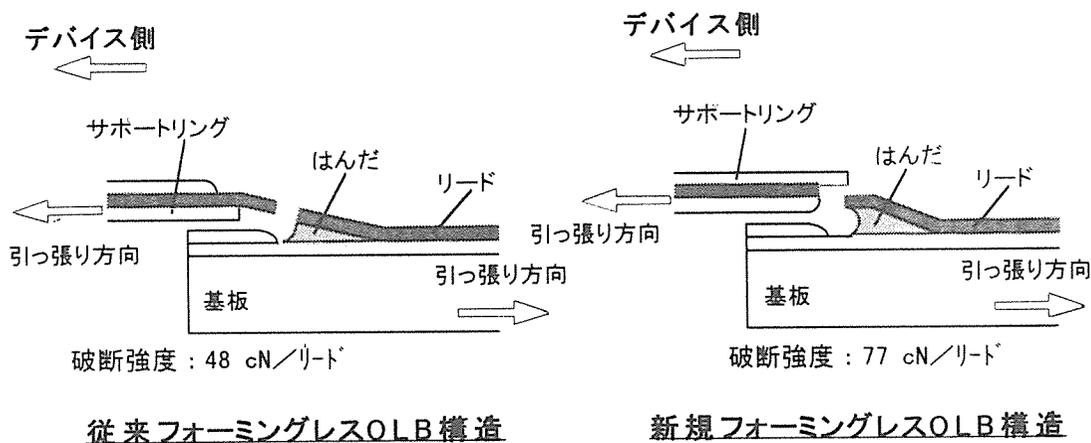
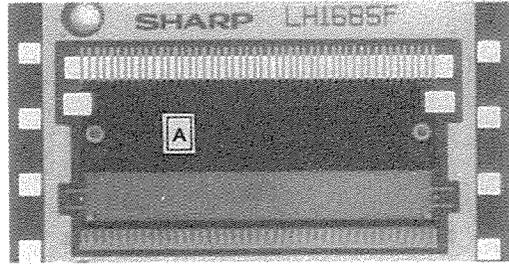
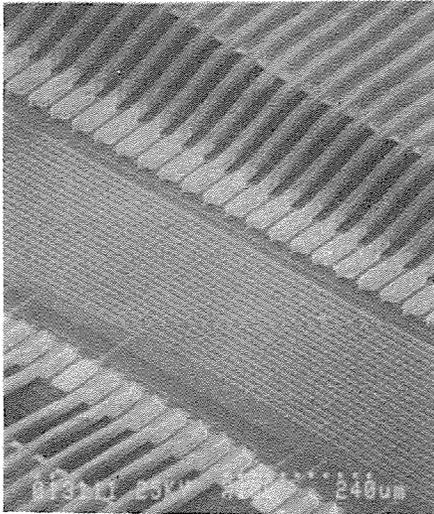


図10 高信頼性TAB/OLB構造



TCP
(309端子TFT液晶ドライバーIC)

インナーリードボンディング部(右図A部の拡大)

図11 微細接続 (50 μ m ピッチ) TCP

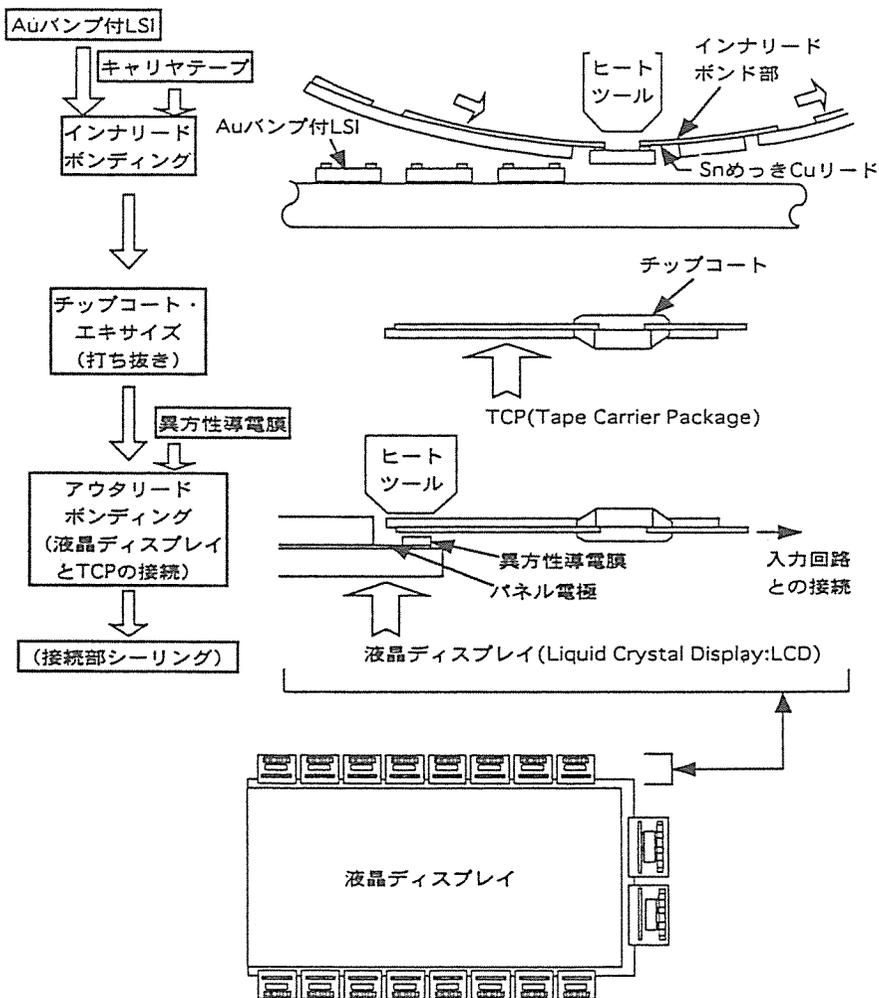


図12 異方性導電膜による液晶ドライバーLSI実装

ヤによるボールボンディング法、ディッピング法などがある。現在では前二者が主流をなす。図13にフォトプロセスを用いためっき法による共晶はんだバンプを示す。不活性雰囲気中で加熱溶融させることによりはんだの表面張力により球状のバンプ電極が形成される。

- はんだバンプ構成：通常、チップのAl電極上には直接はんだ形成することは少なく、密着性、相互拡散、はんだの濡れを考慮した中間金属層（バリヤメタル層）を介して、はんだが形成されるが、この中間金属層の構成は様々な系が提案され、実用化されている。一例としてCr-Cu-Au（一部混合層あり）、Al/Ni-Ni-Cuなどがある。
- 基板材料：従来、セラミックが一般的であったが、最近では樹脂系回路基板にフォーカスした例が多い。

これらの個々の要素を組み合わせるとはんだバンプフリップチップ実装は成る。

本技術の最大の課題は、前述のCSP実装の場合と同様にこの場合もデバイスが直接回路基板と接続されるため、Siチップと基板材料の熱膨張率の差に起因する温度サイクル時のバンプ接合部の熱疲労寿命である、この改善のために、上に述べた各要素を中心とする研究開発¹⁸⁾¹⁹⁾に多くの力が注がれている。

筆者らは、とりわけ民生機器では不可避の「樹脂系基板(PWB)上でのフリップチップ実装の実用化」を目指し、この熱疲労寿命を可能な限り長くするため様々な角度から研究を行い、実用性を明らかにしている²⁰⁾²¹⁾²²⁾²³⁾。その一つが界面樹脂封止構造による熱疲労寿命の向上である。以下にその概要を記す。

実装構造的観点からバンプに加わる応力低減策として界面に樹脂を充填封止した構造モデルのもと、応力分散の可能性を樹脂系基板の場合についてシミュレーションにより追求した結果、はんだに近い樹脂物性のもと6mm²チップのフリップチップ実装体を183°Cから-65°Cに接続後温度降下させた場合バンプ根元部の最大主応力は非界面樹脂構造のそれに比べ1/8に減じており、大きな改善効果が見込まれることが判明した。界面樹脂のない場合は、Siチップ/基板との熱膨張率の差ははんだバンプの変形という形で発現しているのに対し、界面樹脂のある場合には、実装系全体が一体的に変形するため、はんだバンプの変形が少なくなっていることがその要因であると思われる。

前述の検討結果を踏まえ、PWBを対象とした界面樹脂封止型フリップチップ実装の熱疲労寿命を実験的に求めた結果、図14のようになり、次のことがわかった。

1. 9mm²以下のチップサイズにおいて非界面樹脂構造の場合の熱疲労信頼性が100サイクル以下であるのに対し、界面樹脂封止型の場合は15mm²、12mm²という大きなチップサイズでさえ熱疲労信頼性は10000サイクルを突破する。(実用的には大凡1000サイクルを越えることが一つの目処とされる)
2. 従来型のPWBのもとで高信頼性フリップチップ実装構造の実現は可能で、界面樹脂封止型デバイスの熱疲労寿命は、チップサイズにほとんど依存しない。

このことは、ローコストのもとで超小型電子回路モジュールが実現できることを示唆している。

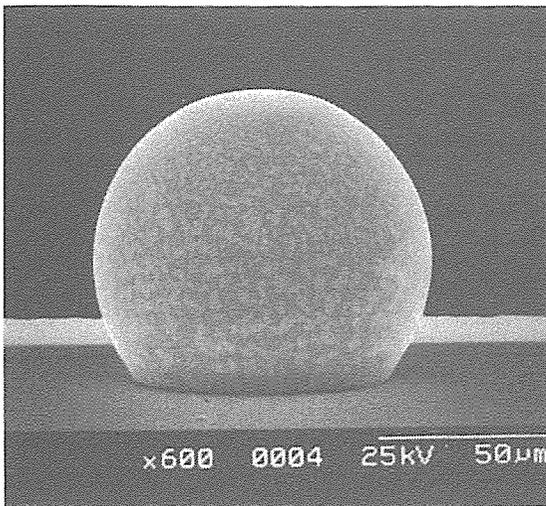


図13 共晶はんだバンプ外観

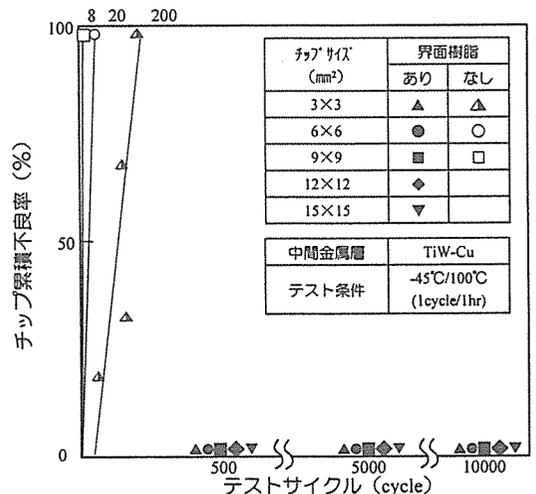


図14 温度サイクルテストにおけるチップサイズ、界面樹脂有無とチップ累積不良率

表5 各種 COG 接続方式

方 式	導電性ペースト接合		バンパ圧接	低融点バンパ接合	導電性粒子介在圧接		
	216	70(千鳥)	63.5	500	134	120	50
接続ピッチ(μm)	216	70(千鳥)	63.5	500	134	120	50
接続抵抗 (Ω/パッド)	< 5	< 1	6×10^{-3} (25μm ² あたり)	2×10^{-2}	—	—	0.46
接続温度(℃)	80~120	100	室 温	150	150~200	室 温	室 温
バンパ高さ(μm)	30~50	60	10	40	7.5 (接合部粒子径)	5 (接合部粒子径)	5 (接合部粒子径)
基板電極	ITO	ITO	Au	In合金バンパ/Au	Au/Ni/ITO	Au	Au
実装構造							
備 考	・最も長い量産実績 ・150μmピッチ接続の報告もあり	・40μmピッチ千鳥接続の報告もあり	・10μmピッチ接続の報告もあり ・上記はLEDモジュールの例	・CCDモジュールを試作	・12インチカラーLCD試作例もあり	・対ITO(100μmピッチ)平均0.9Ωの報告もあり	

さて、フリップチップボンディングといえ、以上のようなC4に源流をおく形態を指す時代が長年続いてきたが、最近では接合メカニズムの概念を変える方式も多く登場し、ますます多様化してきている。この引き金になったのは1980年代半ばの液晶テレビの登場であり、ITO (Indium Tin Oxide), Mo, Tiなどといったはんだ接続に適しない電極にいかにしてチップを接続するかという課題に端を発している。フリップチップ実装の中でもCOG (Chip on Glass) という概念が本格化したのもこの項である。

具体的な方法については、接合メカニズムのいくつかを表5に記す。はんだバンパ接合がメタラジカルな接合であるのに対しこれらは非メタラジカル接合²⁴⁾²⁵⁾²⁶⁾²⁷⁾を基本にするものが多い。

なお、TAB方式の項で記した異方性導電膜は材料が大幅に進化し、このCOG構造にも適用され、実用に供している。更に筆者らは、この異方性導電膜を用いて、樹脂基板へのフリップチップ実装の研究を行い、非メタラジカル接合による高信頼性フリップチップ技術を確認している²⁸⁾²⁹⁾。また、Auバンパを用い樹脂基板にメタラジカル接合を行うフリップチップ実装方式についても優れた研究成果³⁰⁾³¹⁾³²⁾が発表されている。

最後に特殊用途ではあるが超高周波デバイス対応としてAuバンパを直接セラミック基板にメタラジカル接合することにより特性向上を果した研究成果³³⁾³⁴⁾があることを付記しておく

4. おわりに北一電子システムインテグレーションの構築に向けてー

1970年代のIC登場の初期には、「実装」を「電子機器の総合的立場から機能を十分に発揮できる様な各種設計を包含した機器の構成・組立工法技術」と捉えていた。これはよりシステム志向的な斬新な説明 (IC化実装技術：工業調査会, 1979) である。しかし、IC/LSI化が進み成熟化した結果、専門性が色を濃くしはじめ徐々に純デバイス設計屋、純デバイスプロセス屋、デバイス実装屋など、いわゆる分業概念が強まっていった。個別要素技術は強くなり、その中で日本のマイクロエレクトロニクス産業が世界に先駆けて突き進んできたのは事実であろう。それぞれが自らの領域をまっとうすれば、コトはなんとか済み、ある意味ではそれぞれの手離れが良かった時代であったとも言える。

しかし、時の流れはドラスティックな状況の変化をもたらしている。①通信・放送における変革 (デジタル化, 融合など), ②半導体技術における変革 (超高集積化, 高速化など), ③これらに伴うネットワーク・モバイル商品群の登場, ④環境・安全問題の急浮上 (鉛フリー, EMIなど), ⑤生産の海外展開など 我々を取り巻く環境は、マイクロエレクトロニクス産業に大きな課題を提示している。とりわけ、実装技術に関しては、コミュニケーション手段の多様化や「ネットワークライフ」の生活への浸透の中で、商品に求められる要求事項は、従来の「軽薄短小」だけではすまなくなっている。

これらに、対応していくためには、もはや従来のあまりに専門化してしまった枠組みを外し、材料・システム構成・生産技術・設計など幅広い総合的見地からの「エレクトロニクス実装技術」の取り組みが不可避になっている。即ち、「システムデザイン且つシステム集積化技術」と位置づけ、システムを最適化するための課題の抽出とその解決・実現（いわゆる電子システムインテグレーション技術）にあたる旗頭として、機能することが求められる時代になっている。このためにはデバイスから商品を連結する思想を持ち、トータルシステムの最適化を求めて科学的・学術的アプローチを産・官・学が一体となって研究推進することが必要であろう。このような取り組みこそが、21世紀のエレクトロニクスの中核を担うのではないかと期待する次第である。

参 考 文 献

- 1) 貫井孝：民生機器／携帯端末機器の実装技術－現状と将来－，JPCA 国際シンポジウム予稿集，JPCA，(1997. 1. 20)
- 2) 貫井孝：概論－半導体デバイス・一般電子部品の実装技術－「エレクトロニクス実装技術基礎講座」，(社)ハイブリッドマイクロエレクトロニクス協会編，(株)工業調査会，PP. 11-30 (1994)
- 3) 尼崎清次：携帯情報端末に見る高密度実装技術，電子材料，5月号別冊，(株)工業調査会，(1998. 5)
- 4) Y. Yamaji, H. Juso, Y. Ohara, Y. Matsune, Y. sota, A. Narai, T. Kimura, K. Fujita, M. Kada: Development of Highly Reliable CSP, Proc. of 1997 Electronic Components and Technology Conference (ECTC), PP. 1022-1028 (1997)
- 5) M. Sumikawa, Y. Saza, T. Sato, C. Yoshioka, A. Rai and T. Nukii: Reliability of Soldered Joints in CSPs of Various Desings and Mounted Conditions, Proc. of the 1998 IEMT/IMC (International Electronic Manufacturing Technology/International Microelectronics Conference) Symposium, IEEE CPMT and IMAPS-JAPAN, PP.230-235 (1998)
- 6) T. Sato, K. Tanaka, M. Sumikawa, C. Yoshio-ka, K. Yamamura, T. Nukii: Reliability and Fatigue Life Prediction of Mounted CSP, Proc. of the 1998 International Symposium on Microelectronics (IMAPS), PP.557-561 (1998)
- 7) 住川雅人，田中和美，安田昌生，佐藤知稔，吉岡智良，山村圭司，貫井孝：CSP はんだ接合部の疲労寿命予測技術，Proc. of the 5th Symposium on 'Microjoining and Assembly Technology in Electronics (MATE)' ,PP. 143-148 (1999)
- 8) H. Matsubara, Y. Sakamoto, K. Yamamura and T. Nukii: Fine Pitch TAB/OLB (Tape Automated Bonding/Outer lead Bonding) Technology by Soldering Method through Non-Cleaning Process, 1995 Japan International Electronic Manufacturing Technology (IEMT) Symposium, IEEE-CPMT, PP.72-76 (1995)
- 9) 坂本泰宏，松原浩司，山村圭司，貫井孝：150 μ m ピッチ TAB/OLB 技術の接続特性，第 10 回回路実装学術講演大会講演論文集，(社)回路実装学会，ISSN 0916-0043, PP.191-192 (1996)
- 10) 坂本泰宏，松原浩司，山村圭司，貫井孝：フォーミングレス TAB/OLB 実装技術の開発，電子情報通信学会 1995 年総合大会講演論文集エレクトロニクス 2, C-449 (1995)
- 11) 坂本泰宏，住川雅人，松原浩司，山村圭司，貫井孝：耐力力構造フォーミングレス TAB/OLB 技術，第 7 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集 (MES1997)，PP. 105-108 (1997)
- 12) 坂本泰宏，住川雅人，松原浩司，山村圭司，貫井孝：フォーミングレス方式高精細リード TAB/OLB 技術，第 11 回回路実装学術講演大会講演論文集，(社)回路実装学会，ISSN 0916-0043, PP. 173-174 (1997)
- 13) 坂本泰宏，住川雅人，松原浩司，山村圭司，貫井孝：微小ピッチ TAB/OLB 技術，回路実装学会誌，Vol. 13 No. 1, PP. 30-36 (1998)
- 14) 柿本典子，山村圭司，松原浩司，迫田直樹，貫井孝：TAB (Tape Automated Bonding) 方式による薄膜磁気ヘッド実装技術，第 5 回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集 (MES1993)，PP. 259-262 (1993)
- 15) 千川保憲：液晶ディスプレイにおけるドライバ LSI 実装技術，Journal of SHM Vol. 13 NO. 2, PP. 34-40 (1997)
- 16) 貫井孝：液晶ドライバ LSI の実装技術，エレクトロニクスセミナーテキスト，CQ 出版社，(1998. 5. 30)
- 17) L. F. Miller: Controlled Collapse Reflow Chip Joining, IBM Journal of Research and Development 13, PP. 239-250 (1969)

- 18) Y. Tsukada, S. Tsuchida and Y. Mashimoto: Surface Laminar Circuit and Flip Chip Attach Packaging, Proceedings of the 7th International Microelectronics Conference (IMC), PP. 252-258 (1992)
- 19) 曾我太佐男, 天城滋夫, 児玉弘則, 沢島守, 小山徹, 本荘浩: フリップチップ実装の高信頼化に及ぼす樹脂補強効果, 電子情報通信学会論文誌, Vol. J73-C-II, No. 9, PP. 516-524 (1990. 9)
- 20) A. Rai, Y. Dotta, H. Tsukamoto, T. Fujiwara, H. Ishii, T. Nukii and H. Matsui: COB (Chip On Board) Technology-Flip Chip Bonding onto Ceramic Substrates and PWB (Printed Wiring Boards), Proc. of the 1990 International Symposium on Microelectronics (ISHM), PP. 474-481 (1990)
- 21) 頼明照, 土津田義久, 貫井孝, 大西哲也: PWB上へのフリップチップ実装, プリント回路学会誌「サーキットテクノロジー」, Vol. 4 No2, PP. 136-143 (1993)
- 22) T. Sato, A. Rai, Y. Dotta, H. Makita, Y. Taniguchi, T. Ohnishi, M. Nishikawa and T. Nukii: Development of Non-cleaning Flip Chip COB for Use on PWB and IC Memory Card, Proc. of the 8th International Microelectronics Conference (IMC), PP. 17-21 (1994)
- 23) 頼明照, 佐藤知稔, 土津田義久, 玉置和雄, 貫井孝: フリップチップ方式によるMCM-L技術の開発, 第6回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集 (MES1995), PP. 151-154 (1995)
- 24) Y. Bessho et al: Chip On Glass Mounting Technology of LSIs for LCD Modules, Proc. of 6th IMC (SHM), PP. 183-189 (1990)
- 25) 斎藤雅之: インジウム合金バンプを用いたCCD-COG実装技術, 第29回SHM技術講演会講演予稿集 (SHM), PP. 21-26 (1991)
- 26) K. Sakuma et al: Chip On Glass Technology with Standard Aluminized IC chip, Proc. of the 1990 Int. Symposium On Microelectronics (ISHM), PP. 250-256 (1990)
- 27) 高橋渉他: 導電性粒子を用いたCOG実装技術の検討, 1991年電子情報通信学会春季全国大会講演論文集 (5), SC-7-17, PP. 309 (1991)
- 28) 坂本泰宏, 岡野哲之, 玉置和雄, 頼明照, 貫井孝: 微細ピッチワイヤバンプとACFを用いたベアチップ実装, 第10回回路実装学術講演大会講演論文集, (社)回路実装学会, ISSN 1341-3716, PP. 163-164 (1998)
- 29) Y. Sakamoto, H. Matsubara, K. Yamamura and T. Nukii: Flip Chip Bonding Technology using Resin for Adhesion, Proc. of the 1999 International Symposium on Microelectronics (IMAPS), PP. 143-148 (1999)
- 30) 荘司郁夫, 藤原伸一, 清野紳弥, 小林紘二郎: AuとIn-48Snはんだの界面における金属間化合物成長過程, 回路実装学会誌 13, [1], PP. 24-29 (1998)
- 31) 荘司郁夫, 折井靖光, 小林紘二郎: Auバンプを用いたフリップチップ接合部の組織と熱疲労特性, 溶接学会論文集, 第16集第2号, PP. 215-222 (1998)
- 32) 荘司郁夫, 折井靖光, 小林紘二郎: フリップチップ接合用はんだのせん断特性と熱疲労強度との関係について, Proc. of the 4th Symposium on 'Microjoining and Assembly Technology in Electronics (MATE)', PP. 199-204 (1998)
- 33) K. Yamamura, H. Atarashi, N. Kakimoto, N. Sakota, H. Sato, M. Miyauchi, K. Naito and T. Nukii: Flip-Chip Bonding Technology for GaAs-MMIC Power Devices, Proc. of the 1993 International Symposium on Microelectronics (ISHM), PP. 433-438 (1993)
- 34) 北岡幸喜, 迫田直樹, 柿本典子, 山村圭司, 貫井孝: アンテナ一体型ミリ波伝送モジュール技術, 第9回マイクロエレクトロニクスシンポジウム論文集 (MES1999), PP. 81-84 (1999)

総 説

超清浄空間としての真空中で動かすには

土 佐 正 弘*

Smooth Motion and Transfer in a Vacuum as Super Clean Atmosphere

by Masahiro TOSA

1. はじめに

物質を構成する原子の配列や構造を設計図に基づいて単原子レベルで制御して新材料を創製することができることは材料を開発するものにとっては一つの夢であろう。このような単原子分子レベルで材料を取り扱うためには同レベルでの汚染となる気体分子の吸着を極力排除しなければならない。雰囲気からの気体吸着による表面汚染の問題点は気圧が 10^{-10} Pa 以下となる極限環境(自然界では高度 3 万 6 千 km 以上の衛星軌道上), すなわち, 極高真空を提供することで解決できる。極高真空空間では 1 mm^3 中には数個~数十個程度しか気体分子が存在しないためにその表面吸着による汚染は原子レベルでは無視できる。したがって, 極高真空中では材料を単原子スケールで取り扱うことが可能になり, あたかも機械構造図面や建築設計図をもとに一個ずつ原子を結晶格子に組み上げて, 特殊な人工的構造を持つ次世代材料を自由に創製できるであろう

しかしながら, 材料としての性能を評価できるレベルまで新材料を形作るためには, 超清浄空間である極高真空中で試料表面の清浄化, 蒸着, 加工, 特性分析, 性能評価等のすべての多段階操作を行える一貫プロセスが不可欠であり, プロセスで各操作を行う機器装置の間を試料がその表面や雰囲気を超清浄性を損なわずに円滑に搬送と受け渡しを行えることが要求される。このような超清浄な真空雰囲気を劣化させる汚染源としては, ガス放出源として, 主に真空容器壁系, 真空計電子源フィラメント系, 真空排気系などがあげられるが, 特に, メートル

単位の試料移動装置, および, インチワームやピエゾでは時間がかかりすぎるセンチメートルレベルの作動距離が必要な試料精密位置決めステージ等駆動系では, 真空環境特有の摩擦・摩耗の増大により, ガス放出のみならず, 微粒子等のダスト発生, さらに最悪の場合には, 摩擦増大による駆動部の焼き付けによる動作不能に陥る。

そこで, この超清浄空間を汚染しうる摩擦現象を抑制もしくは排除するために, 精密駆動を行う必要のある試料ステージ系では, ガス放出汚染源となる有機系潤滑油を用いなくて摺動における低摩擦化を実現できる固体潤滑材¹⁾による被覆技術や表面改質法の開発が, また, 長距離高速運搬を行う必要のある搬送系では無接触で摺動が伴わない搬送システムの開発がそれぞれ必要不可欠となる。ここでは, 超清浄空間としての極高真空を原子レベルでの材料開発環境として実現するべく旧金材研でこれまで行ってきた低摩擦超真空摺動材料の開発と磁気浮上型極高真空一貫プロセスの構築についてまとめて紹介したい。

2. ステンレス鋼の低摩擦化

2.1 表面研磨した SUS304 ステンレス鋼の摩擦特性

代表的な真空用材料である SUS304 ステンレス鋼について表面研磨による表面粗さ形態の違いが真空中摩擦特性に及ぼす影響について検討した²⁾。304 鋼板を $0.5 \mu\text{m}$ 径のアルミナ研磨剤で鏡面に機械研磨した試料 (MP), さらに, これを 1 (硝酸) : 2 (塩酸) : 3 (蒸留水) の腐食液に 3 min 浸漬した化学研磨試料 (CP), および, 電解複合研磨試料 (ECB) の 3 種類の表面処理試料とした。

この試料について, SUS304 鋼製の鏡面研磨球圧子 (3.175 mm 径, $R_y=60 \text{ nm}$), 印加荷重 0.49 N , すべり速度 0.5 mm/sec , 摩擦距離 5 mm の条件にて, 同一

*独立行政法人 物質・材料研究機構
ナノマテリアル研究所ナノデバイスグループ
(旧文部科学省金属材料技術研究所)

場所を同一方向に繰り返し、大気圧および真空圧力を交えた雰囲気中で摩擦測定を行った。用いた摩擦測定器は、基本的な計測システムとして確立されているパウデンレーベン型摩擦試験器を改造して真空中で作動できるように構成部品を真空対応にしたものである。摩擦力は、ステッピングモーター駆動による一軸移動ステージ、バランスアームに取り付けたボール圧子、および、この直上に取り付けた分銅皿に分銅の乗せ換えによる印加荷重によって、動歪みゲージで検出できるよう設計した。なお、最大表面粗さ (Ry) は触針式表面粗さ測定器で、また、硬度はビッカース硬度計を用いてそれぞれ測定した。

真空摩擦の測定結果を図1に示す。室素中 (大気圧: 1.013×10^5 Pa) における3種類の試料は、摩擦係数 μ は、0.1~0.25の範囲にあったが、雰囲気圧力を下げていき、超高真空域 (10^{-6} Pa) となると、いずれの試料の μ も0.4前後の値となり、試料による差はほとんど認められなかった。しかしながら、高 μ 値に移行する真空圧力域は、試料によって明確な違いが見られ、ECB試料が1 Pa、MP試料が 10^{-1} Pa、CP試料が 10^{-5} Paの順に μ の増加が観察された。なお、各試料のビッカース硬度 (Hv) は、ECB試料が262、また、MPが244、さらに、CPが257とほとんど同一硬度であった。

図2に表面荒さプロファイル (Hv値も併せて表示) 測定結果を示す。ECB試料表面がきわめて平滑で、ついでMPもやや表面平滑であるが、CPはかなり凹凸があり複雑な表面形状をしていることがわかる。なお、各試料の最大表面粗さ (Ry) は、ECB試料が $0.03 \mu\text{m}$ 、MPが $0.15 \mu\text{m}$ 、CPが $0.14 \mu\text{m}$ であった。

このような μ の増加する真空域の違いの原因としては、試料のサブミクロンレベルでの表面粗さに起因する表面吸着物の離脱性にあると考えられ、そこで、表面粗さを精密に形態制御して大気中と 10^{-6} Pa 台の超高真空

中で摩擦 μ を測定した結果を図3に示す。処理方法に関わらず $70 \text{ nm} \sim 0.2 \mu\text{m}$ のレベルの表面粗さを持つ試料が超高真空中でも低摩擦が得られることがわかる。これは、 70 nm 以下の表面粗さでは、表面が非常に平滑になり、炭化水素系吸着物や汚染層が比較的真空空間へ脱離しやすくなり、摺動により超高真空中では清浄表面が現れやすく、一方、 $0.2 \mu\text{m}$ 以上の表面粗さでは、吸着物が試料表面凸部分に供給されにくくなり、この凸部分の清浄面を圧子先端面が直接摺動するために摩擦 μ が増大するものと考えられ、潤滑を促進すると考えられる吸着物の接触部への供給の大小が摩擦の違いに影響したものと推測される。

2.2 セラミックコーティング SUS304 ステンレス鋼の摩擦特性

エッチング液や研磨剤など用いない環境にやさしいドライクリーニングプロセスにより簡便に表面を改質すること

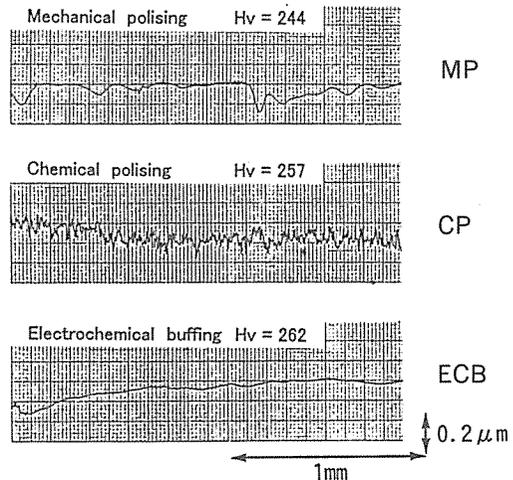


図2 表面研磨したステンレス鋼の表面粗さ (Ry)

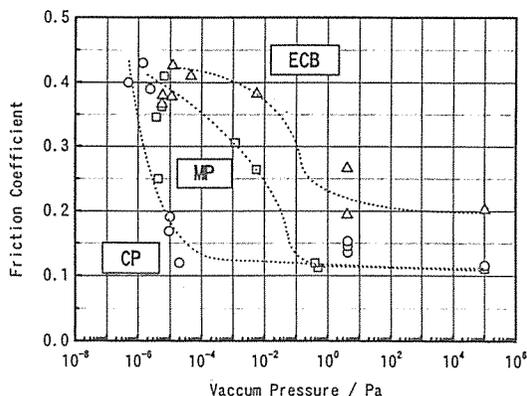


図1 表面研磨したステンレス鋼の真空摩擦 (μ) の測定結果

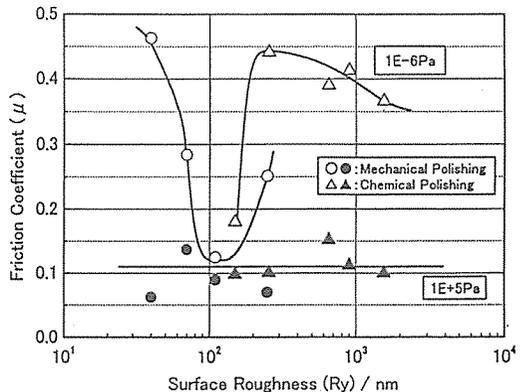


図3 表面粗さの真空摩擦に及ぼす影響

により低摩擦化を検討した³⁾。古典的な凝着理論によれば、摩擦 μ は、剪断強さが小さいほど、また、硬ければ硬いほど小さくできるため、真空材料の水素透過遮断コーティング材料として用いられている窒化チタン(TiN)⁴⁾を硬質被膜として、また、同じく真空材料の低ガス吸着コーティング材料として用いられている層状化合物である六方晶窒化ホウ素(BN)⁵⁾を剪断されやすい材料として用い、被覆法には高周波マグネトロンスパッタ蒸着プロセスを用いた。

図4にTiNコーティング試料の真空摩擦 μ の測定結果を示す。蒸着時間を変えて膜厚の異なる試料を作成したが、膜厚と同時に表面粗さ($R_{max} \sim R_y$)も異なった皮膜が形成された。図中に表面粗さと膜厚を記載する。膜厚が小さくても $0.2\mu\text{m}$ の表面粗さを有するTiN被覆試料が超高真空中でも摩擦が低くなることわかる。

図5にBNコーティング試料の真空摩擦 μ の測定結果を示す。なお、BN単体では鋼基板との密着性が芳しくないため銅と共スパッタ蒸着することにより高い

密着性の混合被膜(CuBN)を作製した。CuBN被覆試料は、中、高、超高の各真空域において大気圧雰囲気とほぼ同じ0.1以下と低い摩擦係数となることがわかる。

表面粗さが $0.2\mu\text{m}$ となるTiNコーティング試料の低真空摩擦のメカニズムは、研磨したステンレス鋼表面における場合と同じで潤滑を促進する吸着物の凸部接触部分への適度な供給あると考えられ、また、BNコーティング試料では、潤滑を促進するBNの銅凸部接触部分への供給あると考えられる。

3. 極高真空一貫プロセス

3.1 極高真空の発生

旧金材研で構築した磁気浮上搬送極高真空一貫プロセス⁶⁻⁸⁾は、長距離搬送用の本線系(約10cm径、長さ1.7mの円筒管真空容器ユニットが4本直列接続される)、本線チャンパー同士をつなぐ連結系(約10cm径、高さ25cmの円柱真空容器ユニットが5基)、および、接続装置に試料を出し入れする引込み支線系(約15cm径、長さ:1.8mの円筒管真空容器が5本)の3系から構成される。極高真空プロセスの全体写真を図6に、また、その構成を図7に示す。

各線のチャンパーは、内壁表面からのガス放出を抑制するためにSUS316Lステンレス鋼を用いた。316L鋼を用いたのは、ニッケルの12%添加により溶体化処理時に磁化しやすいフェライト相が形成しにくい点と、炭素の低含有量により溶接部での粒界腐食が起こりにくいという2点である。各チャンパー内壁の表面処理としては表面切削、および、電解研磨(燐硫酸系)処理を行った後 450°C で真空脱ガス熱処理を行った。各ユニットを急激な真空圧力上昇から保護するために各支線ユニットチャンパーを仕切る真空隔離バルブとしては金属製圧空式ゲートバルブを用いて高温ベイキングとガス放出の低減をはかった。

真空排気システムとして、本線系の円管容器ユニット4本および支線系の円管容器ユニット5本にそれぞれ一台ずつ設置し、総計9台のイオンポンプ(排気速度: $0.2\text{m}^3/\text{s}$ 以上)を常時動作させ、さらに、各イオンポンプに内蔵されているチタンゲッターポンプ($1.6\text{m}^3/\text{s}$ 以上)を随時動かすことにより 10^{-10}Pa 以下の極高真空が安定して発生することができる。図8に本線および支線の各1ユニット分の容器内空間を担当する真空排気系統図を示す。このユニット1基に対して薄膜作製装置や表面分析機器などの真空機器を1台接続することができ、基板試料についてその作製した超清浄表面を維持しながら接続機器装置間での受け渡しを実現される。さらに、このユニットを追加連結していくことで、接続機器

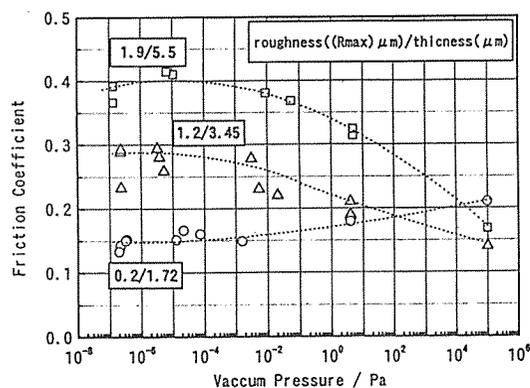


図4 TiN被覆したステンレス鋼の真空摩擦(μ)の測定結果

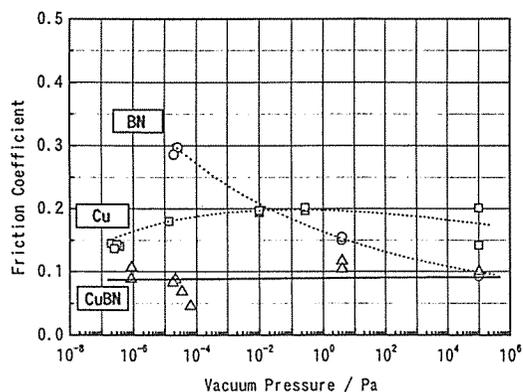


図5 BN被覆したステンレス鋼の真空摩擦(μ)の測定結果

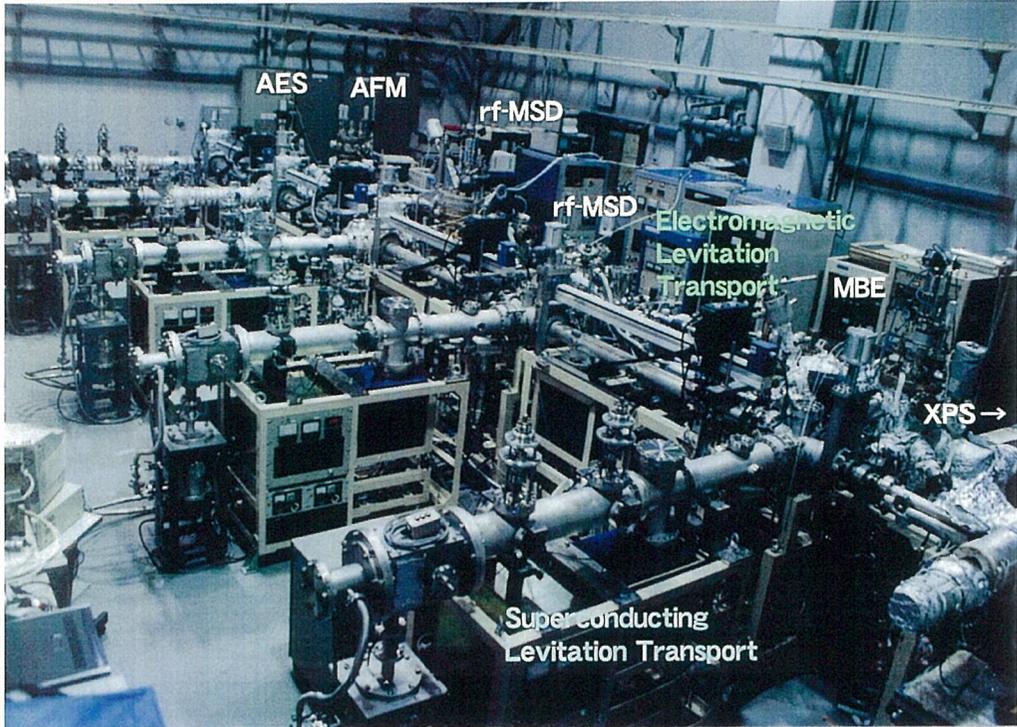


図6 極高真空一貫プロセスの外観

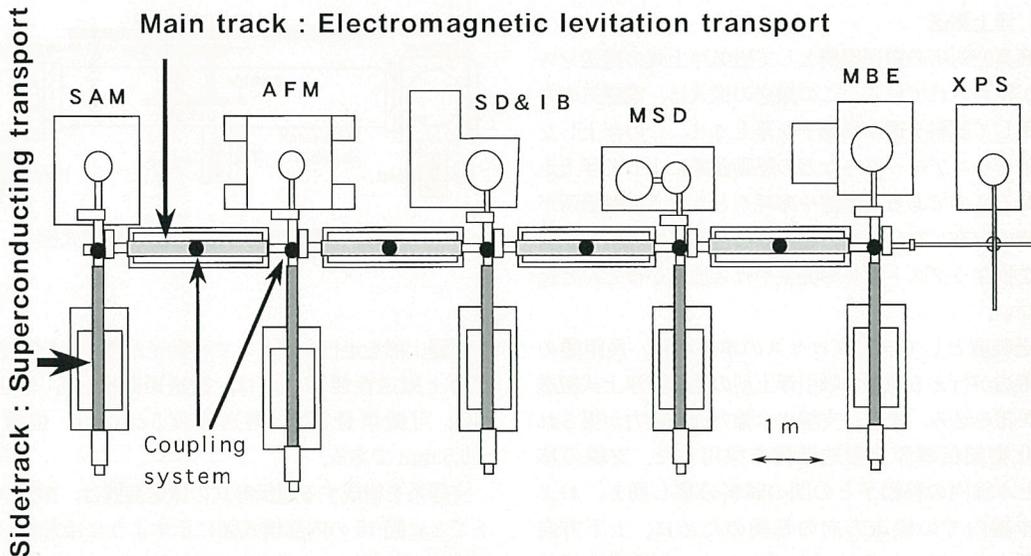


図7 極高真空一貫プロセスの構成

を何台も何十台も増設していくことが可能となる。大気から超高真空までの粗引き真空排気用としては、タンデム型ターボ分子ポンプ（排気速度 $0.5 \text{ m}^3/\text{s}$ と $0.2 \text{ m}^3/\text{s}$ の2台を直列連結して排気）を採用した。ターボ分子ポ

ンプを直列に配置したのは、水素に対する圧縮比を増大させることにより超高真空排気性能を向上するためである。また、雰囲気圧力の測定は極高真空領域でも高感度のエクストラクターゲージを用いた。

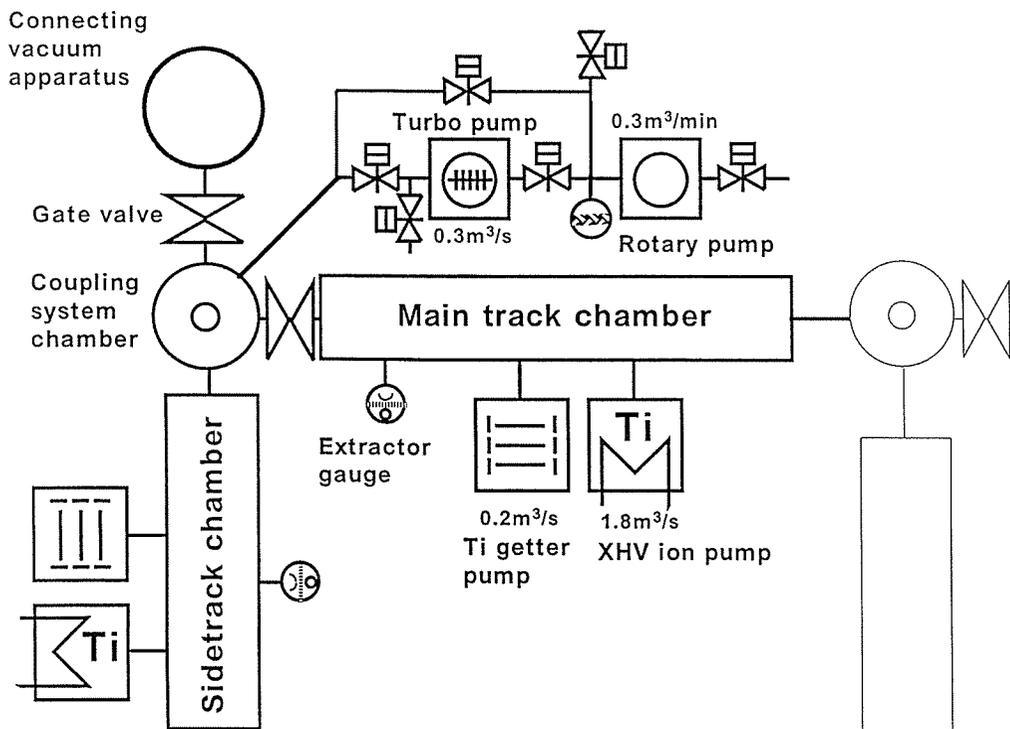


図8 真空排気系統図

3.2 浮上搬送

極高真空対応の搬送機構として磁気浮上式の搬送システムが注目されている。この搬送の様式は、電磁気の利用して試料を運ぶ移動子を浮上させ、この浮上した移動子をリニアモーターなどの駆動機構によって浮上走行させるものである。摩擦や摩耗をとまなう接触箇所が駆動時に存在しないため、超清浄な極高真空環境や試料表面を損なうダスト粒子の発生やガス放出がほとんど起こらない。

搬送装置として一貫プロセスの本線には、長距離の浮上搬送が行える電磁気吸引浮上型の電磁石浮上式搬送機構を組み込み、また、支線には強力な制動力が得られる酸化物超伝導浮上搬送機構を採用した。支線の移動子と本線内の移動子との間の試料の移し換え、および、本線内での搬送方向の転換のために、上下方向へ駆動するエアシリンダ方式のホイスト機構を採用した。

本線系を構成する電磁石搬送機構は、4連の直列ユニットからなり、各搬送ユニットは、図9に内部構造を模式的に示すように、真空容器外部のリニア駆動の固定子と真空容器内の浮上搬送移動子から構成される。固定子底部の電磁石が真空容器内の移動子上部の電磁鋼板を磁力により吸引することで移動子が浮上し、固定子が真

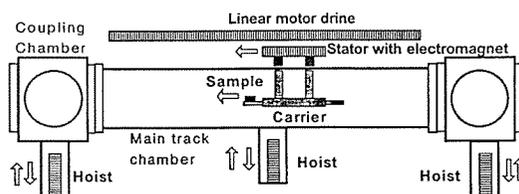


図9 電磁石浮上搬送機構の模式図

空容器上部を走行することで移動子が浮上走行する。主な浮上搬送性能としては、搬送距離 2.1m, 浮上高 4 mm, 可搬重量 50 g, 搬送速度 5 cm/sec, 位置精度 ± 0.5 mm である。

支線系を構成する超伝導式の搬送装置は、搬送ユニットごとに図10の内部模式図に示すように冷却槽 (90 K 以下まで冷却) に内蔵する $\text{Yb}_{a_2}\text{Cu}_3\text{O}_{7-x}$ 系の酸化物超伝導磁石と移動子下部のサマリウムコバルト磁石との超伝導相互作用 (ピン止め効果) による磁束分布保持現象による生ずる強固な復元力によって移動子が浮上し、電動モーターにより走行する超伝導磁石に牽引されて試料を浮上搬送することができる。このため、電磁石を用いた常伝導磁気浮上に比べて、浮上高を制御したり振動を防止したりするための制御装置などを必要とせず、比較的

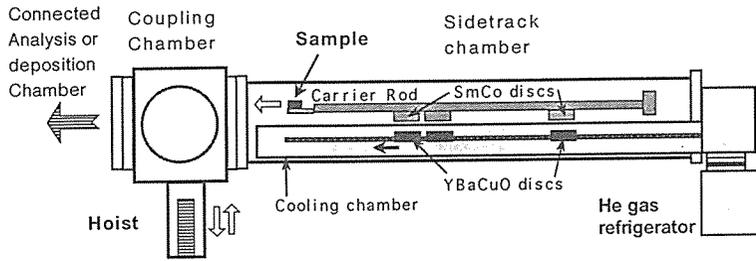


図10 超伝導浮上搬送機構の模式図

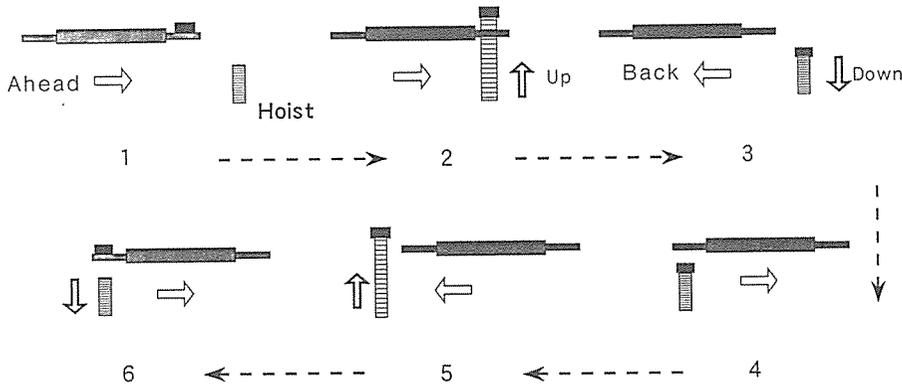


図11 試料方向転換の一連の操作

装置本体が小型化できる。減圧冷却したヘリウムガス(ガス圧約1 kPa)を超伝導体が配置された冷却槽内に充填することにより、超伝導体を遷移温度の90 K以下まで冷却した。主な浮上搬送性能としては、搬送距離1m、浮上高5mm、可搬重量100g、搬送速度3cm/sec、位置精度±1mmである。

本線と支線との試料の受け渡し、および、本線内での試料搬送方向の転換にはホイスト機構を用いて行った。図11に試料搬送方向転換の一連の操作を示す。移動子一端のフォークに搭載される試料ホルダーが一連のホイストの上下操作により移動子の他端のフォーク上へ移すことで、試料搬送の方向を換えると同時に、各連結ユニットでこの動作を繰り返すことにより長距離を搬送していくことができる。また、突発的な停電に対処するために無停電源を配置した。この補助電源の緊急作動により、走行中に停電しても移動子が速やかに初期位置まで移動した後緩やかに着地するために、落下の衝撃による装置の損傷の危険性を回避することができる。

接続真空装置として一貫プロセスには、走査型オージェ電子分光分析装置(SAM)、薄膜作製装置(MBE)、および、表面原子間力顕微鏡(AFM/STM)など総計6

台の超高真空機器を接続され、この装置機器間で磁気浮上搬送により自由に所定の接続真空機器試料ステージから他の試料ステージまで試料を超清浄表面のまま搬送受受できる。

3.3 超清浄搬送

試料を浮上搬送させて受け渡しを行う操作として、超伝導磁気浮上型の搬送装置内のステージから常伝導磁気浮上型の搬送装置内のステージまでエアシリンダ式ホイスト機構を介して試料を受け渡すことを試みた。超伝導磁気浮上型の搬送移動子から常伝導磁気浮上型の搬送移動子へ試料を受け渡す際にホイストの上下駆動時のみ 10^{-9} Pa若干圧力上昇が観察されたが、超伝導磁気浮上型の搬送、および、常伝導磁気浮上型の搬送のいずれの駆動様式においても圧力変動は 10^{-10} Pa以下の極高真空圧力域の圧力変動以下に押さえることができた。

オージェ電子分光分析器内で銅基板をアルゴンイオンエッチングし超清浄表面になったことをオージェスペクトルとして確認した後、スパッタ蒸着ステージまで約6mの距離を磁気浮上往復搬送し、搬送前後の試料表面組成をオージェ分析した結果を図12に示す。搬送後の試料表面でも炭化物系汚染および酸素系の吸着物等は測定限界以下であり、したがって、本一貫プロセスは表面

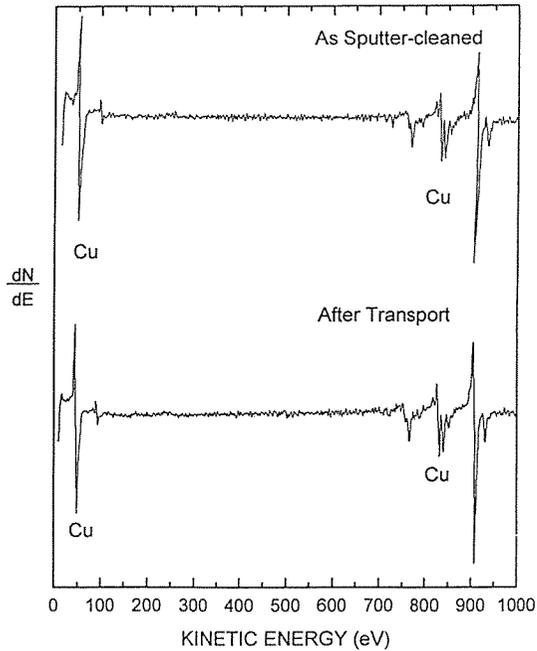


図 12 搬送前後の銅清浄表面のオージェスペクトル

分析器レベルでは超清浄試料搬送が実証されたといえる。

4. おわりに

精密位置決め試料ステージ系の摺動の低摩擦化のための表面改質法、および、無接触で摺動が伴わない長距離磁気浮上搬送システムを開発し、超清浄空間としての極

高真空環境の汚染源である摩擦現象を抑制もしくは排除するめどがつくとともに、さらに、常伝導磁気浮上長距離用搬送装置と超伝導磁気浮上短距離用搬送装置の2方式の搬送装置を大型極高真空システムに組み込んでガス放出を起こさず極高真空圧力域の変動以下で浮上走行させ超清浄試料搬送することに成功した。このように極高真空一貫プロセスの構築および関連技術等に成功したことにより、近い将来極高真空中で一貫した操作、特に、原子レベルで新材料を創製していく次世代材料開発プロセスの実現が期待される。

参 考 文 献

- 1) 西村 允, 真 空, 42 (1999), 791
- 2) 笠原 章, 金 龍成, 土佐正弘, 吉原一紘, 真 空, 43 (2000), 986
- 3) 土佐正弘, 笠原 章, 金 龍成, 吉原一紘, 表面科学, 21 (2000), 44
- 4) 池田佳直, 斎藤一也, 塚原園子, 一村信吾, 国分清秀, 平田正紘, 真 空, 41 (1998), 507
- 5) 土佐正弘, 板倉明子, 吉原一紘, 日本金属学会報, 32 (1998), 775
- 6) 土佐正弘, 笠原 章, 吉原一紘, 真 空, 40 (1997), 156
- 7) 土佐正弘, 笠原 章, 李 京燮, 吉原一紘, 真 空, 42 (1999), 443
- 8) M. Tosa, Kyung Sub Lee, A. Kasahara and K. Yoshihara, Vacuum, 60 (2001), 167

総 説

無酸素銅の現況と今後の展望

矢島健児*, 小出正登**, 浅尾晴彦***

The Present and Latest Technological Development
in Oxygen Free Copper

by Kenji YAJIMA, Masato KOIDE and Haruhiko ASAO

1. 緒 言

銅は優れた電気伝導性・熱伝導性および良好な加工性、耐食性を有し広く電気・電子工業材料分野で使用されている。銅の種類には純銅、黄銅、青銅そして各種銅基銅合金などがあり、JIS (Japanese Industrial Standard: 日本工業規格) と開発銅合金合せて国内には 200 種類以上の銅がある。その銅の中で無酸素銅は耐水素脆化性を有し、非磁性そして良好な加工性を持つことから我が国の電子産業界発展を支える重要な基礎素材として成長し続けてきた。

近年無酸素銅は我が国での先端技術分野に必要な大型加速器、放射光実験設備の構成部材として、さらには電子産業界の高度技術化要求に沿って、超高真空・超高電圧機器・超伝導器部材、高集積 IC 搭載用リードフレーム用素材、そして半導体の本体内部に形成される銅配線用素材、また IT 世界を支える移動体通信基地アンテナ部材、IT のグローバル化を支える海底ケーブルのシールド材として用いられ、現在も幅広い材料特性の改良並びに製造技術の開発が押し進められている。

我が国においては無酸素銅が量産化された歴史は比較的浅く、1966 年三菱金属鉱業(株) (現在の三菱マテリアル(株)) の技術陣により、小名浜製銅(株)で生産能力 2,000 t/月の規模で開始され、同時期に生産を開始した日立電線(株)との二社が、無酸素銅の供給を続けてきた。現在世界の伸銅業界の無酸素銅の供給能力は大手 9 社合せて約 30 万 t/年強であり、世界的にも無酸素銅は工業的基礎素材、特に電子産業界での基礎素材として広く用い

られ発展を遂げている。

本報告では純銅を代表する無酸素銅を中心に、その製造から材料開発における現況を述べると共に今後の技術展開について紹介する。

2. 純 銅 と は

現代社会において銅は鉄、アルミニウムについて三番目に多く使用されている金属である。一般的に金属は工業的に純金属の状態よりも合金として使用されることが多い。しかしながら銅の場合には合金としてよりもむしろ純銅のまま使用される量が圧倒的に多い。その理由としては、純銅が良好な加工性を有し、銀に次いで良好な電気伝導性・熱伝導性を有し適度にバランスの取れた材料であるからである。

工業用純銅の用途は、現代社会を支える電気および熱の伝送媒体として使用される電線素材と伸銅品とに大別される。ここでは圧延、押出しの方法で板・条・棒・線・管などに加工される展伸材用素材としての伸銅品用純銅を中心にして紹介する。純銅は JIS-H-2123 では三種類：酸素含有量は JIS に規定はないが、普通 0.025~0.05 % に制御されたタフピッチ銅 (ETP; Electrolytic Tough Pitch Copper: JIS 合金番号 C1100)、非金属のリンを脱酸剤として酸素含有量を低減したリン脱酸銅 (C1201, C1220, C1221) さらに酸素濃度を 0.001 % (10 ppm) 以下とした無酸素銅 (C1011, C1020) に大別される。これらの化学成分および用途を表 1¹⁾にまとめて示した。

タフピッチ銅は電解精製されたカソード銅をシャフト炉で溶解し、酸素含有量を 0.025~0.05 % に調整後連続鑄造圧延法により電線素材である直径 8~22 mmφ 銅荒引線として製造される。また、押出素材として円柱状のピレットあるいは圧延素材として断面が長方形のケー

*三菱マテリアル (株) 非鉄材料技術研究所 主任
研究員

**三菱マテリアル (株) 銅加工製品部長補佐

***三菱マテリアル (株) 執行役員 工学博士

表1 各種純銅の種類及び化学成分

種類	名称	合金番号	化学成分 %					参考用途例	参考特殊及び用途例
			Cu	P	O	その他			
無酸素形銅	1種	C1011	99.99以上	0.0003以下	0.001以下	Pb 0.001 以下 Zn 0.0001 以下 Bi 0.001 以下 Cd 0.001 以下 Hg 0.0001 以下 S 0.0018 以下 Se 0.001 以下 Te 0.001 以下		電子管用の棒・線・管など 電子管用の板・条など	電気・熱の伝導性、展延性・絞り加工性に優れ、 溶接性・耐食性・耐熱性がよい。 還元性雰囲気中で高温に加熱しても 水素脆化を起こすおそれがない。 電気用、化学工業用など。
			2種	C1020	99.96以上	-	0.001以下	-	線・棒・管・ブスバーなど 板・条・ブスバーなど
タフピッチ形銅		C1100	99.90以上	-	-	-	棒・線・管・ブスバーなど 板・条・ブスバーなど	電気・熱の伝導性に優れ、 展延性・絞り加工性・耐食性・耐熱性がよい。 電気用、蒸留がま、建築用、 化学工業用、ガスケット、器物など。	
りん脱酸形銅	1種	C1201	99.90以上	0.004以上 0.015未満	-	-	棒・線・管・ブスバーなど 板・条など	展延性・絞り加工性・溶接性 耐食性・耐熱性・熱の伝導性がよい。 C1201は、還元性雰囲気中で高温に 加熱しても水素脆化を起こすおそれがない。 C1201は、C1220及びC1221より電気伝導性がよい、 ふろがま、湯沸器、ガスケット、建築用、化学工業用など。	
			2種	C1220	99.90以上	0.015~0.040	-	棒・線・管など 板・条など	

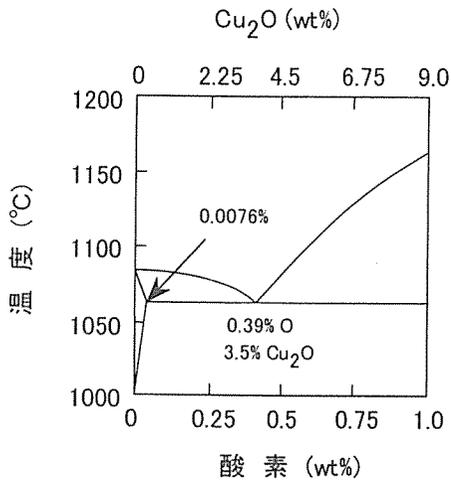


図1 銅-酸素系状態図

クに铸造され、その後の圧延加工を経て各種ブスバー等の導電材料に広く使用されている。タフピッチ銅の特徴は導電率が101% IACS (International Annealed Copper Standard: 焼鈍した軟銅について20°Cにおける固有抵抗が1.7421 μΩcmであり、これを標準として100% IACSと1913年に定められた単位²⁾)と高く、熱伝導性も高いことである。図1³⁾に銅-酸素の状態図を示す。酸素は銅中に極わずかの溶解度を持っているが大部分の酸素はCu₂O-Cuの共晶となって晶出し、粒界粒内に分散する⁴⁾。また、酸素は銅中に含まれぬ不純物元素を酸化物として固定するので一般的に有益とされている。一方、ロウ付け処理に代表される水素を含有する還元性ガス中でタフピッチ銅を加熱すると水素は、銅中に拡散して、Cu₂Oとして存在する酸素とCu₂O+H₂→2Cu+H₂O↑の反応によって水蒸気となる。そして写真1に示すいわゆる水素病(水素脆化)を引き起こし、割れなどの欠陥原因となる。この対策として酸素含有量の少

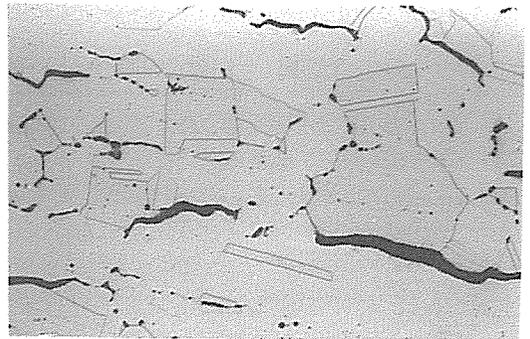


写真1 タフピッチ銅の水素脆化組織

ない銅が必要となり、りん脱酸銅・無酸素銅が開発された。

りん脱酸銅は一般的にはシャフト炉出の銅溶湯にりんを添加して作られるが、その添加量の多少により材料特性も変わる。りん脱酸銅中のりんは0.004から0.04%までの範囲で調整されている。りんは銅中に固溶すると導電率を低下させるので高導電率を要求する材料には用いられないが、還元性雰囲気中ロウ付けを必要とする素材には水素脆化を引き起こさず、その良好な加工性・熱伝導性と合せ、優れた純銅である。普通りん脱酸銅はりん添加量を0.02%程度としたものが多く使用されており、この場合導電率は90% IACS程度である。鈴木・上田等⁵⁾はりん添加量と絞り加工性について検討した。彼等は0.02%りん添加により、積層欠陥エネルギーを低下させ再結晶組織の方位として絞り性に有害な{100}方位を減少させ加工性を向上させるとした。現在りん脱酸銅はこれらの特徴を生かし、エアコンなどに用いられる肉厚の薄い熱交換器用配管材、さらには内面溝付き配管材、給水給湯用途に使われる建設用配管材として加工使用されている。

タフピッチ銅、りん脱酸銅、無酸素銅の常温から

700°Cまでの高温引張特性を図2に示す。タブピッチ銅と無酸素銅では400°C付近での中間温度脆性（伸び、絞りの値がその温度付近で小さくなること。）を示しているが、リン脱酸銅ではこの現象が認められず、いずれの温度でも加工性が良好であることがうかがえる。

無酸素銅は文字通り酸素濃度が極めて少なく、水素脆化がなく、また導電率も100% IACS以上で、タブピッチ銅の水素脆化とリン脱酸銅の導電率の低下といった短所を改善した純銅として、当初は真空管用材料などに使用されてきた。そして、その量産技術としては真空溶解法にかわって、電気炉溶解を使いCOガスで純銅溶湯中の酸素を還元する製法が1932年にU.S Metals Refining Co. によって開発された⁶⁾。1948年にはASTM (American Society for Testing and Materials) B 224で無酸素銅の規格が制定された。1977年JISでも無酸素銅の板・条の規格が制定され、国内でも本格的な供給体制が整った。JIS-H-2123, JIS-H-3100規格では耐水素脆性、高導電率性を保証するために酸素含有量を0.001% (10 ppm) 以下、低融点金属のPb, Znなど8種類の不純物元素含有量が規定されている。

3. 伸銅品の生産推移

図3⁷⁾に主要国の伸銅品生産推移を示した。生産量では米国が圧倒的に一位で、1999年には約180万tを生産した。日本は最高量を記録した1991年のみトップとなったが、最近では米国に大きく水をあけられている。1999年の主要国の品種別生産量を図4⁷⁾に示した。ドイツでは合金管（黄銅管）のウェイトが他国に比べ高く、イタリアは世界最大の合金棒（黄銅棒）の生産国となっ

ている。米国と日本と比較した場合、日本が上回っているのはほぼ銅板条のみである。図5⁸⁾には日本国内の主要品種別生産量の推移を示したが、ほぼ銅条だけが順調に伸びていることが分かる。銅条のほとんどはICリードフレーム材、端子コネクタなど電子部品として消費されており日本の伸銅業が電子産業に牽引されていることがうかがえる。

4. 無酸素銅の製造工程

三菱マテリアル(株)での無酸素形銅の製造工程概要を

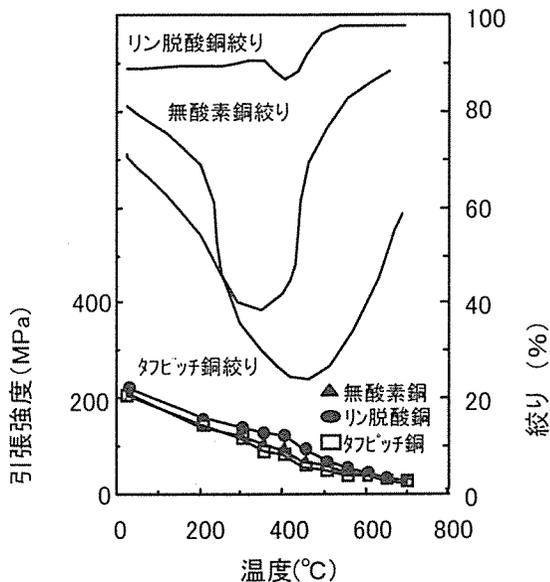


図2 各種純銅の高温引張特性

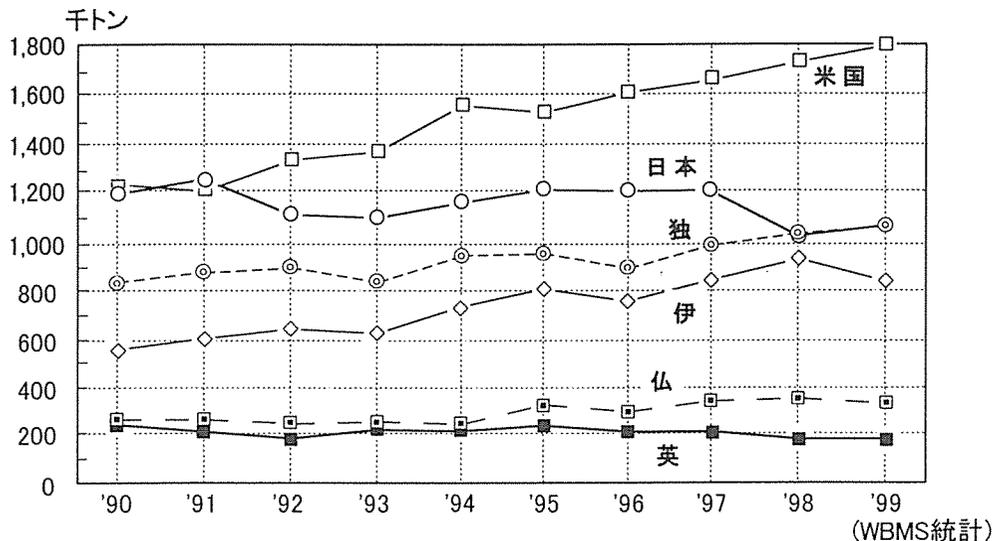
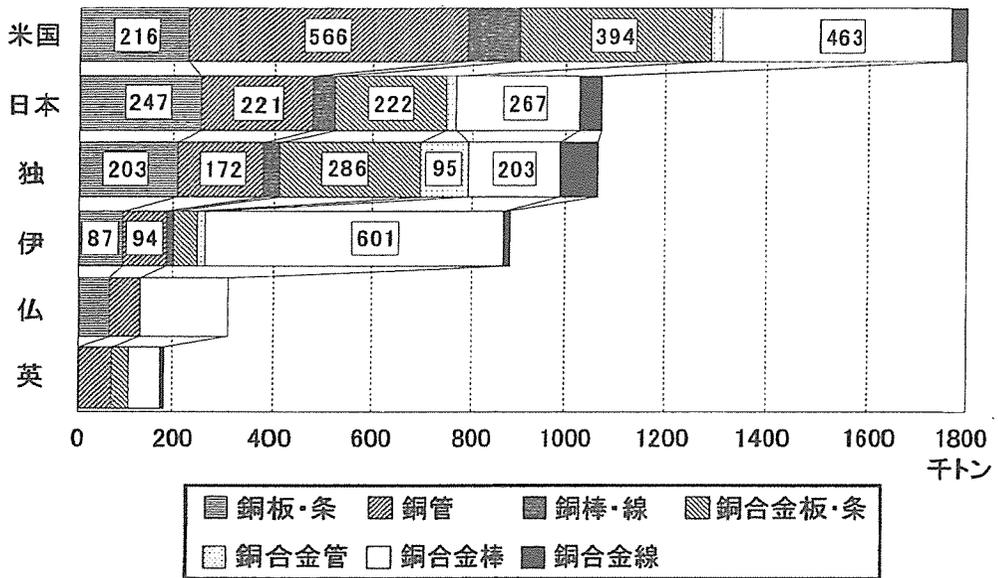


図3 主要国の伸銅品生産量



(仏は銅・銅合金の区別なし)

図4 1999年品種別生産量

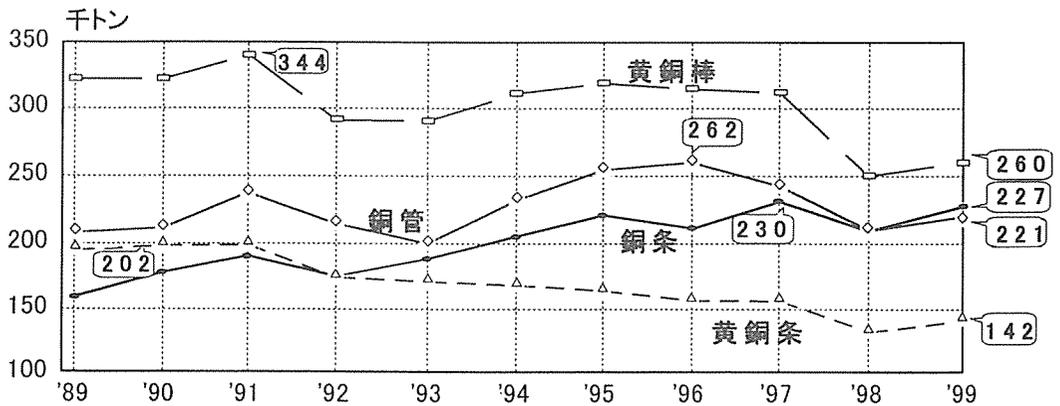


図5 日本国内の品種別生産推移

図6⁹⁾に示す。本工程では原料カソード銅(約1000mm×1000mm×15mm約200kg/枚)を、液化天然ガス燃焼タイプのプレヒータ内で約1170Kまで予備加熱して、連続的に溝形低周波誘導炉(1000kw/基×2基)で10t/hの溶解速度で溶解する。その後溶銅は不活性ガスでシールされた移送樋を通りタンディッシュを経て水冷ジャケット形の鋳型を持つ鋳造機に導かれ各種断面形状を持つ形銅に鋳造される。鋳造中モールド内湯面は連続的にセンサーで一定レベルとなるよう制御されている。鋳塊は水冷後所定の長さで切断され、コンベアーにより地上レベルまで搬送される。その後

所定の検査を経て出荷される。現在製造可能な最大寸法は、ケーキ鋳塊では厚さ260mm×幅1050mmまたピレットでは直径385mmである。そして、長さは最大で6000mm、重量では10t/本のものでが鋳造可能となっている。

無酸素銅の酸素濃度をできるだけ低下させて安定的に鋳造するには、溶銅を雰囲気中の酸素、水素に汚染させることなく取り扱うガスシール技術そしてホール等のガス欠陥の少ない鋳造技術の開発を必要とした。

溶銅中の水素と酸素は溶銅の接している雰囲気中の水蒸気と次の平衡式に従う¹⁰⁾。

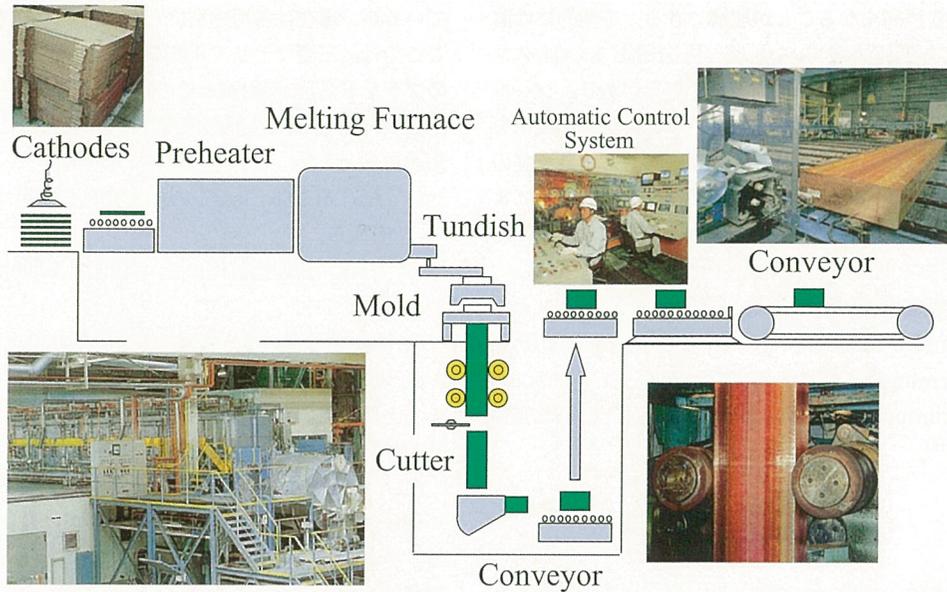


図6 無酸素形銅の製造工程

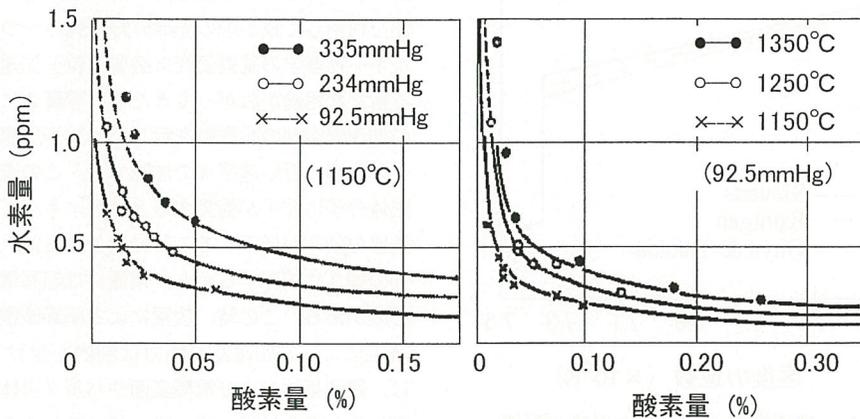
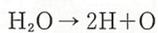


図7 溶銅中の水素および酸素量と水素気圧及び溶銅温度との関係



(1)

平衡定数 K は (2) 式で示される。

$$K = \frac{[H]^2 \times [O]}{P_{H_2O}}$$

(2)

[H] : 溶銅中の水素濃度

[O] : 溶銅中の酸素濃度

P_{H_2O} : 雰囲気中の水蒸気分圧

る水素量は低くなることを示唆している。

一般に熔融金属中の水素ガス量は Sieverts の法則に従う¹¹⁾。

$$H = K \sqrt{P_{H_2}}$$

ここで H : 溶湯中の水素量

P_{H_2} : 雰囲気中の水素分圧

K : 定数

図7に溶銅中の水素、酸素量と水蒸気圧との関係を示した。この図から雰囲気中の水蒸気分圧が一定の場合、酸素濃度が低下すると平衡する水素量は高くなる。また溶銅の温度が低い程、同じ酸素濃度であればそれに平衡す

溶銅中の水素を低減するためには、空気を遮断する還元雰囲気中の水素分圧を低減する必要があることが直感的に分かる。また図8¹²⁾に純銅の水素溶解度におよぼす温度の影響を示したが、これより溶銅の温度が高い程、

水素溶解度が高くなることが理解できる。工業的には溶銅の温度を低下させることは、移送樋あるいはタンディッシュでの熱バランスがとれず限界があり、シールガス中の水蒸気分圧の低減化および水素分圧の低減化を図り、無酸素銅の酸素濃度を低減し、同時に水素濃度の低減を図る。現在、シールガスの性状、設備の改良により溶銅の酸素濃度は1 ppm 以下、また水素濃度も0.2 ppm 程度まで低減可能な操業技術が開発されている。

その他無酸素銅荒引線の製造法としては、アメリカのG.E (General Electric) 社において開発されたDIP法(Dip Forming Process)がある。また、フィンランドのOutokumpu社が開発したUp ward法と呼ばれ製造法がある¹³⁾。

5. 無酸素銅について —特性と用途—

無酸素銅の一般的な分類はJIS-H-2123に記述され

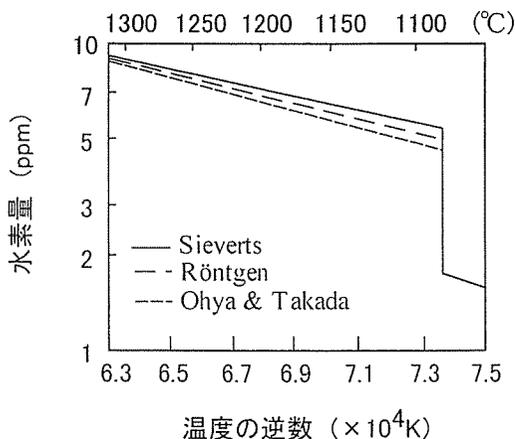


図8 純銅の水素溶解度におよぼす温度の影響

ているが、現在は各用途別にさらに細かく分類できる。ここでは、三菱マテリアル(株)のMOF(高性能無酸素銅のブランド名)の使用例とその技術的な背景を俯瞰する。

表2に当社の高性能無酸素銅の種類とそれらの主な用途をまとめた。これらの特徴としては

- 1) ASTM F68 Class 1の規格を充分満足する品質を有する。
- 2) RRR(残留抵抗比)を、>300(>500)を保証する。
- 3) 真空中でガス放出量が少ない。
- 4) 導電率が高い。(102.3%IACS)

とまとめることができる。また各規格値と各種MOFの分析値の一例を表3¹⁴⁾にまとめて示した。

5.1 電子管用無酸素銅

電子管には送信管、受信管、マイクロ波管などがある。その中で主に無酸素銅が使用されているのは大電力送信管やマイクロ波管の真空容器を兼ねた外部陽極である。電子管用無酸素銅は優れた電気・熱伝導性、耐水素脆化性、異種材料との良好な接合性、真空中でガス放出量が少ないなどの特性を持っている。近年、これらの特性を利用して我が国の先端分野研究の一つである高エネルギー物理学の基礎研究に必要な粒子加速器用材料として新たな用途が広がってきた¹⁵⁾。写真2には粒子加速器の加速器空洞の設置例を示した。粒子加速器は電子、陽子を光速に近い速度まで加速する。この際、僅かな残留気体分子に粒子が衝突するとそのエネルギーを失い、加速器の効率が低下することになる。また、加速性能は電界の強さに依存するから、電極には超高電圧を負荷する必要がある。この時、放電による絶縁破壊が起こる臨界電圧によって加速器の能力は制約を受ける。臨界電圧は、残留気体および電極表面やバルク自体の清浄度に依存すると言われている。従って、これらの材料には高真

表2 高性能無酸素銅の種類

種類	特徴	製品形状	用途
電子管用無酸素銅 (MOF for Electron)	・酸素濃度が低い ・水素脆化を生じない	・ピレット、ケーキ ・鍛造部品 ・押出部品(線・棒)	・電子部品 ・ガスケット ・真空環境 ・高温電極溶接 ・バックングプレート
マグネトロン用 無酸素銅 (MOF for Magnetron)	・酸素濃度、水素濃度ともに特に低い ・加熱時のガス放出が少ない ・水素脆化を生じない	・ピレット ・鍛造品または機械加工部品	・マグネトロン ・高真空環境 ・高電圧電極
超伝導用無酸素銅 (MOF for Superconductivity)	・残留抵抗比 RRR>300(>500) ・水素脆化を生じない ・不純物濃度が極端に低い	・ピレット ・押出部品(線・棒)	・超伝導安定化材料 (MRI等)
ASTM F68 クラス1 (MOF-SOF STM F68 Class1)	・酸素濃度、水素濃度ともに特に低い ・水素脆化を生じない ・加熱時のガス放出が少ない ・理想的な金属学的組織	・ピレット、ケーキ ・鍛造部品 ・押出部品(線・棒)	・粒子加速器 ・高真空環境 ・高電圧電極

表3 MOFの化学成分(無酸素銅の規格との比較)

Standard	Copper	O	Pb	Zn	Cd	Hg	P	S	Bi	Se	Te	Sb	As	Mn	Sn	Fe	Ag	Si	H	Ni
Oxygen Free Copper																				
CDA C10200	>99.95%	≤10																		
ASTM B170(Grade 2)	>99.95%	≤10																		
MOF OF	>99.997%	2	2	0.2	<0.1	-		3	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	-	0.2	3	8.2	NS		0.9
OFC for Electron Devices																				
CDA C10100	>99.99%	≤5	≤5	≤1	≤1	≤1	≤3	≤15	≤1	≤3	≤2	≤4	≤5	≤0.5	≤2	≤10	≤25	NS		≤10
ASTM B170(Grade 1)	>99.99%	≤5	≤5	≤1	≤1	NS	≤3	≤15	≤1	≤3	≤2	≤4	≤5	≤0.5	≤2	≤10	≤25	NS		≤10
MOF for Electron	>99.997%	1	1.8	0.2	<0.1	<0.1	NS	4	0.1	0.1	0.1	0.2	0.2	<0.1	0.1	1.8	8	1.0	0.5	0.9
MOF for Magnetron	>99.998%	1	1.0	0.2	<0.1	<0.1	NS	3	0.1	0.1	0.1	0.2	<0.1	0.1	0.7	8	<1.0	0.3	0.5	
MOF for Superconductivity		Stabilizer for superconductivity RRR ≥300(RRR≥500)																		
Class 1 OFC		Total <40ppm																		
CDA C10100	>99.99%	≤5	≤5	≤1	≤1	≤1	≤3	≤15	≤1	≤3	≤2	≤4	≤5	≤0.5	≤2	≤10	≤25	NS		≤10
ASTM F68 Class 1	>99.99%	≤5	≤5	≤10	≤1	≤1	≤3	≤18	<10	<10	<10	-								
MOF-SOF	>99.998%	1.5	1	0.1	<0.1	<0.1	<0.1	3	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	<0.1	0.1	1	8	<0.1	0.4	0.5
6-Nine OF Copper																				
MOF 6-Nine	>99.9999%	<1	<0.03	<0.05	<0.08	<0.1	0.01	0.1	<0.01	<0.06	<0.05	<0.02	<0.05	<0.05	0.1	0.09	0.02	-	0.02	

(注) MOFの値は代表値、NS:規格なし、RRR:Residual Resistivity Ratio



写真2 粒子加速器

空保持のため、上述した特性中でも特に放出ガス特性が重要となる。従って、材料の残留ガスが少ないこと、あるいはベーキングによる残留ガスの除去が容易であることなどの特性を持ち、しかも清浄度の高い無酸素銅が必要となった¹⁶⁾。

無酸素銅から真空中に放出されるガスの殆どは水素ガスであるため、原料素材の鋳塊中の水素濃度を低減することが重要である。しかし、放出ガス特性は水素濃度だけに依存するわけではなく、水素と相互作用する固溶酸素濃度の影響も受ける。無酸素銅鋳塊中の酸素と水素との存在状態を観察した結果を図9に示す。測定はCAMECA社製投影型SIMSを用いて行った。スパッタリング開始直後には認められなかった位置に10分後O⁻、H⁻イオン像が現れている。これらの位置は一致しており、H⁻イオン像のみ検出されることはなかった。このことから、鋳塊中のマイクロホールは凝固時に放出される水素と酸素との相互作用によるH₂Oガスであることが十分予想される。

次に図10に酸素を2ppm以下で変量した無酸素銅鋳塊を10⁻¹⁰Torrの真空中で773Kに加熱したときの水素ガス放出速度を示す。図中As cast材の水素ガス放出

速度と酸素濃度との間に相関はないが、測定前に773K×60minの脱ガス処理を施した場合、酸素濃度が少ないほど加熱30min後の放出ガス速度が小さくなっている。

酸素濃度の高い無酸素銅ではバルク中の水素がバルク外へ拡散離脱しようとする時に酸素と遭遇すると、そこにH₂Oを形成してポイドとなりバルク内にトラップされると考えられる。そして、H₂Oポイドを形成してバルク中に捉えられた水素は長期的に見ればゆっくり解離、離脱するスローリーク現象となり、いわゆる枯れにくい材料となる。逆に、酸素濃度が低い無酸素銅ほど水素が酸素にトラップされる確率が低くなるので容易に拡散除去することが可能で、より超高真空材料に適しているといえる¹⁷⁾。

電子管用無酸素銅の米国規格ASTM F68-82ではマイクロポロシティをコンタミネーションとよび、1123K×30min水素ガス気流中で熱処理した金属組織を顕微鏡観察して無酸素銅素材をClass1~Class5に分類することを規定している。Class1の組織はコンタミネーションがほとんどなく清浄で結晶粒が300~350μmに均一に粗大化していることに特徴がある。これらの一例を写真3に示した。コンタミネーションは鋳塊の酸素、水素濃度の多少によるものと考えられる。つまり、酸素濃度が高いと水素濃度の多少に関係なく、水素気流中の熱処理によりマイクロポロシティが多数発生する。一方無酸素銅の酸素以外の不純物元素はコンタミネーションの原因とはなりにくいが、再結晶粒の成長抑制に関与することが予想される。例えば、鈴木・菅野等¹⁸⁾の研究では極微量のTi, Zr, Vなどの添加により純銅の再結晶促進作用が生じるのは不純物Sと添加元素とが結合して硫化物を形成し固溶S量を減少させたために生じることを見出した。さらに、宅野・石田等¹⁹⁾は723K熱処理後の無酸素銅粒界をSIMSで観察した結果、Sが粒界偏析することが直接観察されることを見出した。

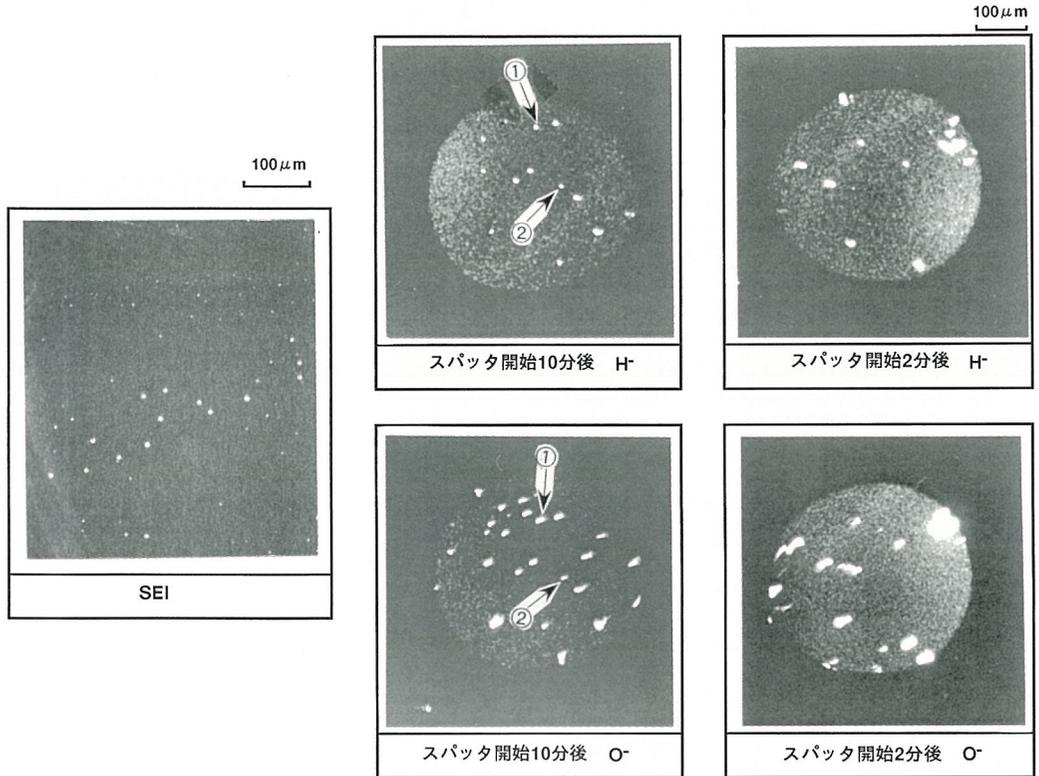


図9 無酸素銅の酸素と水素の分布

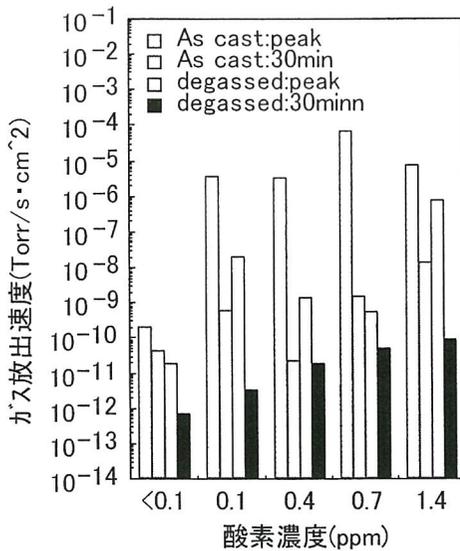


図10 無酸素銅のガス放出速度

Sを析出させた無酸素銅は水素気流中での焼鈍後に結晶粒の著しい粗大化が起こるとした。今後さらに無酸素銅中に ppm クラスで存在する不純物元素の影響を検討することが重要と思われる。

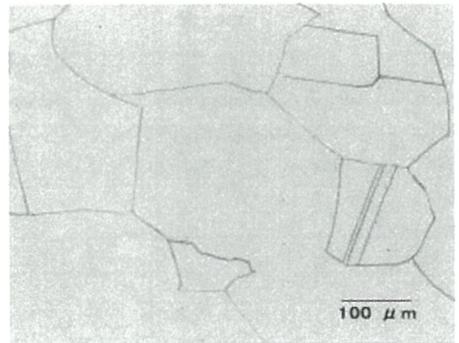


写真3 class 1 無酸素銅の金属組織

5.2 超電導用安定化材用無酸素銅

無酸素銅のもう一つの先端技術分野での用途である超電導用安定化材について述べる。安定化材の役割は超電導状態に局部的破壊が起きた時に、定常電流をバイパスさせ、元の超電導状態に早期に復帰させることである。この安定化材に無酸素銅が使用されており、極低温下での無酸素銅の導電性が極めて重要となっている。

極低温下の電気抵抗特性は 室温と液体ヘリウム温度の 4.2 K での比抵抗の比；残留抵抗比 ($\rho_{298K}/\rho_{4.2K} = RRR$; Residual Resistivity Ratio) で評価され、

この値が大きい程優れた特性とされている。ところで、金属の電気抵抗 $\rho(T)$ はフォノンに基づく抵抗 $\rho(L)$ 、空孔・転位による抵抗 $\rho(D)$ 、不純物に基づく抵抗 $\rho(I)$ の和として示される。この関係をマティエセンの法則 (Matthiessen's rule) という²⁰⁾。

$$\rho(T) = \rho(L) + \rho(D) + \rho(I)$$

銅が銀に次ぐ高い電気伝導性を有するのは、フォノンによる抵抗 $\rho(L)$ が他の金属より小さいためである。十分に焼鈍を施せば空孔・転位による抵抗 $\rho(D)$ は無視することが出来る。また、温度が決まれば $\rho(L)$ は一定となり、 $\rho(T)$ は不純物に基づく抵抗 $\rho(I)$ のみの関数となる。従って、絶対温度 0K においては $\rho(L) = 0$ となり、 $\rho(I)$ だけが存在するので、残留抵抗 (Residual Resistivity) ρ_R は $\rho_R = \rho(I)$ となる。単一の合金元素に対しては、 x を濃度とすれば、 $\rho_R(x) = Ax(1-x)$ で示される。この関係をノルドハイムの法則 (Nordheim's rule) と呼ぶ。A は溶媒原子と溶質原子によって決まる定数で、両者の原子価および原子半径の差が大きい程大きくなる。 $x \ll 1$ のような希薄合金では $\rho_R(x) \approx Ax$ となる。図 11²¹⁾ に銅の電気比抵抗 ρ_R (298K) におよぼす微量固溶元素の影響を示した。比抵抗 ρ_R は、合金元素量とともに増加し、 $\rho(L)$ は一定であるから、直線的増加は ρ_R に対する濃度依存性を示している。S, P, Fe などが銅の電気抵抗を増大させ、一方 Cd, Ag, Zn の影響は小さい。ここに示されたデータは各元素単独の効果であり、元素間の相互作用による影響は考慮されていない。図 12 には表 2 に示した 6N-Cu (Cu > 99.9999 %) 無酸素銅

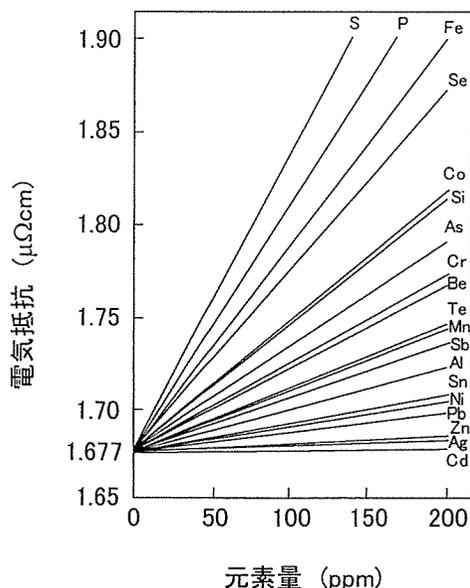


図 11 銅の電気抵抗に及ぼす微量固溶元素の影響

に Fe, S を 1 ppm 以下で変量した場合の RRR の測定結果を示した。Fe, S はこのレベルの含有量でもかなりの影響があることが確認された。特に Fe は近藤効果を示す元素であり、その元素の磁気能率により電気的に異常を示しやすいために極微量の存在で極低温の導電性を著しく低下させやすいと考えられる。Fe はもともとカソード銅中には存在せず、溶解時の炉材、工場環境からの汚染が主な原因と考えられる。従って超電専用安定化無酸素銅の製造にあたってはより厳密な操業管理および品質管理を施し RRR が 500~600 のものが供給されている。

6. 無酸素銅合金

導電材料における銅合金の発展は電気伝導率、熱伝導率をできるだけ犠牲とせずに強度向上を目指すことが最重要課題となっている。特に、半導体リードフレーム材あるいは端子コネクタ材の開発分野でこの傾向は顕著である。

半導体デバイスには小さくすればする程性能(高速化)が向上し、容量も増加するばかりでなく、省エネルギーにも寄与するというスケールン則がある。過去 20~30 年間の傾向をたどっても、スケールン則に従い、デバイスの設計サイズは 3 年間で 30% ずつ縮小し、マイクロプロセッサ上のトランジスタ数も 3 倍ずつ増加の傾向をたどっている²²⁾。このような半導体の高集積化の進展により、従来写真⁴²³⁾ に示したようなリードフレーム材の材料厚さは 0.25 mm が標準であったものが、0.15, 0.125, 0.1 mm と薄肉化の傾向にある。この薄肉化による構造上の強度低下を材料の高強度化によって補

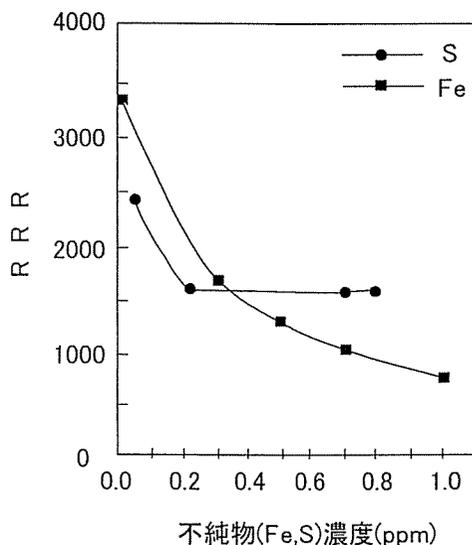


図 12 高純度銅の RRR におよぼす Fe, S の影響

い、さらに高集積化による単位当たりのジュール熱による素子の温度上昇を速やかに放熱する必要があることからリードフレーム材には高熱伝導性も要求される。

図13には各種銅合金の引張強度と導電率との関係を示した。銅合金の強化策として実用化されているものと

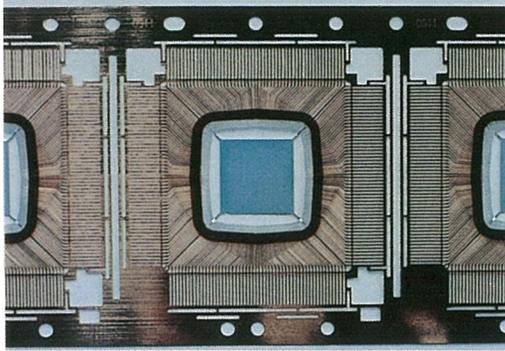


写真4 銅合金製リードフレーム材

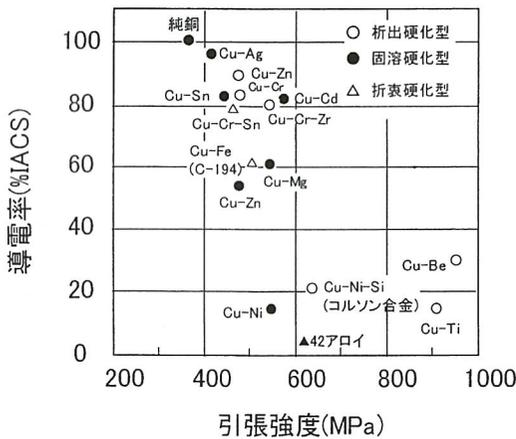


図13 各種銅合金の強度と導電率

しては固溶硬化、時効析出硬化そしてこれらの折衷タイプのものがある。合金開発初期の段階は Sn, Zn, Ag, Ni, Al などタフピッチ銅ベースでも合金化技術が確立できた固溶硬化型のもが主流であった。しかしこれらの合金化元素を強度向上のため高濃度にする、導電率は著しく低下してしまう。一方析出硬化型銅合金では添加元素として、Cr, Zr, Ti, および Ni-Si (コルソン合金) が代表的なものである。コルソン合金以外の Cr, Zr, Ti は活性度が高く、それらの銅合金自体は古くから知られていたが、従来は銅に添加した場合に酸化させずに安定的に多量に生産する技術がなかった。近年、無酸素銅の生産技術をベースとした溶解・鋳造時の還元雰囲気中でこれら活性元素を添加し、高品質な合金を多量に鋳造する技術が確立されており、各種活性元素を添加した銅合金が鋳造されるようになった。表4には三菱マテリアル㈱で溶解・鋳造されている無酸素銅ベース銅合金の一覧表を示した。現在これらの銅合金をベースに約50種類以上の銅合金が連続鋳造技術により生産されている。

図14に銅および銅合金の板・条の代表的な製造工程を示した。析出硬化型銅合金板・条の製造では特性を十分引出すため、一旦溶体化処理をかねて高温に再加熱し、冷間圧延を経て最終的には時効処理を施すなど、追加プロセスが必要である。材料的には、合金添加元素が析出分散するため素地は純化してかなり高い導電率が得られる。従って、導電率・強度の両特性をバランスよくした材料を開発する場合、この析出硬化型銅合金が、今後の主流をなしていくものと思われる。

7. 新しい展開

7.1 6N 銅

6N 銅とは、水素・窒素・酸素などガス成分を除き、各用途別に現在規格による指定は無いが、20~40種類の不純物元素の分析値合計が1ppm以下の純銅をさす。

表4 MOF 合金表

ブランド名	合金番号	化学組成 (wt%)	使用例
MOF-Ag	C10400, C10500, C10700	Ag 0.025-0.200	IC devices
MOF-AP		Ag 0.025-0.200, P 0.004-0.015	Copper radiators for power IC
MOF-AL		Al 0.500-2.000	Precision terminals and connectors
MOF-Cr	C18200, C18400, C18500	Cr 0.500-1.500	Terminals in the pressing process
MOF-CZ		Cr 0.500-1.500, Zr 0.050-0.150	Leadframe material
MOF-FP	C19210, C19400	Fe 0.100-3.000, P 0.005-0.010	High quality electrolytic plated strip
MOF-MP		Mg 0.010-0.800, P 0.005-0.010	Copper foil wire shield
MOF-Ni	C70200, C70500 C70690, C70700	Ni 0.010-11.000	Mold for the steel industry Mold for non-ferrous
MOF-NX		Ni 0.500-2.000, Sn 0.100-2.000, P 0.020-0.050	Backing plates
MOF-Sn	C50100	Sn 0.100-0.200	Electrical resistant electrode
MOF-SP	C50200	Sn 0.100-0.200, P 0.003-0.010	Trolley wire
MOF-TP	C14500	Te 0.400-0.600, P 0.004-0.012	Gas shield arc
MOF-Z	C15100, C1500	Zr 0.015-0.150	Switch parts

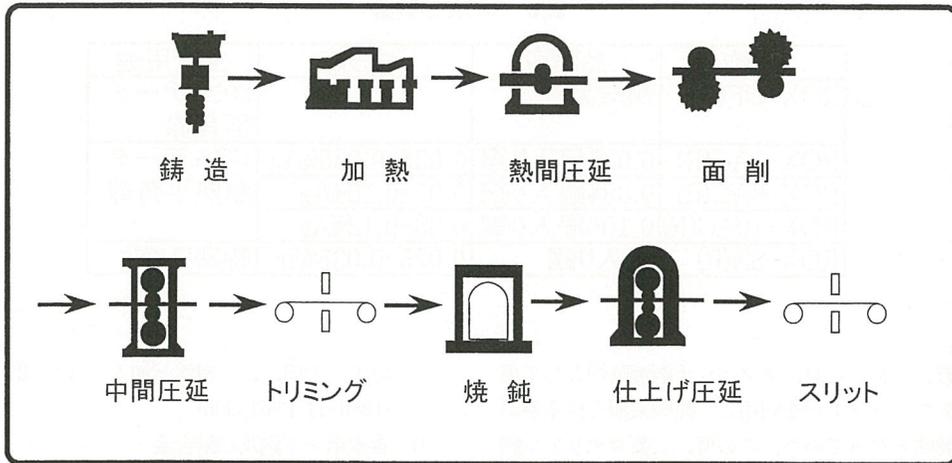


図 14 銅板材の製造工程

これら不純物元素は GD-MS (グロー放電質量分析器) により 1 億分の 1 の ppb オーダで分析されることが必要となっている。この銅は通常製造される電解カソード銅を電解精製あるいはゾーンメルティングなどの精製技術により作られるため、かつては非常に製造コストの高いものであった。しかし最近では製造技術のめざましい発展により、製造コストそのものは徐々に低下している。

6N 銅の不純物の合計は 1 ppm 以下と極微量であり、前述した RRR は通常は無酸素銅の RRR=300 前後より 1 オーダー以上高い値となる。また、6N 銅と通常レベルの 4~5N 銅との焼鈍軟化特性を図 15 で比較すると再結晶温度が 50 K 以上低下している。さらに強加工度を施した 6N 銅は数日経過すると常温でも自己軟化することが確認でき、不純物元素の固溶による結晶歪が極めて小さくなっていることが予想される。これらの特色を生かし現在は高級オーディオ用ワイヤー、あるいは半導体銅配線用ターゲット素材あるいは半導体銅配線用メッキアノード素材に利用が広がっている。

シリコンチップの配線材料としては長年アルミニウムあるいはアルミニウム合金が用いられてきたが、更なる高速化、高集積化の技術対応として 1997 年米国 IBM 社がこれをアルミニウムに比べ導電率が約 1.7 倍高い銅に置き換える方向性を発表し、銅配線技術への関心が一気に高まった。IBM 社が発表した銅配線のイメージを写真 5 に示した。

シリコンチップへの銅配線技術については配線形成法あるいは、銅の極薄膜としての特性改善、特にエレクトロマイグレーションの改善など銅材料そのものの研究課題が多数残されている²³⁾。

7.2 ROX プロセス

近年までの無酸素銅の製造プロセスは、電気炉を溶解

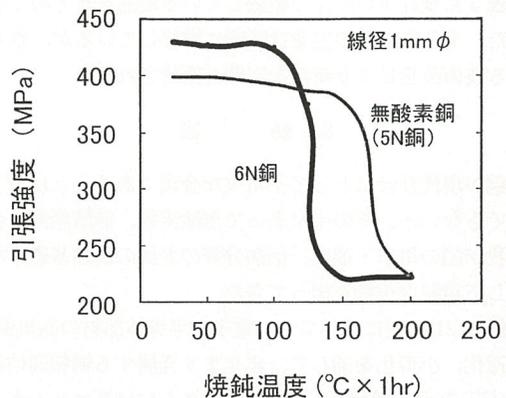


図 15 6N 銅の焼鈍軟化特性

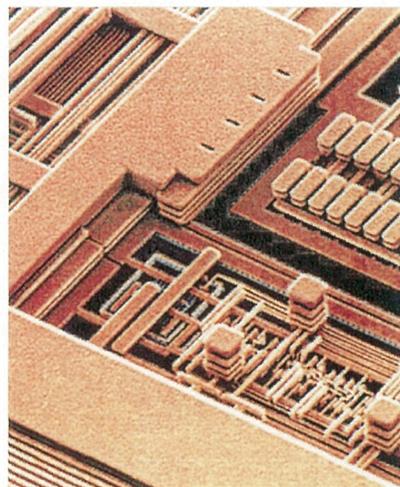


写真 5 IBM 社半導体銅配線例

表5 ROX の製品

呼称	品種名	成分	主な用途
ROX-OF(R)	無酸素銅	-	コンピュータ 平角線
ROX-3AG(R)	0.03%銀入り銅	0.025-0.035%Ag	コンピュータ
ROX-8AG(R)	0.08%銀入り銅	0.07-0.10%Ag	耐熱平角線
ROX-10AG(R)	0.10%銀入り銅	0.08-0.12%Ag	
ROX-SN(R)	錫入り銅	0.025-0.035%Sn	特殊ワイヤ

に用いる方法であったが、タフピッチ銅溶解炉として用いられてきたシャフト炉を利用して無酸素銅を作る事が世界的な興味となっていた。この度、三菱マテリアル(株)はタフピッチ銅荒引線を連続的に作る製造工程であるSCR工程(Southwire continuous rod system)において、無酸素銅線(8~22φ)を製造する技術を独自に開発した(ROX法)。

表5に現在ROX法で製造している製品をまとめて示した。ROX法での生産は順調に推移しているが、さらなる技術改良により新たな展開が期待される。

8. 結 言

銅が現代社会にとって不可欠な金属であることは言うまでもないが、その中において無酸素銅、無酸素銅合金は我が国の電子・通信、伝熱分野の発展の為に基礎素材として重要な役割を担ってきた。

銅は21世紀においても電子、半導体部材の高集積、高速化、小型化を通して、ますます発展する情報通信社会(IT革命の時代)にあっても、さらには高エネルギー分野、ナノメタラジー分野での未知なる世界でも大きな働きをすることになろう。その意味で古くて、新しい素材である銅の基礎研究もますます必要とされよう。

文 献

- 1) JIS-H-2123 形銅, JIS-H-3100 銅及び銅合金の板及び条
- 2) 日本銅センター: 銅と技術 No21 (1978), 1
- 3) 社団法人日本シェルモールド協会編: 銅合金鋳物のガスに関する文献集, 8
- 4) 日本金属学会編: 非鉄材料 P62 (1987)
- 5) 鈴木, 上田, 辻: 塑性と加工 vol. 21 No.238 (1980-11 P961-966)
- 6) 森永卓一: 銅及び銅合金
- 7) 伸銅月報 7号 (2000)
- 8) 伸銅月報 2号 (2000)
- 9) Yutaka Koshiba, Tsutomu Ma and Norihisa Iida: TMS. 2000
- 10) 社団法人日本シェルモールド協会編: 銅合金鋳物のガスに関する文献集, 40
- 11) 美馬源次郎: 金属組織学 (1960), 361
- 12) 雄谷重夫, 高田孝保: 鋳物 49 (1977), 100
- 13) 日本伸銅協会編: 銅及び銅合金の基礎と工業技術 (1994), 72, 68
- 14) 三菱マテリアル(株)技術カタログ
- 15) 矢島, 石田, 前, 浅尾: 資源と素材 '94 (秋季大会) 20
- 16) 岩村卓郎: 新素材 No5 (1991), 49
- 17) 矢島, 前: 金属 vol. 66 (1996) No1
- 18) 鈴木, 菅野: 鉄と鋼 vol. 70 (1984) No. 15
- 19) 宅野, 矢島, 前, 石田: 伸銅技術研究会誌 35巻 (1996), 204
- 20) 村上陽太郎, 亀井満: 非鉄金属材料学 (1985), 13
- 21) P.Gregory, A.J.Bangay and T.L.Bird: METALLURGIA May (1965), 207
- 22) 守山実希, 村上正紀等: まてりあ vol39, No11 (2000), 901
- 23) 三菱伸銅(株) 技術データ
- 24) 守山実希, 村上正紀等: まてりあ vol39, No11 (2000), 903

談 話 室

伝 統 の 崩 壊

熱 田 善 男*

Crashing of the Traditions

by Yoshio ATSUTA

塩出啓典先輩からのハガキ

前略。水曜会誌「脱・金太郎あめ」を拝見しました。とても啓発されました。

過去に習った知識を捨て組織から離れて一人の人間として新しい分野に進まれている事、深く敬意を表します。

私こと議員をやめてもう十年になります。私も行政書士の資格をとり街の法律家をめざして研さんしています。

祈ご活躍。奥様、娘さんによろしく。

このハガキ、平成12年(2000年)3月15日ごろにいただきました。「脱・金太郎あめ」は、第23巻・第2号で、平成12年2月発行だから、読んで直ぐにいただいたこととなります。

ご存知のように、塩出さんは、元は公明党の国会議員で、党の要職もつとめられた政治家でした。

昭和30年、冶金卒の先輩です。私が、京大へ入学したとき、塩出さんは、ポート部で活躍しておられて、私がおおきい体格をしているのに目をつけられて、入部を勧誘されたのです。

実は、私は、高校時代に肺結核で闘病のため2年間休学した体だったので、お断りしたのです。

私の事情説明が不充分だったか、ポート部の猛練習をおそれての仮病じゃないかと思われたのか、わざわざ、京大の近くの吉田中阿達町の自宅までお見えになり、親

父にお話をされていたのを、今でもおもいだします。そんなキッカケがあったのです。

私が昭和34年(1959年)に卒業して、八幡製鉄所に入ったのですが、塩出さんは、八幡の珪素鋼板工場におられ、京大の歓迎会でお目にかかり、「熱田君、ひさしぶりだね」と声をかけていただいた記憶があります。

塩出さんは、八幡の珪素鋼板に、7~8年おられたとおもいます。当時から熱心な創価学会員だったのですが、その後、光製鉄所に転勤され、やがて公明党の参議院議員になりました。

私は、その後、堺製鉄所、君津製鉄所、東横線の日吉にある基礎研究所、海外技術協力事業部(東京本社内)。それから出向して、横浜にある君津鋼板加工(株)、復帰して本社鋼管技術部。また出向して、人材スカウト会社のイムカ(株)へ。そして、特許庁の外郭団体の(株)工業所有権協力センター移り、平成11年(1999年)3月に、そこを定年退職して、正味40年間のサラリーマン生活を卒業したのです。

勤務や職業は離れ離れでしたが、年に1~2度は、近況報告の文通が続いていました。

しかし、議員をやめられてからは、文通もどちらからともなく途絶えてしまっていたので、冒頭に引用させていただいたハガキにはたいへん嬉しくおもいました。

その後の文通で、私が、松下幸之助の研究をしていることや、最近、松下幸之助をテーマに講演をする機会があることなどを、お伝えしたところ、松下幸之助と池田大作の往復書簡集「人生問答(上)(中)(下)」3巻をお贈りいただきました。

私の拙文が、水曜会誌・第23巻・第2号に、掲載されたおかげで、塩出先輩との旧交が温まり、大へん喜んで

*昭和34年・冶金(村上研)卒
経営コンサルタント/フリーライター
文京女子大学・生涯学習センター・講師
銀座駅前大学教授

おります。

また、同期の星野義夫君から、平成12年(2000年)4月の初めに、突然電話がありました。

星野君はオーストラリアのシドニーに半永住しているので、びっくりして、「いま、どこにいるんだ」と聞くと、「横浜の自宅に一時帰国だ」とのこと。

溜まっている郵便物のなかに水曜会誌があり、私の作品に気がつき、読んだよ、というのが電話の主旨だった。

それについて、内容や表現、感想など、いろいろ会話が弾み、意外にながい電話になった。

これがキッカケで、星野君の歓迎会をしようということになり、4月19日(水)、首都圏在住の34年冶金の同窓生が集まり昼食会を、銀座の串揚げ屋・磯むら、で催した。伊藤久雄君、枝徹也君、斎藤晟君、松井正治君、村上雅昭君、森孝夫君、それに星野君と私(熱田)、合計8人が集まり、旧交を温めた。これも、水曜会誌のおかげだと感謝している。

同窓会は、役所や会社など組織の中で「〇〇大出身、〇〇大出身」と云って出身学校の閥をつくるようになれば弊害もあり、いろいろ取り沙汰されるが、同じ時期に同じ学校で学んで仲間が利害を離れて旧交を温めるのは基本的には好ましい日本の伝統である。

ただ、最近の若い人々にとっては、どのようなものだろうか。私は京都の鴨沂高校出身ですが、昭和50年ごろ以降の卒業生は、同窓会に無関心で、会費の納入も悪く、総会への出席も不良で、年次毎の同期会もあまり盛んではないと聞いています。

水曜会でも、年代の若い人は、同窓会という伝統に対して、どうなんでしょうか。

身近な話題としての伝統

「伝統の崩壊」という大袈裟な題ですが、学問的な説明をするわけではありません。

上の同窓会の話が、キッカケで、このテーマが、できたのです。

停年後フリーライターとして、取材の場で、「伝統の崩壊」という現象を見聞して、とても気になっています。

水曜会の皆様のご意見やご見解など聞かせていただければありがたいとおもい、2~3の例をご紹介しますことができます。

京料理／日本料理

京料理「さつき」女将、柴田冽子さんは、私と、鴨沂高校の同期生です。

柴田さんは、中学校の時に父さんを亡くし、お母さんの実家へ引き取られて、そこから高校へ行かせても

らっていた。「母の苦勞を見ていたので、卒業したら働いて、母を楽にしてあげたいという気持ちで一杯でした」

昭和29年(1954年)卒業と同時に、町の歯科医院に勤める。朝9時から夜9時まで、12時間労働で、受付や事務、先生の助手など、忙しい仕事だった。

しかし、当時は日本経済の復興はまだで、失業者も多く、働けることが、嬉しかったそうだ。

ここで6年間頑張る。そして、独立して、喫茶店「さつき」を始める。当時は、日本経済も復興の段階で、同業の喫茶店も少なく順調に立ち上がった。

その後、場所を替えながら、「さつき」の名前で喫茶店やレストランなど、飲食店を営む。

そして、昭和56年(1981年)、現在の場所、中京区木屋町二条に進出して、本格的な京料理「さつき」を開業した。

ここは鴨川の川辺に位置して、伝統の夏の風物詩である納涼床ができる、京都の人にとっては最高の立地である。(写真1)

元は旅館だったのを改装した。日本座敷の他、伝統からは外れるが、カウンター席とラウンジを並設した。

時代の流れて、今では、有名な料亭でもラウンジ的な施設をするのが当たり前になったが、当時は珍しく、お客に喜ばれ、経営にもプラスだったそうだ。

接客の方針は、「いちげんさんは、お受けしないこと。必ず、常連のおお客様のご紹介の方に限らせていただくという昔からの京都の伝統商法できました」

お店は、京都らしく、眺望が良く、風情があり、それに歴史の場所であり、お客様に大へん喜ばれているそうだ。

歴史の場所というのは、ここは、長州藩藩邸控屋敷の一つ、今なら社宅というところか、東京へ遷都した後も、大村益次郎の京都での常宿で、暴漢に襲われたところ。司馬遼太郎原作の映画「花神」は、この「さつき」でロケ撮影が行われた。

女将の経営者としての課題は、京料理の伝統を、これからも伝え続けることのようなのだ。

「京都の飲食界も激動の時代です。有名な老舗の料亭が経営不振で大資本の傘下に入り、食に対する嗜好の多様化で、世界中の料理が提供される中で、京料理だけを売り物にしても限界があります。やはり、お客様と店との心の繋がりが第一なのではないでしょうか」と、接客の方針を守っていくのだと語っておられる。

さらに、板前の後継者の養成が大きい課題。京料理や日本料理をやろうとする若者もすくなく、やっと入店しても、封建的な伝統の世界に馴染めなくて挫折する子がほとんどのようであり、頭が痛いことである。

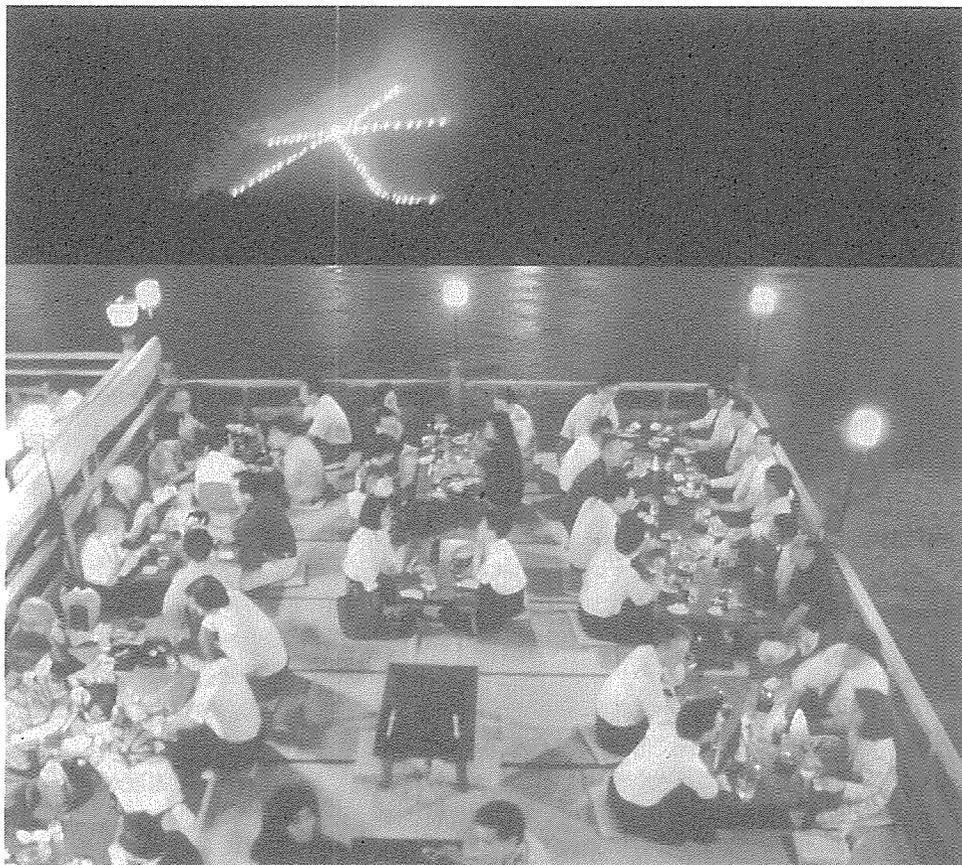


写真1



図1 「きもの」に使う家計費 (1世帯・年間)

瀕死の和服業界

いま、伝統のある「きもの」の生産地は、倒産や廃業で、再起不能になっている。

総理府統計「家計調査年報と家計調査総合報告書」を基に、平成10年(1998年)の物価に換算した、1世帯当たり「きもの」関係に使う年間の家計費の推移を見ると、昭和45年(1970年)以降、この30年間に、約1/5になり、とうとう、平成10年(1998年)には、年間1万円を切ってしまった。(図1)

業界通の話によると「きもの市場は、戦後から、伸びつづけて、昭和45年(1970年)には、約1兆8千億円と、過去の最高をつけた。しかし、その後は下がる一方で、現在の市場規模は約8千億円前後」だということである。

和服関係の物価指数は、平成10年(1998年)を1.00とすると昭和45年(1970年)は0.45であるので、1兆8千億円は平成10年の4兆円となり、現在の8千億円に対して、約1/5の市場規模になってしまった。

完全な「きものばなれ」と言える。

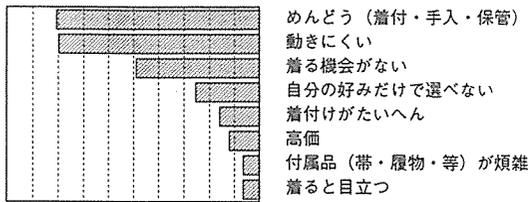
住居をとってみると、畳から板張りやジュウタン張りへ、障子や襖からドアへ、1住宅に和室は1つ。収納も、和箆箆から洋服ダンスやクロゼットに変わり、生活環境の洋風化の流れは歴然としていて、「きもの」生活にふさわしくなくなってきた。

生活全般の洋風化が「きものばなれ」の最大の原因だろう。

また、「きもの」には「制約がありすぎる」から着ないというのが大勢のようである。(図2)

あるベテランの女性販売員は「きものには複雑さ厄介

100 90 80 70 60 50 40 30 20 10 0 (%)



(社)日本衣料管理協会の報告書より作成

図2 着物を着ない理由 (アンケート)

さがつきまとうが、約束ごとを無視して、思い切って自分の感覚で選んで着てみると、着物は好きになれない。専門家は過去のマニュアルにとらわれてうるさいことを言うが、そんな事をいっているから、現代ツ子嫌われてしまったのです」と、取材に答えてくれた。

過去には販売量の落ちこみを単価でカバーしようとして、高額商品に力を入れ過ぎた業界の姿勢が「きもの」離れを促進したのだといわれているが、販売の現場で取材すると「今は、値段を下げてでも売れない」という。

しかし、取材でおあいした「きもの」関係者の思いは強く、「絶対なくしたくない」と、伝統文化としての価値を強調するが、それは伝統文化に対する挽歌としてしか聞こえないのである。

瀕死の、この伝統文化をよみがえらせるためには、破格の超発想が求められるのではないかと、合掌。

お米を食べなくなった日本人

日本人とお米は縁が深かった。白いご飯、赤飯、炊き込みご飯、寿司、お茶漬け、おかゆ、おじや、お餅、煎餅、団子、等々。食文化の中心だったお米。

脱穀後のわら。わらも完全活用してきた日本人。わら葺の屋根、壁土の補強材、むしろ、ふご、米俵、納豆のわら、みの、草履、わらじ、雪靴、縄、締め縄、等々。わらは伝統文化そのものであったが、社会の近代化の流れの中で完全に消滅してしまった。

長い歴史の中で、お米は、単に食物としてでなく、文化として日本人に深いかかりあいを持ってきた。

お米は、江戸時代には、1年間に、1人1石、現在の単位で150kgも食べていたのである。

ところが、戦後、お米ばなれが進んでしまった。今では、米の消費量は昔の半分になっている。(図3)

食生活が贅沢になり、副食の品数が増えた。昔のお祭りやお祝いのお膳のような、現在の夕食の献立。

洋食あり、中華あり、エスニックあり。フレンチ、イタリアン、無国籍、等々、世界各国の料理が入ってきた。

家事を受け持っていた、女性の社会進出も、食生活へ強く影響している。

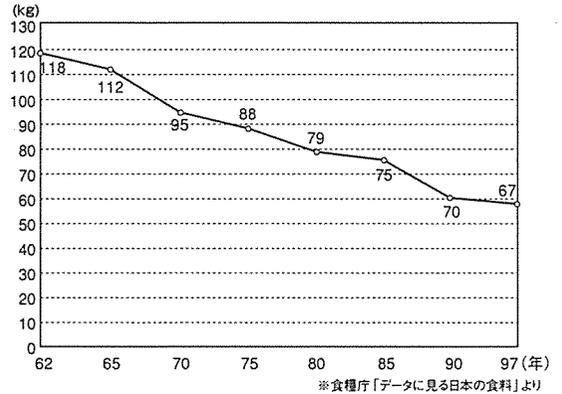


図3 一人当たり米の年間消費量

好みの点からは、白いご飯と味噌汁というご飯党に對して、パン食が好きという日本人が多くなった。麵類の熱狂的なファンも増えた。

しかし、食糧庁のモニター調査によると、最近はお飯が復活してきた兆候も見られる。パンや麵類が減ってご飯が増えた家庭が16%に対してご飯が減ったのが7%となっている。

しかし、変化がないという家庭が44%で、米ばなれ状況は急には変わらないと思われる。

お持ち帰り弁当の隆盛をみると、お米に期待したい。しかし、朝はトーストという手軽さがパンの普及の原因とも言われている。

主婦連の調査では、おいしいお米、お米は味、味を保証してくれる銘柄米が人気がある。(図4/図5)

男の高校生を3人抱えている主婦の話では「とにかく、食べ盛りなので安いお米が一番です」という事だった。

しかし、子供が巣立ったご夫婦は「私達はお茶碗1杯、時々主人がおかわりをするぐらいですから、値段より美味しいご飯です。ナショナルブランドの銘柄米では、まだ物足りなく、特別おいしい米を、遠方の農村から、宅配で送ってもらっています」とのこと。

例えば、お米の生産地で、「地元産の特別おいしいお米」を集荷して、都会へ宅配で販売して、収益を維持しているお米屋さんもある。

また、「赤ゴメ」「黒ゴメ」「香り米」といった古代米を積極的に取り入れて、販売増進をはかり、古代米だけでも年間で35トンも販売実績を挙げているお米屋さんの例もある。

商品は無農薬米にシフトし、店は純日本風に変え、差別化をはかっているお米屋さんのことも聞いた。

東京の下町のお米屋さんで、毎月元気市と称するイベントを催し、朝どり野菜、農家の手作り味噌やこんにゃくなど、全国のコダワリ商品を集め、それと同時にお米

の特売をして、営業成績を挙げているのも聞く。

以上のような状況を、概括してみると、お米は、昔は主食で必需品だったが、今は副食と同列の嗜好品になってしまったといえる。

この変化に対応するために、昭和36年(1961年)制定の旧農業基本法は、ほぼ40年振りに大きく改正され、平成11年(1999年)7月に新基本法が施行された。農家の地位向上を主な目的にした旧基本法が、新基本法では、食料の量的・質的な安定供給、自給率の向上、消費者重視、安全性確保、国土の保全や伝統の継承、など、食料・農業・農村と消費者を広く意識して、農業生産法人の株式会社化も認めている。

米ばなれを防止するために、昭和51年度(1976年度)から学校給食にご飯が取り入れられた。

ご飯給食の比率は、最初の年度は36%であったが、最近では99%となっており、週間で2.7回となっている。

これは、子供たちにも好評だと言われている。しか

し、米ばなれを防止する効果は僅少だと考えられる。

平成7年(1995年)より流通ルートの多様化制度になり、その結果、現在では自主流通米がおよそ80%を占めるようになり、国内米については、完全な自由競争市場が確立されたといってもよく、ここ数年の豊作がお米の価格を下げ、消費者には歓迎されているが、逆に小売業者にはインパクトを与えているとも聞くのである。

このような背景の中で現在の米穀販売小売業者数は：

平成8年(1996年)6月：110,352

平成9年(1997年)6月：114,030

平成10年(1998年)6月：115,830

平成11年(1999年)6月：93,154

となっており、直近に減少がみられる。

これは、経営者の高齢化と後継者不足もあるが、競争激化や売れ行き不振によるのが主因であるだろう。

そして、農地面積は、昭和35年(1960年)の609万ヘクタールから平成10年(1998年)には491万ヘクタールと減少してきた。農業従事者は昭和35年の1,175万人から平成7年(1995年)には278万人と激減している。

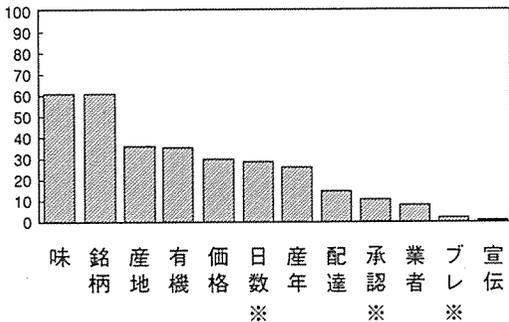
米は植物学的には、穀粒が大きい上、1粒が1シーズンで、約2,000粒に成育する大へん優れた特性を持つので、中期的な世界の食料不足を配慮する場合に欠かせない穀物である。

これらを考慮して、お米を中心にして、日本型食生活への回帰を見直す時期でもあるという識者もおられるが具体的な行動は見られない。

このように見てくると、日本伝統文化としてのお米の将来もあまり希望はなく規制緩和による自由化がすすみ安くなっても、ただ安いだけでは、米ばなれの流れは止めることはできないだろう。

健闘している和菓子

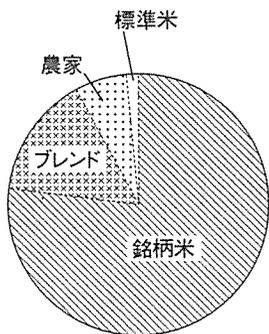
和菓子の消費は、グラフ(図6)のように、最近の15年間の推移で見ると、ケーキに比較して、羊羹や和生菓子は堅調である。煎餅もますますではないだろうか。饅



(注) 日数：精米後日数、承認：承認マーク、ブレ：ブレンド米

主婦連の米消費動向調査(1996年)より作成

図4 お米購買の理由(アンケート)



主婦連の米消費動向調査(1996年)より作成

図5 どんな米を買うのか

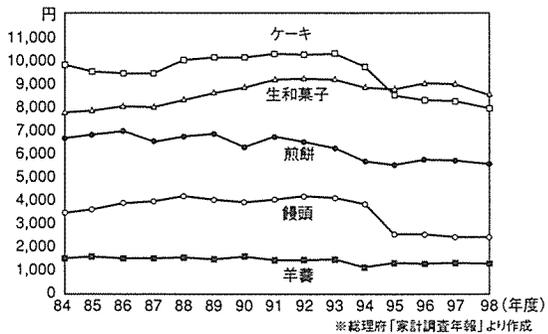


図6 菓子に関わる家計費の推移(年間/世帯)

頭が最近落ち込んでいるが、スーパー系の安価な饅頭が広く普及して金額面でマイナス要素となっているが、量的な面では変わらないのではないと思われる。

「米ばなれ」「和服ばなれ」などがすすんでいるが、現状では「和菓子ばなれ」は、見られないのだろうか。

和菓子は日本の伝統文化であった。

生まれて3日目、三つ目のおはぎを配り、お七夜には、命名をして赤飯で祝い、鶴の子餅を配る。

お宮参りのお祝の返礼には紅白饅頭などを。

初節句、ひな節句には菱餅、桜餅、ひなあられ、端午の節句には、粽や柏餅。

誕生祝いには一生餅（一升餅）を背負わせる。

七・五・三の祝には、千歳飴、赤飯、などを。

入学祝、卒業祝、成人祝には紅白饅頭、赤飯、鶴の子餅。

結婚式は、松竹梅の干菓子をすすめ、引出物には引き菓子を。

病気見舞いには、カステラ、飴類、葛湯など。

快気祝は、赤飯、紅白饅頭など。

創立、創業記念、結婚記念日、紙婚式、木婚式、……………銀婚式、金婚式、ダイヤモンド婚式、年祝、還暦、古希、喜寿、米寿、白寿、など。いずれも、赤飯、紅白饅頭など。

人が亡くなったとき、通夜のお茶菓子はしのお饅頭という、会葬者には引き菓子。

法事、初七日、……………、四十九日、百ヵ日、一周忌、……………、しのお饅頭、式菓子など。

このように、和菓子は、日本人の一生と共に生き、き人生の節目に必ず出てくる名脇役だった。

しかし、現状では、こんなしきたりを知らない人が大部分で、脇役でも何でもなくなっているのではないだろうか。

和菓子は多様である。思いつくままに挙げると、羊羹、練りきり、きんとん、有平糖、饅頭、栗饅頭、葛菓子、団子、柏餅、桜餅、大福、きんつば、鹿の子、最中、松風、かるかん、月餅、煎餅、道明寺、粽、すはま、外郎、みつ豆、石衣、カステラ、干菓子、落雁、おこし、どら焼き、大判焼き、鯛焼き、甘納豆、塩豆、五色豆、八つ橋、懐中しるこ、砂糖漬け、ポーロやサブレ、それに駄菓子系の和菓子類、ときりがない。

伝統的な分類では、おこわ類が和菓子に入っている。

煎餅は甘味煎餅は和菓子だが、普通の煎餅はは入らないという。しかし、東京赤坂のある老舗の煎餅屋の主人は、「私たちは煎餅も和菓子だと思っている」とつよく言っておられた。

それに、甘納豆は和菓子だが、塩豆や五色豆などは違うという。

このように、どこからどこまでが和菓子の範囲か、たいへんとらえにくい。

歴史を調べると、古くはくだものや木の実のことを言った。

奈良時代に中国から米を素材とする唐菓子が伝えられたが、これが団子、煎餅、おこし、などの原型だと言われている。

鎌倉時代、日常的な喫茶の風習が起り茶受けとして発達する。室町時代に入り、茶道が盛んになるにつれて、饅頭や干菓子などが作られ、京都がその中心であったため京菓子と言う呼び名が起った。

そして、茶道では、菓子は茶会の主役として独自の発達をしていくことになり、今では、全く別の世界を作り上げている。

室町末期には南蛮菓子和称する洋風の菓子が伝えられたが、カステラ、ポーロ、有平糖、などと日本化した形で今も残されている。

江戸時代には庶民的な餅菓子類の製造が盛んとなった。

歴史的にみると、幅広く奥深い世界である。和菓子は、明治以後に入ってきた洋菓子以外は、全てを含むとするのが現実的であると思われる。

全国和菓子協会が、創立50周年記念事業として制作した「ビデオ版・和菓子のつくり方専科」は、和菓子のプロを対象に一流職人の技を見て学ぶ日本で初の本格的なビデオ指導書で、基本的な和菓子だけを選んで収録しているが、それでも約70点に、全8巻となっている。

また、和菓子の製法書としてロングセラーをつづけている「新和菓子体系」（石崎利内著・金子倉吉監修/榊製菓実験社発行）には、約300点が掲載されているという。

しかし、これらの技を伝承する職人は、ごく限られた数で、それも減少の一途だとみられている。

また、和菓子好き人でも、約300点の中は、名前も聞いたことがないのも多く、日頃あじわっているのは、ごく限られたアイテムでしかない。

また、和菓子職人をめざす人は、洋菓子職人になりたい人に較べて少ないとも言われている。

一方では、和菓子製造の機械は、洋菓子用と兼用ができることもあって、粉ふるい機、穀類膨張機、煮炊攪拌機、製餡機、包餡機、煮練攪拌機、裏ごし機、焼成機、包装機、……………、等々、あり、殆ど自動無人処理可能になっている。必要に応じてライン化して大幅な省力化もできる。和菓子工場には日本の最新技術のすべてを取り入れることができる。

そこで、和菓子の将来性はどうだろうか。和菓子ファンは高齢者層だといわれているが、デパートの売り場

で、お婆さんが買っておられたので、聞いてみると、「家族では、孫のケーキが主で、和菓子は自分で買います」とのことだった。

売場の人に聞くと「若い方が買われるのは、里帰りの時の郷里のご両親へのお土産が多いようです」と。

たしかに、データ(図7)もそれを物語っている。

このように、若い層の菓子ばなれがはっきりしており、このままでは、将来は先細りで、結局「和菓子ばなれ」が起きるのは確実だといえる。

若い人に向けた営業戦略、若い人に食べて貰えるような、和菓子がないものだろうか。

かめめの玉子。南三陸を代表する銘菓といわれているが、練乳入りの黄身餡を薄い小麦粉の皮で包んだ饅頭にホワイトチョコレートをコーティングしたもの。しっとり、ほくほく感で、若い人にも好まれて、ロングセラーである。

こんな例もある。神馬屋。創業は明治8年(1875年)、東京都練馬区、東武東上線下赤塚駅近く、旧川越街道の商店街のお店。主力のどら焼。このどら焼のバリエーション17種類。小倉餡、小倉餡はストレートの他、もち入り、一粒栗入り、おた福豆入り、それから、うぐいす餡、かぼちゃ餡、くるみ入り、抹茶餡、柚子餡、いちご餡、ブルーベリー、こし餡、コーヒー。季節限定では、春に杏、秋にレーズンと柿。数量限定品として胡麻がある。店主は先代の急死のため大学3年で店を継いでから、こつこつと、餡と生地の相性を考えて研究試作をしながら、バリエーションを増やしてきたのだが、それに応じて若いお客様が増加してきたそうだ。

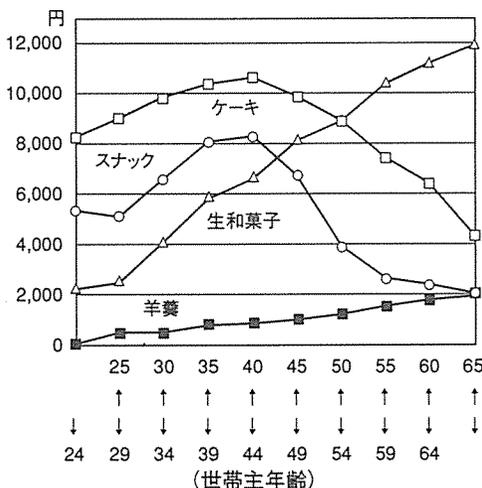


図7 世帯主年齢別・菓子に関わる家計費(1998年度)

中でも、ブルーベリーは若い女性に人気がある。レーズンのは、カリフォルニア・レーズン協会主催のコンテストの和菓子の部で受賞したこともある評判品だそうだ。

唐菓子や南蛮菓子を和風化してきた伝統。明治には、あんパンを作りだした発想。近来では、いちご大福の例もある。また、アイスクリームを大福の皮で包んだ雪見大福のアイデア。

過去のしきたりにこだわらず、和菓子と洋菓子の区別にこだわらず、いろいろと挑戦する心意気が、これからの和菓子業界に必要なのではないだろうか。

バレンタイン用にチョコレートを使った和菓子も業界の課題だろう。

需要を確保し、増加させないと、業界が衰微するのは、「和服」の例のように、生産地が駄目になり、再起不能になってしまう。

和菓子も、素材としての米粉には、うるち系ともち米系とあるが、前処理により特性が変わり、上新粉、上用粉、もち粉、白玉粉、道明寺粉などと呼ばれる。ちなみに、柏餅や草餅は上新粉で作り、大福はもち粉からである。

粉類は、他にも、はったい粉、そば粉、きな粉、かる

表1 「家計調査年報(総理府統計局)より

市名	年間家計費
仙台市	17,632円
金沢市	17,270円
盛岡市	15,381円
松山市	14,861円
山口市	14,342円
水戸市	14,211円
京都市	13,323円
秋田市	12,937円
福島市	12,892円
松江市	12,303円
静岡市	7,305円
広島市	6,684円
宮崎市	6,103円
長崎市	6,005円
那覇市	3,666円

かん粉、等々、多種類あって、品質の見分けだけでも大変な熟練がいることである。

素材に関しても、幅広く奥深いので、なかなか述べつくせないが、特別なものを1~2紹介しておく。

砂糖。特に高級品には和三盆と称する阿波（徳島県）特産の伝統的な精製法による砂糖を使用する。

高級品用の本紅は植物の紅花よりの特別精製品。文政8年（1825年）創業の宮内庁御用達業者が取り扱っている。

参考のため、主要都市の、1世帯当たりの、和菓子の年間消費金額を示しておく。（表1）

この数字からは、京都市は、意外に、脱伝統の気風が強いとも考えられる。ベストテンには入っているものの、仙台市、金沢市、盛岡市、松山市、山口市、水戸市などには、ちょっと水を空けられ過ぎているようである。

結 論 に か え て

2~3の例を見ただけで、結論はいえないが、伝統といわれているものが、遅かれ早かれ、日常生活からは消

滅してしまうのは、必至ではないかとおもわれる。

ちょうど、この原稿を書く前に、連載でやっている業種別実態レポートのテーマが「葬祭業界」で、原稿をまとめ出稿したが、取材してわかったことは、やはり伝統の崩壊であった。

葬祭業界は完全に商業主義に染まり、本来は主導権をとるべきお寺さんが、業者の下請けになりさがっている実態を知った。そうではないかと予想はしていたが、その徹底ぶりに、改めて、これでいいのかと、疑問をつよく持った。

しかし、これは、日本だけではなく、米国も、日本以上に、そうらしいことも分かり、商業主義の強さを、改めて認識しなおした。

ご意見、異議や反論、いろいろ、いただけると、たいありがたいとおもいます。よろしくおねがいます。

連絡先：熱田善男

〒276-0032 八千代市八千代台東 6-18-4

携帯 090-8744-0890/FAX047-482-9222

E-mail BQZ12305@nifty.com

研究速報

資源開発工学講座

地殻環境工学，資源開発システム工学，地下開発工学を主たる専門分野とする当講座においては，地下構造物の建設と地盤環境に関する種々の研究テーマを取り上げ，研究を推進している。平成12年度においては，教職員では講座担当指導教官青木謙治教授をはじめ，菅野強助教授及び新苗正和助手の配置教官計3名，研究室事務1名，配属学生は大学院博士課程1回生・1名，修士課程2回生・1名，修士課程1回生・3名，学部4回生・6名で研究室小計15名からなる構成で専任講座を構成し研究教育を推進してきた。以下，研究速報として修士論文研究及び学部卒業論文研究テーマ7例について，研究内容の要旨を報告する。

1. 岩盤中における放射性物質の移動現象に関する研究

高レベル放射性廃棄物の地層処分においては，多重バリアシステムにより廃棄物を人間の生活圏から隔離し，長期間安全に格納しなければならない。本研究では，岩盤中における放射性物質の移動現象を評価するために，1本亀裂及び平行2本亀裂モデルを想定し，解析的に亀裂内の物質移動現象に与えるマトリックス及び亀裂特性の影響について考察を行った。更に花崗岩と泥岩での放射性物質の移動現象についてその特徴を明らかにした。

2. 帯水層下のトンネルの合理的な湧水量予測手法の検討

事前調査によって得られたCSAMT比抵抗探査結果，地質調査結果等のデータを基に，湧水予測モデルを構築する手法に着目，事前調査データのみならずさらにトンネルの掘削進捗に伴い得られる実測湧水量データをモデルに組み込んでいくことによって，帯水層下のトンネルの合理的で精度の高い湧水量予測システムを構築した。

3. 比抵抗探査結果を用いたトンネルの湧水量予測モデル

トンネル掘削における湧水量予測モデルの構築には，岩盤の水理特性，特に地山透水係数の3次元的な正確な分布を効率よく求める新しい手法の開発が期待される。ここでは比抵抗探査結果を有効に活用し，地盤・岩盤の間隙率から地山の透水係数を推定するシステムを構築

し，実測湧水データとの整合性から合理的な湧水予測モデルを得る方法を確立した。

4. クロスホール透水試験による岩盤の水理特性の評価

複数のボーリング孔を用いて孔井間の水理特性を3次元的に評価する手法であるクロスホール透水試験の適用性について，数値解析による検討を行った。岩盤内の地下水挙動を正確に解析・把握することによって，岩盤空洞はじめ種々の地下構造物の水理学的挙動の評価に有効に役立てることができることを明らかにした。

5. 土被りの浅いトンネルにおける先受け工の効果に関する検討

都市部の土被りの浅いトンネル工事では，トンネル掘削に先行して切羽前方の地山上部を鋼管や地盤注入剤を用いて改良・補強する先受け工法がしばしば採用される。本研究では，先受け工による支保効果を反映できる解析モデル，先受け工の打設の仕様と改良効果との関係，地山条件による最適な打設方法について検討した。

6. 地下水揚水法の併用による動電学的土壌浄化技術の適用

重金属・有機塩素系化合物による土壌汚染に対して，有効な浄化技術の開発が必要である。動電学的な電位勾配を利用する手法のみの浄化効率をさらに改善するために，地下水揚水による動水勾配を組み合わせることで浄化の促進を図ることに着目した。ここでは数値解析によって地下水揚水手法の併用による浄化促進効果の検討を行った。

7. キレート剤を使用した動電学的土壌浄化技術の実験的検討

動電学的土壌浄化手法を地盤に適用する場合に，緩衝能の高い土壌への適用においてはPHジャンプの制御が必要である。ここでは，緩衝能の高い地盤が重金属(カドミニウム)で汚染された場合に，キレート剤(エチレンジアミン四酢酸(EDTA))による錯イオン生成反応を利用することによって，より効率的に浄化できることを実験的に検討した。

教授 青木 謙治
助教授 菅野 強
助手 新苗 正和

地質工学分野

地質工学分野では、地質統計学的手法による地質工学図作成、岩石材料および岩盤の劣化特性、MARモデルを用いた大型土木・岩盤構造物の計測管理、時空間統計分析による岩盤浸透流挙動の確率統計学的評価と予測、水力発電所用調整池濁度の要因分析と予測モデルの構築に関する研究を行っている。

地質統計学的手法による地質工学図作成

岩盤掘削面や構造物基礎岩盤の評価に用いる地質工学図は、ボーリング、横坑等による調査データをもとに、地質学的考察に基づいた経験的手法によって作成されているのが実状である。このため技術者の主観が入りやすく、物性値の分布に関して定量的評価を行い難いという問題がある。本研究はこれまで地下資源開発分野で用いられていた地質統計学的手法（クリッキング法）の岩盤工学分野における地質工学図作成への適用を試みたものである。今回は、滋賀県下の花崗岩からなるダムサイトの岩級区分のデータについてクリッキング法を適用し、断層のような面的な分布構造特性を考慮した解析モデルについて検討し、良好な岩級区分図を作成することができた。さらに、熊本県下の花崗岩からなるダムサイトのグラウト注入データについて適用に、注入の初期段階における限定されたデータをもとに、未施工区間および次段階のグラウト注入について精度良く予測できる解析モデルについて検討した。

岩石材料および岩盤の劣化特性

岩石材料の劣化機構の解明を行うとともに耐久性評価手法を開発するために、山梨県下のロックフィルダムのリップラップ材について劣化実態調査を行った。リップラップ材の耐久性は、岩種および岩質に密接に関係し、砂岩・泥岩のホルンフェルス、正規安山岩溶岩、花崗岩ゼノリスを含む安山岩において耐久性は良好で、自破砕安山岩、変質凝灰角礫岩、凝灰質砂岩などの多孔質岩において耐久性が劣ることを明らかにした。また、堤体位置による日射および乾湿条件がリップラップ材の耐久性に若干影響する傾向が見られた。今後、継続的なモニタリングが必要である。

次に、軟岩が乾燥・水浸によって急激に劣化するスレーキングの抑制手法について開発するために、顕著なスレーキング特性を示す新潟県下の新第三紀椎谷層の泥質岩の岩盤を対象に、Na型スメクタイトのイオン置換によるスレーキング抑制効果について現地および室内試験を実施した。その結果、岩盤についてはKCl微粒剤散布、岩石供試体についてはKCl溶液水浸によるスレーキング抑制効果が顕著であることが確認された。今後、種々の軟岩についての適用性および合理的な抑制工法について検討する必要がある。

MARモデルを用いた大型土木・岩盤構造物の計測管理

わが国では、インフラ整備の結果として莫大な量の土木・岩盤構造物を含む設備が運用されているが、今後これらの設備を安全かつ効率的に運用して行くためには、構造物の計測管理が不可欠である。大型土木・岩盤構造

物の計測管理にあたっては、一般に計測データを基にして重回帰分析による挙動分析を行い、計算値と実測値を比較することで異常の有無を判断している。しかしながら、土木・岩盤構造物の挙動は多くの要因の影響を、時間遅れを伴いながら受ける事など、挙動の管理には問題が残されており、より高精度な管理モデルの構築が課題となっている。管理モデルに要求される内容としては、①様々な要因による影響・時間遅れの影響を考慮することができること、②何らかの異常が発生したとき、確実に検知することができること、③分析評価により異常の原因を特定できること等が挙げられる。そこで、ダムの間隙水圧の計測管理を例にとり、MAR(多変量自己回帰)過程を反映した管理モデルを構築し、計測管理への適用性を過去に異常が認められた実際の計測データを用いて検証した。

間隙水圧や他の変数に関する時系列の性質が何らかの要因によって変化したとき(非定常)、回帰誤差の1次・2次モーメントは変化する。そこで、実際のデータを用いて、時系列データの定常性が失われた時刻(空間に何らかの変化が生じた時刻)を検出したところ、異常(漏水による間隙水圧低下)を明確に早期発見できることが検証された。また、MARモデルと従来の重回帰モデルを①回帰精度、②異常の検出精度について比較したところ、様々な要因の時間遅れの影響を考慮できるMARモデルは、重回帰モデルと比較して、回帰精度が非常に高く、より高い信頼性で異常を検出できることが確認された。さらに、相対ノイズ寄与率による要因分析の結果、間隙水圧と各要因の因果関係が明確になり、異常の原因を特定することができた。このような結果から、ダム間隙水圧の監視・管理モデルとしてMARモデルが高い適用性を有することが検証された。

時空間統計分析による岩盤浸透流挙動の確率統計学的評価と予測

時間と空間の両軸において同時に変動する特性値を観測値から精度よく把握するために、MARモデルと地球統計学モデルを組み合わせた新しい統計モデルを構築した。本モデルを用いて地下水変動データ(約40箇所のボーリング孔における経時的水位観測結果)のマスクングテストを行ったところ、任意時間について空間における任意位置の地下水水位を極めて高い精度で予測できることが判明した。

水力発電所用調整池濁度の要因分析と予測モデルの構築

水力発電に伴って発生した濁水を適切に管理することなく放流した場合、地球環境に与える影響も少なくない。そこで、濁水の発生要因とその影響度合いを把握し、濁水の発生を最小限にとどめるような発電所運用システムを構築することを目的として、調整池濁度の統計分析を行った。その結果、MARモデルを用いた場合に回帰精度が高いことが判明したと同時に、濁度に影響を及ぼす自然的要因(気象・調整池流入量等)・人工的要因(運用条件)およびその影響度合いが判明し、濁度の高精度な予測が可能となった。

助教授 平野 勇
助手 水戸 義忠

資源高度利用工学分野

＜採掘空洞群を有する広領域を対象とする 3次元応力解析＞

坑内採掘が進行するに従って、採掘跡空洞の数が増加し3次元になると同時に空洞の充填が進行するなど、採掘領域における構造が複雑となってくる。このような鉱山を対象として、応力集中領域の特定と採掘の進行に伴うその変化などの評価を目的とした応力解析を行う場合、広領域での3次元解析を行う必要がある。本研究では、このような複雑な空洞群を有する広領域を対象とした3次元応力解析を簡単に効率良く行うため、採掘跡空洞群をほぼ力学的に等価で単純なモデルに置き換えて解析する方法を提案した。充填を伴うサブレベルストーピング採掘法による採掘空洞とカットアンドフィル採掘法とルームアンドピラー採掘法が併用された採掘空洞をそれぞれ形状が単純な横等方性を示す直方体に置き換え、充填率や残柱率を考慮して空洞の弾性係数を与え、これらの空洞を含む広領域を対象に3次元弾性解析を実施した。その結果、土被りの大きい空洞の縁で応力集中が発生し、応力集中が予想される幅の狭い鉱柱には明瞭な応力集中が発生しなかった。今後、より合理的な空洞物性値の与え方、解析モデルの構築方法について検討する予定である。

＜トンネル切羽における支保設計に関する研究＞

岩盤が軟弱で土被りの小さいトンネルの場合、トンネル切羽の安定性がトンネルを掘削する上で重要な問題となっている。この場合、切羽を安定させるための先受け工や鏡ボルト等の切羽支保が有効であり実用化されているが、それらの支保効果については未だ定量的に解明されておらず、その支保設計も経験的なものとなっている。したがって、トンネル切羽における最適な支保設計手法を確立するためには、切羽近傍の応力状態や塑性域を詳細に検討することが重要である。そこで、本研究では、切羽近傍の応力状態についてFEMによる3次元弾塑性解析を実施した。まず、既に打設されたトンネル壁面の支保が切羽に与える影響を調べた。その結果、支保剛性が増加するに従って切羽の押し出し変位および塑性歪みが小さくなり、切羽が安定することがわかった。今後、さらに詳細な解析を実施すると同時に先受け工や鏡ボルト等の効果についても調べる予定である。

＜トンネル変状形態と変状対策に関する研究＞

老朽化あるいは地圧の作用によって覆工に変状の生じたトンネルは少なくない。このため、トンネル覆工の変状原因を推定し、その対策工を的確に設計することが重要となっている。本研究では、地圧条件、トンネル構造条件、地盤条件を変えてトンネル覆工の骨組み解析を行い、覆工のひび割れパターンに基づいて変状の原因を推定するための基礎資料を得ることを試みた。また、変状対策工としてロックボルトを用いた場合について、その

設計方法と変状対策後の将来予測手法について検討した。その結果、覆工に背面空洞が存在する場合、覆工の耐荷力が著しく低下すること、インバートは水平荷重、偏圧に対して効果があることなどが明らかとなった。また、変状対策工としてのロックボルトに対してロックボルト長の影響を適正に評価した設計方法を示すことができた。さらに、対策後の将来予測手法を提案することができた。

＜走行式トンネルコンクリート点検の 総合評価システムに関する研究＞

本研究は、運輸施設整備事業団の基礎的研究推進制度による東京大学、東京工業大学、竹中技術研究所との共同研究「走行式トンネルコンクリート点検システムに関する研究」において実施したものである。この共同研究は、主として目視検査と打音検査により行われているトンネルコンクリートの検査を客観的かつ効率的に行うため、時速5～15kmで走行する検査車両に、ハイビジョンカメラ、サーモグラフィ、トンネルレーザーを搭載し、トンネルコンクリート内部及び表面のひび割れ等の欠陥を検知してその危険度を判定するシステムを開発することを目的としている。本研究では、得られた検査情報から、トンネルコンクリートのはく落危険度や力学的な安全性を総合的に評価判定するため、トンネルコンクリートの欠陥に対して、浮き、形状、位置、巻厚、背面空洞の5つの要素に分類して危険度を危険、注意、安全の3段階で判定する方法を提案した。また、この方法で人工欠陥を含む模擬トンネルに対して危険度判定を行ったところ、欠陥部分を間違わずに危険と判定することができた。

＜岩盤フラクチャー内における 流体流動挙動に関する研究＞

岩盤フラクチャー内における流体流動挙動を流動可視化実験と数値シミュレーションにより調べた。可視化実験に用いたフラクチャー試料は、フラクタルモデルを用いて目的とする表面形状特性を有するフラクチャー面を数値的に生成し、その数値データをNC表面切削装置により切削材料に削り出したものである。可視化実験の結果、かみ合ったフラクチャーでは、流体は開口幅の大きい場所を選択的に流れ、分岐を有する網目状の複雑な流路が観察された。一方、かみ合っていないフラクチャーでは、流体はフラクチャーの接触部を避けて流れ、滑らかな流路が観察された。また、フラクチャーの表面粗さは、流路の形状にほとんど影響しないことが判明した。次に、数値シミュレーションでは、表面形状特性と接触面積が可視化実験と同じフラクチャーに対してレイノルズの式を解き、流速ベクトルから流線の形状を評価した。その結果、かみ合っていないフラクチャーでは可視化実験に一致する流線を得ることができた。

教授 齋藤 敏明
助教授 朝倉 俊弘
助手 村田 澄彦

物理探査工学分野

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。

反射法地震探査のトンネル切羽前方探査への応用

反射法地震探査データのイメージング手法である等走時面法をトンネル切羽前方の地山探査に応用した。3成分受振器で受振された切羽前方からの反射波の到来方向を推定し、等走時面を用いた深度変換を行い反射面の3次元イメージを作成した。現地実験で取得したデータを解析した結果、掘削後に得られたトンネル壁面の観察結果とよく一致した。

スリーブ震源を用いた地下浅層部の地盤特性の推定

地下浅層部の地質構造や地盤特性を簡便な手法によって把握することができればその利用価値は高い。本研究では、バイブレータのフィードバック信号を用いた地盤の弾性係数の推定技術を開発した。バイブレータのリアクションマス加速度とベースプレート加速度とから地盤の粘性と剛性とを推定する。さらに、地盤振動理論を用いて地盤のせん断弾性係数、密度、S波速度の算出法を定式化した。現場実験で計測したデータから推定された弾性特性は弾性波探査の結果とよく一致した。

電磁探査データのインバージョン解析

周波数領域における電磁探査法のモデリングおよびインバージョン解析の手法を確立した。モデリングでは、スタッガード格子差分法を不完全コレスキー分解前処理つき双共役勾配法を用いて解き電場を求めた。インバージョンには地震波解析で用いられているフルウェーブインバージョン手法を適用し、最急降下法を用いた反復解法を採用した。モデル計算の結果、坑井間の導電率分布のイメージが得られた。

エアスパージングにおける空気流のモニタリング

エアスパージングは帯水層中に空気を注入し、有機化合物の揮発促進と微生物分解の活性化とによって土壌・地下水を浄化する技術である。エアスパージングを効果的に行うには土壌中の空気の流れを把握することが必要である。そこで本研究では、空気移動領域の比抵抗の変化に着目し、比抵抗法を用いた空気流の直接的モニタリング手法の室内実験を実施した。実験の結果、空気流の変化に対応した明瞭な電圧値の変化を確認した。

高精度傾斜計を用いたフラクチャ・マッピング

高精度傾斜計を用いて計測された地表面の傾斜量を非線形逆解析し、地下のフラクチャーや断層のパラメータ

推定を行った。まず、シンプレックス法を用いてフラクチャの傾斜、走向を求めてフラクチャ面を決定し、次に、面内での開口幅の分布を非負制約つき平滑化線形最小二乗法を用いて推定した。石油貯留層の水圧破碎時に観測された地表面の傾斜データを逆解析し、フラクチャのイメージを得た。

個別要素法による地質・波動現象のシミュレーション

個別要素法を用い、粒状物体で構成される地盤などの力学現象について検討した。地質構造形成のシミュレーションにおいては、材料を伸長させることにより正断層状のすべり面が発生し、地溝や地塁の形成が観察された。また、圧縮においては衝上断層が形成され、砂箱実験の結果とよい対応を示した。ホプキンソン効果などの波動による破壊現象や地震やAEなどの破壊現象に伴って発生する波動のシミュレーションを行うために、個別要素法を用いて波動伝播の問題に離散的視点からのアプローチを試みた。個別要素法による弾性波動シミュレーションの結果は有限差分法による結果とよく一致した。

格子ボルツマン法を用いた流体挙動のシミュレーション

格子ボルツマン法を用いて多孔質岩石やフラクチャ内を流れる流体挙動をシミュレーションした。多孔質岩石をモデル化し、透水性に関してダルシー則が満たされること、孔隙率と透水係数の関係においてKozeny-Carmenの実験式が再現されることを確認した。次に、フラクチャ内流動のシミュレーションを行い、フラクチャ開口幅の狭小化に伴う透水性に関する3乗則からの乖離現象を数値的に確認した。

画像解析技術の資源探査への応用

自己組織化マッピングは多次元情報を二次元マップ状に投影する一種のニューラルネットワークである。この手法をリモートセンシングデータの解析に適用し、ある地域の地表面反射率データを分類した結果を既存の地質分類図と比較した。その結果、大まかな一致を見た。

地球統計学を用いた異方性データの解析

地球統計学の手法であるクリッキング法は、既知のデータ間の空間的相関関係をもとに未知な部分の値を推定する方法である。この相関関係(バリオグラム)は距離のみの関数であり異方性の情報が反映されないという問題がある。そこで、異方性を考慮できるクリッキング法について検討した。

教授 芦田 譲
 助教授 松岡 俊文
 助手 渡辺 俊樹

計測評価工学分野

0
9強磁性体のヒステリシス特性を考慮した
欠陥漏洩磁場の解析

鋼材の漏洩磁束探傷においては、その欠陥の定量評価のために、空間漏洩磁場を精度よく表現できる磁界シミュレーションの方法の確立が重要となっている。しかしながら、鋼などの強磁性材料を含む磁場解析では、そのヒステリシスを伴う非線形な磁化特性を完全な形で取り扱える手法が、現在でも確立できていない。本研究では、そのような非線形磁場解析の一手法として、強磁性材料のみを要素分割するいわゆる磁気モーメント法に類する方法を提案した。ある要素の磁化は、自己とそれ以外の要素の磁化によってもたらされる磁界の総和と、その要素の磁界と磁化の関係すなわち磁化特性から決定できるが、磁化特性が非線形であっても、現在の磁化状態からの微小変化は、つまり各要素の磁化の増分量は、ヒステリシス環線の現時点における傾きから定まる。本手法は、そのヒステリシス特性の表現にニューラルネットワークを用いるとともに、外部磁界の変化に伴う各要素の磁化の非線形な変化を逐次的に追跡していくことを特徴としている。簡単な欠陥モデルを対象としてこの手法による漏洩磁束探傷のシミュレーションを行なった結果、外部磁化器の動きに伴って現れる漏洩磁場の非対称性をうまく表現できるものであることが確認された。

吊橋ハンガーロープの腐食度評価

架橋後20年程度を経過した長大吊橋においては、橋桁を懸架しているハンガーロープの腐食劣化が問題となってきている。そこで、この直径50～60mm程度のハンガーロープの腐食の度合いを定量的に評価できる磁気検査装置の開発を行なった。用いる磁気検査の方法は、筆者らが全磁束法と名づけているもので、ロープをその長手方向の正負に強く飽和磁化させ、そのときに計測される磁気ヒステリシス環線の大きさをもって、直接的にロープの鋼実質断面積を計量するものである。磁化方式としては、現地でロープを軸として電線を巻きつけてコイルとする同軸ソレノイド方式を採用している。この方式は、電磁石を用いる極間磁化方式に比較して多少作業性は劣るものの、小型にもかかわらず強力な磁界をしかもロープに均一に誘起できるという利点がある。因島大橋(昭和58年供用開始)のハンガーロープを対象として、開発した検査装置の実用性を確認するとともに、同軸ソレノイド方式の採用によって、周囲の鋼の存在などにそれほど影響されない、精度良い断面積評価の行なえることが確認された。ちなみに、因島大橋のハンガーロープでは腐食によって最大1.3%程度の断面積損失があるものと判断され、この結果は、分解検査によって支持されるものであった。

ロープウェイにおける搬器揺動のシミュレーション

運転速度の上昇や搬器の大型化が志向される今日、ロープウェイの運行安全性において特に問題となっているのは、支柱を通過する際の搬器の揺れである。本研究では、このロープウェイ運行時の搬器の揺れを予測できるモデルを確立するため、まず、新穂高ロープウェイにおいて、実地に搬器の加速度測定を実施した。その結果、現状では、支柱通過時搬器の揺れが、運転開始や停止時に比べてもかなり大きいものであり、また、支柱を通過する方向によって傾向の異なる、特異な挙動を示すものであることが明らかとなった。つぎに、これらの測定結果を踏まえて、支柱通過時の搬器挙動をシミュレートする方法として、支点が加速度運動する単振り子系としてモデル化する方法を提案した。それによれば、搬器の揺れの特異なふるまいは、搬器と走行滑車軸との間に設けられた減衰器によって引き起こされているものであることが明らかとなった。また、搬器が支柱上にある間のみ減衰器を働かささないような機構を実現すれば、支柱通過による搬器の前後揺れをある程度軽減できることが示された。

塊状物体の転がし運搬における力作用点の選定問題

持ち上げることができないような重い、または大きい物体を運搬する場合、その物体を転がして移動させるという手段が有効となる。本研究では、ロボットによる転がし運搬を実現させるための準備段階として、物体の転がし作業における力作用点(ロボットアームが物体に力を加える点)の選定問題について検討を行った。この研究では、2本のロボットアームを1本ずつ交互に物体に作用させ、物体を連続して転がすことを目指している。ただし、対象とする物体は凸多角柱としてモデル化されており、力作用点は物体の角(稜線上)に取るものとしている。さらに、転がしの解析は物体の垂直断面内の二次元平面で行った。概略は以下の通りである。まず、物体のある稜線に着目すると、その稜線を力作用点として物体を転がすことが可能であるかどうかは、物体の状態(物体の回転角)と、物体に作用する力とモーメントの釣り合い、および物体と地面、物体と手先との滑りの条件により定まる。したがって、ある稜線に対してその稜線が力作用点となり得る物体の回転角の範囲が定まる。そこで、この範囲をすべての稜線に対して求める。転がし作業は、この範囲が途切れないように力作用点を変更することによって実現される。力作用点の選び方は複数通りの組合せが存在することになるが、その中でできるだけ変更回数が少なくなる組合せを選び出す。以上の手順をプログラミングし、数値シミュレーションを行ったところ、得られた結果は人間が直感的に考える結果と非常によく似たものとなった。

教授 花崎 紘一
助教授 塚田 和彦
助手 栗栖 正充

資源エネルギーシステム学分野

X線回折分析によるメタンハイドレートの分解プロセスに関する考察

メタンハイドレートは次世代の天然ガス資源として注目を集めているが、開発のためには、解決しなければならない種々の問題を抱えている。その1つに分解速度の問題がある。そこで、X線回折分析によりメタンハイドレートの分解プロセスの定量的な評価を試みた。その結果、0°C以下の不安定領域では、温度上昇にともない、メタンハイドレートの回折ピークの低下と、水の回折ピークの上昇が確認され、分解が終了するにはかなりの時間を要することが分かった。また、温度上昇にともない、氷の結晶の顕著な成長がみられ、引き続いてメタンハイドレートの変化に安定な傾向がみられた。これらは、分解してできた氷によってハイドレート自身が閉じ込められ、分解が抑制されるという、ガスハイドレート特有の自己保存性と関連していると考えられる。

生物起源珪藻土からの高純度シリカ精製

太陽光発電の飛躍的な発展が望まれているが、太陽電池製造での高エネルギー消費によるコスト高、および高純度シリカ資源原料の枯渇が懸念されている。そこで、本研究室では、安価で埋蔵量が豊富な、生物起源珪藻土からの高純度シリカ精製を試みている。非晶質シリカを主成分とする珪藻土は、苛性アルカリに容易に溶解するため、過飽和シリカ溶液からシリカを析出させる、湿式プロセスによる精製の可能性が存在する。出発原料として、各地に存在する珪藻土から苛性アルカリに溶出する微量元素の挙動を検討した結果、高機能材料において、とくに問題とされるホウ素含有率の少ない珪藻土が、湖成層起源の珪藻土から見出された。また、pH調整による析出挙動は、pH10.5から9の範囲において、シリカとAl、Feで異なることが判明した。この反応はシリカからのAl、Fe除去に適用できる。このようにして、このシリカ抽出物のアルカリ溶解・析出・酸洗浄を複数回行うことにより、シリカ中の微量元素が徐々に除去され、99.999%以上の高純度シリカを精製することに成功した。

アモルファスシリカのコーティングによる有害物質の溶出防止について

鉱山および産業廃棄物の埋立地、工場跡地などから排出される汚水は、しばしば環境破壊を起こし、早急に対処しなければならない問題となっている。そこで、廃棄物表面を耐腐食性に優れたシリカでコーティングし、恒

久的に有害物質の流出を防止する方法を検討した。シリカの供給源としては、処理が容易で有害元素を含まずかつ埋蔵量が莫大で、安価な珪藻土を用いた。実験対象として、旧松尾鉱山のズリを用い、水酸化ナトリウムを用いて作成したシリカ過飽和溶液を試料表面に断続的に透過させることによってコーティングを形成させた。つぎに、未処理の試料とコーティング後の試料について、pHの変化とFeの溶出試験を実施したところ、鉄の顕著な溶出防止効果が認められた。

一人当たりGDPと部門別最終エネルギー消費の関係

今後のエネルギー消費の動向を、先進国、新興工業国、発展途上国について、一人当たりGDPと産業部門、交通部門、民生・農業部門の一人当たり最終エネルギー消費の関係を検討した。その結果、いずれの国も一人当たりGDPと産業部門、民生・農業部門の一人当たり最終エネルギー消費の関係は、大局的にみて、これまでに指摘されているように、先進国における停滞傾向、新興工業国の急激な増加、発展途上国における増加傾向が認められた。しかしながら、交通部門では、一人当たり最終エネルギー消費は一人当たりGDPに対して線形的な増加を示していることが明らかとなった。したがって、開発途上国の産業部門における最終エネルギー消費の急激な増加や、先進国の交通部門における最終エネルギー消費の増加が、今後の世界のエネルギー消費の増加に大きく影響を与えると考えられ、とくに現在、市場経済化、工業化が進み、高成長率で経済発展を成功させている中国の動向が注目された。

花崗岩中の黒雲母周辺にみられる破壊機構に関する一考察

花崗岩の破壊機構について、三軸圧縮試験を行った試料の顕微鏡観察とEshelbyの応力理論から考察した。顕微鏡観察では、石英あるいは長石と黒雲母が共生しているところでは、マイクロクラックは載荷初期から石英あるいは長石中に発生し、黒雲母中には進展しないことが明らかになった。一方、三軸圧縮条件下における黒雲母とその周辺の応力状態をEshelbyの応力理論によって解析すると、もっとも変形しやすい黒雲母に隣接する比較的変形しにくい石英や長石中に引張応力が発生し、逆に黒雲母粒内には引張応力は発生しないことが分かった。この結果は観察結果とよく一致し、黒雲母周辺に発生する引張応力が、花崗岩の破壊機構の一つの要因であると推察された。

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分野

(伊藤俊, 現, 野村證券)

AZ31 マグネシウム合金板の室温および温間での成形性

マグネシウムは、密度が 1.74 g/cm^3 と構造用金属中最も軽量であり、またリサイクル可能な材料であることから、省エネルギーおよび環境対策の重要性の高まりとともに、近年注目を集めるようになってきた。また、マグネシウムは、強度が高いこと、電磁波シールド性に優れること、熱伝導性が高いこと、振動吸収性に優れることなどの材料特性に加え、資源が豊富であり、精錬に要するエネルギーも少ないなど、多くの長所を有する。それらの長所にもかかわらず、これまで利用が限られてきた原因には、酸化しやすく危険であることや腐食しやすいこともあるが、マグネシウムは一般に塑性加工が困難であることが大きな原因として挙げられる。その原因はマグネシウムは典型的な最密六方晶金属で、すべり系が室温では極端に少ないことにある。本研究では、代表的なマグネシウム板材である AZ31 板の室温および温間での成形性を明らかにするために、種々の温度で引張試験を行うとともに、基本的なプレス成形試験として円筒深絞り試験を行った。その結果、 $150\sim 200^\circ\text{C}$ の比較的低温での温間成形によって顕著な成形性向上が期待できることがわかった。(足立尚久, 現, 日産自動車)

固体壁面に連続衝突する複数液滴の変形挙動

多数の液滴と固体面の衝突は、スプレー冷却やスプレーコーティングなど様々な産業分野で頻繁に見られる物理現象である。これまで単一液滴と固体面の衝突に関する研究が数多くなされているが、それらの研究で得られた知見は液滴群と固体表面との衝突に直接適用することはできない。単一液滴衝突では液滴間の相互作用効果が含まれないからである。本研究は、常温の固体平板上に複数の液滴が連続衝突するときの変形挙動を実験によって研究したものである。とくに、液滴の相互作用効果を明らかにすることに重点をおいた。直径数百 μm 、速度数 m/s の 2 滴の水粒子を、滑らかな光学ガラス片に垂直に連続衝突させ、時間経過に伴う液滴の形状の変化を flash-photographic 法で観察した。その結果、先に衝突した液滴が固体平板上で薄い円盤状に変形したときにつぎの液滴が衝突すると、衝突点から王冠状の薄い水膜が形成されることが明らかになった。王冠状の水膜は複数液滴衝突に特有の物理現象であり、液滴の衝突間隔が長くなるほど大きな水膜が形成される。また、連続衝突する液滴と固体面が直接接触する面積の時間変化を実測した。先に固体面に衝突した液滴が、次ぎに衝突する液滴と固体面の接触を妨げるため、衝突後しばらくの期間は、単一液滴衝突の実験結果と差は見られず、その後若干大きくなることが分かった。

固体粒子輸送目的のエアリフトポンプの揚固特性

固体粒子の輸送手段の1つとして、エアリフトポンプの使用が考えられている。エアリフトポンプは液体で満たされた管内に空気を吹き込み、空気の浮力を駆動力にして混相流体の上昇流を誘起し、揚水・揚固を行なう。そのためポンプ特性は空気注入量、空気注入位置、固体粒子径、固体粒子密度、管長、管径など様々な因子に大きく影響を受けるが、その詳細については未だ充分なデータが得られていない。また、エアリフト装置の設計に際しては揚固可能になる臨界条件を把握することが重要であるが、これについても充分な知見は得られていない。このような観点から、本研究では全長が3m程度の実験室規模のエアリフト装置を用いて、空気注入量、空気注入位置、固体粒子径、固体粒子密度が揚固特性に及ぼす影響を調べ、様々な条件下で揚固可能となる臨界条件を研究した。つぎに、混相流体中の単一固体粒子の運動量方程式に基づいて、臨界条件を予測する理論モデルの構築を試みた。このモデルは、与えられた条件下で揚固可能となる液相の最小の流量が存在し、液相の吐出流量がこれより小さい操業条件では揚固不可能となることを理論的に予測する。モデルの妥当性を検証するために、予測結果を実験によって得られた臨界条件と比較したところ、両者は非常に良好に対応した。

(小川哲史, 現, トヨタ自動車)

準安定オーステナイト系ステンレス鋼板の 温間深絞り加工の有限要素シミュレーション

SUS304 で代表される準安定オーステナイト系ステンレス鋼板は、成形性に優れるため、広範な分野で使用されている。これらの板を室温で加工すると、加工誘起マルテンサイト変態が生じる。このことは高い成形性の一因でもあるが、深い容器を製造するために多段の深絞りをする場合には、加工力の増大や時効割れをもたらす要因ともなる。SUS304 は 150°C 程度の低温でもその変形抵抗は温度に強く依存し、また、加工誘起マルテンサイト変態は生じなくなる。したがって、温間成形によって時効割れの発生を避けるとともに、温度依存性を利用してより深い容器を少工程で製造することが可能となる。本研究では、材料のマルテンサイト変態量と変形抵抗を温度とひずみ量の関数で与え、塑性変形と熱伝導を同時に扱える有限要素シミュレーションによって、SUS304 板材の温間での円筒深絞り加工での変形挙動、温度推移および成形限界を解析した。その結果、工具の加熱あるいは冷却によって材料内に適当な温度分布をつけることによって、より深い容器の製造が可能となることがわかった。(政近樹, 現, ダイハツ工業)

助教授 宅田 裕彦
助手 藤本 仁

宇宙資源エネルギー学分野

宇宙開発は、人類に新たな活動領域をもたらし、有限な地球に存在する人類に限りない将来をもたらすであろう。資源エネルギー科学と宇宙工学との融合により、かけがえのない地球環境の保全を視野に入れながら、「宇宙インフラストラクチャーと宇宙環境における輸送現象」、「宇宙ステーション及び地上における非平衡電気化学プロセスング」、「地球にやさしい」資源エネルギープロセスングとリサイクリング」等をテーマとして、宇宙資源エネルギー工学の構築・発展を目指している。

1) 気泡と微粒子の衝突に関する数値的研究

水質浄化や浮遊選鉱法では、浮力により液体中を上昇する気泡を利用して不純物や有用鉱物粒子を分離する方法が採用されている。気泡表面への液体あるいは固体微粒子の捕収は、大きく分けて二つのプロセスがあり、一つは気泡と微小粒子の衝突、もう一つは分子レベルの特性に関連した現象である。当研究室では、その物理的プロセスである、気泡と微小粒子の衝突を流体力学的に理論解析を行っている。

2) 微粒子のエマルジョン浮選機構の研究

アルミナ微粒子（平均粒径 $0.8 \mu\text{m}$ ）-イソオクタン系での粒子-油滴界面動電現象とエマルジョン浮選との相関性についてドデシル硫酸ナトリウム（SDS）界面活性剤の効果を含めて検討を行っている。アルミナの等電点は pH 7.8 付近にあり、pH が低下するにつれてドデシル硫酸イオンの吸着による負へのシフトが認められた。またイソオクタンの等電点は pH 3.3 付近であり、SDS が $1.4 \mu\text{M}$ の微量添加でも大きく負へシフトする。エマルジョン浮選結果によれば、pH 7.8 と pH 4 付近で回収率が高くなった。前者ではアルミナのゼロ荷電によりホモ凝集が顕著になり、後者では SDS 吸着層により粒子表面が疎水性化され、回収率が增大する。

3) 光触媒反応を利用した環境浄化技術に関する基礎研究

近年、 TiO_2 の光触媒反応は、廃水中の微量有機物の除去、特に人体や生態系に直接的に有害な有機物を除去する方法として注目されており、様々な研究がされている。一方、それ以外の有機物は、それ自体は無害であるものの高濃度で排出すると、水溶液中の化学的酸素要求量の増加、ひいては河川・湖沼の富栄養化を招くため、閉鎖性水域における排出規制が年々厳しくなっている。したがって、希薄、濃厚に関わらず排水中に含まれる有機物の迅速で経済的な除去・分解技術の開発が望まれている。当研究室では、主として産業排水中の有機物低減化を目標とし、比較的弱い紫外線を用いた場合の TiO_2 光触媒作用による有機物分解の可能性について界面化学

的な見地から基礎的な検討を行っている。

4) リサイクル要素技術

浮選法によるサブミクロン・ダイヤモンドの濃縮、研磨屑からの研磨剤微粒子の分離回収などの研究・プロセス開発が進行中であり、多くの成果が得られている。また、電気自動車普及のための社会的条件を整備する要求の一環として、希土類-遷移金属間化合物のリサイクル設計システムの基礎である晶析逆抽出法とそれに続く Ca 還元法を利用する金属間化合物再生プロセスに関する研究を実施中である。さらに連続製錬プロセス開発を目指して、その基礎としてインジェクション操作に伴う固-気-液 3 相流と融体間の熱および物質移動速度に及ぼす粒子濡れ性の影響も研究中被験中である。

5) 非平衡エネルギー材料プロセスング(地上実験)

太陽電池発電や電気自動車の普及をめぐって非平衡反応場を制御して大面積エネルギー変換貯蔵デバイスの界面微細構造を創製する電気化学プロセスングに期待が集まっている。ULSI 電析銅配線技術、化合物半導体誘導共析反応や Li 金属負極でのデンドライト成長の現象論に関連して多成分イオン移動速度と表面吸着反応速度のカップリングを研究している。同様にプラズマ CVD や ICB などの乾式成膜過程でも非平衡過程が複雑に絡み合い、特異な界面構造が創製されている。これらの電気化学及びプラズマプロセスングに in-situ 測定やモデリング技術を導入してエネルギー変換貯蔵デバイスのための新しい非平衡成膜プロセスングの研究を行っている。本研究は次項 6) の地上実験としての側面を併せ持っている。

6) 宇宙ステーションでの非平衡電気化学プロセスング

宇宙空間での非平衡電気化学界面現象の理解はスペースシャトルや国際宇宙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からも重要である。落下塔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計測した。太陽電池-水電解-燃料電池から構成される再生型燃料電池システムの動作特性に及ぼす重力レベルの影響を調査するために、水電解電極表面を観察検討中である。落下直後から電極面上の安定気泡層領域形成により IR ドロップが増大した。また電析や陽極溶解反応などの電気化学界面現象に及ぼす重力レベルの影響が検討中である。更に宇宙空間における太陽エネルギー変換貯蔵技術や資源エネルギー工学の融合を目指して、微小重力環境はもとより遠心力利用過重力場及び超強力磁場中の結晶成長についても研究を行いつつある。

教授 石井 隆次
助教授 福中 康博
助手 日下 英史

材料設計工学分野



3d 遷移金属化合物におけるカチオン $L_{2,3}$ -edge XANES/ELNES の第一原理計算(岩田貴普)

物質の局所的な構造を知る手段として、X線吸収スペクトルの吸収端近傍微細構造(X-ray Absorption Near Edge Structure; XANES)や、電子線エネルギー損失スペクトルの励起端近傍微細構造(Electron Energy Loss Near Edge Structure; ELNES)が有効であり、これらは材料設計における有用なツールとして期待できる。本研究ではXANES/ELNESに現れるスペクトルの内、特にK, Ca及び3d遷移金属化合物におけるカチオン $L_{2,3}$ -edge に注目して理論計算を行った。XANES/ELNES スペクトルを材料設計において有効に活用するためにはパラメータを用いない非経験的な解析法が不可欠となる。本研究では、第一原理分子軌道法により得られた相対論的分子軌道を用いてスレーター行列式を組み立て、そらの線形結合をもって多電子系波動関数を表現し、相対論による多電子系ハミルトニアンを直接対角化することで非経験的に相対論的な多電子系電子状態を求めた。得られた理論スペクトルは、実験スペクトルに表れる微細構造やピーク強度を見事に再現することができた。

透明導電性酸化物中における内因性点欠陥の 形成エネルギーと電子状態 (中野雅信)

酸化物中の酸素空孔の特性を電子論から系統的に解析するために、10種類の酸化物中における酸素空孔について平面波基底を用いた擬ポテンシャル法により電子状態計算を行い、形成エネルギー・酸素空孔周囲の格子緩和・電子状態を求めた。酸素空孔の形成エネルギーは酸化物のイオン結合性が高いほど高い傾向が得られた。その起源としては、クーロン反発によるエネルギーの上昇のみが形成エネルギーに効いているのではなく、電子の酸素空孔への局在化による電子の運動エネルギーの上昇が効いていると考えられる。結晶構造から酸素空孔形成エネルギーを考察した場合、形成エネルギーは酸素空孔準位の局在性に対応しているが、結晶構造と酸素空孔の局在性に一定の関係は得られなかった。また、配位数の少ない結晶構造のほうが配位数の多い結晶構造よりも酸素空孔の第一近傍にあるcationの位置が近くなる。酸素空孔準位は酸化物のイオン結合性が低いほど励起エネルギーが低くなる傾向があった。

Cr^{3+} 固体レーザー材料における光学スペクトルの 第一原理計算(山本昌輝)

現在、レーザーは非常に幅広い分野において応用され使われるようになった。そのレーザーの材料において固体レーザー材料は、その特性や、また実用上での多くの利点から、注目を集め多くの研究が行われている。その

中でも、 Cr^{3+} イオンを用いた材料は、ルビーに代表されるように、固体レーザー研究の初期の頃から活発に研究され、実用化された材料も多い。本研究で取り上げた4種類の材料、アレキサンドライト、エメラルド、 Cr^{3+} :LiCAF、 Cr^{3+} :LiSAFは、波長可変レーザー材料として報告されている材料である。これら固体レーザー材料の特性解析のため、実験より吸収スペクトルが測定されている。この解析には、従来、配位子場理論を用いた、半経験的な手法が行われて来た。そこで、本研究では、この固体レーザー材料、特に Cr^{3+} イオンを利用した材料について、その実験より得られる吸収スペクトルの解析を第一原理計算を利用し行っている。

その結果、注目する Cr^{3+} イオン周辺への構造の変化、構成元素の変化が、スペクトルや、多重項エネルギーに与える影響について、定量的に解析を行うことができた。そして、格子緩和についても、その影響を調べることができた。その結果 Cr^{3+} イオン周辺の緩和については、緩和量の予測をおこなった。

MgO-ZnO 固溶体からの ELNES 実験と その理論解析(李 江)

MgO中にZnOが1600°Cにて最大42 mol%固溶する。通常、ZnOはウルツ鉱型構造(w-ZnO)で、Znは4配位であるが、岩塩型構造を有するMgOに固溶した場合、6配位になることが予想される。本研究では、簡単なセラミックス中不純物モデルとして、w-ZnOとMgO-ZnO固溶体(MgO-ZnO s.s.)のELNESを測定と理論計算による解析を行った。それら異なる配位環境におけるZnについて、化学結合と、ELNESとの関係を議論した。w-ZnOまたMgO-ZnO s.s.中のZn- $L_{2,3}$ edge ELNEとO-K edge ELNESについて、遷移確率の高い計算を行い理論スペクトルとした。スレーターの遷移状態法により遷移エネルギー誤差1%以下で再現できた。Zn- $L_{2,3}$ edge ELNESにおいて、w-ZnOでは大まかに4本のピークが出ているのに対し、MgO-ZnO s.s.では3本のピークが出ている事が最も大きな変化であった。これはZnの配位数に起因した、軌道の分裂が原因である事がわかった。MgOとMgO-ZnO s.s.中からのO-K edge ELNESを比較すると、w-ZnO固溶することによりスペクトルの違いが現れた。MgO-ZnO s.s.のスペクトルは低エネルギー側にシフトし、またメインピークの幅が太くなる事がわかった。それらの変化は理論スペクトルでも良く再現した。スペクトルシフトの主な原因は、MgO-ZnO s.s.のバンドマップ値の変化であると考えられ、固溶するZn-s軌道とO-2p軌道の相互作用により、新たなピークが非占有軌道下端に現れる事が原因であることがわかった。

教授 足立 裕彦
助教授 西谷 滋人
助手 小笠原一禎

表面処理工学分野

湿式法による CdTe 半導体薄膜の作製に関する研究

CdTe 化合物半導体は太陽光から電気エネルギーへの高い理論変換効率をもつ太陽電池材料であり、硫酸酸性水溶液から電気化学的に CdTe を成膜する研究は数多く行われている。当研究室では Te(IV) イオンの溶解度が非常に小さく、薄膜組成の精密な制御が困難である酸性浴にかわり、Te(IV) の溶解度が大きく、浴組成の制御が容易な塩基性浴からの電析を研究し、緻密で平滑な結晶性 CdTe 薄膜を得るプロセスを確立している。

昨年度から、この CdTe 薄膜の太陽電池への応用を目的として、導電性 ITO 基板上に電気化学的手法により CdS および CdTe を積層させ、pn 接合を作製する研究に着手するとともに種々の電気的特性の評価を行っている。また、可視光照射により電析が加速される光アシスト効果、基板に依存したモルフォロジーの解析等の研究も進行中である。

光触媒を用いる新しい無電解めっき技術の開発

外部電源から電気を流さずに、還元剤を使ってプラスチックなどに金属を析出させてめっきを行う無電解めっきは、コンピュータなどのプリント配線基板の製造技術として非常に重要である。無電解めっきにより金属を析出させるには、まず最初に還元剤の酸化反応を触媒する「めっき核」を被めっき物に付与する「活性化」が必要であるが、この際に用いられるパラジウムが高価であることが問題となっている。当研究室では酸化チタンコロイドの ABS 樹脂への静電吸着と光触媒反応による金属析出反応を組み合わせた新しい活性化法の構築を試みた。その結果、無電解銅めっきの始動が可能であることを確認した。

因子分析法による誘起共析型合金めっき浴の解析と最適化

電解浴の改良によるめっき皮膜の特性改善は一般に試行錯誤的に行われる。その結果、工業的なめっき浴は様々な添加剤を含有する複雑溶液系となり、電析挙動に影響をおよぼすと考えられる浴中の化学種の解析はかえって困難となっている。しかし、これらに関する知見を得ることは電析メカニズムを考察する上で非常に重要である。

本研究室では水溶液から単独では電析しないモリブデンやタングステンが、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下で、Ni-Mo といった合金として電析する誘起共析現象をめっき浴中の化学種の変化と関連づけて考察している。因子分析法による電析浴の各種光学スペクトルの解析から、光沢 Ni-Mo 合金

めっきが高電流効率で得られる弱酸性 Ni(II)-Mo(VI)-クエン酸浴中では、Ni(II) および Mo(VI) はいずれもクエン酸と 1:1 の錯体を形成していることを明らかにした。今年度はこの情報をもとに、新たな Ni-Mo 合金電析浴の設計に着手したところ、電解浴中で上記の 1:1 の錯体が安定に溶存するように設計した浴では、Ni(II)/Mo(VI) 濃度比に依存せずほぼ一定の組成をもつ Ni-Mo 合金被膜が得られることがわかった。本年度はまた、W(VI) を含有する Ni-W 合金めっき浴についても同様の解析に着手した。

新しいアンモニウムイミド系室温溶融塩からの金属電析に関する研究

水溶液を用いる電析技術は、将来にわたって重要なプロセスであるが、いわゆる「卑な」金属を水溶液から析出させる際には、副反応の水素発生による電流効率の低下は避けられない。これに対し、室温溶融塩と呼ばれるイオン性液体を溶媒として使用する電気化学プロセスが注目され、アルミニウム電析などに応用されている。近年、疎水性を発現する含フッ素アニオンと 4 級アンモニウムカチオンを組み合わせ、5 V 以上の電位窓を有する室温溶融塩が新たに開発された。本研究では、4 級アンモニウムカチオンとイミドアニオン $(CF_3SO_2)_2N^-$ からなる室温溶融塩を金属電析媒体として使用することを目標としている。昨年度の銅イオンの酸化還元挙動の調査に続き、今年度は種々の卑金属について酸化還元挙動を調べた。その結果、亜鉛、ニッケル、および水溶液系では不可能なマグネシウム金属の電析が可能であることを明らかにした。

めっき法による ULSI 銅配線形成に関する研究

電析法により半導体集積回路の Cu 配線形成を行う、いわゆるデュアルダマシン技術が発表されて以後、従来からの Al 配線に比べ高い導電率とエレクトロマイグレーション耐性を有する Cu 配線の研究開発が進んでいる。シリコン系の基板や層間絶縁膜と Cu 配線の高温での反応を防ぐため、ダマシンプロセスでは一般に、シリコン系の基板にまず拡散バリア材を積層させた後、めっきによる Cu の埋め込みを行う。その際、基板表面の電位を均一にするとともに、Cu の基板への密着性を向上させる目的で、シード層とよばれる少量の Cu をあらかじめ乾式法により積層させておくと、配線のさらなる微細化に伴ってシード層の成膜が困難になりつつある。本研究ではこのプロセスを省略し、拡散バリア層上に直接 Cu を電気化学的に析出させる研究を進めている。

URL <http://www.mtl.kyoto-u.ac.jp/groups/awakura-g/index.html>

教授 粟倉 泰弘
 助教授 平藤 哲司
 助手 邑瀬 邦明

プロセス設計学分野**弗化物の X 線吸収スペクトル**

シンクロトロン放射光の軟 X 線ビームラインを用いて弗化物の X 線吸収スペクトルを測定した。測定は全電子収量と蛍光 X 線収量を用いた。アルカリ金属弗化物とアルカリ土類金属弗化物の場合、得られたスペクトルの形状変化は金属原子とフッ素原子の原子間距離に関係し、金属-フッ素の原子間距離 2.3 を境として、フッ素原子の第 2 近接原子であるフッ素原子同士の軌道の重なり度合いが変化し、バンドが広がったり狭くなったりするからである。遷移金属弗化物の場合、フッ素の K 吸収端 686eV より低エネルギー側にプリエッジ構造が見られる。原子番号の増加とともにプリエッジ構造が低エネルギー側にシフトして強度が弱くなっていくのは、金属-3d 軌道の空軌道が減少していくからである。さらにプリエッジ構造は、金属-3d 軌道とフッ素-2p 軌道が混成し、その混成軌道の電子状態を反映していることが分かった。

構造的発色の分光計測法の開発

周期的微細構造による発色の例として、アマゾンの奥地に生息するタテハチョウ科のモルフォ蝶の羽が有名である。一方、多層構造による発色の例としてペンキの一種である「マジョーラ」がある。本研究ではこれを取り上げ、その発色スペクトルを測定した。白色光の入射角が大きくなるに従って強度の大きいスペクトル部分が長波長側に遷移している。これは、垂直に近い角度で見ると青紫色に見え、水平に近い角度では橙色に見える事実と対応している。

金属の表面の汚染による仕事関数の変化

従来の大気中での低速電子計測法は、光電効果により放出された電子が大気中の酸素分子と結合し、そこで発生する酸素イオン O₂⁻を検出する方法である。本研究では、紫外線によって放出された光電子で試料はプラスに帯電する。この試料を接地させておくことによって試料に電流が流れ込むので、これを測定することにした。分光器は 5 相のステッピングモーターを取り付けたモノクロメーターを使用した。モーターコントローラーによる分解能は 0.176 度 (波長では 5 pm に相当) で、エネルギー走査範囲は 3.4~6.2 eV である。励起源には重水素ランプを使用した。製作した実験装置での測定における時間短縮・走査の簡便化を目的として、LabVIEW を用

いた電流計とステッピングモーターの制御を試みた。今後の課題として、ノイズの除去、バイアス電圧を含めた紫外線受光部の完成、紫外線の最大強度を向上させること、制御プログラムのスリム化・最適化などがある。

リン化合物の蛍光 X 線分析

高分解能 2 結晶型 X 線分光器を用いて、リン化合物である P (赤リン), NaH₂PO₄, Na₂HPO₄, Na₃PO₄ の K β 線スペクトルを測定し、さらに熱電能が大きく、高温半導体用の熱電素子として有望な B₁₃P₂ のスペクトルからその結晶構造の解析を試みた。B₁₃P₂ のスペクトルは、従来 2138eV 付近にブロードなピークが 1 個見られているが、本研究では 2137eV と 2139eV 付近に 2 つのピークらしいものが見られ、分解能の向上が実証された。しかし構造解析の面ではさらに理論的な検討が必要である。

教授 河合 潤
助手 田辺 晃生

マイクロ材料学研究室

CdTe 半導体放射線検出器用コンタクト材の開発

CdTe 半導体は Si や Ge に比べて放射線吸収率に優れており、高感度医療用 X 線カメラ等への応用が期待されている。ショットキー電極材を利用した従来の CdTe 半導体放射線検出器は高い検出感度が得られるものの、使用後数分間で検出特性が著しく低下する問題があり実用化は困難であった。本研究では、CdTe 半導体検出器の検出特性と電極材の微細構造の關係に着目し、In 基電極材の改良による性能向上実現を試みた。X 線回折および TEM 観察の結果から、CdTe 基板を In の融点より数十°C 高い温度に加熱して In を成膜すると、成膜中に基板と In の反応が起こり、比較的粒径の大きい In_4Te_3 が形成されることが明らかとなった。同電極材では検出特性の低下が著しいが、さらに高温の熱処理を施すことにより粒径数十 nm の InTe が生成し、このとき検出特性の低下が抑制されることを見いだした。同様の構造を持つ電極材は基板加熱温度の制御により熱処理を施すことなく成膜することができた。これによりプロセスの複雑化を招くことなく、CdTe 半導体放射線検出器の実用化を可能にする高性能電極材の開発に成功した。

n-AlGa_xN/GaN ヘテロ構造へのオーミック・コンタクト材の開発

携帯電話や無線 LAN の急速な普及に伴い、次世代のパワー・高周波トランジスタの開発が急がれている。n-AlGa_xN/GaN HFET は、ヘテロ接合の形成による高電子移動度を有し、高周波での動作が可能なデバイスとして注目されている。同デバイスの実用化の障害は、 $n\text{-Al}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ ($x > 0.2$) に対して接触抵抗値が 10^{-6} [$\Omega\text{-cm}^2$] 以下の熱的に安定な低抵抗オーミック・コンタクト材が得られていないことである。本研究では、従来使用されている Ti/Al コンタクト材に第三元素を添加することにより接触抵抗値の低下を試みた。その結果、Pd を添加することにより、 $n\text{-Al}_{0.2}\text{Ga}_{0.8}\text{N}/\text{GaN}$ ヘテロ構造に対して従来報告されている値よりも一桁以上低い接触抵抗値 4.1×10^{-6} [$\Omega\text{-cm}^2$] を示すコンタクト材の開発に成功した。今後は、接触抵抗値低下のメカニズムを解明するため、第三元素の Ga 化合物形成能の高さに着目して更なる検討を行う。

p 型 4H-SiC に対する Ni/Al 系オーミック・コンタクト材の開発

現在、p 型 SiC に対する低抵抗オーミック・コンタクト材に用いられている Ti/Al は 10^{-6} [$\Omega\text{-cm}^2$] オーダーの低い接触抵抗値が得られるが、熱処理温度の低下および表面平坦性の改善が実用化への課題となっている。今回我々は p 型 4H-SiC に対する Ni/Al 系オーミック・コンタクト材の電気特性及び表面平坦性について検討を行った。Ni は比較的低温で SiC と反応するため、熱処理温度低減による表面平坦性の向上が期待できる。実験の結果、Ni/Al コンタクト材は 800°C の熱処理後においてもオーミック性を示し、1000°C 熱処理後も表面平坦性に優

れていた。1000°C × 2 分間の熱処理後における接触抵抗率 (ρ_c) の Ni/Al 比依存性を測定したところ、Al 濃度の増加とともに ρ_c の低下が見られた。NiAl コンタクト材では 40at.% 以下の比較的低い Al 濃度でも 10^{-4} [$\Omega\text{-cm}^2$] オーダーの ρ_c が得られ、Al 濃度 80at.% では 9×10^{-5} [$\Omega\text{-cm}^2$] が達成された。今後は、Al 濃度と ρ_c の關係に着目して接触抵抗値低下のメカニズムについて検討し、更なる ρ_c 低減を試みる。

P 型 GaN に対するオーミック・コンタクト材の研究

GaN 系半導体レーザダイオードの高性能化・信頼性向上には、p 型 GaN への低抵抗オーミック・コンタクト材の開発が必要不可欠である。これまでに我々は、コンタクト材として Ta/Ti を用い、800°C の真空中熱処理を施すことで $10^{-4}\Omega\text{-cm}^2$ 以下の低接触抵抗値が得られることを報告した。しかしながら Ta/Ti コンタクト材においては、室温保存中および通電中に接触抵抗値の上昇が認められ、実用レベルには至っていない。昨年度我々は、Ta/Ti コンタクト材の電気特性および安定性と、コンタクト作製における熱処理条件との関連について検討した。その結果、Ta/Ti コンタクト材の電気特性およびその信頼性は、熱処理における冷却速度に極めて敏感である事が確認された。また、冷却速度の制御により、室温保持における接触抵抗値の上昇を抑えることに成功した。しかしながら、通電による接触抵抗値上昇および電極材の変形については改善することができなかった。今後は通電によるコンタクト材の劣化機構について詳細な検討を行う。

Cu 配線材料における室温粒成長機構の解明

近年、Si-U_{LSI} (大規模高集積回路) デバイスの高性能化に伴い Al 合金配線材から Cu 配線材への移行が進められている。高信頼 Cu 配線の開発には配線材の微細構造制御が不可欠であるが、Cu 薄膜材の粒成長挙動は Al 薄膜材とは異なる点が多く、そのメカニズムに対する理解は十分でない。Cu 薄膜材の特異な粒成長挙動の一つに、Cu 配線材の成膜後に室温程度の低温で観察される顕著な粒成長 (室温粒成長) が挙げられる。前年度の研究では、基板上に成膜された薄膜材に特有の真性ひずみが室温粒成長を促進する効果を持つことを示した。本年度は薄膜材の歪みが Cu 膜の室温粒成長による組織形成に及ぼす効果をより具体的に検討するため、Cu 膜断面の組織観察を詳細に行った。その結果、室温粒成長は基板/Cu 膜界面近傍からのみ優先的に発生しており、膜厚をある程度厚くすると膜表面近傍では室温粒成長が発生しないことを見いだした。本研究で観察された膜厚方向の粒成長速度の違いは、薄膜材の膜厚方向に歪み量の分布が存在するという従来の知見から説明される。本研究結果から、室温粒成長のみならず、熱処理時の薄膜材の粒成長に対して「歪み」が極めて大きな影響を与えることが示唆される。今後は、これらの結果に基づき、結晶粒粗大化等の Cu 膜材の微細構造制御への応用を試みる。

教授 村上 正紀
 助教授 小出 康夫
 助手 守山 実希

量子材料学分野

Eu (Pd_{1-x}Pt_x)₂Si₂ の価数転移による異常比熱

4f 電子の不安定性に起因する物理現象として価数揺動現象がある。価数揺動とは原子の価数が時間的・空間的に変動する現象であり、Ce 等の希土類元素や U などの 5f 不完全殻を持つ元素の化合物などで生じる。希土類元素の一つである Eu も価数揺動現象を示す。Eu は 2 価と 3 価の二つの価数状態をとり、この間で価数が時間的・空間的に変動する。これまで、本研究室では温度変化に対して急激に価数が増える EuPd₂Si₂ およびその置換系化合物について研究を行ってきた。置換系化合物の一つである Eu (Pd_{1-x}Pt_x)₂Si₂ に対しては、磁化率、電気抵抗などの測定から、Pt 置換量 x の増加に伴う、価数転移温度の低下や、連続的な価数転移から一次転移的な価数転移への変化、また、磁場の印加に伴うメタ磁性転移、が確認されている。Eu 化合物の価数転移に伴う比熱異常の測定は、過去に本研究室で EuNi₂ (Si_{1-x}Ge_x)₂ の測定が試みられている。その結果、価数転移に伴う比熱異常が観測されたが、測定装置や試料の問題などにより再現性の低いデータしか得られなかった。本研究では Eu (Pd_{1-x}Pt_x)₂Si₂ の価数転移に伴う磁気エントロピーの変化の見積もりを行うことを目的に比熱の測定を行った。その結果、価数転移に伴う比熱異常を観測した。置換量の増加に対する振る舞いは、転移温度が低下し、連続的な変化から一次転移的な変化へと移行するというこれまでの実験結果に対応するものであった。比熱のデータより得られた磁気エントロピー変化は、価数転移に伴い磁気モーメントが消失することを裏付けた。また、ICF モデルを用いた計算で、価数変化によるエントロピー変化を定性的に説明した。なお、実験に際して、試料の作成方法および比熱測定装置を改良した結果、試料の良質化および測定精度の向上を達成した。

一次転移を伴う磁性体の磁気熱量効果

磁気的な一次相転移を示す磁性体の中で、特に ErCo₂ および MnAs を取り上げて磁気熱量効果の評価を行い、磁気冷凍作業物質としての可能性を検討した。ErCo₂ に対して、以前に、磁化測定と比熱測定でそれぞれ求めた磁気熱量効果の値は一致しないと報告されていたが、単結晶を用いた測定で、両者はよく一致した。また、ErCo₂ の Co を Ni で置換してキュリー温度を下げた物質について磁気熱量効果の評価したところ Er (Co_{1-x}Ni_x)₂ が 20K-40K 付近で非常に大きな磁気熱量

効果を有することを見出した。一方、室温付近に一次の磁気転移点があることで注目される MnAs では室温付近で非常に大きな磁気熱量効果が認められた。また、As を Sb で置換した MnAs_{1-x}Sb_x (0.05 < x < 0.10) では MnAs で大きい温度ヒステリシスが消失した。さらに、大きな磁気熱量効果を保ったまま、キュリー温度が 318K から約 280K まで低下した。これらの結果から MnAs は室温における磁気冷凍作業物質として有望であると結論される。

幾何学的フラストレート系遷移金属
カルコゲナイドの磁性

三角格子遷移金属硫化物 BaVS₃ は T_{M1} = 70K で金属絶縁体転移を示すことが知られている。V は T_{M1} 以上で S = 1/2 のスピンを持つとされている T_{M1} では磁化率は反強磁性的なピークをつくるが、T_{M1} 以下の磁気状態及び金属絶縁体転移の起源は未だよく解っていない。以前、我々の研究室で、NMR の結果からこの物質の基底状態が軌道秩序スピン一重項状態であることが提唱された。これは中性子回折実験で磁気散乱が観測されないという報告に基づいた議論である。ところが、本研究で、低温域でのスピン励起を観測する目的で低エネルギー中性子散乱実験を行ったところ、全く予想していなかった磁気 Bragg ピークを見出した。これは以前の報告と全く相反するものであり、少なくとも基底状態が何らかの長距離磁気秩序状態であることが明らかになった。一方、現時点で、NMR の結果は内部磁場が非常に小さいことを示しており、中性子の実験結果とは単純に整合しない。この矛盾の解明に向けての搦手からのアプローチとしてイオウ欠損系 BaVS_{3-δ} および BaVSe₃ の実験を行った。両者とも BaVS₃ と異なり低温で強磁性になるが、低温の飽和磁化は S = 1/2 に対して期待される値よりかなり小さい。これらの物質は巨視的な物性はよく似ているものの、NMR 実験では BaVS_{3-δ} に対して 2 つの V サイト、BaVSe₃ に対しては 1 つの V サイトが観測され、微視的には異なることが解った。これは、前者では電荷の分裂、後者ではモーメントの一樣な収縮が起こっていることを示唆する。すなわち、イオウ系はよりイオニック (局在モーメント的) でありセレン系では金属的 (遍歴電子的) である。このことは Se サイトの大きな超微細結合からも示唆される。そのような現象は他のセレンパイライト CeSe₂ でも認められた。

教授 志賀 正幸
助教授 和田 裕文
助手 中村 裕之

結晶物性工学分野

水素吸蔵合金および金属間化合物

近年、水素エネルギーシステムの開発が注目され、固体状態で水素を貯蔵する手段として水素吸蔵合金が注目されている。中でも LaNi_5 に代表される AB_5 型金属間化合物は、初期活性化が容易であることや反応速度が速いことから特に注目され、2次電池などとして既に実用化されている。一方、 B_2 型金属間化合物、例えば TiFe の場合、773K で減圧脱ガスの後、同温度で 0.7MPa まで水素中で加圧し 30 分放置して減圧脱ガス後、室温で 6.5MPa の高圧で水素を吸収させる作業を繰り返すことによりようやく初期活性化できる。このような実用上の問題はあるものの、微粉化しにくい点や水素吸蔵量が 2 wt% 程度と比較的多い点で新しいエネルギー貯蔵材としての可能性がある。当研究室では、 B_2 型金属間化合物および bcc 金属の水素吸蔵特性を系統的に研究し、上記の問題点を克服することを試みつつある。

TiAl 基合金

次世代の軽量耐熱構造材料としての期待を背景に、TiAl 系金属間化合物の実用化を目指した広範な研究が続けられている。当研究室では、これまで全てのラメラ境界面が結晶育成方向と平行に整列した TiAl 一方向凝固材を作製し、特性評価を行ってきた。その結果、一方向凝固法によるラメラ方位制御が TiAl 合金の力学特性の飛躍的向上をもたらすことが明らかとなった。その一方でラメラ方位制御が不可能な合金組成存在することも明らかとなり、ラメラ方位制御可能組成選定法の確立が重要な課題となっている。そこで本研究では、まず TiAl₂ 元合金におけるラメラ方位制御中の凝固形態を検討してラメラ方位制御可能な Al 濃度範囲を明らかにし、この Al 濃度範囲に及ぼす各合金元素の添加効果を Al 当量として定量化することを試みた。この Al 当量を用いて効率的にラメラ方位制御可能な合金組成を選定する方法を考案し、その妥当性と合金元素の添加が特性に与える影響について検討を進めている。TiAl 一方向凝固材開発のための総合的な合金設計指針を得ることが最終目標である。以下に、現在得られている結果をもとめる。

1. 結晶育成速度 10 mm/h の場合、TiAl 二元合金でラメラ方位制御可能な Al 濃度範囲は 47% を中心に $\pm 1\%$ 程度であった。
2. TiAl 二元合金の凝固形態を、Al 濃度と結晶育成速度をパラメータとして系統的に整理できつつある。
3. 合金元素が α/β 初晶境界に与える影響を Al 当量として定量化した結果、それぞれの Al 当量は、 $C = -4.2$, $Si = -2.8$, $Cr = +0.1$, $V, Nb, Ta = +0.3$, $Mo = +0.6$, $Re = +0.8$, $W = +1.0$ であった。
4. Al 当量を用いて以下のラメラ方位制御可能 Al 濃度算定式を導出した。

$$C_{Al} = 47 + C_X \cdot E_X + C_Y \cdot E_Y + C_Z \cdot E_Z \cdots$$

(C_X, C_Y, C_Z : 合金元素 X, Y, Z の添加量,
 E_X, E_Y, E_Z : 合金元素 X, Y, Z の Al 当量)

5. この Al 濃度算定式を用いて決定した合金組成で実際にラメラ方位制御を試みたところ、その妥当性が確認された。
6. Nb を多量添加する場合、算定式に若干の修正を要する。
7. Si 添加がラメラ方位制御上有利に働くことが再確認された。
8. クリーブ試験の結果、Ti-48Al-0.5Si-8Nb 合金の 750°C, 240MPa における最小クリーブ速度は 5.96×10^{-10} (S^{-1}) であり、これまでの TiAl 一方向凝固材中最も優れていた。
9. Ti-48Al-0.5Si-8Nb 合金では耐酸化性でも劇的な向上が見られ、大気中、900°C, 100 時間での酸化による重量増加は 2.30 (g/m^2) であり、これまでの耐酸化性 TiAl 基合金の約 1/5 の値であった。

モリブデンボロシリサイド

Ni 基スーパーアロイに替わる次世代超高温構造材料の候補として Mo-Si-B 三元系における Mo_5SiB_2 (T_2 相) を構成相の一つとする三相合金が注目されている。しかし、 Mo_5SiB_2 (T_2 相) に関する研究報告は少なく、その性質はほとんど明らかにされていない。そこで、当研究室では、 Mo_5SiB_2 (T_2 相) の単結晶を作製し、その力学特性を明らかにすることを試みている。 T_2 相の単結晶を得るためには、 T_2 化学量論組成より若干 Si-rich な組成を有する母材を用いて、ハロゲンランプ光学式浮遊帯域溶融法により、4 mm/h 程度の凝固速度で育成することが最適である。得られた単結晶のいくつかの性質を以下にまとめる。

室温弾性定数: $c_{11}: 480, c_{33}: 415, c_{12}: 166, c_{13}: 197, c_{44}: 174, c_{66}: 143$ (GPa)

室温比抵抗: 約 40 $\mu\Omega\text{cm}$

熱膨張係数 (500°C): $\alpha_a: 7.3, \alpha_c: 10.8$ ($10^{-6}/^\circ\text{C}$)

ビッカース硬さ: 約 18G

破壊靱性値: 約 2MPa $\text{m}^{1/2}$

この化合物は、1500°C 以下の温度ではいかなる方位においても塑性変形を示さず、1500°C でも、ほとんどの方位において塑性を示さない。また、塑性を示した方位においても、試験片により弾性域で粉々に破断する場合がある。総じて破断応力は 1GPa を超え、非常に高い。[021] 方位では {010} [001] すべりの活動を観察した。このすべり系と同じシュミット因子を持ち、三相合金のクリーブ試験においてその活動の報告のある (001) <100> すべりは観察されなかった。 T_2 相の塑性変形挙動を剛体球モデルにより評価した結果、[001] 方向へのすべりはせん断面によらず容易であると考えられる。最も活動が容易であると考えられるすべり系は {010} [001] 系であった。

圧縮によるクリーブ特性を測定したが、最小クリーブ速度はセラミックス等の先進材料に匹敵もしくはそれ以上に優れた値であった。そのクリーブ機構は圧縮試験と同様の [001] 転位によるすべりに支配されていると考えられる。1500°C での n 値は 6.8, Q 値は 740 kJ/mol であった。

教授 山口 正治
 助教授 乾 晴行
 助手 伊藤 和博

2-14011

格子欠陥物性学分野

平成12年3月に小岩昌宏教授が停年退官し、平成12年度は教官2名、院生3名、学部学生4名と少人数となったが、従来と変わることなく活発に研究・勉強・課外活動に励んでいる(研究室対抗ソフトボール大会では優勝の栄冠を得た)。平成13年3月には新校舎「工学部総合校舎」に移転し、岡崎・蹴上の風景を楽しんでいる。平成13年7月には田村剛三郎教授が広島大学より転任し、新しい研究分野を展開しつつある。

研究内容の紹介として、最新の修士論文の概要を以下に記す。

岡村和郎「 α 鉄中の炭素・窒素とモリブデンの相互作用」

炭素・窒素の平衡固溶度測定および内部摩擦測定の実験により、 α 鉄中の炭素・窒素とモリブデンの相互作用エネルギーを評価した。

第1の実験では、ある炭素または窒素ポテンシャルのもとで炭素または窒素を鉄-モリブデン希薄合金に添加した。そのときの炭素または窒素の活量と固溶度の関係から活量係数のモリブデン濃度の関数として得て、そこから炭素または窒素とモリブデンの相互作用母係数を求めた。933, 973, 1023Kでの炭素とモリブデンの相互作用母係数がそれぞれ -11.9 ± 12.8 , -14.0 ± 7.6 , -30.0 ± 2.1 と得られた。2準位系トラップモデルに基づく統計熱力学的解析により、炭素とモリブデンの相互作用エネルギーは三つの温度で -0.16 ± 0.20 , -0.17 ± 0.05 , -0.24 ± 0.01 eVと得られた。窒素についても同様に実験を行った。723, 773, 823Kでの窒素とモリブデンの相互作用母係数は -26.1 ± 3.7 , -29.8 ± 4.0 , -33.7 ± 3.1 , 相互作用エネルギーは -0.16 ± 0.01 , -0.18 ± 0.01 , -0.20 ± 0.01 eVと得られた。

第2の実験では、炭素または窒素のスネーク緩和におよぼすモリブデンの影響を調べた。炭素を微量添加した純鉄では320Kに通常ののスネークピークが現れるが、モリブデンを添加した合金ではこれに加えて260Kに新たなピークが現れた。モリブデン濃度が高くなるにつれて通常のスネークピークの高さは減少し、260Kのピークの高さが増加する。モリブデンの添加によるスネークピークの変化を理論計算と比較することにより、炭素原子とモリブデン原子の相互作用エネルギーは320Kにおいて -0.11 ± 0.01 eVと得られた。窒素のスネーク緩和については、300Kに現れる通常のスネークピークに加えてモリブデンを添加した合金では350Kに新たなピークが現れた。理論計算との比較から、窒素原子とモ

リブデン原子の300Kでの相互作用エネルギーは -0.13 ± 0.01 eVと得られた。

櫛田亜矢子「 L_{10} 型規則合金 FePt の拡散」

L_{10} 型規則格子構造をとる規則合金 FePt における相互拡散係数を測定し、その異方性、温度依存性、組成依存性を調べた。

まず、拡散対を用いて L_{10} 相の相境界組成を測定し、状態図を再検討した。1273K 以上において、相境界は従来の状態図より 5-7 mol% だけ Pt リッチ側に位置していることがわかった。

次に、単一バリエーション単結晶の FePt を作製した。単結晶を $\langle 001 \rangle$ 方向に約 10MPa の圧縮応力を加えながら不規則状態から徐冷することによって、ほぼ単一バリエーションの試料が得られた。

上記の条件で作製した試料を用いて 2 種類の L_{10} 単相拡散対を作製し、 $\{001\}$ 面内および $\langle 001 \rangle$ 方向の相互拡散係数を測定した。 $\langle 001 \rangle$ 方向の相互拡散係数の値は $\{001\}$ 面内の 1/2 程度で、低温になるほど拡散の異方性は大きくなる。活性化エネルギーは不規則相、規則相 $\{001\}$ 面内、規則相 $\langle 001 \rangle$ 方向の順に大きい。

教授 田村剛三郎

助教授 沼倉 宏

助手 田中 克志

材料物理学分野

Al-Zn-Mg-Cu-Mn 合金中に晶出する Mn 金属間化合物の構造解析

Al-Zn-Mg-Cu 合金に Mn を添加し、粉末冶金法により強制固溶させてから熱間押し出しを行うことにより、押し出し方向に平行に Mn 金属間化合物が晶出する。この Mn 金属間化合物は繊維強化の役割を担っているが、その構造については明らかにされていない。今回 XRD 測定による相の同定とリートベルト法による格子定数の決定を行った。その結果、晶出している Mn 金属間化合物は斜方晶の Al_6Mn に Cu と Zn が置換したものであることが分かった。格子定数は $a=0.754$, $b=0.648$, $c=0.885$ (nm) であり、 Al_6Mn よりやや小さいことが分かった。

拡張ヒュッケル法による耐熱性の 評価と純物質・合金への応用

材料の耐熱性を予言するために、耐熱性の問題を高温での材料の安定性と捉え、本研究グループで定義・確立してきた物質の安定性の尺度、「凝集エネルギー」と「エネルギーの揺らぎ」を用い、これを高温での材料の安定性の評価を行った。分子軌道計算の一種である拡張ヒュッケル法を用い、およそ 100 個の原子からなるクラスターについて、その「凝集エネルギー」と「エネルギーの揺らぎ」を計算した。そしてその計算結果と実際の材料の耐熱性との対応を比較検討した。純物質と典型的な耐火材料については優れた耐熱性を示す材料は、程々に大きな「凝集エネルギー」を持ち、かつ高温で小さな「エネルギーの揺らぎ」を持つことであると確認された。この耐熱性の評価法は本研究で検討した範囲内に限られるものではなく、材料一般に適用できることが期待される。

走査ホールプローブ顕微鏡による磁場の観察

三次元駆動可能な走査ホールプローブ顕微鏡を用意し、YBCO 超伝導体直上での磁場分布の観察を行った。この装置は $1\mu\text{m} \times 1\mu\text{m}$ 以下の空間分解能を有し、STM を用いて試料とセンサーを接近させるため、非常に精度の高い観察が可能である。薄膜超伝導体の観察において、この装置を用いて量子化磁束を観測することが可能であることが確認された。

内部拡散法における組織形成過程

Nb_3Sn 線材は、現在高磁場領域での実用化がなされている線材である。その製法の一つである内部拡散法の熱処理を最適化するために、熱処理過程における組織観察及び J_c 測定を行った。試料は、現在開発中の線材を用い、すでに実用化がなされている線材と同様の熱処理を適用した。観察の結果、最終熱処理前に Nb_3Sn 化合物の形成はほぼ終了しており、予想よりもかなり低温での化合物形成が確認された。また J_c 測定結果においても同様の結果が得られた。

Ag/Cu ナノスケール多層薄膜の機械的性質

Ag と Cu を交互に積層すると通常は複合則に沿った強度を示す。しかしながら、その層間隔をナノオーダーにすると、強度が飛躍的に増大する。現在、相間隔が 5 nm の多層薄膜が作製可能であり、その引張強度は 800 MPa に達した。この強度は、層間隔の減少に伴う結晶粒微細化による強化、及び層間隔をナノオーダーにするために施した冷間圧延により導入された転位による加工強化により成り立っていることが分かった。またこの材料は 503K の焼鈍により回復再結晶は起こっていない。これは層間隔があまりに小さいため、転位の移動度が小さいことによると考えられる。

Ag/Bi223 超伝導テープ材における I-V 特性の統計的解析

Ag/Bi223 超伝導テープ材中の電流輸送機構を調べるため、weak link の臨界電流分布をシミュレーションを用いて調べた。またゾルゲル法を用いて実際の試料を作製し、電流電圧特性を測定し、それらの関係を詳細に調べた。磁束フローを電圧発生機構として仮定する Weibull 関数により解析したところ、高磁場領域では説明が見つかるが、弱磁場領域においては Weibull 解析では説明が見つからないことから、低磁場領域では、磁束フロー以外の機構による電圧発生が起こっている可能性が示唆された。

RE123 系超伝導材料の線材化と特性向上

Y 系酸化物超伝導材料 ($YBa_2Cu_3O_{7-\delta}$) に代表される RE123 系材料は、77K、磁界中での臨界電流密度 (J_c) 特性に優れることからその線材化が期待されている。しかし RE123 系材料は異方性が強いので、線材化のためには、金属基板上に RE123 系酸化物材料を 2 軸配向制御しながら連続的に形成する必要がある。独自に開発した表面酸化エピタキシー法を用いてこの課題に取り組み、これまで金属基板上において、X 線ロックアップカブの半値幅で 2° 、面内配向度を示す X 線 ϕ スキャンの半値幅で 10° と高度に 2 軸配向した RE123 薄膜の作製に成功した。RE123 薄膜の J_c は面内配向性と強い相関があり、 10° の面内配向度があれば今後、 $1\text{MA}/\text{cm}^2$ を越える J_c も期待できる。また RE123 超伝導薄膜についても新しい手法による作製を試みている。それは Ex-Situ 法と呼ばれるもので、真空蒸着によってプリカーサー膜を形成しその後のポストアニールによって結晶化を行う。膜にフッ化物を微量に含ませておくことで疑似液体層が出現し、膜のエピタキシャル成長を促進すると考えられる。プリカーサー膜の形成には塗布熱分解法による方法も試みており、有望な結果が得られつつある。また再結晶を利用した金属基板の 2 軸配向制御も行っており、ニッケルおよびニッケル系合金において X 線 ϕ スキャンの半値幅で $6\sim 7^\circ$ のものが得られた。

教授 長村 光造
 助教授 松本 要
 助手 山本 悟
 助手 足立 大樹

材質制御学研究室

本研究室では、鉄鋼材料やチタン合金などの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、再結晶の組織学的・結晶学的研究を主に行っている。同時にこれらと密接に関係する現象（形状記憶効果、超塑性など）の機構解明や強度、延性などの機械的性質の向上に関する研究も行っている。2000年度は主に以下のテーマについて研究した。

1. 鉄合金の相変態の結晶学と変態機構に関する研究

セメンタイトが点列状に配列した共析変態組織である疑似パーライト組織を詳細に観察し、疑似パーライトは層状パーライトと同様ブロック・コロニーといった内部組織を含み、層状パーライトと同様に母相に対して特定の結晶方位関係を持たない事を明らかにした。

炭素量が異なる Fe-C 合金および Ni 量の異なる Fe-Ni 合金のラスマルテンサイトについて内部転位密度を測定し、転位密度は添加元素の増加と共に増加し、特に炭素量依存性が大きいことを示した。

形状記憶効果を示す Fe-Ni-Co-Ti 合金を適当な条件でオースエージすると同一試料で熱弾性および非熱弾性の二種類のマルテンサイトが生じる。これらのマルテンサイトに対して形態および結晶学について研究を行った結果、熱弾性型ではオーステナイトに対して整合な析出物 (γ' -Ni₃Ti) が変態時にマルテンサイトと共に剪断的に結晶構造が変化してマルテンサイト内に整合粒子として受け継がれるのに対して、非熱弾性型では析出物の結晶構造は変わらずに非整合化して受け継がれることを見だし、この事が二種類のマルテンサイトが生じる要因であることを示した。

2. 単純組成鋼のセメンタイト組織制御に関する研究

単純組成鋼 (Fe-Mn-Si-C) のフェライト組織の析出強化における強化相として有効利用が期待されるセメンタイトの分散状態（形状、サイズ、分布）を制御する以下の研究を行った。

共析炭素鋼において棒状試料の長手方向に A₁点の上下での大きい温度勾配を形成させてパーライトのラメラが配向した一方向パーライト組織を得ることに成功した。強圧延時の加工硬化はランダムなラメラ配向を持つパーライト組織の場合とほとんど変わらないことがわかった。また合金元素の添加は一方向パーライト変態を抑制することを見出した。

セメンタイトの分散をより均一微細にする目的で、Fe-0.8C 二元合金において、合金炭化物を形成しない第

三元素の添加が焼もどしラスマルテンサイト組織におよぼす影響について調べた。その結果、低温焼もどしでは Si 添加が、高温焼もどしでは Mn, Cr 添加が焼もどし軟化抵抗を大きくすること、これらの合金元素添加がセメンタイト粗大化を抑制する効果があることが明らかとなった。

3. 極低炭素鋼の圧延再結晶に関する研究

極低炭素鋼ラスマルテンサイト組織と等軸フェライト組織の圧延組織の違いを詳細な方位測定で解析した結果、マルテンサイトを圧延した場合はフェライトよりも変形組織の発達が多く、同じ圧延率でもマルテンサイトの方が大きな方位分散を持つことが分かった。また、ラスマルテンサイトを軽圧下 (10%程度) するとラス境界の一部が消滅することが明らかになった。さらに、これらの試料を焼もどすと圧延率 50%以上のフェライト、マルテンサイトは共に再結晶するが、10%圧延ではマルテンサイトはブロック内のラス境界が回復・消滅し、ブロック単位の等軸フェライト粒が現れ成長することが分かった。

またオーステナイト域で加工を加えた（オースフォームを施した）後に生成したラスマルテンサイトの焼もどし挙動を研究した結果、オースフォームにより微細化されたブロックが焼もどしの間に一つの等軸フェライト粒となり、それが成長する事が分かった。

4. 鉄鋼における異相界面上核生成の結晶学的研究

オーステナイトからの相変態における新しい核生成サイトとして近年注目されている、母相粒内に分散する (MnS+V (C, N)) 複合析出物から核生成したフェライト変態組織の結晶学的特徴について研究した。

核生成サイトである複合析出物自身の結晶学的特徴として、オーステナイトに整合な MnS から V (C, N) が複合析出する場合には、析出物とオーステナイト間に特定の結晶方位関係が成立するが、非整合な MnS 上での V (C, N) の核生成では方位関係のランダム化が起こることを見出した。一方、非整合 MnS+V (C, N) 複合析出物上フェライト核生成においては、過冷度が小さい場合には結晶方位関係のランダム化が起こり塊状の粒内フェライトが生成するが、過冷度が大きくなると母相に対して K-S 関係をほぼ満たす針状フェライトが多くなることが明らかとなった。

教授 牧 正志

助教授 古原 忠

助手 森戸 茂一

技官 振本 昌治

エネルギー社会工学分野

圧延機を使ったナノテクノロジー

数十ミクロンの金属箔を重ねて圧延することを繰り返すことにより、個々の層が数ナノメートルのナノ材料が作れる。これを利用した高機能材料の研究を行っている。下記の新聞記事参照。

易分解性材料の開発

循環型社会の推進が叫ばれている。その際、以下に工業製品を効率よく分解・分離するかが一つのキーとなっている。そこで、通常のネジに水素脆性を示す材料を入れておき、必要なとき水素を吸わずによりネジを破壊し工業製品の解体を容易にするための材料開発研究を行っている。

リサイクル性の評価

リサイクルをすると環境に本当に良いのか議論されているが、エネルギー、資源、廃棄物の面から総合的にLCA 評価する方法を開発し、実際の工業製品に適用し、どのようなリサイクル法が望ましいか研究している。

光触媒用酸化チタンの開発

高い光触媒活性を有するといわれているブルッカイト型の光触媒をメカニカルミリングにより大量に生産できる方法を開発し、その光触媒性能について研究している。

凝固偏析利用した水の純化

水にはいろいろな物質が溶けるが氷には溶けない。この性質を利用して水を連続的に作ることにより水を純化できる方法について研究を行っている。

工業製品、廃棄物の社会工学

工業製品とは社会的に見たときどういうものか、すなわち人間生活にどのように関わり、また不要になったときどのように扱われるかについて社会との関わり方を中心に科学的に解明し、CO₂や廃棄物削減の具体的な方法について研究している。

助教授 石原 慶一
助手 山末 英嗣

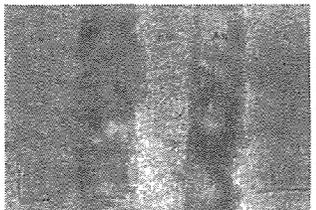
▼ 関西 発

ナノテクの衝撃

金属箔をナノメートルの厚さまで圧延し、数十層を重ねることで、個々の層が数ナノメートルのナノ材料が作れる。これを利用した高機能材料の研究を行っている。下記の新聞記事参照。

積層金属材料

圧延機利用し安価に 夢の素材開発が可能



鉄と銀の積層した金属材料

鉄と銀の積層した金属材料の層を圧延し、数十層を重ねることで、個々の層が数ナノメートルのナノ材料が作れる。これを利用した高機能材料の研究を行っている。下記の新聞記事参照。

日刊工業新聞 (2001.8.2) より

材料プロセッシング分野

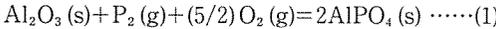
固体 Co で飽和した Co-P 液体合金中のリンの活量

1. 緒言

当研究室では、電気化学的手法を用いて合金中のリンの活量を測定してきた¹⁻⁴⁾。本研究では固体 Co で飽和した Co-P 液体合金中のリンの活量を測定した。得られた結果をもとに、液体 Co 中へのリンの溶解反応の自由エネルギー変化についても考察した。

2. 実験方法・原理

固体 Co と共存する Co-P 液体合金と Al₂O₃ + AlPO₄ 混合ペレットをアルミナのつぼ内で平衡させ、その平衡酸素分圧 PO₂ をジルコニア酸素センサーにより測定した。平衡を記述する反応式は次のようになる。



また液体合金中のリンの活量 a_P を

$$a_P = \gamma_P X_P^{1/2} \equiv PP^{1/2} \dots\dots(2)$$

と定義し、平衡酸素分圧 PO₂ と平衡リン分圧 PP₂、液相線濃度 X_P^L、リンの活量係数 γ_P との関係は次式となる。

$$\log PP_2 = 2 \log \gamma_P + 2 \log X_P^{1/2} = -(5/2) \log PO_2 - \log K(1) \dots\dots(3)$$

3. 実験結果・考察

液相線濃度、及び平衡リン分圧 PP₂ と温度との関係を Fig. 1 に示す。温度が Co の融点に向かって上昇すると液相線のリン濃度は低下し、それに伴って平衡リン分圧 PP₂ も単調に減少した。純粋固体 Co と純粋液体 Co とが共存する Co の融点において、平衡リン分圧は 0 となる。

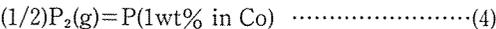
次にリンの活量係数 γ_P と温度との関係を Fig. 2 に示す。活量係数 γ_P は Co の融点においても有限な値をとる。ここで、{log γ_P} / (1 - X_P^L)² と温度の逆数との関係は Fig. 2 に示すように直線関係となり、次式が得られた。

$$\{\log \gamma_P\} / (1 - X_P^L)^2 = -(1.36 \pm 0.12) \times 10^4 / (T/K) + (3.25 \pm 0.70) \dots\dots(4)$$

式(4)を用いれば、Co の融点以下の温度において、仮想的な過冷純粋液体 Co 中の無限希薄リン濃度での活量係数 γ_P⁰ が求められる。

$$\{\log \gamma_P^0\} / (1 - 0)^2 = \log \gamma_P^0 = -(1.36 \pm 0.12) \times 10^4 / (T/K) + (3.25 \pm 0.70) \dots\dots(5)$$

式(5)を Co の融点 1768K 以上へ外挿した値は、純粋液体 Co 中の無限希薄リン濃度における活量係数 γ_P⁰ となり、この外挿値から液体 Co 中へのリンの溶解反応



の自由エネルギー変化を次のように算出した。

$$\begin{aligned} \Delta G^0(4) / \text{J} \cdot \text{mol}^{-1} &= RT \ln(\gamma_P^0 M_{\text{Co}} / 100 M_P) \\ &= (-260,000 \pm 22,000) + (29.3 \pm 13.5) (T/K) \dots\dots(6) \end{aligned}$$

ここで M_{Co}、M_P はそれぞれ Co、P の原子量である。

文 献

1) M. Iwase, E. Ichise and N. Yamada: *Steel Research*, 1985, vol.56, No.6, pp.319-326.
 2) K. Yamanaka and M. Iwase: *Scand. J. Metall.*, 1993, vol.22, pp.325-328.

3) R. Kawabata, E. Ichise and M. Iwase: *Metallurgical and Materials Transactions B*, 1995, vol.26B, No.8, pp.783-787.

4) M. Hasegawa, M. Iwase and A. McLean: *Scand. J. Metall.*, 1998, vol.27, pp.219-222.

当研究室の最新の情報についてはホームページ (<http://lupin.mtl.kyoto-u.ac.jp/>) をご覧下さい。

教授 岩瀬 正則
 助教授 藤原 弘康
 助手 長谷川将克

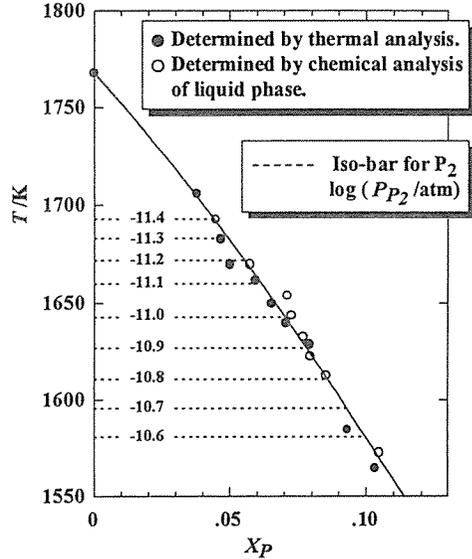


Fig. 1 Iso-bars for log (PP₂/atm).

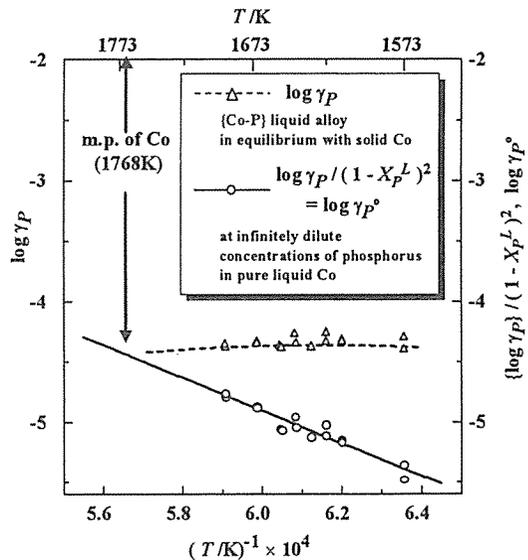


Fig. 2 Logarithmic plot for activity coefficient of phosphorus as a function of reciprocal temperature.

高温プロセス分野

溶融塩を用いた Nb, Ta 粉末の製造

Nb および Ta を連続的に生成する新たなプロセスを提案し、その実用性を実験的に検証した。TaCl₅ および NbCl₅ ガスは溶融塩中に吹き込まれた直後に、還元剤である Mg と反応し、沈殿物を生成した。KCl および NaCl-50mol%KCl においては Nb の針状結晶が優先的に沈殿した。結晶の形状を左右する要因を調査するため、これら金属塩化物の溶融塩への溶解度を測定した。KCl および NaCl-KCl への NbCl₅ の溶解度は高く、また Mg は新しい塩へは素早く溶解し、金属塩化物を吹き込んでいる最中でも還元剤として消費されるためこの溶解速度は維持された。高い Mg 濃度の KCl 溶融塩に NbCl₅ ガスを吹き込むと針状の Nb 粉末が得られた。ゆえに Mg ではなく NbCl₅ の溶解度が Nb 粉末の形状を左右する要素の一つであると考えられる。

溶融塩を用いた Ni のシリサイドコーティング

材料の表面にのみ Si を浸透させてシリサイド被膜を形成させる技術は、材料本来の機械的性質を損なわず、耐熱耐食性を向上させる。本研究では溶融塩を用いた簡易な手法により、Cr 及び Ni 表面にのみシリサイド被膜を形成させた。KCl-NaCl-NaF-Na₂SiF₆-粉末 Si からなる溶融塩に、Cr 及び Ni 板を浸漬し、表面上にシリサイド被膜を形成させた。Ni シリサイド被膜は大気中 1273K、48 時間の耐酸化性試験の結果、母材の純 Ni よりも優れ、耐熱耐食合金であるインコネル 601 に匹敵する耐酸化性を示した。これは Ni シリサイド中の γ -Ni₅Si₂ が特に酸化抑制効果を有するためであることを見出した。その γ -Ni₅Si₂ を形成させる条件は低い温度、短時間であった。

Ca 熱還元法によるチタンの製造

大量のチタンを短時間で製造する新しいプロセスとして、酸化チタンを原料として液体のカルシウム還元により直接に金属チタンを生成させる実験を行った。このプロセスは溶融塩化カルシウムを反応媒体とするというものであり、還元副生物である酸化カルシウムを還元中に溶解することができる。また、製造時間を短縮し、かつ酸化カルシウムの塩化カルシウムへの溶解除去が促進されるよう攪拌を加え、その効果を調査した。得られた黒灰色の粉末は X 線回折による分析の結果金属チタンが主成分であり、酸素分析を行ったところ、3000 ppm より低いチタンであった。

Nd-Fe-B 永久磁石と炭素の反応

Nd-Fe-B 永久磁石 (ネオジム磁石) のリサイクルを行うためには磁石からの脱炭が必要であり、そのためには、いかなる炭素化合物が磁石中に存在し得るかを知らることが重要である。本研究では、純酸化ネオジムと炭素、及び、ネオジム磁石と炭素を高温・減圧雰囲気中で反応させた際の炭素化合物生成について調べた。その結果、純酸化ネオジムと炭素の反応では、約 2200K に強熱した際に、NdC₂、Nd₂O₂C₂ の生成が認められた。磁石と

炭素の反応では、磁石の融解温度を上回る 1473K、雰囲気圧力 1Pa の条件のもとで Fe₃C、Fe₂(C, B) が磁石中に生成し、約 2200K で強熱した際に磁石中に Nd₂O₂C₂、NdC₂ の生成が認められた。

熱電発電システム

熱電発電はクリーンな発電方法のため新エネルギー源の一つとして有力な候補である。一般的な熱機関と異なり小温度差の熱源でも利用できるが、大規模な利用例および研究例はない。また大規模熱電発電においては、資源が豊富で安価な熱電材料が望ましい。

1. バルク状 β -FeSi₂ 熱電化合物の作製と評価

これまで主に粉末について研究されてきた FeSi₂ について、溶製材を作製するための実験を行った。アーク溶解で溶製した α -FeSi₂ 単相のバルク材において、相転移により完全に α -FeSi₂ が消滅し、 β -FeSi₂ と Si が生成されることが確認された。また大型試料の作成に適した高周波溶解により作製した α -FeSi₂ と ϵ -FeSi の共晶組織から、焼鈍により β -FeSi₂ 単相のバルク材を作製することができた。

2. 鉄基熱電発電モジュールの作製と評価

加工性の優れた Fe を熱電素子として用い、S 字型に加工することで電極に別の金属を必要としない熱電発電モジュールを作製しその評価を行った。モジュールを組み込んだ熱電発電装置を作製し、モジュールに付与される温度分布と起電力、内部抵抗及び出力を測定した。モジュールに 100K の温度差を与えた場合、単位面積あたりの最大出力は 3.68 W/m² であったが、不良素子の混入を防ぎ、接触抵抗を軽減することで、5.95 W/m² 以上にするのが可能であることがわかった。

3. 大規模熱電発電モジュール設計のための基礎解析

熱電発電モジュールについて、伝熱工学による検討を行った。熱供給媒体の素子への供給方法、素子表面へフィンを設置する効果およびフィン一体型の熱電素子形状、素子の小型集積化について検討した結果、熱供給媒体は向流に流す方がよいこと、熱電発電に適すフィン形状が存在すること、モジュール出力はフィンの枚数だけでなく設置間隔に大きく影響されること、流体に挟まれる素子では最適素子形状が存在すること、小型集積化は素子の高さ設定により行うとよいことがわかった。

4. 熱電パネルを用いた発電システムの最適設計

当研究室が独自に提案している平板型および円筒型の多段式熱電発電システムについて微分形の一般式を立て、起電力、出力電力についての解析解を示した。それを元に数値解析した結果、高温と低温の熱媒体の流入流速に差がある場合であり、かつ素子パネルの厚さ、パネル当りの素子数および素子の位置、熱媒体流路断面積を調整した場合、多段式の方が一段式より大きな出力を発生することがわかった。

最新情報は研究室のホームページ (<http://ogre.mtl.kyoto-u.ac.jp/>) をご覧ください。

助教授 鈴木 亮輔
助手 植田 幸富

量子エネルギープロセス分野

当研究室では銅酸化物複合超伝導体、カルコゲナイドアモルファス半導体および機能性金属合金などの材料について物性機能や作製プロセスなどの研究を行っている。主な研究は以下のとおりである。なお、研究は宇治地区と吉田地区に分かれて行われている。

1. 銅酸化物複合体におけるナノ構造制御と非オーム性伝導機能

化学的性質は類似しているが物理的性質が全く異なる2種類のペロブスカイト型銅酸化物の組合による複合体を対象に構造制御と伝導特性の研究を5年前から行ってきた。本研究は、その延長にあるもので、最近見出した特異な伝導現象の実験的、理論的解明を目的としている。絶縁体的化合物であるPr系銅酸化物 $\text{PrBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (PBCOと略記)と超伝導性銅酸化物 $\text{RBa}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (RBCO, RはY, Gd, Nd, Ho等の希土類元素)のナノ構造固溶体 $\text{R}_{1-x}\text{Pr}_x\text{Ba}_2\text{Cu}_3\text{O}_y$ (RPBCO)において、ある特定のPr濃度範囲では電流増大とともに電気抵抗が減少するという特異な負性抵抗効果が発現する。また、異なったPr濃度では電流に対して抵抗が増大する場合と不変のまま保たれる場合も見出されており、これらは超伝導相のパーコレーションクラスターの分解過程を反映するものと考えている。このような過程を背景に、負性抵抗などの非オーム伝導はクラスター構造に支配される電流分布と温度分布の挙動に密接に関係していると考えられる。また、YPBCOのナノ構造固溶体においては、構成単位であるYBCOとPBCOの結晶単位胞のおのおのが異種の単位胞で囲まれると、 CuO_2 面内の分子軌道の変化を介して、孤立単位胞が擬似変化して周囲に同化すると思われる現象がパーコレーション挙動から観測され、パーコレーションの擬似閾値の存在を示唆する非古典的パーコレーションモデルを提案している。その他、以上の研究に関係して、YBCOを対象に臨界電流のSQUIDを用いての測定からドープしたPrの空間分布と磁束挙動との相関を解明しようとする研究も行っている。

2. カルコゲナイドアモルファス半導体の電子構造と光学特性

この化合物半導体はS, Se, Teなどのカルコゲン元素にIV族のGe, SiやV族のAs, Bi, Sbなどが化合して出来る半導体で、元素の組み合わせにより多種多様な化合物が作られる。多くの場合アモルファス構造が容易に形成されるが、ガラス転移を行うのが特徴である。この半導体は赤外線透過性が良いので、それ向けのレンズやガラスファイバーなどの応用が着目されてきたが、より特徴的なことは、光照射にたいして構造敏感で、結晶化相転移、光黒化、光ドープ効果などの光誘起現象が

生じるため、光メモリーなど光機能応用の大きな可能性があることである。現在、当研究室では主としてGe-S系の化合物の電子構造と光学的特性を調べている。Ge-S系の研究は5年前の当研究室発足とともにスタートしたのであるが、当初は価電子帯などのバンド端の空間的乱れをパーコレーション構造の見地から探ることを目的としていた。対象としたGe-S系は、カルコゲナイドなかでは唯一毒性が無いため、十分でない化学設備環境でも取り扱えること、また他のカルコゲナイドにくらべ実験的知見が少ないことから、ターゲットとして選定した。約2年前からGe系カルコゲナイドの電子構造についてコンピューターによる計算解析の研究がスタートし、X線光電子分光やラマン分光の測定結果と参照比較しながら、これまで電子構造や局所構造の詳細を明らかにしてきた。昨年度からは光学測定システムのセットアップが整うようになり、それをういて現在は、Ge-S系の発光スペクトルや光照射劣化効果などの光誘起現象の測定を行い、ギャップ内欠陥準位の働きを検討しつつ、この化合物の構造と光学特性についての詳細な研究を行っている。

3. DC アークプラズマジェットを用いた材料の表面改質や物質合成

吉田地区研究室では、DC アークプラズマジェットを用いた材料の表面改質や物質合成の研究が行われている。大電流低電圧のDC アークプラズマは、プラズマガスとして用いる種類と混合比によって、超高温に熱せられ、音速近傍まで加速された非常に化学反応性の高いラジカル種ないしはイオン種を作ることが出来る。アルゴン中にメタンと水素を微量添加して金属基板にプラズマジェットを吹き付けると容易にダイヤモンドやダイヤモンドライクカーボンの生成を実現できる。又、アルゴン中に水素と窒素ガスを同時に添加して、チタン等の反応性の高い金属基板に吹き付けると、平衡的なガス反応よりも桁外れに大きな速度でチタンナイトライド(TiN)の厚い被膜を作ることが出来る。当研究室ではこれらの特異なDC アークプラズマジェットの性質を利用して、高機能性の厚膜や表面改質を試みている。特に、これらの硬膜や改質部の組成、構造、組織を原子レベルの超マイクロな分析技術を駆使することによって明らかにすると共に、その生成機構の材料学的な解明に取り組んでいる。既に、これらのプラズマ反応では水素のラジカル種ないしはイオン種が大きな役割を果たすことに当初に見出し、幾つかの公刊論文で評価を受けている。今後は、これらのプラズマ反応の適用を炭化物や硼化物に広げると共に、リサイクルや廃棄物処理技術(追加)への応用を試みる予定である。

教授 吉田 起國
 助教授 富井 洋一
 助手 蜂谷 寛

メゾ材料創製学 (基礎工学) 分野

Au (111) 表面のバリアハイトイメージング

昨年引き続き STM を用いたトンネル障壁 (バリアハイト, BH) の観察を行なっている。今回は Au (111) 清浄表面を対象として, BH の表面分布を調べる実験を行なった。Au (111) 清浄表面では, 最表面層が収縮しているために, 第 1 層と第 2 層の間にミスフィット転位, 具体的には 1 対の Shockley 転位とそれに挟まれた積層欠陥, が形成されている。我々の実験では, BH は Shockley 転位のところで約 0.3 eV 低下しており, これは転位に上向きの電気双極子が存在していることを示唆している。転位芯に電気双極子が形成されることは, 転位と溶質の電気的相互作用に関連して Cottrell らによって古くから指摘されている。しかしこれまで実験的な証拠は得られておらず, 今回得られた Shockley 転位の BH の実験結果は, 転位芯における電気双極子の存在を示す初めての実験結果ではないかと思われる。実際, 理論から予測される転位の電気双極子による BH の低下量 (0.25 eV) は, 実験結果 (0.3 eV) と良い一致を示している。しかし理論で仮定されている転位芯における格子歪は, 表面直下にある Au (111) 清浄表面の Shockley 転位では理論値よりも緩和されている可能性があり, 今後この点をシミュレーションによって検討して行く予定である。

合金点接触の電子伝導

原子 1 個で接触している単原子点接触では, コンダクタンスが量子化単位 $G_0 = 2e^2/h$ の整数倍に量子化される。この量子化コンダクタンスは Au では顕著に観測されるが, Pd は量子化コンダクタンスを示さない。そこで, 今回我々は AuPd 合金の量子点接触を作成し, コンダクタンスの組成依存性を調べる実験を行なった。コンダクタンス測定には, 2 本のワイヤーを接触させた後引き離し, 接点が離れる際の過渡コンダクタンスを測定する方法を採用した。接触が離れる直前には接触のサイズが原子サイズとなり, コンダクタンスに量子化現象が現れる。測定は全て室温・真空中で行なった。コンダクタンスの組成依存性については, Pd 組成が増加するにつれて, Au で頻繁に観測される $1G_0$ コンダクタンスの実現頻度が減少してゆくことが明らかになった。このことは, AuPd 合金の $1G_0$ コンダクタンスが専ら Au 原子に由来していることを示している。しかし $1G_0$ コンダクタンスの実現頻度は Au 濃度の低下よりもやや速く減少しており, $1G_0$ コンダクタンスの実現には, 接点における複数の Au 原子の相関, 具体的には Au 原子のみから成るリンクの形成, が関与していると考えられる。

走査ホールプローブによる超伝導材料の評価

これまで我々が実験に用いてきた走査ホールプローブ顕微鏡はプローブの有感面積が $0.1 \text{ mm} \times 0.1 \text{ mm}$ 程度であったため, 超伝導材料の微細観察が困難であった。今回新たに分解能 $1 \mu\text{m}$ の高分解能走査ホールプローブ顕微鏡を導入し, 高温超伝導材料の観察を試みた。高い分解能を実現するためにはプローブを試料表面に十分に接近させる必要がある。この走査ホールプローブは低温

STM と同様の接近・走査機能を有しており, トンネル電流検出によりプローブ-試料間の距離を制御しながらプローブを表面に沿って走査することができる。まだ多くの試料観察を行なってはいないが, YBCO 薄膜試料では, 磁束量子が観察されている。ホールプローブ像では, 磁束量子は磁界のピークとして観測される。複数のピークの間隔は磁束格子から予測される値に近く, 1 個のピークにおける磁束は量子化単位にほぼ一致している。高分解能走査ホールプローブ顕微鏡はまだ動作が十分には安定しておらず, ハード面での改良を続けて行く必要がある。

従来の走査ホールプローブ顕微鏡による研究では, QMG 法によって作製された YBCO 試料の残留磁界分布の観察を行ない, 低磁界での粒界への磁束侵入の様子が明らかにされている。また走査ホールプローブによって得られる磁界像から電流分布を求めるためには, 磁界-電流変換を行なう必要がある。これまではフーリエ変換法を使用してきたが, 電流分布が試料サイズよりも広がってしまうという問題点が指摘されていた。今回は試料電流をメッシュ電流に分解して, 磁界分布から各メッシュの電流を逆行列計算によって求める方法を試みた。メッシュを細かくすると大きな行列の逆行列計算が必要になり時間がかかる, という欠点はあるものの, QMG 試料の磁界分布の解析では, 良好な電流分布像が得られている。

電界放射エミッタにおける量子サイズ効果

昨年度の研究速報で報告したように, Cu エミッタの電界放射像では, (111) 極の周囲にリングパターンが観察される。我々の解釈では, このリングパターンは, 自由電子的な Cu (111) の表面状態の電子が電子波長の半分の幅を持つ (111) 極周囲のテラスに共鳴的に閉じ込められ, そのテラスの状態密度が増加することによって形成される。自由電子的な表面状態は, Cu (111) の他にも Au (111), Ag (111) 各表面にも存在しているので, 我々の解釈が正しいとすると, Au, Ag エミッタの (111) 極の周囲にも, リングパターンが観察されるはずである。そこで Cu エミッタに続いて, Au, Ag エミッタの電界放射像観察を行なった。Au エミッタの場合, やはり (111) 極の周囲にリングパターンが観察され, その位置は電子の半波長の幅を持つテラスにほぼ対応している。従って, Cu (111) の場合と同様に, (111) 極を取り巻く円環状のテラスの 1 つに電子が閉じ込められ, これが Au の (111) 極周囲に現れるリングパターンの原因になっていると考えられる。Ag エミッタの場合にも, (111) 極にリングパターンが観察されるが, リングは極の周囲のテラスではなく, 最表面のテラスの内側に位置している。この結果は, Ag では最表面のテラスに電子が閉じ込められることを示唆している。最表面のテラスと似た形状の Ag アイランドに電子が閉じ込められることは STM 観察によって確かめられており, エミッタの最表面テラスでも同様に表面電子の閉じ込めが起きていると考えられる。Ag の場合, 極周囲のテラスでは閉じ込めが起きていないが, これは Ag の表面電子の波長が Cu, Au の表面電子波長よりも長く, 半波長に相当する幅を持つテラスが極の周囲には存在しないためであると推定される。(大阪府立大との共同研究)

教授 酒井 明
助手 黒川 修

会 報

工学研究科教授 菊地宏吉先生は停年退官された。



菊地宏吉先生の御略歴

昭和34年 3月	北海道大学理学部地質学鉱物学科 卒業	平成12年 3月	京都大学 名誉教授
昭和34年 4月	財団法人電力中央研究所 研究員	平成12年 5月	東電設計(株) 顧問
昭和50年 4月	財団法人電力中央研究所 地質第一研究室長		
昭和56年 6月	財団法人電力中央研究所 調査役		
昭和57年 7月	東電設計(株) 土木本部応用地質部長		
昭和62年12月	東電設計(株) 第一土木本部副本部長		
平成元年 7月	東電設計(株) 理事		
平成 2年 3月	京都大学工学部 教授		
平成12年 3月	京都大学 停年退官		

この間、岩の力学連合理事長、日本応用地質学会評議員をはじめ、土木学会・地盤工学会・日本材料学会などの岩盤工学関連委員会の委員長、国際岩の力学学会試験法委員会委員、試験法に関する国際ワークショップ組織委員長、岩盤基礎に関する国際ワークショップ副組織委員長、中国三峡プロジェクトに関する日本岩盤技術調査団団長などを歴任、地盤工学会功労章(平成11年)受章、

菊地宏吉先生のご退官に寄せて

芦 田 譲

菊地宏吉先生は平成12年3月31日京都大学を停年退官されました。先生とは民間会社から京都大学に赴任したこと、さらに私の以前所属していた会社の先輩が菊地先生と北海道大学理学部地質学科で同級生であったと

いうことから、先生いわれるところの「会社員グループ」として非常に懇意にさせていただきました。

また教室(専攻)内にあつては、先生が教室主任(専攻長)を三回にわたって勤められた際には、その内二回教務としてサポートさせていただきました。先生は持ち前の調整能力を発揮され、教室主任(専攻長)の時に、それまで空席であつた5件の教授人事案件を処理され

ました。また、教室で対外的に困難な状況が生じた時には、的確な判断に基づき事にあたられました。

地質工学分野は、先生が担任になられて以来、配属希望の学生が一挙に増加しました。これは、日本の水力ダム建設における地質調査の第一人者としての豊富な経験に基づいた研究指導と電力会社・土木建設会社等への就職における面倒見のよさによると思われる。

先生を語るに酒にまつわる話を抜きには語られません。

- (1) 先生が赴任されて間もなくのこと「京の街探索」と称して先斗町のとあるスナックに入ろうとしたところ、「当店は一見さんお断りです」とけんもほろろに断られ、すすごと引きあげかけたところ、その姿に哀れを感じたのか、「お宅さん、どこにお勤めですか?」との声。「京都大学です」と答えるや否や、ガバツと腕ををとり店内に引っ張り込まれました。その後、話を聞くとその当時の工学部長先生の往きつけの店とのことでした。
- (2) 粋な名前のとあるスナックに入って話をしていると、京都大学の工学部の学生がかってアルバイトをしていたとのこと。その学生とは菊地先生の研究室所属で中国の梅里雪山で遭難した児玉君でした。その時の先生の驚き様はスナックのママを押し倒さんばかりでした。

また、先生は北海道大学の学生時代に「グリーンクラブ」で鍛えられた美声でもってカラオケでは他の追隨を許さぬ独壇場でありました。

先生は「皆んなが幸せになる」とのモットーのもと、小異を捨てて大同について、教室（専攻）内の融和を旨とされました。そのせいか最近では、専攻所属の全員が参加する忘年会、暑気払いが和気あいあいの雰囲気のもとで行われております。また、先生も参加された有志による「Kick off 会」のゴルフも年2回のペースで開催されております。

先生は御退官の後も、共同研究という形で関連講座・分野への運営資金の提供や研究の御指導をいただいております。今後も健康に留意され資源工学専攻を大所高所から御指導、御鞭撻を賜りますようお願い申し上げます。

(京都大学工学研究科教授、資源工学専攻)

菊地宏吉先生のご退官に寄せて

水 戸 義 忠

地球科学に関わる工学の道を進みたいと思っていた学生時代の私を現在の専門分野に導いてくれたのが、当時、早稲田大学の非常勤講師をされていた菊地先生であった。

菊地先生の土木地質学の講義を最初に聴いたのは、私が早稲田大学の三年生となった1984年のことである。菊地先生の講義は、当時から力強く躍動感にあふれていた。我々の力量を見越していたせいか、難しい内容には余り触れず、もっぱら生き生きとした先生御自身の経験に基づく迫力のある話を中心であった。自分の肌で感じたもの、自分で歩いて見聞きしてきたものに基づいての講義だったからこそ、その感覚を持ち合わせていない私にとって大変な興味を感じたのであろう。

初めてお目にかかった頃、菊地先生はまだ40代の若さだったが、すでに学会で要職に就かれているとともに電力業界で大活躍されていた。私には非常にまぶしい存在であり、人間のスケールが違うと常々舌を巻いたものである。

研究面では、すばらしいアイデアを泉のように生み出され、多くの研究論文をご発表された。特に、研究の分岐点やここ一番というときには断固としてきっぱり発言され、曖昧なま様子見するようなことは最後までされなかった。この研究に対する厳しい姿勢は驚くほど徹底していた。

研究活動の合間には、夜遅くまで学生と楽しく酒を酌み交わすこともたびたびであった。当然のことながら、この酒席で先生からさまざまご教示いただいたことが非常に多かったような気がする。先生のお言葉の断片を思い出すままに振り返ってみると、そこには研究開発における「現場主義」が濃厚ににじみ出ている。常に菊地先生が熱く強調されていたのは、社会のニーズを第一に考え、先人技術者の業績を継承しつつも、それを乗り越えて発展させよということだったと思う。このような一つ一つの言葉を通して、私たちは社会に貢献するための実学の重要性を教えていただいたような気がする。

さて、こう書くとも飲んでばかりいたような印象になるが、菊地研究室は非常にハードな研究室であった。現場を重視することを根拠とされているため、学生といえども日本全国の現場を渡り歩くのが普通であり、常に全力疾走することが要求された。但し、その中で最も多くの距離を旅していたのは、菊地先生御自身であった。常日頃自分の目で現場の状況を確認し、空気を感じようとなさったのではないかと思える。

菊地先生は類い希な企画力・実行力をお持ちでもある。わが国の岩盤工学関連の学会を常にリードされていたのは勿論のこと、1995年に国際岩の力学学会(ISRM)の第8回岩の力学国際会議を日本に誘致する原動力となり、最終的に大成功をおさめるに至るまでの立て役者となったのも他ならぬ菊地先生である。真正面から様々な交渉を長年にわたり進められた菊地先生は、世界の学者・技術者からの信望も極めて厚い。

私は、このように活発な行動をされていた菊地先生にいつも行動を共にさせてもらい、先生が数々の問題を一刀両断される様を間近で拝ませていただいた。今、思えば贅沢な修行をさせていただいたものと思う。先生の目指したものを弟子の私たちが実現するにはまだまだ時間がかかることと思うが、燃えるような激しさでエネルギーを発する菊地先生の姿勢を踏襲することで、大いに前進していこうと考える。まさにこのような姿勢をもつことの大切さを菊地先生は私たちに教えて下さったように思う。(京都大学大学院工学研究科助手、資源工学専攻)

菊地先生、本当にご苦労様でした

宇津木 慎 司

私が先生と初めてお会いしたのは、確か、平成2年4月であったと思います。先生は赴任されてきた直後、そして我々は3回生になって初めて専門の授業を受ける学生。何となく少し緊張しながら初めての授業を受けた記憶があります。その時、先生が手掛けられた奈川渡ダム他、多数のダム・地下発電所等のスライドを見せていただいたのですが、私自身、今まで感じたことの無いような感動と衝撃を覚え、そのまま先生の研究室に入り、現在もダム建設に従事している次第です。

先生の研究は、常に、「現場」のニーズに即しています。そのため、必然的に、実験も「現場」で実施することになります。当時、我々の学年が、先生の赴任後、初めて研究室に配属になったわけですが、真新しく使い方もよく分からない試験機の説明書を読む段階から研究が始まりました。その試験機を持って、いきなり岐阜県の川浦ダムという100m級のアーチダム現場へ連れて行かれ……。正直言ってどうなることかと思いました。そのまま、現場の宿舎に泊まり込み、2ヶ月かけて何とか実験をやり遂げたことが、今にもつながる自信になっています。その後も、神奈川県の宮ヶ瀬ダム・北海道の札内川ダム等において、「グラウチングによる岩盤の改良効果に関する実験」・先生の考案された「孔内打撃応答試験機の適用性に関する実験」等、通常、学生では関わりえないような経験をさせていただきました。実際に施工

しているダムの堤敷に学生が入って、実験をするのですから。今覚えれば、とんでもないことをやってきました。その中で、「現場」の大切さ、スケールの大きさ、暖かさ等を痛感させられ、どことなく惹かれてしまうようになってしまいました。

先生がよくおっしゃっていた言葉で、最近よく思い出すものがあります。「俺はしつこいんだ。」その言葉通り、研究にかける情熱は凄まじいものがあります。先生に怒られた記憶はあまりありませんが、研究内容に対して配慮が欠けていたり、深く追求する姿勢がみられないとき等には、普段の温厚な姿からは想像できないような表情をされます。その後、私自身が社会人になって、尊敬できる方にお会いするたびに、同じ言葉を耳にすることがあります。研究のみならず、一社会人として、先生のような「しつこさ」を持って生きていこうと、今、強く感じています。

また、私が唯一強く怒られたのは、北海道へ実験に行った時のことです。私と同級生の喜藤君とで、車に実験機材を積み込み、小樽までフェリーで行き、帯広で先生と落ち合う約束をしていたのです。約束の日に帯広には行ったのですが、その前の2~3日間、車で北海道中を遊んでいて、そのことを先生に連絡していいなかったのがまずかった。我々に会った瞬間、「本当に心配したんだぞ。」という一言。あんなに厳しい表情をされたのはあの時だけだと思います。「しつこさ」や「頑固さ」それだけでなく、周囲に対する「優しさ」や「気遣い」を忘れない、例え相手が学生であろうと。今、私自身33才になって、そのことのありがたさを痛感すると共に、自分自身そこまでできているかと反省するばかりです。

先生、本当にいろんなことがありましたね。苦しいこと、辛いこと。でも、とにかく楽しかった、本当に楽しかった、今そう思います。「菊地先生、本当にご苦労様でした。」先生のご退官に際して、この言葉をお贈りしたいと思います。また今度、あの時のみんなで、「フジタ」と「ボナロワ」へ行きましょう。そして、久しぶりに、「新雪」を聞かせて下さい。

(楯ハザマ 長井ダム出張所)

エネルギー科学研究科教授 八田夏夫先生は停年退官された。



八田夏夫先生の御略歴

昭和36年 3月 京都大学工学部鉱山学科 卒業
 昭和36年 4月 (株)神戸製鋼所 入社
 昭和40年 2月 (株)神戸製鋼所 退社
 昭和40年 3月 京都大学工学部 助手
 昭和52年11月 京都大学工学部 講師
 昭和57年11月 京都大学工学部 助教授
 平成 3年 4月 京都大学工学部 教授

平成 8年 5月 京都大学大学院エネルギー科学研究科 教授
 平成12年 3月 京都大学 停年退官, 京都大学名誉教授
 平成12年 4月 日本文理大学工学部 教授

この間、京都大学附属図書館商議員、京都大学大学院審議会審議員、文部省学術審議会専門委員などを歴任。

八田先生のご退官によせて

西山 孝

八田夏夫先生は平成12年3月31日に停年退官された。東京大学や東京工業大学では停年が延びてきておりますが、京都大学ではこれまでどおり停年は63歳であります。さて、八田先生は京都大学を退くにあたって、「京都大学三十五年の教育・研究に思う」と題する最終講義をなさいました。6冊の著書と145篇の論文を前に、35年間真摯に教育と研究にたずさわってこられた先生の、含蓄の深い講義内容で感銘を受けました。当日の講義要旨を見ながら先生の業績をたどって見ます。

先生が京都大学に任官されたのは昭和40年で、4年間の会社勤務を経験されたからのことです。お戻りになって、まず、手がけられたのは空気ふるいの研究で、これは後ほど学位論文とされたものです。その後、フンボルト財団からの給費を受けて西ドイツへの留学されています。研究領域は伝熱学、計算物理、流体力学、海洋資源の揚鉱理論の確立へと順次広げられ、多くの業績をあげられました。ライデンフロスト点以上の高温の網板の上に水滴が落ちたときの瞬時的な変形過程、その瞬時に水滴はどのような形をたどるのか？それが計算によってはじめてつかめ、それを高速カメラで実証されたという話を伺いました。また、ハレー彗星の動きがうまく計算に

載ったなど、数々の興味をかきたてるお話がございます。研究成果はほとんど外国雑誌に掲載され、後輩として少し国内無視の傾向があると心配したことがありましたが、最近では国内の学会とも適当にお付き合いくださっているようです。

研究とともに力を注がれたのは、教育と大学改革でした。まず、資源工学のカリキュラムは先生の提案で基礎分野に基づいたスッキリしたものになりました。戦後はじめての大きな改革で一筋縄ではいきませんでした。大学院重点化にも尽力されました。航空工学との融合、土木工学との融合、エネルギー科学への参画などの案に対して、つぎつぎに斬新なアイデアを出され、現在の資源工学の姿ができました。しかし、この一、二年大きく後退しそうな動きがあるのは残念です。

先生はエネルギー科学研究科の創設とともに、エネルギー応用専攻に籍を移されましたが、ここでも、初代専攻長、京都大学図書館商議員、大学院審議員などの役職を勤められ、今日のエネルギー科学研究科を形造ってこられました。さらに、これからの京大のあり方については京大広報(544号2000.3)にお書きになっておられますので、ぜひお読みいただきたいと思います。

最終講義の結びのことは、「この講義には結論はありません」というものでした。現在、先生は私立大学に移られ、新しい大学院の創設に向けて努力されています。京大の仕事があまりに多忙なためか、停年退官後は、教育、研究をはなれてしまう先生が多くなってきているなかで、たのもしい限りです。

(京都大学エネルギー応用科学専攻)

八田夏夫先生のご退官に寄せて

宅 田 裕 彦

「八田先生、ご退官おめでとうございます。」…と書くのは、ご退官以来すでに1年以上経過しており、また、八田先生は、大分の日本文理大学で引き続きご活躍中で、京大のご自身のお部屋へも毎月帰って来られて、元気な顔を我々に見せていただいているので、今さら何か変な具合ですが、多くの卒業生はこの会誌を見て初めてご退官を実感することでもあり、まずはこう書かせていただきます。

八田先生は、京都大学において35年間にわたって、学生の教育と研究の指導にあたり、多くの人材の育成に努力してこられるとともに、素材から製品に至るまでの加工プロセスおよびエネルギープロセスの学問分野を中心に多くの研究業績を挙げてこられました。主な研究テーマとして、「気流を用いた固相粒子の粒径による分離」、「熱間圧延におけるスラブ温度推移の予測および熱

延工程の省エネルギー化」、「ライデンフロスト点以上の高温固体表面に衝突する超微小液滴の変形挙動」、「高温固体表面上を流れる冷却水の膜沸騰の発生機構とその冷却能」、「固気二相流体のノズル内流れと自由噴流域における粒子相の挙動」などが挙げられ、これらの研究成果は学術報文として和文論文45篇、欧文論文101篇(退官時)に発表されました。

また、流体力学、伝熱学、数値解析学の分野での教科書および専門書の執筆も6冊に及び、学部学生用の基礎から大学院院生用の応用まで、そのわかりやすい記述には定評があり、多くの読者を得ていることも特筆すべきことであります。

さらに、学内外において、京都大学附属図書館商議員、京都大学大学院審議会審議員、文部省学術審議会専門委員などの役職を務め、学術行政にも尽力してこられました。ご退官にあたり、これらの輝かしいご功績に対し深く敬意を捧げる次第です。

さて、私は、学生時代も含めると23年の長きにわたって八田先生にご指導いただいたこととなります。23年間に教えていただいたことがらを短い文章で書き表すことはできませんが、一つだけ挙げるとしたら、やはり研究に対する取り組みということになるでしょうか。具体的に、何もかも枝葉を取って言ってしまうと、それは「論文を書け」「英語で書け」ということです。それを若いときからそれこそ退官を迎えた最後の日まで、口を酸っぱくして言われました。何を当たり前のことをと思われるかも知れませんが、以前の資源工学教室内でこのようなことを言う人間はごく少数で(あるいは八田先生だけだったかも知れませんが)、ともすればそういう教室の雰囲気にならざる私に対して、事ある毎に注意していただきました。大方針だけ示されて、大きな手のひらの上で自由に遊ばせていただいた恩師の小門先生とはまた違った意味で、八田先生には大変感謝しております。

小門先生、八田先生の二代にわたって同じ研究室で過ごしてきましたが、それにしてもどうしてこうも対照的なお二人が同じ研究室の教授となるのでしょうか。小門先生は頻りに各地の製鉄所に指導に出かけられていたのに対して、八田先生はめったに大学を離れることがなく、例えば、私が任官以来、小門先生が退官になるまでの8年間に、学会発表も含めて一度たりとも大学を留守にされた記憶がありません。また、遊びの面でも対照的なのは皆さんよくご存知のとおりです。学会活動についても八田先生は一切の雑用、役職を断ってこられました。これだけの業績を残された方が学会賞を一つも受賞していないのはそのためと言ってよいでしょう。そう、小泉首相ではありませんが、八田先生はある意味で吉田

本町の「変人」です。

「変人」ゆえに多くの先生方に理解されずに衝突もあつたことでしょう。その「変人」と、大きな衝突もなく長い年月過ごして来れたのは、一つは私が暖簾に腕押しで、というよりやはり歳の差から、八田先生がけんかの相手として私を認めていなかったせいでしょう。しかし、私のほうから言わせていただければ、なかなか表面上の荒っぽい言葉遣いからは伺い知れない情の深さ、思いやりを、長くつきあっているうちに感じる事ができたからだと思います。それに、下の者としては、八田先生の裏表のない言動で、安心して行動できたことは幸せでした。

八田先生は曲がったことが嫌いで、正義感が強く、その結果、青臭い書生論とも揶揄されるような発言を、教室会議などの席上で数多くなされました。60才を越えてからも、ご自身それを自覚された上で、恥じることなく展開されています。たとえ青臭くてもそういう姿勢が大事であると確信された上でのことです。まだまだ外見上も若さを保っておられる八田先生ですが、いくつになってもその青臭い書生論をやめることなく、我々後輩のために正論を是非実現させていただきましますよう、益々のご活躍を心からお祈り申し上げます。

(京都大学大学院エネルギー科学研究科助教授、
エネルギー応用科学専攻)

八田夏夫先生のご退官に寄せて

藤 本 仁

私が初めて八田先生の研究室に伺ったのは、入学後間もない昭和59年5月でした。新入生歓迎行事に関する用件で、当時行事係をされていた八田先生を、同級生と訪ねたのですが、部屋の場所がわからず6号館のまわりをうろうろした覚えがあります。ようやく先生の部屋にたどり着き、緊張しながら用件を告げると、先生は思いのほか親切に対応して下さいました。

その時、机の上には書きかけの分厚いレポート用紙が置かれていて、先生は研究の最中のような様子でした。私はそれを見て、実にアカデミックであるなと妙に感動したことを覚えています。

その後、ご縁があつて、先生に卒業論文、修士論文のご指導を仰ぎ、さらに助手として10年間お世話になりました。私が先生の部屋に伺うときはいつも、先生は机に向かって黙々と仕事をされており、ご退官の間際になってさえ、その姿は変わりませんでした。とにかく、いつも研究に打ち込まれていたという印象が強く残っています。

八田先生は、どのような仕事でも、なるべく早く片付

けてしまおうとする方でした。仕事を手元にいつまでも留め置くことを善しとせず、その性分を「俺はせっかちなんや」という言葉で表現されておられました。例えば、学生が就職や奨学金の申し込みで担当教授の所見を書いた書類が必要なとき、彼らはそれを頼むためにうやうやしく先生の部屋を訪れるのですが、大抵の場合、先生はその日のうちに書類を仕上げ、次の日には学生に渡さっていました。また、私が論文の草稿や研究経過のまとめを書くと、すぐそれに目を通して、研究に対する議論や指導をしてくださいました。とにかく先生の“せっかちな性分によって私も学生も随分恩恵を受けました。

その反面、少し困ってしまうこともありましたが、先生はよく「いつでもいいから、君の時間が空いているときに、これをやっておいてくれるか。」と言って、私に用件を頼まれることがありました。言葉のとおりであれば、とくに処理を急ぐ必要はない用件のように聞こえます。ところが、1,2時間もたたないうちに「あれできたか?」と電話がかかってくるのです。私も先生の“せっかちな性分を理解しているつもりなので、言われてすぐにその仕事に執りかかっているのですが、大抵の場合、出来てはいません。そこで、必要と思われる時間に幾分の余裕を加味した時間を先生に告げて電話を置きます。しかし、先生は私が少し長めに時間を申告しているのを見透かしておられるようで、その時間が来る迄に「できたか?」とまた電話がかかってくるのです。そのとき迄に仕事が出来ているときはいいのですが、そうでないときは「もう少し待ってください。」と返答して、非常に焦りながら、その仕事をなるべく早く仕上げようとしたものでした。今となって思えば、先生の方も、私の仕事の遅さにさぞかしイライラされたでしょうし、かなり辛抱していただいたのでしょう。

先生は、ご退官されたとはいえ、現在も日本文理大学で教鞭を取られ、また混相流の研究にもますます打ち込まれておられます。私も八田先生の教育と研究に対する真摯な姿勢を範として、自己の研鑽に勤めてまいりたいと思います。

(京都大学大学院エネルギー科学研究科助手、
昭和63年資源工学卒)

八田夏夫先生のご退官に寄せて

金子智弘

八田先生のご退官に際して、寄稿文を執筆させていただく事になりました。改めてご退官おめでとうございませう。加えて、学生時代のみならず、長きにわたり卒業後の我々のご指導までいただき、ありがとうございます。

八田先生に最初にお会いしたのは大学の流体力学の講義でした。あの頃の記憶は「こんなん解けないのはアホですわ」といつもの欧米人並みのオーバーなジェスチャー（スナップがとても効いていました）で言われたり、黒板や試験の解答用紙に「Stupid!」と書かれたりして「厳しい先生だなあ」と思っていた記憶が鮮明に残っています。劣等生の私としては、そのような厳しい研究室を避けるのが当然ですが、何故か八田先生の研究室に入ってしまった。

大学院に入ってから、少し改心いたしまして八田先生のご指導のもと研究させていただいた間も自分の想像よりはお叱りを受ける事もなく無事卒業する事ができたと記憶しております。もしかしたら、「アホ」と呼ばれる事に慣れてしまっていただけかもしれません。今から思えば、卒業する間際は結構八田先生に叱られる事を楽しんでいたようにも思えます。

八田研には古くからベッド付きのマージャンルームがありました。いつもの様にマージャンをやっていると、朝になり、「そろそろ、八田先生が来はるから、やめなアカンでえ」と言いながら、とうとう見つかってしまいました。確か2回目だったと思いますが、ご想像通り、それが伝統のマージャンルームが封印された瞬間でした。伝統を築きあげられてきた諸先輩方には大変申し訳ない事をしたと思っていますが、我々としては一つの笑い話として楽しい記憶となっています。八田先生に叱られ、封印されながらもショックを受けた記憶も無く（反省しなかった訳ではありませんが）、やはり叱られる事に慣れてしまっていたのでしょうか。

卒業後も研修室を訪問すると八田先生の部屋に長時間監禁される事がお決まりでした。後輩に飲み連れて行く約束しながらお昼過ぎから延々と色々なお話をさせていただき、長い時間学生を待たせた事もあります。学生時代はゆっくりお話を聞く事も余り無かったので、大学訪問時の結構な楽しみでもありました。

このような出来の悪い私に対しても懇切丁寧にご指導していただいただけでなく、奥様とも懇意にさせていただいております。研究の事ばかりだけでなく、生活面、人生の転換期におきましても温かい言葉をかけてくださり、今でも大きな心の支えになっております。今、このように充実した日々が送れるのも八田先生のお陰だと深く感謝いたしております。

現在では私も Manager と呼ばれる立場になってしまいましたが、生意気にも自分のモットーとしては生涯 Engineer、真実の一つしかないと考え、日々行動しており楽しい会社生活を送れています。これは、大学院時代に八田先生にご指導を受けながら、ガラにもなく研究の楽しさを味わう事ができましたし、純粋な気持ちで研究活動にご尽力されていた八田先生の影響だと感じております。

八田先生も新しい大学では京都大学とは大きく環境が異なるようですし、その中で重要な職務に就いておられる様ですから、ご無理をせず、お身体には十分ご留意され今まで以上にご活躍される事をお祈り申し上げます。

最後に今後とも我々卒業生に対しましてもこれまで通りご指導ご鞭撻いただきます様心よりお願い申し上げます。
(川崎製鉄(株))

工学研究科教授 小岩昌宏先生は停年退官された。



小岩昌宏先生の御略歴

1959年 3月 東京大学工学部冶金学科卒業
 1964年 3月 東京大学大学院化学系研究科冶金学専攻
 博士課程修了, 工学博士
 1964年 4月 東北大学金属材料研究所講師
 1967年 9月 東北大学金属材料研究所助教授
 (1969年 9月-1971年 9月 オックス
 フォード大学ラムゼー卿記念研究員)
 1979年 7月 東北大学金属材料研究所教授
 1985年 4月 京都大学工学部金属加工学科教授
 1987年 3月まで 東北大学金属材料研究
 所教授併任
 1996年 4月 工学研究科材料工学専攻に
 配置換
 2000年 3月 停年退官, 京都大学名誉教授

この間, 日本金属学会副会長(1991, 1992年度), 会長
 (1997年度)などを歴任。材料における拡散国際会議
 (1992年, 京都)委員長, 固体-固体相変態国際会議
 (1999年, 京都)委員長, 文部省科学研究費補助金特定領
 域研究(A)「材料組織制御をめざした相変態の微視的機
 構の解明」(1997-1999年度)領域代表者, 学術雑誌
 Materials Science and Engineering A 編集委員, 金属
 研究助成会奨励賞(1969年), 日本金属学会功績賞(1975
 年), 東北大学大型計算機センター功労章(1990年), 日
 本金属学会論文賞(1984年), 日本セラミックス協会セラ
 モグラフィック賞(1993年), 日本金属学会谷川ハリス
 賞(1996年)受賞, 日本金属学会本多記念講演者(1998
 年)。

小岩昌宏先生のご退官に寄せて

山口 正 治

小岩先生が英国オックスフォード大学の当時 Department of Metallurgy に Ramsay Fellow として滞在しておられた時期に、私も同大学の同じ Department に留学する機会があり、1970年から1971年にかけてほぼ1年間大変お世話になりました。当時、私は計算機シミュレーションに興味を持ち始め、Vitek氏(現 University of Pennsylvania 教授)のグループに入って転位芯の構造とエネルギーに関する計算機シミュレーションの勉強を始めておりましたが、大型計算機を使った経験が無く、小岩先生にフォートランの手ほどきをして頂きました。これ以外にも研究上のさまざまな相談に乗って頂きましたが、忘れられないのは、当時独身だった私が、家族で滞在しておられた先生のお宅に頻繁に押しかけては、日本のあれが食べたいこれも食べたいと随分厚かましいお願いをしてはご馳走になったことです。このような訳で、小岩先生の奥様にも、いやむしろ小岩先生以上に感謝している次第です。

日本に帰ってからも、東北大学金属材料研究所に度々お呼び頂き、いくつかの共同研究を通して大変良い勉強をさせて頂きました。転位芯に関するシミュレーションの方法について金属学会報に解説を書く機会を頂いたのもその一つですが、原稿を徹底的にお読み頂き、大変参考になるご意見を頂きました。3度ほど書き直したと思いますが、正確で格調のある文章を書くことに対する先生の真摯な姿勢には大いに感服すると共に、非常に大切なことを教えて頂いたと今も感謝しています。小岩先生が博学多識の人であることは、皆様もよくご存知のことと思いますが、その豊かな知識とリズミカルな会話術が相俟って、話し手としても達人の域に達しておられたと思います。Materials Scienceの世界の大先生でしたが、外交官か何かになっておられても成功されただろうと思っています。

一方、私は早口で要領を得ない講演が多かったものですから、そのことを何度か注意して頂きました。講演の仕方について、聞き辛い批評をストレートにおっしゃる訳ですが、一寸とまどいながらも、大いに納得するところがあって、私の体に染み込んでいったように思います。そのような得がたい先人が私の側にいたことを幸運に思っています。

私は、1987年4月に大阪大学から京都大学に移って参りましたが、この時も先生に大変お世話になりました。京都大学の当時金属加工学科で一講座を担当させて頂くことになり、そのことに限りない夢を感じて移って参りました。なかでも、小岩先生を始め錚々たる先生方

と同じグラウンドで競争できることに対する気持ちの高まりを今も忘れることができません。当時北白川別当町に住んでおりましたので、農学部グラウンドの横を通り、ほとんど構内を歩いて通勤しておりましたが、当時の日々印象がいまも鮮明に記憶に残っています。私が、私より若い人達に同じような気持ちの高ぶりを感じさせ得る人間であるか否か、内心忸怩たるものがありますが、残された日々を目標に向けて努力して参りたいと思います。

小岩先生から最近頂いたお葉書によれば、先生は家庭菜園で汗を流しておられるとのことでした。また、近々カナダ大旅行に出かけられるとも伺っています。いずれまた大旅行のお話など、例のリズミカルな調子でお伺いできればと思っています。先生の益々のご健勝を心よりお祈り申し上げます。(京都大学材料工学専攻)

小岩昌宏先生のご退官によせて

沼 倉 宏

「どうですか？」学生の居室にすーっと現れて机に向かっての学生・院生に背後から声をかけ、研究の進捗状況を訊ねるのが小岩先生の研究室における日常業務であった。これに対して「いえ、どうではなく(自分の研究テーマは)鉄です」などと駄洒落で切り返す強者もいたが、ほとんどは一瞬ぎくりとひるみ、呼吸を整えてから振り向いて先生に相対する。「はあ、ぼちぼちです」といった答えでは満足していただけるはずもなく、実験の進み具合を訊ねられ、新しい実験結果があればそれも示すと、これに対する質問、議論が小一時間も続くことも稀ではない。探求心・好奇心・教育熱心のかたまりである先生は、その熱心さと親しみやすさゆえに皆から慕われる存在であった。



写真1 最終講義における小岩先生(2000年3月3日、工学部物理系校舎216講義室)。

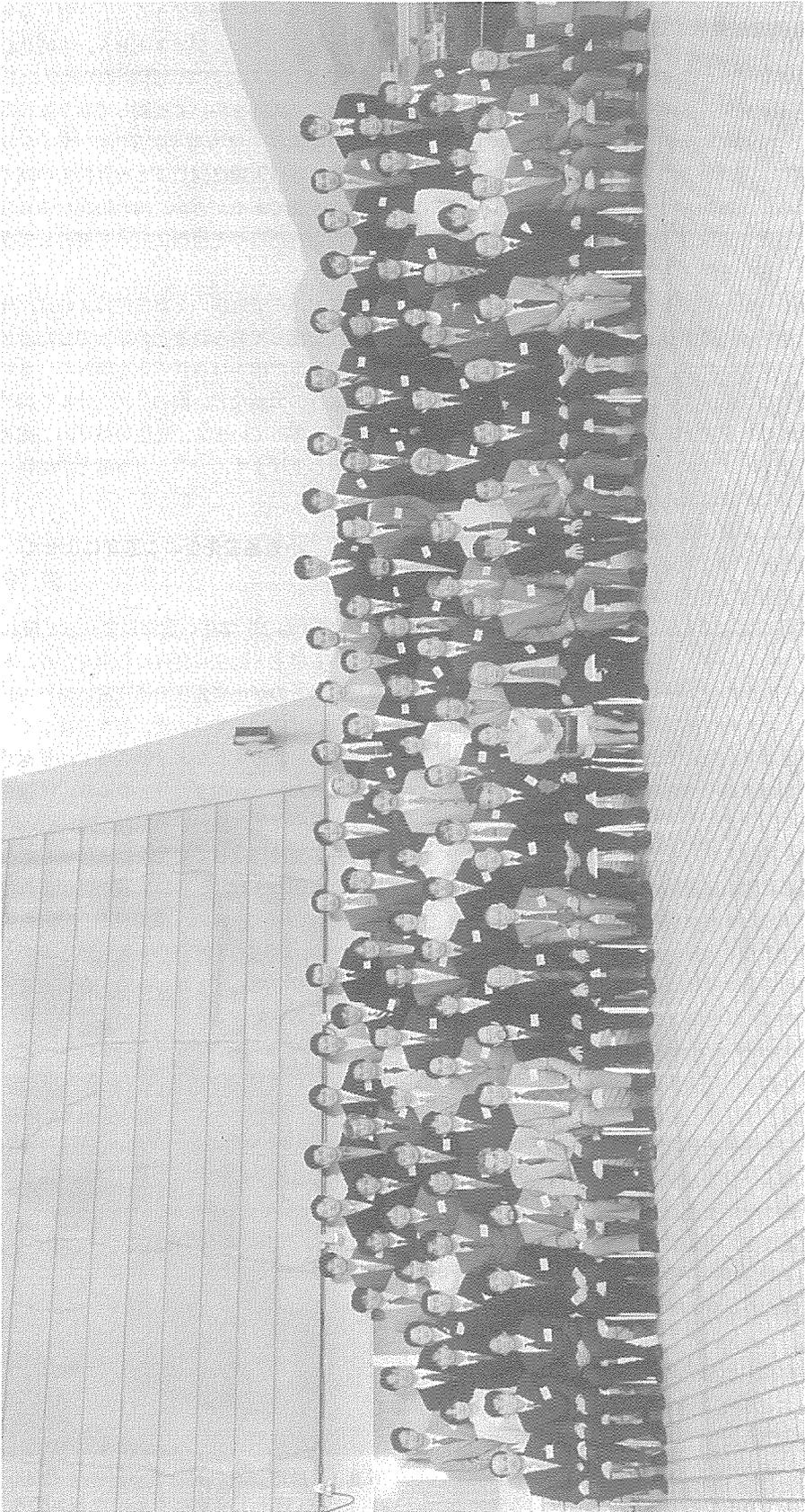


写真2 退官記念行事の記念写真(2000年4月30日, ホテルフジタ京都).

小岩先生が東北大学から本学に転任されたのは1985年4月のことで、教育熱心な先生という評判は京都にも赴任前から聞こえていたらしい。東北大学時代は所属が研究所だったので講義の機会はあまり多くはなかったが、大学院工学研究科での講義は丁寧にわかりやすい講話とよく練られたレポート課題で知られていた。京大では学部・大学院両方で存分にその熱心さを発揮された。学生が驚いたのは、先生は時間前に講義室で板書を済ませておくことである。先生は朝が非常に早く8時には大学においでだったので、朝一番の講義でも余裕をもってなさっていたようである。何年か前研究室に配属されたある学生は、3回生のときの講義でこれにいたく感動し、先生の研究室に質問に訪れたときに時間をかけて懇切丁寧に答えてくださったことにも感激して、小岩先生の研究室しかない！と決心したと言っていた。しかし、このように真摯に取り組んでおられるため、それに応えない学生には怖い先生となることもある。講義中に熟睡している学生を起こし、眠いなら家に帰って寝てはどうかと直言されたこともあったと聞く。

研究に関しては、(当然のことではあるが)第一歩から最後の結論まで自分で納得できること、これを貫くのが小岩先生のモットーである。研究室では学会発表のリハーサルを数回おこなうが、序盤では発表予定者は先生の鋭い指摘に恐ろしくする。「それはどういうことかな?」「そこ、もう一回説明してみてください」…。ことごとく、発表者自身がよくわかっていないところを突く質問で、ディスカッションのやりなおし、あるいは徹夜で勉強ということになる。最終段階に至るまで、まだまだ苦労は続く。小岩先生は「日本語で講演する人のために」(金属学会会報22(1983)756)という文章も著した自称「講演評論家」であり、OHPの枚数・字の大きさ・図の描き方や配置は適切か、無駄な言葉はないか、聴衆を見て話しているか、などなど、「伝わらなければ発表する意味がない」という教義に則り、現地の宿で、さらには本番直前の休憩時間まで練習は続いたものである。

先生ご自身も、国際会議などでの講演にあたっては入念に準備を重ねて臨まれた。先生の練習法は自分でテープに録音して聞くことで、これは客観的に判断することができてたいへん有効ということで、我々にもいつも勧めて下さった。私も初めて英語で講演するときに一度やってみてその効用を実感したが、同時に自分が如何に下手かということがあまりによくわかっていやになるので、それ以後は時間がないことを口実にほとんどしていない。(先生、すみません)

このように書いてくると小岩先生は怖い先生という印象を与えるかもしれないが、実際は大変親しみやすいお人柄で話し上手、特にお酒の席ではそのユニークなキャ

クターを存分に発揮される。訪問研究者があると御自宅に招待され、我々もしばしばお相伴にあずかったが、そんなときは豊富な外国での体験談をおもしろおかしく話される(イギリスに留学したとき、自信を持っていた英語が全然通じなかった、イタリアでパスポートとお金の入った鞆を美しい手口で盗られた、騙されてぼったくりバーに誘い込まれ、ほうほうの体で逃げ出した…)。また、私事で恐縮だが、私の結婚披露パーティのときに内輪の方々だけだったので何も企画していなかったところ、当日その場で自ら司会進行を買って出て軽妙な話術で大いに盛り上げてくださり、その名司会者ぶりは「吉本にもあれだけの人はいませんよ」という評を得た。研究室の最後の追い出しコンパでは、他大学の博士課程に進学することになっていた修士の院生が「いろいろな研究室を渡り歩くことになります」と挨拶したところ、「君は4年生のときはどこの研究室だったかな?」「○○研です」、「じゃあ、修士は?」とやって大いに笑いを取った。こういったところも先生が学生に愛される所以である。

2000年3月3日に行われた『研究とあそびごころーセレンディビティーを追って』と題された最終講義には、学内外から小学校の同級生の方々を含め120名以上が来聴され、立ち見も出る盛会となった。講義では、ご自身の研究歴とその周辺を、詳細なデータに基づいて、お得意の語り口で話された。また同年4月30日には、京都市内のホテルで退官記念講演会とパーティが開催された。こちらにも卒業生を中心に約110名の方々の参加があり、旧友の方々や研究室OBの講演、小岩先生の『もう一度最終講義』という肩の凝らないお話、さらにはパーティでのいろいろなエピソード紹介など、参加者の皆さんのご協力で楽しい一日となった。ご参加いただいた会員の方々には、この場をお借りして再度御礼申し上げます。

先生はご退官後1年間は科研費特定研究プロジェクトのとりまとめでご多忙のご様子だったが、最近はお二人で文字どおり悠々自適、のどかな琵琶湖畔で読書、執筆や野菜作りを楽しまれ、またご旅行もたびたび楽しんでおいでである。今後もお元気で毎日を過ごされますように。(京都大学材料工学専攻)

小岩先生のご退官に寄せて

和田 裕 文

小岩先生が京都大学に来られたのは昭和60年の春である。たしかその前の秋に私は指導教授から「今度東北大学から怖い先生が来られるよ」というようなことをお伺いした記憶がある。もっともそれは私の聞き違いのよ

うで、「こわい」先生ではなくて「こいわ」先生であつたらしい。しかし京大に来られた当初の小岩先生のイメージは「こわい」先生ではなかったかと思う。これは小岩先生が非常に教育熱心な先生だからである。

当時博士課程を修了したばかりの私は、小岩先生に博士論文の審査をお願いした。そのとき先生から内容だけでなく、論文の構成や英語についてもご指導いただいた。とくに英語について「どのようにすれば上達するか」ということを教えていただいたことは、強く印象に残っている。先生に紹介していただいた英語の表現に役立つ辞書や本は、今でも重宝している。

その後教室に残るようになってからは、直接研究で指導を仰ぐ機会はあまりなかったが、いろいろな会議や時には雑談を通して教育者・研究者としての姿勢や心構えを学ばせていただいた。当時修士2回生の研究発表会は3日間にわたって行われたが、小岩先生はほとんどすべての学生の発表を聞かれ、鋭い質問や適切なコメントをされていた。このコメントは「あなたの発表はね…」で始まるのが常である。これが学生に「こわい」先生というイメージを持たせることになったのだが、ご自分の研究に関する発表だけを聞かれる先生が多かったこの時代、私にとって小岩先生は新鮮な驚きであった。プレゼンテーションの重要性が叫ばれる今日、研究発表は教育的な観点からみても非常に有益であり、とくに質疑応答は学生にとって大切な機会である。先生はこのような理由からできるだけ多くの発表に出席されたのであるが、私も先生にならって最近はなるべくたくさんの学生の発表を聞き、質問するように心がけている。

研究者として先生からお伺いしたのは、「どうせ論文を書くのであれば1回くらいは引用されるような論文を書きなさい」である。最近でこそ citation index (論文の被引用回数を調べたデータベース) という言葉をよく耳にするようになったが、小岩先生はすでに10年以上も前から修士の講義において citation index の使い方を教え、「自分の卒業研究に関係して読んだ論文の著者を citation index で調べなさい」という宿題を出される。このことを初めて学生から聞いた私は、「これは困ったことになった」と思った。というのは学生は自分が読んだ論文の著者について調べるだけではすまないだろうからである。きっと彼らは自分の指導教官の論文はどのくらい引用されているだろうかと調べるのに違いない。つまり citation index の使い方を知るということは自分の指導教官を評価する方法を知ることにもなる。そのとき私は自分の論文を citation index で調べたことはなかったのであせったのである。案の定、宿題を提出に行く学生が「ついでに和田さんのもの調べたけれど、ちゃんと引用されていましたよ」という言葉を背中中で聞

いたときには、心の中でほっとしたものであった。この時以来、私は citation index や impact factor を多少意識するようになっている。

小岩先生は博学であり、折にふれていろいろな本を紹介していただいたが、同時に先生ご自身がなかなかの文筆家である。金属学会会報 (最近では「まてりあ」という) には、1974年のヒュームロザリー伝に始まって多くの人物の評伝や本の紹介などの寄稿がある。なかでも「俣野仲次郎—相互拡散の“Matano Interface”に不朽の名を残す研究者の軌跡」(まてりあ 38巻6号に掲載) は傑作で何度読み返してみても面白い。ある高名な研究者の足跡をたどっただけでなく、いかにしてその足跡に近づくことができたかがドキュメンタリー・タッチで述べられており、市販の科学者の人物伝よりもよっぽど読み応えのある作品に仕上がっている。「まてりあ」も毎号こんなにおもしろい記事を掲載してくれればもっと読むのにとと思うほどである。最近では小岩先生はアグネの「金属」に舞台を変え、「金属のプロムナード」と題して隔月連載を始めておられ、私も楽しみにさせていただいている。

どうか小岩先生、これからもおからだに気をつけられて、私たちに教育者・研究者としての辛口の提言をおこなっていただきますとともに、ますます執筆活動でのご活躍を心から期待しております。

(京都大学、材料工学専攻)

小岩昌宏先生のご退官に寄せて

栗田 信明

今回、光栄にも原稿執筆を承るにあたり、長年の研究生活を終えご退官を迎えられた小岩先生にまずは「御苦労様でした。おめでとうございます。」と申し上げたいと思います。転職やリストラという言葉が頻繁に耳にする現代、社会人4年目の私は40年近く働くということの凄さを感じるとともに、一つの職業でそれを成し遂げることの幸せを羨ましく思います。以下に敬意の念を込めて先生との思い出を綴らせて頂きます。

学部時代の先生の講義を振り返ると、講義内容よりも「ドアロック」を真っ先に思い出します。授業に遅れてきた者の入室時のドアの開閉により集中した雰囲気壊されることを嫌われた先生は、必ず始業開始前に講義室に入られ始業時刻になると教壇から歩き出し講義室に内側から鍵をかけておられました。朝に弱かった私ですが、その風景をいつも教室の中から見えていた記憶があり、遅刻して友人に鍵を開けてもらった記憶も無いため、不思議と先生の講義にはきちんと出ていたようです。また、格子の充填率の計算など基本的な内容を全員

にレポートとして提出させるなど「教育熱心な先生だなあ」という印象を抱いていました。

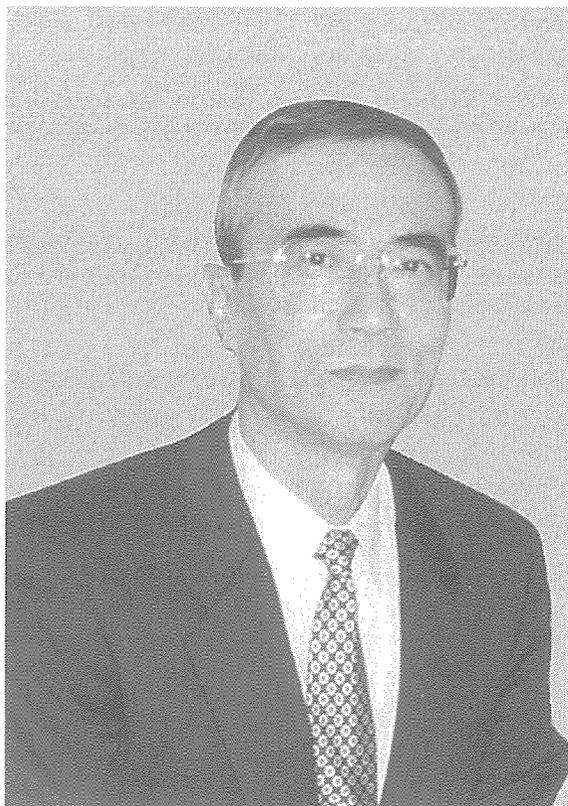
4回生になり研究室を選択する際もこれが決め手になりました。研究内容などで人気の研究室も他にありましたが、中学高校と担任教師に恵まれなかったことを実感していた私は「厳しい先生に指導されたい」という思いから迷わず小岩研を希望した記憶があります。

私のこの選択は間違っていないでした。大学院入試が終わり卒業研究を進めていた4回生の後期、研究室ゼミでの初めての発表の機会が巡ってきた時のことです。私が発表を終えるとすぐ、小岩先生から「全く分かりません。君、今の発表を自分が聞いたとして理解できると思うかね。」と、キビシーイお言葉を頂きました。この一言を常に念頭に置いて経験を重ねること2年、修士2回生時の英語ゼミの発表後に、優秀な同期の仲間が遅れてようやく小岩先生から発表に対して誉めて頂きました。やっとの思いで得たお誉めの言葉と、そのゼミの終了後に「君、そう言えば発表下手くそだったよなあ、成長したもんだ。」と言われたこと、はっきり覚えています。

就職活動でも先生には御世話になりました。私が相談に行くと先生は、会社選びはそこで長く働けるかが重要だとおっしゃられ、現在の勤務先を紹介して頂きました。先生に勧められなければ決して辿り着くことなかった会社で充実した生活を送り続けており、先生の適切な助言に感謝の気持ちで一杯です。また、会社においても先生に教えていただいた発表三原則（大きな声で、相手の目を見て、短い文章で）を実践し、数々の発表の場を無難にこなすことができています。

今年の正月、先生宅での新年会に招待頂きたくさんの料理でもてなしていただきましたが、料理の中に先生が育てたという野菜が使われており、近くに菜園を借りて育てておられるとのことでした。真面目な小岩先生が退官されたら何をするのだろうかとある意味心配しておりましたが、早速新たな趣味を見つけて元気に過ごしておられる様子を拝見し、うれしく思いました。今後も健康に十分配慮され、新たな事への挑戦をいつまでも続けていただきたいと思います。またお会いできる日を楽しみにしています。
(アイシン精機株式会社)

エネルギー科学研究科教授 新宮秀夫先生は停年退官された。



新宮秀夫先生の御略歴

新宮秀夫先生は、昭和五十六年四月に京都大学工学部教授に昇任され、金属加工学教室鑄造加工学講座を担任されました。その後、大学院重点化に伴い、平成六年四月に京都大学大学院工学研究科エネルギー応用工学エネルギー社会工学講座に移られ平成八年五月に京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー社会環境科学専攻・社会エネルギー科学講座エネルギー社会工学分野の担任となりました。平成十三年四月には京都大学名誉教授になりました。

この間、先生は我が国の急速凝固に関する研究の開拓者の一人として、基礎的研究から実用的な応用研究に至るまでの広い領域に於いて多くの優れた研究を行ってこられました。なかでも急速凝固を液体の焼き入れという熱力学的視点で捉える発想を端緒に、気相の焼き入れ、更には機械的エネルギーによる合金化（メカニカルアロイング）を含めて焼き入れという概念を一般化された業績は国の内外で高く評価されています。

さらに、凝固現象を応用した高純度アルミニウム製造

の新プロセスを開発され、その技術はアルミニウムの精製にとどまらず種々の高純度物質を製造する方法として応用が広がっています。

また、工学の目的としての人間の幸福について論じた著書「幸福ということ—エネルギー社会工学の視点から—」（NHK ブックス 平成十年）は、世界的に見て、幸福に関する文献の最初の集大成に基づく論考として高い評価を受けておられます。

先生は、この間学内においては、学生の教育と研究者の指導にあたられ、多くの人材を育成し、また、京都大学大学院エネルギー科学研究科長を勤められるなど大学の運営にも貢献されました。学外では、大阪大学接合科学研究所客員教授のほか多くの大学の非常勤講師を勤められ、多くの審議会、調査会の委員として学術行政に尽力されました。海外においても、多くの国際会議にわが国の代表として出席され、また、国際メカニカルアロイングシンポジウムを始め多くの国際会議の組織委員長として会議を主宰されました。（石原慶一）

新宮秀夫先生のご退官に寄せて

小林 紘二郎

新宮秀夫先生長い間ご苦勞様でした。また、ありがとうございました。私が昭和44年4月に博士課程に進学いたしましたとき、先生は尾崎良平教授研究室の新進助教として活躍されておりご指導をいただきました。その年の10月からは博士課程をたった半年で退学し、助手となりまして教官の仲間入りをさせていただきました。当時、大学紛争で騒然とした社会背景もありまして、私にとっては大学と言うところは正直言いましてそれほど魅力のあるところとは思いませんでした。修士課程終了時に尾崎先生からは助手になりませんかとお誘いを受けました。新宮先生からもお勧めを受けました。将来に対する確とした目標も定まらぬまま、6ヶ月の博士課程から助手になってしまいましたのは、新宮先生の魅力にとりつかれたからだと言いましても過言ではありません。ノースウェスタン大学でPh. D.を取られた先生は、私のみならず、当時の若手教官や学生のあこがれの的でありました。研究は言うに及ばず、魚釣り、ハイキング、麻雀、囲碁、ゴルフ、テニスなど枚挙にいとまの無いほど色々なことに好奇心を持たれ、とてもアクティブに活動される姿と後年花開く、人間の本质と社会のあり方に対するやむ事なき探求心はその当時から輝いておりました。

6月9日の退官パーティーにおいて東北大学金属研究所所長の井上明久先生が、紹介されましたように、先生は5年周期ぐらいのタームで新しい研究を成果を上げられました。共晶凝固における層状組織形成に関するエネルギーバランス的検討、急冷凝固に関する熱力学的検討、アモルファス形成能に関する材料科学的検討、純2元系合金におけるアモルファスの形成、気相・液相・固相からの焼き入れに関する研究、メカニカルアロイングに関する研究、と私が平成元年に大阪大学教授として転出したすまでにご一緒させていただいた20年間だけを取りましても素晴らしいものでした。現象を正確に捉え、そこに係わるカイネチックスを明らかにすることによって、さらなる新事実を発見すると言ったもので、美しささを感じるものでした。

20年間のおつきあいの中で先生の最も素晴らしいことは、先生といえども人の子でありまして、迷ったり、悩んだり、行き詰まったりもありまして陰陽師の阿倍晴明がその時代に居たならば、その助けをほしいようなときもありますが、先生はそんなときにも必ず、前進をされる、実行をされる方向で決断をされたことです。

私が阪大へ移ってから懇意にさせていただいておりますが、先生のご興味はより人間的なもの、すなわち、

幸福論や宗教へと発展し止まることを知らず、退官後も継続されると伺っております。含蓄の深い楽しいお話を又伺うことを楽しみにしております。

(大阪大学大学院工学研究科教授、
生産科学専攻、昭和42年卒業)

新宮秀夫先生のご退官に寄せて

梅本 実

新宮先生ご退官おめでとうございます。

私よりも適任の方が他に大勢おられるのにとおもいましたが、水曜会編集委員会から依頼を受けましたので失礼を省みず筆を取らせていただきます。

新宮先生と最初に個人的にお話したのは1970年私が学部4回生の時、アメリカのノースウェスタン大学への留学について聞きに行ったときでした。ノースウェスタン大学に行くと、新宮先生の下駄が残っていたり、博士修了者の合同写真にアメリカ人に負けない長身ですらっと写っている先生の写真を拝見する機会がありました。1977年から京大に助手として勤務した10年間、新宮先生がアモルファスや準結晶の研究をされておられるのを、同じ学科の一員として、修士の研究発表会などで身近に拝見してきました。この間アモルファスや準安定相の熱力学について興味ある話を個人的にも聞かせていただきました。

1987年に私は現在の豊橋技術科学大学に職場を移すと同時に、新しい研究テーマとしてメカニカルアロイング(MA)を選びました。MAはボールミルで金属同士を混ぜ合金化するというもので、装置は簡単ですが手段としては非常に粗く現象が複雑で、学術的に果たして価値のある研究ができるかどうか半信半疑の状態でした。この新しい(得体の知れない、無駄になる可能性の大きい)分野に新宮先生がいち早く飛び込んで、研究を進められ、学会の講演大会などで旗を振っておられたことが私を含め多くの日本人がこの分野の研究を始めた大きな理由だったと思います。1991年には新宮先生の主催でMAの初めての国際会議が京都で行われました。この国際会議はその後毎年世界各地で行われています。MAの重要性をいち早く見抜き、多くの研究から重要性を実証して来られた新宮先生のことをこの会議の参加者の多くが認識しているのを私はいつも誇りに感じています。

ある時カナダでの国際会議で新宮先生がMAとカオスの話をされました。MAはパイをこねるように、繰り返して重ねては伸ばす操作の繰り返しであるので、特定の原子の場所はカオス的現象であり、そのことがMAによって合金化が起こる原理であるというお話でした。一般に日本人はよい実験データを出すことで世界的に認めら

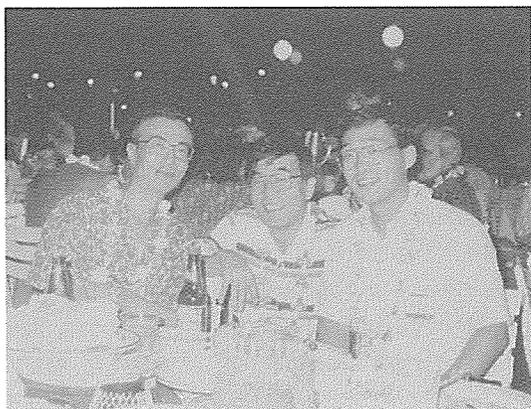
れてはいますが、新しい概念を作ったり、異分野の概念を導入したりすることはほとんど欧米の研究者によってなされています。新宮先生のカオスのお話は、そのときのプログラムの題目とほとんど関係なく突然話が始まったのですが、多くの人が身を乗り出して聞いていたのを記憶しています。自ら新しい概念を作って、それを示し多くの人を誘導していく日本人がいることに誇りに思い、そのことの重要性を教えられ勇気づけられた気がしました。

一昨年12月には新宮先生に私の大学に来ていただき、3年生100名を対象とした講義をしていただきました。「けんかは最も強そうな相手からやっつけよ(難しいと思う熱力学も肝心な部分さえ理解すればあとは簡単だ。)」というわかりやすい例えを交えながら、熱力学の話をしていただきました。授業の最初には水の入ったペットボトルと鉄粉の入ったカイロを使って、鉄が酸化することによって空気中の酸素が奪われる現象を水の移動という形で見せていただきました。新宮先生の対話形式のユニークな講義に多くの学生が感銘を受けたのですが、大先生が京都からわざわざペットボトルを持って来られたことにも学生は大いに感動していました。体裁より実質を重んじる先生の姿勢が若い学生に通じたようです。

退官記念講演後の吉田食堂でのパーティーも印象的でした。参加者の多くは卒業生であり、なつかしい大学構内にできるだけ長い時間居て、青春時代の気分に浸りたいという思いを多くの人がお持ちだったと思います。参加者の気持ちになって企画されたこのパーティーは新宮先生の「実質を重んじよ、形式にこだわるな」というお手本のように思いました。

最後になりましたが先生の長年のご指導に感謝いたします。これからも大いに活躍され、いろいろ場面で我々に指針を与えていただけますよう心から期待しております。

(豊橋技術科学大学工学部教授)



93年金属学会ハワイ大会にて(筆者右端、真中は川上先生)

新宮秀夫先生のご退官によせて

石原慶一

私は大学4回生の時に当時の金属加工学科鑄造加工学講座に所属して以来、新宮先生に約20年指導して戴き、また、研究生活を共にいたしました。その間の新宮先生の人となり思い出とともに紹介して、新宮研究室とはどのような研究室であったか、新宮先生はいかなる先生であったかについて述べたいと思います。

『新宮先生の言うことはすぐに変わる』

朝令暮改という言葉がありますがまさしくそれで、朝言われたことを忠実に守っていると、「いつまでそんなことやってんねん」と言われます。これには学生みんな戸惑います。何度か経験するとこの真意が分かるのですが、新宮先生は言ったことをそのままにしておかず、そのことをその後も考え続けられているのです。勿論、経験豊かな先生ですから我々よりも早く考えを進められます。そのために少し時間がたっただけでも先生から見ると遙か前のことをやっているように見え、このような発言となるわけです。

その後、私はこれに次のような方法で対応しました。それは、言われてもすぐに手をつけないというずるい方法です。そうすると、しばらくして別のことを言われます。さて、そこでそれを始めてはまた同じこととなります。もう少し辛抱します。そのうち、同じことを二回繰り返して言われます。ここで先生の考えがそろそろ煮詰まってきたと察して始めます。

『新宮先生はせつかつだ』

方針が決まったらすぐに実行に移される。これには結構周りの人間が苦勞致します。実験などの場合、とりあえずやってみようかということになり技官の藤本氏に必要なものを頼まれます。時間があれば必要な物品を発注、購入し、精度よい実験ができるのですが、何しろその場でその日のうちにやらねばならないので大変です。大抵はあり合わせのもので間に合わせ、隣の研究室に材料を借りに行ったりという程度で何とかなってしまう。そして、新宮先生が自ら実験されます。大抵はあまり面白くない結果になるのですが、珠に予想を覆すようなことが起こります。すると、学生の研究テーマにどうやということになります。学生のテーマになると今度は装置もこしらえて、いろいろなパラメータを変化できるように実験装置を組み立て準備します。準備中の方も始終「結果はどうなってんねん」と聞かれます。しばらく立ち、実験装置ができて、いよいよ実験開始です。学生は緊張して丁寧に実験するのですが、最初の予備実験(俄実験)の結果の通りにはなりません。実は、新宮先生は俄装置を相手に手先の器用さと勘の鋭さで絶妙の実験をやったのけられていたのです。それが見かけの立派

な装置を使っても新宮先生のおっしゃる「肝心要（かんじんかなめ）のところ」を押さえておかないとうまくいかないのです。二度と同じ結果が出なかったり、幻のサンプルと呼ばれたものも少なからず有りました。

『新宮先生はいい加減そうで、細かい』

これは案外知られていませんが真実です。大抵の人に新宮先生は細かいことにこだわらず「ええ加減だ」と思われておられます。私も、「ええ加減な先生の研究室で楽でいいね」とうらやましがられたりしました。ところが実際はそうではないのです。論文の原稿や図面など最初は結構いい加減な頼まれ方をします。それで適当に作って持っていくと、ここはこっちの方が、真っ直ぐに図を貼るようにと注意されます。それで直して行くと、また、これはこの方が、やっぱりこっちはこうだとなり、それを何度も繰り返すことになり、なかなかこれで良しとなりません。適当でいいとおっしゃっていたのに最初とえらいちゃうやんと言うわけです。要するに一見いい加減そうところが曲者なのです。これで周りの人を懐柔させておいて自分のペースに巻き込まれます。

『新宮先生のおもしろがること』

相手が教官であろうが、学生であろうが「なんかおもしろいことないか」と会う度に聞かれます。このおもしろいことの意味は勿論興味のあることです。新宮先生がその時、何に興味を持たれるかが分からないので対応が難しいのです。例えば、野球好きの人なら野球の話をしていれば興味を引くことが出来ます。ところが新宮先生に恒に通用する話題がないのです。大抵の学生はこれを聞かされると最近の研究結果を言います。気の利く学生なら研究結果がおもしろくなくても適当な話題で新宮先生の興味を引くことが出来ますが、しどろもどろになりますと「何やってんねん、ちゃんと実験しているか」と逆に詰問されて困ってしまいます。

「おもしろいこと」は人に聞かれるだけでなくご自分でも常に注意して探されます。ある時、名古屋工業大学の研究会に行った時のことです。鶴舞の駅前で昼食を摂ろうということになり、名古屋ならきしめんやと言うわけで駅の近くの食堂に二人で入りました。そして、向かい合わせに座ると、急に新宮先生がニコニコ出しました。これは何かあるなと思ひ後ろを振り向くと日めくりカレンダーがあり分かりました。それが新宮先生の座右の銘の一つとなった「感動は前進、満足は後退」との出会いです。

今も、「これやったらおもしろいんちゃうか」「なんかおもしろいことないか」とおっしゃるのが耳に聞こえます。先生にはいつまでも元気で満足＝後退することなく前進し続けていただきたいと願っております。

（京都大学エネルギー科学研究科助教授、
エネルギー社会・環境科学専攻）

教え子の見るところの新宮先生

田 口 功 平

私が幸運にも新宮先生の研究室に配属になったのは、先生が教授になられてまだ間も無い頃で、研究室内対抗の腕相撲大会では、先生が優勝されるというようなお若い頃でありました。研究室のメンバーでビーチに行ったり、先生宅のバーベキューパーティーにお招きいただいたりしました。先生宅の庭には、大きな木の枝にブランコが吊るしてありました。表札は、鋼製で溶接で文字が刻んであったと記憶しております。もちろん教授室にはお子さんの写真が飾られていました。なにやら、アメリカファミリーを垣間見させていただいたという思いでした。そのころ先生がよく口に出されていたことは、「Enjoy 下さい」ということでした。仕事や研究を Enjoy せよと言うことで、聞いている私たちには、「(私の様に) Enjoy 下さい」と仰っているように聞こえ、大変説得力の有る言葉であったことを記憶しております。この短いメッセージは、私にとって力強い人生の指標となりました。当時の私は二十歳の多感な頃で、特に先生のエネルギーの放散が強烈なものであることを感じて、偉い先生になられるものと見ておりましたところ、果たして偉い先生となられました。

卒業して十年程経った頃、またしても幸運なことに、研究室に出入りさせていただくことになりました。会社からの派遣で再び先生の教えを請う機会を得たわけです。ちょうど先生が国際会議の開催を企画された頃で、研究室内には多に活気にあふれておりました。私が卒業研究をした同じ教室で、夜更け頃まで、皆で実験に取り組むという楽しくも懐かしい経験をさせていただきました。その実験の合間の雑談で、学生さんが、「或る道を極めると言うことは、異なった道であっても同じ悟りの境地に到達する。」と言いました。悟りを得ると言うのは、仏門の修行によってのみではないということでした。なるほど、それならば先生は悟りを開かれるに違いないと見ておりました。その後数年たってエネルギー科学研究科の設立に尽力されている頃、先生の研究室を訪ねた折に、先生の机の上に哲学書や思想書が山積みになっているのを見、さらには「幸福論」という講座を担当されていると聞き、いよいよ退官記念講演を拝聴するに、果たして悟りを開かれたものと納得するに至りました*1)。

*1)：ここで言う悟りとは、非常に高い見識に基づいた、達観した物の見方ができるという意味で、新宮先生の著書「黄金律と技術の倫理」にあるものとは違うかもしれません。

教育とは、学校で習ったことをすべて忘れた後に残っているところのものであると言う考えを聞いたことがあります。この点から考えますと、先生から科学的知識に関する御教授は言うまでもなく十分にいただきましたが、この知識を忘れ去ってなお残る重要なものをお教えたものだと思います。すなわち、実際にやっているところ一どのように取り組むか、Enjoyするか—を見せていただいたということです。振り返って、まさしく大学教育を受けたと実感し、感謝の念を多いに抱くものであります。

さて、先生のこれからは、「名人」の領域に達せられるものと見ております。中島敦の「名人列伝」によれば、大変な練習によって到達するところの弓の達人は、百発百中なれど射之射であって、「名人」となれば不射之射の域に到達する。すなわち、弓を射ずして射る。なんと、弓を持っていないのに鳥が落ちる。さらには、渡り鳥が上空を飛ぶのを止め迂回するようになるというものです。実は、ずいぶん以前より先生は既に名人であって、不教の教、即ち前室の廊下を渡るだけで教をいただいたような気もしますが、これは少々言い過ぎかも。いよいよ、次にお目にかかる頃には、(何の御講演か楽しみであります)講演内容に関係なく、先生は幸福の「コ」の字も語られないにも関わらず、聴講者は自ずから幸福を悟るものになろうと想像します。より一層、御研究が進展することをお祈りすると共に、まだまだ不教の教を請いたいと期待するところでもあります。

(日本発条株式会社)

新宮先生のご退官に寄せて

松岡由記

わたしが新宮先生に初めて出会ったのは大学3年生の時、「熱力学2」の授業でだった。目がきらきらしているという印象が強く残った。その印象はいつも変わらず、今こうして文章を書いている間も、頭に思い浮かぶ先生の顔はやはり目がきらきらと輝いている。その表情は、みんなをアツといわせるような何か面白いことを仕出かしてやろうとたくらんでいるようでもあり、高潔な理想を追い続けているようでもある。

先生は人間の本性？についてよく知るということを得ながら、同時にピュアな精神を持ち続けておられる稀有の方である。工学だけでなく哲学にも非常に通じておられ、研究部屋の中はいつもそこらじゅう本だらけだった。壁際の本棚には金属関係の題名が並んでいて、いかにも工学研究室という感じなのだが、床に積んである本の題名を見ると、あたかも人文科学研究科哲学専攻研究室のような感があった。語学も堪能で、英語はもちろ

ん、中国語、ロシア語までおできになるすごい方である。学生にとっては、いささか超越した存在であったかもしれない。しかし、近寄りがたい孤高の人というのでは決してなく、大変気さくで飾り気のない方である。気前がまた良い。マクドナルドが好物で、ふらっと学生部屋に入ってきて、「おい、誰かマクド買って来てくれ。釣りはやるから。」と言って五千円札を出すことがよくあったらしい。

もう一つ、先生は普通の人が考えるよりももっともつと時間のスケールが大きい。源氏物語が書かれた時代と現代とは、先生の中では同時代にあたるのである。このような時間スケールをお持ちだからこそ、はるか先まで見通し、そこにある問題について考えることができるのだと思う。ここでやはり先生の持論である、幸福論について触れねばならないだろう。

私が幸福論なるものを初めて耳にしたのは、まだどこかの宗教団体が活発に活動している頃でもあり、そのネーミングから受ける印象はただいかがわしいだけだった。大学院で受けた授業の中で最も理解困難だったのも、新宮先生の幸福論だった。そもそも、工学からそこに行き着く経路というか接点はどこにあるのかという点からして疑問だった。しかし、真面目に授業を受けているうちに、私なりにそうした疑問は解けたように思う。

工学とは、人類を幸福にするための手段を探索する学問である。そう考えると、その最終目的であるところの「幸福」とは何かを明らかにするということは、ごく自然で当たり前のことであるどころか、必要不可欠のことであるように思える。目先の目的だけでなく、その先の、そのまた先にある、最終目的は何なのか、自分が目指しているものは一体どういった状態なのか。これらを明確にすることは非常に困難である。しかし、工学は、人類のみならず自然系全体に対する影響力が大きい。一つの発見や発明が、世の中にどのような波紋を与え、それがどのように広がっていくか、誰も正確に予測はできない。それだけに、工学を志す者は全て、こうした明確な目的意識を持って研究を進めるべきである。工学とは人類を真の意味で幸福な状態に近づけるためにあるのだという、使命感を持って進むべきである。およそこのようなことを、新宮先生は幸福論の中で述べておられるのではないだろうか。というのが、人生経験も乏しく、哲学書の一冊もろくに読んだことのないケツの青い小娘が、小娘なりに考えた解釈である。むろん、これらのことは工学だけでなく、あらゆる人間の行為についていえることである。私はこの先、もしかすると工学以外の道に方向転換することがあるかもしれない。しかし、どのような道を歩むとしても、新宮先生に与えてもらった教訓を常に反芻しながら、自分を切磋琢磨していきたいと

思う。私にとって新宮先生は、工学の師であるだけでなく、生き方そのものに示唆を与えてくれた恩師である。本当はもっともっと多くの学生に先生の講義を受けてもらいたい。そして、あの目のきらきをを体感してほしい。正直に言って、今退官されるのは残念という思いが隠せない。しかし、バイタリティー溢れる先生のことな

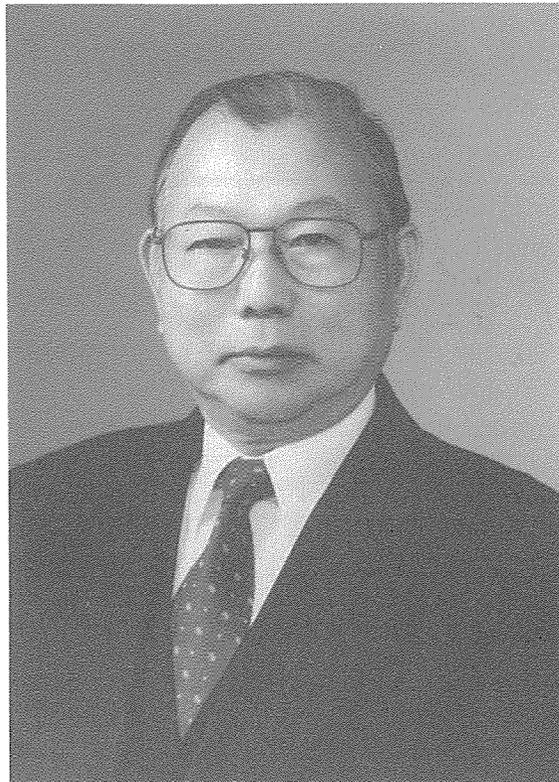
ので、これからのご活躍はこれまで以上に世間をアツといわされることだと思う。私も、新宮研最後の学生として卒業できたことを誇りにして、その肩書きに恥じないようプレッシャーを感じながら、自分を磨いていきたいと思う。

(石川島播磨重工業株式会社)



1986年春のバーベキューの時の写真

エネルギー科学研究科教授 小野勝敏先生は停年退官された。



小野勝敏先生の御略歴

小野先生は、昭和36年3月京都大学工学部冶金学科を御卒業後、同42年11月パリ大学理学部大学院博士課程を修了された。昭和38年4月京都大学工学部助手に採用され、同51年11月京都大学工学部助教授、同57年4月京都大学工学部教授に昇任し、工学部冶金学科非鉄冶金学講座を担当された。その後、大学院重点化に伴い、平成6年より京都大学大学院工学研究科エネルギー応用工学専攻エネルギー材料学講座を担当し、平成8年度から発足した京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻で高温プロセス分野をご担当になり、平成11年度の工学部物理工学科学科長を務められたが平成13年3月に定年退官された。この間、教育と研究にあたり多くの人材を育成された他、東北大学や名

古屋大学などでも講義される一方、日本金属学会の編集委員や日本学術振興会の多くの委員会委員を長年務められた。

先生は非鉄金属、主として銅、チタンおよび高融点金属の精錬、高純度化、熱力学的基礎に関して多くの独創的な研究をされた。その成果は160件を越す論文として発表され、10件の特許を取得されている。このような業績により、昭和51年日本金属学会功績賞、昭和56年および平成2年に日本金属学会論文賞、平成3年フランス金属学会賞、平成4年には日本金属学会技術開発賞、平成10年には日本金属学会谷川・ハリス賞および日本チタニウム協会技術賞、2000年ドイツ鉄鋼学会最優秀論文賞、など多くの賞を受賞された。（鈴木亮輔）

小野勝敏先生のご退官によせて

高山新司

多くの卒業生の中から僭越ながら小野先生のご退官に関する寄稿文の執筆を依頼され大変名誉なことと喜ぶとともにその重大さに大変恐縮しております。小野先生とは公私ともに余にも思い出が多く、うまくまとめて書

こうと思いながらとうとう原稿の締切日になってしまい、今あわてて書き出したところです。小野先生のご退官に接し「え！もう退官のお年ですか？」というのが私のみならず皆様の正直な実感だと思えます。それほど先生は今もエネルギーギッシュで、万年青年のごとくその考えはいつも若く、その発想のスケールは常に雄大で、我々の思考を越えた大局的で痛快な世界へと導いてくれます。

その人間性や考え方は、小生が留学した米国ペンシルバニア大学の恩師の一人である Charles J, McMahon, Jr 先生と大変よく似ておられ、きつと米国社会の方がもっと先生の活躍に相応しい世界だったと思うほどです。思うに先生との出会いが小生の人生を大きく変えた出発点だったと思います。それほど後で振り返ると公私ともに大きな影響を受けました。先生との最初の出会いは小生が大学院で高村研究室からはじき出され、森山先生の研究室を選んだことから始まりました。そこには山口昭雄助教授、パリーから帰国したばかりの新進気鋭の若き小野先生(当時助手)と助手になったばかりの大石敏雄先生(現在関西大学教授)がおられました。特に小野先生と大石先生は学問的にも人間的にも互いに補完し合うほど名コンビに写り、お陰で我々学生はその影響を大きく受け、自由闊達で大変楽しい愉快的な学生生活を送ることができました。小野先生の下について直接修士課程の研究のご指導を受けるようになってからは、ガラス細工や研究装置の組み立ても自分でできるようになり、自分で何でも考えてできるというその自信が、その後の小生の研究活動に大いなる自信と勇気を与えてくれました。私的には、研究の合間によく飲みにつれていただき、大いに二人で年齢を越えて青春を語り合ったのを覚えています。今も先生とお会いしたときは何時も当時の青春に戻ったかのごとく楽しいひとときを過ごさせていただいております。小生も大学の先生となった今、小野先生のごとく学生に接しようと努力していますが、なかなか真似ができず先生の偉大さに改めて感心するばかりです。先日、9月に開かれた国際学会で久しぶりに京都の寺院を一人で散策する機会がありました。その時、かつて学生時代に訪れた寺の静寂な庭をじっと見つめながら座っていると、大学院で小野先生と共に過ごした楽しい二年間が走馬燈のように思い出されました。本当に小野先生には多くのことを教えられ、多くの自信をつけていただきました。米国という世界に飛び出すことができたのも、また研究の面白さを教えていただいたのも小野先生のお陰だと今も深く感謝しています。これからも何時までも青春を忘れることなく常に我々に夢をあたえ続けていただき、高所からご指導いただければと願っています。どこからか先生の声として「おい! かたいこと言うな! とにかくやろう!」と言う声が聞こえてきそうです。退官後の今も、新しいチタン精錬法の研究に夢を抱き、作業服を着て一研究員として黙々と研究を行っている姿を思い浮かべるにつけ頭が下がる思いがします。今後の先生のより一層のご活躍を祈りながら先生の人生に乾杯!

2001年9月末日、自宅にて
(法政大学工学部システム制御工学科)

小野先生のご退官に寄せて

大石敏雄

小野先生とは学生時代を含めると30年近くご一緒させていただきました。私の4回生の卒業研究の直接の指導が小野先生、当時はまだ助手でした。その小野先生がこのたびご退官を迎えられたことはまことに感慨無量なものがああります。

小野先生といえば豪放磊落、太っ腹、型破りなどいろいろ思いつきます。どれも的確に言い得ていないかもしれませんが、とにかく私にとっては頼りになる、大きな存在の先生でした。

細かいことにはあまり頓着せず、まあ何とかなるだろうということですべて片付けられる先生ですから、気の小さい、優柔不断な私としましては面食らうことがしばしばで、先生それはちょっとやりすぎじゃないですかというようなことがたびたびありました。ただし、巷ではこれが絶妙のコンビだなどと噂されていたようです。

会議は全く嫌い、講義もどちらかといえばあまり好きではない、実験とアルコールが好きな先生でした。

研究の方でも小野先生の興味と私の興味がいささか違っていったような気がします。当初は突拍子もない実験のように思っても、装置に工夫を凝らし、最後には何かものにしてしまうというのが小野流でありました。ところが、小野先生の興味はデータが出始めるまでで、いったんデータが出始めると興味なくなる、というよりも興味は次の研究に移ってしまうこともしばしばでした。また、論文にまとめるときも、この点の確認実験をしたいなど余り大勢に影響がないことでもたもたしていると、先生はもうまとめてしまおう、そんな後ろ向きの仕事をしていても仕方がないというような方でした。

試験問題の作成も余りお好きでなかったような気がします。ところが、小野先生が作られた問題はいつも熱化学と材料プロセスを大所高所から捉えた見事な内容で、同じ教育者として教えられることが多くありました。重箱の隅をつつくような私の問題なぞ恥ずかしい限りでした。

ときには先生はかなりアバウトな面があると見られがちですが、実はきわめて繊細な気遣いをされる方でした。数々ある思い出の中で今でも忘れることが出来ないのは、1993年私が関西大学に移るとき、当然ほとんど装置類が整っていないところに行くわけですから、資金面でいろいろ苦勞することを察して、ある企業の奨学金寄付金を大石の方に回してくれと会社の担当の方に手紙を書いてくださったようです。ようですというのは小野先生は私には直接言われず、あとで会社の方から聞いてわ

かったことで、私のような者に心を掛けて下さったことに感激したことを思い出します。

紙面の限りもあり、小野先生の人となりをとてつていふべくせませんが、私には到底真似の出来ない存在であり、うらやましい存在でもありました。

その小野先生もご退官ということで私どもにとっては一抹の寂しさを感じますが、是非、ご健康に気を付けて益々活躍されることを心よりお祈りしております。

本当に長い間のご指導まことに有難うございました。全国各地の教え子たちと共にこころから御礼申し上げます。
(関西大学教授、冶金学科、昭和40年卒)

夢とロマンの行動派研究者～小野先生

岡 部 徹

小野先生と私の出会いは、1987年の春、私が大学四回生のときである。当時、私は大学の熊野寮に住んでいたため寮における交友関係に忙しく、ほとんどの講義をサボり学外で遊び呆けていた。授業の登録だけでなく研究室への配属も友人に一任していたため、研究室配属が決まった時も小野教授のお顔とお名前が一致せず、何の研究をしている研究室かさえも知らなかった。

人との出会いとは不思議なもので、小野先生からチタン製錬に関する研究を卒業研究のテーマとして与えられたのを契機に私の人生は大きく変わった。最終学年になっても語学の単位の大半を残し、卒業もおぼつかない私であったが、結局のところドクターコースまで進学する機会を与えて下さったのは小野先生である。熊野寮での学部生活は刺激に富み勉強以外のことで充実していたため、当初は研究にあまり興味を覚えなかった。しかし、小さいことは気にされず、お酒を好まれ、チャレンジ精神に富む小野先生のご薫陶を受けるうちに、研究の奥の深さと実験の面白さを教えられた。

小野研時代、実験装置を工夫して自作する楽しさも学んだ。私が愛用していた実験装置から無断で誰かにパーツが持ち去られることがよくあった。私が研究室の掲示板に「岡部の〇〇を無断で取ったのは誰だ?! 名乗り出よ!」と怒りをこめて殴り書きすると、すぐに「すまん、小野」と書かれることが多かった。慌てて掲示板のコメントを消した日々が今は懐かしい。当時の私は他の研究室を知らなかったため、教授自らが実験を行うのは当然のことだと思っていた。そのため大事な実験装置のパーツを教授に持って行かれないように常に目を光らせていたのである。今から思えば、指導教授と共に汗を流し、実験の失敗の悔しさや成功の喜びを共有できたのはかけがえのない貴重な体験であった。

酒好きの私は、下宿で「ワインパーティー」をはじめ

各種飲み会を企画したが、研究室の掲示板の出席希望者リストに真っ先に名前を連ねるのも小野先生であった。学生の下宿に上がりこんで、一緒に酒を飲んでも若手が楽しむことができたのは、小野先生の温厚なお人柄あったのである。決して表には出されないが行き届いた気配りをされる教授のおかげで、六年間、実に楽しく充実した研究生活を過ごすことができた。研究テーマの選定を含め、あらゆることに対して私の好き勝手に研究をさせて頂けたことに対しても感謝の念を禁じえない。

私は京大で学位取得後、MIT、東北大、東大と転々としているが、何処に行っても小野研で手掛けたチタンをはじめとするレアメタルの研究を続けている。また自らの手で装置を作り工夫を凝らして実験を行う小野先生流の研究スタンスも変えていない。最近では、チタン研究だけではなく研究予算の確保が難しく、電子材料の開発や環境科学に関する研究などにも手を広げているが、小野先生より受け継いだプロセス研究に対する「夢とロマン」は、持ち続けているつもりである。私が先生より受けたすばらしい現場教育を今の学生に伝え発展させることが、小野先生に対するささやかなご恩返しになろうかと思っている。

(東京大学生産技術研究所助教授)

実験と酒の日々 一 小野勝敏先生のご退官に寄せてー 西 隆 之

私は、1985年から1991年まで学部4年から博士後期課程にいたる6年間を小野勝敏先生が主宰された”非鉄冶金学講座”に在籍させていただきました。’85年は、大石敏雄先生が助教授として在籍され、また植田幸富先生に加え鈴木亮輔先生が助手として採用され、小野先生を中心にまさに研究室が”活性状態に遷移”した時期でした。研究は、Ti・高融点金属の高温反応、CuおよびCu合金の高温反応、および固体電解質等を用いた熱力学的諸量の測定を柱に、多様な分野に拡大をしていきました。時代は’86年に酸化物超伝導物質が発見されて、諸研究者が様々な分野から同一分野の研究を競いあう頃であり、研究室でも酸化物の安定相熱力学的アプローチが行われました。小野先生は、森山徐一郎先生からの流れである実験研究を重視する流れをさらに強められたように思います。先生が我々学生に科した課題は、独自性のあるアイデアとそれを裏付ける実験研究にあったと思います。凡庸な小生には前者を果たすことはできませんでしたが、同時期に在籍した先輩後輩諸子とともに日々実験に明け暮れました。ちょうど小野先生が電子ビーム溶解装置(EB)や二次イオン質量分析計(SIMS)といった大型研究設備を導入され、研究室は旧来からのポテンシオメータ等と最新鋭の機器が混在する

にぎやかな(汚い?)状態でした。また、Personal computer や LAN の黎明期であり、鈴木先生の手ほどきで計測に使用したり、我々学生が卒論を手書きからワープロに使用し始めた時期でありました。

先生のお人柄を反映してか、活力のある研究室には自由な気分があふれており、研究室をあげてテニスに興じたり、酒を酌み交わしました。夏の暑い最中、高温実験の後、先生がお持ちになった冷たいビールを飲んだり、真冬の夜半、修論のための成分分析を行った後、凍てつく街に”飲みに繰り出す”こともまた日常でした。時代は右肩あがりの経済繁栄の頃ではありましたが、京都の

地は時代の流れとは距離をおいて別の時間軸にあったような気がします。そのような落ちついた環境で、小野先生、大石先生の薫陶を仰ぎ、ただひたすら”実験と酒”に持てる時間を費やせたことは、小生およびともに学んだ同輩諸子にとってかけがえのない日々であったと確信しています。

小野先生のご退官にあたり、言い尽くせぬ感謝にかえて、拙文を記しました。先生のご健康と、京都大学の学術発展への寄与を祈念して筆をおきます。

(住友金属工業総合技術研究所, 昭和 60 年卒)

平成 12 年度 水曜会 大会

●日 時 平成 12 年 10 月 14 日 (土)

●会 場 学士会館

20 世紀最後の水曜会大会は、平成 12 年 10 月 14 日 (土) に学士会館で開催された。土曜日の午後 5 時開催ということで参加者数が心配されたが、128 名もの出席者があり、古い歴史を誇る水曜会の層の厚さを印象づけた。

以下に大会の次第とその内容を紹介する。

1. 総会 司会 高山新司 (法政大学)

会長挨拶 小野勝敏

まず名誉会員の推挙を行った。水曜会ならびに教室に特別の功労のあった方々として、平成 12 年停年退官された工学研究科資源工学専攻 菊池宏吉、同材料工学専攻 小岩昌宏、エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻 八田夏夫各名誉教授を特別名誉会員に、同じく平成 12 年停年退官の工学部附属メゾ材料研究センター 諸岡 明講師を名誉会員に推挙し、永年に亘る大学の教育と研究に尽力されたことに謝意を述べた。

次に会計報告は、平成 12 年 3 月 31 日現在の報告を村上正紀会計幹事同席のもと行われた。

講演要旨

守ろう地球めざそう宇宙

宇宙開発事業団 菊山 紀彦

1998 年 10 月、77 歳のジョン・グレン宇宙飛行士はスペースシャトルに乗って 36 年ぶり、2 度目の宇宙飛行に旅立った。1962 年 2 月、ジョン・グレン宇宙飛行士は 1 人乗りの宇宙船「フレンドシップ 7」で地球を 3 周した。スペースシャトルの飛行中に行われた軌道上記者会見で、ジョン・グレン宇宙飛行士は「36 年前は宇宙船が狭かったので、宇宙の無重力状態を楽しむことはほとんどできなかったが、今回のスペースシャトルでは無重力状態の楽しさを十分に味わっています」と語った。

ジョン・グレン宇宙飛行士の最初の宇宙飛行は、米ソの冷戦の中で米国の国家の威信を賭けて

行われた。冷戦が終わった現在では宇宙開発は世界各国が協同して行われている。

そのような協同作業の頂点が「国際宇宙ステーション」計画である。米、ロシア、欧州、カナダ、ブラジルと日本の世界16カ国が協同して、高度400kmの軌道の上に2室の「居住モジュール」と7室の「実験モジュール」、2個の「補給モジュール」を備えた恒久的な有人宇宙施設を建設しようとする計画である。

1998年11月、国際宇宙ステーションの最初のモジュール「ザリヤー」が無人で打ち上げられ、続いて12月に「ユニティー」が7人の宇宙飛行士と共にスペースシャトルで打ち上げられた。宇宙軌道でスペースシャトルは「ザリヤー」とドッキングし、二人の宇宙飛行士が3回の船外活動を行って「ザリヤー」と「ユニティー」を結合した。1998年12月12日、7人の宇宙飛行士は結合された「ザリヤー」と「ユニティー」の室内に入り、国際宇宙ステーションの最初の一歩が踏み出された。

現在「ザリヤー」と「ユニティー」は無人で高度400kmの軌道を周回しているが、このあと食事、睡眠、トイレなどの居住機能を持った「サービスモジュール」が打ち上げられ結合されると、国際宇宙ステーションに3名の宇宙飛行士が常時滞在できるようになる。

日本が提供する実験モジュールの打ち上げは2004年に予定されている。

2006年に国際宇宙ステーションが完成すると、6~7名の宇宙飛行士が6ヶ月ごとに交替しながら、10年以上にわたって滞在し、地球観測、天体観測、材料実験、生命実験などを行うことになっている。

日本人宇宙飛行士も毎年一人の滞在が予定されている。

1999年1月、ジョン・グレン宇宙飛行士と共にスペースシャトルで飛行した船長のブラウン宇宙飛行士、二度目の宇宙飛行となった向井千秋宇宙飛行士ら7人の乗組員を東京に迎えて歓迎会が開かれた。その席上でジョン・グレン宇宙飛行士は「宇宙から地球を見ると、地球を取り巻いている大気層があまりにも薄いことに驚かされます。地球をバスケットボールとすれば、それをバケツに浮かべてくると廻したとき、ボールの表面にできる水の膜が大気層の厚さです」と語ってくれた。

われわれが暮らしている現代文明は科学と技術を利用してめざましい発展をとげてきた。1903年、ライト兄弟が初の動力飛行に成功したが、それから66年後、1969年に人類が月に降り立っていた。そしていま宇宙ステーションを建造するまでにいたった。

その一方で現代文明は地球環境を急速に破壊しつつある。宇宙から地球を観測すると環境破壊が想像以上の規模で急速に進んでいることがわかる。南極の上空には南極大陸をすっぽりと覆うほどのオゾンホールが生まれている。アマゾン川流域をはじめ、地球上の熱帯雨林は毎年、九州ほどの面積が伐採され消滅している。地球の陸地の三分の一がすでに砂漠化し、砂漠は毎年拡大を続けている。

われわれの文明が今後も順調な発展を続ければ、150~200年後、人類は宇宙空間に人工の都市「宇宙コロニー」を建造し完全に宇宙人へと進化する可能性を秘めている。

1927年、リンドバークが大西洋を横断して英雄となっただけでなく、60年後には航空機による世界旅行は日常茶飯事となった。科学技術は夢のような未来を実現させる魔法のような力を持っているのである。

われわれの文明がこの薄くはかない大気層を守り地球と共存することができたとき、われわれの文明は永続でき、宇宙人への進化というバラ色の夢を150年後の子孫にプレゼントできるのである。

平成13年度水曜会大会

●日 時 平成13年6月16日(土)

●会 場 京都大学本部および京大会館

21世紀最初の水曜会大会は、6月16日(土)資源工学教室、旧金属系教室並びに京大会館において会員60名以上の参加のもとに開催された。

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

懇親会は101号室にて松本助教授の司会のもとに開かれ、現教官を代表して花崎教授が開会の辞を述べ、引き続き向井名誉教授の音頭で乾杯が行われた。和やかな歓談のうちに会は進められ、小沢正俊(昭44年金属卒)、北尾盛功(昭39年鉱山卒)、中塚一宏(平2年金属系卒)、寺田亨(昭27年鉱山卒)、村上正紀(昭41年金属卒)の各氏にスピーチをいただいた。

引き続き京大会館前にて記念撮影(本誌口絵に掲載)を行った後、会場を201号室に移し、午後1時15分から青木教授の司会で総会が開かれた。まず、村上会計幹事から会計報告が、斎藤会計監事の代理として司会の青木教授から会計監査報告がなされ、いずれも承認された。次いで、次期会長の推挙がなされ、新会長に花崎教授が選出された。引き続き花崎新会長から就任の挨拶があり、水曜会の更なる活性化のために、①新入会員の水曜会への積極的な参加を促す、②水曜会の役員人事について現教官だけではなく民間からも登用する、③水曜会のシンボル保存事業を検討する、という3点を中心に所信を表明された。最後に、同時に会則の改定に関する動議が提出・承認され、総会は終了した。

特別講演会では、次の2つの講演会が行われた。

1. 「特殊鋼の技術 —今とこれから—」

大同特殊鋼(株) 常務取締役 小沢 正俊氏

2. 「火薬産業の趨勢」

日本化薬(株) インフレータ事業部長 北尾 盛功氏

これらは、記念講演として本誌に掲載されているが、小沢氏は、3E[Ecology, Energy, Economy]とITの4つをキーワードとして、産業界の立場から特殊鋼の現状と将来について整理して述べられ、興味深い講演であった。北尾氏は、産業火薬類の使用量推移に伴い火薬技術の新分野への応用が不可欠となったこと、特に自動車のエアバックへの応用例を中心として、ユーモアを交えた語り口でわかりやすく講演された。参加者は熱心に傾聴した。本年度水曜会大会はこの講演終了後、午後4時過ぎに閉会した。

水 曜 会 会 則

現 行 (2000年10月14日改正)	改 定 (2001年6月16日)
第 1 名 称	(名 称)
第1条 本会を水曜会と名付ける。	第1条 本会を水曜会と名付ける。
第 2 目 的	(目 的)
第2条 本会は資源，エネルギー，材料に関する学問，技術並びに経済の <u>進歩</u> をはかることを目的とする。	第2条 本会は資源，エネルギー， <u>環境および材料</u> に関する学問，技術並びに経済の <u>発展に寄与し，会員相互の親睦</u> をはかることを目的とする。
第 3 会 員	(会 員)
第3条 会員を分けて正会員と学生会員とする。	第3条 会員を分けて正会員と学生会員とする。
第4条 正会員は以下の各項のいずれかに該当する者とする。	第4条 正会員は以下の各項のいずれかに該当する者とする。
1 <u>京都大学工学部旧資源工学科，旧鉱山学科，旧冶金学科，旧金属加工科の学部または大学院を卒業あるいは修了した者。</u>	1 <u>別表1に掲げる学科，専攻または講座を卒業あるいは修了した者。</u>
2 <u>上の各学科の後身である講座（または分野）において学部教育あるいは大学院教育を受けて卒業あるいは修了した者。</u>	2 <u>別表2に掲げる別表1の学科等の後身である講座または分野において学部教育あるいは大学院教育を受けて卒業あるいは修了した者。</u>
第5条 学生会員は， <u>第4条の条件を満たす講座（または分野）に所属する学部在籍学生又は大学院生。</u>	第5条 学生会員は， <u>別表2に掲げるコース，講座または分野に在籍する学部学生とする。</u>
第 4 役 員	(役 員)
第6条 本会には以下の役員を選出する。任期は <u>2年</u> とし，重任を妨げない。	第6条 本会には以下の役員を選出する。任期は <u>1年</u> とし，重任を妨げない。 <u>ただし，幹事は2年とし，重任を妨げない。</u>
会 長 1名	会 長 1名
副会長 2名	副会長 若干名
会計監事 2名	会計監事 2名
幹 事 若干名	<u>編集委員長 1名</u>
	幹 事 若干名
第7条 会長は本会を総括し，本会を代表する。会長は <u>正会員の互選</u> により水曜会総会において <u>選出</u> する。副会長以下の役員は会長が指名する。副会長は会長に事故のあった場合，その職務を代行する。会計監事は会計の監査を行う。幹事は会長，副会長を補佐し，会務を処理する。	第7条 会長は本会を総括し，本会を代表する。会長は <u>役員会の推薦</u> により水曜会総会において <u>承認</u> する。副会長以下の役員は <u>別途に定める細則</u> により会長が指名する。副会長は会長に事故のあった場合，その職務を代行する。会計監事のうち1人は <u>財務の管理</u> ， <u>他は会計の監査</u> を行う。 <u>編集委員長は別途に定める細則</u> にもとづき <u>会誌の編集</u> を行う。幹事は <u>会誌の編集，広告，名簿</u> ，

現 行 (2000年10月14日改正)	改 定 (2001年6月16日)
<p style="text-align: center;">第 5 総 会</p> <p>第 8 条 総会は毎年 1 回開催する。</p>	<p>行事およびその他について、会長、副会長、会計監事および編集委員長を補佐し、会務を、<u>別途に定める細則にもとづき処理する。</u></p> <p>(総 会)</p> <p>第 8 条 総会は毎年 1 回開催する。</p>
<p style="text-align: center;">第 6 事 業</p> <p>第 9 条 本会は会誌「水曜会誌」を発行する。</p> <p>第 10 条 本会はその他本会の目的を達成するのに必要な事業を行う。</p>	<p>(役 員 会)</p> <p>第 9 条 <u>役員は、役員会を構成し、本会の重要事項の審議を行う。</u></p> <p>(事 業)</p> <p>第 10 条 本会は会誌「水曜会誌」および「水曜会名簿」を発行する。</p>
<p style="text-align: center;">第 7 経 費</p> <p>第 11 条 本会の経費は会費、寄付金その他の収入により支弁する。</p> <p style="text-align: center;">第 8 会 則 変 更</p> <p>第 12 条 本会の会則は総会の議決を経て変更することができる。</p>	<p>(経 費)</p> <p>第 12 条 本会の経費は<u>別途に定める会費、寄付金その他の収入により支弁する。</u></p> <p>(会則変更)</p> <p>第 13 条 本会の会則は<u>役員会の議を経て、総会の議決により変更することができる。</u></p>
	<p>第 14 条 <u>第 13 条の規定によらず、別表 1、2 および細則は役員会の議決により変更することができる。</u></p> <p>(附 則)</p> <p>1. <u>この会則は平成 13 年 6 月 16 日から施行する。</u></p> <p>2. <u>従前の会則による既会員は従前の会則に基づく会員資格を有するものとする。</u></p>

別表 1 水曜会講座等一覧 (その 1: 旧学科, 旧専攻等) 2001 年現在

学 部	採鉱冶金学科 鉱山学科, 冶金学科, 金属加工学科, 金属系学科
大 学 院	鉱山学専攻, 冶金学専攻, 金属加工学専攻, 資源工学専攻 環境地球工学専攻資源循環工学講座

別表2 水曜会講座等一覧（その2：元学科，元専攻等）2001年現在

学 部	工 学 部	地球工学科	資源工学コース	全講座・分野
		物理工学科	材料科学コース	全講座・分野
			エネルギー応用工学 サブコース	エネルギー社会工学分野
				高温プロセス分野
材料プロセッシング分野				
大学院	工学研究科	資源工学専攻		全講座・分野
		材料工学専攻		全講座・分野
		メゾ材料研究センター		メゾ材料創製学（基礎工学）分野
	エネルギー科学 研究科	エネルギー社会・環境科学専攻		エネルギー社会工学分野
		エネルギー応用科学専攻	資源エネルギーシステム学分野	
			資源エネルギープロセス学分野	
			宇宙資源エネルギー学分野	
			高温プロセス分野	
		材料プロセッシング分野		
	エネルギー基礎科学専攻		量子エネルギープロセス分野	

水曜会誌編集細則（1971年10月 改正）

1. 方 針

- (1) 総説，解説，資料，摘録などの記事に重点をおくよう努力する。
- (2) 同窓会的な記事（会員消息，教室ニュース等）は，最近の活動状況などの紹介をする。
- (3) 総説，原論文その他について，教室外会員の投稿，寄稿を促進するように努力する。

2. 編集委員会

- (1) 1の方針を具体化する細目を検討し，実務を行うため編集委員会を設ける。
- (2) 編集委員会は会誌の編集・企画に専心する。
- (3) 委員の総数は18名以内とし，内在教室会員は6名程度とする。
- (4) 委員会内に委員長1名，幹事2名をおき，これらの役員は委員間で互選する。
- (5) 委員の選出については専門分野，地域および年齢を考慮して編集委員会が次期委員候補者を推薦し，会長の決裁を経て会長が委嘱する。
- (6) 委員の任期は2カ年とし，毎年半数の委員を改選する。ただし重任はさまたげない。

水曜会会費細則 (1974年 6月 改正)

1. 正会員は、年間 2,000 円の会費を納める。

水曜会役員細則

(各役員の仕事の詳細、役員人選を年代、分野、地方に偏りなく
学内外から広く求めるなどの方針を示した細則の作成予定)

水曜会名簿細則

(現在行われている名簿作成方針および作業手順に基づき作成予定)

水曜会会誌等広告細則

(現在行われている広告募集方針および作業手順に基づき作成予定)

水曜会行事細則

(現在行われている年間行事、特に総会の開催場所、無報酬役割分担
などの見直しを含む規定および作業手順などの細則の作成予定)

平成 12 年度水曜会会計報告

平成 13 年 3 月 31 日現在

収 入		支 出	
前年度繰越金	11,197,137 円	会誌印刷代 (製版・郵送料込)	
会 費	4,034,290	23 卷 3 号	1,398,293 円
会誌広告掲載料 (製版代込)		印刷代 (封筒他)	60,375
23 卷 2 号 (残り)	447,890	水曜会全国大会経費 10 月 14 日於東京	2,089,602
23 卷 3 号	565,375	名簿発行費	4,219,271
名簿広告掲載料	1,071,255	会誌原稿料	99,000
名簿売上	2,785,610	通 信 費	79,991
会誌売上	24,000	事務人件費	425,600
水曜会全国大会懇親会費	744,000	文具、コピー代等	29,163
郵便局担保預け金返金	88,000		
預 金 利 息	9,431		
収 入 合 計	20,966,988 円	小 計	8,401,295
上記の通り会計報告致します。 平成 13 年 6 月 16 日 会計幹事 村上正紀 以上の通り相違ございません。 会計監事 齋藤敏明		次年度への繰越金	12,565,693
		内訳 銀行普通預金	2,459,648
		銀行定期預金	10,000,000
		郵便振替預金	8,296
		手持現金	97,749
		支 出 合 計	20,966,988 円

会員消息

卒業 55 周年記念懇親会 (昭和 20 年冶金学科卒)

去る平成 12 年 8 月 29 日午後 6 時に、栄家に懐かしい顔ぶれが揃い、川床を吹きぬける涼風に杯を傾けながらの語らいは、夜の更けるまで尽きることはありませんでした。

翌 30 日は朝一番に南禅寺の瓢亭に集合、さすが 300 年の伝統の流れを感じさせる静寂の趣をたたえ、打水に濡れた苔、風雪に耐えぬいた木々に囲まれ、一同心洗わ

れる思いで、朝がゆを戴きました。食後バスで大原をへて比叡山に向かい、久方ぶりに根本中堂を拝観、1200 年の法灯を守りつづけた名刹は私達を圧倒するものがありました。一同で記念撮影の後、バスにて下山し午後 1 時に京都駅に到着しました。

今回は位崎未亡人が初めて参加され、ご婦人方 7 名を含め総勢 21 名で、近況報告や京都時代の思い出話など、時の経つのも知らず、一同名残りを惜しみつつ、次回洛塵会での再会を約して散会しました。

(幹事：近藤、高井、下川、梅原 記)



洛塵会 平成 12 年 8 月 30 日 於根本中堂

二八会四国旅情記 (S 28 年冶金学科卒)

S 28 年冶金学科卒二八会は毎年同窓会を行っており、今までに九州別府・北陸温泉・京都嵐山・播州赤穂と重ねて来たが、平成 13 年度は四国鳴門で行った。四国地方は出身者以外あまり馴染みがなく、又世界一長い明石海峡大橋、鳴門の渦潮の観光を兼ね集まる事になった。

10 月 15 日午後 5 時、鳴門七洲園に 13 名が集合、同ホテルからは鳴門海峡・吊り橋・渦潮等が見えられ、眺望絶佳の風景である。

二八会の卒業生は 44 名で、既に 8 名が鬼籍に入り、集まった者も白頭を戴く風貌となっているが、意気軒昂たるものがある。

午後 6 時開宴。酒量が増し宴酣になると、タイムトンネルを通過して直ちに大学時代の生活に回帰する。健康・病気の話、クルーズの話、戦時中の木炭庫について蘊蓄を披露する者、世界の金の産出量の合計を提起する者、中近東で石油事業に携わる現役ビジネスマンとしての体験談等々、百家争鳴賑やかな事この上ない。一次会が終って別部屋に移り、更に夜半遅くまで話題は盡きなかった。

翌 16 日は橋の上から厚い透明ガラスを通して眼下に渦を見下し、その後観光船に乗って渦を間近に見た。丁度大潮の時刻に当たっていたので大きく渦巻き、想像以上の迫力に圧倒される思いであった。

午後大塚国際美術館を見学する。同館は大塚製菓とオーナーが約 400 億円を出資して世界の有名美術



品を陶板焼として1000点余り出品している。出品はオリジナルではないので、1点1点の芸術的価値を評価するのは論外であるが、世界の有名美術品を等寸大で一堂に見る事が出来るのが特色である。ダビンチ・グレコ・モネ・ゴッホ等有名画家の絵画を纏めて見る事が出来る。又等寸大の教会の礼拝堂および壁画は臨場感に溢れ迫力満点である。この絵はルーブル美術館のあの部屋にあったと回想するのも楽しい。入場料は3000円で安くはないが一見の価値はある。時間の関係で約80%見た所で出館し、高速バスで帰路についた。

徳島は小生の故里で今回お世話する事になった。天候が危惧されたが、旅の終ると共に雨が降り出し安堵の胸をなでおろした。今までの二八会の旅も全て好天に恵まれている。二八会のメンバーは在学中の成績が必ずしも芳しい者ばかりではないと思われるが、天は社会に出てからの業績をそれなりに評価し、恩賞を与え給うたものと思っている。

昭和26年冶金学科卒業50周年記念クラス会

最近では2年ごとにクラス会を開催してきたが、50周年は京都で盛大にやると2年前より折にふれ皆に伝えておりました。母校訪問と懇親会を5月14日(日)で計画しましたが、当日午後3時に京大正門前に集合したのはわづかに6名でした。平成9年までに9名の学友をなくし現存者25名ですが、体調と所用のため不参加の人が多くなりまことに残念でした。

時計台をバックに記念写真ののち、材料工学教室の平藤先生のご好意で研究室を見学させて頂くことになり、工学部6号館と新しい8階建の研究棟に案内頂き、50年

現在日本の経済は低迷し、政治は混迷を極め、道義は地に堕ち、混沌たる世相を呈している。吾々二八会の会員も既に古稀を越え残された人生も限られている。この長くない人生を如何に大切にポジティブに過ごすかが重要になってくる。若き日、共に学び共に遊んだ友情の紐帯を固める事が出来るのは幸せであり、今後益々必要になってくると思う。

来年の旅行は関東地方と決った。再来年は卒業50周年を記念して京洛の地で盛大に行う。今から楽しみにしている。

孔子はいう、「楽しみて以て憂いを忘れ、老の將に到らんとするを知らず」と。老が迫っているのに気付かないでいられる境地こそ吾々の求めて止まないものである。老いるにはまだまだ若すぎる。(松浦 記)

出席者

梅田、川島、城戸、倉知、車谷、田山、津田、西村、藤田、町田、松浦、森田、渡辺

前とは全く変貌した研究環境にそれぞれに感慨を覚えたようです。また「材料学科」の先端技術のお話も少し伺い、次世代の技術開発を担う大学院大学として益々業績を挙げられるものと意を強くしました。

懇親会は午後5時半より京都ホテルで森君も加わり、学生時代の思い出話が主体で楽しい一夕を過ごしました。今回京大歌を木下君のリードで斉唱しましたが、矢張りむつかしい曲だと痛感しました。田中誠一君の肝煎りで彼がピオラを受け持った弦楽五重奏(下松市のアマデウス弦楽五重奏団のメンバーによる)の学歌の伴奏用テープが完成したので、今回はこのテープを使用して挑戦したい。(世話人 田辺 記)



左より 田中誠一、田辺定男、八島正人、木下幸三、山本俊二、深瀬 徹

にくまれ会 函館開催の記
(昭和 29 年冶金学科卒クラス会)

わがにくまれ会は一昨年の松山道後温泉につづいて、

今回は津軽海峡を渡って北海道は函館の地でクラス会を開催した。

平成 12 年 5 月 22 日午後 6 時、函館は湯の川温泉、潮騒の音を真近に聞くホテル渚亭に総勢 14 名が全国各地



後列左より 山之内、中尾、松岡、青木
中列左より 岩鶴、小島、川島、江崎、横田、村瀬
前列左より 榎本、岩橋、大久保、三浦

から集合、直ちににくまれ会総会を開催した。2年振りの再会とてまずは互いの無事息災を祝したのち、各自近況報告を行ったが、宴たけなわとなるや、たちまち半世紀前の青春時代に逆戻り。当時の熱き思い出を語る者、翻って現世の世相を悲憤慷慨する者、宴席で、二次会で、部屋に戻って、温泉の中で、夜の更けるまで話は尽きなかった。

翌日は夜来の雨も上がり天気は上々、市内観光バス、『明治のロマンコース』4時間半の周遊。函館は丁度春た

けなわ、わかばの中に八重桜の紅が交じり、新人ガイド嬢の真摯な説明と相俟って、まことに麗らかな春の一日であった。

函館駅にて次回の再会を誓って、にくまれ会を解散。家路へ、さらに道内の観光へ、大沼でゴルフ、とそれぞれの目的地へ向かって函館の地を離れた。

次回は来年の秋を予定。さらに多くの参加を期待している。
(幹事：青木 記)

昭和 37 年 鉱山学科卒業クラス会
「東北旅行」

平成 12 年 10 月 7～9 日、卒業以来初の 2 泊 3 日のクラス会で岩木山、八甲田山、八幡平などを巡り、紅葉温泉、ドライブ、カラオケ、囲碁等を楽しみながら、昔に返って親睦を深めた。従来、クラス会は 1、2 年毎に京都か東京で開催していたが、8 月に東京で開催の折りに話がでて、急遽実現した。まだまだ現役が多い中で、関

西の 3 名を含めて 9 名が参加。

10 月 7 日 JR 盛岡駅集合。レンタカーを借り 2 台の車に分乗。現地、秋田県大館市駐在の青江良和君（元・三菱マテリアル、現・日本アンホ火薬製造（株）常務）の先導で、スタート。温泉に 2 泊。

10 月 9 日には「メインランド尾去沢」で旧鉱山の坑内を見学し、八幡平では「地熱発電所」を訪れたりして学生時代の見学実習旅行を、彷彿と思い出すひとときもありました。
(片岡 記)

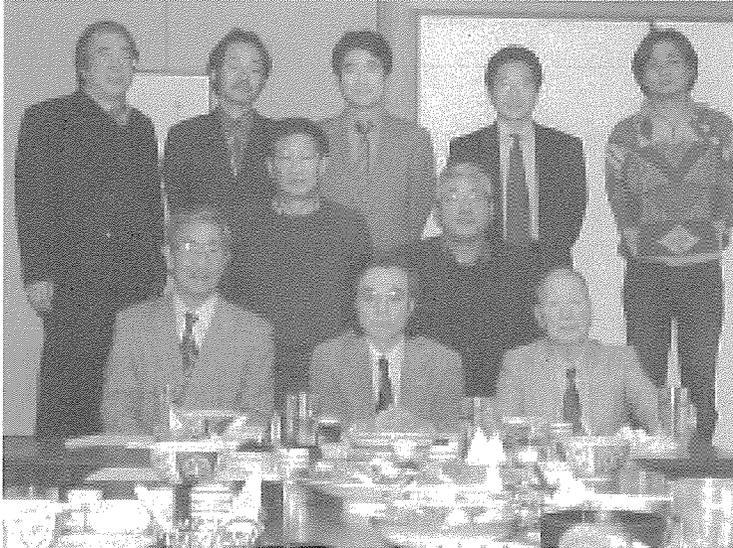


左側／左より丸岡政彦、井出謙三、常盤健、日比野敏
右側／前より片岡隆昭、山口善郷、大迫省治、菅原弘志、青江良和

宇部水曜会を開催

山口大学工学部資源工学科・社会建設工学科で1979年から22年間にわたって教鞭をとってこられた佐野修先生（資源 S 46）が、4月1日付で東京大学地震研究所に異動されることになり、佐野先生の歡送を兼ねた宇部

水曜会を2001年3月1日（木）に、山口大学工学部の同窓会会館の和室で開催しました。最長老の藤部郁雄（鉦山 S 22）さんの音頭で乾杯をした後、佐野先生の新たな職場での抱負や、宇部での思い出などお聞きしながら、それぞれの近況などを話しあい、水曜会員10人が楽しいひとときを持ちました。（幹事：石田 毅 記）



後列左から順に、柴田弘英(旧姓 太田, 資源 S 51), 松尾直人(金属 S 53), 近森洋二(金属 S 51), 原田晋作(資源 S 57), 中川泰宏(資源 H 1) : 中列左から順に, 水田義明(鉦山 S 40), 石田 毅(資源 S 52), 前列左から順に, 山田 肇(冶金 S 36), 佐野 修(資源 S 46), 藤部郁雄(鉦山 S 22).

会 員 通 信 欄

平成 13 年度水曜会大会返信葉書の通信欄を始め多くのお便りがございました。ここにその一部を掲載いたします。なお、文意を損なわない程度に表現を少し変えた部分もあることをお断りいたします。

小酒井正平(採鉱, 昭 12 年)無事で暮らしております。

新持喜一郎(冶金, 昭 12 年)いささかの不平不満もなく爽やかに過ごしています。水曜会誌 23 巻 2 号を興味深く懐かしく読みました。小生, 金属なかならず鋼の疲労と人間のそれについて考えて久しいのですが今となっては老齡, まとまりません。

公莊 惟成(採鉱, 昭 13 年)腰痛で行動に制約を受けていますので, 欠席させていただきます。ご盛会を祈り, 会員の皆様のご健康とご多幸をお祈り申し上げます。

平松 良雄(採鉱, 昭 13 年)老年で, 安静に暮らしています。全く外出しませんので, 本大会にも失礼いたします。

高嶋 宏(冶金, 昭 15 年)数少なくなって行く卒業生のうち, まだ元気で残存し, 毎回送られて来る水曜会誌を楽しみにしております。会の益々の発展を祈ります。

久我 正芳(採鉱, 昭 16 年)一応の健康は保っています。

古賀五百里(採鉱, 昭 16 年)年を追う毎に老化の程度がひどくなるのに閉口しております。

坪田 元幸(冶金, 昭 16 年)足の老化がありますが元気で園芸等を楽しんでおります。

村田 信(冶金, 昭 16 年)足腰を強くしようと, 加茂の川原で小走りし, 足がもつれてスッテンコロリ。腰骨折で 40 日入院し, 目下退院してリハビリ中。やっと, どうか歩けるようになりました。

柳沢 雅勇(冶金, 昭 16 年)独居ですが何とか頑張っています。3 月に続き, また 7 月からジャカルタ→ロンドンと旅を続けます。残された時間がありませんので。

則竹 敏彦(鉱山, 昭 17 年)平凡な日々を送っています。

小田島 弘(冶金, 昭 17 年)3 年前脳梗塞にて入

院退院にリハビリ中につき水曜会大会欠席お許しください。母校並びに会員各位の御発展をお祈りします。

成瀬 光芳(冶金, 昭 17 年)病氣療養中。

宮崎勢四郎(冶金, 昭 17 年)年相応に元気に過ごしております。高校, 大学と走ってばかりいた関係で, 母校とは陸上競技部の OB 会で繋がっております。両方とも応援を行っています。

中尾智三郎(冶金, 昭 17 年)案内有難く存じます。皆様のお顔を拝見するのを楽しみにして居ります。

盛 利貞(冶金, 昭 17 年)健康状態は良好ですが, 歩行がやや困難ですので欠席させていただきます。

斎藤 敏夫(鉱山, 昭 18 年)お蔭様で元気に暮らしています。ご盛会を祈ります。

久芳 正義(冶金, 昭 18 年)失礼お許しください。年末年始にかけて, 心不全, 肺炎で入院加療を受けました。今は日ましに元気になり散歩を楽しんでいます。ご盛会をお祈り致します。

伊吹 照男(冶金, 昭 19 年)特に変わりありません。

加藤 三郎(冶金, 昭 19 年)体調すぐれず失礼します。ご盛会を祈ります。

菅沼 常生(冶金, 昭 19 年)終戦後諸般の事情で, 昭和 25 年より方向を転換し, 教育畑へ進み化学を教えていました。管理職(校長)として私学で未だ勤めています。公私 51 年(校長 21 年)になります。

荒木 修(冶金, 昭 20 年)老化現象が逐次出ておりますが, どうか元気に過ごしております。

近藤 良夫(冶金, 昭 20 年)おかげ様で元気に過ごしております。毎月のように外国に出かけています。

下川 敬治(冶金, 昭 20 年)4 月末日をもって, 会社顧問を辞めました。

千原 學(冶金, 昭 20 年)鉄鋼・非鉄用原料の

輸入業務に傾注し居るも、経営コンサルタント業務歓迎。

佐伯 博蔵(鉱山, 昭21年) 昨年東京での水曜会大会出席しました。鉱山・資源関係の出席が少なかつたようですが、たまには東京で開催していただければ幸いです。当方年令相応には元気で、油絵・旅行等を楽しんでいます。

末吉 敏彦(鉱山, 昭21年) 体調があまり良くないので欠席いたします。

手塚 光明(鉱山, 昭21年) 新緑の京都を思い出しております。体調を崩しておりますので欠席させていただきます。皆様の御活躍を祈っています。

澤田 清明(冶金, 昭21年) 元気にしていますが、老父介護のため出席できません。御盛會を祈ります。

村上 幸一(鉱山, 昭22年) 御盛會をお祝い申し上げます。

田辺 精三(冶金, 昭22年) 70数年来、酷使してきた体の各部品を、今後は大事にいたわりながら、寿命の続く限り永持ちさせていきたいと思ひます。次の東京での水曜会大会を待っています。

寺井 士郎(冶金, 昭22年) 退職(住友軽金属)以来、はや7月、本年喜寿を迎えます。まだまだ元気にゴルフ等楽しんで居ります。

中林 淳二(冶金, 昭22年) 95歳の老母、2歳の孫をかかえ、遠出ができません。

津田 陽(鉱山, 昭23年) 昨年12月喜寿を迎えましたが、遠出が困難で失礼させていただきます。御盛會をお祈り申し上げます。

岡田 明(冶金, 昭23年) 冶金、金属などが消えたのは残念です。IT時代ですからね。古き時代が懐かしいです。これでは21世紀を乗り越えることができないですね。若き皆様の御活躍をお祈ります。77歳ちょっと前の6月です。

谷口 利廣(冶金, 昭23年) 昨年6月(株)浪速製作所を退社しました。現在NPOで「お年寄りのパソコンライフを支援する」ボランティア活動中です。

石田 巖(鉱山, 昭24年) 開山前の炭鉱みたいなもの。

神保健二郎(鉱山, 昭24年) 昭和24年入会(鉱山学科)の最近の物故者をお知らせいたします。ご冥福をお祈り申し上げます。

鷹取 正六(冶金, 昭24年) 年令(75才)の割に、至極元気にしております。相談役で、週3日程出社しております。

山根 鐵也(冶金, 昭24年) 自宅にて病氣療養中

です。

岡本 隆(鉱山, 昭25年) 福山大も退職し、悠々自適といったところですが、若干体調を崩し自重しております。水曜会の盛會をお祈りします。

上田 正雄(冶金, 昭25年) 病氣療養中で出席できませんが、皆様によろしくお伝え下さい。

小西 恭三(冶金, 昭25年) 年と共に腰痛など色々病氣していますが、何れもたいしたことはございません。昨年、同窓会で教室を見学させていただきましたが、余りに立派な変わり方に驚きました。益々のご発展を祈念申し上げます。

木村 治(鉱山, 昭26年) 身体の各所に軽度の老化を伴う異常が出て退屈することはありません。今回は欠席致します。

二宮 脩(鉱山, 昭26年) 卒業後半世紀。世の中の変化を強く感じるようになりました。皆様の益々のご活躍を心からお祈り申し上げます。

山村 和男(鉱山, 昭26年) 何とか元気にしていますが、歩行が少し不自由です。

高橋 庄二(冶金, 昭26年) いつも資料お送りいただき誠に有難うございます。

高松 隆(冶金, 昭26年) 株式会社ウィッツ日常清掃業務を経て、平成13年6月より(株)アプロハート日常清掃業務に勤務。

田中 誠一(冶金, 昭26年) 今年は卒業50周年で、先日クラス会に出席しました。平藤先生の御案内で教室の見学をさせて頂き、「今昔の観」を味わいました。御盛會をお祈りします。

田辺 定男(冶金, 昭26年) 5月14日にクラス会(卒業50周年記念)を京都市で開催、その際教室を平藤先生の御案内で見学させていただきました。大学院大学としての新しい研究棟など益々の発展を期待しています。

深瀬 徹(冶金, 昭26年) 埼玉県の浦和・与野・大宮の三都市が合併し「さいたま市」となりました。

杉本 和夫(鉱山, 昭27年) いつもお世話様です。

谷口 照雄(鉱山, 昭27年) お蔭様で元気にやっております。先約所用があり残念ながら欠席させていただきます。

寺田 孚(鉱山, 昭27年) 本年3月末日をもって、京大退官後勤めていた名城大学を定年退職いたしました。その後、固定した職業にはついていません。

上田喜三郎(冶金, 昭27年) お蔭様でゴルフ、碁、園芸等に余生をのんびり楽しく過ごしております。御参會の皆様によろしく。

林 清造(冶金, 昭27年)体調不良により欠席。
笹栗 弘喬(鉱山, 昭28年)お蔭様で元気です。
盆栽の代わりにパソコンで人生をエンジョイしています。

空地 公二(鉱山, 昭28年)妻も古希を迎え、犬も6歳。私と寿命くらべです。

中平 正矩(鉱山, 昭28年)病氣療養(入院中)のため欠席いたします。

岩田 徳重(冶金, 昭28年)無事に過ごしております。大会日は旅行予定であり失礼します。

倉知 三夫(冶金, 昭28年)当日、他の会合と重なってしまいましたので、残念ながら途中退席いたします。御盛會を祈ります。お蔭様で相変わらず元気に毎日を過ごさせていただいております。今夏も中国ハルビン工業大学を訪問する予定です。憲法九条は21世紀の日本の道標として堅持すべきと考えています。

薬師寺正雄(冶金, 昭28年)平成13年3月、関西大学工学部材料工学科定年退職しました。

関 近文(鉱山, 昭29年)他の行事と重複するため欠席させていただきます。現在も栃木県火薬類保安協会の嘱託として、頑張っております。今後ともよろしくお願い致します。

泉 泰通(冶金, 昭29年)毎日10km目標にウォーキングしています。環境問題に関心があり、化学の勉強をしたいと思っています。

江崎 澣(冶金, 昭29年)所要の為出席できません。盛會を祈念致します。

福田 龍二(冶金, 昭29年)出席できず残念です。私のコンサルタントの仕事も「モノ造り」から、例えば、インドのTATA Consultancy ServicesのようなPCソフトの開発会社のような領域にクライアントが拡がり、何かとお役に立てるよう七十の手習い中です。

松岡 英夫(冶金, 昭29年)晴歩雨読の生活をしています。

三浦 精(冶金, 昭29年)少子化の時代を迎え学生数の確保に私学は必死です。何とか生きのびるべく学生が入学してくれるかどうか大事な時代になりました。何とか元気で頑張っております。今年4月より教務部長をやらされることになりました。

山之内種彦(冶金, 昭29年)出席したく準備をしていたのですが、歳をとりますと、私本人の周りで病人が出来たりで、結局欠席させていただきます。御盛會をお祈り申し上げます。

井上 瑞城(鉱山, 昭30年)現在学会では、技術

者・教育認定関係の業務に参加しています。

清滝昌三郎(鉱山, 昭30年)巨大な(400m×80m)の原油貯蔵船8隻を並べた備蓄基地が北九州市若松沖に完成しています。福岡空港に降りる10~15分位前に左側座席から眺望できます。是非一度ご覧下さい。

佐藤 史郎(冶金, 昭30年)グローバルな競争過程において、アルミ圧延業も用途に応じた材料の最適化の徹底が求められています。選択と集中が必要です。「少年易老学難成」です。

塩出 哲典(冶金, 昭30年)欠席します。広島でも時折水曜会の会をもち、お互い交流したいと願っております。

米津栄次郎(鉱山, 昭31年)「果てしない顧客満足の追求」に尽力しています。

土川 晃(冶金, 昭31年)50歳のときに、特許事務所を開業し、すでに17年経ちました。少なくともあと10年は現役で働きたいと願っております。

長澤 元夫(冶金, 昭31年)日本金属(株)常任顧問をしております。合併、アライアンスが時勢の中、単騎で頑張るのは骨が折れます。水曜会の開催、もう少し早目に御案内いただけぬものでしょうか。

吹田 俊一(冶金, 昭31年)既に会社から完全に退き、今は自宅(横浜)に引き込んで居ります。

藤田 良武(冶金, 昭31年)ご成功を祈念しております。

鶴岡 泰生(鉱山, 昭32年)本を二冊(一昨年)送らせて頂いたが、着いたとも着かぬとも連絡がない。

本間 良治(鉱山, 昭33年)だいぶんオジンになりましたが、現役で頑張っています。出席できなくて済みません。

梶川 脩二(冶金, 昭33年)一昨年、NHKの系列会社退職。現在、毎週水・木・金曜の3日を知人の会社で顧問として勤務。

田中 孝一(冶金, 昭33年)健康を害することもなく、平凡な毎日を過ごしています。定年後の暇つぶしのつもりで、文献・特許などの検索等を行っています。

伴 誠二(冶金, 昭33年)一昨年10月、退職しました。

松本 洋祐(冶金, 昭33年)盛會を祈ります。

松本 善文(冶金, 昭33年)御盛會を祈ります。

伊藤 二郎(鉱山, 昭34年)ネットワークキング事業の経験を活かしてのボランティア活動を御近所の助け合いや、若い企業の育成の為にしています。

小澤不眠夫(鉱山, 昭34年)日々元気に過ごしております。

尾竹 嘉三(鉱山, 昭34年) 剣神社の宮司をつとめております。

児玉 幸夫(鉱山, 昭34年) 旅は終わりました。

八木 貞勲(鉱山, 昭34年) 年金生活に入り、まづまず生活しています。

熱田 善男(冶金, 昭34年) ネット上に「21世紀をつくる」発言広場を開設して、IT時代に適合したNW作りに力を入れております。ご関心のある方は BQZ12305@nifty.com へ、折り返し招待メールをお送りします。小戈は、緑に出合って、緑に気付かず。中戈は、緑に出合って、緑を生かさず。大戈は、袖な緑をも、大きく生かす。之な気持ちで頑張っています。

南浦 基二(冶金, 昭34年) プラント建設業の将来を何とか明るくすべく懸命の努力中であります。水曜会の一層のご発展お祈りします。

小泉 俊(鉱山, 昭35年) 昨年フリーとなりました。

西田 米治(鉱山, 昭35年) 会社勤めにひと区切りつきました。今自分が面白い。

嶋崎 義尚(冶金, 昭35年) 元気です。ご苦労様です。

植田 義(鉱山, 昭36年) 元気にしております。

高島 哲雄(鉱山, 昭36年) 幹事、御苦労様です。残念ながらアカデミックな問題に取り組む機会が少なくなっています。

赤井 慎一(冶金, 昭36年) 「学会の役またひとつ免ぜられ、肩軽くなり寂しくもあり」

岩崎 滋(冶金, 昭36年) 今年は松戸市IT講習を受託して、6000人ばかり教えねばなりませんので、当地を離れることが出来ません。出席出来なくなってから、永くなり、だんだん敷居が高くなりそうです。

岩本 和則(冶金, 昭36年) 父は今、オーマンにいますので(仕事のため)代わって書いて出させていただきます。岩本佳織

恩田 怜(冶金, 昭36年) 先約があり欠席します。成功をお祈りします。

小松 伸也(冶金, 昭36年) 地味な学問を見捨てる国に未練はない。見捨てられて絶えるような学問は本物ではない。法人化に行きつく先は?

山本 隆造(冶金, 昭36年) 地域福祉活動で結構忙しくしておりますが、体調はすこぶる良好です。

井出 謙三(鉱山, 昭37年) アラビア石油を定年

退職して約3年になります。37年間のサラリーマン生活の約半分をサウジアラビアで過ごしましたが、今はのんびりと過ごしています。

白井 勲(鉱山, 昭37年) 日立造船(株)を定年退職後、経営コンサルタントとして、官公庁、民間企業等とお付き合いさせて頂いています。

原田 省吾(鉱山, 昭37年) 現在米国デラウェア州に居りますが、近日中にアトランタに移ります。

秦 瑛(冶金, 昭37年) 5月2日に催された「近藤先生の叙勲のお祝い会」に出席出来ず、幹事殿に1977年5月に訪米された近藤先生御夫婦を囲んで、最初で最後のNew Year水曜会の様子をお伝えしました。その内容を水曜会に載せてほしいものです。

椿原 治(冶金, 昭37年) 工学教育界にて元気に働いております。

梅津 善徳(鉱山, 昭38年) 御案内有難うございます。厳しい状況下に置かれて、乏しい合金鉄業界ですが、リストラに次ぐリストラに耐えております。

田村 祥(鉱山, 昭38年) 三菱重工(株)定年後、昨年8月1日よりエイベックス(株)で品質管理を担当しています。

西村 孝(冶金, 昭38年) チタン材料の汎用材料化に努めています。

岡本 進(冶金, 昭38年) ISOコンサルタント業務で忙しく暮らしています。

北尾 盛功(鉱山, 昭39年) 去る5月13日に転居いたしました。お返事遅れて申し上げごさいませんでした。

天野 宗幸(冶金, 昭39年) 本年4月1日より、金属材料技術研究所は独立行政法人物質・材料研究機構となり監事になりました。

大辻 孝雄(冶金, 昭39年) 今年4月に日軽金を退職し、日本アマゾンアルミニウムに移りました。ブラジルへのアルミ製錬開発投資を行っている会社です。

新井 勝(鉱山, 昭40年) 昨年3年間の米国勤務を経て、帰国しました。

木下 舜(鉱山, 昭40年) 昨年10月末をもって、完全にリタイアしました。

三浦 義明(資源, 昭40年) 申し訳ありません。6月12日インドネシアへ出発するので出席出来ません。

望月 志郎(資源, 昭40年) 元気にしております

が、今回都合つかず残念です。

木畑 朝晴(金属, 昭40年)一昨年末、体調を壊しましたので、現在回復に努めています。水曜会の益々の御発展を願っております。

酒井 一夫(金属, 昭40年)当日、海外出張のため失礼します。

鈴木 公明(金属, 昭40年)原発建設の世界的な停滞傾向に伴い、従来の発電分野より使用済核燃料・放射性廃棄物の輸送・貯蔵及び処理・処分分野に重点を移した開拓の仕事に精を出しております。

横山 莞秦(鉱山, 昭41年)定年を真近に控え、行方を考えざるを得ない今日この頃です。

大西 建男(冶金, 昭41年)初めて参加致します。(遅くなり申し訳ありません)

森 邦彦(冶金, 昭41年)4月1日付で長浜工場に移りました。

芦田 喜郎(金属, 昭41年)営業から離れ、技術本部副本部長兼環境化学事業部長として毎日を忙しく過ごしています。

桑名 信雄(金属, 昭41年)当日、都合付かず欠席させていただきます。今後の水曜会の御発展をお祈りいたします。

嶋田 高光(冶金, 昭42年)只今(平成10年より)、中国、北京、上海に滞在中です。

野瀬 正昭(冶金, 昭42年)平成10年4月、新日鐵から新日鐵化学(株)に転籍しました。現在は、化学品事業部を官営しています。

速水 弘之(冶金, 昭42年)57才になってもまだなお光応用製品のR&Dを推定している現役として活動中であり、エンジニア冥利につきるサラリーマン生活を送ることができたと周りの皆様に感謝している昨今です。昨年までは3年間非常勤講師をさせて頂きましてありがとうございました。(新素材講座)

土居 陽(金属, 昭42年)阪大では材料・加工・デバイス全般に亘る講義を11年間続けています。京大でも3年間講義をしましたが、内規により3年で止めました。阪大ではその点大らかですね。

湯浅 光行(金属, 昭42年)「何事も最後は“心”」という感を深めています。“技術栄えて、人心荒廃”では、寂しい限りです。

滝沢 博司(資源, 昭43)フランスに住んでおります。

吉川 正昭(資源, 昭43年)高専では専攻科ができ、大学で5科目15時間/週、4時間/週の授業

が2回もあり、声が出なくなることもあり、ハードです。

粟倉 泰弘(冶金, 昭43年)お役目ご苦労様です。

黒木 正純(冶金, 昭43年)タンカーの代替並びにダイオキシンの排出量規制による廃棄物自家発電更新と操業度は御蔭で高く、ポンプとタービンの生産に追われています。再来年以降の反動が怖いところです。

平岡 誠(冶金, 昭43年)転居しました。この歳での引越しは大変でした。

福田 隆(金属, 昭43年)本年2月16日付で、室蘭製作所から横浜製作所へ転勤となり、転居いたしました。

浅井 達雄(資源, 昭44年)松下グループ全体の情報セキュリティを担当しております。

橋爪 清(資源, 昭44年)小林先生にはいつもお世話になっております。小林先生から「波動研究会」のメンバーであられるとのことお聞き致しました。いつかお目にかかれることを楽しみにしております。芦田先生にもよろしくお伝えください。科警研の中村様とは同窓の由、中村さんにもいつもお世話になっております。小林先生、中村さんとはいつもお酒を楽しませて頂いています。

飛驒 一彦(資源, 昭44年)エネルギー業界は規制緩和の大波の中で大変です。

中野 勇男(冶金, 昭44年)半導体メモリ関連の開発研究に従事しています。

池田 建二(金属, 昭44年)おかげさまで元気に過ごしております。盛会をお祈り申し上げます。

八十 致雄(金属, 昭44年)製造現場を離れ二ヶ月。充電時期にしたいと考えております。水曜会皆様方各位の御活躍、御多幸をお祈りしています。

平岡 裕(冶金, 昭45年)当方、元気で過ごしております。皆様に宜しくお伝え下さい。

北川 正男(資源, 昭46年)名簿発行はいつでしょう?

中村 元(資源, 昭46年)今年からGTL(Gas to Liquids)プロジェクトに加わることになりました。

山田 範保(資源, 昭46年)1月6日から環境省へ来て、環境科学技術を担当しています。

川崎 博章(冶金, 昭46年)会社も川鉄チュービック(株)に異動し、理事・第2工場長に変わりました。

中山 正章(冶金, 昭47年)昨年、新日鐵から山丸に出向となりました。

中山 俊夫(金属, 昭48年)年中, 貧乏暇なしで土・日も盆も仕事をしております。皆さんお元気で。

朝倉 俊弘(資源, 昭49年)3月末に東京から家族を呼び寄せ, 1年半にわたる单身生活に終止符を打ちました。

柏井 善夫(資源, 昭49年)光ファイバー計測, 精密写真測量など新しい技術の導入に取り組んでいます。

服部 寿(金属, 昭49年)現在の会社に転職して5年になりました。半導体プロセス工程でのウェーハの検査と計測装置のメーカーです。本社がシリコンバレーにある, いわゆるハイテク企業ですが, 米国のマネジメント戦略と実行プロセスを学ぶいい機会となりました。

広沢 哲(金属, 昭51年)永年, 磁石材料の研究開発に従事しています。大津市に住んで11年が経ちました。

志和陽一郎(資源, 昭52年)先行き不透明ですが, 目標を持って頑張りましょう。

中尾 禎造(冶金, 昭52年)京都に4年余り居ましたが, 去る5月16日より和歌山に勤めることになりました。

山本 道晴(冶金, 昭52年)日立での5年間の単身赴任から, 神奈川の工場勤務となりました。

津崎 兼彰(金属, 昭52年)超鉄鋼研究プロジェクトの次期構想(H14から5年間)で楽しく忙しく過ごしております。私もマルテンサイトと付き合い四半世紀が経ちました。関東地区に来て5年目です。そろそろ東京水曜会のも顔を出すつもりです。

元山 義郎(金属, 昭53年)先日久しぶりに教室を訪ねましたら, 建物が新築中で, 私が学んだ頃の面影があまりになくなってのには驚きました。会社は御存知な様に大変な時期ですが, 教室名を汚さない様に元気でやっています。返事遅れて申しわけありませんでした。

宮下 卓也(金属, 昭53年)環境関連の研究を担当しています。

宮脇 新也(金属, 昭53年)まるで進歩していませんが, 相も変わらず神戸の製鉄所で条鋼の圧延をやっています。

伊藤 一馬(冶金, 昭54年)中国・北京へ赴任中です。

矢内 雅造(金属, 昭54年)公私ともにバタバタしておりますが, 元気に頑張っております。御盛会をお祈りしております。

北村 公亮(資源, 昭55年)専攻とは畑違いです

が, 悪戦苦闘しております。

道本 龍彦(冶金, 昭55年)多忙な毎日を送っています。

和田 裕文(金属, 昭55年)所用につきやむをえず欠席致します。

山田 良春(資源, 昭56年)昨年春に大阪に転勤し, 水曜会大会への出席には随分有利になりました。当日は所用のため, 欠席とさせていただきます。回答が遅くなり, 申し訳ございません。

及川 初彦(冶金, 昭56年)グローバル戦略の中, 生き残りをかけて多忙な日々を送っています。

大石 哲也(金属, 昭56年)海外勤務(シンガポール)の為, 遺憾ながら出席出来ません。御盛会であります様。

山形 仁朗(金属, 昭56年)デュッセルドルフで4年目を迎えます。代筆 義母

伊倉 真(資源, 昭58年)海外勤務のため, 赴任致しております。御盛会をお祈り申し上げます。

田中 秀敏(金属, 昭59年)調達システムのユーザーサイトからのとりまとめを行っています。

小澤 伸(資源, 昭61)2000年8月に名古屋に引越したとたん, 東海豪雨にあいました。昨年は大変な年でした。

安藤 聡(冶金, 昭62年)鉄鋼メーカーの統合を前に研究所にて忙しい日々を送っております。これから先激動の時代が来ますが, 波にのまれぬ様, 着実に頑張っていきたいと考えています。

小澤 克敏(金属, 昭63年)IBM半導体生産にて生産効率向上の為の製造管理業務に従事しております。

中島 俊明(金属, 昭63年)相変わらずです。

木本 隆(金属, 昭64年)所属部署が変更になりました。現在, 三洋電機(株)戦略担当役員付事業戦略スタッフ。

長谷川玉絵(資源, 昭65年)オーストラリアに在住中の為, 欠席します。

初山 茂康(資源, 平元年)昨年, 静岡県沼津市から新横浜に転勤になりました。

切畑 敦詞(冶金, 平元年)1月に2人目の子供が生まれ, 中々ハードな毎日を過ごしています。鉄鋼業にもデフレの波が押し寄せ, 先行きに明るい未来が見えない今日この頃です。

高濱 良行(冶金, 平元年)元気でやっています。

山本 聡(金属, 平元年)日産(自)技術センターヨーロッパK・K(英国)赴任中です。

館田 快志(資源, 平2年)現在, ロンドンに住

んでいます (3年目)。

辻本 雅巳 (資源, 平2年) 作業系のスタッフとして頑張っています。

瀬戸 順孝 (資源, 平3年) ごぶさたしております。現在では資源の専門とすっかり縁遠くなってしまいました。旧若松研の先生方によろしくお伝え下さい。

山口 潔人 (資源, 平3年) チリでの生活も1年が過ぎ、頑張っています。

宇津木慎司 (資源, 平4年) 幹事ご苦労様です。

平田 岳夫 (資源, 平4年) 元気に過ごしております。宅田・藤本両先生に宜しくお伝え下さい。

溝口 将康 (冶金, 平5年) おかげさまで仕事も忙しく、充実した毎日を送っております。

糸井 高士 (金属, 平5年) 現在、アメリカへ転勤中です(家族3人)。しばらく水曜会は保留とさせていただきます。

磯崎 綾子 (資源, 平7年) 肉体疲労だけのムナシイ毎日です。

金城 正志 (資源, 平7年) 毎日、なかなか忙しいですが、元気にやっています。ところで、同学年で航空学科を学部で卒業した「池田友明」君の現住所が知りたいのですが、そうゆう問い合わせは、誰にすればいいのでしょうか?もし分かれば教えてください。

小島 雄三 (資源, 平7年) すぐに仕事がある心質が大違い。米国より帰国後、英文の中から救い出されたか。京大モデルも日本人に否定され、欧米人

に受け入れられる日々が続いています。

大場 史康 (冶金, 平8年) 本年4月より日本学術振興会特別研究員 (PD) をしております。

村守 宏文 (金属, 平9年) 本年4月、審査官に昇任されました。

鈴木 正明 (材料, 平9年) 代理ですので近況も書けず、すみませんが宜しくお願いします。

池尻 孝 (資源, 平10年) 入社2年目です。広島県の竹原市に勤務しています。

高瀬 嗣郎 (資源, 平10年) 社会人として1年以上経ちました。仕事も順調にこなせるようになりましたが、まだまだ勉強の日々です。

井出 竹則 (資源, 平13年) 現在は岡山で働いています。岡山県玉野市にいます。

日下部吉彦 (元教官) 変わりありません。

段野 勝 (元教官) 福井工大の役職を離れ、本年度から客員教授として週3日勤務となり、趣味として碁・パソコンなどを楽んでいます。水曜会の御発展をお祈りします。

宮谷 義六 (元教官) 御蔭で健勝にて、相変わらず昼・夕に一杯を楽しんでいます。しかし、老齢のため失礼致します。悪しからず。

森 英嗣 (元教官) 水曜会会員の皆様におかれましては、益々ご健勝こととお慶び申し上げます。是非出席させて頂きたかったのですが、当方の学内の用事がある為、欠席させて頂くことになりました。今後の水曜会の益々のご発展を心よりお祈り申し上げます。



平成 13 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ていた講座は、工学研究科の資源工学専攻および材料工学専攻、エネルギー科学研究科のエネルギー社会・環境科学専攻、エネルギー基礎科学専攻およびエネルギー応用科学専攻、ならびに工学研究科附属メゾ材料研究センターに所属が変わった。また、各専攻は大学院に属し、専任講座と、従来の講座を「分野」と称した複数の研究室から構成される基幹講座からなっている。この名簿では専任講座名および研究分野名を用いて「～研究室」として表示した。掲載研究室は次のとおりである。

〈旧資源系〉

○工学研究科

資源工学専攻：資源開発工学 地質工学 資源高度利用工学 物理探査工学
計測評価工学

○エネルギー科学研究科

エネルギー応用科学専攻：資源エネルギーシステム学 資源エネルギープロセス学
宇宙資源エネルギー学

〈旧金属系〉

○工学研究科

材料工学専攻：材料設計工学 表面処理工学 プロセス設計学 マイクロ材料学
量子材料学 結晶物性工学 格子欠陥物性学 材料物理学 材質制御学

○エネルギー科学研究科

エネルギー社会・環境科学専攻：エネルギー社会工学
エネルギー応用科学専攻：材料プロセッシング 高温プロセス
エネルギー基礎科学専攻：量子エネルギープロセス

○工学研究科附属メゾ材料研究センター：メゾ材料創製学（基礎工学）

旧 資 源 系

学部卒業生

氏 名	研 究 論 文 題 目	就 職 先
資源開発工学研究室		
榎原友樹	帯水層下のトンネルの合理的な湧水量予測手法の検討	京都大学大学院
神村大介	比抵抗探査結果を用いたトンネルの湧水量予測モデル	京都大学大学院
黒川義民	クロスホール透水試験による岩盤の水理特性の評価	京都大学大学院
安田岳之	地下水揚水法の併用による動電学的土壌浄化技術の適用	京都大学大学院
地質工学研究室		
小笹文彦	ダム間隙水圧挙動の計測管理における MAR モデルの適用性に関する検討	鹿島建設(株)
木羽智洋	泥質岩のスレーキングおよびその抑制法に関する研究	京都大学大学院
辻康三	花崗岩からなるダム基礎岩盤の地質統計学による地質工学図作成に関する研究	

氏 名	研 究 論 文 題 目	就 職 先
資源高度利用工学研究室		
石 井 智 也	旧馬上鉱山周辺での地下水挙動に関する考察	京都大学大学院
梅 谷 洋 介	変状対策工としてのロックボルトの骨組解析への適用に関する研究	京都大学大学院
田 村 真 禎	トンネル支保剛性が切羽周辺の応力変形状態に与える影響	自衛隊（幹部候補生）
井 出 竹 則	トンネル変形状態に関する基礎的研究	三井金属鉱業(株)
遠 藤 希 典	走行式トンネルコンクリート点検の総合評価システムに関する研究	京都大学大学院
中 山 学	フラクチャー浸透率の3乗則からのかい離に対する開口幅の影響	京都大学大学院
松 井 知 敬	採掘空洞群を有する広領域を対象とする3次元応力解析	(株)表現
物理探査工学研究室		
浅 田 裕 二	地球統計学を用いた異方性を有する透水係数データの解析	京都大学大学院
重 松 秀 樹	スリープ震源を用いたせん断弾性係数の推定に関する研究	京都大学大学院
三 善 孝 之	格子ボルツマン法を用いた孔隙内流体挙動のシミュレーション	京都大学大学院
若 月 然 太 郎	個別要素法による弾性波現象の数値シミュレーション	京都大学大学院
橋 村 忠	フレネルボリューム法によるクロスホールデータのトモグラフィ解析	京都大学大学院
村 上 宏 徳	エアスパーキングにおける空気流れに関する研究	京都大学大学院
計測評価工学研究室		
足 立 良 平	磁気ヒステリシス特性のニューラルネットワーク表現について	京都大学大学院
田 原 健	交流磁気飽和を用いるワイヤローブ断面欠損量の連続測定について	京都大学大学院
藤 井 伸 一	ロープウェイ運行時の搬器揺動のシミュレーションについて	(株)ニッシン
森 田 宗 良	電析過程における樹枝状結晶成長のシミュレーションについて	京都大学大学院
資源エネルギーシステム学研究室		
木 村 隆 一	露天採掘鉱山における衛星リモートセンシングデータの利用	京都大学大学院
桑 山 博 司	堆積環境を異にする珪藻土中の微量元素含有量	厚生労働省徳島労働局
古 川 和 彦	部門別最終エネルギー消費とGDPの関係	京都大学大学院
方 堂 毅	シリカによる有害物質のカプセル化	京都大学大学院
松 下 傑	X線回折分析によるメタンハイドレートの分解プロセスに関する考察	京都大学大学院
資源エネルギープロセス学研究室		
井 上 大 輔	AZ31 マグネシウム合金板の温間成形の有限要素シミュレーション	京都大学大学院
竹 崎 一 誠	固体面に衝突する微小液滴の変形挙動	京都大学大学院
山 根 功 士 朗	固体粒子の輸送を目的としたエアリフトポンプの揚固揚水特性	京都大学大学院
坪 井 崇 浩	種々のMg-Li合金板の成形性の数値解析	京都大学大学院
松 阪 浩 明	Li含有量の異なる種々のMg-Li-Zn合金薄板の引張特性および金属組織	(株)上組

氏 名	研究論文題目	就 職 先
宇宙資源エネルギー学研究室 伊 沢 深 紘 長 尾 翔	TiO ₂ の光触媒作用による水溶液中の有機物除去 マイクロバブル浮遊選鉱における衝突効率の流体力学的研究	京都大学大学院 京都大学大学院
森 末 将 文 矢 野 悟 宇	アルカリ溶液中での Si エッチングに関する基礎的研究 ULSI 銅配線技術における電気化学プロセスの基礎的研究	京都大学大学院 京都大学大学院
山 路 俊 樹	β-SiC と浮選剤との反応性に関する基礎的研究	京都大学大学院

修士課程修了者

氏 名	研究論文題目	就 職 先
資源開発工学講座 中 島 健 晴	岩盤中における放射性物質の移動現象に関する検討	日本 IBM (株)
地質工学研究室 徳 本 幸 男 山 崎 寿 之	揚水発電所調整池の濁質管理を目的とした濁度分布の挙動分析に関する研究 地質統計学によるダム基礎岩盤の地質工学図作成の合理化に関する研究	東電設計(株) 環境省
物理探査工学研究室 岩 崎 博 海 西 原 陽 介 馳 川 高 弘 深 森 広 英 山 本 圭 介 吉 川 浩 治	等走時間法による反射法地震探査データのイメージングとその応用 画像解析技術の資源探査への応用 個別要素法による地質構造形成のシミュレーション 高精度傾斜計を用いたフラクチャマッピング 勾配法による電磁探査データのインバージョン解析 スィープ震源による地下浅層部における弾性係数の推定	伊藤忠商事(株) 富士通(株) 帝国石油(株) NTT コミュニケーションズ IBM (株) リコーシステム開発(株)
計測評価工学研究室 河 淵 哲 八 朔 陽 介 吉 川 浩 央	電気ポテンシャル法によるコンクリート中の鉄筋腐食の評価に関する研究 塊状物体の転がし運搬における力作用点の選定問題について ニューラルネットワークを用いた2次元渦流探傷データからの表面欠陥像復元	(株)東洋情報システム 松下電器産業(株) (株)東洋情報システム
資源エネルギーシステム学研究室 梅 原 弘 史 山 田 将 巳	生物起源珪藻土からの太陽電池用シリカ原料精製 シリカコーティングによる有害物質の流出防止	文部科学省 (株)東芝
資源エネルギープロセス学研究室 足 立 尚 久 伊 藤 俊 小 川 哲 史 政 近 樹	AZ31 マグネシウム合金板の室温および温間での成形性 Experimental Study of Collision of Multiple Droplets with a Solid at Room Temperature Pump Performance of Air-Lift System for Conveying Solid Particles Finite Element Simulation of Warm Deep Drawing of a Metastable Austenitic Stainless Steel Sheet	日産自動車(株) 野村證券(株) トヨタ自動車(株) ダイハツ工業(株)
宇宙資源エネルギー学研究室 矢 野 史 宗 松 島 永 佳	炭化ケイ素微粒子の浮選に関する基礎的研究 Water Electrolysis under Microgravity	川崎重工業(株) 京都大学大学院博士後期課程進学

博士後期課程修了者

氏 名	研 究 論 文 題 目	就 職 先
計測評価工学研究室 小 西 陽 子	微小重力環境下の電気化学界面現象	独立行政法人 物質・材料研究機構
資源エネルギーシステム学研究室 別 所 昌 彦	太陽電池原料用高純度シリカの精製	京都大学大学院エネルギー科学研究科研修員

博士学位授与者 課程博士

氏 名	研 究 論 文 題 目	主 査	取 得 年 月 日	備 考
計測評価工学研究室 小 西 陽 子	Electrochemical Interfacial Phenomena under Microgravity	花 崎 絃 一	平成13年3月23日	

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
村 田 澄 彦	Characterization of the mechanical and hydrological properties of a rock joint by using a fractal model	齋 藤 敏 明	平成13年3月23日	
中 尾 信 典	坑井利用弾性波探査及び坑井水理試験による断裂型地熱貯留層の特性評価に関する研究	芦 田 讓	平成12年9月25日	京都大学工，資源，卒業昭和60年3月

旧 金 属 系

学部卒業生

氏 名	研 究 論 文 題 目	就 職 先
材料設計工学研究室		
飯 尾 浩 平	TiNi の格子力学の第一原理計算	イギリス留学
伊 藤 英 之	Ti の bcc-hcp 変態の原理レベルのシミュレーション	京都大学大学院
大 北 洋 平	ZnO および MgO におけるドーパントと金属イオン空孔の相互作用	京都大学大学院
藤 平 哲 也	希土類ドープ固体レーザー材料における光吸収スペクトルの理論計算	京都大学大学院
福 田 陽 一	NiO における電子分光の第一原理計算による解析	京都大学大学院
松 井 雅 史	ホタル石型 ZrO ₂ 系固体電解質における溶質元素-酸素空孔の局所環境	京都大学大学院
宮 前 亨	分子軌道法による水和物イオンの構造とエネルギーの評価	京都大学大学院
表面処理工学研究室		
石 田 雅 人	Ni-W 合金めっき浴中の化学種の分光学的考察	京都大学大学院
植 松 幹 夫	硫酸酸性浴からの CdTe 半導体電析	京都大学大学院
小 田 暢	酸性および中性クエン酸浴からの CdTe 半導体電析	京都大学大学院
古 市 佑 樹	アンモニア-アルカリ性水溶液からの CdTe 電析における基板の影響	京都大学大学院
古 田 成 生	含フッ化物イオン水溶液中での TiN および TaN の溶解挙動	京都大学大学院
プロセス設計学研究室		
岡 田 浩 尚	金属表面汚染による仕事関数の変化	東京大学大学院
川 村 淳 一	リン化合物の蛍光 X 線分析	京都大学大学院
野 沢 健	構造的発色の分光計測法の開発	ニチメン(株)

氏 名	研究論文題目	就 職 先
マイクロ材料学研究室		
岩 田 周 祐	n型 GaAs に対するオーミック・コンタクト材の研究	東京大学大学院
小 野 友 昭	ULSI デバイス用電解めっき Cu 配線における異常粒成長挙動	京都大学大学院
国 須 正 洋	CdTe 半導体放射線検出器に対する In コンタクト材の電気伝導機構	京都大学大学院
新 保 朋 仁	n-AlGaIn/GaN ヘテロ構造へのオーミック・コンタクト材に関する研究	東京大学大学院
竹 井 知 裕	p型 SiC に対する TiAl を用いたオーミック・コンタクト材の開発	京都大学大学院
武 智 篤	Cu 薄膜の粒成長挙動における成膜条件依存性	京都大学大学院
溝 端 順 一	p型 GaN への Ta/Ti オーミック・コンタクト材の電気特性と微細構造に関する研究	京都大学大学院
量子材料学研究室		
菰 田 泰 生	Gd ₅ Si ₄ の磁性に及ぼす Sn 置換効果	東京大学大学院
立 岡 徹 之	EuNi ₂ (Si _x Ge _{1-x}) ₂ の価数転移による比熱異常	京都大学大学院
水 谷 晴 美	R ₂ Fe ₁₇ の磁気熱量効果	京都大学大学院
寛 豊	高純度 Al 中の Fe の表面偏析	東京大学大学院
江 口 慎 吾	Ti-Mn ラーベス相の磁性に対する水素吸蔵の効果	京都大学大学院
松 井 恒 平	LaMn ₄ Al ₈ の重い電子の原因	京都大学大学院
結晶物性工学研究室		
大 宮 裕 司	TiAl DS 材のクリープ特性に及ぼす Si 添加の影響	京都大学大学院
岡 本 範 彦	B4C 単結晶の力学特性	京都大学大学院
朝 長 篤 司	LaNi ₅ 単結晶の水素化によるクラックの発生・進展	東京大学大学院
林 泰 輔	Mo-Si-X (X=B, C)系超高温材料単結晶の力学特性	京都大学大学院
安 河 内 隆 一	Nb ₅ Si ₃ 単結晶の作製と力学特性	京都大学大学院
熊 谷 康 顕	一方凝固 Mo-Si-B 系多相合金の組織の力学特性	京都大学大学院
格子欠陥物性学研究室		
阿 部 弘	Ni ₃ Al の長範囲規則度の測定	(株)富士通ビー・エス・シー
伊 藤 有	電気抵抗測定による Ni ₃ Al の規則-不規則変態温度の評価	京都大学大学院
大 仲 輝	FePd における L1 ₀ 単一バリエーション生成の臨界温度	日立電子サービス(株)
岡 村 大 輔	α 鉄中におけるクロムと窒素の相互作用	京都大学大学院
材料物理学研究室		
清 水 広 朗	Al-Mn-Cu-Zn 系化合物の作製と構造解析	京都大学大学院
長 井 康 礼	Ag/Bi2223 被覆導体の作製とその相変態挙動	住友軽金属(株)
西 川 友 和	拡張ヒュッケル法による耐熱性の評価と	日立システムアンドサービス(株)
福 本 良 太	鉛フリーはんだに関する Ag-Sn-X 系状態図の検討	半導体エネルギー研究所
藤 本 一 平	化学溶液法による希土類酸化物薄膜のエピタキシャル成長	京都大学大学院
三 宅 琢 磨	Y-Ba-Cu-O 超伝導薄膜テープ用二軸配向金属基板の作製	東京大学大学院

氏 名	研究論文題目	就職先
材質制御学研究室		
菊本 一乃	冷間加工された極低碳素鋼ラスマルテンサイトの回復再結晶挙動	京都大学大学院
坂本 健太郎	Fe-0.4C 合金の疑似パーライト組織の特徴	京都大学大学院
西川 潤	鉄系ラスマルテンサイト中の転位密度におよぼす合金元素の影響	京都大学大学院
肥後 彰秀	(平成13年3月卒業研究論文提出・認定済み)	(株)ガイアックス
宮本 吾郎	介在物上に核生成した粒内フェライトの形態および結晶学	京都大学大学院
山本 健治	オースフォームドララスマルテンサイトの焼もどしによる組織変化	京都大学大学院
エネルギー社会工学研究室		
角本 晃一	凝固偏析を用いた材料の純化に関する研究	京都大学大学院
佐藤 晃一	繰り返し圧縮、圧延による Ni/Ag 多層体の熱電能	京都大学大学院
土居 展陽	Mm-Fe 系合金の水素脆性を利用したリサイクル材料の開発	朝日放送(株)
細井 威男	Co/Ag 多層体の繰り返し圧縮・圧延による作成とその評価	京都大学大学院
森田 暁	Zr-Cu-Al 系のアモルファス作製	京都大学大学院
若松 貴史	TiO ₂ 光触媒を用いた NOx 分解に関する研究	京都大学大学院
材料プロセス工学研究室		
岸本 佑	多元素ガラス中における Fe ³⁺ /Fe ²⁺ 平衡の温度依存性	京都大学大学院
白鹿 剛	Ni-P 均一液体合金の熱力学	(株)童夢
末松 芳章	CaO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ -Fe _x O 4 元系の Fe _x O の活量測定	京都大学大学院
高橋 悠子	アルカリ硫酸塩融体中のクロム溶解度の温度依存性	京都大学大学院
豊田 久志	ポリ塩化ビニル樹脂の高温熱分解による塩化水素除去	京都大学大学院
早川 光	CaO-SiO ₂ -Al ₂ O ₃ 系スラグ中の Fe の酸化還元平衡	京都大学大学院
高温プロセス研究室		
小野 洋平	溶融塩を用いた Ni のシリサイドコーティング	京都大学大学院
留高 烈	バルク状 β-FeSi ₂ 熱電化合物の作製と評価	京都大学大学院
服部 寛史	熱電パネルを用いた発電システムの最適設計	京都大学大学院
福井 慎次	Ca 熱還元法によるチタンの製造	京都大学大学院
藤田 健治	鉄基熱電発電モジュールの作製と評価	京都大学大学院
矢田 千宏	Nd-Fe-B 永久磁石と炭素の反応	京都大学大学院
メゾ材料創製学(基礎工学)研究室		
田村 正憲	走査ホールプローブによる高温超伝導材料の磁気的特性評価	東京大学大学院
富岡 伸一	水銀接点における量子化コンダクタンス	塾講師
山本 将史	Au(111)再構成表面のショックレイ転位のバリアハイトイメージング	京都大学大学院(エネルギー)

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		
岩田 貴普	3d 遷移金属化合物におけるカオチン L _{2,3} -edge XANES/ELNES の第一原理計算	富士通(株)
中野 雅信	透明導電性酸化物中における内因性点欠陥の形成エネルギーと電子状態	シャープ(株)
山本 昌輝	Cr ³⁺ 固体レーザー材料における光学スペクトルの第一原理計算	日本モレックス(株)
李 江	MgO-ZnO 固溶体からの ELNES 実験とその理論計算	古河電気工業(株)

氏 名	研 究 論 文 題 目	就 職 先
表面処理工学研究室 新 吉 隆 利 鈴 木 達 哉 松 井 雅 樹	アルカリ浴からの CdTe 電析におよぼす電位の影響 光触媒を利用した ABS 樹脂表面の活性化と無電解銅めっき アンモニア-アルカリ浴からの光アシスト CdTe 電析	トヨタ自動車(株) 野村證券(株) トヨタ自動車(株)
プロセス設計学研究室 杉 村 哲 郎	弗化物の X 線吸収スペクトルと仕事関数に関する研究	三菱自動車工業(株)
マイクロ材料学研究室 梅 原 康 暢 末 吉 浩 久 角 田 有 紀 人 松 永 健 太 郎	Studies on field emission properties at diamond-like carbon films p 型 GaN 用の高融点金属オーミック・コンタクト材の電気特性と微細構造に関する研究 n 型 GaAs 用の NiInGe オーミック・コンタクト材の界面構造解析 Cu 薄膜材の異常粒成長におけるひずみの効果の研究	(株)キーエンス ミノルタ 富士通(株) ホンダ技研工業(株)
量子材料学研究室 五 味 弘 行 田 部 雄 治 山 崎 朋 秋	Eu (Pd _{1-x} Pt _x) ₂ Si ₂ の価数転移による異常比熱 一次転移を伴う磁性体の磁気熱量効果 Magnetism of geometrically frustrated transition metal chalcogenides	(株)キーエンス 京都大学大学院
結晶物性工学研究室 伊 原 圭 祐 廣 田 雅 洋 武 藤 慎 治 山 根 光	超高温構造材料 Mo ₅ SiB ₂ 単結晶の力学特性 水素吸放出に伴う FeTi の水素吸蔵特性変化と内部組織の相関 整列ラメラ組織を有する TiAl 一方向凝固材の合金設計 バナジウム基 bcc 合金の水素吸蔵特性に及ぼす微細組織の影響	三菱重工(株) 本田技研工業(株) 石川島播磨重工業 ファナック(株)
格子欠陥物性学研究室 岡 村 和 郎 櫛 田 亜 矢 子	α 鉄中の炭素・窒素とモリブデンの相互作用 L1 ₀ 型規則合金 FePt の拡散	古河電気工業(株) 住友電気工業(株)
材料物理学研究室 小 川 一 啓 和 田 達 夫	Ag/Bi2223 超伝導テープ材における I-V 特性の統計的解析 Ag/Cu ナノスケール多層薄膜の機械的性質	京都大学大学院 (株)コマツ
材質制御学研究室 岩 本 修 治 高 恩 久 木 森 達 郎 藤 澤 宏 太 郎 村 上 俊 夫	ラスマルテンサイトとフェライトの冷間圧延組織の比較 焼もどしマルテンサイトからのセメンタイト析出におよぼす第三元素の影響 オーステナイト中 (MnS+VC) 複合析出物の結晶学 共析鋼の一方向パーライト変態組織 Fe-Ni-Co-Ti 形状記憶合金のマルテンサイト変態におよぼすオースエージの影響	新日鐵(株) 第一樹脂(株) 新日鐵(株) 川崎製鉄(株) 神戸製鋼(株)

氏 名	研 究 論 文 題 目	就 職 先
エネルギー社会工学研究室		
江崎 剛	Fe/Ag 金属人工格子の組織及び機械的特性	ローム(株)
大西 信次	資源有効利用を評価した環境負荷統合指標についての研究	ブレインワークス(株)
酒井 永典	金属多層体の熱電能	東京エレクトロン(株)
澤崎 勝	水素脆性を利用したアクティブディスプレイ設計鉄系材料の開発	住友信託銀行(株)
松岡 由紀	凝固偏析による材料の純化	IHI 石川島播磨重工(株)
材料プロセス研究室		
磯林 厚伸	A thermochemical study of the $\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_x\text{O} + \text{MgO}$ system ($\text{CaO} + \text{SiO}_2 + \text{Fe}_x\text{O} + \text{MgO}$ 系の熱力学)	アプライド マテリアルズ ジャパン(株)
小野 浩之	2, 3 元素アルカリ硫酸塩の熱力学	同和鉱業(株)
福岡 朗	多元系酸化物融体中における Fe および Cu の酸化還元平衡	(株)エヌ・ティ・ティ・ドコモ
安田 栄作	多元系酸化物融体中における $\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}^+$ Red-ox 平衡の温度依存性	(株)神戸製鋼所
高温プロセス研究室		
木原 雅志	大規模熱電発電モジュール設計のための基礎解析	デロイト トーマツ コンサルティング(株)
西山 忠夫	溶融塩を用いた Nb, Ta 粉末の製造	本田技研工業(株)
量子エネルギープロセス研究室		
ト部 泰三	三次元的顕微拡大像構築の確立と in-situ 結晶成長観察への試み	航空自衛隊
早坂 高雅	Pr 添加 Gd 基および Nd 基銅酸化物超伝導体における非オーム性伝導	(財)鉄道総合技術研究所
メモリ材料創製学(基礎工学)研究室		
榎本 明弘	合金微小接点における量子化コンダクタンス	トヨタ自動車(株)
福田 那賀	高分解能走査ホールプローブによる高温酸化物超伝導体の微細観察	関西電力(株)
藤岡 秀彰	貴金属 (111) 面からの電界放射	NTT ファシリティーズ(株)
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		
大場 史康	Electronic States of Lattice Imperfections in ZnO Ceramics (酸化亜鉛セラミックスにおける格子欠陥の電子状態)	日本学術振興会特別研究員 (PD)
森 分博紀	「スピネル型結晶構造酸化物 MgCr_2O_4 の電气的特性とその電子論的考察」	松下電子部品(株)
結晶物性工学研究室		
山本 篤史郎	水素吸蔵金属間化合物の結晶構造ならびに格子欠陥と水素吸蔵特性の相関	筑波大学
材料物理学研究室		
足立 大樹	粉末冶金法を用いた超高強度 Al 合金の開発に関する基礎研究	京都大学工学研究科助手

博士学位授与者 課程博士

氏 名	研 究 論 文 題 目	主 査	取 得 年 月 日	備 考
材料設計工学研究室 大場 史 康	Electronic States of Lattice Imperfections in ZnO Ceramics (酸化亜鉛セラミックスにおける格子欠陥の電子状態)	足 立 裕 彦	平成12年9月	
結晶物性工学研究室 山本 篤 史 郎	水素吸蔵金属間化合物の結晶構造並びに格子欠陥と水素吸蔵特性の相関	山 口 正 治	平成13年3月23日	
材料物理学研究室 足立 大 樹	粉末冶金法を用いた超高強度Al合金の開発に関する基礎研究	長 村 光 造	平成13年3月23日	

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
量子材料学研究室 広 兼 順 司	希土類遷移金属多層膜における磁気結合力の制御による磁氣的超解像再生光磁気ディスク記録媒体に関する研究	志 賀 正 幸	平成13年3月23日	広島大学工学研究科修士課程，昭和57年3月修了
材質制御学研究室 山 崎 一 正	超高強度鋼板の成形性向上に関する金属組織学的研究	牧 - 正 志	2000年11月	早稲田大学理工学研究科機械工学専攻修士課程，昭和51年3月修了

水曜会誌の原稿募集について

水曜会誌編集委員会

本委員会では、学術研究や技術開発の成果、操業報告、特定の課題や分野の解説・啓蒙・普及など、会員の皆様が関与されている様々な領域や分野についての研究・業務に関する原稿、あるいは皆様の近況、意見、展望など幅広い原稿を募集致しております。

投稿原稿は、論文、報告、総説、講座、資料、各種記事(談話室、会員消息、会員の声、会員通信欄など)に分類されております。投稿方法につきましては投稿規定(次々頁に掲載)をご参照ください。

- (1) 論文：他の刊行物に未発表のもので、独創性をもつ著者の基礎研究または応用研究の成果、技術の開発改良などを内容とするものを対象としております。
- (2) 報告：現場の操業報告などに類するもので、学術的に価値があると認められるものを対象としております。
- (3) 総説：特定の問題について普遍的に広い視野から解説し、その推移を知るうえに役立つものを対象としております。
- (4) 講座：特定の問題について掘り下げて解説し、会員の啓蒙、再教育に役立つものを対象としております。
- (5) 資料：学問的あるいは技術的に価値のある内容を含み、会員の参考資料として役立つものを対象としております。
- (6) 談話室：会員の皆様の近況や展望など幅広い内容記事を紹介する「談話室」を設けております。「談話室」は、会員各位の意見・情報交換の場としてご利用頂くことを目的としたものです。次のようなものを対象としております。

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

- (7) 会員の声：会員の皆様の幅広い意見・提言を募集する「会員の声」を設けております。
- (8) 会員通信欄：水曜会大会返信葉書の通信欄を始め様々な形で寄せられておりますお便りを掲載致しております。
- (9) その他：(6)～(8)の何れかに区分させて頂くことになると思いますが、“同窓会誌”的な肩の凝らない気楽な記事（・・・の思い出、・・・の頃、等々）についても、“学会誌”としての体裁維持も念頭におきながら、積極的に掲載したいと存じます。

また、このほかに取り上げるべき企画や記事などご提案がございましたら編集委員会までお知らせ下さい。

平成12年度は休刊となったこともございまして、平成13年度編集委員会としても色々努力致しましたが、原稿の集まりは余り芳しくございませんでした。このため、発行回数よりも内容の充実を優先させ、平成13年度は1回の発行と致しました。

次号(第23巻5号)の発刊に向け、常時、会員の皆様からの投稿をお待ち致しておりますので、奮ってご応募くださるようお願い致します。投稿を予定されて今回、間に合わなかったお原稿につきましても、引き続きお待ちしておりますので、どうぞよろしくお願い致します。

「会員の声」大募集

わが国における少子・高齢化社会の到来と産業・経済基盤の空洞化、国際的な資源・エネルギーの逼迫と地球環境問題など、新たな世紀を迎え急速に進行しつつある内外の様々な問題に対応するため、水曜会に関連した分野の果たすべき役割は極めて大と考えられます。一方では、関連する研究・開発分野や産業・経済領域の拡大と多様化、さらには国立大学の法人化、工学研究科の再編と桂キャンパス移転など、水曜会を取り巻く環境は急激に変わりつつございます。このような中で「水曜会の在り方・取り組むべき課題・活動方法と内容」などについて、同じく「水曜会誌」に対するものと併せて、会員の皆様の幅広い意見・提言を募集致します。

水曜会誌投稿規定 (昭和 62 年 4 月 23 日改訂)

1. 投稿要領

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

分 類		制限ページ数	
論	文	会誌刷上り	6 頁以内
報	告	会誌刷上り	6 頁以内
総	説	会誌刷上り	10 頁以内
講	座	会誌刷上り	10 頁以内
資	料	会誌刷上り	4 頁以内
各	種 記 事	会誌刷上り	4 頁以内

- (6) 投稿に際しては本会規定の原稿用紙を使用し、原稿整理カードを添付されたい。
- (7) 原稿の送付先はつぎのとおりとする。
〒 606-01 京都市左京区吉田本町
京都大学工学部資源工学・金属系教室内

水曜会誌編集委員会宛

- (8) 原稿は水曜会誌編集委員会が受理した日をもって受理日とする。
- (9) 投稿原稿に対し、編集委員会は査読を行って掲載の可否を決定する。また、査読結果に基づき編集委員会は投稿原稿に対して問い合わせ、または内容の修正を求めることがある。
- (10) 編集委員会は、用語ならびに体裁統一のため編集係によって文意を変えない程度に投稿原稿の字句の修正をすることがある。
- (11) 初校は著者にて行ない、第 2 校以降は編集委員が行う。初校における原文訂正の必要のないようとくに留意されたい。
- (12) 別刷については実費を負担されたい。著者は、著者校正と同時に別刷必要部数を申し出るものとする。

2. 原稿の書き方

- (1) 章・節などの区分はポイント・システムによる。すなわち、章に相当する 1・緒言などは中央に 2 行分をとり、節に相当する 1・1 実験方法などは左端に書き、つぎの行より本文を書くようにする。また、項や目に相当する(1)試料などは左端に書き、2 字分あけて本文をつづける。
- (2) 図面は鮮明なものであること。刷上り図面の大きさは横幅でもって指定するものとするが、横幅は 1 段（65 mm 以内）または 2 段通し（140 mm 以内）のいずれかとなることを考慮されたい。原図は刷上り図面の少なくとも 2 倍に書かれたり、この際図面の縮尺を考慮して作図し、とくに図中の文字の大きさについては十分に注意を払われたい。また、原図の左下隅に著者名、論文名、図表番号などを必ず明記されたい。
- (3) 単位は国際単位系（SI 単位系）によることが望ましい。
- (4) 参考のため文献を記す場合には本文の肩に 1), 2) などを付し、論文末尾につきは形式で書き加えること。
- 1) 大塚一雄, 宮越 宏: 日鉱誌, 87, [1001], 521-525, (1971)
 - 2) M. R. Taylor, R. S. Fidler and R. W. Smith: Metallurgical Trans., AIME. 2, [7], 1793-1798, (1971)

[注] 原稿用紙などは編集委員会までご請求下さい。

逝 去 会 員

平成 3年 1月 近藤 裕史 昭58・金
 平成 4年 久保田賢二 昭42・治
 平成 9年 4月 4日 沢田 悟 昭9・採
 平成10年 2月 森内 明郎 昭34・治
 平成11年 1月17日 笠原 文雄 昭16(3月)・治
 平成11年 1月20日 亀井 清 元教官
 平成11年 1月24日 野田 雅男 昭16・治
 平成11年 2月16日 清水 英男 昭37・治
 平成11年 3月15日 坪田 浩二 昭47・資
 平成11年 5月 9日 後藤 重夫 昭37・鉦
 平成11年 5月21日 山際 幾雄 昭29・旧治
 平成11年 7月 8日 福田 次郎 昭22・鉦
 平成11年 8月 4日 川島 浪夫 昭5・治
 平成11年10月29日 八木 祿郎 昭8・採治
 平成11年11月12日 舛村 善尚 昭28・治
 平成11年11月19日 福本 徳長 昭22・鉦
 平成12年 2月 伊東 潤二 昭21・鉦
 平成12年 2月16日 中林 一郎 昭35・鉦
 平成12年 2月19日 天羽 賢 昭25・鉦
 平成12年 2月23日 平田 茂仁 昭55・資
 平成12年 3月 6日 西山 悟 昭28・治
 平成12年 4月23日 新居 充暁 昭20・治
 平成12年 4月24日 松野 望 昭20・治
 平成12年 5月 3日 村岡 貞勝 昭8・採
 平成12年 6月 1日 油口 良弘 昭41・金
 平成12年 6月 1日 増田 惣一 昭33・治
 平成12年 6月 1日 高野 国夫 昭24・鉦
 平成12年 6月 3日 円尾 俊明 昭50・金
 平成12年 6月12日 井上礼次郎 昭24・鉦
 平成12年 7月 9日 大西 与三 昭28・鉦
 平成12年 7月26日 花田 佳典 平11・エ
 平成12年 8月 7日 竹崎 徳男 昭25・鉦
 平成12年 8月 9日 孝橋 要二 昭23・治
 平成12年 8月12日 福岡 利和 昭27・治
 平成12年10月13日 柏木 健 昭22・治
 平成12年11月23日 知念 宏一 昭16・採

平成12年10月 北崎 博康 昭15・採
 平成12年12月13日 福中 昭久 昭35・鉦
 平成13年 1月 有田貞二郎 昭9・採
 平成13年 1月28日 氏家 正作 昭18・鉦
 平成13年 1月31日 篠崎 兼夫 昭24・鉦
 平成13年 2月 大賀 宣昌 昭27・鉦
 平成13年 2月 湯浅 正己 昭27・鉦
 平成13年 2月 松尾 久 昭22・鉦
 平成13年 2月 川島洋太郎 昭17・治
 平成13年 2月10日 大川 静則 昭16・採
 平成13年 3月 1日 沢木 建治 昭40・金
 平成13年 3月 2日 鍵和田暢男 昭11
 平成13年 3月 6日 金春 眼蔵 昭14・治
 平成13年 3月30日 島谷 正利 昭21・鉦
 平成13年 5月21日 目加田正雄 昭26・鉦
 平成13年 8月12日 松海 鉄夫 昭11
 平成13年 9月 2日 中平 正矩 昭28・鉦
 逝去年月日不明 足立 求 昭36・鉦
 逝去年月日不明 黒本 義春 昭23・鉦
 逝去年月日不明 津田 義夫 昭14・採
 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>

平成13年 9月15日 来栖正充 東京電気大学へ転出

<旧金属系>

平成12年 6月 1日 松本 要 助教授に任官
 平成12年10月 1日 西谷滋人 助教授に昇任
 平成12年10月 1日 林 好一 東北大学へ転出
 平成13年 3月 6日 内田祐一 川崎製鉄(株)へ転出
 平成13年 3月31日 新宮秀夫 停年退官
 平成13年 3月31日 小野勝敏 停年退官
 平成13年 4月 1日 山本英嗣 助手に任官
 平成13年 4月 1日 足立大樹 助手に任官
 平成13年 6月 1日 長谷川将克 助手に任官
 平成13年 7月 1日 田村剛三郎 教授に任官

平成 13 年 度 水 曜 会 誌 編 集 員 会

委員長	青 木 謙 治						
幹 事	平 野 勇 (編集)	酒 井 明 (広告)					
委 員	小 出 康 夫	村 上 正 紀	松 本 要 荘	司 郁 夫			
	下 東 昭 浩	畑 野 等	白 井 泰 治	藤 原 知 哉			
	佐 藤 郁 夫	村 上 建 夫	喜 多 治 之	野 世 溪 卓 也			
	江 原 昭 次	上 坂 進 一	守 谷 敏 之				

平成13年10月5日 印刷 平成13年10月10日 発行

編 集 兼
發 行 者
印 刷 者

花 崎 紘 一

小 林 生 男

日本印刷出版株式会社

553-0006 大阪市福島区吉野1丁目2番7号

電 話 大阪 (6441) 6594 (代)

F A X 大阪 (6443) 5815

發 行 所 京 都 大 学 工 学 部

水 曜 会

606-8501 京都市左京区吉田本町

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

銀行口座 第一勧業銀行百万辺支店

普通 476-1242526 水曜会

＝おかげさまで創業49周年＝

- デジタル入出力・CD-R・フォトCD
- パソコン出カスライド・新ブルースライド
- カメラ・パソコンプロジェクター・OHP
- マイクロ写真・カラーコピー・製本
- ポスター出力・パネル加工・ラミネート
- スタジオ撮影・各種複写・標本撮影
- 大型出張記念撮影・肖像写真・スナップ写真

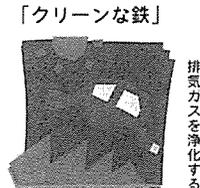
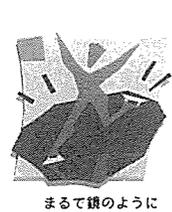
フジカラー品質優秀店4年連続受賞

株式会社 **光楽堂**

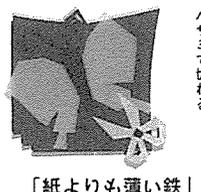
〒606-8267
京都市左京区北白川西町82
TEL (075) 711-2131
FAX (075) 721-1558

<http://www.korakudo.co.jp>
E-mail mail@korakudo.co.jp

KAWATETSU



いろいろな“鉄”があつまって
川崎製鉄

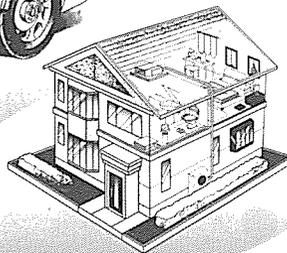
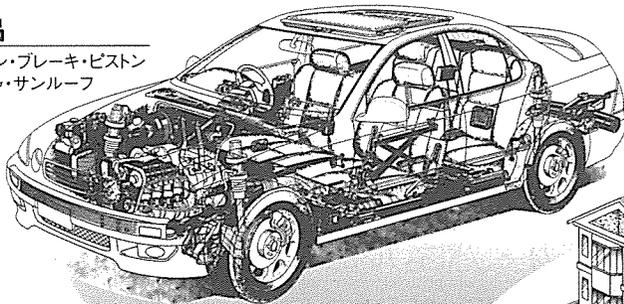


ここにもアイシン

クルマに暮らしに確かな技術で

自動車部品

トランスミッション・ブレーキ・ピストン
ターボチャージャー・サンルーフ
ドアロック 他



エネルギー&環境関連機器

クライオポンプ・ヘルテモジュール 他

AISIN

アイシン精機株式会社

〒448-8650 刈谷市朝日町2-1 <http://www.aisin.co.jp/>

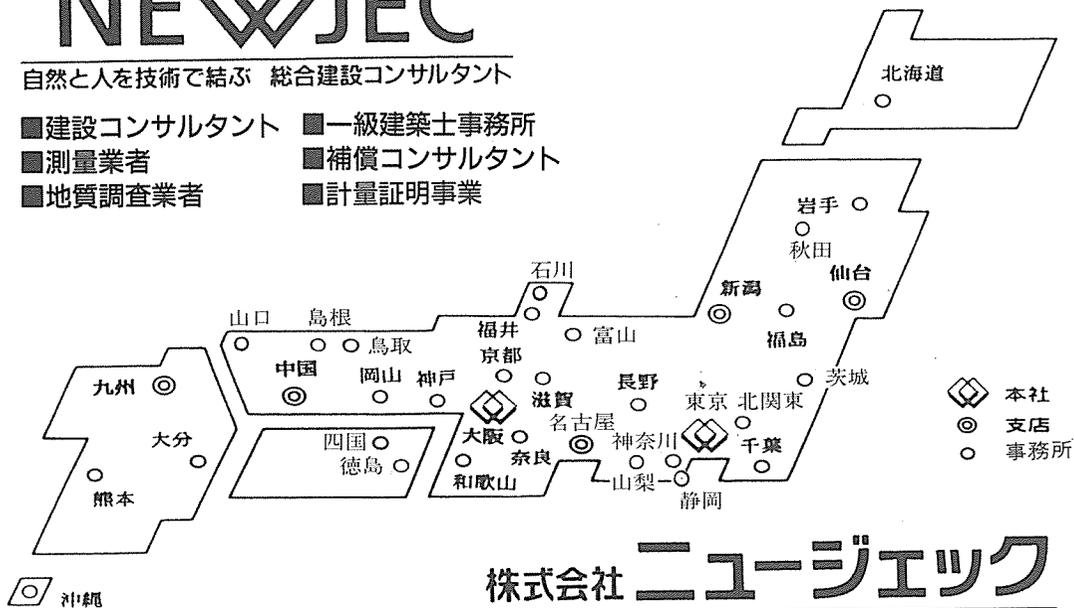
住生活関連商品

ミシン・ベッド・アパレル機器
ガスヒートポンプエアコン
シャワートイレ 他

NEJEC

自然と人を技術で結ぶ 総合建設コンサルタント

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



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.06-6245-4901
東京本社：東京都文京区西片1-15-15 TEL.03-5800-6701



「より速く、もっと快適に、

そしていつも安全に」

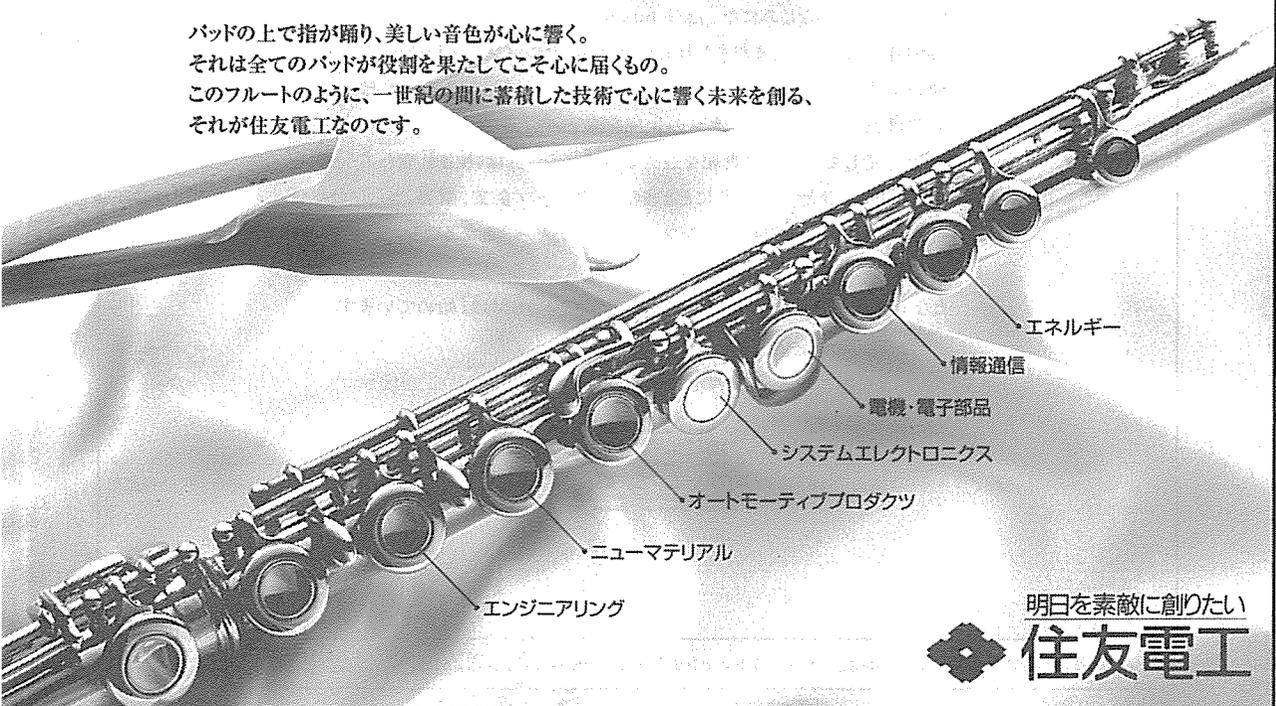
営業品目／ロープウェイ
 ゴンドラリフト
 チェアーリフト
 Tバーリフト
 Jバーリフト
 プラッターリフト
 スーパースライダー
 ウォータースライド
 トランスモービル
 人工造雪機
 各種ゴルフ場機器

 **安全索道株式会社**
 本社及び工場：滋賀県甲賀郡水口町笹が丘1番地13 (0748)62-8001
 東京本店：東京都千代田区神田神保町3-10-10 (03)3288-4101~4

SEI

素敵な未来を奏でたい。

パッドの上で指が踊り、美しい音色が心に響く。
 それは全てのパッドが役割を果たしてこそ心に届くもの。
 このフルートのように、一世紀の間に蓄積した技術で心に響く未来を創る、
 それが住友電工なのです。



エネルギー

情報通信

電機・電子部品

システムエレクトロニクス

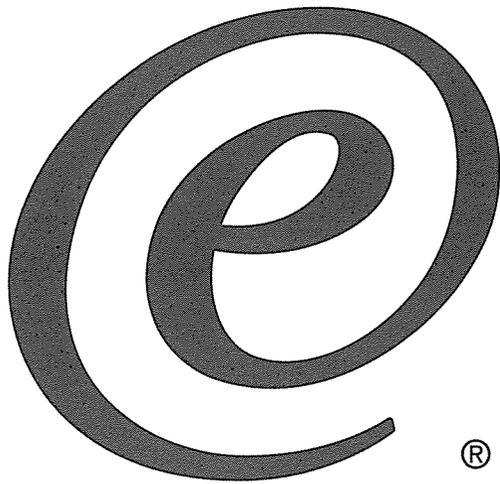
オートモーティブプロダクツ

ニューマテリアル

エンジニアリング

明日を素敵に創りたい

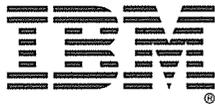
 **住友電工**



business

e-business は、第 2 章へ。

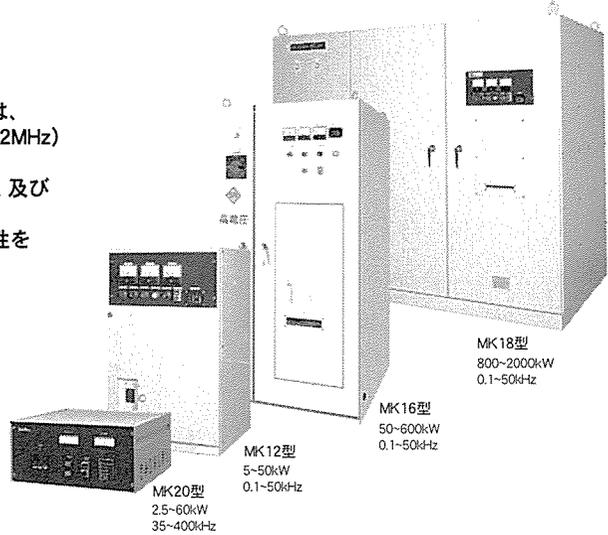
もう、すっかりおなじみになった「e-business」という言葉。これは、IBMが1997年に提唱した、まだまだ新しい考え方です。インターネットが持つ、使いやすさ、接続のしやすさ、共通の仕様をビジネスに活かすという発想は、またたく間にビジネスの世界を変え、新しい価値観を生み出しました。そして、いま、21世紀を迎えて。e-businessは、生まれ変わろうとしています。ひとつの企業にとどまらず、グループ企業、業界、さらには社会全体を結びつける「インフラストラクチャー」となること。単なる「IT化」を超えて、ほんとうに収益性を追求できる、リアルな「ビジネス」となること。いよいよe-businessは、第2章へ。IBMは、始めています。



IBM、e-business ロゴは IBM Corporation の商標。

高効率、超小型で新時代のニーズに応える MKシリーズトランジスタインバータ

ネットトランジスタインバータMKシリーズは、出力(1.5~2000kW) 周波数(0.1kHz~27.12MHz)と豊富な品揃えをしております。従来の電子管式発振器、電動式発電機(MG)、及びサイリスタインバータに比べ、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。



ネットレン

高周波熱線株式会社

本社

電機事業部営業部・営業課・平塚工場
・名古屋営業所・名古屋工場

ネットレンホームページ URL <http://www.k-neturen.co.jp/>

〒141-8639

東京都品川区東五反田2-17-1
オーバルコート大崎マークエスト

TEL.03-3443-5441 (代) FAX.03-3449-3969

〒254-0013

神奈川県平塚市田村5893

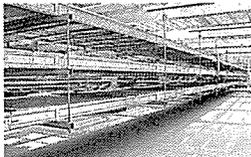
TEL.0463-55-1552 FAX.0463-55-4238

〒470-1101

愛知県豊明市省掛町八幡前77-41

TEL.0562-92-8338 FAX.0562-92-8666

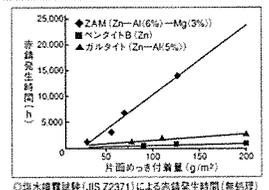
本当は、このくらいの見出しで出してほしいニュースです



「ZAM」使用例、電線等を屋内外に配線するためのケーブルラック(松下電工(株)製)

日新製鋼がこのたび開発した、亜鉛、アルミニウム、マグネシウムのめっき層をもつ21世紀の溶融めっき鋼板「ZAM」の売り上げが好調だ。従来の亜鉛めっきに比べて10、20倍の耐食性を発揮すると同時に、①切断しても、曲げても、溶接しても錆びに強い。②メスがつきにくい。③後のめっきの代替として使える。④長持

ちずるため環境にやさしいなどの特長で屋外の腐食環境の厳しい用途にも対応。また加工後の工程を省略できる上、ロングライフ性能がコストダウンにもつながる。建材をはじめ、土木(道路、農業、電力、鉄道)、自動車向けなど、幅広く顧客のニーズに合った商品開発が功を奏した模様。



ロングライフ性能がコストダウンに

新製鋼
21世紀の錆びにくい鉄
ZAM
売上げ好調!!

詳しくはホームページをご覧ください。
www.nisshin-steel.co.jp



〒100-8366 東京都千代田区九の内の3丁目4番1号 (新国際ビル) TEL.03-3216-5166 ●建築施工技術・技術審査証明書取得(審査証明第0004号)
●「ZAM」は「2000年日経優秀製品・サービス賞 優秀賞」を受賞。●「ZAM」を製造している電子製造所は「日本経済新聞社「2000年優秀先端事業所賞」を受賞。

Suiyōkwai-Shi

TRANSACTIONS OF THE MINING AND METALLURGICAL
ASSOCIATION
KYOTO

CONTENTS

Retirement Memorial Lectures

Retrospection of My Research LifeMasahiro KOIWA..... 257
—What is Serendipity?—

Verbum SapientiHideo SHINGU..... 270

Memorial Lecture in the Annal Meeting of Suiyōkwai

Trend in development of special steels ; Current StatusMasatoshi OZAWA..... 283
and Future

The Trend of Industrial Explosives
—Application of Pyrotechnics to Automotive SafetyShigetaka KITAO..... 294
Devices—

Review

Current Status and Trends of Microelectronics PackagingTkashi NUKII..... 301
Technology

Smooth Motion and Transfer in a Vacuum as Super CleanMasahiro TOSA..... 316
Atmosphere

The Present and Latest Technological Development in { Kenji YAJIMA
Oxygen Free Copper Masato KOIDE 323
Haruhiko ASAO

Forum

Crashing of the TraditionsYoshio ATSUTA..... 335

Current Studies in Laboratories 343

Suiyōkwai Information 365

Letters to Editor 395