

水曜會誌

第 23 卷 第 5 号

目 次

| | | |
|--|------------------|-----|
| 退官記念講演 工学と理学のはざままで - インバー研究の流れ - | 志賀 正幸 | 421 |
| 大会記念講演 金箔から電解銅箔まで - 京都の金箔屋300年の歩み - | 福田 健 | 430 |
| 資源開発におけるコンサルタント | 中澤 保延 | 437 |
| 論 文 「シンプル&クリーン」を特長とする新しい水素吸蔵量測定装置の開発 - 水素吸蔵合金の研究現場より - | 門野純一郎 | 444 |
| 講 座 金属学とその研究手法の進歩 - 研究生活を顧みて [I] - | 村上陽太郎 | 451 |
| 総 説 日本のアルミニウム産業の現状と動向 | 佐藤 史郎 | 461 |
| 談 話 室 バークレー滞在記 | 渡辺 俊樹 | 480 |
| 研究室紹介 群馬大学工学部機械システム工学科 材料システム工学講座第二研究室 | { 中澤 崇徳 莊司 郁夫 | 485 |
| 多変量解析を応用したスポーツ工学 - ドライバー距離の悩みはクラブで解決できるか? - | 丸橋 茂昭 | 487 |
| 《教育というものの在り方》 | 熱田 善男 | 494 |
| 研究速報 | | 504 |
| 会 報 | | 528 |
| 会員消息 | | 535 |
| 卒業生名簿 | | 550 |

平成 14 年 12 月 20 日 発行

京 都 大 学

水 曜 会

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

耐摩耗性銅基合金 (OMアロイ)
超電導用ブロンズ及び各種青銅
真空溶解による鑄造品

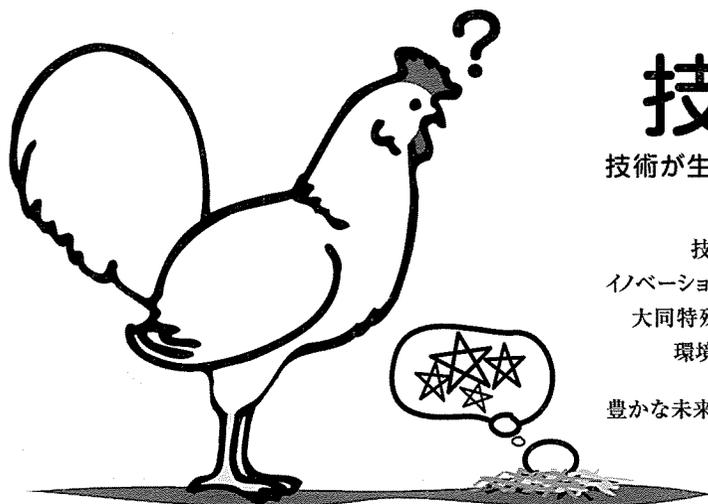


株式 大阪合金工業所
会社

代表取締役社長 水田 泰次

本社 〒910-3131 福井市白方町第45号5番地9
大阪 〒567-0005 茨木市五日市1丁目2番1号
東京 〒104-0031 東京都中央区京橋3丁目9番4号

TEL (0776)85-1811(代) FAX (0776)85-1313
TEL (0726)26-1313(代) FAX (0726)26-1353
TEL (03)3563-0301(代) FAX (03)3563-0302



技術 ↔ 素材

技術が生み出す新素材、素材から生まれる新発想。

技術革新の波が拓く、未知なる世界への挑戦
イノベーション成功のキー・ファクターとして重要なのが素材です。
大同特殊鋼は、特殊鋼をコアとした「技術力」「開発力」で
環境に適応した、新たな素材の世界を創造します。

豊かな未来へ、素材の無限の可能性を追求する、大同特殊鋼。

★ 大同特殊鋼

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



OBAYASHI



あしたのものがたり

出会いは、
人をゆたかに変えてくれます。
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
なっていくきます。
たてものは、人と未来が
出会う場所なのです。

大林組

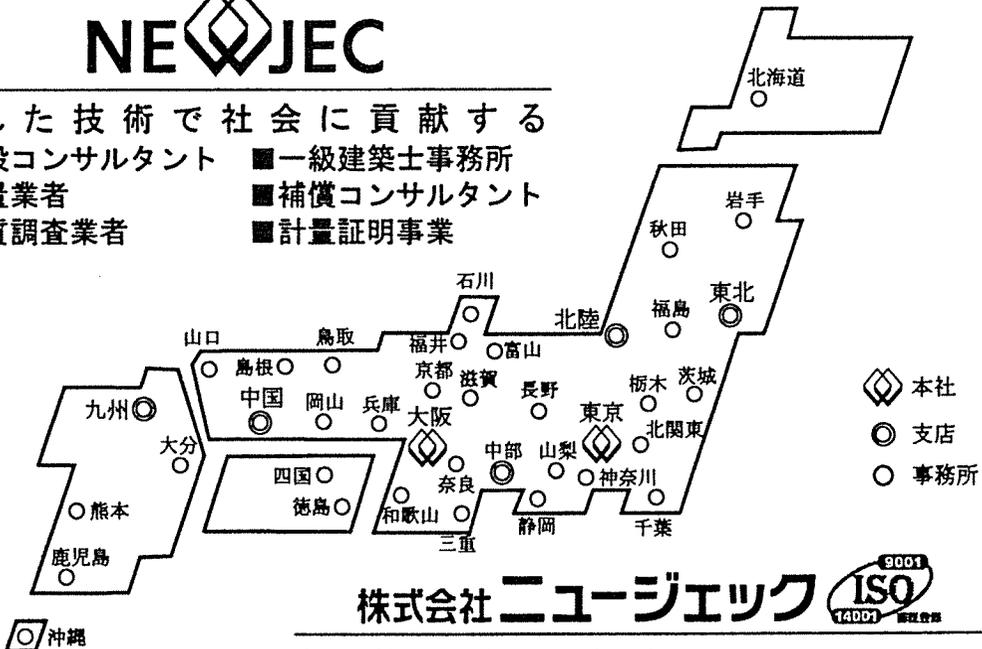
<http://www.obayashi.co.jp/>

総合建設コンサルタント



優れた技術で社会に貢献する

- 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



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

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(内)
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

名^{プラス}顔写真 = 名簿



Herbett Friedman



Stephen W. Hawking



Bruno B. Rossi



David J. Thouless



Joseph H. Taylor Jr.



Mary Frances Lyon



Neal L. First



Robert H. Burris



Morris Schnitzer



Joshua Jortner



Yoichiro Nambu



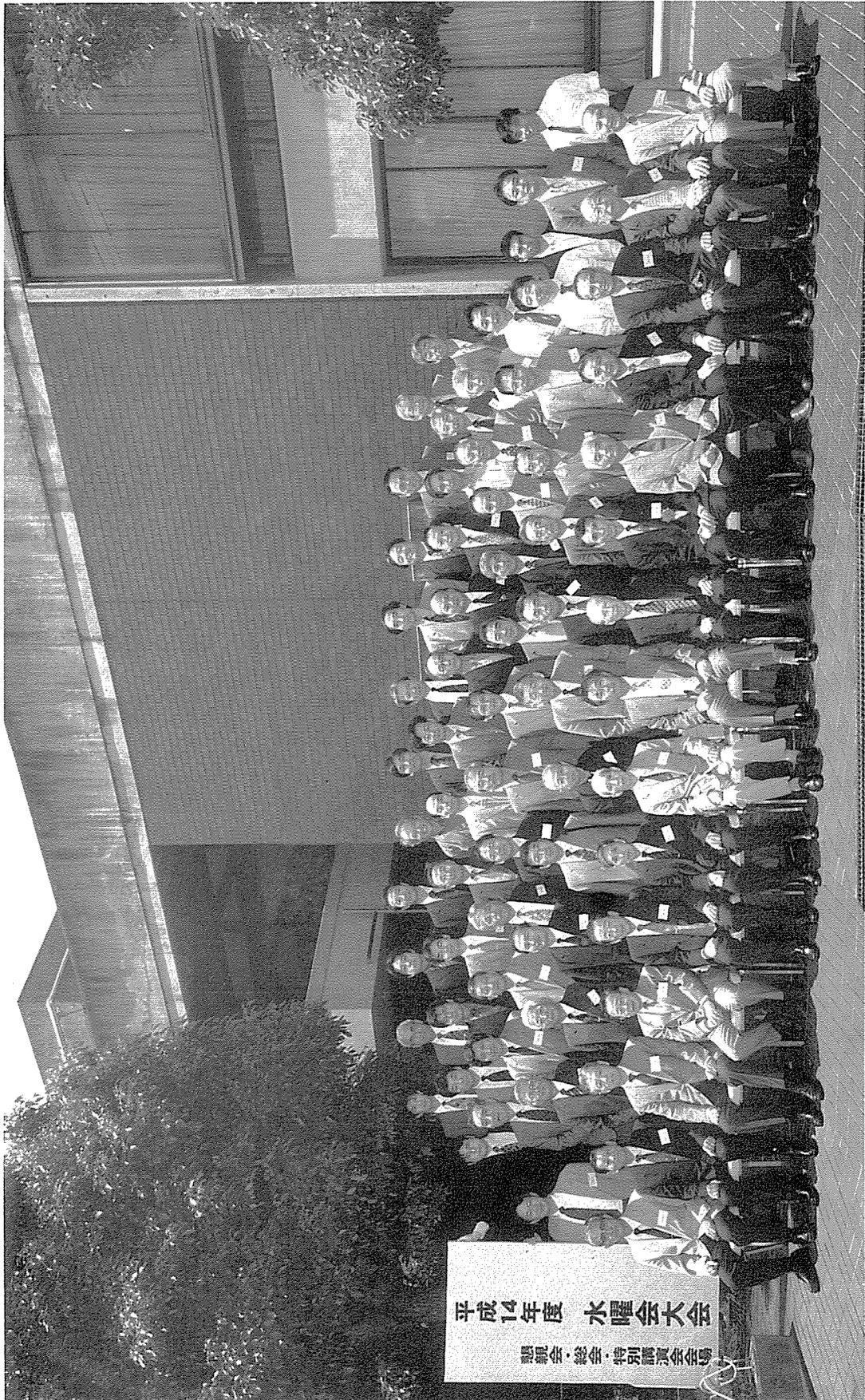
John A. Wheeler

ホームページ <http://www.jpp.co.jp>

最新技術を駆使して
印刷文化に貢献して
います。

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
TEL 06-6441-6594 FAX 06-6443-5815



平成14年度 水曜会大会 記念写真 (平成14年 6月22日 京大会館にて)

祝

平成十四年度
水曜会大会

渡辺俊樹
村上正純
山口正流

朝木善次郎
大谷泰夫

青木謙治

若松 倉 谷 足 相

松 貴 英 村
上 津 元 夫 森
建 夫 尾 健 芳 行

原 和 穂 中 澤 保 延
高 橋 涉

近 村 花 奥 村
上 崎 川 青
陽 太 卓 本
大 郎 廟 信
良 夫 一 赤 美
塩 出 藤 澤 正
啓 典 田 武 久

長 村 光 造
田 松 剛 部
丸 橋 茂 昭
櫻 山 光 泰
足 木 宗 光
片 岡 隆 昭
志 賀 公 幸
岡 島 弘 明
一 瀬 英 爾 隆 森
阿 部 光 延
白 井 泰 治
山 末 英 嗣
速 水 弘 之
邦 彦

退官記念講演

工学と理学のはざままで
—インバー研究の流れ—

志 賀 正 幸*

How Basic Research Contributes to Engineering?
—Development of the Invar Research—

by Masayuki SHIGA

1. はじめに

退官を迎えるに当たって、恒例の最終講義を去る平成14年2月8日新しい物理校舎2階の講義室で粟倉専攻長の司会で約1時間半ほどやらせていただいた。水曜会誌の世話人の方からその内容を会誌に掲載するのが最近の慣例ということを知り、そのとき使ったOHPを見て講演を思い出しながら紹介させていただきます。図1は最初のOHPでこのときの講演の内容の目次です。表題の『工学と理学のはざままで』というのは、私自身が理学部化学の出身で、大学院修了後すぐ工学部金属加工学教

室に助手として奉職し、以後約40年間、主として金属・合金の磁性、特にインバー型合金の磁性と熱膨張異常の研究に携わってきたわけですが、その間、理学的発想と工学的発想の違いに戸惑ったり、考えさせられたりした経験をすこし話したかったからです。もっとも、この話は、別に工学部の広報誌『工学広報』に掲載しており、又私のホームページ¹⁾にも載せておりますので、ここでは前半の磁性と体積の関わりというかなり基礎的な問題を中心に書かせていただきます。

2. 磁性のおさらい

ところで、物質の磁性というのは日常的にも経験するありふれた現象で、また小学校の低学年の理科でも、「鉄は磁石にくっつくが、アルミはくっつかない」といったことを教わり不思議な現象として習うようだが、「何故か」という疑問に答えられる人は意外に少ない。その理由の一つは磁性現象が量子力学に密接に関連した現象であり理解しにくいのかも知れない。そこで、ここでは少し磁性の初歩についておさらいをしてから本題に入る。表1は磁石にくっつく物質（強磁性体）とくっつかない物質を並べたものである。単体元素で強磁性体は鉄、コバルト、ニッケルのみであり、これらの合金もほとんど強磁性体で、いろいろな用途の実用材料として使われている。ステンレスは磁性材料ではないが、刃物用のフェライトステンレスは強磁性なのに対しオーステナイトステンレスは非強磁性と結晶構造が変わるだけで大きく磁性が変わる。MnAlは安価な磁石材料として開発されたものだが、成分元素が強磁性体でないのに合金にすると強磁性になる例である。化合物や金属間化合物にも多くの強磁性体があるがここでは最近開発された希土類磁石を挙げるにとどめておく。酸化物にも多くの強磁

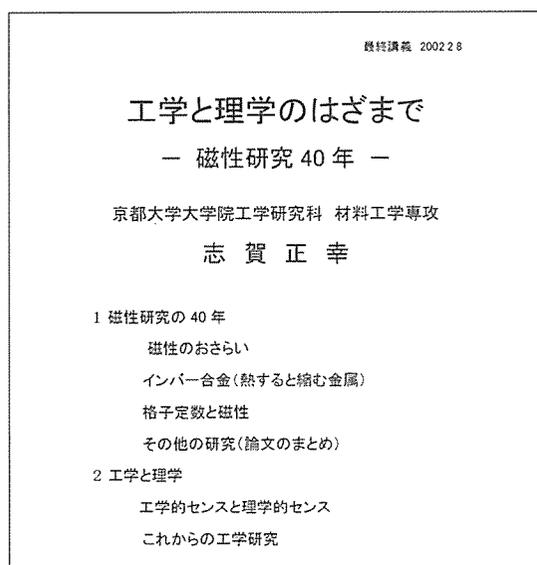


図1 最終講義の内容

*京都大学名誉教授

| | 磁石にくっつく (強磁性体) | くっつかない |
|---------------|--|---|
| 金属 | Fe, Ni, Co | Al, Cu, Mn etc. |
| 合金 | Fe-Ni (パーマロイ), Fe-Co Fe-Ni-Co-Al (アルニコ磁石) ステンレス (Fe-Ni-Cr) (刃物用) MnAl 磁石 | Cu-Zn (真ちゅう) 高級ステンレス (ステンレス流し) |
| 金属間 化合物 | SmCo ₅ (サマリウム磁石) Nd ₂ Fe ₁₄ B (ネオジウム磁石) | |
| 酸化物 | Fe ₃ O ₄ (マグネタイト) γ-Fe ₂ O ₃ (マグヘマイト Cubic) BaO·6Fe ₂ O ₃ (Baフェライト) | α-Fe ₂ O ₃ (ヘマタイト Hexagonal) |
| 化合物 | 一部の遷移金属化合物 | ほとんど全て |
| プラスチック 有機物 | なし?* | すべて |

性体があり、その内マグネタイトは磁鉄鉱として太古の昔から磁性を示すことが知られてる。面白いことに、普通の酸化鉄である α-ヘマタイト (六方晶) は非磁性であるが同じ化学組成を持つマグヘマイト (立方晶) は強磁性となる。このマグヘマイトは代表的な磁気記録材料であり、ビデオテープやプリペイドカードなどに広く使われており、最も身近な磁性材料の一つである。Baフェライトはマグネットクリップなどに使われている最もポピュラーな永久磁石材料である。このように見えてくると、強磁性になる必要条件是鉄または鉄族遷移金属を含むことであることがわかる。しかし、これは十分条件でなく、鉄を含んでいても強磁性でないものはいくらでもある。

では、なぜ、鉄を含む必要があるのか？ 話し出すときりがないので、ここはいわゆる遷移金属原子は、イオン化したり、金属になっても、軌道が電子で満たされず、不対電子がのこる 3d 軌道を持っているため、原子自身が小さな磁気モーメントを持っているからであるという説明にとどめておく。

また、原子が磁気モーメントを持っていても、いつも強磁性になるわけでないのは、図2に示すように、強磁性体をミクロに見ると、原子の磁気モーメントが同一方向に整列した状態であり、互いに並行になろうとする強い力が働いていなければならない。この力が弱いと熱エネルギーのため向きがバラバラになり、全体として大きな磁気モーメントを示さない。このような状態を常磁性 (図2b) といい、多くの鉄族塩がそうである。また、磁気モーメント間に逆方向になろうとする力が働くこともあり、この場合は反強磁性体 (図2c) となる。酸化鉄が結晶構造の違いだけで大きく磁性が異なるのは、一方 (マグヘマイト) が強磁性であるのに対し、ヘマタイトは反強磁性であることによる。また、互いに逆に向いても大きさが違うと打ち消さず、全体として大きな磁気モーメントが残り、見掛け上強磁性として振舞うものがある。これをフェリ磁性体 (図2d) という。実は、鉄族酸化物の強磁性は正確に言うとほとんどの場合フェリ磁性体である。

原子磁気モーメント間に働く力だが、これは、棒磁石の間に働く磁氣的な力ではなく、交換相互作用という量子力学でのみ説明できる力であるがここではこれ以上立ち入らない。原子磁石が整列すると物質は大きな磁気モーメントを持つがこれを自発磁化という。図2に示すように、温度を上げると熱エネルギーにより個々の磁気モ

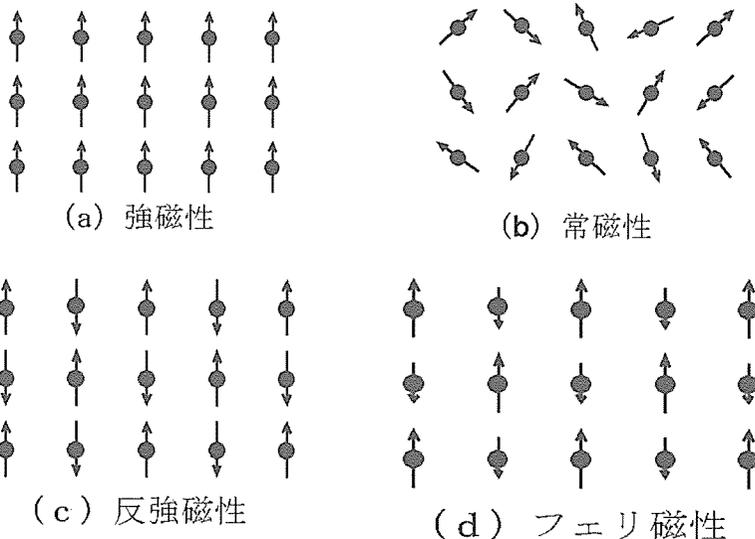


図2 主な磁性の磁気配列

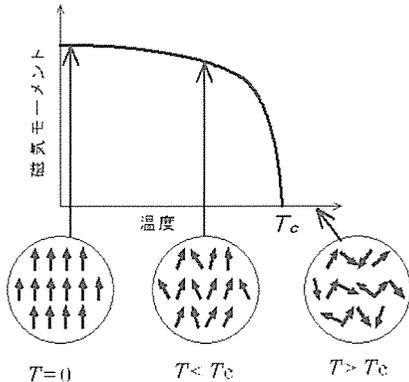


図3 自発磁化の温度変化と局在モーメントモデルによるイメージ

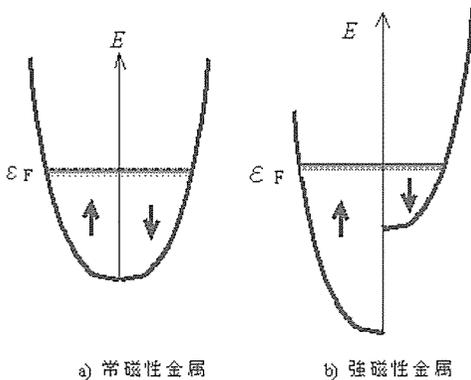


図4 バンドモデルでの強磁性

メントの方向が揺らぎ自発磁化は減少し、キュリー温度 (T_c) で急激に 0 となる。自発磁化の温度変化は、磁気モーメント間の交換相互作用をある一つの原子の磁気モーメントが周りの原子から受ける力を、自発磁化に比例する磁場 (分子場) と置き換え、それに統計熱力学を適用するとかなり正確に計算出来る。これを分子場近似といい、基本的な考えは1907年にWeissによって提出された。

ここまでは水曜会誌の読者なら先刻ご存知のことと思うが、われわれが扱う金属の強磁性はもう少し複雑である。鉄やニッケルなどの強磁性を担う3d電子は結晶中を走り回る遍歴電子として振舞うことが知られており、原子磁気モーメントの集まりとして捕らえるイメージ (これを局在モーメントモデルとよぶ) ではまずいのではないかという疑問が生じる。遍歴電子モデル (バンドモデル) に基づく強磁性の理論は自由電子について1938年にStonerにより論じられた。バンドモデルを特徴づけるのは走り回る電子の運動エネルギーの分布を表す状態密度曲線で、よく知られているように自由電子については、 $D(E) \propto \sqrt{E}$ とエネルギーの平方根に比例する。金属の多くの性質はこの状態密度にフェルミ統計を

適用することにより説明できるが、磁性を論ずる場合はスピンの概念を持ち込まねばならない。スピンとは電子の自転のことで (普通はその回転ベクトルの方向により上向きスピン電子, 下向きスピン電子として区別する) これに伴って生じる電子の磁気モーメントが物質の磁性の根源である。普通の金属ではどちらの電子の状態密度も同じで区別するの必要がないが、磁場をかけたり強磁性になった場合 (分子場がかかった場合) は磁場方向に向けたスピンのエネルギーが低下し、エネルギーバンドが分裂する。その様子を図4に示す。

左が普通の金属 (常磁性金属) で上向き下向きバンドを同じ数の電子が満たしている。右の強磁性状態の金属では上向き, 下向きスピンのバランスが崩れ全体として大きな磁気モーメント (自発磁化) が発生する。この場合空間的には磁気モーメントが一様に分布しているイメージとなり局在モーメントモデルとは大きく異なる。ただし、自発磁化の温度変化を分子場近似で計算すると局在モーメントモデルの場合とほぼ同じような曲線が得られ、これだけではどちらがいいか区別できない。それだけではなく、金属強磁性体の性質はモデルに含まれるパラメーターを適当に選ばばどちらのモデルでも説明できる。

私が、理学部化学教室の大学院でインパー合金の熱膨張異常と磁性の関連に興味をいただき研究を始めた頃は、金属磁性をバンドモデルで理解すべきか、局在モデルの方がより現実的ではないかと言う議論が盛んにたたかわされていた時代で、要するに鉄やニッケルなどの強磁性金属の本質がまだ十分理解されていなかった時代であった。一応ここまでで、一般的な磁性の話はひとまずおき、インパー合金についての話に移る。

3. インパー合金とインパー問題

図5にfcc領域のFe-Ni合金の各温度での熱膨張係数を示す。室温付近では35%Ni付近で鋭い谷を示し、低熱膨張率材料として広く使われている。この現象は既に前世紀末にフランスのGuillaumeにより発見されていたが、その原因は最近に至るまで不明であった。ただ、この合金は強磁性体であり、低熱膨張率を示すのはキュリー温度以下であることから磁性と関係があることは知られていた。図6にインパー合金の熱膨張曲線を模式的に示すが、キュリー温度以下で体積が膨張し、通常の格子振動による熱膨張を打ち消し低熱膨張率が実現していることがわかる。この、自発磁化 (M) に伴う体積膨張を自発体積磁歪 (ω_s) と呼び、その大きさはほぼ自発磁化の二乗に比例する。すなわち、 $\omega_s = \kappa CM^2$ と表せ、 κ は圧縮率、 C を磁気体積結合定数とよぶ。インパー合金は磁気体積結合定数が異常に大きい強磁性体であるといえ

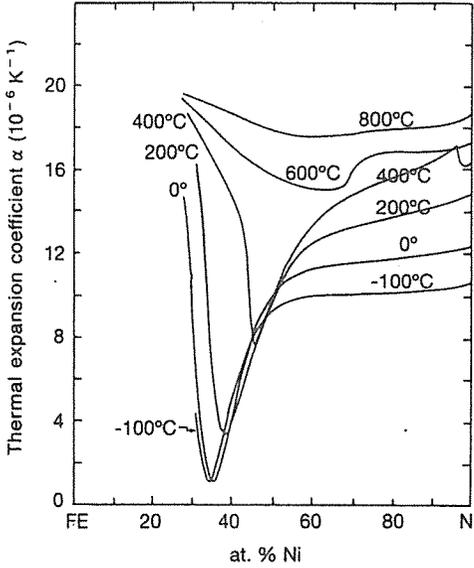


図5 fcc Fe-Ni合金の各温度での熱膨張係数.

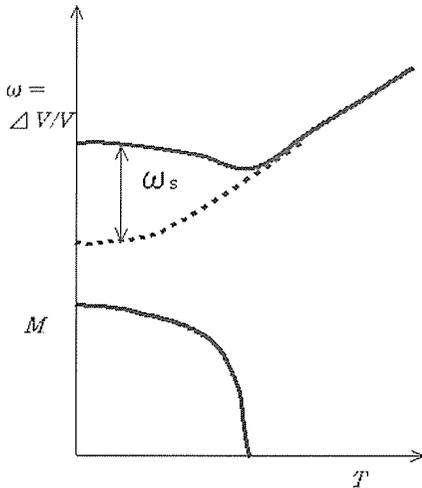


図6 自発体積磁歪の概念図

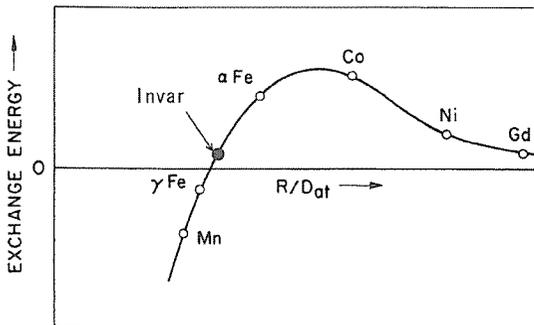


図7 ベーテ・スレーター曲線。縦軸は交換エネルギー、横軸は原子間距離を3d波動関数の径で割ったもの。

る。一般には強磁性体であれば多少の自発体積磁歪を示すが、通常の熱膨張を打ち消すほど大きい物質はなく、問題はなぜ、Fe-Ni合金の特定の組成で結合定数が極端に大きくなるかということである。なお、Fe-Ni合金だけではなく、類似のFe-Pt合金でも25-30at%付近で大きな自発体積磁歪を示し、この場合は室温付近で負の熱膨張系数を持つ。

さて、この自発体積磁歪の起因を局在モーメントモデルで考えてみよう。分子場近似によると、自発磁化 (M) の発生に伴う分子場は $H_m = AM$ で与えられ、内部エネルギーの低下は $U_m = -1/2 \cdot AM^2$ となる。ここで、 A は分子場定数と呼ばれ交換相互作用の大きさ J に比例する。さて、強磁性の発生を考えないとき ($M = 0$) の試料の体積が V_0 であったとしよう。交換相互作用 J は隣接した原子の3d波動関数の重なりから生じるものであり、原子間距離、従って体積 V に依存する。そうすると、内部エネルギー U_m をさらに低下させるため分子場定数 A が増加する方向に体積が変化することが期待される。一方、平衡体積 V_0 から膨張または収縮することによる体弾性エネルギーの増加は $\Delta E_2 = \frac{1}{2\kappa} \left(\frac{\Delta V}{V_0} \right)^2 = \frac{1}{2\kappa} \omega^2$ で与えられる。ここで ω は体積変化率である。全エネルギー変化は $U_T(\omega) = -\frac{1}{2} A(\omega) M^2 + \frac{1}{2\kappa} \omega^2$ となり、エネルギー極小の条件 $\frac{\partial U_T}{\partial \omega} = 0$ より、自発体積磁歪

$\omega_s = \kappa \frac{\partial A}{\partial \omega} M^2$ が求まる。先の、磁気体積結合定数 C は分子場係数の体積微分に帰着する。従って、インバー合金の熱膨張異常を説明するためにはなぜ $\partial A / \partial \omega$ が異常に大きいかを説明すればよいことになる。その解答もいくつか提案されていた。その代表的な説がベーテ・スレーター曲線を援用するものである。ベーテ・スレーター曲線とは図7に示すように、3d電子間の交換エネルギーの原子間距離依存性を示したものである。本来は、水素様波動関数について理論的に計算されたものであるが、金属の強磁性を説明するため、横軸をかなり任意に個々の強磁性金属に対応させ、例えばキュリー温度の元素ごとの違いなどを説明するために実験家も重宝した図である。インバー合金の場合、横軸の位置を図の黒丸で示すように強磁性が消失する寸前の位置にあると考えれば大きな交換積分の体積依存性が説明出来る。私がこの問題に取り組み始めた頃はほぼこのような理解であった。しかし、この解釈には大きな疑問がある。それは、この頃大型計算機の発達が著しく、原子や結晶の波動関数の計算がより精緻になり、それに基づく交換相互作用の大きさも現実の金属に対して正確な値が求められるようにな

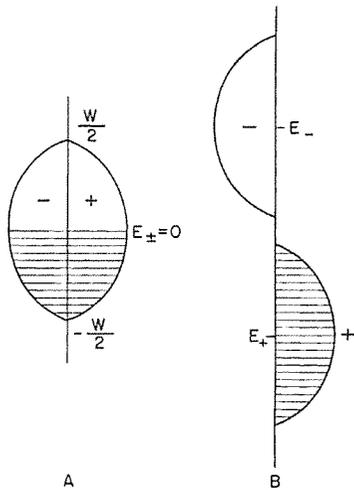


図8 3dバンドの凝集力への寄与。縦軸はエネルギー、横軸は+スピンバンド、-スピンバンドの状態密度。A：常磁性状態 B：強磁性状態 W はバンド幅、圧縮するとバンド幅は広がる。

ってきた。その結果、長いこと金属強磁性の原因と考えられていた、原子間の直接交換相互作用（ベータ・スレーターの計算）は不正確で、鉄やコバルトの強磁性を説明することが出来ないことがわかってきた²⁾。つまりベータ・スレーター曲線の理論的根拠が失われてしまったわけである。

同じ頃、やはり大型コンピュータのおかげで金属の電子構造がかなり正確に計算できるようになり、鉄やニッケルなど遷移金属についてもバンド計算が実行され、3d電子はやはり遍歴電子として捉えなければならないことがはっきりしてきた。また、自発磁化の発生やその大きさも説明できることが分かってきた。しかし、自発体積磁歪までは説明されておらず、自分で考える必要に迫られた。そこで、3dバンドの凝集力に対する寄与に着目し、強磁性の発生に伴う体積変化を考察した³⁾。

図8は常磁性状態・強磁性状態の3d電子の+スピン、-スピン状態密度を模式的に表したものである。簡単のため電子がバンド収容能力（10電子/原子）の半分詰まっているとする。バンド幅 W は原子間距離を縮めると増加するので、Aの場合体積が減少すると全エネルギーは減少する。すなわち凝集力が生じるわけである。一方、強磁性になりバンドがBのように分裂すると電子は全て+スピンバンドに入りバンドが満ちてしまう。この時、原子間距離を縮めても、下半分の電子のエネルギーが減少するが、上半分の電子のエネルギーが上昇しエネルギーの増減は互いの相殺し凝集力には寄与しなくなる。すなわち強磁性になると相対的に体積が増加する。つまり自発体積磁歪が生じるわけである。またその大き

さも大雑把に見積もることが出来る。3dバンドのバンド幅 W は原子間距離 R の5乗に反比例するという理論がありそれを適用すると、約10%の体積増加が見込める。実際のインバー合金の自発体積磁歪は約2%であり、計算値は大きすぎるが極端に単純化したモデルの計算なので遍歴電子強磁性の自発体積磁歪発生メカニズムを明らかにしたという点で十分意味があると考えている。ただし、ここで大きな問題が残る。それは、もしバンド理論が正しいとしたら何故鉄やニッケルでも大きな熱膨張異常が観察されないかということである。実はこの頃（1970年代初頭）鉄やニッケルの磁性を遍歴電子モデルで理解すべきか、従来どおりの局在モーメントモデルの方がいいのかという問題が大論争になっていた。正確に言うと、3d電子が遍歴電子であることは確かだが、温度を上げ自発磁化を失う過程はむしろ鉄が局在モーメントを持ちそれがキュリー温度以上でバラバラになるという従来イメージの方が都合のいい事実が多くあることが明らかになってきた。そして、このことが我々の問題である自発体積磁歪の原因を考える上で決定的な重要性を持っているわけである。逆に、熱膨張測定という簡単な実験により金属磁性の基本問題に迫ることが出来るのではないかと考え、以降しばらくこの問題を研究の中心テーマに置くことにした。ちょうどその頃（学園紛争の只中であつたが）遷移金属合金の磁性と格子定数の間に密接な関係があることに気づき側面からこの問題に大きなヒントを得た。以下、章を改めあまり知られていない、格子定数と磁性の関係を紹介する。

4. 格子定数と磁性

全率固溶合金の格子定数はベガードの法則として知られるように、ほぼ両端の純金属の平均値で近似できる。しかし、鉄族遷移金属を含む合金ではしばしばベガード則から顕著なずれが観測される。そのずれが、磁性に関係するらしいことに気がついた人は多くいるようだが、はっきりと定式化されたことはないようである。そこで、遷移金属合金の格子定数と磁性についても一度詳しく見直したところ、 A_1-xB_x という組成の合金の格子定数 $a(x)$ と1原子当りの平均磁気モーメント $\langle |\bar{m}| \rangle$ の間に、
$$a(x) = a_A \cdot (1-x) + a_B \cdot x + C \langle |\bar{m}| \rangle \quad (1)$$

で表せるような極めて簡単な関係式が成り立つことを発見した⁴⁾。

すなわち、通常のベガード則に1原子当たりの平均磁気モーメントの大きさに比例する項を足せばいいという単純な関係式である。ただ、注意する必要があるのは、磁気モーメントの大きさは単純な強磁性体の場合は、1原子当たりの自発磁化の値でいいが、反強磁性合金やス

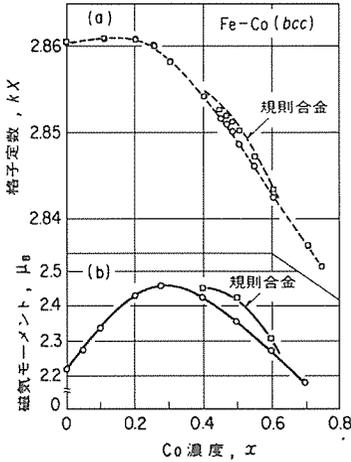


図9 bcc Fe-Co合金の格子定数(a)と1原子当りの自発磁化(b)点線は(1)式でフィットした計算値

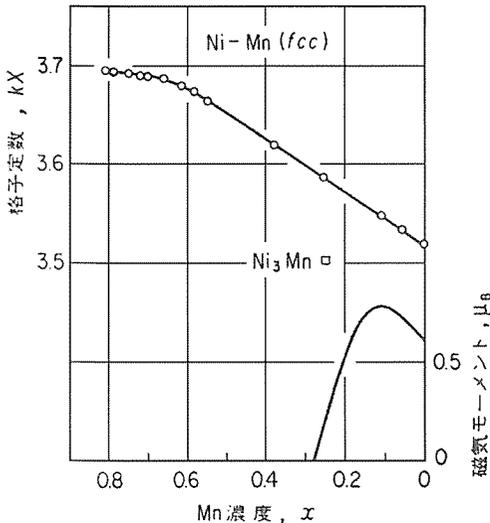


図10 bcc Ni-Mn合金の格子定数(上)と1原子当りの自発磁化(下)

ピングラス合金の場合は、各原子の磁気モーメントの絶対値の平均を求める必要があり必ずしも簡単でない。図9は、bcc Fe-Co系の例で、この場合は単純な強磁性体なので磁気モーメントは1原子当たりの自発磁化を使っておりパラメータ a_A 、 a_B 、 C を適当に選べば実測値と大変いい一致を示す。bcc Fe-Co合金は50%合金で規則合金になることが知られている。このとき格子定数が大きくなるという例外的な振る舞いを示すが、磁気モーメントも大きくなり、規則化による格子定数の増大は磁気モーメントの増加によるものとして理解できる。

一方、単純な強磁性体でない場合は一見、この式が当てはまらないように見える。図10に示すNi-Mn合金の場合、自発磁化はNiにMnを加えると、はじめの10%く

らいは直線的に増加するが、すぐ減少し30%Mnでは0となる。それに対し、格子定数は60%Mnあたりまで直線的に増加する。従って、磁気項に自発磁化を採用すると、(1)式は成り立たない。ところが、Ni-Mn系は強磁性消失後も反強磁性となりNi、Mnの磁気モーメントは不変であることが知られている。従って、 $\langle |m| \rangle$ 項も直線的に変化し、(1)式は成り立つ。このようにしてみると、すべての鉄族遷移金属合金の格子定数の変化はこの経験式で説明できることがわかった。考えてみると、このような単純な関係式がそれまでに発見されていなかったのがむしろ不思議だが、その理由は、磁気項に磁気モーメントの絶対値の平均をとるということに気が付かず、またそれを見積もる微視的な手段がなかったからだと考えている。特に、Fe-Co合金の場合図9に見られるように室温の格子定数の計算値との一致はとても偶然の一致とは言えないほどよく合っているが、実は、格子定数が上に凸となる傾向はキュリー温度より高い、すなわち自発磁化が消失した温度でも続いており、このことが過去において磁性との関連が否定された原因のようである。逆に、磁気付加項を磁気モーメントの絶対値の平均と考えてよいなら、bcc Fe-Coの場合、キュリー温度以上でも磁気モーメントが消失せずバラバラになっているだけだという局在モーメントモデルの立場に立てば矛盾なく説明できるわけである。

5. Fe-Ni系の格子定数とインバー効果の原因

それでは、問題のFe-Ni系を見てみよう。図11はfcc Fe-Ni合金の自発磁化とキュリー温度を示す。また、図12は同じく格子定数を示す。0Kでの格子定数は自発磁化の組成依存性と同じくインバー組成(Fe-35Ni)付近

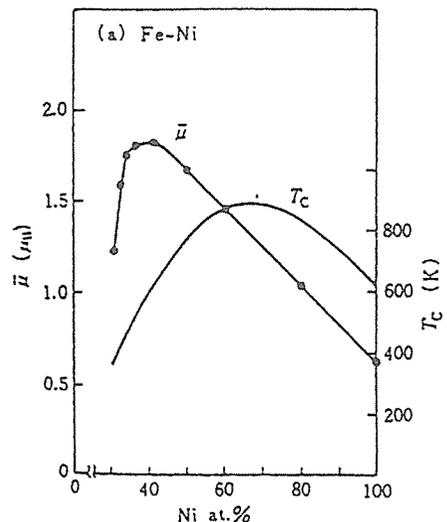


図11 Fe-Ni合金の1原子当りの自発磁化とキュリー温度。

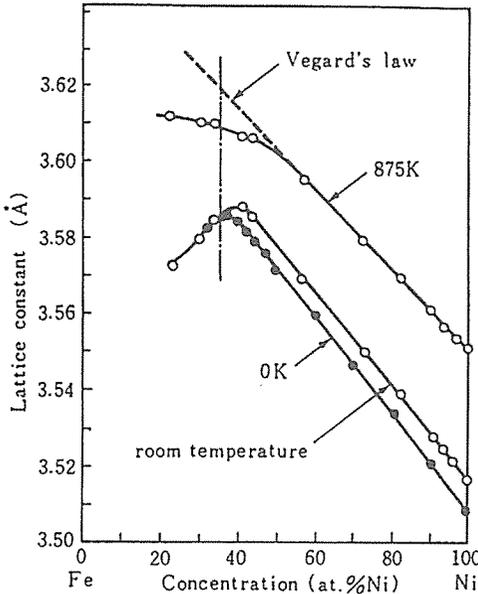


図12 fcc Fe-Ni合金の格子定数.

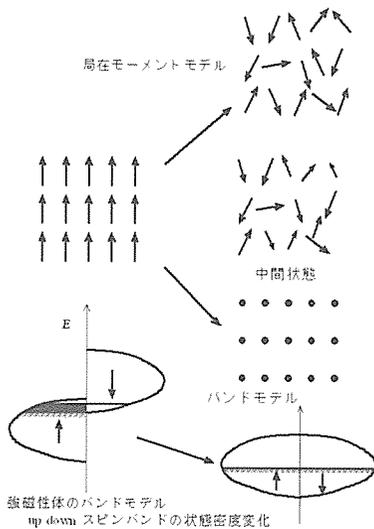


図13 局在モーメントモデルとバンドモデルでの低温(左)とキュリー温度以上(右)での振舞いの違い。現実にはその中間状態を取る。詳しくは本文参照。

から鉄組成の増加とともに急激に減少傾向を示している。この事実は、右側の直線部ではFe ($2.8 \mu_B$), Ni ($0.6 \mu_B$)の磁気モーメントが組成によらず一定でかつ単純な強磁性体であることを意味しており中性子散乱の実験により支持されている。また、インバー組成からの急激な減少はNi-Mn合金系のように反強磁性になるのではなく、磁気モーメントそのものが減少することを意味している。これは、メスbauer効果などの微視的手段に

よる測定値とも一致している。一方、高温(873K)では、Ni高濃度側では直線のまま増加しているが、これは磁気モーメントの大きさは変わらず通常の格子振動による熱膨張により格子定数が大きくなっていることを示す。ところが、約50%Ni付近から格子定数は直線から大きく下方へずれる。これは、高温ではこの組成あたりから磁気モーメントが減少することを意味している。すなわち、インバー合金の熱膨張異常は温度とともに磁気モーメントの大きさが減少することによって解釈される。これは、局在モーメントモデルによる自発体積磁歪のメカニズムとは明らかに異なる。

6. 局在モーメントモデルと遍歴電子モデルの統一とスピンの揺らぎ

このように、格子定数と磁性の関係を詳しく調べることにより、金属強磁性体が自発磁化を失うとき、局在モーメントモデルのイメージのように磁気モーメントが大きさを変えず、方向がバラバラまたは反強磁性的に配列する場合と、磁気モーメントそのものが消失する場合の2種類、あるいはその中間状態があることが分かってきた。そのイメージを図13に示す。図13の左側は0Kにおける強磁性状態を示す。局在モデルでは既に何度も出てきたように原子磁気モーメントが整列している図であるが、遍歴電子(バンド)モデルでは図13左下に示すように、普通+スピンバンドと-スピンバンドが分極した状態として表す。この場合、3d電子は原子から原子へ飛び移って行く(遍歴する)わけであるが、実際には各原子にとどまっている時間が長く、磁気モーメントが各原子に付属しているとみなし差し支えない。つまり、低温では、磁性に関しては局在モデルと遍歴電子モデルの差はほとんど無いといってもよい。しかし、キュリー温度以上の状態のイメージは全く異なる。局在モデルのそれは既におなじだが、遍歴電子モデルでバンドの分極が無くなれば、各原子位置における磁気モーメントも消失してしまう。どちらが本当か?あるいは、右中間に示すような両者の中間、すなわち磁気モーメントが収縮しさらにこれがランダムに回転する状態が考えられないか?このことが、この時代の大問題だったわけである。私の格子定数の解析では、磁気モーメントが消失すれば体積が大きく収縮するはずなので、bcc Fe-Coのようにキュリー温度で熱膨張異常を示さない強磁性体はむしろ局在モーメントモデルの方が現実に近いということ強く示唆するものであり、インバー合金ではモーメントが消失するか、あるいは収縮すると考えれば説明できる。これは、従来なかった新しい考え方で関心を集め、国際会議などにも招かれ講演をしたものである。

丁度この頃(1970年代)金属磁性の理論も進歩し、

特に東大の守屋グループにより展開されたスピンの揺らぎ理論は、まさにこの中間的なモデルの基礎を与えるものであった。また、バンド計算の進歩も著しく、例えばbcc鉄について、強磁性状態とバンド分極（すなわち磁気モーメント）が消失した常磁性状態の原子間距離（格子定数）の計算がなされ、もし磁気モーメントが消失すると約6%の体積収縮が予想されるという結果が得られている⁵⁾。実際にはこのような収縮は観測されないため、私が格子定数の解析から示したようにbcc鉄はむしろ局在モーメントモデルに近いことを示している。また、比較的最近になってインバー合金についても計算がなされ、この場合は磁気モーメントが温度とともに縮んでゆきそれに伴って体積が相対的に収縮するという我々の主張を裏付ける結果が報告されている⁶⁾。このように、最近ではインバー合金の熱膨張異常はバンド分極による体積変化とスピンの揺らぎ効果を取り入れた理論の枠組みで理解できるというのがほぼ定説になっている。

7. 新しいインバー型合金

さて、今まで述べてきたことは金属磁性の本質に関わる基本的な問題が中心であったが、私自身は工学部に所属し材料工学を専攻しているわけなので、基礎的な理解に基づき新しい材料を探索するというのも重要な使命と心得ている。この場合は、新しいタイプのインバー型合金（低、または負の熱膨張率を示す合金）を見つけることにある。その指針は、磁気モーメントが不安定で温度を上げることにより消失または収縮するような磁性合金を見つけることである。といっても、理論的にどんな場合か予測するのは難しく、ある程度経験と勘に頼らざるを得ない。はじめに試みたのは、既に、キュリー点以上で磁気モーメントが消失するのではないかと言われていた、Laves相金属間化合物 RCO_2 （ R ：希土類金属）系に注目した。この系は、磁気モーメントを持たない $R=Y$ の場合、全くの非磁性でCoも磁気モーメントを持たない。ところが、磁気モーメントを持つ希土類（例えば、 $R=Gd, Tb$ など）と化合物を作ると強磁性またはフェリ磁性になり、 R 原子からの分子場によりCo原子にも磁気モーメントが誘起される。しかし、キュリー温度以上では分子場が消失しCo原子は磁気モーメントを失うと考えられていた。実際に熱膨張を測ってみると、図14のようにキュリー温度で体積が約1%収縮することがわかり、予想は裏付けられた⁷⁾。ただし、これはあくまで学問的に興味のある結果であって、室温付近で小さな熱膨張を示すわけではない。

ところで、 AT_2 （ T ：遷移金属）という化学式で表せるLaves相化合物はA原子をいろいろ変えることにより遷移金属の磁気的性質をコントロール出来る面白い物質

であり、主にこの系の物質に対して物質探索を行った。インバー型熱膨張異常を示す物質として見つけたのは図15に示す $Zr_{1-x}Nb_xFe_2$ という物質である⁸⁾。この場合はNbの組成を調節することによって室温付近の熱膨張率を広い範囲にわたって調整出来るという面白い性質を持っている。ただ、大変脆い物質なので、残念ながらこのままでは使い物にならない。

Co, FeのLaves相化合物の次にMn化合物を調べてみ

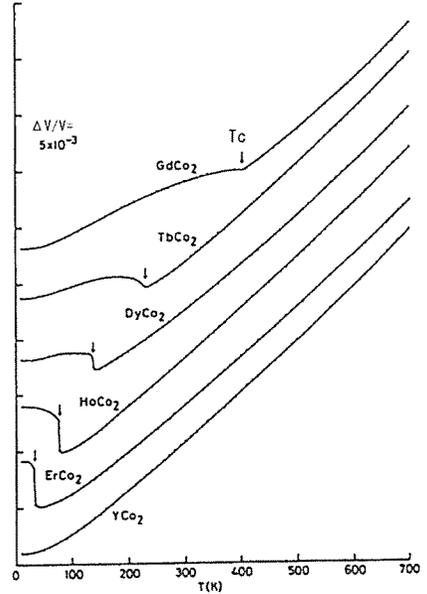


図14 RCO_2 の体積熱膨張曲線

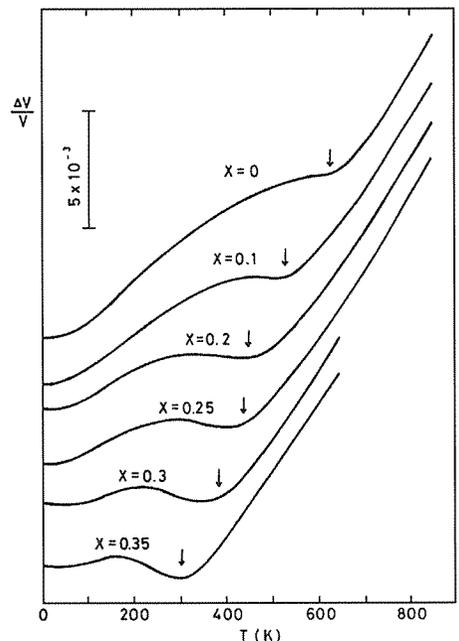


図15 $Zr_{1-x}Nb_xFe_2$ の熱膨張曲線

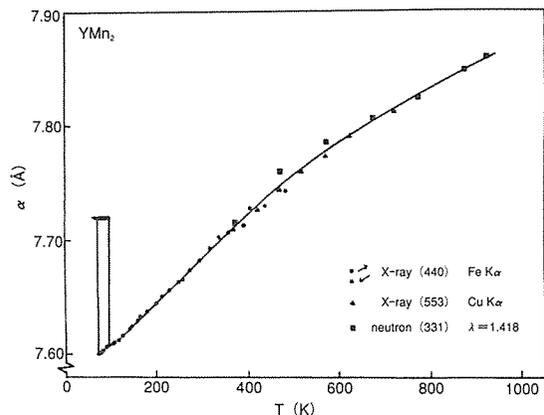


図 16 YMn_2 の熱膨張曲線 (格子定数の温度依存性) 100 K 付近の異常は反強磁性発生に伴う体積膨張による。また、室温付近の熱膨張率は約 $50 \times 10^{-6}/K$ ときわめて大きい。

た。はじめに、 RCo_2 系に倣って参考物質のつもりで YMn_2 の熱膨張を測定したところ、予想外の面白い発見につながった。図 16 に YMn_2 の熱膨張曲線を示すが、100K 付近で巨大な熱膨張異常が観測された。この物質は YMn_2 と同じく何の磁性も示さない化合物とされていたので、最初は何かの間違いでないかと疑ったが、よく調べると、この物質は 100 K 付近にネール温度を持つ反強磁性体であること見出した。低温における体積の膨張 (約 5% 自発体積磁歪としてはチャンピオンデータである) は反強磁性になると同時に Mn 原子に大きな磁気モーメントが発生するためであると解釈できる。また、注目すべき点として、この物質は常温付近を含む常磁性領域でインバーとは逆に熱膨張率が異常に大きい ($50 \times 10^{-6}/K$) ことが特徴である。これは、ネール温度で一旦消失 (収縮) した磁気モーメントが熱エネルギーにより回復し熱膨張率の増大に寄与していると解釈される。これは、スピンの揺らぎ理論から予想される現象でアンチインバー効果と呼ばれる。

なお、この物質は単に熱膨張異常が大きいだけでなく磁気構造などにも特徴があり、磁性物理学の分野で最近世界的に話題になっている磁気相互作用の競合する (フラストレート系という) 遍歴電子系の磁性研究の先駆け

をなすものであった⁹⁾。

8. 最後に —工学と理学—

そろそろ、紙数も尽きてきたのでまとめに入らせて頂きます。最初に書いたように、私は理学部の出身で、学部、大学院で受けた教育の影響か、あるいはそれ以上に教室や研究室の雰囲気から基礎研究志向が強くなり、30年以上工学部でお世話になったにもかかわらず、研究の基本姿勢は『何に使うか』ではなく『何故か』であったと思う。はたしてそれでいいだろうか考えたこともあったが、結局『三つ子の魂百まで』(工学広報に書いた文のタイトル) ということまで最後まで来てしまったようである。といて別に後悔しているわけではなく、それなりの役割を果たさせてもらったと自分では思っている。ただ、いえることはこのような研究姿勢で特に後ろめたさもなく、我が道を歩んでこられたのは、この京都大学、その中の材料工学教室だからこそ可能であったと思っている。その意味でも、私を支えていただいた、研究室・教室の皆様から謝辞を申し上げます。

参 考 文 献

- 1) 京都大学工学広報 No. 37 (2002) p. 12
<http://www.ne.jp/asahi/shiga/home/Sci&Eng.htm>
- 2) A. J. Freeman and R. E. Watson Phys. Rev. 124 (1961) 1439
- 3) M. Shiga and Y. Nakamura ; J. Phys. Soc. Japan 26 (1969) 24-32.
- 4) 志賀正幸 ; 日本金属学会会報 17 (1978) 582-588.
- 5) J. F. Janak and A. R. Williams ; Phys. Rev. B 14 (1976) 4199.
- 6) M. Schr_ter et al. ; Phys. Rev. B 52 (1995) 188-209.
- 7) R. Minakata, M. Shiga and Y. Nakamura ; J. Phys. Soc. Japan 41 (1976) 1435-1436.
- 8) M. Shiga and Y. Nakamura ; J. Phys. Soc. Japan 47 [5] (1979) 1446-1451.
- 9) M. Shiga ; Physica B 149 (1988) 293-305.

大会記念講演

金箔から電解銅箔まで — 京都の金箔屋300年の歩み —

福田 健*

300 Years History of a Gold Leaf Maker in Kyoto Changing to an Electroritic Copper Foil Maker

by Takeshi FUKUDA

京都で、金属箔粉の製造販売をしている福田金属箔粉工業株式会社の福田健です。私共は、江戸時代に金箔屋としてスタートして現在に到っていますが、実は今は金箔を造っていません。専ら工業用素材としての粉末冶金用の非鉄金属の粉や電解銅箔、ニッケル箔を造っています。粉の最終用途は自動車部品が主で、一方電解銅箔はほとんど全部、電子機器用のプリント配線板です。いわば、自動車業界とIT業界に属しているといえます。一昨年、当社が創業300周年を迎えて少々宣伝をしたところ、金箔屋がえらく変身したなあと興味をもたれる方が多かったのか、新聞やテレビから取材されることが増えました。私は全て取材に積極的に応じていますが、これは無料の広告になるからです。確かに300年というのも一つのインパクトであるようで、現在、日本の景気が非常に悪く、存続の危機に陥っている企業が少なくない中で、何かビジネスを安定に続けていく秘訣でもあるのかと、取材に来られるのだと思いますが、それは多分、誤解です。

というのは、これは丁度、100歳になった金さん銀さんに長寿の秘訣は何かと聞くようなもので、正直なところ、たまたま、そうなっただけというのが正解と思っています。しかし、金さん銀さんの長寿の秘訣は、何でもよく食べ、常に前向きに楽観的な生活態度でいることが良かったのだらうと、後からつけた理由でも、これにたいして、ハーなるほどと納得される方は、それを見習って、生活態度を少々でも改めれば、少しは寿命が延びるかもしれません。それと同じように私も、300年企業が継続した理由として、それらしいことを並べれば、信じていただける方には役に立つことも万一あるかと思ひ、

いつも、判ったような答えをしています。今日もまた、そんな不遜な態度のお話になるかと思ひます。お許しを願ひます。

今日のお話は、企業歴史の話ばかりでは具合が悪いので、当社の歴史的な変遷にかこつけて、粉や箔の造り方等も、少しばかりお話させていただこうと思ひます。

「時は元禄13年」というと、講談でも始まるのかとお思ひになってはいけません、赤穂浪士の討ち入りの2年前、西暦1700年、元禄13年に京都の松原通室町に、福田鞭石という近江商人が店をかまえて、金銀箔の製造販売、金屏風などの二次製品の製造販売を始めました。これが当社の初代です。

元禄時代は、将軍綱吉の時代で、いわゆる元禄文化の華咲いた時代です。将軍は江戸城に居り、すでに文化の中心は京都から江戸に移ろうとしていましたが、それでも京都にはまだ天皇が御所におられ、本願寺や延暦寺など、多数の神社仏閣もあり、町人文化は江戸に劣らず京都でも盛んでした。お公家さんという階層が京都にあったのも特徴の一つです。裕福な町人やお公家さんに納める、レベルの高い伝統工芸作品の大きな市場でありました。

当時から、金箔銀箔の用途は仏具であり、蒔絵の金銀色部分であり、寺社仏閣の建築装飾であり、金屏風でありました。家康は皇室に対抗するため二条城を建造しましたが、そのうち「二の丸御殿」の内部の、襖絵は、金箔を貼りつけて下地を造り、その上に岩絵具で、狩野探幽を中心とする狩野派が画いた非常に豪華なものです。

福田鞭石は、松原室町に店をかまえました。この地は金銀箔のお客様に近いところにあり、東本願寺や仏光寺、西本願寺に近く、仏具を商ひする商店も多く、また、今でもそうですが、室町筋という呉服問屋街の一角でも

*福田金属箔粉工業 (株)

あって、西陣織の絹糸に金箔、銀箔をまぶした金糸、銀糸という用途の商いをするにも都合の良いところでした。

初代から10代目の私までのうち、初代の鞭石と、二代目の練石は俳人で、俳句の方では名前を残した人物で、商いのかたわら俳句を楽しんでいた町の旦那衆の一人であったと思います。

元禄時代、色んなものがはまったようですが、松尾芭蕉を始めとする俳諧も大変なブームであったと思われます。なにせ、お金がかからないというか、安上りの趣味でありまして、お茶や能、うたいなどの既に家元制度が確立していて金のかかる趣味ではありません。私が思いますに、鞭石や練石が、遊郭通いやお茶を道楽にしなかったことが、企業存続の第一の成功要因であったと思います。

その頃の墓石には辞世の句を彫りこむのが流行で、私共子孫は、お墓参りに行くたびに、その墓石に彫りこんだ作品を読まされます。私の父は、先祖の血が少しは残っていて、時々俳句を作っていました。私の場合は、全くその才能は残ってなくて、駄洒落しかできません。金箔は取扱いに緊張せねばなりませんので、「金箔は緊迫感が命なり」とか、近頃では「粉末冶金、チキンスープと間違われ」てな具合です。

俗に、「たぬきの〇〇八畳敷」といわれますが、これはほぼ本当です。たぬきの〇〇の体積を1ccとして、1ccの金を伸ばして金箔にすると、面積は約10²㎡になります。畳6枚分くらいです。

くだらない話を申しあげるのは、金箔の薄さを知っていただくため、金箔の厚みは約0.1 μm 、つまり100ナノメートル(1,000 \AA)で金原子の約400個足らずであり、近頃のナノテクの分野に十分入る薄さです。

さて、金箔の造り方は、大雑把に言えば、まず約10 μm 程の厚みの金の板を、圧延によって造ります。ついで、3cm角くらいに切って紙の間にこれを挟んで、1 μm 程度まで伸ばします。伸びたものをズミといいます。ズミを3cm角くらいに切って、また別の紙に挟んで、0.1 μm まで薄く伸ばしたものが、金箔です。

ズミや箔を造る時、紙と種板とは何百枚も交互に重ねて、1パックとして皮装に包んで、この上からハンマーで叩きます。従って箔は直接ハンマーで叩かれるというより、紙と箔のパックが緩衝帯として存在している上から叩かれることとなります。つまり箔にかかる圧力は、ハンマーの打撃面の面積よりもっとばやけた広い面積に分散し、そう局部的に圧力が加えられるではありません。

金箔は0.1 μm の厚みの板であります。一方、紙の方の表面の粗度は、0.7 μm から1 μm 程度であって、こん

なものでどうやって伸びていくのかということはちょっと考えると不思議ですが、実は紙が凹凸を持っているからこそ金箔は伸びていくのです。一回のハンマリングで圧力が加えられると、金箔は紙の凹凸(鋭い凹凸でなく、滑らかな小さい凹凸)になじむように変形します。局部的に凹凸ができて表面積が大きくなることは薄くなることです。この伸びたという凹凸になった箔は、次の瞬間には紙を離れ、空間に居ますが、次のハンマリングによって、また紙に挟まれ凹凸の上からまた凹凸が加えられていきます。ここで大事なことは、ハンマリングの1回毎に、紙と金箔が離れねばならないことです。紙の凹凸をもたらず最大のものは、紙の繊維です。通常、紙は繊維の方向性があります。金箔は紙の繊維の方向に対して、直角の方向に伸びやすいので、パックを造る時、紙を同じ方向に重ねると箔は長方形に伸びてしまいます。そこで、紙は一枚ずつ90度方向を変えて重ねます。

こんな訳ですから、金箔が造られる過程は、圧延というより型によるプレスとか絞りに似ていて、従って、金箔造りとは打紙造りであるともいえます。打紙造りの第一の必要要件は、いかに金箔がくっつかない紙を造るかということです。紙と金箔の接着力は、色々なファクターによって左右されます。紙に含まれる秘伝の物質の他、ハンマリングしているときの湿度や温度、紙を保管している時に紙に吸着してくる空気中の色々な物質等々です。特に、職人は湿度を嫌いますので、時にはお香をたいたりして、その成分を紙の表面に吸着させて湿気を含むことを防ぐ場合もあります。職人は、長い経験の上で一番よい方法を1人1人編み出して、ノウハウとしています。

さて、金箔は、現代の工業製品として見ますと、できのよくない品物です。厚み0.1 μm といっても、これはかなり平均的なもので、常に10%程度、一枚毎の重量のムラがあります。また、一枚をガラス板にはさんで光にすかしてみれば、これに青い光が通るので、これを見ればしわや濃淡、ピンホールが無数にあることが判ります。金箔は非常に薄いので、金箔を貼り付ける時(これを箔置きといいます)、下地の凹凸というか粗度が大きいと、その表面をうまく覆うことができなくて、ひどい場合は金色がさえなくなってしまうようなことも起こります。従って、金箔を貼りつけて箔の光沢をよく出すには、その下地の処理が極めて大切です。木製品にいきなり箔置きを行うことは無謀で、通常は入念にサンドペーパーや、あしくきで磨き、さらにニスや、にかわ、うるし等を塗って、できるだけ平滑で光沢のある艶を出すと同時に、固い表面を造ってから箔置きをするとうまくゆきます。箔置きにとっては、大きな凹凸より、むしろすぐには判らない細かい鋭い凹凸の方が具合が悪いと

言えます。

屏風など、表面がさほど滑らかでない表面に金箔をおしつけると、見た目には判らない細かい亀裂が無数に生じるためか、貼りつけた下地の色が始めから少し透けて見えます。皆さん御承知のように、金屏風は、必ず約10cmのピッチの格子模様が見えますが、これは10.3cm角の金箔を貼りつける時、周辺の重なった部分が二重になり、下地が透けにくくなって相対的に強い金色となって見えるためです。金屏風も時間が経つと下地の色や下地のデッサンが染み出てきたりしますので、常に補修の必要があります。この補修用というのも一つの用途であります。

屋外部に金箔が使われる場合は、一枚でなく大抵重ね張りを行います。水上努の小説で有名ですが、金閣寺が若い僧侶の放火によって炎上し、現在の金閣寺は再建されたものです。その際用いられた金箔は当社御用達であったかと聞かれますが、違います。もうこの時代、金箔のビジネスの主流は、金沢へ移行し、当社はオファーに負けたようです。また、この時の金箔は、寿命のことを考えて通常よりかなり厚いものが使われたと聞いております。

さて、金箔のことを長々と申し上げましたが、当社の江戸時代の約200年間の商いは、専ら金銀箔あるいは箔のへたをすりつぶして造る金色ペーストの金泥（きんでい）とかでした。

江戸時代のビジネスがどのようなものであったかは、記録が乏しいのははっきりはしませんが、実は当社には「家の苗」という家訓書が残っていて、これを通してある程度想像することができます。

これは二代目の福田練石がしたためたもので、今で言う経営のマニュアルみたいなものです。方針と方策、手順が約40頁にわたって書かれているもので、「老補と家訓」という単行本の一部にも載録されています。

内容を少し紹介しますと、第一の方針は、「忍の字は身の内の主なり、不断に七情の客あり、よく考え、いずれも忍のあしらひ方、第一、その品々しるしがたし」とあり、これは「色々の客があるが、よく考えて応待するためには、堪忍のもてなしが第一。その方法は色々あるが」ということで、要するに「お客様は神様と思って、忍耐してもてなせ」ということです。

また、「儉約を第一、身をよく考え、くらし方に心を付くべし」とか「商人は掛（かけ）の用心なくしては、是非に身上、不勝手に相成るべし。少々損銀ゆくとも思いきりが第一、料簡の上、末々よくなること二三人これにあるべからず……」等、かけ売りというか、後でお金をもらうやり方はよくないとか、他に、丁稚さんや番頭さんの給料については、一部を退職金として貯えておく

べきだとか、神仏道のバランスをとることとか、菩提寺への寄付額はこれ位にせよとかの方針があります。

また、原料の入手や、外注先の管理、お金の回収方法についての方策もあります。さらに、毎年行われる行事の手順について事細かに書き連ねていて、例えば、年末年始の行事については、主人、おかみさんの役割や、おせち料理の調理スケジュール等も記しています。これらは主として経営者の立場で書かれた当主の心得というべきもので、ほとんどの内容は現代も相変わらず通用する程のものです。

代々の当主は、概ねこの家訓を守ってきたようで、何とか江戸時代は無事経過したようです。

江戸時代、京都の金銀箔粉業は幕府公認による製造販売の鑑札をもらっていました。当社にも、慶応四年付の免許の鑑札が残っています。

明治と共に、京都から天皇が東京へ移られ、かつ維新の混乱のため、京都は経済的に疲弊した状態に陥りましたが、新政府の秩序が固まるにつれ、また、京都市の市政も大いに産業復興に努めた結果、金銀箔粉業者は一時京都で4社になりましたが、16年には12社に増えているほど、この商売も順調のようでした。

当社も全国あちこちへ納入していますが、明治42年には、伊勢神宮の御遷宮の際に、御下命を受けて金箔十万枚を納めたと、日出新聞（現京都新聞）に記載されています。この頃は、国内の各種の博覧会や、シカゴの万博、セントルイス万博にも出品して賞をもらったりしています。これは、第6代の福田重助の時で、金銀箔業者として、全国で最大手の一つとなっていたようです。

またこの頃から、印刷技術と印刷物の発展に対応して金色顔料としての真鍮粉（これは江戸時代からの金粉、きんまがいふん、で、ウスとキネを使った機械粉碎法で造ります）の増産を始め、当社山科工場もこの頃に建造しています。これを清国へ輸出することを始めたようです。

箔打ちも、明治29年（1896年）に、ハンマーを機械化し、45年（1912年）にはドイツから箔打機械を輸入し、この頃から金銀箔以外に、銅箔、真鍮箔、錫箔、アルミ箔を打箔によって製造して商標登録をしています。

ここでわきにそれて、少し機械粉碎粉についてお話をします。

キネとウス、ピンあるいはロッドを用いた振動ミル、最近の高エネルギーボールミル等は、いずれもある範囲の大きさの原材料（これは、せんべい状の大きさのものからそもそも細かい粉で箔片であったりしますが）に機械的打撃を与えることによって細かくしていく方法ですが、出来る粉はあらっぽく大別すると、二種類の形状に分かれます。

一つは非常に硬くて、展延性のないものの粉で、これは岩石を細かくすると同じで、いかにも破碎された形状の粉が出来ます。もう一つは、展延性の高い金属の粉で、これはたいていりん片状のものになります。例えば、金銀、銅、真鍮、アルミ、ニッケル等は常温でも高い展延性をもっていますので、これらは打撃を受けると、変形してせんべい状につぶれる結果、このようになります。

粉砕中に、硬いものは何も補助材を加える必要がありませんが、りん片状の粉の場合は、粉同士が重なって打撃を受けて互にくっつくのを防ぐための工夫が必要です。その方法として、一つは表面を酸化被膜で覆って、融着を防ぐ、つまり酸化剤を加えるか、酸化雰囲気中で粉砕するかという方法があり、もうひとつとして、ステアリン酸など、表面に付着して融着を防ぎかつ互いの摩擦係数を減らすための滑材を加える方法があります。多くの場合、酸化剤とステアリン酸等のコーティング材料の両方が必要です。あるいは、乾式でなく、湿式で粉の表面が常に溶液でカバーされるようにします。

りん片状の粉末は、光沢があり、顔料としてインクに使うと、りん片粉が塗られたインクの表面に平行に整列して、少量で広い表面をカバー出来るので、コスト的に有利です。あるいは表面積が非常に大きくなるので、触媒に用いたり導電塗料に用いたりします。因みに、当社の真鍮粉、あるいは銀粉のりん片の厚みは、ほぼ金箔と同じ0.1 μm くらいで、BET表面積も10,000 cm^2/g 以上あります。

他方、これら、りん片状の粉は、粉同士の絡み合いの力はきわめて弱く、絡み合いが必要な要素のひとつである、焼結部品用には適しません。

話を戻して、明治から大正にかけて、当社はグラビア印刷用の細かい真鍮粉の開発にも成功して、カレンダー等の用途に出荷するようになりました。また、タバコに「ゴールデンバット」という銘柄があり、その包み紙の金色印刷に使われて、大量出荷していました。大正10年頃から、タバコが刻みタバコから紙巻タバコへ移行し、包装紙には錫箔が使われるようになり、これも相当量出荷していました。

昭和に入って、第一次大戦と第二次大戦の軍国主義の時代、当社も機械粉砕法で真鍮粉のみならず、アルミ粉、鉄粉、銅粉など、色々造り始めていましたが、その用途も爆薬や照明弾用のものが多くなり、特にアルミ粉については、軍の統制を受けて軍需工場の様相を呈したようです。

そんな中で、将来の種になった昭和11年頃の開発品が、電解銅粉でした。

電解銅粉は、硫酸銅溶液を用いて通電する際に、電流

密度と銅イオン濃度の比を大きくとると、陰極に銅が析出する際メッキ状にならず、樹枝状、つまりデンドライト状の粉が析出することを応用して造ります。これは主としてモーター用のカーボンブラシに混入して、電気伝導度と機械的強度を改善するのに用います。非常に絡み合いの強い銅粉です。もちろん、焼結部品用としても用います。

昭和10年頃から昭和56年位まで、当社は8代目の福田嘉一、これは私の父ですが、の手にあり、父は東大の経済を出た文系でしたが、業界の集まりや交友を通して、京都大学理学部の岩瀬慶三先生や、戦後直後は、後に日本電池の社長になられた岡田辰造先生の薫陶を受け、これが当社が従来のを脱する大きな原動力となりました。

第二次大戦末期には、日本学術振興会の中に粉末冶金委員会が発足し、終戦直後昭和20年10月に京大で粉末冶金部会が開催され、委員長は岩瀬慶三先生で、委員として西原利夫、岡田辰造、小藤甫先生ら10名の中に、福田嘉一も名を連ねております。昭和32年4月に粉末冶金工業会が発足、そのメンバー17社のうちのひとつとして参加しております。のち、昭和33年、粉末冶金技術協会（現粉体粉末冶金協会の前身）の発足メンバーにも加わっております。

しかし、昭和20年代は戦後の混乱と復興の時代、当社も始めはトウモロコシや葛根を粉にして食料用の粉を造って辛うじて生き延びました。勿論小麦粉も造っていましたが、食糧難の時代で、京都市内でもほとんどの家庭の庭は全てさつまいも畑と化し、芋だけでなく、芋の葉とつるが味噌汁の惣菜でした。当社も、金属粉を造る機械で食物を粉にして食いつないだといえます。残念乍ら、箔打職人も離散し、金箔製造もとりやめ、金沢から調達することとなりました。

戦後の混乱期はしかし、同時に当社が新製品の開発に乗り出さざるを得なかった時期で、絵の具用鉛チューブ、家庭用アルミなべ、各種アルマイト加工品、アルミ粉入豆炭、電車架線用絶縁部品（インシュレータ）、乾電池用亜鉛ケース、各種ガラス粉など、沢山の試みを行っています。これらの多くは、大きな事業となりませんでした。当社にとっては新しい業界との付き合いや、その業界の生産技術について沢山の知見を得たことが、一つの財産になったようです。不況が企業を強くするというのも本当のような気がします。

昭和32年、日本ではじめてアトマイズ法によって金属粉の製造を開始しました。現在、粉末冶金用の金属粉は、圧倒的に鉄、または鉄合金粉及びアルミ粉が多く、これらはほとんどアトマイズ法によって製造されます。この製造方法は欧米では既に実用化されていましたが、

当社が日本での先駆者となったことは、粉末冶金工業会誌にも記述されています。

アトマイズ法とは、いわば、霧吹き法とでも言えるもので、金属を溶かして底に穴のあいたルツポに入れ、穴から流れ落ちる溶湯流を、横からガスや水で吹き飛ばして飛散させ、その飛散したものが空間で固化して下に落ちて来たものを集める、というものです。一般に、吹き飛ばすガスや水のエネルギーの大きいほど粉は細くなり、小さいほど粗くなります。

粉の形は、球形から塊状といえるものまで、原理的に液体の粒子が固化して出来る形となります。機械粉砕法によるものとは明らかに違います。この形を決めるのは、一つは粒子の冷却速度です。ゆっくり固化するような条件下で固化すると、表面張力によって球形に近くなり、急速に冷却させると、液滴がまだ気流や水流の力を受けているうちに固化するので、塊状というか、異形粉になります。粉の形に影響を及ぼすもう一つの大きな要素は、表面に出来る酸化被膜の特性で、例えば、ステンレス粉やアルミ粉の場合、内部の金属より表面の酸化皮膜の方がはるかに融点が高く、ガスや水で吹き飛ばされた早い段階で、固い酸化皮膜が形成されてしまうので、ほとんどの場合、異形粉となります。

酸化されやすい金属の場合、窒素あるいは分解ガス等の不活性ガスを使いますが、この中の微量の酸素によって形状が影響されます。

この、ガス中の微量の酸素等は粉の形に影響するだけでなく、粉の表面や内部に固溶する酸素の量を決めたりします。実は、この量が、粉末を焼結する時の、焼結速度に非常に大きい影響を与えますので、私共、粉屋にとっては、コントロールせねばならない製造条件の一つです。

以上のように、一口に粉といっても、造り方によって様々な形となり、また粒度分布も変わります。焼結部品でも、粒度の揃った球状粉を使って、隙間の揃ったフィルターを造る場合もあれば、できるだけ真密度に近いものにするため、互いの絡み合いの大きい異形粉を適切な粒度分布にして用いる場合もあります。様々な用途にとって、よりベターな形状の粉を作り出すのが粉屋の仕事といえます。当社の場合、粉の大半は、粉末冶金部品向けで、その最終用途の多くは、自動車部品であり、日本の自動車産業の発展に伴って、当社も規模を拡大してきました。

最近の傾向は、一つは粉末冶金部品の小型化で、例えば、CDやDVDの回転軸受やプリンターの部品など電子機器用途が増えてきています。1mm位のサイズのものもあり、これらの極少部品の精度を出すためには、粉そのものも、非常に細かい必要があり、数ミクロンオーダー

のサイズの粉の注文も多くなっています。二つ目として、導電ペイントというか、導電性接着剤として細かい銀粉や銅粉がコンデンサーの電極接着用や、プリント配線板の多層配線用を連結するための導体材として用いられる場合も増えてきました。こういう場合は、高い熱をかけることはできませんから、100℃前後でも焼結するようなサブミクロンの粉が必要です。

粉屋の立場から、製造上一つの壁は、1ミクロンより小さい、サブミクロンの粉の製造で、このレベルの粉になると、空気中で飛散して沈降するのに時間がかかるので、工程間に気流を使って移送したり、容器から容器へ移し変えたりすることが非常に厄介になります。サブミクロンの粉をお買い求めになったお客様も、使いづらい点が多くなります。サブミクロンの粉は、成形用の型に入れるにも時間がかかりますし、周囲を汚染しやすくなります。もう一つのデメリットは、この位の細かさになると常温でも拡散凝集が起こりやすくなり、製造工程や保管を低温で行う必要が生じてきて、生産性が落ちたり、製品の冷凍保管庫や冷凍運搬車を使わねばならないというコストがかかることです。

そこで、私共は、粉をペーストやペレットにして出荷したり、あるいは、仮焼結粉として細かい粉を軽く焼結させた後、破碎して粒度を見かけ大きくしたものにしたり、出荷したりしています。

合金粉もいろいろと造っています。また、お客様の焼結炉の中で、合金化するような混合粉、例えば、銅と錫の粉をあらかじめ一定比率で混合したプレミックス粉などもあります。粉末冶金の講座になってしまっただけは話が長引くので、この辺で電解銅箔のお話をします。

電解銅箔は、世界的には歴史が古く、東北大の池田謙三博士が、昭和10年に出版された「銅製錬」という書物に、日本では大正元年頃から、三菱大阪や日立の日光精錬所で鉛ライニングのドラムをメッキ液につけて回転させ、メッキと剥離を繰り返して、長尺ものの銅箔を造ったと紹介されています。しかし、この時代は、銅箔というより長尺の銅薄板を造るという観点でした。

「メッキが剥げる」と言いますが、剥げると普通は具合の悪いところですが、電解銅箔はわざわざ剥げるようにメッキをして造るといえます。

それが、プリント配線用銅箔のための製造法として見直されたのは、第二次大戦後にトランジスターが発明され、真空管がトランジスター、後のICやLSIにとって変わって、電気回路網を電線の手作業によるハンダ付で造っていたのが、プリント配線にとって変わったためです。

電解銅箔は、そもそも圧延銅箔より有利な点がいくつかあります。圧延銅箔は、薄ければ薄いほど圧延回数を繰り返さねばならないので、製造コスト高になります。

電解銅箔は、薄いほど速く生産できるので、薄くてもさほど高くない傾向となります。

一般的には、100 μm より厚いものは圧延銅箔で、それより薄いものは電解銅箔ということになっています。もっともこれは、電気代単価の高い安いによっても変わりますが。

圧延銅箔は概して表面が滑らかで光沢の強いものですが、電解銅箔はメッキ条件を加減して柱状品の結晶組織にすれば、メッキ液側を粗面にできます。これが、工ボキシやフェノールの絶縁基板との接着性を高めるのに非常に都合がよいのです。

もう一つは、幅の大きさです。電解銅箔は、ドラムのサイズ(幅)を例えば、1.3mとすれば1.3mの幅の長尺銅箔が簡単にできますが、圧延の場合、広幅になるほど平面性を保つのに困難が増え、両端にワカメ状のひだができやすくなります。現在は70 cm位がよいところです。

圧延銅箔はしかし、圧延組織であり、一方、電解銅箔は柱状組織というか析出組織であって、この違いから、機械的特徴が異なるので、現在同じプリント配線の用途であっても、フレキシブル配線という、折り曲げねばならない配線、例えば、パソコンや携帯電話など、蓋を開く構造の製品の、本体と蓋を接ぐ電気回路用には、屈曲回数が多くても耐えられる圧延銅箔が用いられたりします。

私共は、昭和31年頃から、プリント配線板用の電解銅箔の製造を始めました。以後独自技術でこれを発展させてきました。ピンホール等の欠陥が少ない銅箔を造るためには、析出母体のドラムの表面材料が大切で、私共も色んな物をトライしましたが、今はチタンを用いています。

電解銅箔は、それが貼りつけられる絶縁樹脂板との間の接着力が生命です。接着力を高めるために、ドラムから巻き取った箔の粗面を、更に粗面化処理します。柱状品の凸起部分の上に、デンドライト状のコブを析出させ、アンカー効果によって接着力を高めるようにします。さらにその上に、防錆剤などをコーティングします。

LSIの発達とともに、プリント配線板は、配線密度も非常に上ってきて、現在、回路の幅は50 μm 、回路と回路の間も50 μm というものが当たり前です。

銅箔自体も、極めて小さい欠陥も許されなくなっています。当社は昭和60年頃から電解銅箔の製造工場をクリーンルーム化しています。また、メッキ液の管理も精度の高いものになっています。

昔、金箔を作っていたのが、今電解銅箔に変わったとも言えますが、電解銅箔の日本の生産量の約10%を当社が生産しています。あとの約90%は他の4つのメー

カーが生産しています。日本の電解銅箔の生産量は、約1億2千万 m^2 /年、つまり国民一人当たり1 m^2 の銅箔が毎年出荷されている量になります。4人家族では約4 m^2 となりますが、工場や事務所に半分は行っているとしますと、約2 m^2 の銅箔が、毎年各御家庭に送られていることとなります。

テレビ、パソコンや携帯電話を沢山お求め下さると助かります。

同業他社もそうですが、私共も海外生産を始めており、1989年に英国、1994年に中国に合弁会社を造って、銅箔製造をしており、現在は国内生産量より海外生産量の方が多くなっています。

一方、粉末の方では、現在一台の日本製の自動車に約8 kgの粉末冶金部品が使われていて、そのうち、銅系は約1割で、一台当たり約800gとなります。

当社の金属粉末出荷量は、現在約10,000トン/年で、銅系粉末のシェアとしては、国内第1位です。これはグラムで言うと、100億グラムとなり、国民一人当たり、毎年約80gの粉末を供給していることとなります。4人家庭では300g、粉末の見掛密度を3g/ cm^3 とすると、100cc、つまり、毎年牛乳瓶半分の粉末をお使いいただいている計算です。是非、自動車を沢山お求め下さい。

時間も少なくなってきましたので、終りに、最近の当社の製品や開発中のものをいくつかお話しします。

ひとつは、溶液還元法で造った平均粒径1 μm 以下の微細銅粉で、非常に細かい多角形銅粉で用途は導電塗料です。

ひとつは、MITの技術を使った、振動滴下法による、真球に近い球状粉で、LSIの足の接続用に使います。ハンダ球や銅球あるいは他の合金球もあります。

ひとつは、回転電極法で造ったTiやレアアース球状粉で、Ti球は人口骨の、生体との接着面の強度を増すために用います。

ひとつは、異常な紐の籠のような銅粉ですが、塩化銅の気相分解によって造ったもので、まだ用途ははっきりしません。

さらにひとつは、非常に薄い、3 μm の厚みの、プリント配線板用銅箔で、この表面には、約0.1 μm のひげ状の析出物をくっつけていて、これによって絶縁基板との接着力を強化しています。

一方、私は、先祖がえりといいますが、金箔の全自動製造ラインを造ろうとここ5年ほど取り組んでいます。ピンホールや厚みのムラの少ない金箔を造ろうとしています。が、まだ紙と金箔が時々くっついて、歩留まりが低いという段階です。

もう少しで、できるとは思いますが、どうも商売としてはうまく行きそうにありません。というのが、金箔の

マーケットが現在非常に縮んで来て、市場価格がひどい状況であるからです。

しかし、この技術は、何も金箔に限らず、展延性のある金属なら大抵は応用できますので、0.1 μm オーダーの厚みの箔をある程度工業的に造ることができます。皆さん、もしそういう用途がありましたら、是非お声をおかけ下さい。

ということで、私の話はもう終わりです。300年の継続の理由は何だったか、私の話だけでは、焦点が定まらないこととお詫びしますが、私なりに、結局は、人間誰しも好奇心を持っていて、この好奇心に動かされて色々なことにトライすることが肝心で、さらに、トライする時に、自分一人で頑張るのでなく、周囲の皆さんに教えて

いただいてやれば、成功する確率が上がる、ということかなと考えております。

21世紀は、高度情報化社会といわれます。世界中で行われる新しい技術の開発や発明の情報が、発達した情報網を利用できれば、ずっと容易に手に入るということだと思います。自分のオリジナリティは勿論大切ですが、世界のオリジナルをどれくらい迅速に、また、うまく選別して取り入れるかという、情報の入手と選択の技術の上手下手が、別れ目になる競争社会だろうと思っています。水曜会の皆様におかれましては、是非、色々な情報を私共に与えていただきますようお願いして、私の話を終わらせていただきます。

御静聴有難うございました。

大会記念講演

資源開発におけるコンサルタント

中 澤 保 延*

Consulting in Mineral Resources Development

by Yasunobu NAKAZAWA

1. はじめに

鉱業ではその生産物が国際商品であること、資源が偏在していることから欧米の鉱業は資源を世界に求め戦略的にM&Aを進めメジャー化している。一方、規制緩和と市場経済の広がりには円高を導き、日本の鉱業は大きな打撃を受け、現在操業する鉱山は片手で数えるほどになった。一方合理化努力で競争力を維持している製錬所への鉱石供給は海外鉱山へ頼らざるを得ない状況になっている。しかし、鉱山開発は鉱業が資本集約型産業の代表格であるため、自山鉱開発は少なく、大プロジェクトにはマイナーで資本参加し精鉱を確保しているのが現状である。

こうした状況のなかで資源開発におけるコンサルタントはどのような活動をしているかを鉱業振興策等と絡ませてお話ししていきたいと思います。最後に大規模な鉱山技術はSX-EWを中心に進化しているなかで、中小の鉱山開発技術としてのコンパクトマイニングシステムの構想についてお話しします。

2. 資源開発におけるコンサルタントとは

一般的にはコンサルタントというのはクライアントが最大の利益を得られるように提案、指導、あるいは行動をとるといような意味で使われています。

資源開発の場合で言えば、探査…開発…操業の各ステージにおける意思決定時に資源探査、資源評価、プロジェクト経済評価 (F/S)、開発設計、技術提案あるいはマネージメントの診断等を行うとことになるかと思えます。

しかし、日本ではコンサルタントの概念が乏しく鉱山会社自体が組織や機能をもって実施していたのが実態であります。その後、鉱山の合理化と海外展開が急務となり、その頃資源系コンサルタントが資源調査を主体に独立し、現在に至っております。したがって、当初から資源探査、資源評価が主要な業務であり、プロジェクト経済評価 (F/S)、開発設計等の業務は親会社がメインで実施しているのが実態です。勿論、コンサルタント会社は親会社との人的交流も多く、プロジェクト経済評価以降の業務を共同で行う場合もあります。

海外のジュニアカンパニーが独自の探鉱戦略をもって活動しているのと趣を異に、親会社との連携のなかで活動しているのが資源系のコンサルタントの現状であります。

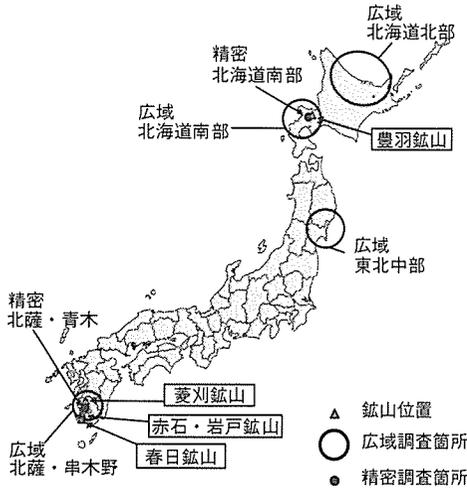
最近では探鉱開発業務の他に、資源開発で培われた技術を梃子に鉱物資源以外の分野 例えば温泉、地熱、建設コンサルあるいは土壌環境等に進出しているところがあります。したがって、資源系のコンサルタントの業務として次のようなものがあげられます

- ① 親会社等と連携して行う資源開発業務
- ② 国が行う国内外の鉱業振興策と鉱害防止への参加
- ③ 鉱業振興マスタープラン、鉱害環境防止指導等のODAに係わる業務
- ④ 資源技術を活かした地下利用、建設コンサル、土壌環境分野等

3. 鉱業振興策と資源コンサルタント

本題に入る前に我が国の非鉄鉱山と海外資源開発の現状について簡単にふれておきます。資源コンサルタントにとって国内非鉄鉱山の現状はさびしいものがあります。昨年神岡鉱山が休山したので、現在国内では北海道

*三井金属資源開発 (株)



第1図 国内鉱山と広域および精密調査位置¹⁾

で豊羽鉱山が唯一のベースメタルの供給源となっています。金鉱山では鹿児島県の菱刈鉱山が高品位を産出し、岩戸、赤石、春日では低品位であるが銅製錬の副材料の含金球石鉱として製錬所に供給されています。(第1図)

探鉱活動は金を中心に広域調査として4箇所(北海道北部、北海道南部、東北中部、北陸・串木野)精密調査箇所が2箇所(北陸・串木野、北海道南部)ありますが、精密調査は平成15年で終了予定とのことです。

海外ではコスト安の鉱山の獲得、鉱山事業のグローバ

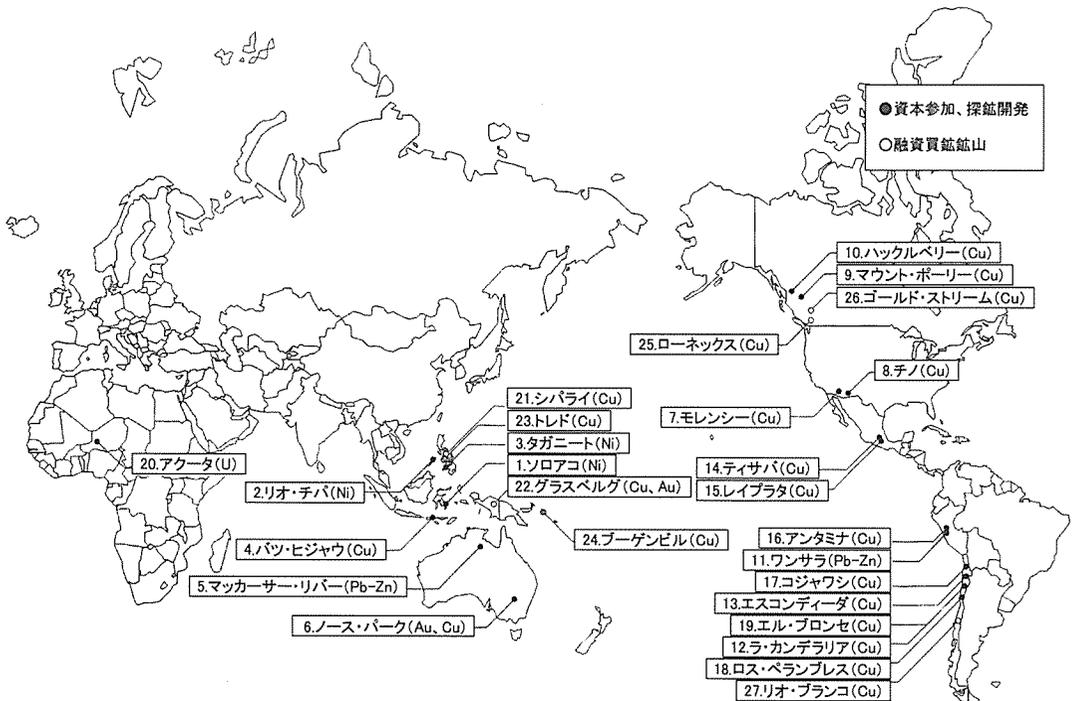
ル展開等の必要性から欧米企業は統合・再編で銅を中心にメジャー化が進んでいるなか、日本企業も各社独自の戦略から鉱山開発、資本参加の形で参加しシェアに見合った精鉱を日本の製錬所に供給しています。

鉱業便覧によれば第2図に示すように銅がメインの鉱山が圧倒的ですが、他の鉱種として鉛・亜鉛鉱ではマッカーサーリバー(オーストラリア)、ワンサラ(ペルー)、ニッケル鉱でソロアコ(インドネシア)、リオ・チバ(フィリピン)、塊状硫化鉱でディサバ(メキシコ)、レイ・デ・プラタ(メキシコ)等があります。

この中から代表的な鉱山の概要を第1表に示しました。銅鉱山で十数億ドルから二十数億ドル、亜鉛鉱山はマッカーサーリバーで約2.5億ドルと多額の開発費が必要であることが判ります。今後は更に探鉱リスク(奥地化で探鉱困難、発見しても開発リスクが高い等)、カントリーリスク(政変・内乱等による完工遅延、操業低下等)が高くなることが予想されます。

一方、情報技術の高度化による電子工業の発展にともなう高機能材料の一つであるタンタル資源のように資源が偏在し、安定供給源となる鉱山が少なく、タンタル自体を対象とした資源探査・開発が進んでない分野では政治・経済状況により時に大幅な暴騰があり、一獲千金の夢はあるが地道な戦略が必要です。(第3図)

このようにリスクの大きい産業のため、資源の安定供給の観点から、我が国には資源開発振興策としての鉱業



第2図 我が国企業の海外鉱山開発プロジェクト位置図²⁾

政策があります。(第4図)

そのなかでも探鉱は重要なポジションにあり、国内では3段階方式と呼ばれる探鉱方式と海外では海外地質構

造調査等があります。ここが資源コンサルタントの活動場所の一つになります。

国内の3段階方式は先にお話した広域調査や精密調査

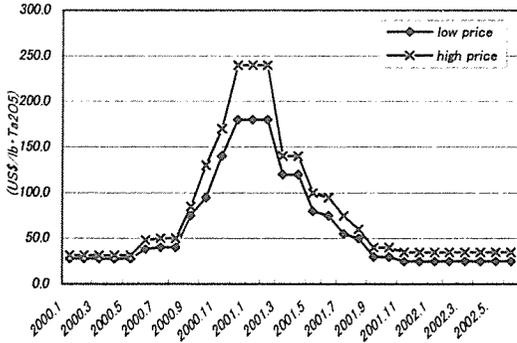
第1表 日本企業の主な海外鉱山開発^③

| 鉱山名 (開発年) | 開発形態 | 国名 所有地 | 所有者 | 探鉱方法及び 選鉱能力 | 日本向け 輸出货量 (金属量) | 総開発費 |
|------------------------|-------------|-----------------|---|--------------------------------------|---------------------------|--------------------|
| ロスベランプレス (200年3月) | 資本参加 | チリ 第4州 | アントファガスタ 60% 日鉱、三菱マ、丸紅、商事、 三井物産 40% | 露天堀 85,000t/d (0.75%Cu) | 138,000t Cu | 1,360,000 千US\$ |
| コジャワシ (1999年1月) | 資本参加・ 融資 | チリ 第1州 | ファルコンブリッジ 44% ミノコ 44% 三井物、日鉱、三井金 12% | 露天堀 60,000t/d (1.30%Cu) | 83,000t Cu | 1,760,000 千US\$ |
| アンタミナ (2001年後半) | 資本参加 | ペルー アプシコ県 | ラング 33.75% リオトント 33.75% テック 22.5% 三菱商事 10% | 露天堀 70,000t/d (1.30%Cu,1.0%Zn) | 200,000t Cu 80,000t Zn | 2,296,000 千US\$ |
| エスコンディータ (1994年1月) | 資本参加・ 融資 | チリ 第2州 | BHP 57.5% RioTinto30% JECO (*1) 10% | 露天堀 43,000t/d (2.86%Cu) | 160,000t Cu | 822,720 千US\$ |
| ディサバ (1994年11月) | 探鉱開発 | メキシコ キン州 | ベネソレス 51% 同和 39% 住友商事 10% | 坑内堀 1,600t/d (1.64%Pb,7.90%Zn) | 50,000t Zn | 38,234 千US\$ |
| レイデプラタ (2000年月) | 探鉱開発 | メキシコ ゲレ州 | ベネソレス 51% 同和 39% 住友商事 10% | 坑内堀 1,100t/d (2.1%Pb,8.3%Zn) | 46,700t Zn | 45,400 千US\$ |
| マッカーサーリバー (1995年9月) | 探鉱開発 | オーストラリア 北部準州 | MIM 70% ANT (*2) 30% | 坑内堀 4,500t/d (6.2%Pb,13.9%Zn) | 25,000t Pb 56,000t Zn | 246,000 千A\$ |

(*1)JECO:三菱商事、三菱マ、日鉱 (*2)ANT:日鉱、丸紅、三菱マ、三井物産

第2表 探鉱促進のための3段階方式^④

| | 広域地質構造調査 | 精密地質構造調査 | 企業への探鉱に対する助成 | |
|----------------------|--|---|---|--|
| | | | 融 資 | 中小鉱山等振興指導事業費補助金 |
| 目 的 | 金属鉱床の探鉱を急速に促進 する必要がある地域について、 地質調査、物理探査、試すい等 により広い地域の地質構造を概 括的に明らかにする。 | 広域調査の結果、優秀な鉱床 を産出する地層があると推定さ れる地域について試すい、構造 坑道等により当該地層の精密な 状態を明らかにする。 | 大手企業及び大手企業を親会社と する中小企業が行う新鉱床の探鉱 (精密調査の結果行うものを含む。) に対し融資を行う。 | 中小鉱山が行う新鉱床の探鉱 (精密調査の結果行うものを含む。) に対し補助金を交付する。 |
| 実施主体 及び制度 設立年度 | 金属鉱業事業団 昭和41年度設立 (昭和38年~40年度までは地質 調査所の特別研究費を以って実 施してきた。) 金については、昭和43年度よ り、またタングステンについて は、昭和56年度より対象となる。 | 金属鉱業事業団 昭和39年度設立 タングステンについては、昭 和56年度より、また金について は、昭和62年度より対象となる。 | 金属鉱業事業団 昭和38年度設立 金については昭和44年度より、タ ングステンについては平成元年度よ り対象となる。 | 通商産業局 昭和58年度設立 (昭和10年以降各種の名称により交 付されている。) |
| 予算形態 | 全額国庫(一般会計) | 10/15 国庫補助(一般会計) 2/15 都道府県の負担 3/15 鉱業権者の負担 | ・原資 資金運用部資金借入 事業団の自己資金 ・融資比率 遠隔地女地域 …… 80%以内 一 般 地 域 …… 70%以内 ・償還期限 遠隔地女地域 …… 12年以内 (うち据置3年) 一 般 地 域 …… 7年以内 (うち据置2年) | 全額国庫(中小企業庁予算) 補助率1/2 |



第3図 Metal Bulletin タantal 鉍石価格

のことで金属鉍業事業団が実施主体となっており、調査業務は資源コンサルタント等に委託され、調査結果を基に地質構造や鉍床の胚胎等について解析を進めていくようになっていっています。(第2表) こうした調査が基になり、鉍山開発に至った例として菱刈鉍山は有名です。

海外においても鉍床の存在・位置等の確認を目的に同様の地質構造調査が行われ成果を挙げています(第3表)。海外ではこの他にODAとして資源開発協力基礎調査や鉍業振興マスタープラン調査、鉍害防止等のプロジェクト方式の技術協力があります。資源開発協力基礎調査はODAとしての技術協力の面と有望な鉍床の発見の場合は日本企業の開発や資源の安定供給源となり得えます。

したがって、資源開発協力基礎調査の選定にはODA

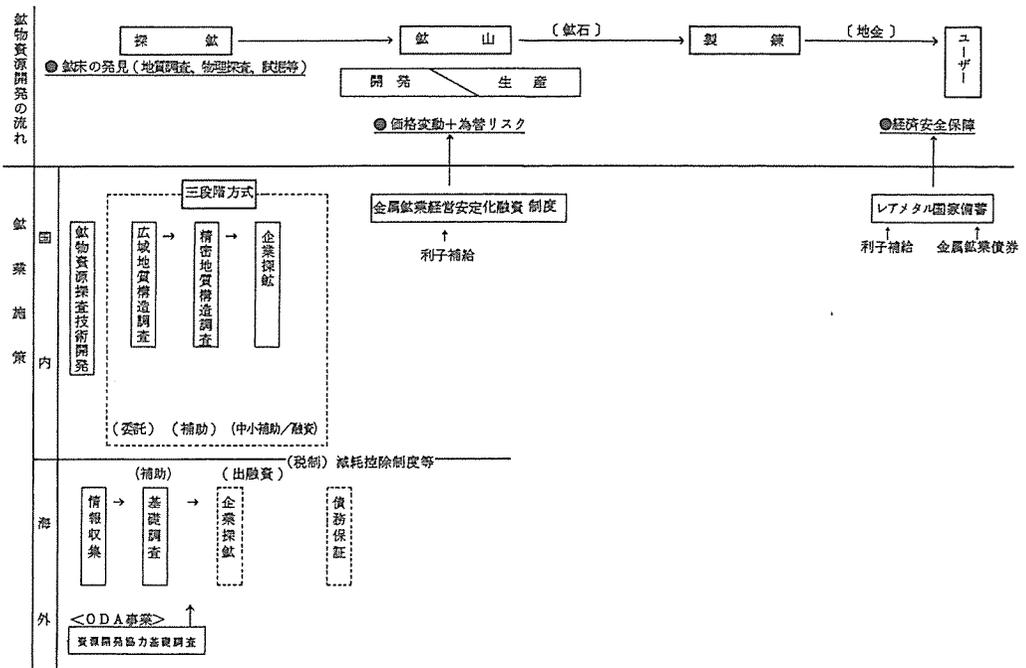
政策および金属事業団が行う海外調査員による情報収集や衛星画像解析と資源コンサルタントが得た情報等各種の資料が参考にされます。現在実施されている個所は第5図の色塗りをしたところで南米、中南米、中国、東南アジア、中央アジア、アフリカと資源の安定供給の面からもバランス良く配置されています。実際の調査には事前に概況を把握しておくことは勿論であるが、現地での調査成果・効率を上げるためにカウンターパートがもつデータを如何に取り込むかがポイントになります。しかし、これが結構大変で、コミュニケーションを良くとりながら行うのが肝要のようです。

鉍業振興マスタープラン調査は鉍物資源開発事業に必要な基本政策策定協力のために行われるもので、その一例をJICAの応募要領に示します。(第4表)

業務は国家開発計画、法体系・税体系、資源ポテンシャル情報、鉍業技術・活動、調査国における鉍業の役割等の調査を実施し、鉍業振興のための戦略をマスタープランとして提言するものです。したがって本業務は鉍山技術だけでなく鉍業振興策までの広範囲にわたる幅広い知識と経験がもとめられます。

特にソ連崩後のCIS諸国では急激な市場経済にほり込まれ、民営化と外資の導入を進めているが市場経済下での鉍業の競争力は低い。またソ連時代の行政や法律が残っているため外資の導入も計画通りにならないジレンマにある。

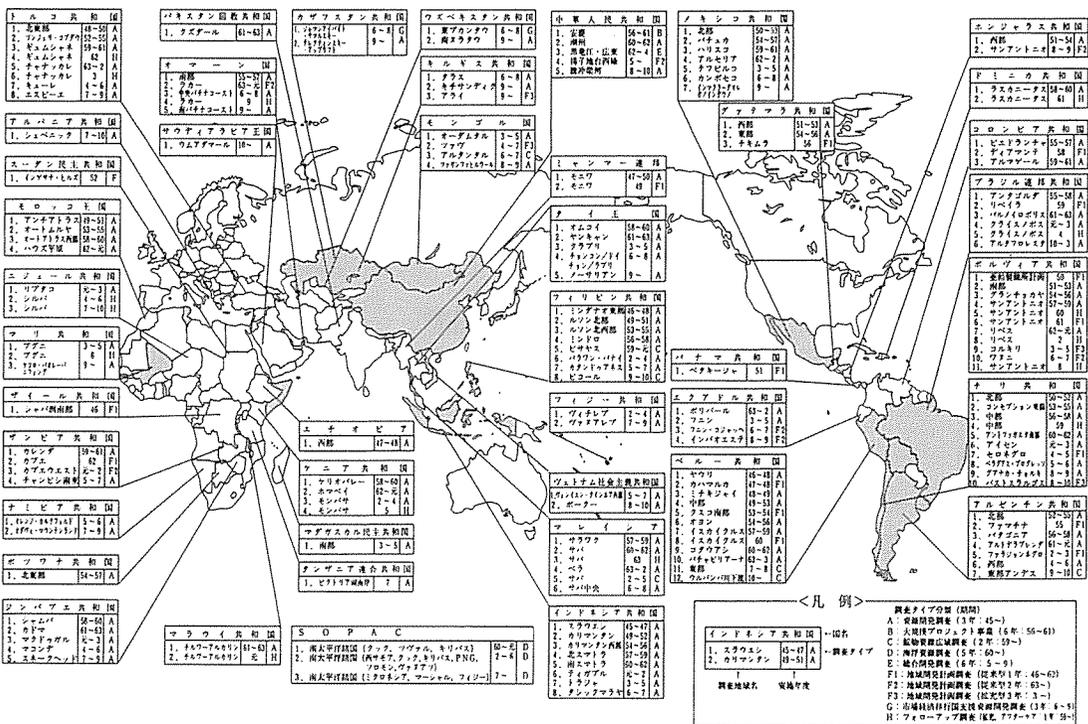
したがって、戦後の復興とその後の繁栄をもたらした



第4図 鉍物資源開発の流れと鉍業政策⁵⁾

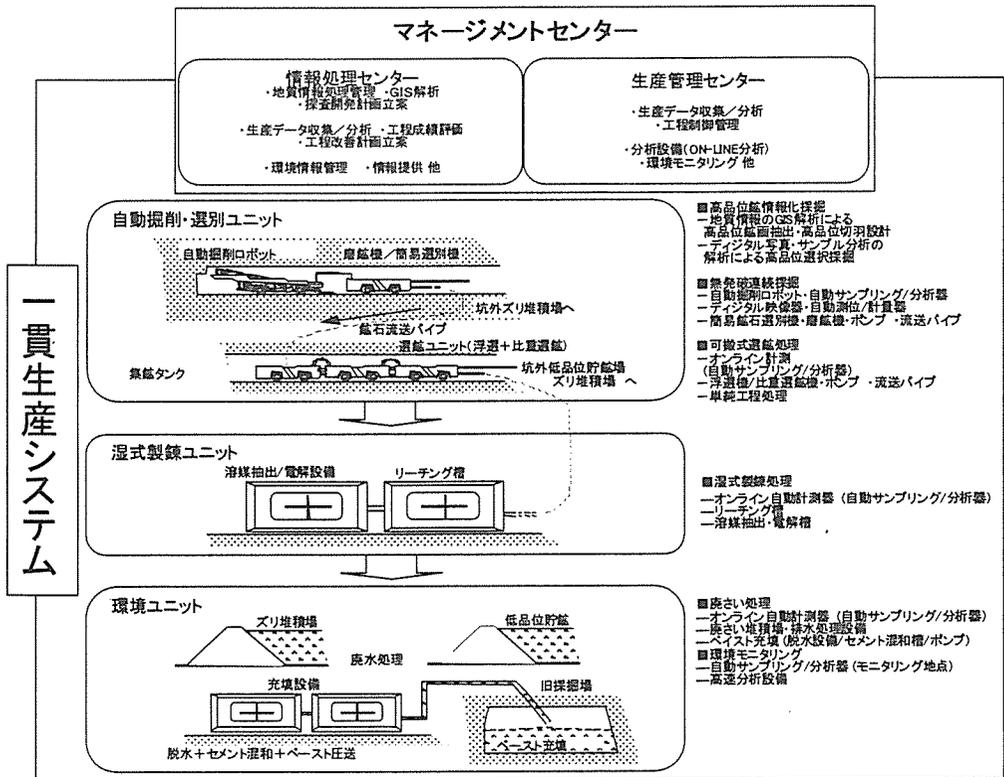
第3表 海外探鉱開発促進策⁶⁾

| | 情報収集 | 基礎調査 | 企業探鉱 | 開発 |
|---------|--|---|--|---|
| 金属鉱業事業団 | 海外長期調査員の派遣 13ヶ国（ロンドン、パリ、ニューヨーク、キャンベラ、リマ、マニラ、メキシコシティ、北京、バンコック、バンクーバー、ヨハネスブルグ、サンチャゴ、アルマティに調査員を派遣し、政府機関、現地企業等から情報収集、資源情報センターで分析等を行う 資源情報センター経費 海外鉱業事情調査、鉱山関係有力者招聘等の実施 資源情報協力事業 資源保有発展途上国に対する鉱山技術指導の実施等 | 海外衛星画像解析調査 （事業団が実施） 衛星画像解析、現地調査の実施 補助率：定額 海外地質構造調査 （事業団が実施） 補助率： ボーリング、坑道 1/2 その他（地質調査、地化学探査等） 3/5 海外共同地質構造調査 （助成金の交付） 助成率：民間企業負担分の1/2以内 | 一般貸付（先進国） 比率：原則70%以内、特例80% 利率：2.85% 償還期間：15年以内（うち据置5年以内） 特定貸付（全域） 比率：原則50%以内、特例70%以内 利率：2.85% 償還期間：15年以内（うち据置5年以内） 特別貸付（全域） ウラン 比率：原則50%以内、特例70% 利率：2.85% 償還期間：18年以内（うち据置8年以内） レアメタル 比率：原則30%以内 利率：2.85% 償還期間：18年以内（うち据置8年以内） 出資（全域）原則50%以内、特例80%以内 （注：利率は平成11年2月1日現在） | 開発資金債務保証（全域） 保証限度：市中銀行80% 輸銀50% 保証料：0.4% |
| 他機関 | | | 海外経済協力基金 一般融資（発展途上国） 比率：原則70% 償還期間：8年以内 （うち据置5年） | 日本輸出入銀行 開発資金融資（全域） 比率：原則70% 償還期間：5～10年以内 |
| 目的 | 海外諸国の資源に関する情報の収集 | 資源賦存地帯の発見 鉱床の存在・位置・範囲の確認 新規鉱床有望地域抽出・評価 | 鉱量の確認（干渉・推定・確定） 経済性の評価（商業的規模で市場性をもちうる量の鉱石もしくは鉱物の存在の確認） | 商業的規模での開発 |



第4表 鉱業振興マスタープラン調査JICA応募要領の例[※]

| | | | | | | | | | |
|---|-------------------|-----------------|--------------|--------------------|--------|-------------|------|--|------------|
| 調査担当部署：JICA 鉱工業開発調査部 | | | | | | | | | |
| 国名：アルメニア | 案件名：鉱業振興マスタープラン調査 | | | | | | | | |
| <p>1 調査目的</p> <p>本調査の目的は、アルメニア国鉱業振興マスタープランを策定することである。本マスタープランでは、鉱業振興のための明確な戦略とアクションプログラム（具体的な開発計画）、並びにマスタープラン実施のための環境を整備するための政策提言を提示することになる。なお、マスタープラン策定にあたっては、民間企業の育成及び国有企業の民営化・構造改革の動向に留意するものとする。</p> | | | | | | | | | |
| <p>2 調査の範囲及び内容</p> <p>(1) 調査対象地域：アルメニア全域</p> <p>(2) 調査内容</p> <p>ア 関係資料の収集・分析</p> <p>(ア) 国家開発計画、その他の国家経済、構造改革、国有企業民営化、地方分権等</p> <p>(イ) 法体系・税法系、内資・外資による投資を含む鉱業活動（探鉱、採鉱、選鉱、精錬）の状況、関連インフラの整備状況、公的機関の体制、国営・民間企業の技術・経営状態、環境保護等</p> <p>(ウ) 地理、気象、地形、地質情報</p> <p>(エ) ベースメタル、レアメタル、貴金属及び工業資源等に関する資源ポテンシャル情報</p> <p>イ アルメニア経済における鉱業の役割の明確化</p> <p>ウ ケーススタディの実施</p> <p>(ア) モデル鉱山/施設の選定</p> <p>(イ) 経営・運営、技術及び人材配置、生産規模、設備、運営資金、環境対策等に関するケーススタディの実施</p> <p>エ GISデータベース及びウェブサイトの設計・構築</p> <p>オ マスタープランで対策を提言すべき問題の抽出</p> <p>カ マスタープランの策定</p> <p>(ア) マスタープラン：2013年までの10年間の開発方針</p> <p>(イ) アクションプログラム：5年間の開発計画</p> <p>(ウ) 政策提言：効果的なマスタープラン実施のための体制整備に係る提言</p> <p>(3) 主要な調査分野</p> <table border="0"> <tr> <td>ア 団長/総括イ 鉱業振興政策</td> <td>ウ 鉱業関連法・組織体制</td> </tr> <tr> <td>エ マクロ経済オ 鉱業会計・経営診断</td> <td>カ 探鉱技術</td> </tr> <tr> <td>キ 冶金技術 ク 地質</td> <td>ケ 環境</td> </tr> <tr> <td></td> <td>コ データベース構築</td> </tr> </table> | | ア 団長/総括イ 鉱業振興政策 | ウ 鉱業関連法・組織体制 | エ マクロ経済オ 鉱業会計・経営診断 | カ 探鉱技術 | キ 冶金技術 ク 地質 | ケ 環境 | | コ データベース構築 |
| ア 団長/総括イ 鉱業振興政策 | ウ 鉱業関連法・組織体制 | | | | | | | | |
| エ マクロ経済オ 鉱業会計・経営診断 | カ 探鉱技術 | | | | | | | | |
| キ 冶金技術 ク 地質 | ケ 環境 | | | | | | | | |
| | コ データベース構築 | | | | | | | | |



第6図 コンパクトマイニングシステム

この他、日本が蓄積した鉱業環境技術を途上国への技術協力として必要な資器材と長期の専門家を派遣するプ

ロジェクト方式の技術協力にも携わっています。このような資源開発にかかわる業務のほか当社では土

壤汚染の調査・対策事業に力を入れております。なぜならば、土壌汚染は重金属を例にとると最初に汚染状況の調査するところは探査技術、必要なところの掘削除去は採鉱技術、除去した土壌の洗浄は選鉱技術、金属の回収は製錬技術が応用できるからです。

4. コンパクトマイニングシステムの構想

資源開発のコンサルタントとして豊富な経験を活かすとともに常に新しい発想での技術開発を念頭においておくことは臨機応変に対応できる要素であるといえる。マダダ夢物語の域をでないかも知れないがコンパクトマイニングシステムの構想についてお話しします。

メジャーによる大規模鉱床の開発が進んでいる一方で中小規模鉱床の開発が取り残されている傾向がある。また、新規鉱床が発見された場合でも資金面で全貌が把握できないこともあるし、小規模鉱床の開発を進めていく中で大規模鉱床の開発の手がかりとなることもある。また、こうした小規模の鉱床の開発が可能になれば地域社会の発展に大いに貢献する。したがって、小規模でも高品位鉱床に注目し、最近の機械化、自動化、小型化技術、湿式処理技術、情報技術等を組み合わせた鉱山の生産システムの開発を創造していくことも必要性があると考えられる。第6図がコンパクトマイニングシステムの構想図である。勿論これには個別技術の研究開発とフィールドテストを実施していく必要があるが、構想の骨子は次のようなことを考えている。

- ① 高品位部の優先開発：高品位部の開発を優先させ、投下資金をできるだけ早期に回収する。また、開発中に発見された低品位鉱は次世代資源として温存する。
- ② 探鉱開発の一体化：開発段階および生産段階で得られた各種地質情報等はオンラインでGISに取り込み、地質構造・鉱化のメカニズムを解析する。解析によって得られた結果は次の開発に反映させる。また、生産現場には直接フィードバックし、採掘品位のコントロールを行う。
- ③ ユニット方式による一貫生産システム：工程単位ごとに設備を編成し、これらをつなぎ合わせた生産システムとする。また、鉱石から金属の生産に至るまでの一貫生産体制とし、各ユニットは自動掘削・選別ユニット、湿式製錬ユニ

ット、環境ユニットとする。自動掘削・選別ユニットは切羽で岩盤の物理特性を検知しながら掘削し、同時にサンプリングできる自動掘削ロボットの開発が必要である。また、掘削ロボットが切り出した掘削粉は比重選鉱法等による鉱石とズリの自動選別機の開発が必要となる。湿式製錬ユニットはリーチングによる回収法とするが、銅や金以外の鉱種に適用できる処理技術が必要となる。

- ④ 環境保全：開発、生産段階で発生する廃棄物はペースト充填等により最小限の堆積場とし、低品位鉱は分別しストックする。

このような開発ができれば鉱山開発のチャンスも増え、そこに初めて資源開発におけるコンサルタントの役目が見えてくるかも知れない。

5. おわりに

グローバル化する市場経済の下では資源開発も競争力が大きな要素であることには変わりはありません。そのためには、優良な鉱床発見・獲得が最大のキーポイントではありますが、非常に難しい状況にあると言わざるを得ない状況にあります。そこで、中小規模でも開発できる技術開発の重要性についてお話させていただきました。しかし、国内鉱山が少なくなっている現在、鉱山技術者の養成も難しくなっており、我々資源コンサルタントも少しでも貢献できればと考えております。

- 1) 資源エネルギー庁：鉱業便覧平成12年版、270-271、(2000)
- 2) 資源エネルギー庁：鉱業便覧平成12年版、212-213、(2000)
- 3) 三井金属鉱業(株)社内資料
- 4) 資源エネルギー庁：鉱業便覧平成12年版、264-265、(2000)
- 5) 資源エネルギー庁：鉱業便覧平成12年版、256-257、(2000)
- 6) 資源エネルギー庁：鉱業便覧平成12年版、278-279、(2000)
- 7) 資源エネルギー庁：鉱業便覧平成12年版、282-283、(2000)
- 8) 国際協力事業団：鉱工業開発調査募集要領、(2001)

論 文

「シンプル&クリーン」を特長とする 新しい水素吸蔵量測定装置の開発 - 水素吸蔵合金の研究現場より -

門 野 純 一 郎*

The Development of Remarkably “Simple & Clean” Equipment to
Measure Quantity of Absorbed Hydrogen.
- A Report from Researching Site of Hydrogen Storage Alloys -

Jun'ichirou KADONO

Abstract

This equipment has next specific points.

1. Remarkably simple structure.
2. Super low price.
3. Super clean.

1. 結 言

筆者らのこれまでの研究では、金属中の微量な水素が金属物性に及ぼす影響を sub-ppm レベルの微量水素の定量的な分析値にもとずいて明らかにすることができた^{1), 2)}。金属中の水素と一口に言っても、どうも水素脆性を引き起こす悪玉水素と、いてもいなくても人畜無害なスカスカの水素との2種類に分かれそうだという実験的証拠を見出した。この時は、あらかじめ水素を吸蔵した電解鉄から水素を放出させることによって金属中の水素量をコントロールした。測定法は不活性ガス中加熱・融解・カラム分離・熱伝導度法である。

次に、京都大学金属系の恩師である某先生から指導を受け、金属中に積極的に水素を吸蔵させる実験を試みた。まず大気圧高温下で水素と金属とを反応させた。まず水素炉を作製しFe, Ni, Cr, Cu, Y, La, Ceを300K-700Kの各温度で3600s水素化処理したところ、遷移金属はほとんど水素を吸わずむしろ若干放出していた。ランタノイド金属Y, La, Ceは、いったんは水素を吸ったようであるが空気中に出してしばらくすると自然発火して、ホタルのように赤く輝きながら空中浮遊し、水素分析した時には水素があまり残っていなかった。代表的な水素吸蔵合金であるLaNi₅にて同様の実験を行ったところ、高

圧では水素を吸蔵したようであるが、圧力を大気圧に戻した時点で水素を急激に放出し、この方法（不活性ガス中加熱・融解・カラム分離・熱伝導度法）では全く測定できなかった。某国立研究所（当時）に相談に行ったところ、「そんな方法で測定できるのか？」と驚きと疑問の声。それもそのはず、水素吸蔵合金中の水素量はジーベルツ法と呼ばれる圧力法で測るのが常識中の常識、実験のイロハであった。ところが筆者らは分析技術者であったからカラム分離法装置の世界に住んでおりジーベルツ法装置のような金属材料研究の世界から遠かった。だからカラム分離法装置で無理矢理測定するという非常識なことをやっていたのである。（ところがこの非常識な測定法がかえって良い場合もあることに後から気付いた。特に圧力法では測定の難しい放出しにくいものの測定には有利のようだ。現在実験進行中。）Cu-Y合金作成、水素炉の作製とそこまでは先生の指導に無理矢理ではあるがなんとかついていっていたが、ついに、ここでついていけなくなった。放出しやすいものは全く測定できなかった。先生からは「何でできないのかね」とのお言葉。筆者は実験技術者である。理論家の先生方に現場の苦勞はわからないだろう。相手は爆発性ガスである。安全対策だけで神経が磨り減る。しかし何度も強く言われる「何でできないのかね」。そればかり言われる。そこで筆者は思った。測定原理は簡単だ。合金が水素ガスを吸収すると周りの水素ガス圧力が低下するので、その圧力差を測定してやればよい。だから測定原理から出発して考え、最短コース（すなわち最少の予算、最少のマンパワー、最少の時間）でできるシンプル装置なら自作できるだろうと判断し、装置を実際に組み上げた。ところが装置性能が出ない。わずかにリークしていて、そのリー

*京都市工業試験場

ク箇所の特定ができない。測定原理から言って、精度をよくするためには圧力差が大きくなるよう作ればいだろう、そのためには測定系体積を小さく作ればいだろうと考え、測定系体積をできるだけ小さくした結果、測定系体積は15mlとなった。空間は15mlしかないが継手やバルブの数は非常に多い、この空間に10.00 MPaという高圧水素ガスを密閉して一晩放置しても10.00 MPaを保つ「シール技術」が必要である。微量リークを止めるためにさまざまな配管技術を駆使した。その配管技術が次の高精度多機能装置開発に生かされた。次に逆の発想でシンプル化を徹底的に押し進めた装置を開発したところ、予期せぬことが起こった。高価な高精度多機能装置より使いやすい点が少なからず発見されたのである。それを報告する。なぜシンプルな装置のほうがいいのか？それにはまず精密測定の難しさを理解する必要がある。

2. 精密測定 of 難しさ

2.1 精密測定 of 難しさ

自作技術³⁾ から得られた配管技術を基に、究極の自動高精度測定装置を開発し、所定の性能出しに成功したことを報告した⁴⁾。

ここで測定精度を高めたり、自動化を進めたり、測定領域を広範囲にすればするほど装置はより複雑になっていく。その結果、配管継手の数が幾何級数的に増大する。継手の数が増えるとリークの可能性は予想以上に増える。それは配管施工技術が抱える根本的な問題からくるものである。一方、測定原理³⁾ から言って測定精度を高めようとすればするほど、より精密な圧力測定技術が求められる。したがって、わずかなリークも許されない。膨大な数の配管継手の中で一ヶ所でもリークがあれば例えそれがわずかなリークであっても全ての高精度測定技術が無に帰するのである。ここで問題にしている高精度測定技術とは、例えば圧力センサーから取り出された精密電気信号の伝送配線の取り回しをちょっと変えただけでも致命的なダメージを受けるような高精度測定である。圧力センサー自体の精度、圧力センサーをアクティブトさせる電源の精度、A/D変換ボードの精度が命であるから、わずかなノイズも大敵となる。電源から侵入してくるノイズや、誘導ノイズを主とする(と思われる)空中から入ってくるあらゆるノイズを一つ一つ丹念につぶしていかなければならない。携帯電話からの明らかなスパイクノイズが入った。また空調によって温度一定にしているでも昼間と夜中ではどうしても温度差が生じる。この温度ドリフトは電気測定回路のドリフトを招く。電気測定回路に必ず入っている抵抗器なるものは概して温度ドリフトが大きいのである。また温度ドリフトは気体の状態方程式に従って必然的に圧力ドリフトを招く。事

実、測定中ドアを開けて外から冷気が入って来ると、測定値が明らかに変化した。もちろん、温度を白金測温抵抗体という非常に高精度な温度センサーで測り圧力に補正をかけるのであるが、装置全体を完全に均一温度にすることはできないので、いくら温度センサーの精度を上げたところで温度補正には限界がある。この他にも、測定精度を高めるには膨大な数のモグラたたき(デバッグ)が求められる。これらを一つ一つ丹念につぶしていって初めて得られるのが精密測定技術である。

2.2 リークとの戦い

前に述べたように膨大な数の配管継手のなかで一ヶ所でも、たとえそれがわずかなリークであっても、全て of 精密測定技術の努力が水の泡になる。したがって、わずかなリークも絶対しない配管技術が求められる。そのため、精密自動マシンの開発⁵⁾ では、全ての配管継手にVCR継手を精密溶接でつないでいく継手方式を使った。全ての機能部品(ストップバルブ、ニードルバルブ、圧力センサー、……)の取り合い口が一ヶ所でも低品位の継手であったなら、配管装置全体のシール性能が無に帰する。全ての機能部品自体のシール性、特にバルブのシール性は、外部シール性(いわゆる二次側シール性)、内部シール性(いわゆる出流れシール性)ともに高度なシール性がなくてはならない。その結果、装置のコストははね上がる。装置を自動化するなどして配管を複雑にすればするほど、装置コストは幾何級数的に高くつく。

2.3 装置の拡張性、フレキシビリティ

ところ狭しと並ぶ配管ジャングルは研究目的に合った装置改造を困難にする。研究というものには概して、進めば進むほど最適な装置が見えてくるものである。その結果、2台目、3台目でようやく求めていたデータが出始めるものである。配管のこの部分をちょっと変えたい、と思っても自動化測定マシンのような配管ジャングルを変更、改造するには、かなりの勇気と技術が必要である。コンピューターのプログラムと似たところがあって、ちょっとした変更が思わぬところに影響を及ぼし、バグとなり、致命傷となる。だがなぜそうなるのか、どうやったら直るのか、ささいなことに何日、何週間、何ヶ月と時間をとられる。例えば、わずかなリークのリーク箇所の特定制業は大変な手間である。全部配管し直した方が早い場合すらある。となれば、最初から高価な自動化装置を導入するより、安価でシンプルな手動装置からスタートの方が、何よりも改造が楽である。改造しているうちに、自然と配管技術が身に付いてくる。(配管技術は実に多方面の技術分野にわたって応用のきく技術である。)

2.4 開発のターゲット

開発のターゲットはズバリ、「シンプル&クリーン」

である。前述したように、自動化装置のような複雑マシンは研究の進展に合わせた装置の改良、改造、変更が容易ではない。出来合いの装置というものは、最大公約数的な最もありきたりな実験用に作られている。研究者というのは、まずは人と同じ実験をコツコツと繰り返すことも大切だが、いつかは、人と違うことをやりたいとねらっている。したがって、こういう人には装置は改造しやすく、シンプルなものの方が良いと言える。水素吸蔵量の測定原理自体は簡単なもので、はるか大昔ジーベルツが考え出した手法であり、JIS規格にも測定装置の原理フロー図が示されている。しかし実際の測定装置は案外複雑なもので、これを使う現場の苦勞は相当なものである。当然、シンプルな装置ほど作業性に優れる。最初から複雑な装置を完成品として持たされると、中味がどうなっているのか考える気も起らないものである。いきなりブラックボックスとして扱われる。しばしば、ブラックボックスは使い手をもて遊び、振り回す。

他社品を参考にして、というかバラして同じものを作る、という安易な開発をせず、測定原理から出発して、最も単純な配管フローは何か？ という疑問からフローを決め、では最も安く単純な部品は何か？ という点から考えると、この部品はなくてもいいのではないかと、もっと安い部品でもいいのではないかと、圧力センサーは例えば最も低価格で今では誰もが「え？ ブルドン管？ そんなもので測れるの？」と驚く、最も原始的なセンサーでもいいのではないかと、その時、誤差はこのくらいだからまあ何とか使えるんじゃないか、という具合で前例にとらわれず作ったのがこの装置である。

その結果、予期せぬことが起った。高価な自動化装置より使いやすい点が少なからず発見されたのである。独自の減圧フローのため、減圧操作が従来機に比べてはるかに速い。従来装置は減圧操作が苦手で、配管内を高純度化する、配管内洗浄操作、いわゆるサイクルパージ操作を行うにはかなりの忍耐が必要であった。また真空ポンプに負担がかかっていた。もちろんこの時は自動モードは使えず、手動モードで行っていた。全て自動というわけにはいかないのである。今回開発した装置はサイクルパージ操作が非常に迅速であるため、気軽に配管内洗浄できる。このため、複雑な自動化装置よりかえって高純度な実験ができるようになった。

配管の汚れは蓄積で効いてくるものだからボディープローのように超高純度配管装置を汚染していく。これは、半導体製造装置用超高純度配管装置や、超微量分析装置でも同じ現象が起り、超高純度ガス用配管装置、超微量分析技術関係者全員の頭痛の種なのである。配管装置は複雑になればなるほど部品、継手が多くなり「たまり」が多くなる。精密配管装置は、実は汚れの貯金箱である。

ストップバルブ、ニードルバルブ、圧力センサー、減圧弁、継手、……一個でも汚い部品が紛れ込んでいるだけで、残り全部の膨大な高純度化努力が無に帰する。したがって、高純度化しようとするほど、コストは幾何級数的に高くなる。したがって、「シンプル」な装置は「クリーン」=高純度化という点では格段に有利なのである。

いかに配管を高純度化させるか？ある時は酸、有機溶媒等化学薬品の力で配管を洗浄する。またある時は真空ベーキング操作、ある時はサイクルパージ操作によって高純度化する。汚れとの戦いである。

一度でも汚いサンプルで実験したら、超高純度配管装置は無に帰する。したがって、汚いとわかっているサンプルはもちろん、汚いかもわからない疑いの少しでもある新種のサンプルは怖くて測定できないのである。例えば、最近注目されているカーボンナノチューブなど、超微粉材料や、水素化することによって分子状、すなわちガス状になる材料は、フィルターを通り抜け、配管全体を汚染し、バルブを次々とつぶしていく恐れがある。これを高価な自動装置にかけて装置をつぶし、その結果、「水素を吸わなかった」というデータが出ただけ、ということになる。その点、低価格マシンは未知のサンプルに積極的に挑戦していける利点を持っている。

2.5 スクリーニング機能に特化

水素吸蔵合金を構成する元素の組み合わせは莫大な数である。その莫大な組み合わせの中で特定のあるものだけが水素を吸うのである。1個の「あたり」の陰には「はずれ」の山ができていて、と考えたほうがよい。「あたり」を探すにしても基礎研究をするにしても、系統的に合金を溶解作成した後水素を吸うのか、吸わないのか、まずはスクリーニングをかけていくことがどうしても必要となる。合金が何気圧で水素を吸うのか、何度で吸うのか、1時間で吸うのか、1週間でやると吸うのか、それとも全く吸わないのか、全くわからない状態からスタートする。自動化装置といえども、ここのリサーチは手動でやるしかない。コンピューター制御による自動化装置は、決まりきったことを繰り返す操作をやらせると人間には到底できないことを正確にこなす。しかし、全くわからないことはコンピューターにはできないのである。吸うとわかった有望な材料に対してPCT曲線を測定する段階にきて初めて自動装置の値打が出るのである。

多数の未知の材料を次々とスクリーニングしていくような時、「シンプル&クリーン」な小型、低価格装置を数多く持っている方が有利だと考えられる。研究の場合、1週間とか1ヶ月とか長時間かけなければ吸わないものも実験するし、瞬間的に吸いきってしまうものも実験す

るので、数多くのスタンドアローンの測定機が欲しい。自動化装置のほとんどは、各チャンネルが完全には独立して測定できない。したがって、最も遅いサンプルにベースを合わせざるをえない。また、合金の中には、超高純度水素ガスがすこしでも汚れると極端に吸いにくくなるものがけっこう多い。その場合でも「シンプル&クリーン」な低価格装置が多数欲しい。汚いサンプル専用機と超高純度専用機が欲しいからである。

3. 実験方法

3.1 試作装置の製作

「シンプル&クリーン」を設計コンセプトとした試作装置には以下の部品が使用された。配管材料：外径1/4インチのステンレス管。バルブ：ダイアフラムシールバルブ（接ガス部：高純度仕様）。継手：スウェージロック社製のもの。減圧弁：ユタカ社製の超高純度ガス用（真空シール性：ヘリウムリークディテクタークラス）。圧力ゲージ：ブルドン管式のもの（完全禁油仕様，真空シール性：ヘリウムリークディテクタークラス）。全体は平面に配置され、金属製キャビネットにおさめられた。バルブ等の配管部品が脱着しやすいよう、配管とりまわしは、株式会社エールシステム独自の技術によって設計され施工された。外形は、幅340mm、奥行き400mm、高さ200mmで、バルブのOPEN、CLOSE状態が上から一目でわかるよう、キャビネットの上面は透明アクリル板とした。アクリル板は、簡単に脱着できるスナップ取り付け方式とした。ここまでは株式会社エールシステムによって作製された。

3.2 装置のつなぎこみ

できあがった試作装置に反応系、減圧系、真空排気系、超高純度水素ガス供給系、およびヘリウムガス供給系をつなぎこんだ。

3.3 システム全体のシール性チェック

つなぎこんだ装置全体を1.27MPaのヘリウムガスにて充滿し、約2ヶ月間放置し、圧力減少しないかどうかを観察することによってシール性をチェックした。

3.4 ブルドン管式圧力ゲージの校正

できあがった試作装置の圧力ゲージ校正作業を行った。本試作装置に、精密圧力センサー（半導体歪ゲージ式、TEMtech研究所製、精度0.3%F.S.）をつなぎこみ、ブルドン管式圧力ゲージに校正をかけた。校正は、段階的に圧力を上昇、下降させ、十分に圧力がおちついた後、両者の読み値を記録し、これらの値をパソコンに入力し、高次式にてカーブフィッティングをかけ、最もフィットする高次式を得、これを校正式とした。

3.5 水素吸蔵量測定誤差の検討

校正をかけたブルドン管式圧力ゲージを用いて、最も

一般的な合金LaNi₅の水素吸蔵量を測定し、本試作装置によるおおよかな測定値を得た。つぎに、精密圧力センサー（キャパシター方式、セトラ社製、精度0.1%F.S.）を用いた全く別の装置（自動型）にて全く同じサンプルを測定し、精密な測定値を得た。おおよかな測定値と精密な測定値とを比較し、誤差の検討を行った。

3.6 装置配管内高純度化（サイクルパーージ）

装置配管内を真空にしたり、高圧超高純度水素ガスを充填する繰り返し作業、いわゆるサイクルパーージを行ない、装置配管内を超高純度化させた。この時、高圧状態から真空状態まで圧力を落とすのに、従来方式では、真空ポンプに装置配管内のガスを少しづつ送り込んで、少しづつ減圧していたが、本装置では独自の特殊な迅速減圧システムによって迅速な減圧を行った。超高純度水素ガスでのサイクルパーージを10回行った。

3.7 反応容器の挿入、取り出し作業

反応容器のマントルヒーターへの、挿入、取り出し作業、Water-Bathへの、挿入、取り出し作業が、従来は大変手間がかかり、かつチューブの内径を狭め、継手に負担をかけていた。本実験では、これらの問題をクリアする特殊な方法により、迅速かつ安全な挿入、取り出し作業を行った。

4. 実験結果および考察

4.1 シール性、コンパクト性

シール性：装置配管全体に1.27MPaの水素ガスを張って2ヶ月後でも1.27MPaを保持していた。この圧力でのシール性は十分であった。

コンパクト性：本装置は幅340mm、奥行き400mm、高

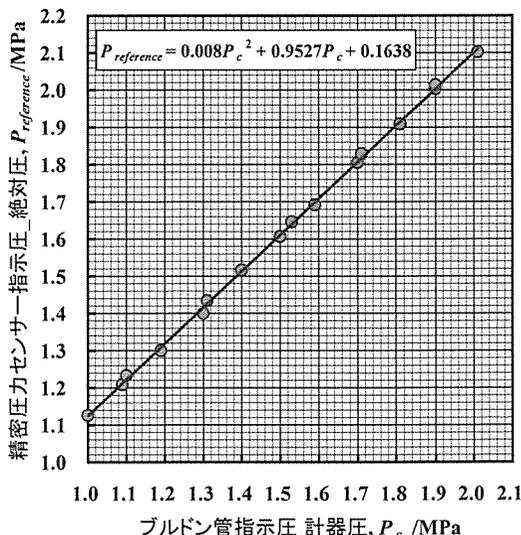


図1 ブルドン管指示圧-精密圧力センサー指示圧 (1-2MPa)

表1 サイクルパーシ(2 MPa真空)10回に要する時間

| 従来型装置 | 本装置 |
|--------|-----|
| 2時間30分 | 15分 |

表2 本装置の測定精度(絶対値の確からしさ)LaNi₅の最大水素吸蔵量H/M

| 全自動型 | 本装置 |
|-----------|------------|
| 精密測定値 | おおまかな測定値 |
| 高精度圧力センサー | ブルドン管圧力ゲージ |
| 1.07 | 1.09 |
| 1.08 | 1.10 |
| 1.11 | 1.11 |
| 1.10 | |

さ200mm(本体のみ)とコンパクトであった。(一般的な精密自動装置は通常、一部屋占拠する大きさ。かなりコンパクト化しても加熱炉や恒温槽を含めると少なくとも3m×3mは必要。)

4.2 ブルドン管式圧力ゲージの校正結果

ブルドン管式圧力ゲージの校正結果の一例を図1に示す。ブルドン管式圧力ゲージの指示圧は1MPaから3MPaまではリニアであったが1MPa以下は低圧側ほどリニアリティが悪かった。このようなブルドン管でも、校正をかけてやることによって十分使い物になることがわかった。

4.3 サイクルパーシの迅速性

従来方式では、真空ポンプに装置配管内のガスを少しづつ送り込んで、少しづつ減圧していたが、本装置では独自の特殊な迅速減圧システムによって迅速な減圧を行った。その結果、超高純度水素ガスでのサイクルパーシ10回に要する時間は表1に示したように大幅に短縮された。

4.4 水素吸蔵量測定誤差の検討結果

水素吸蔵反応曲線を図2に示す。ブルドン管方式でも通常の実験ならば、実用上何ら問題なかった。最大水素吸蔵量H/Mの絶対値を表2に示す。全く異なる実験装置での測定値とかなりの精度で一致した。このことから本測定装置の測定誤差は通常の実験では十分小さいことがわかった。

5. ま と め

- (1) 測定原理から出発して考え、装置のシンプル化を徹底的に追求した設計の水素吸蔵量測定装置を開発した。
- (2) その結果、従来装置にくらべて配管のクリーン化が容易になり、その結果、従来装置にくらべて高純度な測定が可能となった。

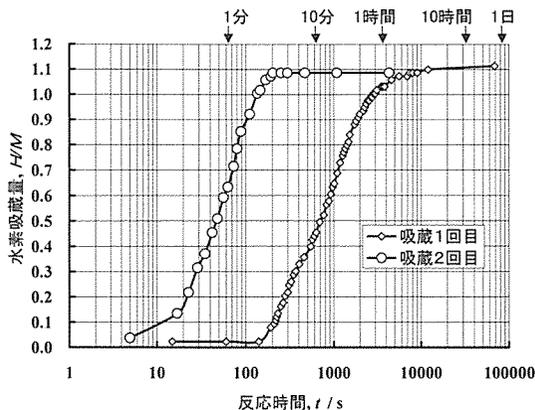


図2 水素吸蔵反応曲線

303 K, 2 MPa (標準合金LaNi₅, 523 K/7200s活性化, 簡易型水素吸蔵量測定装置—エールシステム—京都市工業試験場1号試作機による)

- (3) 作業性を第一に考えた結果、従来装置にくらべてサイクルパーシ操作による配管洗浄が迅速かつ簡単になった。その結果、従来装置にくらべて高純度な測定が可能となった。
- (4) 装置のシンプル化を徹底的に追求した結果、徹底的に低価格化できた。
- (5) その結果、スタンドアローンの装置を数多く持つことができるようになった。これは従来の高価な自動化装置ではできないことであった。その結果、汚いサンプル専用機と超高純度実験専用機を使い分け、配管を汚すおそれのあるサンプルに対しても積極的に挑戦していけるようになった。これは従来の高価な自動化装置ではできないことであった。また、超高純度実験専用機を持つことによって、従来にない超高純度実験が可能となった。
- (6) 本装置の測定精度は低く、おおまかな値しか得られない。しかし、数多くのサンプルを作成し、まずは「吸うのか?、吸わないのか?」を次々とじゅうたん爆撃的に測定する場合、高価な自動化装置は必要ない。数多くの全く未知のサンプルにスクリーニングをかけ、有望なものを探し出すような実験には、むしろ本装置のほうが向いている。
- (7) 本装置は構造がシンプルなため改造が容易である。例えば、測定精度にこだわるのであれば、圧力センサーをより高精度なものに交換していけばよい。研究目的に合わせて装置を改造していくような研究者にはむしろ本装置の方が向いている。

6. 商 品 化

以上のような、「シンプル&クリーン」で、スクリーニング機能に特化した、研究現場のニーズから生まれた

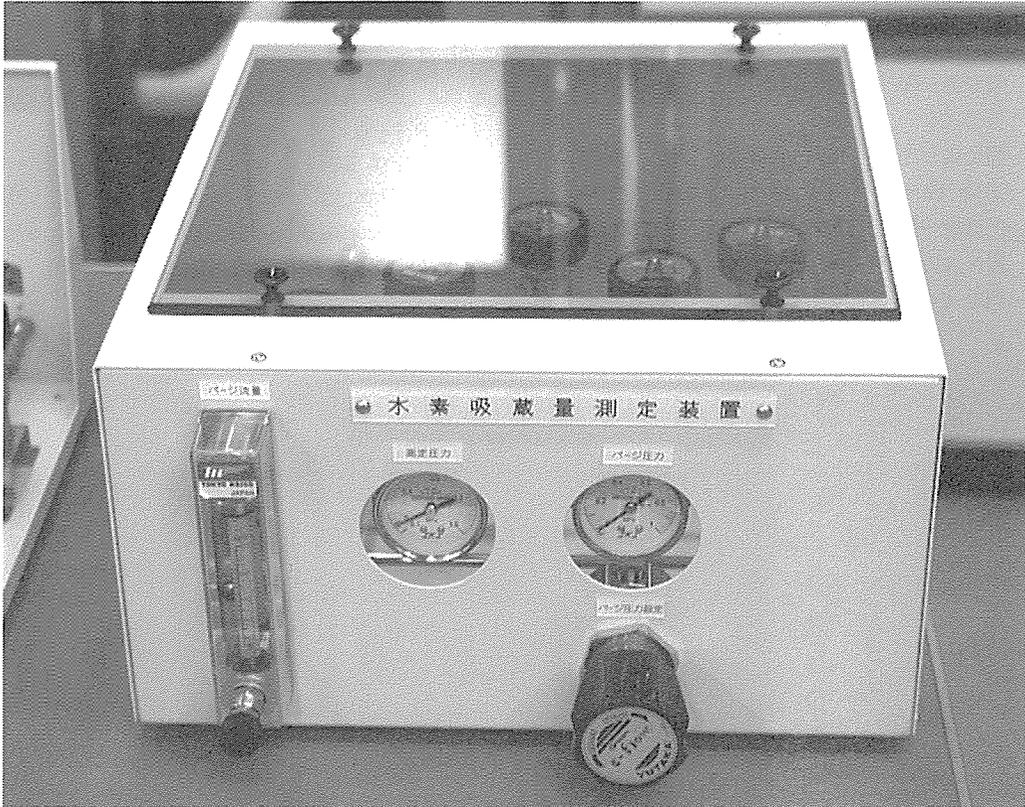


写真1

技術を、半導体製造装置用超高純度配管装置や超微量分析装置用精密配管を得意とする企業である株式会社エールシステム（本社：京都市東山区）に技術移転し、商品化した。商品化した装置の本体部の外観を写真1に示す。

7. 研究をサポート

水素吸蔵合金元素の組み合わせ数は莫大である。苦勞して合金を溶解作成しても水素を放出することはおろか全く吸わなかった、という結果に終わることはザラにある。LaNi₅系のようなすばらしい特性を持った合金にあたるのは宝くじなみの難しさだ。すでに「あたり」とわかった合金系のあたりを研究すれば、「はずれ」はない。だがそこはまさに「草狩り場」。後から少ない予算と人員で参入しても、そこにはベンベン草ひとつ生えていない。筆者らは、ありがたいことに京都大学金属系の先生方のオリジナリティーあふれる新理論による指導のおかげで「他とちがう」合金、金属で実験できた。また、単に実験したら結果こうなった、という羅列に終わることなく新理論にもとづいて実験事実の整理ができた。その成果を International Symposium on Metal Hydrogen Systems - Fundamental and Applications - Anncey, France, 2002にて2

報“HYDROGEN ABSORBING CHARACTERISTICS OF R-M (R = La, Ce ; M = Co, Rh, Ir, Ni, Pd, Pt) BINARY SYSTEMS”⁵⁾、 “HYDROGEN - ABSORBING CHARACTERISTICS OF 15 RARE-EARTH ELEMENTS”⁶⁾ を報告した。

謝 辞

研究を指導していただいた京都大学金属系の田邊晃生先生、山本悟先生に感謝いたします。この装置の試作機製作、商品化は、平成13年度地域ベンチャー中小企業等商品化・新事業可能性調査事業の一環として、京都市地域プラットフォーム 中核的支援機関（財）京都高度技術研究所が、株式会社エールシステムに委託して実施された。同研究調査事業のうち、マーケティング調査は、京都市内のシンクタンクである、株式会社地域社会研究所に委託して実施された。マーケティングにおいては、水素吸蔵合金を長年にわたって研究してこられた研究者との面談をセッティングしてくださいました岩田均氏（元：株式会社地域社会研究所、現在：星城大学経営学部教授）に感謝いたします。

参 考 文 献

- 1) 門野純一郎, 西内滋典: 京都市工業試験場研究報告No. 24, p. 1 (1996)
- 2) 門野純一郎, 西内滋典: 京都市工業試験場研究報告No. 25, p. 6 (1997)
- 3) 門野純一郎, 西内滋典: 京都市工業試験場研究報告No. 27, p. 1 (1999)
- 4) 門野純一郎, 西内滋典: 京都市工業試験場研究報告No. 29, p. 8 (2001)
- 5) J. Kadono, K. Hirano, S. Nishiuti, S. Yamamoto, T. Tanabe, H. Miyake: International Symposium on Metal Hydrogen Systems - Fundamental and Applications - Anncey, France, 2002, No. 022
- 6) K. Hirano, J. Kadono, S. Yamamoto, T. Tanabe, H. Miyake: International Symposium on Metal Hydrogen Systems - Fundamental and Applications - Anncey, France, 2002, No. 021

講 座

金属学とその研究手法の進歩
— 研究生生活を顧みて〔I〕

村 上 陽 太 郎*

Progress in Metal Science and Its Research
Technology-Look Back upon My Research Life〔I〕

by Yotaro MURAKAMI

はじめに

本年(2002年)も、6月22日(土)の水曜会大会に出席した。いつもながら同窓の方々にお目にかかれて嬉しかった。特に研究室出身の福田健氏の特別講演「金箔から電解銅箔まで—京都の金箔屋300年の歩み」には感銘を受けた。また出席者の中では、1939年(昭和14年)に採鉱冶金学科冶金科に入学した村田信氏と私の2人が最年長であったことは感慨ひとしおのものがあった。最近の水曜会誌は年1回発行され、内容も充実し、会員の消息や教室の状況も知ることができて、重宝に思っている。8月中頃に編集委員長の村上正紀教授から、「講座」に3回寄稿して欲しいという依頼を受けた。若い時代には何回か論文の寄稿をしたが、其後はそのような機会は全くなかったので喜んでお引受けすることにした。

最近の金属学(ドイツ語の“Metallkunde”は古くからあったが、“Metal Science”という英語の言葉は新しい)は、私が若かった古い時代とは、その様相は全く変貌する程進歩している。私は1942年(昭和17年)から研究生生活に入り、1981年(昭和56年)4月1日付で、京都大学は定年になり、すぐに移った関西大学で、1988年(昭和63年)定年になる迄約46年間、金属学、金属材料学の教育と研究に従事した。その後も、ニューマテリアルセンター所長(1997年(平成9年)3月辞任)として、金属系新素材・新技術に深く関わってきた。最近も毎月来る内外の専門誌を見ることが楽しみにになっている。このように、私の金属学、金属材料学との付き合いは、60年余に及び、種々のことを経験してきた。その間の金属学とその研究手法、研究機器の進歩には、驚き

の外はない。

私の辿った金属学とその研究手法の進歩の歴史を、私の研究生生活を顧みて書いてみたいと考えたので、表題のような題目で、専門外の方々にも読んで戴けるように、配慮を加えて、3回に分けて執筆することにする。第1回は、私の研究生生活の経歴と背景を書き、私の研究分野の大きな柱の一つである合金状態図の研究について私の研究と現在の進歩に就いて書く。

1. 私の金属学の研究生生活

1.1 私の金属学の出会いと¹⁾初期の研究²⁾

第三高等学校の第3学年に進級して、友人達にならって大学入試の準備を始めたが、当時は既に戦争の気配の濃厚な時代になっていた。大学生の先輩から、航空機や兵器に金属材料が極めて重要なことを聞き、冶金学科の内容も教えてもらい、合金の開発のような仕事をしてみたいという気持ちが強かったので、隣の京都帝国大学の冶金科(当時の採鉱冶金学科は採鉱科と冶金科に別れていた)に進学の希望を決めていた。大学の入学試験の口頭試問で、何故冶金科を選んだのかという質問があった。大へん気負った返答で、今考えると少し面映い気持ちがする。並んでおられた3人の教授の先生の確か右端におられた西村秀雄先生(その時は勿論お名前は判らなかつたが)の聡明なお顔の印象が強く残っている。この先生の指導を受けて研究をやってみたいという思いを強く感じたように思う。私の研究と生涯に決定的な影響を与えて下さった方との最初の出会であった。

入学して聴く専門の講義は新鮮で、興味が深かった。真面目に出席し、勉学にも力を入れた。当時ジュラルミンの研究で有名であり、日本金属学会(会長は本多光太郎先生)の副会長をしておられた西村秀雄先生の金相学、

*京都大学名誉教授(昭和17年、冶金卒)

金属材料学、金属加工法のノート講義は、わくわくするような気持ちで聴いた。しかし第2学年になった春に発病して1ヶ年の休学をする破目になった。1942年（昭和17年）9月に戦時中の措置で繰上げ卒業をした。上記の健康上の理由で兵役の関係がなく、大学に残して戴き、希望通り西村秀雄先生の指導を受けることになった。今から思うと在学中の病気の不幸が、却って幸運に繋がったようにも考えられる。人生は不思議なものである。

超々ジュラルミンの状態図と時効硬化に関するテーマを戴いた。Al-Zn-Mg-(Cu)系状態図の研究から始めた。当時の金属学の研究は状態図の研究が大きな柱であった。合金の調製と示差熱分析、示差熱膨張、熱処理と光学顕微鏡組織観察の明け暮れの毎日であったが、合金の組織を見る仕事は結構楽しいもので、早朝から夜遅くまで、実験と読書に費した。午前と午後の2回実験室に廻って来られる西村先生から、直接実験上のいろいろの事を教えて戴いた。金属学の初期の頃に書籍なども少なく、この上ない仕合せな日々であったに違いない。状態図の研究は、多くの実験手法が習熟できるので、初心者には恰好のテーマで、後々の研究に大へん役立ったことを感謝している。

日本金属学会第14回秋期大会が、1943年（昭和18年）10月26日から3日間（学術講演会は2日間、第3日は見学会）、広島市で当時の広島文理科大学で開催され、1ヶ年間苦心したAl-Zn-Mg系の状態図の研究発表を始めて行なった。座長の石田四郎先生（東京大学航空研究所教授）から、大へん複雑な状態図をよくまとめたとのお褒めの言葉を戴き、感激したことを覚えている。当時の日本金属学会の講演会は現在のように発表件数も多くなかった。当時のパンフレットを見ると講演題数は僅かに125題にすぎなかったが、発表後の質疑討論は活潑で、座長の批評も辛辣なものもあり、厳しいものを感じ、研究に立向う気持ちを昂揚させる貴重な体験であった。

日本金属学会の設立³⁾は、1937年（昭和12年）2月14日で、私の大学入学の僅か2年前である。私は秋に入会した。学会誌の論文はまだ十分に理解できなかったが、読むように努力した。専門家になったような気分になれた。採鉱冶金に関する科学と技術の全国的な学会として、日本鉱業会が、1885年（明治18年）に設立され、日本機械学会は、1897年（明治30年）の設立で、日本鉄鋼協会は1915年（大正4年）に日本鉱業会から別れて設立された。鉄鋼協会の設立までは、冶金に関する科学と技術の発展、啓蒙等はすべて日本鉱業会を核としていた。鉄鋼協会が設立されてからは、非鉄に分類される研究発表は、大部分は鉄鋼協会で行われ、一部日本鉱業会で発表されていた。非鉄分野の先生方にとっては、自分達の学会が欲しいという声は相当前からあり、折々に

議論されたが、本部を東京に置くか、仙台に置くかでなかなかまとまらなかった。最終的に本多光太郎先生が音頭を取られて、東京大学の冶金学科の先生方を抜きにして、本多先生が会長、副会長に西村秀雄、真島正市の両教授がなられたということで、学会発足までに相当複雑な事情があり、本多先生であればこそ出来たということであった。その学問の発展には、その分野の学会が必要である。日本金属学会が早期に設立されたことは幸いであった。

私の状態図の研究も一応軌道に乗ってきた頃、時効析出組織の研究を始めた。戦後しばらくして、海外の動向に刺激されて、我国でも島津製作所と日立製作所で、商品としての電子顕微鏡の開発が始まった。1948年（昭和23年）に島津製作所で5万ボルトの電子顕微鏡が試作され、西村先生の指示で、酸化被膜レプリカ法で析出組織の研究を始めた。同年の秋に、Al-4.2%Cu合金の θ' -CuAl₂の1万倍の析出組織の電子顕微鏡写真の撮影に成功した⁴⁾。多分我国で最初と思われるが、当時としては画期的なことであったと思う。翌年になって、当時の大阪府立工業奨励館に日立製作所製の市販第1号電子顕微鏡が設置された。館長の石田制一博士の御好意で、アルミニウム合金の時効析出組織の研究に利用させて戴けることになり、1週間に1~2回、1年半以上も大阪に通った。真空系統の故障や光軸合せ等で、1枚のよい写真を撮るのに現在では信じられない程の苦勞をした。今でもそうであるが、電顕観察には薄膜試料の作製が成果を左右する。レプリカ被膜の作成方法のコツを習得するまで大分時間がかかった。色々苦勞はあったが、光学顕微鏡では判らない微細組織が見えるので、成果は大きく、学会でも評価が高く、やり甲斐があった。

私は上記の如く、先の戦争の敗戦の少し前から研究を始め、その混乱時に本格的な研究生生活に入ったが、金属学の学問も初期の時代で、一般的な研究手法（物理冶金実験法⁵⁾）も古いもので、示差熱分析、示差熱膨張、電気抵抗、硬さ、引張試験、衝撃試験のような古典的マクロ的測定法があり、ミクロ組織検査では光学顕微鏡が主で、当時の西村研究室には、X線はガスイオン管球を用いてラウエ写真が撮れる装置があるのみであった。外国雑誌も金属学に関するものは、Journal of the Institute of Metals（英）、Transactions of the American Institute of Mining and Metallurgical Engineers（米）、Zeitschrift für Metallkunde（独）、Revue de Métallurgie（仏）等のback numberが教室の図書室に来ていたが、それらも1940年（昭和15年）頃には来なくなっていた。その他の雑誌は工学部の他の教室や理学部の教室に行けば見られるが、今日のような便利なコピー機がなく手間がかかった。

1.2 教授に昇任後の研究分野と経歴

1953年(昭和28年)2月に教授に昇任させていたが、学問や研究手法はあまり進歩はなかった。相変わらず朝早くから夜遅く迄実験に取りくむ毎日であった。其後の進歩は後で書くが、1981年(昭和56年)4月1日に京都大学を定年退職する迄に行ってきた研究は、上記の合金状態図と時効析出の分野から、徐々に発展・拡大してきた。研究を行うには、創意工夫と研究への情熱と努力の外に、優れた研究手法と実験機器と研究情報の速い取得が必要である。そのように心掛けて研究を進めた。非鉄合金の熱処理、半導体化合物の調製と物性、合金の応力腐食割れ、繊維強化金属複合材料、微細結晶粒超塑性等に就いて、学会で一応評価されるような研究を進め得たことは誠に幸福であった。第26回本多光太郎先生記念賞(1985年)、第35回日本金属学会賞(1990年)、第1回軽金属学会賞(1998年)等を受賞し、学生時代から憧れであったドイツ金属学会(現材料学会)の名誉会員(1981年)に推挙される等の栄誉が得られたのは、一緒に努力した人達の協力と援助のお蔭である。京都大学を退職後、ただちに関西大学工学部金属工学科教授に就任した。故亀井清先生の御尽力が大きく、常々今も感謝している。7ヶ年間、教育と研究に従事した。関西大学の定年の少し前、1986年(昭和61年)10月に新しく発足した(財)大阪科学技術センター附属ニューマテリアルセンター(NMC)所長に就任し、1997年(平成9年)3月に辞任するまで10ヶ年余、満80歳の少し前まで勤務した。NMCは新素材の試験・評価方法の確立、標準化・規格化の促進、データベースの構築、金属系新素材の利用促進のためのユーザー・メーカーの交流等を目的として設立されたもので、会員の会費と当時の通産省等の補助金で運営していた。かなり忙しい仕事で、苦勞も少なくなかったが、楽しい仕事であった。1990年(平成2年)より毎月1回発行することになった“NMCマンスリー”(現在は、NMCニュース)の“新技術・新

素材”の欄を担当し、A4版1頁に、その時々々のトピックスをまじえて、専門外の人々にも判り易く読んでいただくように執筆してきた。退職後も継続し、本年(2002年)10月154題目⁶⁾になるが、内外の最先端の研究から題目を探ることが楽しみの一つになっている。京都大学を退職後、公務員としての制約がなくなったので、頼まれるままに、アルミや銅のいくつかの会社の顧問を引受けてきた。工業上の実際の問題に対しても、従来の基礎的知識が役立っている。現在も先端的技术の諸問題に関係できることに感謝している。

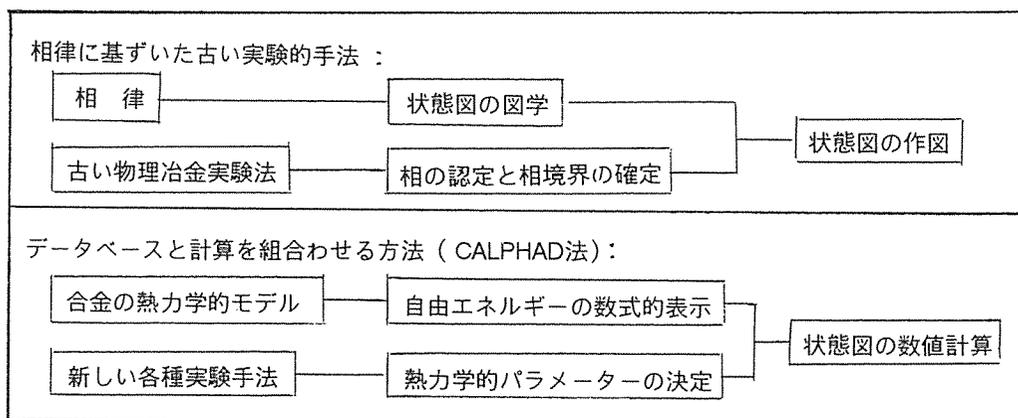
2. 合金状態図の初期の研究手法とその進歩

私が研究を始めた1942年(昭和17年)頃は、多元系状態図の研究は前述のように金属学の研究の主要な題目であった。表1²⁾に示すように、当時の研究手法は、相律に基いた状態図の幾何学的図学と古い物理冶金実験法とによって、構成相の識別と相境界の決定を実験によって行う20世紀の初頭からの方法を一步も出るものではなかった。例えば、3元系であれば、各垂直断面の多数の組成の異なる試料を溶製し、長時間(長い場合は数ヶ月も)熱処理を行って、平衡状態になるべく近接させた試料を作製し、構成相の識別のためにエッチング液を選び、光学顕微鏡で検鏡し、他方、温度を変化させながら、示差熱分析、示差熱膨張(最終頁に筆者が用いた装置の説明が記載してある)、電気抵抗等の方法で変態温度を検出する極めて苦勞の大きい仕事であった。しかし、このような経験は金属組織学の基本的理解に大きく役立つもので、光学顕微鏡組織観察は現在でも、各種の金属材料の研究や実用上のトラブルの解決に欠くことのできないものである。若い時代の経験はその後も十分に役に立っている。

2.1 私の初期の合金状態図の研究

図1は、上述のような古い研究手法と労力の多い実験

表1 合金状態図の古い方法と新しい方法



方法を用いて、数年かかってまとめ上げたAl-Zn-Mg 3元系のAl-Zn側の固態における相平衡を含んだ状態図の

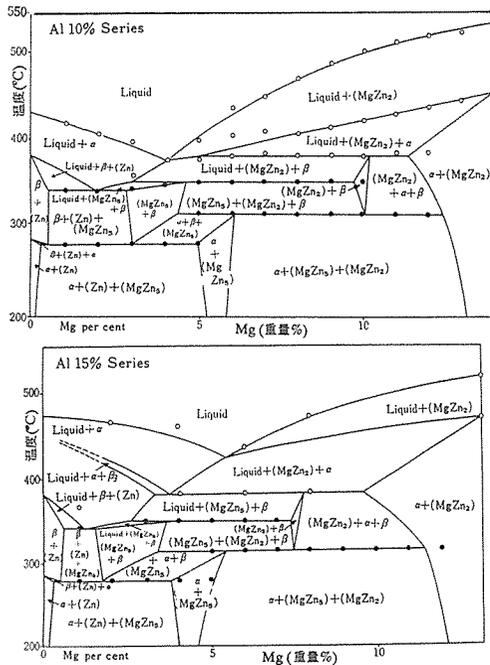
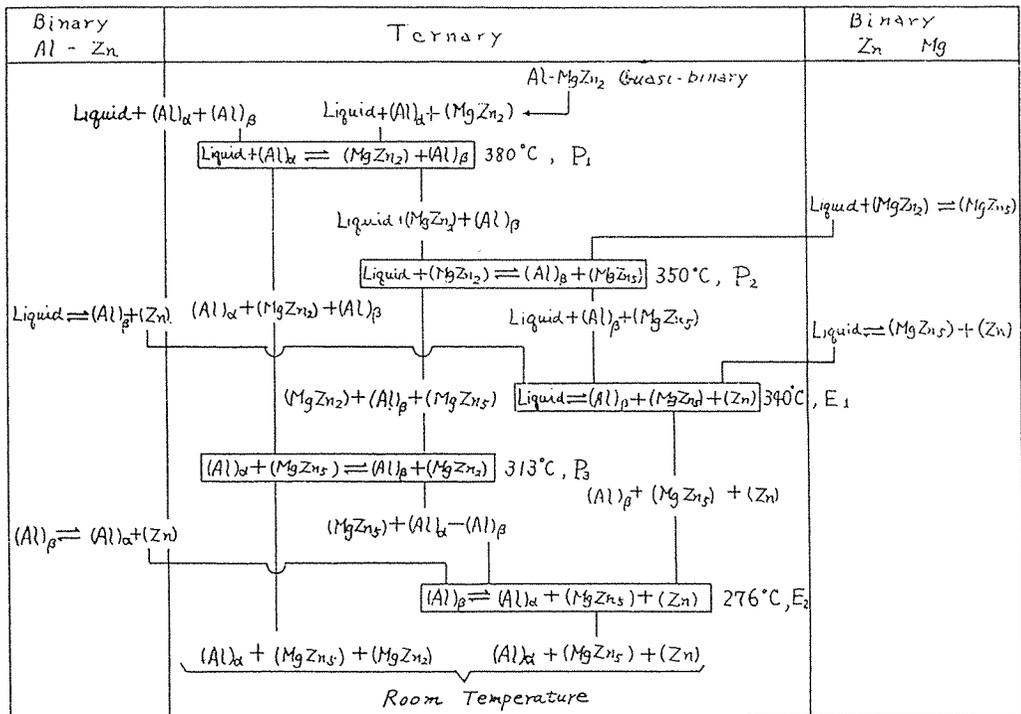


図1 相律と物理冶金実験法によって求めたAl-Zn-Mg 3元系合金のAl10%及び15%の垂直断面状態図、丸印は実験で得た点(西村秀雄, 村上)

一部の垂直断面状態図である。表2は、全体の変態プロセスを示すもので、不変点として三元共晶点、 E_1 : 340°C、三元包共晶点、 P_1 : 380°C、 P_2 : 350°C、 P_3 : 313°C及び三元共析点、 E_2 : 276°Cを決定し、それぞれの組成をも確定し総合状態図を完成した。西村秀雄先生の論文は外国語で書くようにとの指示に従って、復刊した第2号の工学部紀要⁷⁾(Memoirs of the Faculty of Engineering, Kyoto University, Vol. 12 (1950), 119~123頁)に発表した。当時はまた物資が不足の時代で、頁数に極端な制限があり、図、表も全くの手書き(図1の相は活字に変えてある)をそのまま印刷したものであった。熱処理炉につけてある温度調節器の度々の故障に悩まされた。完了間近かで、数ヶ月かかった熱処理試料が駄目になるような信頼性の低い機器で、その苦い思い出も今では却ってなつかしく思える。

状態図の研究は新しい合金の開発には先ず第一に必要な知見である。戦後米国の研究に刺激されて我国でもチタン合金の研究が始まった。丁度教授に昇任させていただいた頃で、チタン合金の熱処理と連動させて、チタン合金の状態図研究も開始した。手法は従来と同様で、毎日早朝から終電車で漸く間に合うような夜遅くまで、研究室のメンバーと一緒に努力した。これらの主な成果は次のようである。西村義雄氏(当時大学院学生)と故木村啓造氏(当時助教授)と共同で行った「Ti-Fe-C三元

表2 Al-Zn-Mg 3元系合金状態図のAl-Zn側の相平衡関係(西村秀雄, 村上)



系平衡状態図の研究⁸⁾は京大工学部紀要, 19巻 (1957), 302~324頁に, 故園城敏男氏 (当時大学院学生, 後大阪大学溶接工学研究所教授, 所長) と故湯川安雄氏 (当時助手) と共同で行なった「Ti-Fe-Mn 3 元系合金平衡状態図の研究, 第1~3報」^{9, 10)}は日本金属学会誌第22巻 (1958), 264~269頁, 328~332頁に掲載されている。その後, 研究分野も, 時効析出や半導体化合物に拡がってきたし, 状態図の仕事は労苦が多すぎるので一時中断することにしていた。しかし合金状態図は金属材料学の基礎研究として誰かがやる必要があるし, 西村秀雄先生以来のよい伝統を絶やさないためにもいつかは再開したいという思いは念頭を去らなかつた。

2.2 私の再開した合金状態図の研究

1970年 (昭和45年) 頃から, 合金の熱力学的モデルに関する理論の発展, 研究機器の進歩 (新規の機器と便宜性と精度の向上), 電算機の導入などで, 表1の下欄に示すように, 少数の実験と電算機による計算を組合せること (後のCALPHAD法の走り) によって, III-V族半導体のような場合には, 計算で合金状態図が研究できるようになってきた。半導体化合物の研究をしていた長村光造助教授 (現在教授) のグループで, 中嶋一雄氏 (当時大学院学生, 現在東北大金研教授) らが, 新しい手法で研究を開始するようになった。合金の平衡論では, 系の自由エネルギーが温度と濃度の関数とする表式が得られれば, 状態図の計算が可能になる。この場合, 相互作用パラメーター Ω の確定が必要であるが, III-V族化合物の場合には適当な熱力学的モデルを用いて, 物理的な意味を持った Ω を少数の実験によって求めることが可能になる。このような方法で, いくつかの系で成功した。図2は一例として, 「Al-Ga-In-As 4 元系の状態図」¹¹⁾ (K. Nakajima, K. Osamura and Y. Murakami: J. Electrochem. Soc., Vol. 122 (1975), 1245~1249) を示した。図より明らかなように, 実験値と計算結果がよく一致している。求めた状態図は, 実際の半導体デバイスの製造に極めて有用なデータを与えることも実験で判った。

半導体化合物では, 上述のように物理的な意味を持つ Ω を求める熱力学的モデルが得られ, 状態図の計算が可能になったが, 一般の合金の状態図を計算機で求める研究は行われてきたが, 十分な成功は, まだ少し時間が必要であった。

X線マイクロアナライザー (EPMA) による微小領域の化学分析が可能になってきた。平衡する固相の組成をEPMAで決定すれば固体平衡関係が求められるので, 比較的簡潔に状態図が確定できる¹²⁾。

当時チタン合金 (Ti-Mo-Al系) の熱処理を研究していたが, 固体平衡関係のデータが必要になったので, 上記の方法を試みた。図3にはほぼ完全な相平衡を実現す

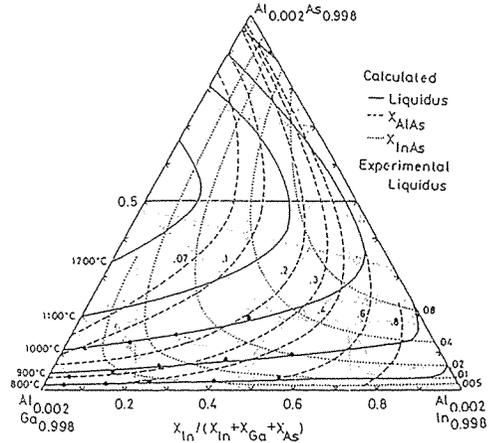


図2 熱力学的計算によって求めたAl-Ga-In-As 4元系状態図, 黒丸印は実験点 (中嶋一雄, 長村光造, 村上)

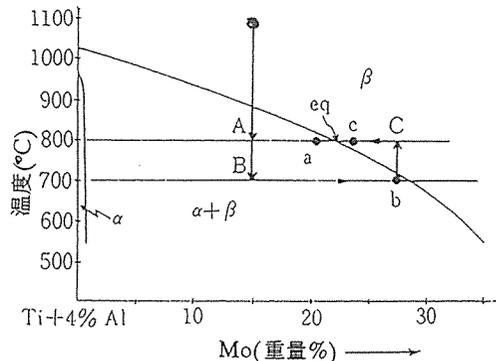


図3 Ti-Mo-Al 3 元系合金の完全な相平衡実現の為の熱処理 (A. Zangvil, 長村光造, 村上)

る為の熱処理の手続きを示す。図4 (a) に示すようなTi-Mo-Al 3 元合金の800℃の $\alpha + \beta$ 2相平衡組織を得る場合, 先ず β 1相組織にした後, 800℃まで徐々に温度を下げ, 800℃に長期間保持する。この場合の β 相の組成はa点に達する。一方 β 1相組織から700℃まで徐々に温度を下げ, 700℃で長期間焼鈍すると, β 相はb点で示される組成になる。これを800℃まで上昇し, そこで長時間保持すると β 相組成はc点になる。眞の平衡組成eq点はaとcの間に存在する。acの間隔を可能な限り近接させればよい。図4 (a) は, Ti-15%Mo-5%Al合金を800℃でほぼ完全に近い平衡状態にした組織で, 互に隣接する α, β をEPMAで分析する。この3元系で予め原子番号, 吸収, 蛍光補正を行なってEPMAで得られるデータを実際の分析値に換算できる図を作成しておいて, 平衡する2相の共軛線 (Tie line) を決定し

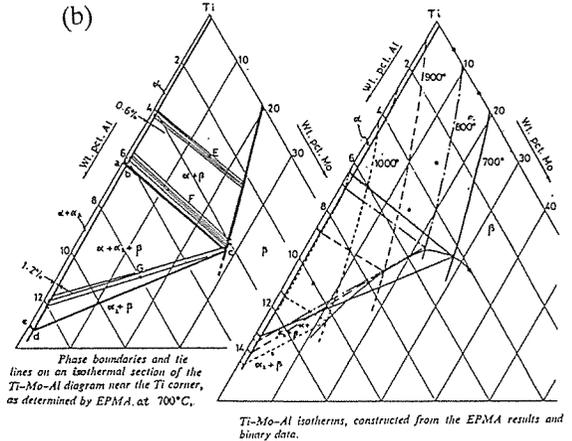
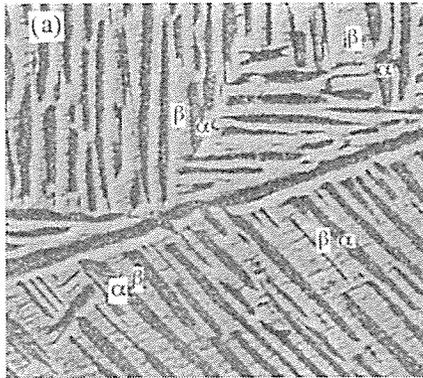


図4 (a) Ti-Mo-Al₃系のEPMAの為の $\alpha + \beta$ 2相組織写真, (b) 得られた等温断面状態図と共軛線 (A. Zangvil, 長村光造, 村上)

た. 図4 (b) は, A.Zangvil氏 (当時大学院学生, 現在米国イリノイ大学準教授) らによって, この方法で得られたTi-Mo-Al 3元系の等温断面状態図¹²⁾である. (A. Zangvil, K. Osamura, and Y. Murakami : Metal Science, Vol. 9 (1975), 27-31) この方法によれば, 極めて少数の実験で正確な状態図が得られる.

2.3 CALPHAD (Calculation of Phase Diagrams) 法の最近の進歩

多元系合金状態図のコンピューター計算 (CALPHAD, Calculation of Phase Diagrams) 法が, 1990年代に入って, 熱力学的モデルの多数の提案とデータベースの確立 (Thermo-Calc, FACT, MTDATA等) によって, 大きく進歩し, 専門家でない人達でも簡単に利用できるようになってきた. (例えば, U. R. Kattner¹³⁾: The Thermodynamic Modeling of Multi-component Phase Equilibria, J. of Metals, Vol. 49 (1997), 14~19, P. Kolby¹⁴⁾: Phase Diagrams and Phase Equilibria, Proceedings of ICAA-4 (1992), 2~17, C. Sigli et al.¹⁵⁾: Phase Diagram, Solidification and Heat Treatment of Aluminum Alloys, Proceedings of ICAA-6 (1998), 87~98).

2.1で述べた各種物理冶金実験法を用いて, 変態点及び平衡する相を確定して, 相律 (Phase Rule) に基づいて, 状態図を求める古い方法は, 2元系合金では, 実験点が少なく済むので労力は少いが, 3元系以上の多元系では極めて煩雑な作業になる. 特に断面状態図の共軛線が大きい問題¹⁶⁾になる. 例えば, 図5のAl-Mg 2元系状態図では水平線ABは, (Al)とL (液相)との共軛線で, 平衡する相の組成とその量的関係が読み取れるが, 図6 (a)のAl-Mg-Si 3元系の垂直断面状態図の水平線ABは共軛線ではないことに注意しなければならない. 同図 (b)に示す等温断面状態図を求める必要がある. ACが

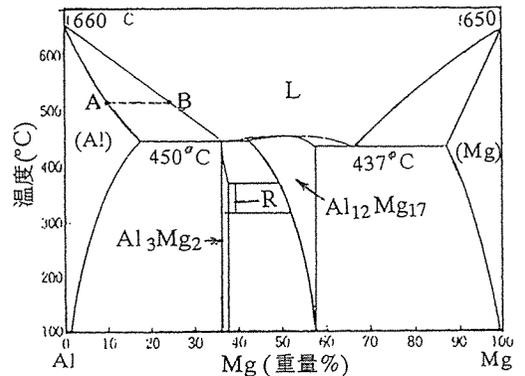


図5 Al-Mg₂元系状態図と (Al)-Lの共軛線

眞の共軛線であって, ABが共軛線でないことが判るだろう. また4元系以上の多元系になると視覚化することも容易でない. さらに実用合金の場合, 例えばAl-Mn-Mg 3元系合金と言っても, 不純物としてFe及びSiその他を含み, それらの影響も少なくないので, 厳密には5元系又はそれ以上として考えねばならない. 従来の古い実験法では全く対応できない.

合金状態図は多元系であっても, Gibbsの自由エネルギーGのキッチリした表示が得られれば, 系の全Gを極小にし, 各成分元素 n_i の各相における化学ポテンシャル μ_{n_i} を等しいとして求められる. 図式的方法で, 自由エネルギー曲線又は曲面に共通接線を引くことと, 全Gの偏微分値から μ_{n_i} を数学的に求めることは全く同じで, 後者では多元系になっても全く簡単な操作である.

2.3. CALPHAD法¹⁶⁾

上述の如く相平衡を計算するためには, 現われるすべての相のGibbsの自由エネルギーを精度よく近似する必

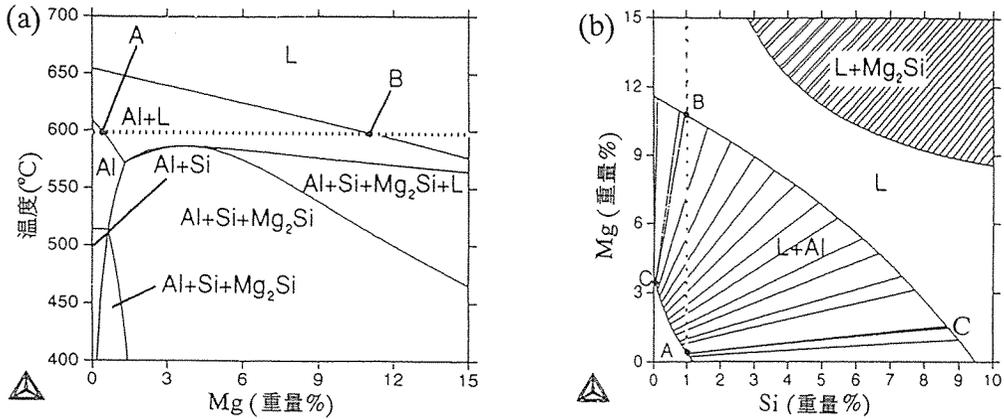


図6 Al-Mg-Si系の1%Siの垂直断面状態図 (ABは共軛線でない) と、その600°Cの等温断面状態図 (ACが共軛線) (PKolby, 文献 (14))

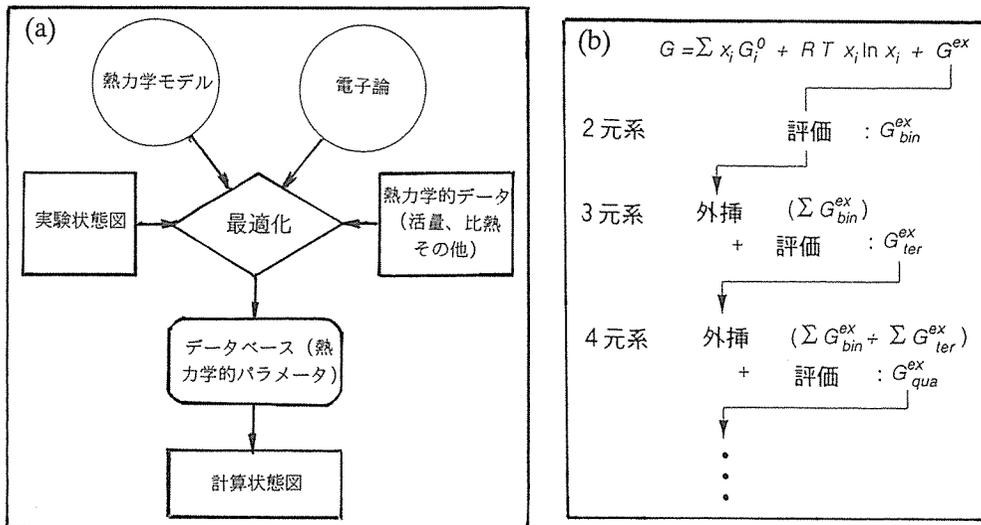


図7 CALPHAD: (a) そのプロセス (石田清仁他, 文献 (16)), (b) Gibbsの自由エネルギーGの求め方の手順 (U.R.Kattner, 文献 (13))

要がある。CALPHAD法は、図7 (a) に示すように、実験的に決定された正確な状態図と、比熱や活量などの熱力学データを、熱力学モデルに基づいて解析し、相平衡の条件を満足する熱力学パラメータを電算機によって最適化し総合的に評価する方法である。これらのパラメータは、データベースに収容され、電算機によって状態図が計算できる。すなわち計算状態図は、実験状態図と熱力学的性質を電算機によって、表裏一体のものとして結合させて得られるものである。この方法では、図7 (b) に示すように、2元系の評価によって、2元系の熱力学的過剰量 (G_{bin}^{ex}) が得られる。さらに3元系は2元系の外挿と評価によって、4元系及び多元系は、段階的な外

挿と評価によって、各系の過剰量が求められる。

2.3.2 自由エネルギーGの熱力学的記述のためのモデル¹³⁾

系の熱力学的平衡の条件は上述の如く、

$$G = \sum_{i=1}^p n_i G_i^0 = \text{minimum}$$

で、ここで、 n_i : モル数、 G_i^0 : 相iのGibbsの自由エネルギーである。CALPHAD法では、相のGの関数の温度、圧力濃度依存性を記述するために種々のモデルが提案されている。例えば正則溶液からのズレに対して、ionic liquid 或は associate モデルが用いられる。温度 (T)、濃度 (X) によるGへの寄与 $G_i^0(T, x)$ は次式によって示

タを、表3に示す種々の熱力学的データベースから取り出す機能を提供する。SSOLデータベースは、SGTE (Scientific Group Thermodata Europe) と呼ばれるヨーロッパの研究グループによって開発されたもので、200以上の合金系のパラメータが集録されているので、よく使用されている。Al合金系においてデータベースがかなりよく整備され、実用合金Al-Mg-Si系合金の一般的な不純物を含む多元系Al-Mg-Si-Cu-Zn-Mn-Fe-Zr-Cr-Ti合金の相平衡や状態図も、組成、温度を与えれば容易に計算できるようになっている。

2.3.4 2章のまとめ

合金状態図の研究は、1960年以前は、金属学研究の大きな柱であったが、その研究手法は、相律と古い物理冶金実験法に基いて、相の認定と相境界の確定を行なう状態図の図学であった。しかし1970年以降になって電算機の普及に伴って、計算状態図の研究が進展してきた。合金の熱力学モデルの研究によって、1990年以降になって自由エネルギーの数式的表示が可能になり、多量のデータベースの確立によって、CALPHAD法が進歩し、Thermo-Calcのような計算機ソフトウェアが開発されて、鉄系やアルミニウム合金系では、複雑な多元系合金において、専門家でない人達によっても、組成と温度を与えられれば、正確な相平衡や状態図が計算できるようになってきている。データベースが、多くの合金系で蓄積されれば更に便利になるだろう。

参 考 文 献

- 1) 村上陽太郎：研究生生活の想い、あれこれ、アルミニウム, 5, [27], 282, 283, (1998)
- 2) 村上陽太郎：研究生生活を顧みて (京大退官記念講演), 水曜会誌, 19, [7], 495-499, (1981)
- 3) 長崎誠三編著：人と金属と技術の昭和史, 108頁, 日本金属学会の誕生のいきさつを探る, (株) アグネ技術センター発行, (1998)
- 4) H. Nishimura and Y. Murakami : On the Electron-Microscopic Study of Age-Hardened Aluminium Alloys, Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ., 12, [4], 45-52, (1950)
- 5) 村上武次郎, 佐藤知雄共著：物理冶金実験法, 共立社発行, 三版, (1939)
- 6) 村上陽太郎著：新素材・新技術, NMC発行, 設立10周年記念号, (1996); 同第II集, (2000)
- 7) H. Nishimura and Y. Murakami : Investigation on the Al-Zn Side of Al-Zn · Mg Alloys, Mem. Fac. Eng. Kyoto Univ., 12, [2], 119-123, (1950)
- 8) Y. Murakami, H. Kimura and Y. Nishimura, An Investigation on the Ti-Fe-C System, *ibid.* 19, [3], 302-324, (1957)

- 9) 村上陽太郎, 圓城敏男：Ti-Fe-Mn 3元合金平衡状態図の研究 (第1報) Ti-Mn 2元系のTiMn₂-Mn範囲について; 村上陽太郎, 湯川安雄, 圓城敏雄：Ti-Fe-Mn 3元系合金平衡状態図の研究 (第2報), Ti-Fe-Mn 3元系合金状態図の液相面について, 日本金属学会誌, 22, [5], 261-269, (1958)
- 10) 村上陽太郎, 圓城敏男：Ti-Fe-Mn 3元合金平衡状態図の研究 (第3報) 固相間の平衡関係について, 同上, 22, [6], 328-332, (1958)
- 11) K. Nakajima, K. Osamura and Y. Murakami : Experiments and Calculation of Ga-Al-In-As Quaternary Phase Diagram, J. Electrochem. Soc., 122, 1245-1249, (1975)
- 12) A. Zangvil, K. Osamura and Y. Murakami : Determination of Phase Equilibrium in the Ti-rich Ti-Mo-Al System Using the X-Ray Microanalyser, Metal Science, 9, 27-31, (1975)
- 13) U. R. Kattner : The Thermodynamic Modelling of Multicomponent Phase Equilibria, J. Metals, 49, [12], 14-19, (1997)
- 14) P. Kolby : Phase Diagrams and Phase Equilibria, Proc. of ICAA-4, Atlanta, Georgia, USA, September 11-16, 1994, 3, 2-17.
- 15) C. Sigli, L. Maenner, C. Sztur and Shaani : Phase Diagram, Solidification, and Heat Treatment of Aluminum Alloys, Proc. of ICAA-6, Toyohashi, Japan, July 5-10, 1998, 1, 87-98.
- 16) 石田清仁外：銅基合金の熱力学データベース構築, 銅と銅合金, 41, [1], 176-180, (2002)
- 17) 大谷博司：統合熱力学データベース-Thermo-Calcを例として, あたりあ, 33, [10], 1257-1259, (1994)

補遺：二元系及び多元系合金状態図の調べ方

下記の単行本を活用するのが便利である。

- 1) Der Aufbau der Zweistofflegierungen : Max Hansen 著, 1936年, Julius Springer, Berlin.
- 2) Constitution of Binary Alloys : Max Hansen, prepared with the Cooperation of Kurt Anderko : McGRAW-HILL BOOK CO, Inc, second edition 1958.
1) は1936年迄に発表されたすべての2元系状態図を収録し, 説明と出典が記載されている。その時代の有名な書物である。2) はその後, 1957年秋までに発表された状態図を追加収録し, 形式が多少ドイツ語版を変え, 英語で書かれたドイツ語に慣れていない人には便利な書物である。
- 3) Binary Alloy Phase Diagrams, Vol. 1 (Ac-Au to Fe-Rh), Vol. 2 (Fe-Ru to Zn-Zr) : T. B. Massalski 編, ASM

発行, 1986.

この書物で便利なのは、状態図表示が、重量パーセントと原子パーセントの2つの図が、上下に画かれていることである。解説、出典等は、2) よりも簡略である。

- 4) METALS HANDBOOK, Vol. 8, Metallography, Structures and Phase Diagrams : ASM発行, 1973.
Metals Handbookの第8巻で、光学顕微鏡及び電子顕微鏡観察のためのテクニックと代表的な合金の組織写真が収録され、2元系状態図の外、実用的に重要な3元系合金状態図が記載されている。
- 5) The Constitutional Diagrams of Alloys: A Bibliography: J. L. Haughton 著, The Institute of Metals (英国), 1955.

6) Multicomponent Alloy Constitution Bibliography, (1955 ~ 1973 : A. Prince 著, The Metals Society (London), 1978.

5) 及び6) は2元系, 3元系及び多元系合金状態図の文献集で、各合金系について、年代順に原論文名が示されている。状態図の記載はないが、3元系合金の出典を調べるのに便利である。

7) Smithells Metals Reference Book, Sixth Edition, E. A. Braudes 編, Butterworths, 1983.

この書物は、金属の種々のデータ、定数等が記載されている便利な書籍であるが、2元系合金状態図も記載されている。

(以上書籍の発行年等は筆者の手元にあるもので、さらに新しい版が発行されているかもしれない。)

古い時代の状態図研究に筆者が使った示差熱分析法と示差熱膨張法

一般に固相における変態では、熱変化が微小であるため、通常の熱分析法では検出が難しい。変態点を持たない中性体(例えば純Al)と試料とを同一状態の下で、加熱又は冷却して、両者の温度差を検出して変態温度を知る示差熱分析法を用いた。図9(a)に試料と中性体の配置と示差熱電対及び温度測定用熱電対の配置を示し、(b)に得られた示差冷却曲線を示す。低温の変態の検出には、十分に焼鈍して平衡状態にした試料の加熱曲線を用いる方がよい。

示差熱膨張法は変態による長さの不連続変化から変態温度を知るために、試料棒と同一の形状の中性

体棒を同一の状況で加熱、冷却して、変化を鋭敏にする方法である。図10(a)に示差熱膨張計を示した。試料棒と中性体棒をそれぞれ炉中の太い石英管中に並べて入れた2本の細い石英管に入れ、右端は石英管の閉端に左端は、石英棒を介して、図のHにバネで押しつけて連結される。Hの相対する面は平面で、その間に鏡のついた柄を挟む。試料棒に異常膨張又は収縮が起ると鏡は回転する。尺度と望遠鏡を用いて、鏡の反射する尺度を測定し、同時に温度を読み取ると、(b)のような示差膨張曲線が得られる。

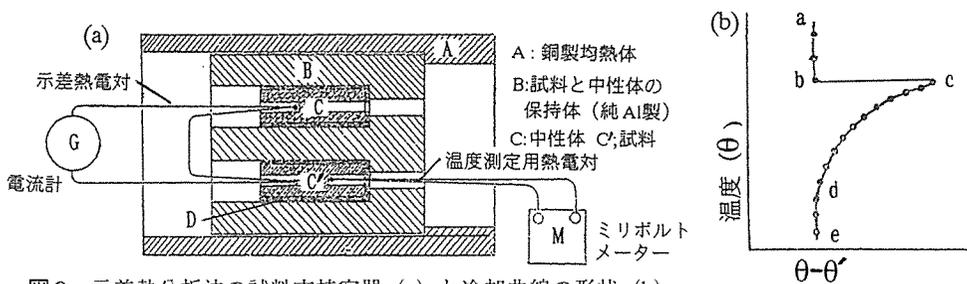


図9 示差熱分析法の試料支持容器 (a) と冷却曲線の形状 (b)

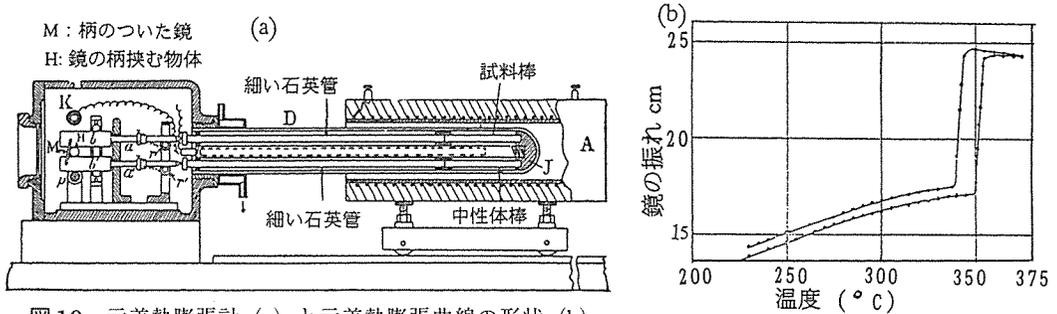


図10 示差熱膨張計 (a) と示差熱膨張曲線の形状 (b)

総 説

日本のアルミニウム産業の現状と動向

佐 藤 史 郎*

Present and Future of Japanese Aluminium Industries

by Shiro SATO

1. はじめに

アルミニウム [Al, 原子番号13, Aluminium (英), Aluminum (米), 鋁 (中国)] が実用材料として用いられるようになったのは、弗化物溶融塩電解法である Hall-Heroult 法の発明 (1886年) と湿式アルカリによるアルミナ抽出法である Bayer 法の発明 (1888年) 以来のことである。アルミニウムは、金属材料として資源に恵まれていること (地殻中の元素として存在度: 8.13%), 性質として、軽量であること (比重: 2.7), 熱と電気の伝導性に優れること, 耐食性や展延性に優れること, さらにリサイクル性がよいこと等々により, 大きく需要を伸ばしてきた。昨年 (2001年), 世界で生産されたアルミニウムは, 製錬 (新地金) ベースで 24,500 千トンに達している。また, 最近の我が国のアルミニウム総製品出荷量は, 約 4,000 千トンに達している。アルミニウムは, 実用されて 100 年余を経て, 汎用金属材料として鉄鋼に次ぐ第 2 の地位を占めるに至っている。

日本のアルミニウム産業の発展の経過の概要を表 1 に示す。

本稿は, 「日本のアルミニウム産業の現状と動向」について解説するものである。

なお, 筆者は先に「アルミニウム工業の最近の話題について」と題する解説 (平成 9 年度 水曜会大会 特別講演, 本誌 22 巻 (1997), 第 9 号 560) を行っているが, 本稿は主題により, 日本のアルミニウム産業の“現状”と“動向”をなるべく普遍的に記述しようとするものである。

2. 日本のアルミニウム産業の全貌

アルミニウム産業は 3 分野に分けることができる。すなわち, 1) 地金, 2) 加工 (一次加工), 3) 製品 (二次加工) である。

表 2 は日本のアルミニウム産業と関係の深い主な団体を列挙したものである。このうち, 日本アルミニウム協会, 軽金属製品協会, 日本アルミニウム合金協会, および全国軽金属商協会が主要アルミニウム業界四団体として知られている。かつてはわが国のアルミニウム製錬業者の団体として「軽金属製錬会」が存在していたが, 国内の製錬業の衰退 (撤退) により, 今日では存在しない。

表 3 は日本のアルミニウム産業の 3 分野 - 地金, 加工, 製品 - の 1992 年と 2001 年の内訳を示したものである。表 3 からつぎのことが分かる。

1) この 10 年間, 日本のアルミニウム産業は量として年間約 4,000 千トンであり, 大きく変化していない。

2) 地金はアルミナの融溶塩電解によって得られた地金 - これを以下「新地金」という - とスクラップなどの回収によって得られた「二次地金」よりなる。全地金に占める二次地金の比率は, この 10 年間で 35.8% から 42.1% に増大している。新地金はそのほぼ全量が輸入されている。二次地金は 73% が国産である。加工 (主として, 一次加工) の主体は, 軽圧品と鋳造品である。軽圧品は板材と押出材よりなり, 全アルミニウム加工材の約 65% を占めている。

3) この 10 年間に軽圧品の量は大きく変化していない (1992 年: 2,204 千トン 対 2001 年: 2,309 千トン) が, 板材と押出材の比率は板材が増え, 押出材が減少していることが目立つ。鋳造品は年間約 110 千トンであって, 1992 年と 2001 年で, 総量において大きな変化は見られ

*住友軽金属工業株式会社

表1 日本のアルミニウム産業発展の経過の概要

| 西 暦 (日本、年号) | 内 容 |
|---------------|--|
| 1886 (明治19年) | Hall-Heroult(米、仏)、弗化物熔融塩電解法発明。 |
| 1888 (明治21年) | Bayer(オーストリア)、Bauxiteよりアルミナ抽出。 (Aluminum Limited、Al-Swiss、Pechiney、British Aluminium 設立)。 |
| 1894 (明治27年) | 日本初、アルミニウム加工(大阪造兵工廠)。 |
| 1898 (明治31年) | 日本初(民間)、同上(住友伸銅場、大阪)。 |
| 1907 (明治40年) | ジュラルミンの発明(ドイツ、ベルリン中央科学研究所)。 |
| 1916 (大正 5年) | 日本軽銀設立(名古屋)／(大阪垂鉛)。 |
| 1918 (大正 7年) | 日本軽銀信州工場(大町)稼働。 |
| 1928 (昭和 3年) | 同上工場、停止、研究続く(日本沃度)。 |
| 1929 (昭和 4年) | 陽極酸化表面処理方法、アルマイトの発明(理化学研究所)。 |
| 1930 (昭和 5年) | 超ジュラルミンの発明(米国、アルコア)。 |
| 1934 (昭和 9年) | 昭和電工により電解工場稼働(大町)。 |
| 1936 (昭和11年) | 超々ジュラルミンの発明(住友金属、伸銅所)。 |
| 1943 (昭和18年) | 日本アルミニウム地金生産第一次ピーク。150千トン。 |
| 1948 (昭和23年) | 日本地金生産三社(日本軽金属、昭和電工、住友化学)。 |
| ～1970 (昭和45年) | |
| 1969 (昭和44年) | アルミニウム製品総出荷量1,000千トン越。 |
| 1970 (昭和45年) | 地金生産に新規三社(三菱化学、三井アルミ、住軽アルミ)。 |
| ～1977 (昭和52年) | |
| 1976 (昭和51年) | アルミニウム製品総出荷量2,000千トン越。 |
| 1977 (昭和52年) | 国内地金生産設備ピーク。1,188千トン。 |
| 1977 (昭和52年)～ | 海外地金生産・輸入(開発輸入)活性化。 |
| 1982 (昭和57年)～ | 国内地金生産撤退続く。 |
| 1987 (昭和62年)～ | アルミニウム製品総出荷量3,000千トン越。 |
| 1996 (平成 8年)～ | 同上4,000千トン越。 |
| 2000 (平成12年) | 同上4,110千トン。 |

ないが、ダイカストが増え(+10.6%)、鋳物(砂型など)が減少(-2.6%)している。

4) 製品の用途は多岐にわたっている。1992年と2001年を比較すれば輸送分野(主として自動車)、食料品(主として飲料缶)が増加し、建設(サッシ、カーテンウォールなど)は減少している。

すなわち、日本のアルミニウム産業はこの10年間、

年間4,000千トンの規模であって、その規模について大きく変化していないが、その内容には、上に述べたようなくつか変化がみられる。

3. 地 金

3.1 新地金

今日、世界で生産されるアルミニウム地金(新地金)

表2 日本のアルミニウム産業関係団体

| 名 称 | 設 立 | 設 立 目 的 |
|------------------|------|------------------------|
| (社)日本アルミニウム協会 | 1946 | 全般、特にアルミニウム材料(一次加工) |
| 軽金属製品協会 | 1946 | アルミニウム製品(二次加工製品) |
| (社)日本サッシ協会 | 1954 | 建築用アルミニウム製品、特にサッシ |
| (財)軽金属奨学会 | 1955 | 研究開発 |
| (社)日本ダイカスト協会 | 1955 | ダイカスト |
| 全国軽金属商協会 | 1961 | 流通全般 |
| (社)日本アルミニウム合金協会 | 1961 | 二次合金、地金回収、再生 |
| (社)軽金属溶接構造協会 | 1962 | アルミニウム溶接技能検定、技術開発、標準制定 |
| (社)日本カーテンウォール工業会 | 1964 | 建材、とくにカーテンウォール |
| (社)軽金属学会 | 1965 | 学術研究 |
| アルミニウム箔懇話会 | 1968 | アルミ箔全般 |
| アルミニウム缶リサイクル協会 | 1973 | アルミ缶のリサイクル、普及 |
| アルミ建築構造推進協議会 | 1994 | 建築用アルミ建材開発、技術開発 |

(社):社団法人、(財)財団法人

表3 日本のアルミニウム産業の全貌とこの10年の変化

| | 種類 | 1992 | | 2001 | | 増減 | |
|------------|--------------|-----------------|-----------|-----------------|-----------|---------------------|-------|
| | | 数量 (1,000トン) | 構成 (%) | 数量 (1,000トン) | 構成 (%) | 1992 vs 2001 (%) | |
| 原料 (地金) | 新地金 | 国産 | 19 | 0.5 | 7 | 0.2 | -63 |
| | | 輸入 | 2,308 | 63.7 | 2,187 | 57.7 | -5.3 |
| | | (小計) | 2,327 | 64.2 | 2,194 | 57.9 | -5.3 |
| | 二次(再生) 地金 | 国産 | 1,038 | 28.7 | 1,170 | 30.9 | +12.7 |
| | | 輸入 | 258 | 7.1 | 424 | 11.2 | +64 |
| | | (小計) | 1,296 | 35.8 | 1,594 | 42.1 | +23 |
| | 地金計 | | 3,623 | 100 | 3,788 | 100 | +4.6 |
| 加工 | 軽圧品 | 板 | 1,057 | 31.0 | 1,289 | 36.4 | 21.9 |
| | | 押出 | 1,147 | 33.6 | 1,020 | 28.8 | -11.1 |
| | | 小計 | 2,204 | 64.6 | 2,309 | 65.1 | +4.8 |
| | 電線 | | 92 | 2.7 | 62 | 1.7 | -32 |
| | 鋳造製品 | 鋳物 | 391 | 11.5 | 381 | 10.7 | -2.6 |
| | | ダイカスト | 678 | 19.9 | 750 | 21.2 | +10.6 |
| | | 小計 | 1,069 | 31.3 | 1,131 | 31.9 | +5.8 |
| | 鍛造 | | 28 | 0.8 | 29 | 0.8 | +3.6 |
| | 粉末 | | 17 | 0.5 | 14 | 0.4 | -17.6 |
| | 加工計 | | 3,410 | 100 | 3,545 | 100 | +4.0 |
| 用途 (製品) | 輸送 | 1,149 | 31.4 | 1,266 | 32.7 | +10.2 | |
| | 建設 | 900 | 24.6 | 749 | 19.3 | -16.8 | |
| | 金属製品 | 478 | 13.0 | 476 | 12.3 | -0.4 | |
| | 食料品 | 356 | 9.7 | 450 | 11.6 | +26.4 | |
| | 電気通信 | 177 | 4.8 | 162 | 4.2 | -8.5 | |
| | 一般機械 | 113 | 3.1 | 129 | 3.3 | +14.2 | |
| | 電力 | 68 | 1.9 | 33 | 0.9 | -51.5 | |
| | その他 | 297 | 8.1 | 371 | 9.6 | +24.9 | |
| | 輸出製品 | 127 | 3.5 | 240 | 6.2 | +89.0 | |
| | 用途計 | | 3,665 | 100 | 3,876 | 100 | +5.8 |

は年間約25,000千トン(2002年見込)である。日本で消費される新地金は約2,300千トンであり、この量は世界の新地金生産量の約10%に相等する。

今日、日本が消費する新地金はそのほとんどすべてを輸入に頼っている。

図1¹⁾は日本の新地金消費量とその内容(国産と輸入)

の変遷を示したものである。第二次大戦後、約35年間にわたりわが国が必要とする地金の大半は国産地金であったが、2度にわたるエネルギー危機（オイルショック）を境として、急速に衰退し、輸入地金にとって替られた。今日では国産地金は、日本軽金属（株）の蒲原工場において生産されている新地金（年産7千トン）を除いて、すべて海外産の地金である。

図2¹⁾はわが国に供給された新地金の主な輸出国とその量を示す。量につき、オーストラリアが最も多く、ロシアがこれに次ぐ。

これらの輸入新地金にはつぎの3種類、すなわち開発輸入地金、長期契約地金およびスポット購入地金がある。

開発輸入地金と称される新地金は、海外のアルミニウ

ム精錬プロジェクトにわが国の企業が出資し、その出資比率に応じて、製造コストで新地金を引取ることを基本契約としているものであり、“準国産の新地金”と称してもよいものである。日本の企業が参加しているアルミニウム新地金の開発プロジェクトの概要を表4²⁾に示す。

図3は日本のアルミニウム地金の開発プロジェクトの一例として、オーストラリアのポインズメルターズの全景を示したものである。

多くのプロジェクトは国内のアルミニウム製錬撤退の後に実施されたものである。今日では開発輸入地金の総量は約1,000千トンに達しており、投下された資本はほぼ8,000億円に達しているものと推定される。

開発プロジェクトの実施に当り、その初期においては

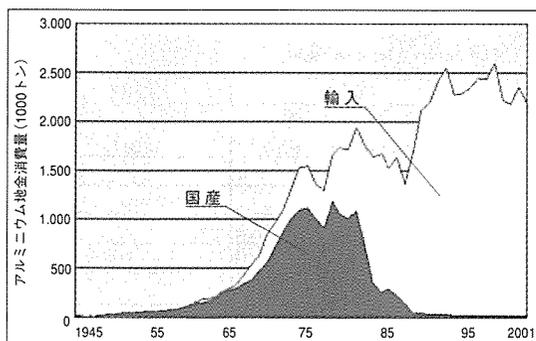


図1¹⁾ 日本のアルミニウム新地金の消費量の変遷

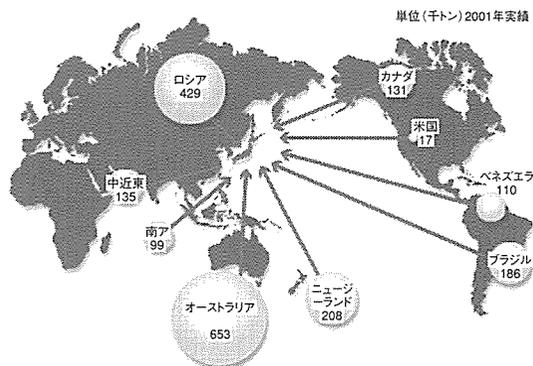


図2¹⁾ 日本へのアルミ新地金の供給国

表4 我が国のアルミニウム地金の開発輸入プロジェクト²⁾

| プロジェクト名 国 | 生産能力 | | 電源 | 操業電流 (KAmp) | 生産開始 | 出資会社 |
|------------------------|-----------|-----|------------|----------------|------|--|
| | 1,000トン/年 | 引取量 | | | | |
| インザス New Zealand | 327 | 67 | 水力 | 170 | 1971 | コマルコ（オーストラリア）：79.36% 日本：20.64%（住友化学） |
| ベナム Venezuela | 450 | 90 | 水力 | 240 | 1978 | ベネズエラ・ガイアナ開発公団（ベネズエラ）：80% 日本：20%（昭和電工、他） |
| アサハ Indonesia | 225 | 133 | 水力 | 175 | 1982 | インドネシア政府：41% 日本：59%（住友化学など日本アサハ） |
| ポインズメルターズ Australia | 260 | 105 | 石炭火力 | 200 | 1982 | コマルコ（オーストラリア）：59.5% 日本：40.5%（住友軽金属、他） |
| （同上） | 230 | 94 | 石炭火力 | 300 | 1997 | コマルコ（オーストラリア）：59.25% 日本：40.75%（三菱商事、他） |
| アロETTE Canada | 230 | 15 | 水力 | 315 | 1992 | アルキャン（カナダ）他：93.33% 日本：6.67%（丸紅）（増資と追加出資の見込） |
| アルマス Brazil | 404 | 196 | 水力 | 150 | 1985 | CRVD（ブラジル）：51% 日本：49%（三井アルミなど日本アマゾン） |
| ポートランド Australia | 345 | 78 | 石炭火力 | 280 | 1986 | アルコア（オーストラリア）：55%、他 日本：22.5%（丸紅） |
| モザール Mozambique | 250 | 63 | 石炭火力 | 300 | 2000 | BHP ビリトン：47.11%、他 日本：25.0%（三菱商事） |
| インタルコ、イースタルコ USA | 454 | 145 | 水力 石炭火力 | 130 | 1966 | アルコア（USA）：61% 日本：39%（三井物産、YKK） |
| 合計 | | 986 | | | | |

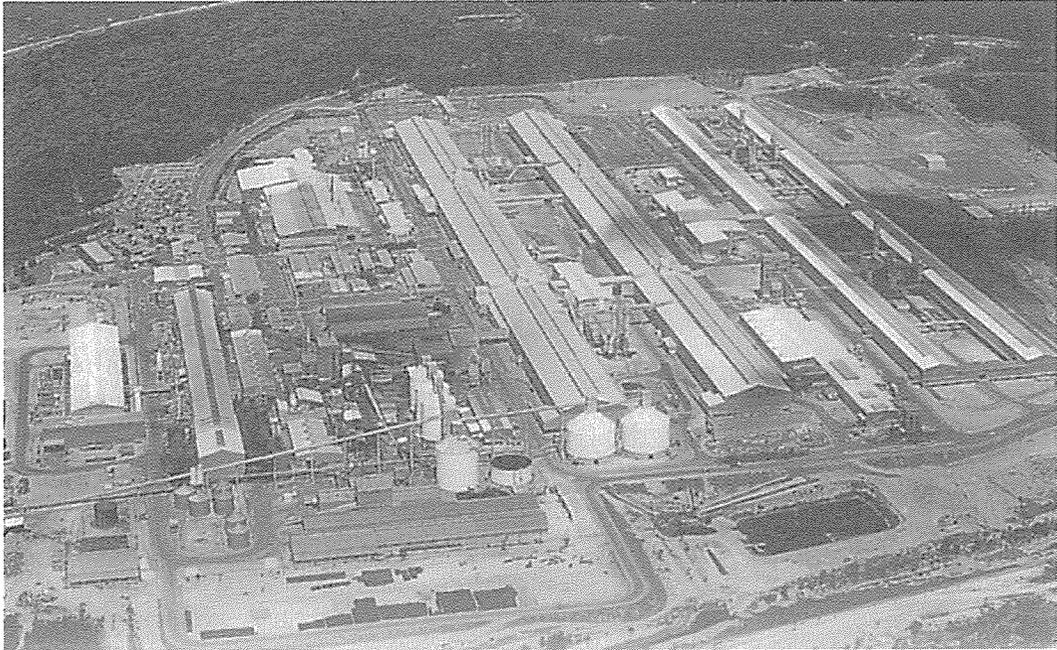


図3 日本のアルミニウム地金開発輸入プロジェクト
 ボイン スメルターズ (490千トン/年) の全景
 日本の出資比率, 第1 & 2ライン (1982年稼働) ・ 260千トン/年 : 40.5%
 第3ライン (1997年稼働) ・ 230千トン/年 : 40.75%

表5 アルミニウム二次地金および合金の出荷実績 (2001年⁴⁾)

| 用途 | 単位 千トン | | | | | | 計 |
|-------|--------|------|-------|-----|-----|-------|-----|
| | 軽圧品 | 鋳物 | ダイカスト | 鉄鋼 | その他 | 二次合金用 | |
| 量、千トン | 154 | 243 | 457 | 32 | 3 | 32 | 921 |
| 比率、% | 16.8 | 26.5 | 49.8 | 3.4 | 0 | 3.5 | — |

日本のアルミ製錬業者および同加工業者による投資が多くを占めていたが、最近では商事会社によるものが増えてきている。

長期契約による新地金は量と価格の安定を求めて、世界の主要地金メーカー十数社より安定購入されるもので、2001年の実績では1,179千トンであり、開発輸入地金を上回っている。輸入国としてはオーストラリアが首位である。

スポット輸入地金は必要に応じて、市場で調達される地金である。日本のスポット輸入地金はロシア（シベリア）産が多い。価格はLME（London Metal Exchange）によって決められる。TOCOMO（東京工業品取引所）の取引量は少ない。

3.2 二次再生地金および合金

わが国のアルミニウム産業が使用した二次地金は1,594千トン（2001年）であり、全使用地金の42.1%に相

当する。この二次地金の73.4%は国内で回収された屑を原料としたものであるから、二次地金はほぼ国産地金とみなしてよい。二次地金の一つの大きな長所は生産に当たって必要なエネルギーが新地金の生産（溶融塩電解法）において必要とされるエネルギー（ 32×10^6 kcal/トン）の3～5%に過ぎないことである。

わが国において、産業として二次地金が生産されるようになったのは1922年（大正11年）、大紀工業所（今日の大紀アルミニウム工業所）であり、その歴史は古い³⁾。当初はアルミニウム屑から地金を再生することを目的としていたとみられるが、次第に鋳造製品の需要が増大するにつれて、鋳造品を製造するための二次地金、合金を供給する比率が高くなっていった。

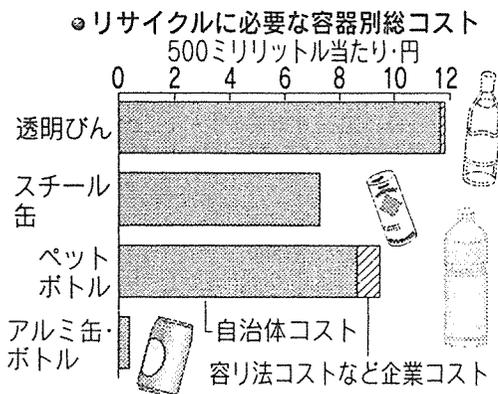
アルミニウム二次地金および合金地金の出荷実績を表5⁴⁾に示す。

アルミニウム二次地金規格はJIS H2103にて、アルミ

表6 日本における最近のアルミ缶リサイクルの推移⁶⁾

| 年度 | 消費量(暦年) | | 回収量 | | 1缶当たりの 平均重量 g/缶 | リサイクル率 % | アメリカの リサイクル率 (暦年) % |
|------|-------------|----------|-------------|----------|-----------------------|-------------|------------------------------|
| | 缶数 100万缶 | 重量 トン | 缶数 100万缶 | 重量 トン | | | |
| 1998 | 16,650 | 271,034 | 12,390 | 201,730 | 16.3 | 74.4 | 62.8 |
| 1999 | 16,960 | 275,751 | 13,320 | 216,549 | 16.3 | 78.5 | 62.5 |
| 2000 | 16,750 | 265,541 | 13,500 | 214,107 | 15.9 | 80.6 | 62.1 |
| 2001 | 17,440 | 283,402 | 14,430 | 234,522 | 16.3 | 82.8 | 55.4 |

(日刊産業新聞 : 2002. 7. 4)

図4⁵⁾ 各種飲料容器のリサイクルコスト

ニウム純度に応じて、展伸材用としてアルミニウム二次地金1種 (Al: 99%以上) ~ 3種 (Al: 97%以上), および鉄鋼脱酸用として、同4種 (Al: 99%以上) ~ 6種 (Al: 90%以上) が定められている。アルミニウム (二次) 合金地金の規格はJIS H2211において鋳物用合金地金34種, JIS H2118においてダイカスト用合金地金25種が定められている。なお, アルミニウム合金地金の製造にあたって重視されているものに厳重な合金元素の成分管理と介在物, とくに酸化物粒子の低レベル化がある。

アルミニウム屑の回収につき, 最近とくに重要視されているものに使用済飲料缶, UBC (Used Beverage Can) からの地金回収がある。

図4⁵⁾ は飲料容器としてのガラス瓶 (透明びん), スチール缶, ペットボトルおよびアルミニウム缶のリサイクルに要するコストを图示したものである。アルミニウム飲料缶 (ボトル缶を含む) のリサイクルに要するコストは再生された二次地金の売上高によって充当されうるため, リサイクルの総コストは無視できる。すなわち, アルミニウム缶は他の飲料容器よりもリサイクル性に優れているとみなされる。このことはアルミニウム缶にとって, 大きなメリットである。

表6⁶⁾ に日本におけるアルミニウム缶のリサイクル状況を示す。アルミニウム缶の需要は順調に伸びており, 2001年のアルミニウム缶の消費量は174億缶, 283千トン, であり, そのうち144億缶 (82.8%) が回収され, 二次地金として235千トン (83.0%) が回収された。回収された二次地金は缶材として有効な成分, Mg, を含むため, “can to can” の合言葉で再び缶材に用いられるものが増えてきており, 2000年の実績値は67.8%に達している。

このように日本のアルミニウム缶のリサイクルが順調に推移してきていることは, 各地の自治体の分別回収体制が大巾に進展した成果である。外国, たとえばスウェーデンやアメリカ合衆国の一部の州など, では使用済飲料缶の回収率を高めるため, デポジット制度 (飲料缶の預託金払戻制度, スウェーデンの例: 7円/缶) を採用することで, 回収率の向上を計っているようであるが, 日本では特別な制度を用いることなく, このような高回収率を得ていることは賞賛に値するものと思う。

なお, UBC回収における一つの問題点として, UBCの溶解時に生ずる酸化ロスが大きいことがあげられる。UBCの溶解は, 酸化ロスを小さくするためにウエル型の炉を用いて行われることが多いが, 一般アルミニウム屑の溶解ロス (1%~3%) に比して, UBCの溶解ロス (5~10%) はかなり大きい。この原因は飲料缶の表面の塗料 (有機物質) とアルミニウム溶湯の反応によるアルミニウム炭素化合物 (炭化物, カーバイド) の生成にあるとみられる。対策として, 回収されたUBCは前処理として, 破碎, 焼付, 除膜が施されている。UBCの溶解歩留りの向上のための技術開発は今後の課題である。

4. 一次加工

4.1 材料

実用に供されるアルミニウムの65%は展伸材であり, 圧延材 (板) と押出材 (形材, 管, 棒など) よりなる。

表7は実用アルミニウム展伸材の合金系と質別の基本事項を示したものである。

4.2 造塊 (溶解と casting)

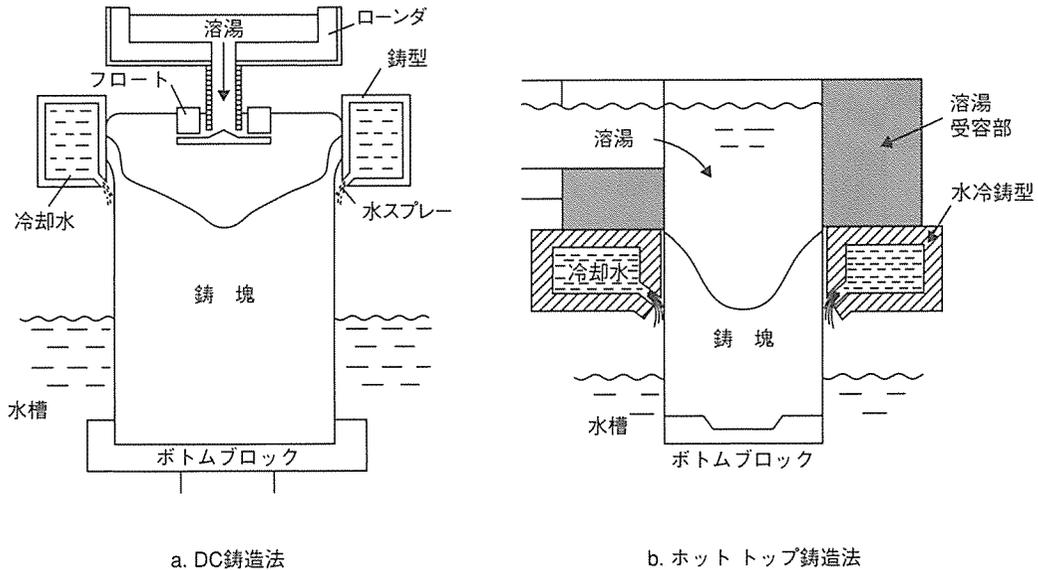


図5 半連続鑄造法によるアルミニウムの造塊

表7 実用アルミニウム展伸材の合金系と質別の基本事項

| 合金系 | | |
|---------|-------------|-------|
| 分類 | 合金系 | 記号 |
| 非熱処理型合金 | 純アルミニウム | 1000系 |
| | Al-Mn | 3000系 |
| | Al-Si | 4000系 |
| | Al-Mg | 5000系 |
| 熱処理型合金 | Al-Cu | 2000系 |
| | Al-Mg-Si | 6000系 |
| | Al-Zn-Mg | 7000系 |
| 上記以外の合金 | Al-Fe、Al-Li | 8000系 |

| 質別 | |
|------|---|
| 基本記号 | 内容 |
| F | 製造のままのもの |
| O | 焼なましたもの |
| H | 加工硬化したもの、 Hx: H1~H4、Hxy: Hx1~Hx9 |
| W | 溶体化処理したもの |
| T | 熱処理によって安定化したもの Tx: T1~T10、Txy: T31~T99 |

圧延に用いられる鑄塊(スラブ)は溶解炉で溶解され、保持炉で調整されてから、縦型半連続鑄造法(Direct Chill Casting Process)、図5aによって、造塊される。溶解炉は従来、角型の反射炉形式の炉が専ら用いられてきたが、最近、大量生産を目的として、高速バーナを用いた円形・トップチャージ方式の大型溶解炉が用いられる例

が多くみられるようになってきた。図6は2基の装入量100トンの円形トップチャージ溶解炉を示す。この設備では2基の溶解炉で溶解された溶湯は交互に保持炉に移され、脱ガス処理、成分調整、介在物の分離などの処理が施される。ついで溶湯はDC鑄造設備に送られて、所定枚数、所定寸法のスラブ、一枚当たり約~20トン、となる。ここで、保持炉とDC鑄造設備の間には、溶湯中の水素ガスの低減と溶湯中の酸化物などの介在物除去を目的とした溶湯清浄化設備が設置されている。溶湯清浄化設備の一例を図7⁷⁾に示す。図7において、溶湯はまず、回転ノズル不活性ガス(Ar)噴射設備SNIF(Spinning Nozzle Inert Gas Floatation Process)により、脱ガス処理され、ついで、多孔質セラミックチューブによって酸化物などの介在物が除去される。

スラブの溶解、鑄造工程においては、生産諸元として、エネルギー原単位や歩留りの向上が要求される他、品質上の要求として含有ガス(水素)レベルの低減、酸化物などの介在物の除去、鑄肌の面質向上、鑄塊の寸法精度の向上(とくに、熱歪みによる“バットカール”低減)、組織の均一化など、多くの課題が残されている。

押出に用いられる鑄塊(ピレット)は溶解後、半連続鑄造法(DC鑄造法)かまたはホットトップ鑄造法によって製造される。ホットトップ鑄造法の概念図を図5bに示す。ホットトップ鑄造法は鑄込み開始時にフロート調整を不要とすることから、工数の削減が可能となる。したがって、同時に多くの本数を鑄込む必要のあるピレット鑄造に適しており、今日では、ピレット鑄造の主流となってきた。

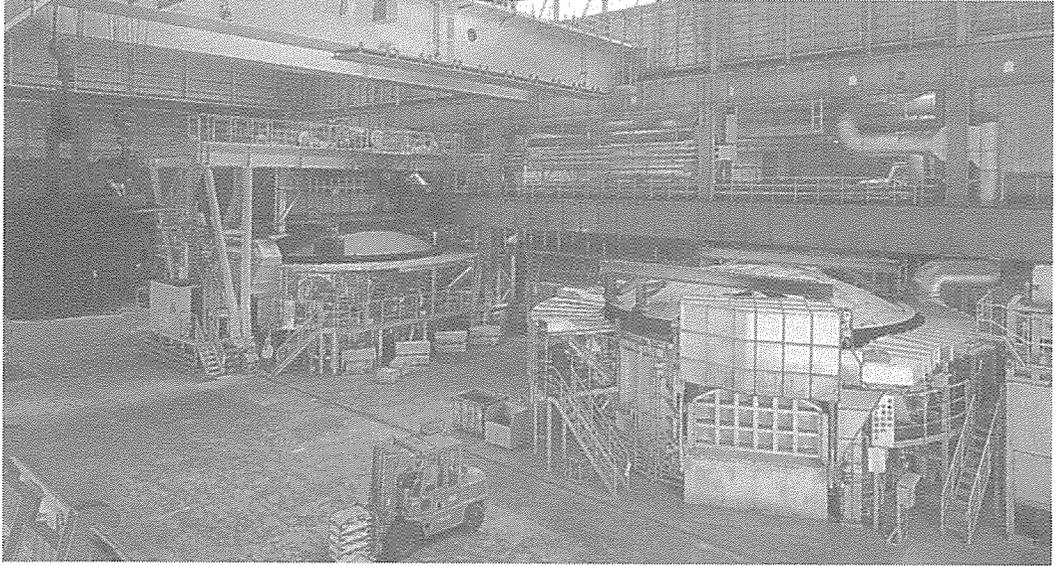


図6 アルミニウム溶解炉（円形トップチャージ式，100トン，2溶解炉＋1保持炉）

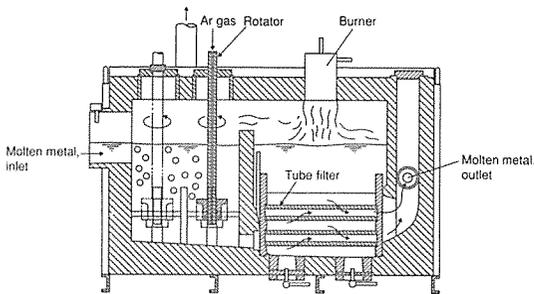


図7⁷⁾ アルミニウム容湯の脱ガス，介在物除去装置

4.3 圧延

アルミニウム板の圧延工程は次の5工程よりなる。

- 1) 造 塊：溶解，铸造，面削
- 2) 熱間圧延：加熱，圧延
- 3) 冷間圧延：中間焼鈍，圧延，矯正
- 4) 仕 上 げ：熱処理，切断，洗浄，塗装，など
- 5) 検査，出荷：

図8は一般的なアルミニウム板の全製造工程を図示したものである⁸⁾。

世界のアルミニウム圧延会社（工場）の生産設備能力の上位ランキングを表8に示す。

わが国には大手のアルミニウム圧延会社が7社存在するが，世界の上位11社の中に3社－住友軽金属，神戸製鋼，古河電工－また，上位15工場の中に3工場－住友軽金属名古屋，神戸製鋼真岡，古河電工福井－が入っている。

表9⁹⁾ は日本のアルミニウム圧延会社の最近の生産実

績を示す。

4.3.1 熱間圧延

面削されたスラブは加熱されてから，熱間圧延に供される。スラブは粗圧延機（リバース式）による粗圧延のあと，熱間仕上げ圧延がなされる。熱間仕上げ圧延機にはシングル型とタンデム型（3～5タンデム）があり，量産ラインにおいては，専ら，タンデム型が用いられている。図9は熱間粗圧延機と4タンデム熱間仕上げ圧延機の構成図であり，その仕様の一例を表10に示す¹⁰⁾。

熱間圧延工程は製品の性質と品質を大きく左右するので，適切な制御が欠かせない。すなわち，板クラウン制御（形状制御），温度制御，操業安定化制御，である。そして，さらに無視できないものとして，熱間圧延板の表面品質の確保の問題がある。この問題は熱間圧延に用いているエマルジョン型の潤滑油の性能と安定性に関わっている。熱間圧延の潤滑油の問題は，表面品質の維持・向上のために，なお改善向上の余地が残されている重要な課題である。

4.3.2 冷間圧延

冷間圧延工程においては，製品の寸法精度，品質，均一性（圧延異方性の制御を含む），表面状態，などを確保しつつ，生産能率と歩留りなどの生産性の維持が強く求められる。つまり，冷間圧延機の高精度化と高速化の達成であり，それを実現するため，板厚，板クラウンおよび平坦度等の板形状制御技術が駆使されてきている。とりわけ，板形状（クラウンなど）の制御は重要な課題であり，高性能化が進められてきている。図10は6段アルミニウム冷間圧延機の形状制御の一例を示すもので

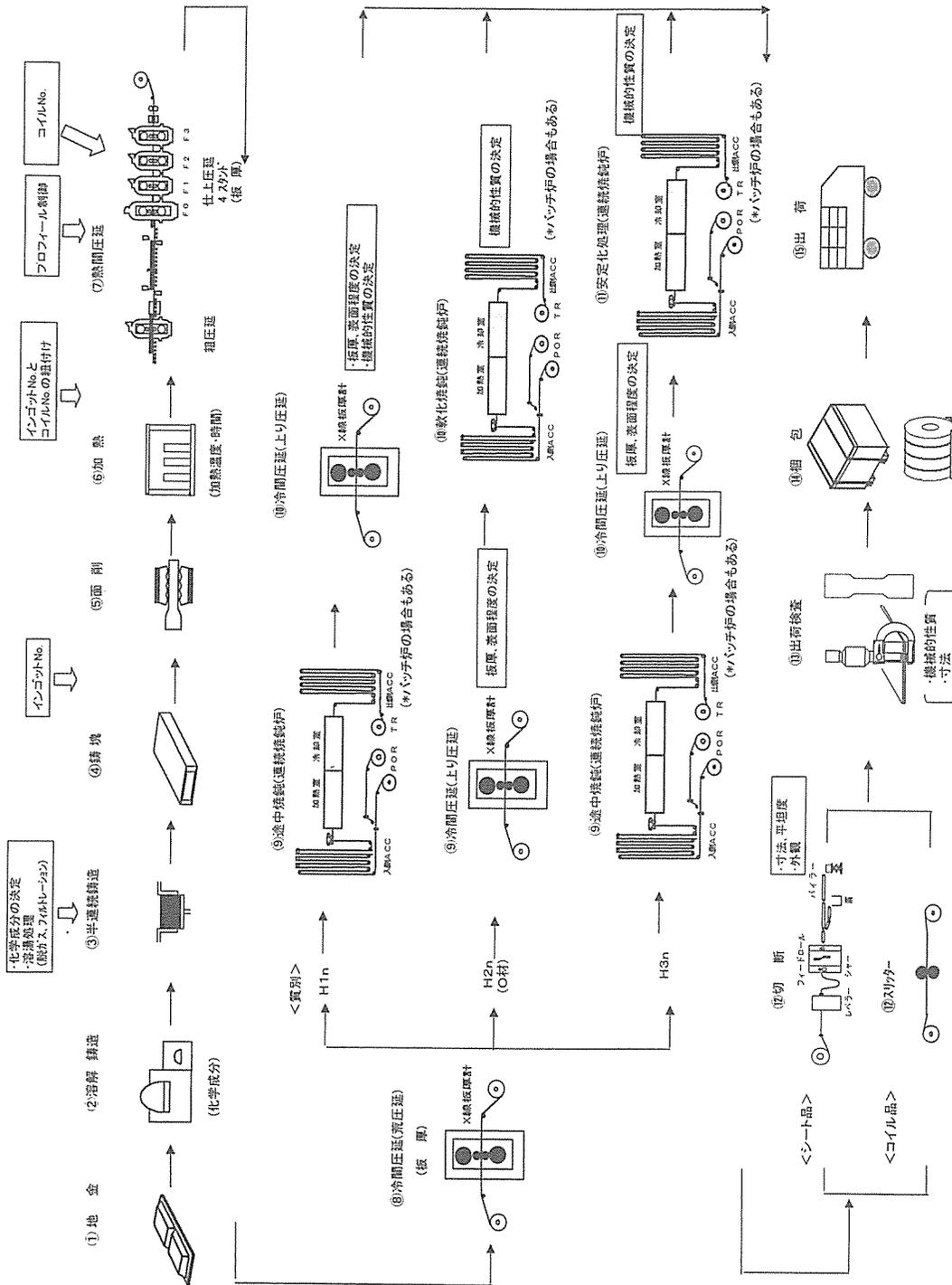


図8⁸⁾ 一般的なアルミニウム板の製造工程

ある¹¹⁾。形状制御アクチュエータとして、ワークロールベンダー、中間ロールベンダー、中間ロールシフト、圧下レベリング、VCロール、TPロール、CVCロール、クーラントスプレイなどが用いられ、多変数制御理論にも

とづいた圧延形状制御のもとで、高速圧延、max 2000 m/min、が実施されている。

アルミニウム板の冷間圧延潤滑剤として、一般に鋳物油をベースとしたものが用いられている。一部において、

表8 世界の主要アルミニウム圧延会社のアルミニウム板の生産能力推定

*工場名は200,000トン/年以上に限定

| 会社 ランキング | 企業名/グループ名 (国名) | 工場 (国名) | 圧延能力 1,000トン/年 | 主な製品 | 工場 ランキング | |
|-------------|--|--------------|-----------------------|-------|------------------------|---|
| ① | Alcoa (米国) | Warrick | Indiana(米国) | 283 | 缶エンド材 | ⑩ |
| | | Tennessee | Tennessee(米国) | 575 | 缶ボディ材 | ③ |
| | | Darvenport | Iowa(米国) | 250 | 航空機材等 | ⑬ |
| | | その他 | 米国・欧州 | 1,972 | | |
| | | 小計 | | 3,080 | | |
| ② | Alcan (カナダ) | Oswego | New York(米国) | 279 | 缶材 | ⑪ |
| | | Logan | Kentucky(米国) | 576 | 缶材 | ② |
| | | Alu-Norf | Neuss(ドイツ) | 400 | 缶材、PS | ① |
| | | その他 | 欧州・ブラジル・韓国 | 1,052 | | |
| | | 小計 | | 2,307 | | |
| ③ | Pechiney(仏) (旧CORUS(独)を含む) | Ravenswood | West Virginia (米国) | 240 | 一般材 | |
| | | Neuf-Brisach | フランス | 340 | 旧Century Alum 缶材、薄板 | ⑥ |
| | | Duffel | ベルギー | 235 | 一般材 | ⑭ |
| | | Issoire | ドイツ | 110 | 旧Hoogovens | |
| | | その他 | フランス | 186 | 一般材 | |
| 小計 | | 1,111 | | | | |
| ④ | Hydro Aluminium/Norsk Hydro (ノルウェー)、 (旧VAW, Alu-Norfを含む) | Alu-Norf | Neuss(ドイツ) | 500 | 缶材、PS | ① |
| | | Hydro | Grevenbroich(ドイツ) | 100 | | |
| | | | Karmoy(ノルウェー) | 60 | | |
| | | 小計 | | 660 | | |
| ⑤ | SAMARA(ロシア) | 詳細不明 | | 450 | | ④ |
| | | 小計 | | 450 | | |
| ⑥ | 神鋼-KAAL(日本) | 真岡 | 栃木(日本) | 372 | 缶材、一般材 | ⑤ |
| | | 小計 | | 372 | | |
| ⑦ | 住友軽金属(日本) | 名古屋 | 愛知(日本) | 324 | 缶材、一般材 | ⑦ |
| | | 小計 | | 324 | | |
| ⑧ | Wise Metal (米国) | Listerhill | Alabama(米国) | 300 | 缶材、一般材 | ⑧ |
| | | 小計 | | 300 | 旧Reynolds | |
| ⑨ | Commonwealth (米国) | Louisport | Kentucky(米国) | 294 | 一般材 | ⑨ |
| | | 小計 | | 294 | 旧Comalco | |
| ⑩ | ARCO[Logan] (米国) | Russelville | Kentucky(米国) | 274 | 缶材 | ⑫ |
| | | 小計 | | 274 | | |
| ⑪ | 古河電工(日本) | 福井 | 福井(日本) | 204 | 缶材、一般材 | ⑮ |
| | | 日光 | 栃木(日本) | 60 | 一般材 | |
| | | 小計 | | 264 | | |
| | | 合計 | | 9,436 | | |

表9 日本の主要アルミニウム圧延会社の生産実績⁹⁾

| 会社 | 生産量、単位1000トン(%) | |
|-----------|-----------------|------------|
| | 2000 | 2001 |
| 住友軽金属 | 325(24.0) | 313(24.7) |
| 神戸製鋼所 | 322(23.8) | 306(23.9) |
| 古河電工 | 232(17.2) | 212(16.7) |
| スカイアルミニウム | 154(11.4) | 145(11.4) |
| 三菱アルミニウム | 149(11.0) | 142(11.2) |
| 日本軽金属 | 94(7.0) | 87(6.9) |
| 昭和電工 | 37(2.7) | 28(2.2) |
| 日本圧延 | 14(1.0) | 13(1.0) |
| その他 | 26(1.9) | 18(1.4) |
| | 1,352(100) | 1,266(100) |

エマルジョンタイプの潤滑油も用いられている。エマルジョンタイプの潤滑油を用いる利点として、まず火災発生のおそれがないことおよび圧延圧下率を高くとることができることを挙げることができる。さらに、高圧延圧下率の圧延を適用することにより、板の品質の面において、圧延異方性が減少する利点があることが知られている。この点は、缶材において重要視されるべき利点である。しかしエマルジョンタイプの潤滑油を用いる欠点として、板表面に変色(ステイン)が発生しやすいことが知られており、アルミニウムの冷間圧延においてエマルジョンタイプの潤滑油が使用されている例は限られている。

4.3.3 仕上げ

冷間圧延されたアルミニウムの中には表面処理として、化成処理や塗装を施されるものがある。代表的な量産品種に、建材用の塗装カラーアルミ板、缶蓋材向けの

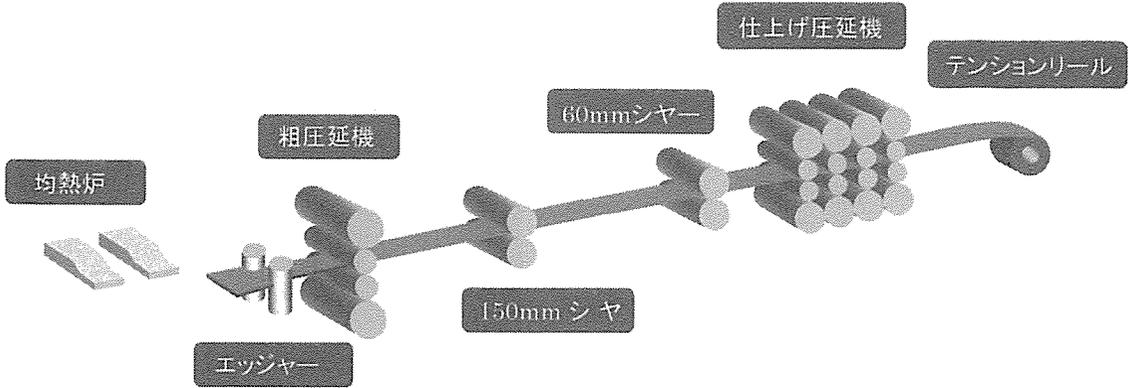


図9 熱間圧延ライン配置図

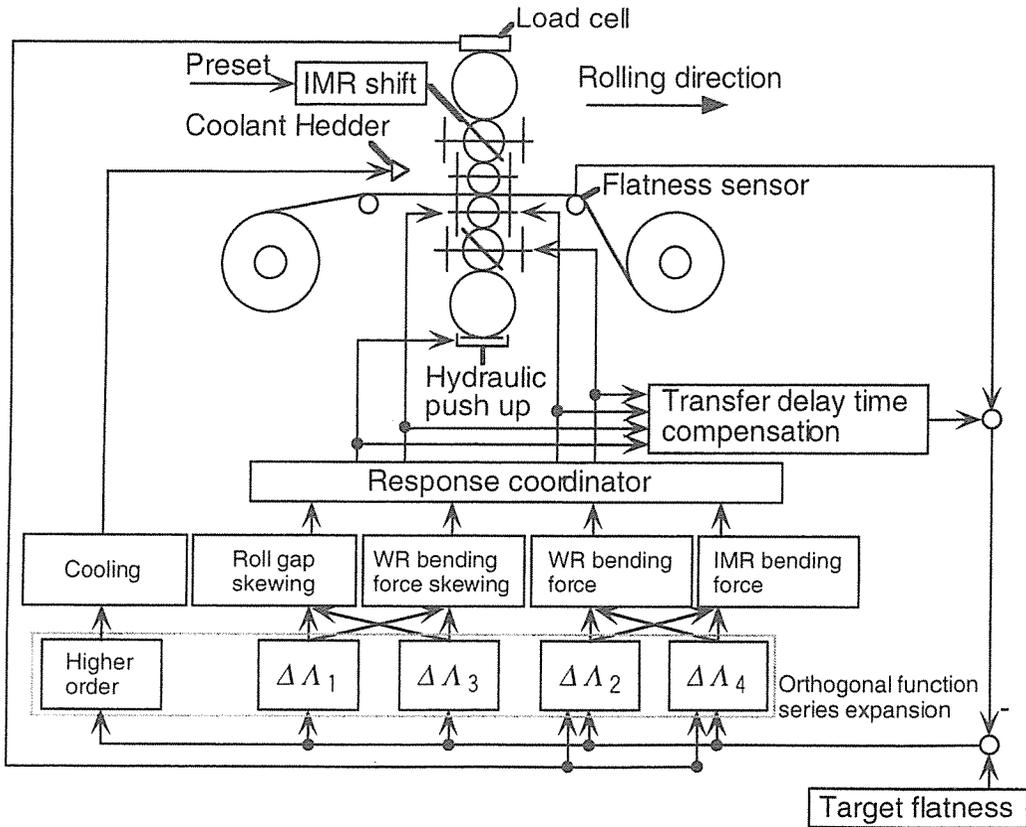


図10¹¹⁾ アルミニウム板6段圧延機の形状制御

塗装コイル，エアコンのフィン材向けの親水性皮膜塗布コイルがある。

4.4 押出

アルミニウム押出材は建築向けをはじめとして，車両，船舶，土木，自動車，航空・宇宙などの多くの分野で用いられている。製品例を図11に示す。この中で建築用

のサッシの需要量が突出して大きい。図12¹²⁾は日本の押出材の総需要とサッシなどの建築向け需要(内数)の大きさを年度別に示したものである。2001年の押出材総需要に占める建築用の需要は総需要の過半，67.6%を占める。また，このところ，押出材の需要は減少傾向を示している。

表10 アルミニウム熱間圧延機仕様¹⁰⁾

| 粗圧延機仕様 | |
|--------|--------------------------------------|
| メーカー | 芝浦共同工業/東芝 (1966年) |
| 形式 | 可逆4段圧延機 |
| 主モータ | 3370kW×2 (誘導電動機) |
| 最大速度 | 180m/min |
| 最大荷重 | 3000tf (電動圧下) |
| ロール寸法 | WR : 950×3300mm BUR : 1410×3250mm |

| 仕上圧延機仕様 | |
|----------|--|
| メーカー | F0 川崎重工業/東芝 (1992年) F1-F3 UNITED ENGINEERING/東芝 (1966年) |
| 形式 | 非可逆4段圧延機 (4スタンド) |
| 主モータ | 4500kW/スタンド (同期電動機) |
| 最大速度 | 450m/min |
| 最大荷重 | F0 : 3500tf, F1 : 2500tf, F2, F3 : 2000tf |
| 圧下方式 | F0 : 油圧圧下, F1~F3 : 電動圧下 |
| ロール寸法 F0 | WR : 800×2300mm BUR : 1500×2500mm |
| F1-F3 | WR : 735×2286mm BUR : 1380×2286mm, 1410×2300mm (TP) |

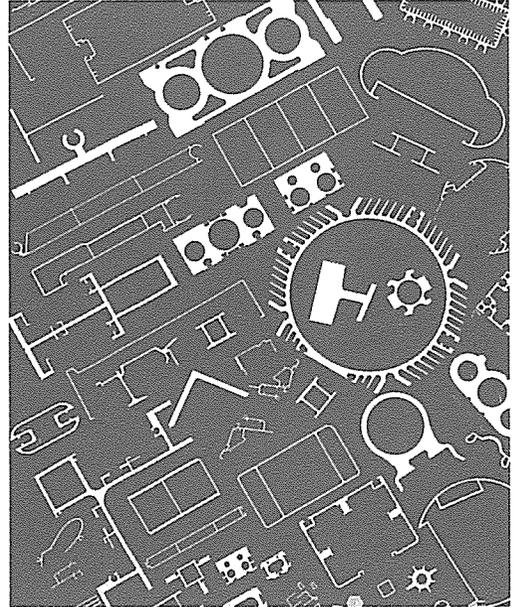


図11 アルミニウム押出材の断面 (例)

日本には、今日、アルミニウム用の押出機 (プレス) を保有している会社が37社存在する。その保有する押出機の総数は245基である。そのうち、222基 (90.6%) は押出力3,000トン未満である。押出力最大のプレスは軽金属押出開発の9,500トンプレスである。表11¹²⁾ は押出機保有数の上位11社とその生産量を列挙したものであり、上位にサッシなど建材専門メーカーが多いことが特徴である。

サッシなど建材に用いられる押出材はAl-Mg-Si系合金の6063-T5材である。必要とされる押出ビレットは内

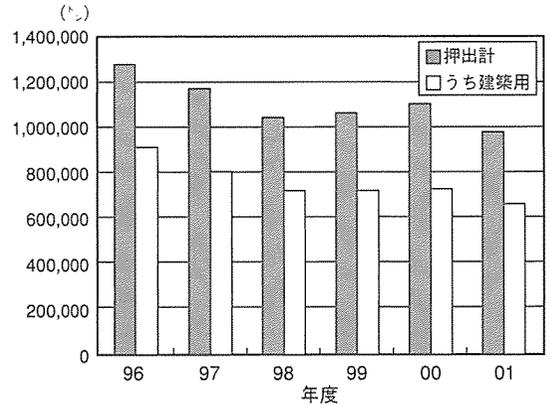


図12¹²⁾ アルミ押出類・建設向け需要推移

表11 わが国の主要アルミニウム押出会社の保有押出機数と生産量¹²⁾

| ランキング | 会社名 | 保存台数 | 主要向け先 | 2001年度生産量 1000トン |
|-------|-------|------|---------|---------------------|
| 1 | トステム | 26 | サッシなど建材 | 147 |
| 2 | YKK | 20 | サッシなど建材 | 127 |
| 3 | 住友軽金属 | 16 | 工業用、建材 | 48 |
| 4 | 新日軽 | 15 | サッシ | 76 |
| 5 | 古河電工 | 14 | 工業用、建材 | 40 |
| 6 | 昭和電工 | 13 | 工業用、建材 | 66 |
| 7 | 三協アルミ | 10 | サッシなど建材 | 99 |
| 8 | 神戸製鋼所 | 9 | 工業用 | 42 |
| 9 | 日本軽金属 | 7 | 工業用 | 37 |
| 9 | 三菱アルミ | 7 | 工業用 | 22 |
| 9 | 本多金属 | 7 | サッシなど建材 | 23 |

外の一次および二次地金メーカーによって、供給されるものが多い、これに対して、工業用の押出材はそれぞれの用途に応じて、各メーカーにおいて合金の種別の選択とそのビレットの溶解鑄造が個別になされる。

アルミニウムの押出を主な業務内容とする産業として、サッシを主体とする建築需要分野と、各種の工業製品向け需要分野は、アルミニウムの押出と言う一点において共通であるが、産業の実態としては互に異質な面を

多く有していることを指摘しておきたい。

4.4.1 押出加工

押出加工の工程を図13に示す。ビレットの加熱は専ら電磁誘導加熱（ビレットヒータ）によって行われる。

今日、実用されている押出法には直接押出法と間接押出法がある。その原理を図14¹³⁾に示す。一般に直接押出法が広く用いられている。直接押出法では押出時にビレットとコンテナの接触面において、大きな摩擦力が働くため、長尺ビレットの押出は制限される。これに対して、間接押出法は直接押出法よりも低い一定の圧力で押出することができる利点を持ち、長尺ビレットの押出に適している。さらに、押出時のメタルフローの乱れが小さいため、押出材の均質性が高い。ただし、欠点として、ビレット表面の酸化物を巻き込みやすいこと、および押出機の構造上、押出材はホローステムの中を通過して押出されることとなるため、押出材の断面の最大寸法（最大外接円）は制限を受けることとなる欠点を有する。図15は一例として、直接・間接兼用の大型複動押出機（5,600トン）の外観を示す。

4.4.2 表面処理

アルミニウム押出材にとって、表面処理は必要、不可欠なものである。

アルミニウムサッシが実用されだした頃（昭和30年代の後半）、サッシの表面処理はシルバーアルマイトが主流であつたが、二次電解着色法によるブロンズ系統の色調の表面処理方法が開発され、広く用いられるようになった。最近では陽極酸化皮膜処理のみでなく、着色顔料を含むアクリル樹脂、ポリウレタン樹脂、弗素樹脂などの塗装が普及してきている。表12¹⁴⁾は最近のサッシとビル外壁の表面処理仕様別生産量を示す。複合処理、と

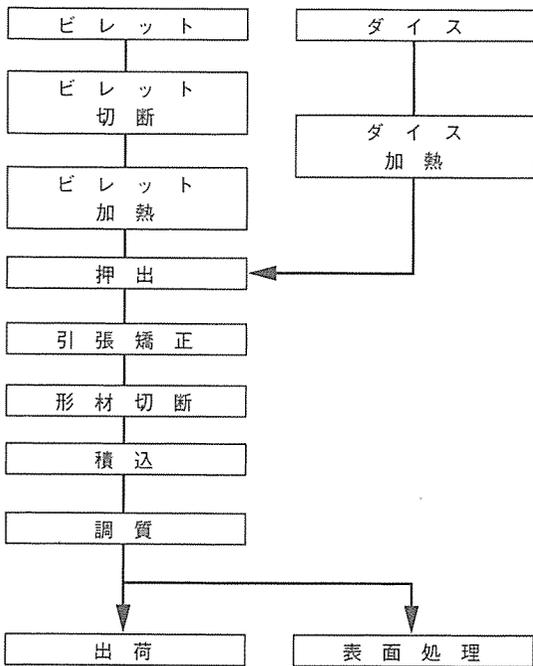


図13 押出工程フロー

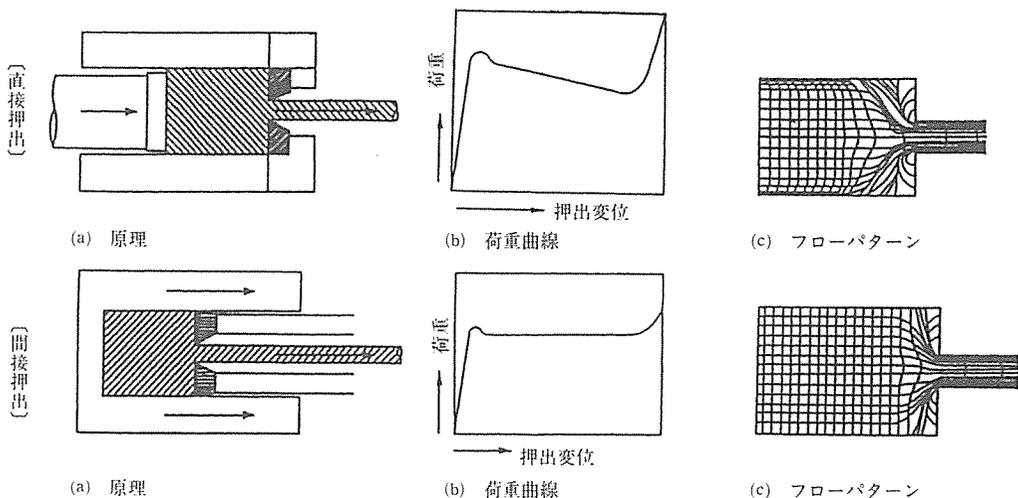


図14¹³⁾ 押出の原理とメタルフロー

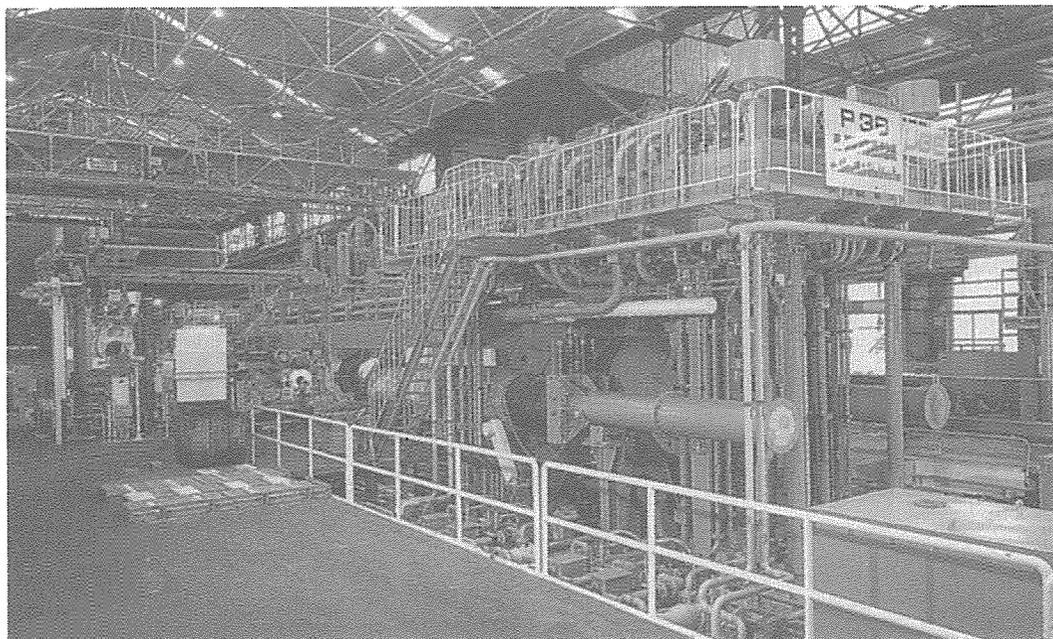


図15 直接・間接押出兼用大型プレス (5,600トン, ビレット最大径: 16インチ)

表12 表面処理仕様別生産量 (1999年度)¹⁴⁾

| 表面処理仕様 | | 生産量(トン), (%) | |
|--------|-------------|----------------|-----------------|
| 陽極酸化皮膜 | 無色皮膜 | 12,921(74.2%) | 17,421 (2.7%) |
| | 着色皮膜 | 4,500(25.8%) | |
| 複合皮膜 | 無色皮膜+クリア | 100,087(16.2%) | 615,927 (96.4%) |
| | 着色皮膜+クリア | 435,830(70.8%) | |
| | 着色皮膜+カラークリア | 30,778(5.0%) | |
| | ホワイト | 49,232(8.0%) | |
| 着色装膜 | アクリル樹脂系 | 2,603(49.2%) | 5,292 (0.8%) |
| | ポリウレタン樹脂系 | 295(5.6%) | |
| | ふっ素樹脂系 | 1,869(35.3%) | |
| | その他 | 525(9.9%) | |
| | 計 | 638,640 | |

くに着色皮膜+クリア処理が極めて多くなっていること(96.4%)に注目されたい。

5. アルミニウム製品

5.1 主要製品の材質と需要

今日、アルミニウムは極めて多くの需要分野で製品として、使用されている。これらの製品の多くはこの50年間に開発されたものとみてよい。その中には既存材料であった木材、鉄、銅などがアルミニウムに置き換えられた結果として実現した需要もあるが、また、新しい製品の登場と共に実現したものも少なくない。当然のことながら、材料に要求される性質は用途によってそれぞれ特色があり、極めて精緻に調整されている。日本のアルミニウム一次加工産業は極めて多くの用途にそれぞれ適応した最適の材料を個別の需要家(二次加工産業)の要求に応じて提供することに最大の努力を重ねることで独

自の発展を遂げてきた。

昨年、(社)日本軽金属学会は設立50周年に当たり、その記念として「アルミニウムの製品と製品技術」(全423頁)を出版した。本書において、アルミニウム産業にとって特に重要とみられる製品20件が選出され、その「材料」、「製品」およびその「製造方法」が斯界のエキスパートによって詳しく記述されている。

表13は本書「アルミニウムの製品と製品技術」、において選出されている20件の製品をとりあげ、その材料および需要を需要の大きさの順に示したものである。図16はこれらの主要アルミニウム製品(①～⑳)の代表例を写真により示したものである。

本稿では紙面の都合により、このうち、需要の多い上位3品種について以下に簡単に解説する。詳しくは本書を紐解かれない。

5.2 鋳物・ダイカスト

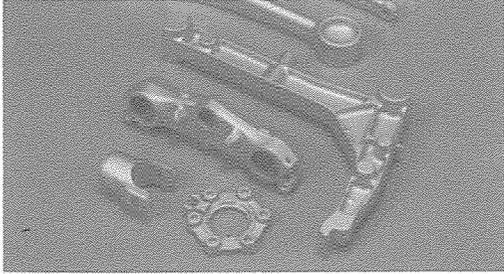
日本のアルミニウム鋳物・ダイカストの生産量は1990年代に入って年間100万トンを超え、その後も堅調に推移している。需要の約80%は自動車向けである。今日の自動車社会における環境問題の重要性に鑑み、引続いて自動車部品の軽量化のためのアルミニウム化は進展するものと考えられ、アルミニウム鋳物・ダイカストはその中核をなすものとみなされる。

代表的なアルミニウム鋳物・ダイカスト製品として、ホイール、シリンダーブロック、シリンダーヘッド、ピストン、各種ハウジング、ポンプ類、等々があり、その

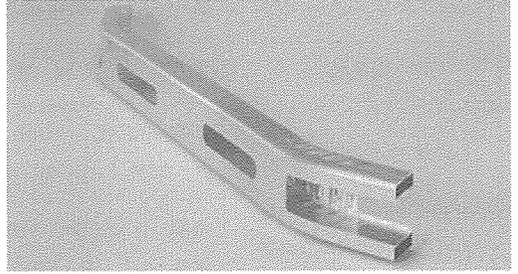
表13 日本の主要アルミニウム製品の材質と需要

| 製品名 | 形状(板:P、押出:E、材質) | 需要概算(推定*)千トン |
|----------------------|--|--------------|
| ① 鋳物、ダイカスト | 鋳物: AC4C、AC8B、AC9Bなど ダイカスト: ADC10、ADC12など | 1,127 |
| ② 飲料用アルミニウム缶 | 缶胴 P: 3004、3104 缶蓋、タブ P: 5052、5082、5182 | 436 |
| ③ アルミニウム合金サッシ | E: 6063 | 337 |
| ④ アルミニウム箔 | P: 1085、1070、1N30、1100、3003、3004、 8079、8021 | 118 |
| ⑤ カーテンウォール材 | P: 1050、1100、3003 | 116 |
| ⑥ 自動車用押出材 | E: 6061、6063、6N01、7003、7N01 | 110 |
| ⑦ PS版 | P: 1050、1100、3003 | 72 |
| ⑧ 熱交換機用 プレージングシート | 芯材 P: 3003系 皮材 P: Al-7~10%Si系 | 55 |
| ⑨ プレコートフィン材 | P: 1050、1100 | 30 |
| ⑩ アルミニウム 電解コンデンサ箔 | P: 1N99、1N90、1080 | 25 |
| ⑪ 土木構造物 | P: 5052、5083 E: 6061、6063、6082 | 14 |
| ⑫ アルミニウム粉末 | 純アルミニウム、合金: Al-高Si系など | 14 |
| ⑬ 船舶用材料 | P: 5052、5154、5454、5086、5083 E: 6061、6063、6082 | 13 |
| ⑭ 鉄道車両 | P: 5052、5083 E: 6061、6063、6N01、7003、7N01 | 10 |
| ⑮ 磁気ディスク基板 | P: 5086系 | 5 |
| ⑯ 感光ドラム | E: 1070、1100、3003、3004、6063 | 4 |
| ⑰ 自動車ボディパネル | 5000系: 5182、5022(P) 6000系: 6009、6011、6111、6016(P) | 4 |
| ⑱ 航空機材料 | 2000系: 2017、2014、2324、2524、2219、2618 7000系: 7075、7475、7050、7055 | 3 |
| ⑲ 超高真空材料 | E: 6061、6063 P: 1050、2219、5052、5454、5083 | 3 |
| ⑳ 超塑性材料 | P: 2004、5083、7475、8090 | 0.5 |

*2001年度の国内需要に基づく、輸出を含まず。



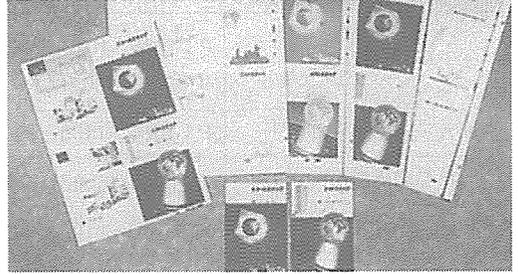
① 鋳物、ダイカスト



⑥ 自動車用押出材



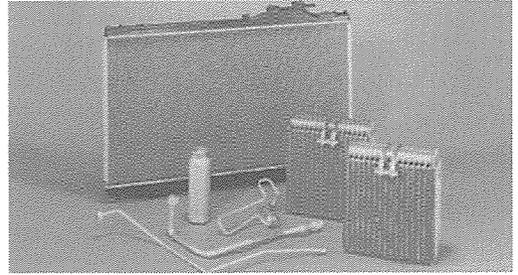
② 飲料用アルミニウム缶



⑦ PS版



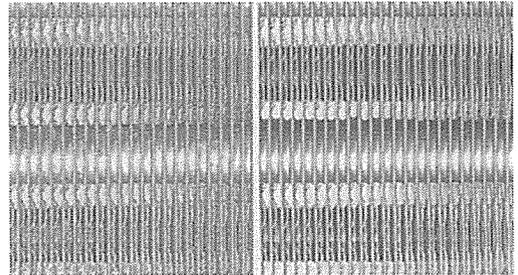
③ アルミニウム合金サッシ



⑧ 熱交換機用ブレージングシート



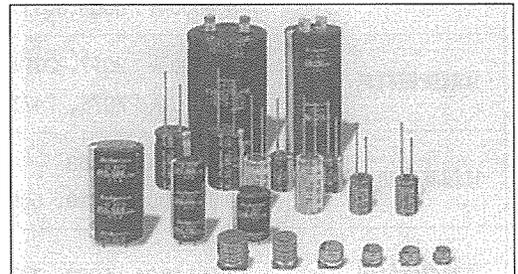
④ アルミニウム箔



⑨ プレコートフィン材



⑤ カーテンウォール材

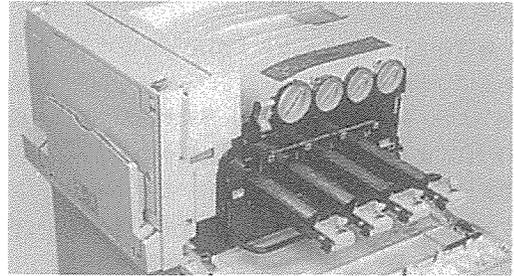


⑩ アルミニウム電解コンデンサ箱

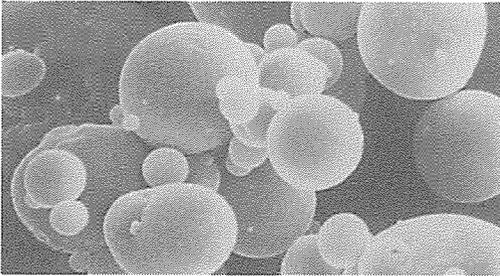
図 16 主要アルミニウム製品 (表13記載20品種の代表例)



⑪土木構造物



⑯感光ドラム



⑫アルミニウム粉末



⑰自動車ボディパネル



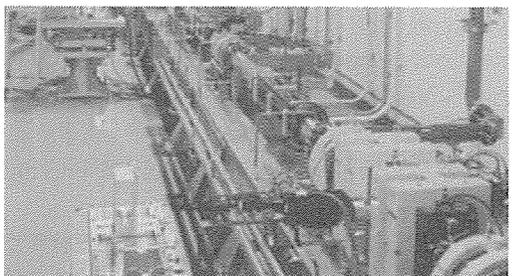
⑬船舶



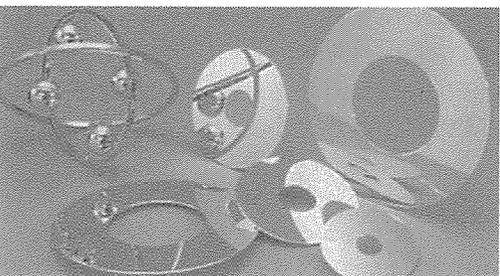
⑱航空機



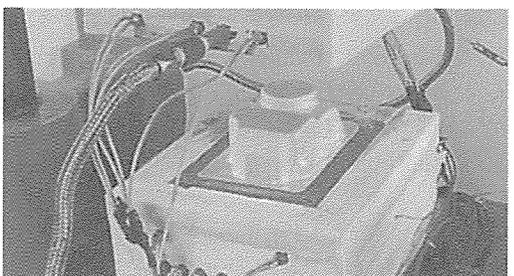
⑭鉄道車両



⑲超高真空機器



⑮磁気ディスク基板



⑳超塑性加工

品種は多岐にわたっている。

鑄造法としてはダイカストが70%を占める。ダイカストはつぎのメリットを有している。すなわち、寸法精度がよい、鑄肌が平滑である、薄肉対応ができる、機械的性質に優れる、量産性に優れ品質が均一である、作業環境負荷が小さい(砂型との比較)など。さらに、ダイカストは溶湯を高速鑄入し、急冷凝固させるため、不純物—とくにFe—に関する許容量が砂型鑄物に比して大きい。このことは二次合金地金の利用を広く可能とし、リサイクルの促進に寄与しているものと考えられる。

ダイカスト用の合金としては、Al-Si-Cu系の合金が主として用いられ、ADC10 (Si: 7.5~9.5%, Cu: 2.0~4.0%, Fe: 1.3%以下, 亜共晶成分, ASTM A380相等) やADC12 (Si: 9.6~12.0, Cu: 1.5~3.5%, Fe: 1.3%以下, 共晶成分を含む) が多く用いられている。

ダイカストの欠点の一つは溶湯の高速注入に伴うガスの混入であるが、その対策として真空ダイカスト法(たとえば、Vacural法¹⁶⁾、ドイツ)が開発され、普及しつつある。

5.3 飲料用アルミニウム缶¹⁵⁾

日本で最初にアルミニウム缶が製造されたのは1971年(昭和アルミニウム缶株)であり、以後、急速に普及し年間消費量は、174億缶(2001年)に達している。

アルミニウム飲料缶向けの材料として出荷されたアルミニウム合金の圧延材(コイル)は年間436千トン(2001年)に達し、板材の出荷量、1,289千トンの最大の需要分野(33.8%)となっている。

アルミニウム缶は缶胴(ボディ)と缶蓋(エンド)からなるため、2ピース缶とも称される。缶胴の製造はアルミニウム合金3104の条(厚さ0.27mm)を原材料として、カップ成形、DI加工(しごき成形, Draw and Ironing)、印刷の各工程によって行われる。

図17は350ml缶の胴の断面の板厚分布を示したものである。

缶蓋の製造はアルミニウム合金5182条を原材料として、プレス加工による成形、タブを取付けるための突起(リベット)の絞出、飲口の開口のためのスコア(切り込み)の付与、タブ(つまみ)のリベット固定、によって行われる。成形された缶胴と缶蓋は飲料を充填してから、シーマー(巻締機)で巻締め、製品となる。

アルミニウム飲料缶は傾向として、コストダウンを目指して、缶胴の薄肉化とともに缶蓋の小径化が進展してきた。

最近、アルミニウム飲料缶の分野で急速に普及しつつある缶に、ボトル缶がある。この缶はペットボトルが持つリシール性能(開口した後に栓をすることができる)をアルミ缶に付与したものである。特徴は開口部がキャ

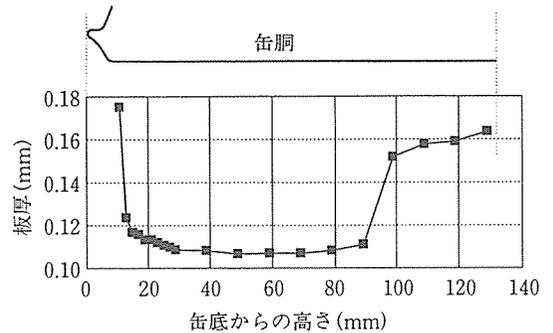


図17¹⁵⁾ 350ml 缶胴の板厚分布 (ネック成形前)

ップ式(ねじ切り栓)であり、開口後キャップをしめることで密閉できる点にある。ボトル缶の製法としては、カップ成形後にその底部を加工して頭部(飲み口)を成形し、カップの開口部を底部としてそこに缶蓋を巻締める方式(胴、キャップ、底蓋の3ピース)とカップ成形後に開口部を絞り加工によって、飲み口を成形する方式(胴とキャップの2ピース)が実用されるようになった。このボトル缶はわが国の製缶メーカーによって発明されたものであり、海外からも大いに注目されている新製品である。

5.4 サッシ(窓枠)¹⁴⁾

日本でアルミニウム合金押出材(6063)を用いたサッシが用いられるようになったのは昭和30年代の後半からであるが、その優れた機能—耐風圧性、気密性、水密性、遮音性—と優れた外観により、急速に普及し瞬く間に市場を席卷した。このところ、ビルや住宅の市場は停滞を余儀なくされており、サッシの生産量も漸減の状況にある。しかし、アルミニウム押出材にとって、最大の需要分野がサッシであることは些かも揺がないところである。

サッシの最近の動向として、高品質化が顕著である。機能面から、断熱性に優れた断熱サッシ、遮音性に優れた防音窓用サッシ、などの多くの製品が開発されつつある。断熱、遮音、ならびに結露防止等に有効な二重ガラス窓(ペアガラス窓)はその一例である。表面処理として、硫酸アルマイト(シルバー)のみならず、意匠性に優れた二次~四次着色アルマイトや、電着塗装、衛生性に優れた抗菌性表面処理、撥水性の低汚染性表面処理などが実用化されてきている(42 表面処理, 参照)。

6. ま と め

(1) 日本のアルミニウム産業は、年間約4,000千トン(2001年, 3,879千トン)のアルミニウム製品を生産しており、米国の約11,000千トン(1999年, 11,165千トン)に次ぐ世界第2位である。(注: なお、中国のア

ルミニウム製品総需要は4,000千トンを凌駕しているとも言われているが、算定基準が等しくない可能性があるため、本稿では取上げていない。

- (2) 日本のアルミニウム産業が年間に必要とする地金、3,788千トン(2001年)、はその57.9%が新地金であり、残り42.1%は二次地金(再生地金・合金)である。
- (3) 日本が消費する新地金2,194千トン(2001年)の44.9%, 986千トンは日本の資本によって、世界の各地のアルミニウム製錬所で製造された地金、開発輸入地金、であり、“準国産地金”とも言うべき地金である。開発輸入地金のために投資された金額は推定約8,000億円に達している。
- (4) 日本で年間(2001年)に使用された二次地金(再生地金・合金)、1,594千トン、はそのうちの1,170千トン、73.4%, が国内で回収された屑を主原料として再生された“国産地金・合金”である。つまり、日本のアルミニウム産業が年間に必要とする地金3,788千トンのうち、56.9%, 2,156千トンは“準国産の新地金および国産の再生地金・合金”によって賄われている。(よって俗に“日本のアルミニウム産業は、その原料地金のすべてを海外からの輸入に依存している”と表現されることがあるが、これは正しいとは言えない。)

- (5) 日本のアルミニウム材料の65.1%は展伸材(圧延材と押出材)として各用途に使用される。日本の圧延業(会社)の上位3社は世界の圧延会社のトップクラス数社よりも規模において、一歩及ばないが、単一工場の比較においては規模と内容において大差ないレベルにある。

日本のアルミニウム圧延業の最大の需要分野は飲料缶向けであり、33.7%を占めるが、米国のような缶材向けの専用圧延工場は存在しない。

日本のアルミニウム押出業(会社)は大別して、サッシ等の建材専用工場とその他の工業用押出材工場よりなり、前者の比率が高いことが一つの特徴となっている。単一工場の比較において、規模、内容とも世界の各社に比して、遜色ない。

- (6) 日本のアルミニウム製品の用途は多岐にわたる。製品別に見ると、自動車をはじめとする輸送機向けの需要が最も大きく、その約80%は鋳物・ダイカスト製品(とくにダイカスト製品)である。

それに次ぐ用途として、サッシなどの建材需要(主として、押出材)と飲料缶(板材)がある。

更に日本のアルミニウムの用途は、構造物として土木建築構造物、船舶(とくにLNG運搬タンカーの球型タンク材)、車両(新幹線構体)、航空機など、また機能材として電解コンデンサー向けの高純アルミ

ニウム箔、食品の包装材としてアルミニウム箔と樹脂のラミネート材、自動車用などの熱交換器向けのブレーシングシート、印刷用のPS版用アルミニウム板、複写機用のドラム用パイプ材、等々がある。

- (7) 日本のアルミニウム産業は、高度産業社会を構成する一要素として、あらゆる製品需要に対して、最適な材質よりなる材料とそれを用いた高品質の製品を提供することで、存在しつづけてきた。世界のアルミニウム産業の中における日本の立場は資本を有効に活用しつつ、あらゆる技術を駆使して競争力のある高度の付加価値製品を引続き世界市場に提供していくことにあるものと考えられる。

謝辞：本稿の執筆に当り、大久保正男(日本アルミニウム協会)、大園智哉(金属材料研究開発センター、JRCM)、阿部和史(住友軽金属、購買部)、三村重長・片田晴也・吉岡光昌(同、商務部)、宇野照生(同、技術部)、待鳥明史(同、総務人事部)の各位から助言およびご支援を賜ったことを明記し、深く感謝致します。

参 考 文 献

- 1) 日本アルミニウム協会(ホームページ)：
<http://www.aluminum.or.jp/kiso/gaikyo/ga2.htm>
- 2) 日本アルミニウム協会：アルミニウムデータブック(2001. 10), 224(但し、見直し)
- 3) 日本アルミニウム合金協会：アルミニウム二次合金概論(2002), 2
- 4) 同上：同上, 6
- 5) 日本経済新聞(朝刊)：2002, 10, 10
- 6) 日刊産業新聞：2002, 7, 4
- 7) S.Sato, S.Kondo, Y.Baba and Y.Kato：
BNF International Conference, Birmingham, England(1986), Quality Control in the Production of Aluminium Sheet and Plate
- 8) Proprietary Chart：A.Sugi-e
- 9) 日刊軽金属：第4264号, 15(平成14年7月16日)
- 10) 上野順一郎、藤本隆行、杉江明士、星野郁弥、橋爪雅紀、今西由幸、岡村義英：住友軽金属技報, 36(1995), 53
- 11) 小久保操、星野郁弥：住友軽金属技報, 36(1995), 1
- 12) カロス出版：アルトピア, 32-7(2002), 18
- 13) 大出雅章：アルトピア, 27-2(1997), 68
- 14) 宮本進：アルミニウムの製品と製造技術、軽金属学会,(2001), 「1.アルミニウム合金サッシ」, 1
- 15) 大西健介：同上, 「4.飲料用アルミニウム缶」, 59
- 16) H.Woithe, W.Schwab: Aluminium, 60(1984), 790

談話室

バークレー滞在記

渡辺俊樹*

Living in Berkeley

by Toshiki WATANABE



写真1 LBLから見たサンフランシスコ湾の眺望。左手前がUCB。

日本でも大ヒットした1994年の映画「フォレスト・ガンブ」をご覧になった方も多いと思う。現代米国社会に翻弄される純真無垢な知的障害者フォレスト・ガンブの物語である。主人公フォレストの最愛の幼なじみジェニーは保守系プア・ホワイトの象徴フォレストの対極として描かれている。ジェニーは、故郷を捨ててヒッピーとなってカリフォルニアへ行き、コミュニオン生活でドラッグやら何やらを体験し、ワシントンD.C.での反ベトナム戦争デモ集会でフォレストと再開する。翌朝ジェニーを乗せて去って行くバスの行き先は“Berkeley”。

筆者は2000年7月1日から10ヶ月間を文部省（当時）在外研究員として、さらに派遣費用の残りとして研究室の費用を少し使って都合1年間、米国カリフォルニア州バークレー（Berkeley）市にあるLawrence Berkeley National Laboratory（以下LBL）に滞在した。帰国して1年以上も経ってから滞在記を書くことになったが、いろいろなことが思い出されて懐かしい。米国西海岸は観光地としてポピュラーであるし、カリフォルニア大学バークレー校（以下UCB）やLBLをよくご存じの方も多いと思うの

で、僭越な気もするが、小文をしたためて責を果たすことにしたい。水曜会誌向けの内容をと心がけたが、余談ばかりになってしまったかもしれない。

LBL

“Lawrence Berkeley Laboratory”は日本人が発音してもアメリカ人にはまず通じない。日本人にとって鬼門のLとRがてんこ盛りだし、リズムが全然違うのである。

LBLはバークレーのダウンタウンから急な坂を上った（第1級の活断層Hayward断層によって形成されている）サンフランシスコ湾を見下ろす高台にある。サンフランシスコのダウンタウンやゴールデン・ゲート・ブリッジなどが一望でき、季節や時刻、天候によって様々に変化する眺めの美しさは忘れることができない。

加速器の発明でノーベル賞を受賞したE.O. Lawrence博士を初代所長とするLBLはサイエンスの主要分野をほぼ網羅している。伝統的に物理系が強いが、最近は生命科学が充実している。ところが、LBLの建物は大概がボロく、どう見ても「斜面にへばりついた町工場群」がいいところで、とても世界トップクラスの研究所には見えない。LBLがLivermoreやLos Alamosなどの他の研究所と決

*京都大学大学院工学研究科助手

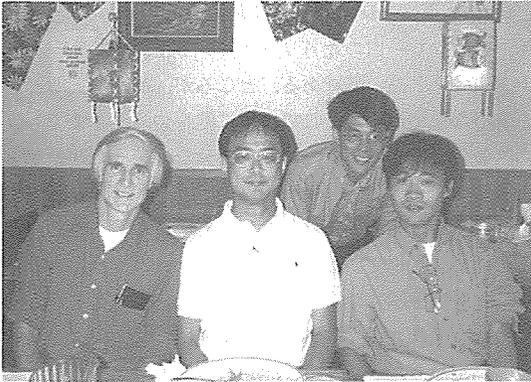


写真2 左からLarry Myer, 筆者, Kurt Nihei, Seiji Nakagawa. 30年ぶりに髭を剃ったLarryの貴重な写真。

定的に異なるのは、国家機密や国家安全保証に関する研究をしていないことである。そのため土地柄もあって至ってオープンな研究所であった（というのは、同時多発テロ後に出入りの管理が少し厳しくなったからである）。LBLの詳細はウェブ（末尾）を参照していただくと、カフェテリアの今日のメニューまでわかる。

筆者が所属したのはEarth Sciences Division（以下ESD）のGeophysics and Geomechanics（以下G&G）である。ESDの詳細はウェブ（末尾）に詳しいが、一般の地球科学研究やエネルギー関連の研究に加え、炭素循環や気候変動のプロジェクト、先日核廃棄物処分場建設が決まったYucca Mountainプロジェクト、環境関係のプロジェクトが目立つ。ESDには約200名の人間がいるが、G&Gには約70名が所属していてHydrologyと並ぶ大勢力である。G&Gにはなかなか個性的な人間が揃っているが、私が日頃お世話になったのはLarry Myer, Kurt Nihei, Seiji Nakagawaの3人である。この3人はRock Physicsの分野において国際的に一目置かれる強力なトリオである。

LarryはESDの中心人物の一人で、立場上管理業務に忙殺されているが、本人は実験室にいるときが一番楽しいと言う。その博識には驚くばかりである。Larryは白髪で顔も真っ白い髭に覆われているので、以前から結構高齢だと思いついていたが実は意外と若かった。写真は筆者のお別れランチの時のものであるが、この日Larryは30年ぶりに髭を剃って現れ（検査の規則のためとのこと）ラボ中を驚かせた。誰も髭のないLarryの顔を見たことがなかったのである。今では元に戻っているから、これが髭のないLarryの貴重な写真である。Kurtは秀才肌で熱心な勉強家。彼の研究は以前から評価していたが、仕事ぶりを見てますます大した奴だと尊敬するようになった。KurtはESDで最も若いグループ・リーダーで将来を期待されている（最近G&Gのヘッドになった）。当然



写真3 Rock Physicsの実験室。

忙しい。にもかかわらず、筆者は滞在中彼におんぶにだっこ状態で面倒を見てもらった。彼にとってはさぞ重い荷物だったことと思う。筆者と同年代であり、小さい子供のいる家族持ちである点や、研究と管理業務の時間配分や研究の方向性、年齢など筆者とも共通する悩み？も持っており、研究の合間にそういった話をすることもあった。Seijiは京大の土木工学で修士修了の後UCBの博士課程に進学、LBLでポスドクを勤め、筆者の滞在中めでたくポストを得た。Rock Physicsの若い研究者の中で群を抜いて国際的に高い評価を得ている。本人は日本に帰る気はなさそうで、筆者もここの方が彼に向いていると思う。日常会話のヘルプから実験の相談までいろいろとお世話になった。鉱物採取を兼ねたキャンプに連れて行ってもらったのはよい思い出となっている。

筆者はLBLでは粘音響波動場の周波数領域での波形インバージョンの開発を行った。Kurtがイメージングに興味を持っていることと、飽和・不飽和の砂質試料の弾性波伝播特性を計測する実験を行っていることから、研究の接点が見えたためである。また、実験用の自動測定装置を作ることになった。こちらは難航した。原因は私がきちんと英語でコミュニケーションできなかったことにあると思うが、人に頼むと何事にも時間がかかったのはお国柄かもしれない。実験に関しては当初の10ヶ月の滞在中では何も成果が出ていなかった。1軸のみ自動計測可能なプログラムができあがり、曲がりなりにもデータを取れる状態になったのは最終帰国の一週間前。まだ未完成のシステムを使って月曜日に実験データを取り、研究と生活の後始末をして、金曜日には帰国の便に乗った有様である（半年後学会出張の折りに再訪して完成させた）。Rock Physicsの実験室はがらくた満載のおもちゃ箱のようで、筆者にはとても居心地のよい場所であった。

滞在中、同じ分野の各国の研究者に知り合いができ、また、最新の研究情報を多く得られたことが有益だったことはもちろんだが、それ以外にも組織のあり方や運営方法、プロジェクトやミーティングの進め方、ファンドの流れ、資金繰りや人事の裏事情など、ずっと京大で過ごしてきた私には何もかもが新鮮で面白かった。オープンで活発なミーティングの雰囲気は何となく研究室のゼミに持ち込みたいと思っている。人間関係やコミュニ

ケーション能力が研究者として生き抜く上で重要な要素であることも強く印象に残った。

私と同時期にESDには物理探査工学研究室の卒業生で核燃料サイクル開発機構の藪内聡君（平成4年卒）、京大の土木工学専攻の岸田潔先生が滞在しており、アパートも同じだったので、食事に招いたり招かれたり一緒に遊びに行ったりといろいろとお世話になった。

UCB

UCBは公立の大学として最多のノーベル賞受賞者を輩出した世界でトップクラスの大学である。その研究レベルの高さは充実した大学院教育にあり、全米はおろか世界中から優秀な院生が集まることがその原動力であると思う。ただし、学部学生の学力レベルは年々低下しているという話も聞いた。キャンパスはアメリカの大学にしては雑然としていて京大とも通じるものがあるが、それでも京大と比べると圧倒的に広くてきれいである。キャンパス周辺は猥雑で庶民的な雰囲気、場所によってはそれを通り越して怪しげですらある。ちなみにUCBの年間の学費は4,800ドルというから日本の国立大学と同じくらいである。一方、地理的にも近い名門大学Stanford大学では20,000ドルと聞くから、こちらは超のつくお金持ち大学である。両校の学問・スポーツ両面におけるライバル心は尋常ではない。

鉱山業界の縮小と大学の再編は日本だけの話でなく、UCBでも同じことが起きている。UCBのMining Engineeringは創立当時からある非常に伝統のあるコースで、世界の各地で活躍している人材を送り出してきた。また、1907年に建てられたMiningの建物はHearst Memorial Mining Buildingと呼ばれ、昔のUCBを記念する貴重な建物である。現在6,800万ドルをかけて保存と耐震のための改修工事が行われている。その伝統あるMiningのコースも時代の流れにより最近Material Scienceへ組み込まれ、一部はCivil Engineeringへと分割された。キャンパスに足がなくなったことにより、LBLでもRock Physicsに優秀な大学院生やポスドクの確保が難しくなっているということである。

パークレー

パークレー近郊の治安は悪くはないが決して良くもない。自転車は簡単に盗られるので、みな部屋まで持って入るか、タイヤとサドルを外して持ち歩く。麻薬の噂も聞く。1年も住んでいると、スーパーの駐車場で隣の車のボディに蜂の巣のような穴が開いていることもあるし、夜の駐車場で倒れている男をパトカーが取り囲んでいたりと、白昼ダウンタウンで捕物があるって、泣いている子供を抱いた女性にテレビ局がインタビューしていたり

という映画やテレビのような場面に出くわすこともある。パークレー市の北方リッチモンド市、南隣オークランド市は悪名高い町である。ところが、高台に上ると落ち着いた住宅地で、ここでは車に鍵をつけたままでも盗られることはない。車でほんの数分なのにその格差がまた激しい。

アメリカというのかパークレーというのか、ここがこの国と一番似ているかという、それは意外にも「ちょっと前の中国」である。パークレーのダウンタウンの風景は「看板を漢字に書き換えたなら中国と一緒に」（家内の弁）だそうだが、今では北京の方がずっときれいである。役所は非能率的だし、サービス心にも勤労意欲にも融通性にも欠ける。うまく説明できないが、資本主義のアメリカ人と「没有」の共産主義の中国人とがそっくりなのが妙でおかしい。また、ここの生活で日本人が違和感を覚えるのは「お客様が神様」である日本と違って、相手が誰でもあくまでも対等な人間同士の扱いである点だろう。もっともこれは慣れると気持ちよく、帰国後日本での店員の喋りが気持ち悪くしょうがなかった。人間のノリは関西に通じるかもしれない。買い物に行けばレジの店員や列の前後の人と、電車に乗れば隣の乗客と世間話となるわけである。こちらの英語が下手であろうがお構いなしである。オープンで明るくお節介で人間くさい。

ベイ・エリア

サンフランシスコやパークレーを含む一帯はベイ・エリアと呼ばれている。ここは日本人にとって比較的なじみの深い場所であるが、アメリカの中では特殊な場所にあたる。だから、ここでの経験をもってアメリカを語ることはできない。いわば針の穴から見たアメリカ社会である。

冒頭にも触れたが、パークレーやサンフランシスコはベトナム反戦運動や大学紛争、ヒッピー、ドラッグやサイケデリックなど60年代にアメリカを一変させたカウンター・カルチャーの発祥の地である。今でもアメリカ人の精神世界とかセラピーとか怪しげなものはまずカリフォルニアの発祥だと思ってよい。由緒正しく伝統的なアメリカ人、偉大なる田舎人であるアメリカ人、強く正しいアメリカを信奉するアメリカ人から見ると、カリフォルニアは「イカれた」人間の住む場所であるらしく、それを象徴する場所がパークレーである。私の友人で東部アメリカ人から「あそこはアメリカではない！あんなところに留学するな」と断言された人が本当にいる。

実際、カリフォルニア州の住民は元を質せば99.9%は移民であるし、今でも住民の1/3は外国籍である。人種比率は大まかに言って白人40%、ヒスパニック系35%、

アジア系15%、黒人10%だそうである。しかし、田舎や裕福な人が住む郊外の町では白人率が高いので、パークレー辺りでは実際ここはどこかの国かと思うほど多民族、多民族で国際色豊かである。世界各国料理のレストランがあり、いかにアメリカの料理がまずくとも、本場のチャイニーズやコリアン、タイ料理が救ってくれる。また、世界各国の商店があつて、日本の物も大抵のものは手に入る。多様なのは民族だけではない。サンフランシスコは世界で最もマイノリティに寛容な街として知られ、ゲイの一大コミュニティがある。

アメリカ内部にカリフォルニアに対する偏見（憧れの裏返しかもしれない）は確かに存在するようだが、ここには紛れもなく現代アメリカを形成している極めて重要な一面がある。すなわち、移民国家であり、多民族・多文化・多価値観を許容するリベラルな国家としてのアメリカである。アメリカ主導のグローバリズムが国際社会に波紋を投げかけているが、ここでは多様な民族・文化・価値観がアメリカを共通項として（摩擦も起こしながらも）共存しているように思え、またそれはアメリカというオープンな土壌の上でだからこそ可能なように感じられる。

キーワードは“Diversity”（多様性）。官庁、学校、企業を問わずあらゆる組織はDiversityを確保する行動計画を求められる。UCBでも、大学の構成員の人種比率は地域の人口比率と等しくあるべきという理由から、明らかに短期的に学力レベル低下となるヒスパニック系および黒人系学生の入学枠の拡大案が理事会に提出され続けている。良いものや新しいものは常に多様なものの中から生み出されるという信念は、単一・均質へと向きがちな日本のベクトルとは反対向きで、閉塞状況にある日本社会を見ると魅力的に映る。

アメリカ社会が過酷な競争社会であることは事実だが、機会均等と平等公平の信念、弱者への配慮と公共奉仕の使命感に満ちたボランティア精神が社会を支えている点も事実である。さまざまな相対する信念や価値観のぶつかり合いに揺れ動いているのか、ダイナミックにバランスを取っているのか、国際情勢から日常生活のちょっとした場面までアメリカ社会を日々目の当たりにする思いであった。

ちなみに、この辺りでは現大統領のG. W. Bush氏は極めて人気がない（選挙では得票率20%以下だった）。Bush氏当選の翌日サンフランシスコの“Bush Street”は“Puppet（操り人形）Street”に名を変え、反Bushのデモ行進が行われた。同時多発テロの直後、大統領に強権を与えるテロ対策法案に上下院通じて唯一人反対票を投じたBarbara Lee下院議員（黒人女性）はパークレー市を含むアラメダ郡選出の議員である。ベトナム戦争の時と同じ

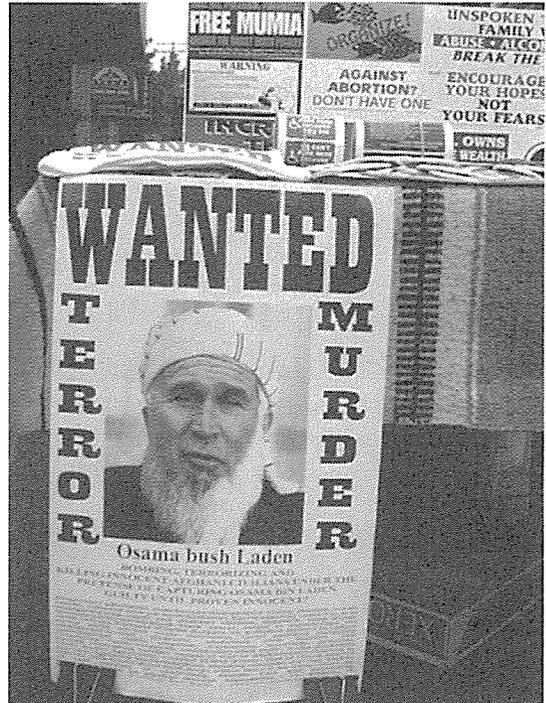


写真4 Bush大統領をBin Ladinになぞらえてアフガン爆撃を批判するパロディのビラ。これを街頭で堂々と売れるのもパークレーだから？

くアフガニスタン爆撃にも他の地域よりも批判的な声が多く聞かれたという。

金鉱とゴールド・ラッシュ

1848年の金発見以前、カリフォルニアにはネイティブ・アメリカンとわずかの入植者しか住んでいなかった。パークレーから車で2時間ほど内陸に走ったシエラ・ネバダ山脈の麓にあるコロマ（Coloma）という町にゴールドラッシュ発祥の地がある。州都サクラメントの商人Sutter氏の使用人Marshall氏が水力を用いた木材加工施設の導水路を掘って金を発見した。これがかのゴールド・ラッシュの幕開けである。カリフォルニアにはアメリカ全土のみならず世界中から人が押し寄せ、1万人だった人口が1年で10万人に、その5年後には50万人になったという。中でも1849年にやって来た人々を49ersと呼ぶ。聞くところによると、「カリフォルニアっ子」という表現には鉱夫と売春婦の子孫という侮蔑の意味があるという（「パークレーっ子」というのもあって、フリーセックスやらシングルペアレントやら、伝統的でない家庭の子という意味があるとか）。

金の採取方法はPanning（皿で砂をすくって砂金を探す）に始まり、欲に駆られて技術改良が重ねられ、蒸気機関を動力とした大規模河床浚渫や水圧で川岸を崩壊さ

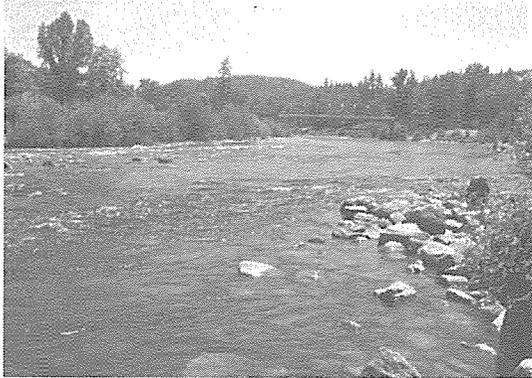


写真5 ColomaのAmerica川の風景。1848年に最初の金が発見されたまさにその歴史的な場所に立って撮影。

せる採掘方法が登場するに至って大規模な環境破壊を引き起こした。ゴールド・ラッシュはカリフォルニアの社会（自然環境も）激変させ、やがて社会の成熟とともに金採掘は急速に廃れた。金の埋蔵量の7割は未採掘だと聞かすが、現在では採算と環境問題のためごく小規模な鉱山が1つ2つ操業しているに過ぎない。ただし、金採掘は人々のロマンをかき立てるらしく、現在でも採掘や選別のための器具の開発や販売は続いていて、見ていると結構楽しい。

Marshall氏が金を発見した場所には石碑が建てられて現在公園になっている。川は澄んで豊かな水をたたえ、何もなかったかのように静かに流れ続けており、人の営みの儂さを思わせる。ゴールド・ラッシュに湧いたシエラ・ネバダの麓を訪れると、開拓時代の雰囲気を残す町並みが多く見られ、当時の様子を再現した観光スポットがあちこちにある。そういった場所ではPanningは先祖の血が呼ぶのかアメリカ人に人気のアトラクションである。

Placervilleという町に小さな金坑跡があり、観光用に公開されている。3ドルで長靴とヘルメットと懐中電灯を、もう1ドルで解説のヘッドセットを貸してくれる。地質は垂直に立ったスレート（粘板岩）で石英の脈が所々に

入っている。金はこの石英中に含まれるので、石英の脈に沿って坑道が枝分かれして延びている。また、ここには水力と重力とを利用して巨大な杵で鉱石を粉砕するミル（stamp mill）が残されている。小さな模型を動かしてくれたが相当な騒音で、本物が何基も並んで稼働していた往時はどれほどの騒音であったか想像すらできない。余談になるが、訪問者の出身地を記念に残す世界地図があったのだが、なんと日本にはピンが一本も立っていないかった。というわけで私が日本人第1号？の栄誉にあずかって京都にピンを立ててきた。

帰国して

一年の間に何かが変わった。滞在中日本には暗いニュースが多かったせいもあって、外から見ると日本が窒息しかけているように思えたものだった。わずか1年でも帰ってみると日本に違和感を覚えることが多く、今まで何とも思っていなかっただけになおさら、逆カルチャー・ショックを感じた。家内は滞在中ずっと日本に帰りたいたいと思いつけていたらしいのであるが、帰ってきた途端に「やっぱりアメリカの方がいい」と言い出した。こんなに住みにくいところだとは思わなかったと言う。もちろん日本の方が良いと思うことについては特段意識しないわけだが、帰国後1年以上経過した今でも違和感を覚えることがある。

今回の滞在中で一番大きな成果は、研究室を、京都大学を、そして日本を外から見るという経験ができたことかもしれない。

最後になりましたが、留守中ご迷惑をお掛けした芦田讓先生、松岡俊文先生はじめ資源工学専攻の諸先生方、物理探査工学研究室の学生諸君、そして、筆者の滞在を快く受け入れてくださったLBLの皆様と滞在中お世話になった方々に感謝します。

・ LBL <http://www.lbl.gov>

・ ESD <http://www-esd.lbl.gov>

・ UCB <http://www.berkeley.edu>

・ 滞在中の体験をまとめて公開しています。

<http://tansa.kumst.kyoto-u.ac.jp/~watanabe/berkeley/>

談 話 室

研究室紹介

群馬大学工学部機械システム工学科 材料システム工学講座第二研究室

中 澤 崇 徳, 荘 司 郁 夫*

Material System Engineering #2 Laboratory, Department of Mechanical System Engineering, Gunma University

by Takanori NAKAZAWA and Ikuo SHOHJI

群馬大学工学部キャンパスは、関東平野の北端に位置する群馬県の県東部、東は栃木県に接する桐生市にあります。桐生市は、上毛カルタで「鶴舞う形の群馬県」と唱われる、ちょうど鶴の首もとに位置しており（図1参照）、三方を山に囲まれ、渡良瀬川、桐生川が流れる山紫水明のまちで、江戸時代より「西の西陣、東の桐生」と称され、京都とは緑の深い、織物のまちとして栄えてきました。現在でも、キャンパスの近辺には往時を偲ぶノコギリ屋根の織物工場やレンガ造りの倉庫が残っております。また、シタケの純粋培養菌種駒を発明された森喜作博士（京都大学農学博士）ゆかりの日本きのこ公園もキャンパスの北部にあります。森博士の発明は、御

木本幸吉の真珠養殖、和井内貞行の姫鱒養殖と共に三大発明と讃えられるものだそうです。およそ40万㎡の山林に広がる公園の敷地には、「ホテルきのこの森（旧国際きのこ会館）」を中心に、シタケ狩りのできる栽培所や、森林の茶屋風個室にて新鮮なキノコ料理を満喫できるその名も「きのこ茶屋」もあり、まさにキノコワールドとなっております。このように、当キャンパスのある桐生市は京都とは何かと縁深い、緑豊かな街です。

群馬大学工学部には、応用化学科、材料工学科、生物化学工学科、機械システム工学科、建設工学科、電気電子工学科、情報工学科の7学科があり、うち5学科は社会人や勤労学生への門戸開放を目的とした4年制の夜間主コースを開講しており、本工学部の大きな特徴となっております。我々の所属しております機械システム工学科は、1学年あたりの学生定員数が昼間コース90名、夜間主コース30名であり、生物化学工学科および電気電子工学科と並び、工学部の中では、最大規模の学科です。機械システム工学科は、エネルギーシステム工学講座、材料システム工学講座、メカトロニクス工学講座の三講座からなり、また、連携大学院講座として生産基盤工学講座があります。更に、材料システム工学講座の中には四つの研究室があり、我々の研究室はその中の第二研究室となっております。

当研究室は、中澤教授（昭和41年冶金）が1997年に、荘司助手（平成2年金属加工）が2000年に赴任した、現体制としては比較的新しい研究室です。現在は、斉藤勝男助教授と松村雅夫技官を含めたスタッフ4名、大学院修士課程学生4名、昼間コース4年生9名、夜間主コース4年生3名からなる、合計20名の研究体制にて、様々なテーマに取り組んでおります。中澤教授は、耐熱



図1 群馬県全図

鋼の信頼性およびステンレス鋼の耐食性に関する研究を、莊司助手はマイクロ接合および鉛フリーはんだに関する研究を遂行しており、熱交換機部材のろう付に関する研究については両者が協力して研究を行っております。以下に、昨年度の当研究室の卒業研究テーマを列挙します。

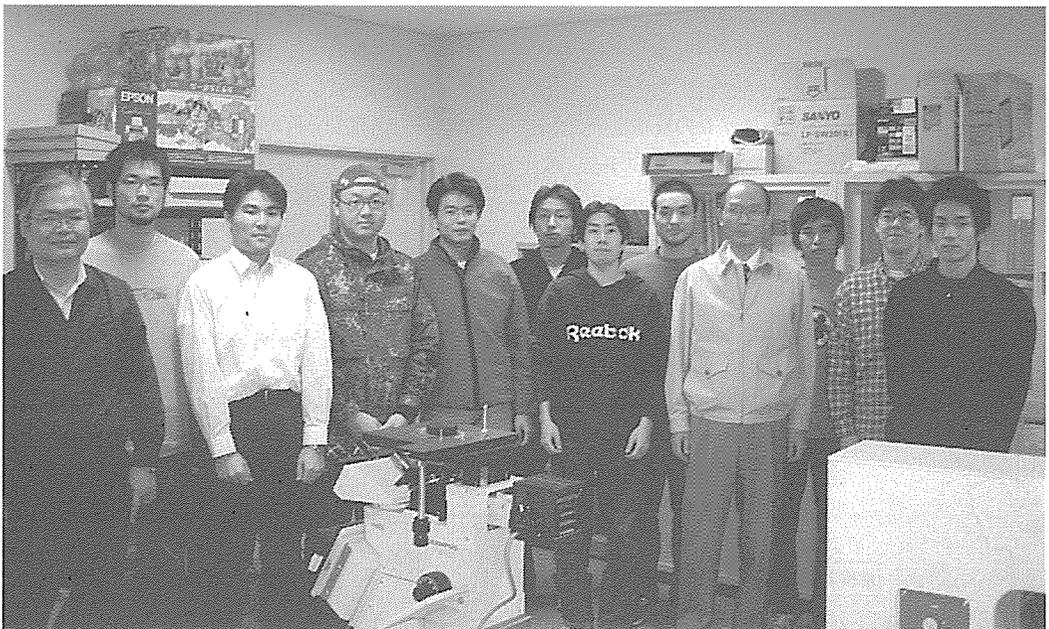
- ・低炭素－中窒素型316系ステンレス鋼の高温長時間特性と組織
- ・低炭素－中窒素型316系ステンレス鋼溶接金属の組織に及ぼす時効の影響
- ・9Cr-W-Mo鋼のクリープ破断特性に及ぼす熱処理の影響
- ・9Cr-W-Mo鋼の組織に及ぼす熱処理の影響
- ・11Cr系鋼の高温長時間試験後の析出挙動
- ・19Cr系ステンレス鋼の機械的特性に及ぼすNbの影響
- ・304系ステンレス鋼のNiろう接合継手の強度と組織
- ・巻線溶接機用ヒーターチップのマイクロ接合に関する研究
- ・鉛フリーはんだの機械的特性評価に関する研究

なお、当研究室では、学外との研究活動および産官学協同も積極的に推進しております。昨今の、産官学の協力化の流れは、群馬県においても勢いを増してきており、

昨年には、桐生地域の地域産業を活性化し、産官学の連携を橋渡しする目的で北関東産官学研究会が設立されました。その支援事業の一つとして、研究成果が期待される研究および将来の発展が期待される研究に対して、共同研究助成がなされる制度も発足しました。当研究室では、これまでの学外との共同研究および受託研究の経験を活かし、二年連続して、北関東産官学研究会より共同研究助成を拝受させていただいております。更に、今年度は、これまでの共同研究を更に発展させ、地元企業および群馬県工業試験場と産官学共同での地域新生コンソーシアム事業、地元企業との共同研究（区分A）をはじめとする共同研究および受託研究を遂行しております。

現在、耐震対策を目的とした当学科校舎の改修が開始され、仮校舎に引っ越したところです。来年度早々には、新築とほとんど変わらない近代的な校舎へ戻る予定で、まさに心機一転、様々なテーマにチャレンジしていく予定です。今後とも当研究室をよろしく願っています。

「東の桐生」より、水曜会OB 2名の近況を報告させていただきました。群馬県は、自然豊かなところで、良質な温泉も多く、観光地も随所にごございますので、水曜会の皆様も、お近くにお越しの際には、当研究室に足をお運び下さい。



談 話 室

多変量解析を応用したスポーツ工学 —ドライバー距離の悩みはクラブで解決できるか?—

丸 橋 茂 昭*

Application of Multivariate Analysis to the Sport Technology
—“Try this advanced driver, and you'll get a longer distance! Is it true?”—

by Shigeaki MARUHASHI

ま え が き

最近のパソコンのハード、ソフトに渉る著しい進歩の恩恵を受けて、ついこの間までは「計算機センター」への依頼仕事であった「多変量解析」も個人の机の上で可能になって来ている。高々2~3変数を扱う程度でも、手回し計算機で大汗をかいていた時代を経験している者にとっては夢のような時代である。この恩恵に与ろうと、先ずは予ねてより関心を持っていた「ドライバーの飛距離は、本当に道具(クラブ)に影響されるのか?」と言うテーマを取り上げた。

多くのチタン(合金)製ヘッドドライバーが販売されている。うたい文句は、表現に多少差はあっても、いずれもヘッド体積を大きく設計した所謂「デカヘッド」による飛距離アップである。しかも多くの物は10万円前後、安くとも5万円前後の価格であり、決して安い買い物ではない。それだけに、いざ、「買いたい」となれば、多くの人にとっては、その選択には、慎重とならざるを得ず、納得のいくコストパフォーマンスを求めて、悩むことが多いのではなかろうか。

このようなユーザーの悩みに答えるという意味もあって、ゴルフ雑誌誌上に、各種チタンヘッドドライバーの試打結果が掲載されることが多くなって来ている。しかしながら、試打に用いる事が出来るクラブの種類、本数には制限があり、試験としての条件が十分というものではない。従って、極端な表現ながら、得られた結果は、銘柄と飛距離や、玉筋との対比といった単純なものに為らざるを得ず、その結論の普遍性にも、もう一つ納得しかねる点がある。

言い換えれば、実際に試験に供せられたクラブの中での最適の物は分かるが、それ以外の多種多様なクラブを含めての選択と言うことになると余り参考にはならない。

当事者にとって最大の関心事である「自分にとって最も適したクラブ」を選択しようとする時、製品仕様として表示されているスペックの意味、重要性が理解出来ない事も一つの問題である。喧伝されるように、「ヘッド体積」は本当に大きければ大きほど良いのか? 「重心深度」とか「重心距離」というものは、これまで言われてきたように本当に大事な目安になるのか?、「ロフト角」や「フェース角」の影響は?、「シャフトの長さ」は?…等の数々の疑問に悩む事になる。車は仕様書を調べて、その性能をかなり推し量る事が出来るが、ゴルフクラブではそうはいかない。

このような事情の中にあって、58銘柄にも及ぶドライバーについて、そのヘッドの体積、重量、重心位置、…、シャフトの諸特性等の精密なデータを入手する事が出来た。これに添えられている解説記事も多いに参考になる¹⁾。

しかしながら、この解説が実際の試打の結果と関連付けられておれば、その納得度は一層のものであろうと惜しまれるところである。

そこで、別途、入手出来たいくつかの試打会の結果を、この製品スペックデータを用いて解析し、より一般性のある結論を導き、クラブ選択の参考にすることを試みた。

解析の対象としたデータは、「デカヘッド」流行の初期90年代半ばに収集した物ではあるが、得られた結果は、後にも触れるように、'02の最新の製品にも応用出来る普遍性をなお保っていると思われる。

*日新製鋼株式会社

解析・分析方法について

試打会によって得られているデータは、クラブの銘柄ごとの「最大飛距離」, 「平均飛距離」, (場合によっては、これが、キャリーとトータル距離に分けて計測されている例もある) あるいは、「フックボール」か、あるいは、「フェードボール」であったか、というような「球筋」である。

試打は、実際のゴルフコースの一ホールで行われている場合が多く、またプロを含めてハンディや腕前の異なるプレーヤー数人のグループが参加しているのが普通である。ボールは同じ物を使用するか、銘柄ごとの試打順序をランダム化する等の配慮はされているが、コースの地形とか、当時の風向きといった細かい条件は分からない。このように、各試打会の環境条件が異なっており、それぞれのデータをプールして取り扱うには無理があり、従って、各試打会ごとのデータに付いて解析せざるを得なかった。

以下のような、3種類の試打会のデータが入手出来た。(表1参照)

試打会NO.1では、場所、プレーヤーについていずれも、詳らかでない。飛距離の測定値はトータルとキャリーに分けて測定されている。試打に供せられたクラブの銘柄は22種である。

試打会NO.2では、「最大」, 「平均飛距離」, 及び高い、低いと言うような「弾道」, 「ドロウ」, 「ストレート」, 「フェード」別「球筋」が測定、記録されている。試打

銘柄は15種類である。

試打会NO.3では、それ以外に、「フェアウェイキープ率」も測定されている。なお、試打会NO.3が行われた栃木ガ丘GC、8番ホールは200ヤード地点から右にドッグレッグの打ち上げホールであり、この条件は、後で述べる解析結果に大きな影響を与えているように思われる。試打銘柄数は22種である。

表2には、解析の対象にしたドライバー58銘柄の各スペックの最大、最小、平均値を示す。

ヘッド体積の項に注目すると、最大でも300CCであり、'02年の新製品は400CCクラスも珍しくない時代に入っており、その後のクラブ設計の変遷がよく判る。

以下、変数として用いるヘッドスペックの意味(定義)を図1に示す。

なおシャフト変数のうち「バランス」はD₀を10として、前後に1間隔の数値を、例えばC₉:9, D₁:11, ... のように対応させて数値化している。

これらの諸変数と飛距離との関係を求める事が今回の分析の目的である。直接的には、重回帰分析を利用するのが、結果も判り易く、説得力もあるように思われるが、今回取り扱う変数には、多分に多重共線性が疑われるような性質がある事が予め想定される。

例えば、変数:ヘッド体積を大きく設計すれば、当然の事ながら、外形寸法も大きくなり、従って、ここで取り上げる、その他の変数:フェース高さ、重心距離、...等も比例的に大きくなる。つまり変数間の相関が強く、変数選択が煩わしいと思われた。

表1 試打会

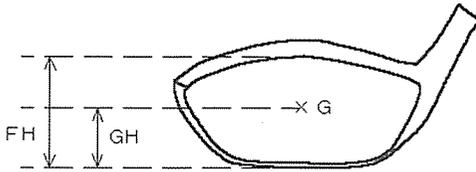
| NO. | 場所 | 使用ボール | プレーヤー | HC | ゴルフ暦(年) | 身長(cm) | 体重(kg) |
|-----------------|--------------|----------|-------|----|---------|--------|--------|
| 1 ²⁾ | 不詳 | 不詳 | A氏 | ? | ? | ? | ? |
| 2 ³⁾ | 栃木CC、9番ホール | 糸巻バラタ | B氏 | 15 | 2 | 170 | 60 |
| | | | C氏 | 0 | 7 | 182 | 78 |
| | | | Dプロ | - | - | 173 | 62 |
| 3 ⁴⁾ | 栃木ガ丘GC、8番ホール | ソフトツーピース | E氏 | 25 | 10 | 170 | 76 |
| | | | F氏 | 18 | 5 | 164 | 59 |
| | | | G氏 | 7 | 4 | 172 | 65 |
| | | | Hプロ | - | - | 172 | 78 |

表2a 58銘柄ヘッド変数

| | 体積(cc) | 重量(g) | フェース高さ(mm) | 重心高さ(mm) | 重心高さ2(mm) | 有効高さ(%) | 重心深度(mm) | 重心距離(mm) | 重心角度(度) | フェース角(度) | ロフト角(度) |
|----|--------|-------|------------|----------|-----------|---------|----------|----------|---------|----------|---------|
| 最大 | 308.4 | 206.7 | 49.5 | 31 | 24.5 | 59.8 | 40.5 | 42.4 | 27 | 4 | 15 |
| 最小 | 170.6 | 176.9 | 34.5 | 16.5 | 11 | 27.8 | 21.5 | 28.1 | 10.5 | -5.8 | 8 |
| 平均 | 229.2 | 195.2 | 40.7 | 25.1 | 15.5 | 38.1 | 32.4 | 35.9 | 20.5 | 0.3 | 11.3 |

表2b 58銘柄シャフト変数

| | 長さ(インチ) | 重量(g) | 振動数cpm | トルク(度) | バランス | キックポイント銘柄数 |
|----|---------|-------|--------|--------|------|------------|
| 最大 | 45.5 | 106 | 289 | 6.7 | D3.9 | 先:24 |
| 最小 | 42.5 | 45 | 236 | 1.7 | B6.4 | 中:23 |
| 平均 | 44.4 | 63.3 | 254.5 | 4.5 | - | 元:11 |



- G : 重心
- FH : フェイス高さ
- GH : 重心高さ
- GD : 重心深度
- GL : 重心距離
- GA : 重心角度

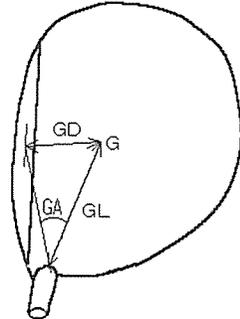


図1 ヘッド変数詳細

このような問題を回避する事と、多数の変数を纏めて、クラブの性能に影響する新しい指標を見出すために主成分分析を利用する事にした。つまり、求める主成分は、互いに独立であり、これと飛距離との相関を求めれば、多重共線性の問題も回避できると考えた。

クラブヘッドスペック：体積，重量，重心深度，…，シャフトスペック；振動数，…等15変数に主成分分析を適用して，寄与率の高い6主成分を抽出した。

但し，表2に示すように，実際には17変数が利用出来るが，このうち「重心高さ2」=「フェース高さ」-「重心高さ」，および，「有効高さ」=（「重心高さ2」/「フェース高さ」）%の関係があるので，「重心高さ2」，「有効高さ」を省略し，「フェース高さ」，「重心高さ」でこれらの影響を理解する事にした。

銘柄ごとに，抽出された主成分の得点を求めて，これ

を説明変数として，試打データ：飛距離，球筋との相関を検討した。

解析に用いた変数は，長さ，重量，角度，…等それぞれ単位が異なるので，夫々の平均値からの変動を標準偏差で無次元化した「標準化値」を用いた。

クラブスペックの主成分分析 結果

表3に分析結果をまとめた。第1主成分の寄与率は約35%，以下，第2：約13%，第3：約12%，第3～第6まで：約9%～約6%であった。累積寄与率が80%以上に達するには第6主成分までを取り上げればよい事が判った。

以下においては，この第6主成分までの「主成分得点」を試打銘柄全てについて計算し，これを説明変数として，飛距離（今回は平均飛距離を対象とした），との相関の強さを検討した。

飛距離に影響する主成分

表1に示す3回の試打会において，異なる腕前のプレーヤーが得た平均飛距離と各主成分（得点）との間の相関係数一覧を表4に示す。

表から判るように，各主成分は，第2主成分を除き，何らかの形で飛距離に影響を与えている。

相関の有無を判断する簡便法 $r^2 > 4 / \{(データ数) + 2\}$ によれば， $r > 0.485$ であるが，散布図等を参考にして，0.367以上に目印を付してある。

第1主成分は，表1で紹介したA氏やB氏（ハンディキャップ（HC）15）の平均飛距離と正の相関があるようである。なお，A氏には第6成分もかなり効いている。

第3，第5成分は，NO.2試打会でのDプロやC氏（HC0）のような上級者，NO.3試打会のF氏（HC18）の平均飛距離と負の相関が認められる。

表3 主成分分析 結果

| | 第1主成分 | 第2主成分 | 第3主成分 | 第4主成分 | 第5主成分 | 第6主成分 |
|----------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| 固有値 | 4.525 | 1.675 | 1.516 | 1.163 | 0.899 | 0.816 |
| 寄与率(%) | 34.809 | 12.882 | 11.663 | 8.943 | 6.917 | 6.277 |
| 累積寄与率(%) | 34.809 | 47.691 | 59.354 | 68.297 | 75.215 | 81.492 |

| | 固有ベクトル | | | | | |
|--------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 第1主成分 | 第2主成分 | 第3主成分 | 第4主成分 | 第5主成分 | 第6主成分 |
| ヘッド体積 | 0.366 | -0.265 | 0.150 | -0.061 | -0.248 | -0.157 |
| ヘッド重量 | -0.356 | -0.008 | 0.298 | 0.181 | -0.074 | -0.301 |
| フェイス高さ | 0.253 | 0.008 | 0.213 | 0.337 | -0.178 | 0.650 |
| 重心高さ | 0.288 | -0.146 | 0.427 | 0.154 | 0.022 | 0.111 |
| 重心深度 | 0.324 | -0.319 | 0.172 | 0.005 | 0.095 | -0.381 |
| 重心距離 | 0.205 | -0.015 | 0.370 | -0.085 | 0.729 | -0.047 |
| 重心角度 | 0.257 | -0.367 | -0.288 | 0.079 | -0.278 | -0.322 |
| フェイス角度 | 0.185 | 0.444 | 0.252 | -0.263 | -0.338 | -0.189 |
| ロフト角度 | 0.186 | 0.507 | 0.228 | -0.261 | -0.160 | -0.140 |
| シャフト長さ | 0.345 | 0.168 | -0.160 | 0.315 | -0.120 | 0.074 |
| シャフト重量 | -0.346 | -0.192 | 0.312 | -0.061 | -0.156 | 0.054 |
| 振動数 | -0.165 | -0.371 | 0.315 | -0.364 | -0.305 | 0.226 |
| バランス | -0.211 | 0.126 | 0.272 | 0.663 | -0.113 | -0.290 |

表4 プレーヤーの飛距離と各主成分 (得点との相関)

| 試打会 | プレーヤー | 第1主成分 | 第2主成分 | 第3主成分 | 第4主成分 | 第5主成分 | 第6主成分 |
|------|---------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
| NO.1 | A氏 HC? | 0.475 | -0.312 | 0.070 | -0.210 | 0.152 | 0.432 |
| NO.2 | B氏 HC15 | 0.675 | -0.053 | 0.058 | 0.090 | 0.008 | -0.095 |
| NO.2 | C氏 HC0 | -0.038 | -0.197 | -0.584 | 0.367 | -0.461 | -0.025 |
| NO.2 | Dプロ | 0.097 | -0.265 | -0.474 | 0.392 | -0.642 | 0.203 |
| NO.3 | E氏 HC25 | -0.081 | 0.193 | -0.192 | 0.047 | 0.153 | 0.085 |
| NO.3 | F氏 HC18 | -0.212 | -0.017 | -0.416 | -0.099 | 0.024 | -0.040 |
| NO.3 | G氏 HC7 | 0.150 | 0.114 | -0.171 | -0.234 | -0.245 | 0.218 |
| NO.3 | Hプロ | 0.072 | -0.205 | 0.072 | -0.118 | 0.009 | 0.185 |

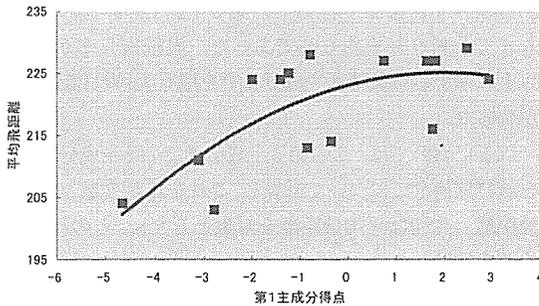


図2 平均飛距離 (HC15) と第1成分の関係

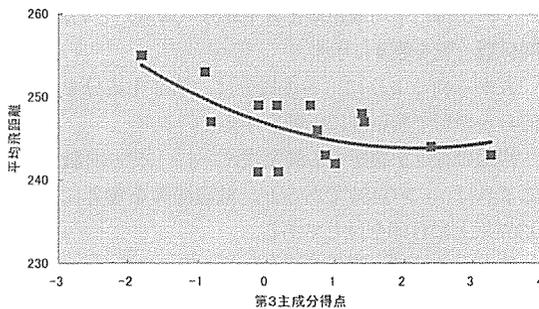


図3 平均飛距離 (HC0) と第3成分の関係

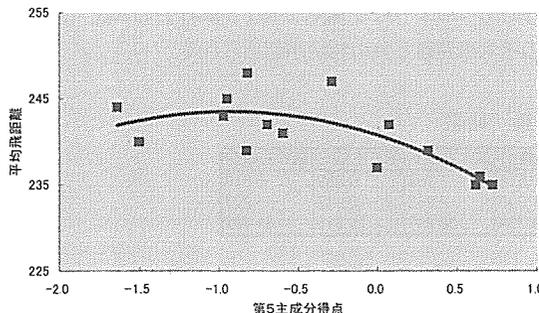


図4 平均飛距離 (プロ) と第5成分の関係

NO.3 試打会にはHプロやG氏 (HC7) のような上級者も参加しているが各主成分とそれぞれの平均飛距離との相関は明瞭でない。先にも触れたように、試験コースの状態に影響された可能性も否定できないように思われる。

この点に関連して興味有る解析結果は、各プレーヤー

の平均飛距離と最大飛距離の関係である。詳しくは省略するが、NO.3 試打会における両変数間の相関係数はE氏 (HC25) : 0.799, 以下F氏 (18) : 0.956, G氏 (7) : 0.887, Hプロ : 0.899であり、F氏の当日のショットは、ほとんどが同氏のベストショットであった事を裏付けている。絶好調で、再現良く理想的なスイングが行われていたと言う事であろうか…。

図2にはNO.2 試打会に用いられたクラブの第1主成分得点とB氏 (HC15) の平均飛距離の関係を示す。この両者の間の相関係数は0.675 (表4参照) とかなり強い相関があるが、図に見られるように、第1主成分得点が大きければ大きいほど飛距離が伸びるというような単調増加の直線関係ではない。確かに第1主成分得点が-2程度までは、得点の高いクラブであるほど、飛距離は伸びる傾向は認められるが、>-2, 或いは、少なくとも、正の値を持つクラブでは、飛距離は第1主成分には依存しなくなる傾向がある。

又、第1主成分>-2の範囲を詳細に見ると、B氏の飛距離は、第1主成分得点の如何に関わらず、別の要因によって、大小二つのグループに分かれている。これは、「球筋」によるもので、飛距離大に分布しているデータはストレート系、距離が伸びていないデータはフェード系の玉筋である。

この点については、後に判別式を利用してより定量的に検討する。

図3にはC氏 (HC 0) の平均飛距離と第3主成分得点の関係を示している。この両者の相関係数は-0.587であり、かなり強い相関が伺われるレベルである。事実、図3によれば、C氏の平均飛距離は第3主成分得点の高いクラブを用いれば10~15ヤード損なわれる事を明瞭に示している。

同じような第3主成分の影響は、同試打会におけるDプロのケースにも認められる (相関係数:-0.474, 表4参照)。

図4にはNO.2 試打会におけるDプロの平均飛距離と第5主成分得点との関係を示す。この両者の関係の強さを示す相関係数は-0.642であり、高いレベルで有意である。

しかしながら、この主成分の効果は、第1主成分のケ

ースと同じように、有る範囲を限って現れる様であり、図に見るように、-0.5以上において、大なる第5主成分得点の銘柄ほど、プロの飛距離が損なわれる様子が伺われる。

第5主成分は同じようにC氏の平均飛距離にも負の影響を与えている(相関係数:-0.461)。

DプロやC氏のような上級者の飛距離に正の影響を与える主成分は第4主成分であるが、この成分は第3、第5主成分に比べると、飛距離との相関は比較的弱い(それぞれ、Dプロ:0.392, C氏:0.367, いずれも表4)。

以上のように、NO.1, NO.2の試打会の結果を解析した限りに於いては、第1主成分、場合によっては第6主成分が、HCがおよそ15以上の中級者から初級者の平均飛距離に影響するクラブ特性ではあるが、シングルやプロ級レベルにはほとんど影響を与えない特性であるように思われる。

一方、第3、第5主成分、さらに第4主成分はプロやシングルのような上級者の飛距離に影響を与える特性ではあるが、中級者やアベレージクラスのそれには影響しない特性であると思われる。

但し、NO.3試打会では絶好調(と思われる)F氏(HC18)においてのみ、NO.2試打会のプロやシングルC氏と同じように、第3主成分が同氏の平均飛距離を損なう特性である事が確認された事が唯一の結果である。アベレージクラスのE氏(25)の飛距離と第1主成分、HプロやシングルG氏の飛距離に対する第3、4、5主成分の影響などは、NO.2試打会の結果のように検出出来なかった。

主成分の意味について

第1主成分:「軽量・長尺・デカヘッド」 Z_1

$$Z_1 = 0.366 \times (\text{ヘッド体積}) + 0.324 \times (\text{重心深度}) + 0.345 \times (\text{シャフト長さ}) - 0.356 \times (\text{ヘッド重量}) - 0.346 \times (\text{シャフト重量}) \quad \dots(1)$$

但し、(1)式の主成分を構成する項目については、>0.3の係数(固有ベクトル)を与える項目(元の変数:スペック)のみを、影響度の高いものとして取り上げているが、主成分得点の計算に当たっては、表3に示す全ての係数を考慮に入れている。

又、ヘッド体積、…等の数値は標準化された数値になっている事に注意。(以下同様)

第1主成分 Z_1 は(1)式のように表される成分である。これはヘッド体積、重量、フェース高さ、…等といったクラブスペック(今の場合、元の変数)が構成する多次元データ空間に於いて、

「大なるヘッド体積、重心深度、シャフト長さ、小なるヘッド、およびシャフト重量」の方向に正(その逆は

負)の方向を持つ成分である。

取りも直さず、 Z_1 は近年ドライバーの設計方針になっている「軽量・長尺・デカヘッド」の強弱を表現する指数に他ならない。従って、この第1主成分得点の高いクラブであるほど、「軽量・長尺・デカヘッド」“度”が高い特性を持つクラブであると見させる。

図2、や表4に示す結果は、この設計方針が、限られた範囲ではあるが、飛距離の増加に効果がある事を示すものであり、所謂「デカヘッドは飛ぶ!」と言う宣伝の根拠になるものであろう。

しかしながら、この「軽量・長尺・デカヘッド」クラブが全てのプレーヤーに飛距離増の効果をもたらすわけではなくて、先にも指摘したように、初~中級者には効果があるが、シングル級やプロには全然効いていない事にも注意する必要がある。

第2主成分:「ロフト角」 Z_2

$$Z_2 = 0.507 \times (\text{ロフト角}) + 0.444 \times (\text{フェース角}) - 0.367 \times (\text{重心角度}) - 0.371 \times (\text{振動数}) \quad \dots(2)$$

第2主成分 Z_2 は(2)式で表されるように、ヘッド諸変数の中で「角度」に関わる変数の総合的な効果を表現する成分であると解釈できる。但し、良く知られたように、「ロフト角」を大きく取れば、クラブの構造上「フェース角」は必然的に大きく(フック方向)なる。従って、 Z_2 の得点はロフト角でほとんど決まると見てよい。第2主成分のネーミングを「ロフト角」とした所以である。

この成分は、今回収集できたデータの範囲では、全てのプレーヤーの飛距離に、これと言った影響を与えていない。

方向性、…等に影響する特性を表わしているのであらうか…。

第3主成分:「ヘッドの返り制御性」 Z_3

$$Z_3 = 0.427 \times (\text{重心高さ}) + 0.370 \times (\text{重心距離}) + 0.312 \times (\text{シャフト重量}) + 0.315 \times (\text{振動数}) \quad \dots(3)$$

Z_3 は負の方向に、「ヘッドは重心距離が短く、より低重心で、シャフトは軽量且つ撓りが大きい(振動数小→柔らかい)」事を意味する。

フェース面上の打球点を制御できる(ミート率の高い)プロや上級者にとっては、重心高さが低いほうがスピ量を減らせるので距離は伸びるとされている。

また、重心距離の長いヘッドは、特にヘッドスピードの速いプレーヤーにとってはヘッドの返りが遅れやすくなる問題が従来からも指摘されている。

これらを総合して考えてみると、 Z_3 が意味するところは、ヘッドスピードの速い且つミート率の高い上級者にとって重要な「ヘッドの返り制御性」を表現する成分であると言えるであろう。

既に図3に示したように、上級者の飛距離にとっては、

Z₃の小さいクラブを選択する事が望ましいという結果はこれらの事を支持するものといえるであろう。

上級者にとっても柔らかい軽量シャフトのほうが望ましい事が示されているのは興味有る点である。

又この成分が飛距離に影響する技量を持っているプレーヤーにとって第1主成分「軽量・長尺・デカヘッド」と言う成分は意味が無いことも面白い点である。

第4主成分：「ヘッドの効き具合」 Z₄

$$Z_4 = 0.663 \times (\text{バランス}) + 0.337 \times (\text{フェース高さ}) + 0.315 \times (\text{シャフト長さ}) - 0.364 \times (\text{振動数}) \dots(4)$$

この成分では、最も大きな影響を持つ元の変数は「バランス」で、Z₄の得点が高いほど、「ヘッドのシングウエイトが重く、フェース高さが高く、長尺で柔らかいシャフト」のクラブである事を意味している。所謂、「ヘッドの効いたディープフェイス」のクラブである。

この成分も、上級者の飛距離には影響する（但し、Z₃とは異なり、正の相関）が、初～中級者の飛距離には、影響しない成分である。

第5主成分：「ヘッドの返り遅れ」 Z₅

$$Z_5 = 0.729 \times (\text{重心距離}) - 0.338 \times (\text{フェース角度}) - 0.305 \times (\text{振動数}) \dots(5)$$

第5主成分の効果は、(5)式から判るように、その殆どが重心距離大小の効果として現れる成分である。Z₅の得点の高いクラブは、「重心距離が長く、どちらといえばスライス側に振ったフェース角を持ち、これに柔らかめのシャフト」が組み合わせられていると言う代物である。ヘッドスピードの速い上級者が使用した場合、ヘッドの返りが遅れて、ボールがうまく捕まらないであろう事は容易に想像される。事実、飛距離に及ぼす影響に付いては、初～中級者の場合には認められないが、プロやシングル級ではZ₅の高いクラブを使用すると、その飛距離が損なわれる事が判った。（表4、図4）

第6主成分：「動的ロフト角」 Z₆

$$Z_6 = 0.650 \times (\text{フェース高さ}) - 0.381 \times (\text{重心深度}) - 0.322 \times (\text{重心角度}) \dots(6)$$

この成分は正の方向（得点の高い方向）に、「フェース高さが高い所謂ディープフェイスで、重心深度や角度が小さい」事を意味する。

ドライバーはティアップしてボールを打つために、打球点が重心より上側になり易い。この時フェース面は重心線（シャフト軸中心とヘッド重心を結ぶ線）を軸として後方に、すなわちロフト角が大きくなる方向に回転する。その結果本来のロフト角がもたらすボールのスピンを抑制する効果を生じる。このいわば「動的ロフト角」は、重心深度や角度が大きいくほど顕著になる。

このスピンの量はボールに揚力を与える根源であるから、ヘッドスピードの遅い初～中級者であれば、多いほ

うが望ましいが、ヘッドスピードの速い上級者にとっては、過大のスピンの量となり、所謂「吹き上がり」の弾道になって飛距離を損なう。

Z₆の得点が高いと言う事は、この吹き上がりが抑制されたディープフェイスのクラブで、どちらかと言えば、上級者が考慮すべき成分のように思われる。

飛距離との関係はA氏（表2、表4）の場合のみ認められたが、残念ながら、A氏の技量やヘッドスピードを推し量るデータはない。

球筋に及ぼす諸変数について

図2において、初～中級者の飛距離は「軽量・長尺・デカヘッド」度：Z₁の増加に連れて、伸びるが、Z₁>-2では、むしろ「球筋」を支配する要素が重要である事を述べた。

B氏の試打した結果得られた球筋：ストレート、フェードを区別出来る判別式を求めた。

先ずストレート：0、フェード：1のように数値化して、表2に示す17変数全てを説明変数として、ヘッド（関連）変数とシャフト変数に分けて重回帰分析を行った。その結果、ヘッド変数の影響は、自由度調整済み寄与率R²で見た場合、0.659であり、シャフト変数に付いては、0.231と低く、ほとんど無視しても良いと思われる。従って、以下においては、ヘッド変数のみを取り上げた。

重回帰分析を繰り返し、寄与率の高くなる変数の組合せを抽出した。結果を表5に示す。

補正R²：0.814と信頼性の高い判別式が得られた。又各変数の回帰係数t値のレベルはt²>2であり、各変数の十分な寄与率を窺わせている。

得られた判別式を以下に示す。

$$Y = -10.029 \times X_1 + 15.659 \times X_2 + 6.197 \times X_3 - 4.49 \times X_4 - 1.321 \times X_5 + 1.794 \times X_6 - 54.669 \dots(7)$$

但し 判別基準 Y > (6/15 =) 0.40 : フェード, Y < 0.40 : ストレート, X₁ : フェース高さ mm, X₂ : 重心高

表5 球筋とヘッド変数（判別分析）

| 回帰統計 | |
|--------------------|-------|
| 重相関 R | 0.945 |
| 重決定 R ² | 0.894 |
| 補正 R ² | 0.814 |
| 標準誤差 | 3.283 |
| 観測数 | 15 |

| | 係数 | 標準誤差 | t | P-値 |
|-----------|---------|--------|--------|-------|
| 切片 | -54.669 | 77.180 | -0.708 | 0.499 |
| フェース高さ mm | -10.029 | 3.013 | -3.329 | 0.010 |
| 重心高さ mm | 15.659 | 4.810 | 3.255 | 0.012 |
| 有効高さ % | 6.192 | 2.033 | 3.049 | 0.016 |
| 重心距離 mm | -4.496 | 0.631 | -7.128 | 0.000 |
| 重心角度 ° | -1.321 | 0.376 | -3.515 | 0.008 |
| ロフト角 ° | 1.794 | 0.625 | 2.870 | 0.021 |

さmm, X_3 :有効高さ%, X_4 :重心距離mm, X_5 :重心角度°, X_6 :ロフト角°

$X_3 = (X_2/X_1)\%$ である事を顧慮に入れるならば、ディープフェイス・低重心、重心距離が長め、かつ、重心角が大きく、ロフト角は小なるヘッドを持つクラブが、ストレートボールになり、距離も伸びることを意味している。

ま と め

- (1) 初～中級者や、ヘッドスピードの遅いプレーヤーが、その飛距離を伸ばすために、「軽量・長尺・デカヘッド」「度」= Z_1 の高いドライバーを使用する事は効果がある。しかしながら、同時に、「高フェース高さ、所謂、ディープフェイス・低重心で、かつ、長めの重心距離、大きめの重心角度、小さいロフト角」を持つクラブを選択するほうが、球筋が安定し、飛距離も伸びる。

既に図1でも指摘したように、 Z_1 が飛距離に及ぼす影響は、少なくとも正の値の範囲、例えば、ヘッド体積300cc、シャフト長さ45インチ辺りで飽和している。にもかかわらず、近年に到ってもなおヘッド体積を大きく(400ccと言うのも珍しくない)したクラブ(これは重心距離も大きく取り易い)が新製品として売り出されている。この新しい製品は一見して判るように、全てディープフェイスで、かつ、低重心を指向している。これは、とりもなおさず、(7)式で示す球筋の安定性を一層図る狙いであろう。

- (2) プロや上級者、ヘッドスピードの速い人達にとっては「軽量・長尺・デカヘッド」は恩恵をもたらさない。第3, 4, 5主成分が表現するような、「ヘッドの返り制御のし易さ」や、「ヘッドの効き具合」、言い換えれば「タメを作りやすい?」と言った要素を重視すべきであると言う事であろうか…。

第3～第5主成分を構成する変数で、目に付く重要な変数は、重心高さ、重心距離、バランス(表2に示す各固有ベクトルの値を参照)である。飛距離に対しては、低重心、短重心距離、重いバランスが良いと言う方向である。初～中級者にとって、良い結果を得る、長重心距離、軽いバランスと言う点では、違ったドライバーを選択しなければならない事が判

った。

あ と が き

一層の飛距離増を望むなら、初級者から上級者やプロにおいても、確かに、道具の選択は重要であるが、図2～図3等に示したように、不幸にして、悪い選択をした場合と上手に良い選択をした場合でも、その差はアベレージ級200～230ヤードの平均飛距離の中で、高々、10～20ヤード、上級者では、230～250ヤード中で10～15ヤードの改善である。

費用とその効果を考えれば、容易には投資を決断し難い微妙なレベルである。

“弘法”になるべく、多に精進を重ねて“筆を選ばず”か、あるいは“悟りを得て、豪毛たりとも、弘法に近づぐべく筆を選ぶ”の何れを採るかは、結局個人の「こだわり」に任せられると言うのが結論であろうか…。

現場で、嘗て直面した問題には、多くの要因が絡み合っていて生じている事が常であって、この解決に当たって、専攻した学問の知識にのみに頼っても、その糸口さえ見出せない事は多々ある。変数として取り込みたい要因数の多さや、数値化されていない要因等を目の前にして呆然とする事しばしばであった。このような事情に直面したとき、まずは「多変量解析」(重回帰分析、主成分分析、因子分析、クラスター分析、…数量化理論、…)に頼ってその解決の糸口を探ると言う手法も最近のパソコンハード、ソフトに渉る大いなる進歩の恩恵を得て、現実性を持つに到っている。当時今のような道具立てを与えられていたら…と「この程度の事で鬱憤を晴らして…」の感慨一入である。

参 考 文 献

- 1) 「人気モデル スベック分類大作戦; ドライバー編」 竹林 隆光
ゴルフ クラシック 1995・8月, p.49～
- 2) 私信
- 3) 「'95 プロユース ドライバー徹底試打実験」
ゴルフ クラシック 1995・8月, p.33～
- 4) 「実験特集 最新クラブを徹底試打テスト」
ゴルフ クラシック 1995・8月, 臨時増刊号 p.113～

談 話 室

《教育というものの在り方》

熱 田 善 男*

The Fundamentals on Which the Education Should Be Built

by Yoshio ATSUTA

概 要

私はS34冶金卒の水曜会員です。新日鉄のOBで、工場の責任者をながくやった技術者です。その私に、京都工芸繊維大から、《教育というものの在り方》というテーマで、教務委員の先生方の合宿研修会に、企業のOBとして「外からの意見を出してくれ」と声がかかりました。そこで、自己の体験を「教育」という切り口から振り返ってお話をさせていただきました。2002年3月9日（土）のことです。

この経緯や話の中身を水曜会誌に投稿させていただきますので、ご笑読いただければたいへん嬉しくおもいます。

経 緯

「合宿は3月8日（金）の夕刻から始まり、その日は今年度の反省や来年度の取り組みについて相談致します。翌9日（土）の朝に外から講師を招いて1時間から15時間程度話題提供いただくことにしたいと思います。熱田様ですと、①3Kから3Aへの大学教育の転換、②消化不良の教育批判、③企業人からみた在るべき大卒像、④松下幸之助の人材育て、その他ご自由に言いたい放題して戴けるのではないかと期待しております」

これは、京都工芸繊維大の西田俊彦教授からいただいたEメールです。①の「3Kから3Aへ」は、私が提唱している教育環境のことで、後述する予定です。④に「松下幸之助の人材育て」があるのは、私が松下幸之助を研究しているからです。

そして、京都工芸繊維大ではなく、水曜会の平野勇先

生に、Eメールを入れました。「平野勇せんせい、34年冶金卒の熱田善男です。実は、京都工芸繊維大学で、《教育というものの在り方》という話を、3月9日（土）にすることになり、前日8日（金）に京都入りをします。その午後に京大へ伺って、水曜会関係の先生方に同じお話を聞いていただければ、卒業生として、ご恩返しができるのではないかと思います。たいへん勝手なお願ひですが、よろしくおねがいします」と、

こんな提案に対して、平野先生は、「実業界でご活躍中の先輩のお話を伺いできるせっかくの機会」ということで、水曜会会長はじめ諸先生方にご相談していただき、私の講演会を水曜会の行事として取り上げようと計画いただいたのです。残念ながら、ちょうど年度末に当たり、学部入学後期試験、学部および大学院の卒業・修了単位認定・調整および再試、修士1回生の修論中間発表会など、大事な業務が山積しており、講演会を開催する日程的な調整がならず実現しませんでした。私としては先生方のご尽力に対しては本当に嬉しく思いました。

もうちょっと経緯があるので、がまんして読んでください。

水曜会での講演は流れましたが、京都工芸繊維大で話す前に、どうしても、京大の方に聞いていただきご意見をいただきました。同期のS34年冶金卒の仲間、関西在住の人に、「集まってほしい」と声をかけました。また、親しくさせていただいている先生方にも声をかけました。

それなら、足の便利がよい京都駅の周辺に集まることになり、京都駅周辺ならPHP研究所を見学してみたいという声が出て、14時～15時、PHP研究所見学をさせていただきました。（別の機会にご報告もしたいとおも

*文京学院大学講師

います)

そのあと、15時～17時、新都ホテルのラウンジで、《教育というものの在り方》の報告と討議をさせていただいたのです。

参加者は、近藤良夫先生(名誉教授)、倉知三夫先生(名誉教授)、小松伸也君(関西大学教授)、赤松勝也君(関西大学教授)。それに同期の4人、江見敏夫君(元・愛知製鋼)、杉田宏君(元・住友金属)、田村英二郎君(元・住友金属)、私・熱田善男(元・新日鉄)。計8人、豪華な?ミニ同窓会になってしまいました。

その日のメは、他の方をお送りしてから、同期の4人が京都駅ビルの中のレストランに場所をかえて、ミニ同期会ということになりました。

やっと、本題にはいります。とっかかりは、自己紹介を兼ねて、おいたちからはじめます。もちろん、切り口は《教育というものの在り方》です。

おいたち

京都市内、吉田中阿達町生まれ。第四錦林小、小6で終戦。旧制一中最後の入学。鴨沂高付設中。鴨沂高。高3で病気休学。1浪、京大・工(冶金)入学。吉田分校の時に病気再発、再度、休学。病気と浪人とで合計3年遅れた。

小学校。可愛がってくださった先生のお顔やお名前は今でも覚えている。しかし評価していただけなかった先生は、いやな場面は覚えていても、お顔やお名前は忘れてしまっている。勉強はできる方だったが、体育と音楽はダメ。学校の勉強よりも、マニュアルのようなものを読むのが好きだった。5年生ごろから、家にあった「カメラ読本」は好きで、何度も読んでいた。それと、家にあった、大人の日記帳で下欄に各種の生活データがたくさん入っているのが好きで何度も何度も読みました。

一中。2年間在学、講義調の教え方は肌に合わず、勉強はしなかったし、成績もよくなかった。しかし一中の図書館に、戦前の野球雑誌がたくさんあったが、それが好きで読みまくりました。文学書とか思想書には関心が起きませんでした。

鴨沂高付設中。3年生。男女共学で、1年間、ザワザワと楽しく送ったのではなかったかと思いますが、記憶に残ることはなかった。

「カメラ読本」を読んでいたもので、中2ぐらいで、シャッター速度と絞りの関係、絞りは2乗できくこと。感光乳剤の原理等、完全にマスターしていたように記憶しています。日記帳のデータもほとんど覚えてしまいました。

鴨沂高。嫌いだった教科は、英語、古文、国文法、

国語、それに歴史。数学は、解析はまあまあ、幾何は超好き。補助線1本でパット解けるところや、解けたあと論理を進めて解答を書くところが気に入っていました。戦前の中学校の練習問題集を学校の近くの古本屋で見つけて、問題を解きまくった記憶があります。それは比較的易しい問題をたくさん集めたのだったのですが、易しいのを確実に解いたのが良かったとおもいます。これで幾何の基礎をしっかりと身についたので、学校の試験では怖いものはなく、いつも満点かそれに近かったと記憶しています。

理科。生物は嫌いだった。化学は習いはじめは難解で好きではなかったが、父に計算問題を教えてもらい、原子量と分子量、当量、ボイルの法則、等をマスターできてからは好きになりました。物理は先生の教え方が上手だったとおもうのですが、好きで成績もよかったと記憶しています。

理数系は少し光ったものがあったかも知れませんが、全般的にはあまり目立たない出来のよくない生徒でした。

鴨沂時代の特別な事いろいろ

子供が好きで近所のチビを集めてなにかしていたようで小学校の先生が向いているのかとおもっていました。鴨沂での恩人は数学の林敦子先生でした。3年のクラス担任で解析Ⅱを習いました。この先生が京大受験を勧めてくださったのです。「熱田くんは数学ができるから、1浪すれば大丈夫です」と、父兄面談で父親にいつてくださったのです。

最大の事件は高1のとき、英語の岡ちん先生の授業のボイコット。教え方が悪かったので、クラスでなんとなく話がまとまり、反対者2～3名を除き、やっしまいました。結局生徒にはお咎めがなく、岡先生が辞められて落着。

経緯は知らないが、大阪市大の恒藤先生が来られ、講堂に全生徒が集まりお話を聞く機会がありました。ボソボソと通らない声で話されるので、私語がどんどん増殖して誰も聞いていないような結果になり、恒藤さんが退場されたあと、教頭から、こっぴどくお叱りを受けました。別の機会に、立命の末川先生のお話がありましたが、先生のキッパリした態度と話ぶりに、私語もなく無事終わりました。

三遊亭歌笑が来たことがありました。超人気の落語家です。文化祭だったか、単独の企画だったか覚えていませんが、1ステージ当時のお金で5万円だと聞きました。これも講堂でしたが、全校の生徒は、師匠の芸に完全に吸い込まれて、大笑いを楽しんだ覚えがあります。

文化祭。鴨沂の生徒は多彩だったのでしょうか、ジャズ、日本舞踊、狂言などいろいろ出て凄かったのですが、私

は狂言の独特の味が大好きで、ジャズ、日本舞踊、等はあまり好きではありませんでした。

話は変わりますが、両親。父、秋田鉦専卒の技術者。母、京都の精華高女卒。当時としては知識程度は上の部類。父は、高校生の息子に化学を教えるぐらいで、息子を指導しようという気持ちが強かった。母は私を全部そのまま受け容れて、かわいがる愚母タイプ。やはり父は煙たく、母が好きだった。

このへんで、ひと区切りをつけて、ここまでのまとめをします。オリジナル原稿ではまとめは最後だけでしたが、「それじゃ、時系列的な事柄の羅列で、論旨があいまいになって、言いたい事が明確ではない」と、新都ホテルの討議で、田村英二郎君がアドバイスしてくれたのです。

まとめⅠ：小学校から高校まで

小学校から高校までのことですから、しっかりした教育観ができていたわけではありませんが、少年なりに感じていたことを思い出して見ます。

- ①先生や親が、私をかわいがってくださると、勇気と元気が出るのでした。その最大のものは、高校で、担任の「数学ができるから、大丈夫」という言葉が、京大受験を目指させてくれた。京大なんて自分ではおもいもしていなかったのだが、それが自分の目標になり、1浪でしたが、ほんとうにパスしたのです。
- ②私の場合は、好きでないと、学んでも成果が挙がらないのでした。「カメラ読本」の例のように、好きならば独学でもどんどんマスターできるのです。幾何もそうでした。当時は幾何ばかり勉強していたのが思い出されます。一方、嫌いな教科が多く、嫌いだとほんとうに手をつけないので、自分でも「どうしようもないとなあ」とおもっていました。学ぶには好きになることが、やはり一番重要だとおもいます。
- ③それから、先生の上手下手、その差が大きいとおもいました。伝わるのと伝わらないがあるので。高3で物理を習った時、その先生の教え方がうまいのです。失礼な言い方ですが、風采はパツとしないし、スリッパで教室へ来られて、ボソボソとしゃべられるのですが、肝心のところをピッシと説明されると、こちらにはピンときて、瞬間に理解できるのです。完全に伝わるのです。この先生は忍術使いではないか、忍術の極意を会得しておられるとおもったのです。しっかりした学力も大事ですが、それを生徒に伝える極意を持ってほしいとおもった。英語の岡ちゃん先生の授業のボイコットも、この問題をマイナスに拡大したような事件でした。大阪市大の恒藤先生

は法律学者としては偉い先生だと聞きましたが、高校生には伝わらなかったのです。でも末川先生は、伝える極意を持っておられたとおもいます。落語家を見習えというつもりはありませんが、伝える極意は同じようなものだろうとおもいます。

- ④しかし、基本的には、《教育とはおしえしつける事》で、それを受けるのが生徒の義務であるのが時代の常識でした。だから、当時は①～③は、気がついていても、口に出して言うのは憚っていました。

まとめには関係がありませんが、討議の中で近藤先生は第四錦林小の先輩だとわかりました。倉知先生は鴨沂高のPTA会長をされたのも知りました。こんな事が子弟の親密感を強めてくれ、同窓のよしみを深めてくれます。

大学入試

浪人中、関西文理学院という予備校に通いました。教え方のうまい先生が多かった。お陰で、不得意の、英語、古文、国文法、国語、それに歴史も、ままああのレベルに上がったとおもいます。

鴨沂高校の同級生に、京大などの教授の息子さんがいた。湯川くん兄弟（ノーベル賞）、貝塚くん（東洋史）、吉川くん（漢詩）、菊地くん（病院長）、浅井くん（耳鼻科）、谷口くん兄弟（大阪市大）、兎玉くん（燃料化学）、ちょっと思い出すだけでもこんなにおられたが、第一志望に入れた方は半分ぐらい、学者の道に進まれたのは、谷口君の弟の方、貝塚君、菊地君の3人だとおもう。

誰に聞いたか覚えていないが「親父が、いまでも、あれだけ勉強しているのをみると、おれは学者にはむかない」というのを聞いた。

注記：（ ）内は、お父さまの専門等を略記しました。

京大・教養部

「代数学」「数理統計学」で、好きだった数学が嫌いになる。「これがこうなって」と、黒板上で式をドンドン変形して行き、学生がフォローできないようなスピードが多かったように記憶している。先生の教え方に問題があったといえる。

化学。嫌いになる。講義では有機化学は、理屈なしに覚えよという教え方で、駄目でした。無機化学実験は、定性分析でしたがこれが嫌いだった。あまりにも複雑な分離工程なのでどうしても結果がうまく出ないのです。余談ですが、工学部から若手の先生が指導にきておられましたが、冶金からは倉知三夫先生や松村嘉高先生でなかったかと記憶しています。

物理。教科書も先生もよく、成績は良かった。物理の実験は面白かった。測定というものの不確かさを体得し

たようにおもう。

語学、英語と独語。英語はテキストが、文学系や思想系だったが、理系の私には不適當だった。入試時の実力より向上しなかったとおもう。ドイツ語は習って単位をとったというだけでした。

京大・工 (冶金)

状態図と転位を熱心に教えていただきました。記述的学問知識の授業は従のような扱いで教えておられました。ゆるい縛りのなかで、のんびりと2年間過ごした。

軽金属の村上陽太郎教授に指導を受け、卒論はチタン系の3元合金の状態図でした。直接指導いただいた円城敏男先生には、試料の溶解から、切りだし、研磨、測定のやり方、一緒にやりながら教えていただきました。変態点の測定にデリラトメータを使い長さの不連続変化をみる実験では、朝から夜まで、14～15時間かけて、円城さんと2人で、交代で持参の弁当をたべながらやりましたが、いまでも懐かしくおもいます。円城さんは、任せるところは任せていただき、これという時は、村上先生のところへ伴って直接指導の機会を作っていただきました。だんだん実験というものがわかり、面白くなり、熱心に、時には、われを忘れるような楽しい気持ちで、自発的にやれたとおもいます。

ここで、また、一区切りをつけます。

まとめⅡ：入試から京大卒業まで

- ①先生の教え方の問題。予備校での学習で、切実に体験しました。学力と熱意だけではすまされない、伝えるための極意が必須だと改めて確信しました。それにしても、京大教養部の講義は、伝わるのと伝わらないのと、2極にはっきり分かれてしまっていました。
- ②語学教育については、自分のできないのを棚に上げて言わしていただきますが、中・高から、教養まで、根本的に改善の必要があるとおもいます。
- ③冶金での教育は、「もっと絞られるとおもっていたのに、えらい遊ばしてもらえるものだ」と意外でした。
- ④卒論の意義。実験はこんなにしてやるんだよ。結果のまとめはこうするんだよ。大切な研究の方法論を体で覚えさせていただきました。
- ⑤学者になること。鴨沂には有名教授の息子さんがおられて、成績も良かったのですが、学者の子どもが学者になれるとは限らないのです。冶金の教室へ来て、西原先生に、「今夜、うちへ来てメシでも食わないか」とお誘いを受け、指定の時間に教授室へうかがい、同行させていただくことになりました。時間より20分ぐらい前に、部屋へ行くと、横文字の文献

を読んでおられて、「もうチョットと読ませてくれ」と約束の時間に来なおすよういわれました。これは1例ですが、どの先生も寸暇を惜しむように勉強しておられるのを見てなるほどとおもったものでした。学者になるには、頭が良いだけではダメで、勉強がほんとうに好きでないとダメだということを知りました。

- ⑥先生方との関係。教養部で単位を取っただけのドイツ語でしたが、ドイツ語の佐野利勝先生は忘れられない方です。経済学部の高橋君という友人が、修学院の先生宅に連れて行ってくれたのがキッカケで、個人的に親しくさせていただくようになりました。高橋君との交友はいつのまにか途絶えたのですが、佐野先生とは今でも文通が続いております。冶金では、村上研でしたが、他の研究室へも出入りさせていただき、西原先生にもかわいがっていただき、近藤先生にはいろいろ教えていただきました。倉知先生とは、兄貴みたいにさせていただきました。

- ⑦つぎの新日鉄時代の事ですが、ここのまとめに入れたほうがおさまりがいいので、繰り上げます。部下の作業長の一人が「大学とは、高卒で就職して社会にでるのではなく、就職前に4年間大学で道草することだと考え、自分の息子にもそう指導しました。いま高校の教員をしています。道草がが有意義とおもう」というのを聞いて目からうろこが落ちたような気がした。この作業長は幼年工出身でしたから、小卒で社会へでているので説得力があった。

まとめとは関係のない余談ですが、私の原稿には、「転移」とかいてあって、小松先生に「転位」ですよ、減点ものだと×をもらいました。高村先生に何度も注意を受けたのを思い出して、WPで「てんい」と打ちこんで変換を押すと最初に「転移」が出てきたという言い訳も口にできず、苦笑してしまいました。

新 日 鉄

1959年(S34)、旧八幡に入社。6年後管理職(掛長)になる。堺製鉄所の第1～2分塊、君津製鉄所の鍛接鋼管、3つとも新設工場、連続して新設工場の立ち上げを、計15年間担当する。作業員は、熟練工は基幹要員だけで他は未経験者の寄せ集めでした。

1972～1977年(S47～52)、基礎研究所(日吉)へ移る。生産技術研究所(八幡)、製品技術研究所(相模原)、3点セットで、中央研究所の機能を果たしていた。ここでは、研究管理を担当。

1977～1979年(S52～54)、技術協力事業部。外国に新日鉄の技術を教える仕事。ルクセンブルク、マレーシア、韓国、等々のプロジェクトを担当。

1979～1981年（S54～56）、君津鋼板加工（株）に出向。君津製鉄所の東京湾を隔てての対岸の横浜にある工場、君津からフェリーパージで海送された鋼板を、溶断・曲げ・溶接でH型鋼や柱材を製作。直と下請で計120名ぐらいの規模でした。零細業者が多く価格競争の激しい業界で、赤字体質の会社でした。生産販売構造の改革の道筋をつけるのに苦労した。柱材に力点をおいて進めたのが、10年以上も後になってこの会社を救ったことになりました。肉厚大型の柱材が建築業界の一つの流れになり、これには大型のプレス機が必要で、零細業者では投資資金に耐えられず、現在は独占的な地位を占めている。

1981～1987年（S56～62）、新日鉄に戻り、鋼管技術部。日米合弁で石油掘削用のドリルパイプの工場を建設。つぎ、受注生産指示の電算機システムのリニューアルを担当。

1987～1990年（S62～H2）、ヘッドハンティングのイムカへ出向。

1991～1999年（H3～11）、工業所有権協力センター（特許庁の外郭団体）。

まとめⅢ：新日鉄などでのこと

- ①新設工場を3つ立ち上げた教訓。新設工場には、経験が役にたたなかった。ところが、つい経験に頼って失敗を重ねます。これでは成功しないとおもい、全員が経験を捨ててゼロに戻ってやろうと、減産覚悟で操業を止めて、一堂に会して、新しい設備と管理について、考え方を統一する時間を充分にとりました。そして、スタート直後の不安定状態を何はともあれ管理状態にする。そして次ぎの段階である品質管理や目標管理、能率管理へ進むことにして、うまくいきました。《教育とはおしえしつける事》であるが、教育に先だって、《経験を捨て、ゼロから始める事》の重要性を本当に認識しました。
- ②基礎研究所では、社会動向を見据えながら、何をやるかを決め、予算をつけ、新鋭装置を購入して、研究活動を支援する仕事をした。動向を見通す能力が必要だった。また広すぎるぐらいの全研究分野の実情を、ある程度の深さで把握する理解力も必要とした。このような職務を担当すると、《教育とはおしえしつける事》ではないと気がつく。社会動向や研究実情を《見抜く力》をつけるのは、教える教えられるという事柄ではないとおもった。
- ③新日鉄は学歴の社会でした。社宅の地区の小学校ではクラスで成績の上位の子は新日鉄の子弟だと言われていました。お父さんは、石を投げれば東大出や京大出に当たるというぐらいの、一流大出身者でかた

まっていました。頭のいい受験社会を勝ちぬいたチャンピオンばかりでした。一時期ヘッドハンティングのイムカへ出向しました。ここは、学歴からいえば、私大出身者が固めていました。それも一流私大はほとんどいませんでしたが、ビジネスの腕では凄い人達が集まっていました。新日鉄は一流の学歴の人達が鑄型にはめられたようになっていたのに、イムカではさほどではない学歴の人達が個性を生かして実績を上げていました。

- ④英語がつかいものにならなかった。外国に新日鉄の技術を教える仕事の時代に痛感しました。会話はダメなのは当然だと諦めがついたが、分厚い技術ドキュメントを能率よく読みこなすことができなかった。学校で何を習ったのだろうか、疑問におもった。

ここで、学生や企業人としての経歴的なものはおわりです。以下は、一般社会人としての経験の中で、《教育というものの在り方》から見て、価値があるとおもう事柄を、これから紹介していきます。よろしくおねがいします。

水道方式

これは算数の指導方法です。1965年（S40）に、君津製鉄所から基礎研究所へ転勤しました。場所は日吉（神奈川県／東横線「日吉駅」下車）でしたが、社宅は東京都世田谷区上北沢でした。娘2人、小3と小1でしたが、君津の田舎から東京へきてびっくりしたのは、塾が当たり前になっていました。私は塾は嫌いでしたが、その頃小学校の算数の落ちこぼれについて、新聞に特集記事が出たりして大きい社会問題でした。30年以上も前のことです。この算数問題に対して、何か1本スジがね入りのものがないのだろうか調べて、これを知ったのです。

東工大名誉教授・遠山啓せんせいが提唱されたもので、先生を中心に、大学教授や小学校の先生方が集まって「数学教育協議会」をはじめられ、そこで研究された算数の指導法です。

水道の元栓がつかまってしまうえば水は流れない。詰まったところを見つけて、詰まりを掃除してあげれば、水は流れるようになる、そんな意味のネーミングです。

算数の計算体系をていねいに分析して、ステップ化して、それにしたいが系統的に教えるのです。最初に診断テストをして、どこが詰まっているかを見つけ、それに合った系統的教材を与えて進めます。行き詰まってくると無理に進まずにわかっているステップまで戻ってやりなおす。合理的な方法論が自動的に効果をあげてくれるのです。それと、もう一つの柱は、数を抽象的に扱わず量と関連を重視することでした。そこで量概念を明確に

するため目に見えるシェーマ（物象・実像）を使います。

言葉でいえばこんなことですが、現場を見てびっくりしました。子供たちが生き生きと学んでいるのです。そこで、私と家内は、さっそくこの方式を使って教育事業を展開しているある団体に所属して、娘2人を教えはじめました。

娘の友達が習いに来て、最大時は80人ぐらいを教えました。10年以上の期間、家内に協力してもらい、私は新日鉄勤務の余暇（週日の夜と土曜日）を活用して、実践活動をつづけました。そして、これで、算数ざらい、算数のおちこぼれの子供たちを、何人も救ったのです。

この方法に対しては、文部省（文部科学省）は好意的でなく、数学教育協議会は、今でも在野の団体として活動を続けています。

数学教育協議会：

<http://www03.u-page.so-net.ne.jp/ba2/ozawa314/index.htm>

参考文献：

「数学の学び方・教え方」遠山啓著（岩波新書）

「わかるさんすう・1～6」遠山啓監修（むぎ書房）

ささやかな実践「算数教室開設のいきさつ」

これは現在の事です。大学生の数学の落ちこぼれが報道され、このテーマの単行本も多く出版されています。30年も経って解決したとおもっていたのに、この問題は小学生から大学生に繰りあがっていたのです。

定年後、文京女子大学（現・文京学院大学）生涯学習センターに関与するようになり、水道方式を教える「お母さんの算数教室」を開設しました。お母さんを核にして「算数教育にささやかでも何か貢献したい」と考えたのです。たった2人のお母さんが受講申込された。最初の授業で、核になって自分の子供だけでなく、子供のお友達にも教えてほしい、と話したが、そんな事は「無理です」だった。でもお2人とも大卒の方ですが、算数は、嫌いな教科、出来ない教科というのが理由でした。1人のお母さんは「小4の時から算数はわからなくなった」といっておられました。もう1人は「教科全般に、算数も含めて、成績は良かったが、納得してして理解していくことより、詰め込んでいった。そして社会に出て活用できるかという、今まで何を学んできたのだろうか、自分がなさげなくなった」と述懐されていました。結局、夢を実現することはできませんでした。

ところが、夢が偶然に実現できる状況がでてきたのです。

私は千葉県八千代市の住み、娘夫婦は千葉市の幕張（幕張メッセのある地区）なので、車で30分もかかりません。2001年（H13）の春、娘から、2人の息子（小1

と小3）の算数をみてやってほしいと頼まれましたが、そのままになっていました。娘は30年前の私の算数の教え子です。夏休みに、再度、「おとうさん、やってよ」といわれ、「算数教室」を始めることにしたら、口コミで広がり、いきなり生徒が13人。場所としては娘のマンションの集会場が使えることになったので、水道方式に則った教材も自分で作り、9月から始めたのです。12月には23人になり、翌2002年（H14）3月には30人ちかくなりしました。

世間では、「勉強」は、なんとなく「暗い」イメージで、「きつい」ものだと思込んでいます。先生は「こわい」のが常識でした。これは「3K」なのです。

この年齢（1933年/S8生れ）になって始めるのだから、人生経験を背景に、この「3K」常識にも挑戦したい。そこで、新しい軸をとって、「明るく」「遊び感覚で」そして「アット・ホーム」と、「3A」で始めましたが、「みな本当に楽しそうに勉強しようワー」。この「3A」環境の効果は抜群にあがっていると肌で感じています。これが、冒頭の経緯にでた「3Kから3Aへ」のことで、小から大まで、教育というものを「3A」環境に切りかえてみれば、不登校や校内暴力、無気力、騒がしい教室、等いろいろの問題が解決できるようにおもいます。

水道方式に「3A」環境をかぶせたものを全国へ普及するという大志を抱いて、これからの余生をこれに懸け捧げたい。よろしくおねがいします。

梅棹忠夫著「知的生産の技術」（岩波新書）

この本のおかげで懸賞論文の特選に入った話です。新日鉄・基礎研究所の時、所長が梅棹せんせい提唱の「京大型カード」を使っておられた。私は大学ノート派。この本はすでに読んで知っていたが、カードは使う必要性もなかったし、使ったこともなかった。その後、君津鋼板加工（株）へ出向して仕事の守備範囲が広くなりノートではダメだと気がつき、カードを使いはじめた。いろいろカード化して整理すると、便利で有効だった。

1986年（S61）、毎日新聞に「21世紀の都市づくり」の論文募集記事を見た。当時ワープロを習い1年ぐらい、社内文書もワープロで出来るような腕になっていた。「社内資料ではなく、自分の論文をワープロで打ってみたい。新日鉄に勤めて30年間に蓄積してきたものの中から、価値のあるものを取り出す実験をしてみたい」、こんな気持ちで挑戦する。それが特選2席にはいったのだ。「大宅壮一は頭のなかで文章を組立て一気に推敲なしで書くそうです。作文が得意の小学校時代からの友人がいますが、彼なんか大宅壮一タイプです」ところが「僕は作文が下手で、はがき1枚書くにしても書き損じが多かった」。

そこで京大型カードを思い出してこれを使った。テーマに関する事を、いろいろ、約40枚のカードに落とし、そのカードを通勤の電車の中で繰っては読み繰っては読んだ。2〜3週間続けると、発酵というか、仕込んだ材料から急に何かが見えてきた。カードが頭脳の働きを助けてくれたのです。そしてワープロで書きはじめる。ワープロの《挿入》《削除》《移動》《複写》機能を使い文章をつぎはぎするが、頭の働きを助けてくれる。梅棹先生はワープロの出現前に紙とホッチキスでワープロのつぎはぎ作用を実践しておられたのが、この本にくわしく書いてあり、大変参考になった。

カードやワープロを使い、手で操作する事が頭の働きを助けてくれた。外部思考装置として働いてくれたのだ。この「知的生産の技術」を知らなかったら、私の特選2席はなかったとおもう。

21世紀を考える会

私は、平成元年に「21世紀を考える会」というのを始めて、今は、後輩に譲って離れていますが、約10間主宰してきました。この話は、水曜会誌：Vol.23 No.2に「脱・金太郎あめ」で報告しておりますので、詳しくはそちらをご覧くださいとおもいます。

「会社の中の仕事だけやっていたはいけない」という考えから会を始めたのですが、当時、ある方の奥さんから、次ぎの話を聞きました。

私の主人は、大企業で常務まで昇進して退任、幸運な人生でした。しかし、定年後は出かける先もなく家にゴロゴロしているの、で、「ゴロゴロするぐらいなら、行って友達でも作ってみては」と地域の会を紹介しましたが、だめでした。「一度出席したのですが、二度と出かけようとはしませんでした」

ご主人の感想は、地域の会だから職業もまちまち、服装もいろいろ、発言や挙動、行儀作法も違う、大企業の中で育った者にとっては、一步会場に入っただけで、知らない国へ来たようで、カルチャーショック、おまけに常務まで上がったのがかえてマイナスになった。常務と言えば会社では殿様、人と会う場合は部下が全てお膳立てしてくれた、ところが、地域の会合では、自分から名刺を差し出し自己紹介をしないと始まらない。意外にこんな簡単なことがスムーズにいかない、言葉が通じない異国へ来たような気持ちになり、拒否反応が出てしまったのだ。結局、その後は、家で一人で、テレビを楽しみながら、一日過ごすのが日課になりました。

これを聞いた時は、新日鉄という大企業にいたから、他人事でないとおもいました。こんな話を聞いたので、この会に力を入れて、10年間も続けることができたとおもいます。この会は後輩が継いで今でも盛会に続いて

います。

この実践により、もとは「おとなしく目立たない、我だけはつよい」インサイ德的な技術屋だったのが、「外へ向かって発言できる」ように、おおきく変身できたのです。技術者には深掘りが大切ですが、巾も身につけてほしいですね。

語学教育

学校の語学教育については、学生時代から、社会人になっても、ズーッと、不満たらたらでした。でも、私だけではないとおもう。だからといって他に方法があるのだろうか。だからといって教え方の理論があるのだろうか。こんな同情する気持ちも、また本心でありました。「天と地がひっくり返った日」。1987〜1990年（S62〜H2）、ヘッドハンティング会社のイムカにいたころ、この榊原陽先生の多言語実践（言語交流研究所）の実践に遭遇しました。

「7カ国語で話そう」とう言葉にひかれてセミナーに参加したのです。初めに先生の「若いころ英会話教室を始め東京では1〜2といわれる成功をしていたのですが、それまでの手法に疑問を持ち、幼児が母国語をマスターする過程をなぞるのが本当の語学教育と思い、世界中の語学教育の大家を訪ねたのだが、得るものはなかった」からはじまり、「苦勞して独自の手法を確立、するとこの方法は英語に限ったものではないと気がつき、多言語を取り入れた」。理論もしっかりしていると感じました。でも驚いたのは、このシステムで学んだ生徒の実演でした。ほんとうに楽々と2〜3カ国語をしゃべるのです。

その1人朝鮮系の娘さん。小学校から朝鮮人学校に通っていたので学校でハングルの授業があった。別に、このシステムで、英語とハングルを学びはじめた。英語で挨拶をされましたが、ネーティブの発音で流暢にやっしまわれて素晴らしいと思いました。その人がハングルについて、本当に驚く話をしてくれました。

「ここでやるハングルと学校のハングルと違うものだった」。彼女は、このシステムと朝鮮人学校と、2つのハングルの頭の中で別々して学んできたのです。そして、韓国へホームステイに行く。ホストママに向かって、とうぜん正と思っていた正規の学校のハングルでしゃべりましたが、ママから「貴方のハングルわからない」といわれて「エッ」と、頭のスイッチ切り換えて、このシステムのハングルでしゃべりだすと、一気に通じだした。こんな体験談をきいて、私の語学に関する考えが、完全に「天と地がひっくり返った」のです。

日本の英語教育、いや世界中の外国語育は間違っていると思った。でも、この話、進歩的すぎていなかなか

伝わりません。1992年（H7）、榊原先生を私が主宰していた「21世紀を考える会」にお呼びしましたが、「21世紀を考える会」のメンバーには、本当には伝わらなかったような気がします。

創業は1981年（S56）スタート、もう20年を経過している。7ヵ国語で世に出て、現在は、13ヵ国語までやれるようです。

言語交流研究所：http://www.lexhippo.gr.jp

東京本部・渋谷区松涛1-4-7 エース松涛ビル／
03-3467-6151

関西本部・大阪市北区豊崎2-4-10 梅田林豊ビル4F／
06-6374-2484

「言語交流」は、受験が普及を阻んでいるそうです。4～5年生になると、やめて受験塾へ行くそうです。最近では定年退職者の参加に期待しているそうです。

大切なことなのですが、まだまだマイナーなのです。京都工芸繊維大で語学系の先生に聞いていただき、大学での実践と評価をおねがいするつもりでしたが、参加メンバーにおられなかったの、残念でした。

同じく外国語教育について気になったこと。新日鉄・基礎研究所の時、フランスからの留学生を受け入れた。あちらの日本語学校で習ってきて日常会話は結構流暢だったのです。こちらの日本語学校に通いだしてからしゃべれなくなった。先生が、文法的なことをやかましく言われるのがその原因だった。

学校とはなんなのか

「21世紀の都市づくり」の時、募集期間の中間で、外国人を呼んでパネルがあった。パネラーの1人、ベネゼラ大学の助教授が「学びは、学びたい学生がおり、学びたいテーマがあり、学び方を教える教師がおれば成立するのだから、未来の大学に大きいビルディングは不要、都市の各所に情報検索ステーションを構築して、老弱男女、いつでも学べる環境をつくる」という都市の未来像を提案されたのを、新鮮な気持ちで聞いた。

現在は、ITの進歩普及により、別の形でこの条件が実現されてきたので、大規模大学を考えなおす時期ではないだろうか。

松下幸之助の言葉

冒頭の経緯にテーマとして出ましたが、松下幸之助は次ぎのように言います。

全く新しいものを生み出すためには「常識から自分を開放する」ことが必要で、そのために熱意がある。特に「多くの知識を身につけた人ほどそれを越える熱意が必要ですね」と、高学歴者に警告。「素直な心」になる事が大切だと言います。

「素直」という言葉には、「親のいいつけを素直に聞く」とか「先生に素直に従う」といった受け身のイメージが強いのですが、幸之助の言う「素直な心」はそうではありません。習った事を捨てて、経験捨てて、成功体験も捨てて、すべてから脱却して、「なにものにもとらわれない強い心」、真実を見抜くことのできる心、これが大切だと言います。

さらに、「素直な心」で「衆知」を集める必要があると言います。そのために人に聞くのである。幸之助は、誰にでも、地位のあるなし、有名無名に関係なく、意見を聞いておられました。

幸之助は「素直な心」になるのは簡単ではない。囲碁で1万局ぐらい打って初めて初段になれるそうだが、「素直な心」の初段になるのも同じだ。朝昼晩、1日に3回、「素直な心」になろうとねがって、それを1万回ぐらいつづけてやっと「素直な心」の初段だ、と言います。これを計算すると10年ぐらいかかることになりすね。それほどしないと「素直な心」の境地には到達できないのです。

この松下幸之助のようにしなければ、ほんとうに学ぶことはできないとおもう。

不登校問題

有馬文部大臣の「娘も不登校だった」発言。毎日新聞・1998年8月7日（夕刊）の12面・社会／事件／人／話題欄に次ぎのような囲み記事がありました。この有馬さんの発言、たいへん気になりました。

不登校の小中学生が10万人を突破した（過去最高、前年比11%増）問題について有馬朗人文化大臣は7日の会見で、自身の娘が不登校となり高校へは1日も行かなかった経験を挙げ「20年以上にわたって悩んでいる問題。人ごととは思っていない。何とか解決したい」と積極的に取り組む姿勢を明らかにした。文部省が打ち出している。

不登校の児童・生徒を無理に学校に連れ戻さない「柔軟化」が不登校の原因だという指摘については「それでいいと思っている。縄をつけてでも学校へ連れていくのがいいとは思わない」と語った。

有馬文部大臣は「娘が高校へ行かず、悩みに悩んだ」と父親として不登校に直面した体験を挙げ、深刻な問題としてとらえているとの認識を示した。

さらに、急増の原因を「家庭、学校、本人の意識の問題が複雑に絡まっていると思う。娘の時に比べ、学校の対応は柔らかくなっている。〈学校に行かなくてはいけないんだ〉という意識がなくなり、いいと思っている」と、子供の自主性尊重の観点から柔軟路線を支持した。

…（書き手、岡崎康次氏）

有馬発言が報道された日の夜、中央大駿河台記念館で、知人が主催する勉強会があり、「ムカつくキれる子どもたちの教育」をテーマに、桐朋学園で初等教育につとめられ校長を最後に退職、現在は大学で教えておられる、斉藤孝先生のお話がありました。要点だけ紹介すると、社会科の授業として、試行錯誤の末、指導要領にとらわれずに、生徒の考えをもとに、現実社会を取材させ、親のコメントも出してもらい、学級通信という形の生きた教科書をつくりながらやるようにした。基本は子どもの個性（価値観・性格・嗜好・等々）、大人の眼鏡で見るのではなく、子どもをありのまま受け容れることである。こんなお話でした。（資料がありますので、ご希望の方はご連絡ください）

船井幸雄の卓見：《ありのままに受け容れる》

2000年（H12）12月だったと記憶しているが、船井さんの講演を聞く機会があった。これから期待できるビジネスというテーマだったが、その枕にこんな話をされた。「日本には教育の名人が2人いる。知っていますか。船井総研で調べたのですが、吉田松陰とDrクラークです。1年足らず期間であれだけの俊才を育てた秘訣は、弟子をありのままに受け容れて、褒めて力づけたことだった」と、主題のお話はすっかり忘れてしまっているのだが、この短話が強いインパクトを打ちこんできたのです。《教育というものの在り方》は《ありのままに受け容れる》ことだと。

先の、有馬発言に対しては、私は次ぎのようにおもったのだ。東大総長までされた、教育者の中の教育者が、自分のお嬢さんの不登校について、「20年以上にわたって悩んでいる問題」と言っておられるのが問題だが、これが日本の教育者の最大公約数なのだろうか。お嬢さんは成人して今は普通にやっておられるのだろうか。なのに、何故、高校にいかなかったのにこだわるのだろうか。これはお嬢さんの不登校、これは一種のレジスタンスではなかったのだろうか、それを、いまだに認めていない事。それは、結局娘さんの人格を認めず否定していることではないのだろうか。

そこへ船井幸雄の卓見《ありのままに受け容れる》を重ねると、有馬発言は本当に間違っている。これではお嬢さんが浮かばれない。

そして、斉藤孝先生の実践の成功の原因も、《ありのままに受け容れる》ことにあったのだ、「これだったのだ」と私の胸にストーンと落ちこんだ。とたんに、ズーツと胸中にもやもやとしていたものが晴れて、《ありのままに受け容れる》という原理の望遠鏡が長い自分史を

一瞬に遡り、少しのくもりもなく見とおせさせてくれたのである。

ながながと書きましたが、結論をまとめたいとおもいます。

結論Ⅰ：ありのまま受け容れる

小学校から高校まで。先生や親が、私をかわいがってくださいと、勇気と元気が出るのでした。その最大のもは、高校で、担任の「数学ができるから、大丈夫」という言葉が、京大受験を目指させてくれた。成績は、数学と物理・化学は5だったが他の教科は惨めな成績だったので、京大なんて自分ではおもいもしていなかったのだが、それが自分の目標になり、1浪でしたが、ほんとうにパスしたのです。（まとめⅠの①）

高校の英語の岡ちゃん先生の授業のボイコット。岡先生が辞められて着落した、いつまでも心が痛む話。「教え方が悪い」と切っていましたが、いまになっておもうと、生徒のことを受け容れず、一方的な授業のすすめておられたのが、こんな結果を生んだのではなかったか。（まとめⅠの③）

京大教養部。ドイツ語の佐野利勝先生。修学院のお宅へも再々伺い、いろいろな事について、学生の私の未熟な話を深い懐で聞いていただき、そして先生の方から奥の深いお話をいただきました。先生の人格に引かれて、今でも文通が続いています。（まとめⅡの③）やはり、ありのままに受け容れていただいていたのです。

京大冶金。当時は、真意はわからなかったが、教育の理想だったとおもいます。学生のことを中心に考えていただき、のびのびと育てていただいたとおもいます。学生の短所を暖かく見守っていただき、長所が伸びるのを待っていただくような、慈父のような大きい心を感じておりました。かわいがるというより、ありのままに受け容れていただいていたのではないかと、今になっておもいます。

その結果、はじめて出会った「状態図」や「転位」という言葉の中身もそれぞれなりに把握できた。また、卒論の研究や実験は、熱心に、時には、われを忘れるような楽しい気持ちで、自発的にやれたとおもいます。（まとめⅡの③）

「君達は就職すればちゃんとやるのだから、あんまりうるさく言わない」と、縛りの緩い理由をきいたことがあります。

この結論Ⅰが、《教育というものの在り方》のいちばん重要なことで、「Ⅰにこれ、Ⅱ、Ⅲ、Ⅳがなくて、後はⅤ以下」のようにおもえますが、いかがでしょうか。

結論Ⅴ：好きでこそ上手になる

私の場合は、好きならば独学でもどんどんマスターできるのです。好きな対象でないと、学んでも成果が挙がらないのです。ところが嫌いな教科が多く、嫌いだとほんとうに手をつけないので、自分でも「どうしようもないとなあ」とおもっていました。(まとめIの②)

勉強が何より好きじゃないと大学教授にはなれないのも本当だとおもう。

好きなことをやっている、食事でも面倒になり、「後で」といって、母親に叱られた経験はだれでもあるのではないのでしょうか。

学ぶために必要なのはそれが好きな事だとおもいますが、いかがでしょうか。

わかる事、好きになるためにはわかることが条件だとおもう。私の場合、幾何が得意だったが、適した練習問題集を手に入れて基礎をしっかりと身につけたことがよかったとおもっています。次ぎの教え方につながりますが、わからせる事が教師の最大の課題ではないのでしょうか。

結論VI：教え方

教室に臨む姿勢。新都ホテルでの討議で、赤松教授は「教室ではネクタイは外さない」と心構えを披瀝されたし、小松教授は「オレの売り物は、声のデカさと出ている腹だ」と気迫をしめしておられました。現役の先生のご苦勞に頭がさがりました。

テキスト、システム。教養の物理の教科書は多田先生とおっしゃる方が中心になって作られた。多田先生は、湯川秀樹博士と京一中→三高→京大物理の同級生で、流体力学をやられて、海軍で飛行機の研究をされて、戦後京大へ戻られた方。湯川さんが後に朝日新聞に連載された自伝「旅人」にも出てきます。この教科書が、教養部では当時たいへんよいと評判でしたが、私は教養では物理は落ちこぼれなくてすみました。

水道方式による算数の指導も、教材の優秀さにより成果を挙げています。語学でも、言語交流研究所の方法は言語習得の自然の理を掘り起こして成功している。

伝える極意。教えるというのは伝えることだとおもうのです。そして、先生の上手下手、その差が大きいとおもいました。しっかりした学力も大事ですが、それを生徒に伝える極意を持ってほしとおもった。(まとめIの③、その他)

結論VII：その他

梅棹忠夫著「知的生産の技術」。この本は、大学在学中に読んでほしい。

外国語。学校での教育は全面見なおしをやってほし

い。

教育環境。3Aへ。勉強は楽しいものにかえてほしい。

ゼロから始める事。過去の経験や習った知識にとらわれないこと。

ベネゼラ大学の先生の言葉もかみしめてみたいですね。

補足：技術者の教育

工業所有権協力センター。ここで10年ちかく特許調査の仕事に携わりました。特許庁の外郭団体で、民間各社から500人ぐらいの技術者のOBがきていました。

いろいろの会社から、出身大学もいろいろでした。東大出と京大出を較べると、京大は粒が揃っているという気がしました。東大はバラツキが大きいとおもいました。本田技研やソニー出身者もおられましたが保守的で革新的でなく意外でした。化学会社からこられた方は頭が柔らかく感心させられる事が多かった。私の印象だけの雑談ですが、何かの参考になるかとおもいます。

おわりに

京都工芸繊維大学で、「教育というものの在り方」を語らせていただいたのをもとに、まとめさせていただきました。いま日本の教育が、小学校から大学まで、矛盾だらけで行き詰まっているが、改革の決め手のないまま、右往左往しながら試行錯誤を繰り返しているようにおもいます。そして文部科学省のいう改革を報道で知る限りでは、現実から大きくかけ離れているようにおもいます。その一番の原因は、中心になっている役人が受験競争に勝ちぬいたチャンピオンの上級職で固めており、審議会のメンバーも同様のエリートで、それに反して国民の大部分は受験嫌い学校嫌いです。そこに行政と国民の乖離の原因があるのだとおもいます。

そんな現状を考えると、学校教育に落ちこぼれた人間を文部科学省が採用して諸改革にタッチさせる必要があると考えますが、いかがでしょうか。

私の場合も、きわどいところで、落ちこぼれをまぬがれた人間として、このような意見を発表させていただいたことが、いまの日本には、なんらかのお役に立つのではないかとおもいます。

ご意見があればよろしくおねがいします。

連絡先：熱田善男

〒276-0032 千葉県八千代市八千代台東6-18-4

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13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、新苗正和助教授及び水戸義忠助手の教官計3名、研究室事務1名、配属学生は大学院博士課程2回生・1名、修士課程2回生・3名、修士課程1回生・4名、学部4回生・7名で研究室小計19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、研究速報として研究テーマ8例について、研究内容の要旨を報告する。

1. 地下発電所大空洞における3次元形状効果に関する研究

岩盤内に大規模地下空洞を掘削する際には、掘削に伴って空洞周辺に生じる緩み領域の抑制が重要である。地下発電所などの大規模地下空洞において、緩み領域を抑制するにあたっては大量のPSアンカー等の支保を要するが、本研究では支保の合理化を目的として、緩み領域を空洞の形状効果により抑制できるような、より合理的な地下大空洞の形状と掘削方法について検討した。

2. 動的注入工法による低透水性岩盤へのグラウト効果について

放射性廃棄物の地層処分施設等の周辺岩盤の天然バリアとしての機能を高めるため、低透水性岩盤の微小亀裂に対する確実な注入工法の開発が望まれている。動的注入工法は、高濃度・高粘性のグラウトを微小亀裂内に注入することが可能である。しかし、注入メカニズムや注入効果について未解明な部分が多い。本研究では、室内実験及び実験結果の理論的考察を通して、注入材料の粘性、圧力、周波数等のパラメータが注入効果に与える影響を明らかにした。

3. 地球統計手法を用いたトンネルの切羽前方地質予測について

近年、トンネル掘削において、高速な施工が可能なTBM (Tunnel Boring Machine) を用いた掘削工法が注目されている。一方で、TBMはその構造上、切羽周辺の地質観察がリアルタイムにできないため、切羽前方の地質に対する予知が難しく、トラブルがしばしば発生する。本研究では、TBM掘進や削孔検層によって得られるデータから、地球統計学を用いることで切羽前方の地質状況を高精度に把握する手法を検討した。

4. 沿岸海底下における地下水流動の長期予測について

高レベル放射性廃棄物の地層処分施設の立地を検討するにあたって、長期的かつ広域の地下水流動挙動を評価する必要がある。わが国では、沿岸海底下における地層

処分施設の立地も有力な手段の一つと考えられている。沿岸海底下では、降水起源の淡水地下水と海水起源の塩水地下水が存在し、密度の異なる地下水による塩淡水境界が生じている。本研究では、地下水位変化や海水準変動を考慮した沿岸海底下における地下水流動の長期変動予測を行うと共に地質構造と地下水流動の関係を検討した。

5. 岩盤大空洞の掘削に伴う緩み領域の挙動について

高レベル放射性廃棄物の地層処分場は、岩盤が天然バリアとしての役割を担うことから、掘削時及び掘削後の周辺岩盤の力学的及び水理学的な安定性を維持することが極めて重要である。この場合、掘削に伴う緩み領域(EDZ)の進展状況を精度良く把握することが必要である。本研究では、大深度岩盤内の空洞である神流川地下発電所の掘削時の計測結果に基づき、掘削時の緩み領域の挙動及び緩みを検知する計測方法について検討を行った。

6. 動電学的手法による重金属汚染土壌の浄化プロセスについて

pHに対して緩衝能の高い地盤に動電学の土壌浄化法を適用する場合、除去の対象となる重金属の土壌から間隙水への脱着・溶解が十分に起こらないために、浄化効率の悪化が指摘されている。そこで本研究では、動電学的手法による重金属汚染土壌の浄化に錯形成反応を利用するための基礎研究として、土壌pHが中性付近にあるカドミウム汚染土壌を用い、陰極液にEDTAを溶解して使用し、EDTAが土壌中を陽極方向に移動する過程で土壌に吸着したカドミウムと錯形成反応を起こさせることによるカドミウムの土壌からの除去について検討した。

7. TBM掘進データを用いた大断面トンネルの支保設計に関する研究

導坑でのTBM掘進データを体系的に評価し、定量的に本坑の支保パターンの選定に活用することで、極めて合理的に大断面トンネルの支保設計が可能になると考えられる。そこで本研究では、TBM掘進中に得られる掘進データ、切羽周辺の観察によって評価される地質評価データ、実際の支保パターンの関係をTBM導坑並びに本坑において多変量統計分析を行い、各支保パターンに対する判別の中率を求めることによって、どのような評価指標を用いることでより合理的に支保パターンを選定することができるか検討を行った。

8. 海洋温度差発電における冷排水の拡散特性に関する研究

海洋温度差発電技術の実用化及び環境面での課題の一つとして、発電に伴う冷排水の拡散挙動及びその特性の解明を挙げることができる。本研究では、冷排水の拡散挙動、安定した取水温度を確保するための取・排水口の設置位置、排水方法について解析的に検討を行った。

教授 青木 謙治
助教授 新苗 正和
助手 水戸 義忠

地質工学分野

「地質工学研究室」では、資源・エネルギー開発、地球環境保全、地盤防災、構造物基礎など、地球科学及び地球工学をベースとした幅広い研究を進めている。

地すべり及び斜面崩壊のメカニズムと発生予測

(1) スラビングによる軟岩斜面の崩壊メカニズム

軟岩斜面の崩壊にスラビング (slabbing) と呼ばれる現象がある。スラビングは、軟岩からなる水際斜面の浸食や切土によって形成された急崖や急斜面において、断層や節理など地質構造的な不連続面が認められない場合においても、地形面に沿って新しい分離面を生じて崩壊する現象である。しかし、我が国には軟岩が広く分布しているにもかかわらず、軟岩斜面の崩壊におけるスラビングの重要性についてはほとんど認識されていない。そこで、1996年2月に発生した北海道豊浜トンネル岩盤崩壊を対象としてFEM解析を用いて、スラビングによる岩盤崩壊の可能性とそのメカニズムについて検討した。その結果、海食あるいはトンネル掘削による水平なスリット状の空洞の形成によって、地質構造的な不連続面が存在しない場合においても、崖面に沿って不連続面を生じてスラビングによる岩盤崩壊を発生する可能性があることが明らかとなった。

(2) 雨量指標による道路斜面災害発生予測と通行規制指標

道路防災は構造物等によるハードな対策と通行規制等による2次災害の防止を目的としたソフトな対策が必要である。本研究は、斜面崩壊の主たる誘因である「降雨」に着目した通行規制のための雨量指標について検討したものである。通行規制の雨量指標値としては、規制時間が短くかつ、斜面災害の発生時に交通規制が的確に実施されていること、すなわち、災害の補足率が高く効率的な雨量指標値を見いだすことが必要となる。国土交通省によって調査された全国各地の道路斜面災害データとアメダスの雨量データから、一般的に用いられている雨量指標も含めて幾つかの指標を算出して指標ごとの中率を求めた。得られた的中率の近似線をもとにブライアスコアを用いて考察した結果、通行規制に最も適した雨量指標は、実効雨量における指標のパラメータの一つである a の値を -4 とした場合であることがわかった。また、スレットスコアによる検討の結果、 a の値を -4 とした実効雨量の値が 110 mm に達した時点で通行規制を施すと最も効率的であることがわかった。

岩盤基礎の調査及び評価手法の合理化

(1) 地球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。本研究はこれまで資源開発分野で用いられていた地球統計学的手法 (Kriging 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、島根県下の深成岩からなるダムサイトのボーリングデータをもとに、岩盤の地質特性に基づいて最適な共分散関数及びトレンドモデルについて検討し、ルジオンマップ及び岩級区分図作成を行った。その結果、ルジオンマップについては良好な工学図が得られ地球統計学的手法の有効性について確認できた。

(2) 「色」指標の深成岩における岩盤分類への適用性

安全で経済的な岩盤構造物を建設するには、基礎岩盤について精度の高い調査と評価・分類を行うことが必要となる。地質技術者による定性的な岩盤分類を客観化・定量化するための手法としてシュミットハンマーテストをはじめ様々な簡易試験が利用されている。しかしながら、新鮮岩～風化岩に至る広いレンジにわたり、しかも横坑や基礎掘削面のような原位置岩盤とボーリングコアや岩石材料のような岩片の両方に適用できるものは見受けられない。そこで岩盤の風化が進むにつれて強度が低下し、かつ「色」が系統的に変化していく傾向に着目し、岩盤分類指標の1つとして「色」計測による指標の適用性を深成岩について検討した。「色」を定量化する方法として『 $L^*a^*b^*$ 表示系』(JIS Z 8729)を採用し、「色」に関する計測指標値と岩片の間隙率及び点載荷強度、ならびに岩盤の地質技術者による岩級判定、シュミットハンマー反発度、原位置岩盤せん断試験値などとの関係について検討し、「色」の計測値のうち『 b^* 値』が岩盤分類指標として有効であることを明らかにした。

空間統計学的アプローチによる地震分布の時空間変動の評価

国立大学観測網地震カタログ震源ファイル (Japan University Network Earthquake Catalog Hypocenters File: JUNE) から得られる時間-空間にわたる詳細な地震発生情報について、統計学的アプローチをもとにした空間分析による震源分布の時空間変動の特徴について検討した。対象とする地震データは、東経 133 度～ 137 度、北緯 33 度～ 36 度の対象地域内で、1995年1月の兵

兵庫県地震をはさむ1986年1月から1996年12月までの11年間に発生したマグニチュード2以上の地震である。震源の点パターン分布の凝集性についてMorisitaの指標を用いて評価した結果、1986年～94年初めの期間にはほとんど変動が認められなかったが、1994年初め～95年半ばの期間に顕著な変動を示して一時的に凝集性が高まり、その後、1995年後半になると兵庫県南部地震に関連する中規模余震群の終息と時を同じくして、当初の値に戻っていることが確認された。次に、地震発生個数に関するバリオグラム（地球統計学における場の分散関数）を推定し、そのパラメータであるレンジとシルの時間的変化について検討した結果、兵庫県南部地震発生を境に南北方向のレンジと比較して、東西方向のレンジが大きくなり東西方向の異方向性が強くなったことが明らかとなった。一方、シルの時間変動については、兵庫県南部地震直前の1994年半ばにおいて値の急増が認められるなど、兵庫県南部地震の直前に特徴的な時空間変動を示す特性値が存在することが判明した。

ダム欠陥部の検出を目的とした計測データの 時間・空間統計分析

ダムの計測管理はダム及び基礎の欠陥をリアルタイムに検出することが不可欠である。本研究では、「時間的-空間的」に変動するデータであるフィルダムの堤体及び基礎岩盤の間隙水圧データについて、①挙動要因間

る多変量自己回帰モデル（以下MARモデルとする）による時系列分析、②物性値の空間的類似性を考慮できる地球統計学的手法による空間系分析、③地球統計学的手法を時間領域に拡張した時空間統計モデルによる時空連続系分析によって挙動を評価し、ダム欠陥部検出のための検討を行った。その結果、④間隙水圧変動データについて行ったMARモデルによる時系列分析では、精度よく回帰を行うことができない特定区間が存在し、その区間について、間隙水圧変動のノイズ寄与率をもとに要因分析を行ったところ、特異な傾向を示すことが確認された。⑤間隙水圧及びダム浸透量の急変を生じた期間前後において地球統計モデルによる空間系分析を行ったところ、急変を反映しているとみられる低間隙水圧ゾーンの存在が確認された。⑥時空間統計モデルによる時空連続系分析では、地球統計学的手法の1つとして時空間Cokriging法を適用して、間隙水圧及びダム浸透量の急変を生じた期間前後において操作変数の影響度を評価したところ、相対的な影響度合に大きな変化が認められ、これをもとに漏水の浸透経路について推察することが出来た。MARモデルならびに地球統計モデルによる分析からダム欠陥部を検出することが十分に可能であり、さらに時空間統計モデルを適用することによって欠陥部の時空間水圧挙動の詳細な把握が可能である。

教授 松岡俊文
助教授 平野 勇

資源高度利用工学分野**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**

本研究では、坑内採掘が進行している鉱山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、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することを目的としている。昨年度、平木鉱山を対象として単純な等価モデルによる3次元弾性解析を行ったが、応力集中が予想される幅の狭い鉱柱に明瞭な応力集中が確認できなかった。そこで今年度、その妥当性を確認するため、採鉱法や充填状態など現実に近い詳細なモデルで解析を行った。その結果、要素数が30万を超え計算に要するメモリーも1GBを超える計算となったが、応力集中が予想される幅の狭い鉱柱に大きな応力集中が生じることを確認することができた。弾塑性解析にはさらに計算能力が必要であることを考えると空洞を単純化して解析する方法は有効であると考えられる。今後、採掘過程を考慮した応力状態の変化と実際の空洞状態との比較等の検証を行う予定である。

**トンネル切羽における岩盤変形挙動と
支保設計に関する研究**

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、切羽とその近傍岩盤の変位と応力の状態や塑性域の広がりを詳細に検討して切羽における支保機構を確認することが重要である。本研究では、FEMによる3次元弾塑性解析を実施して切羽及び切羽周辺岩盤の変位及び応力状態を調べ長尺先受け工の一種であるAGF工の効果について検討するため、北陸新幹線飯山トンネル上倉工区における長尺AGF工に対する解析を行った。その結果、解析結果は現場計測結果と同様の傾向を示していることから解析の妥当性を確認することができた。また、解析結果からAGF鋼管に生じる軸力は切羽が通り過ぎた後に圧縮力となること、AGF工を施した場合、施さない場合に比べて天端奥部に圧縮応力域が広がり切羽の安定性を増していることなどがわかった。今後、岩盤内の不連続面の影響などを考慮した解析を実施し、AGF工などの先受け支保の設計法について検討する予定である。

地すべりによるトンネル覆工変状に関する検討

本研究の目的は、地すべりが原因でトンネル覆工に変状が生じたと考えられている山形自動車道白猿トンネルに対して、変状の原因が地すべりによるものかどうかを確認しその変状に対する有効な対策工を検討することである。そこで、まず、FEMによる地すべりを考慮した二次元及び三次元解析を行いトンネル覆工に発生する応力分布について調べ、変状の原因が地すべりによるものかどうかを検討した。解析では、確認されている地すべり面に相当する想定地すべり面をトンネルと交差させてモデル化し、地すべり土塊に対して計測された岩盤変位

に一致する変位が得られるように体積力を作用させた。その結果、トンネル頂部付近の覆工及びインバート部には引張応力が発生し、トンネル側壁部の覆工には圧縮応力が発生することがわかった。この結果は、現実にトンネル頂部付近の覆工及びインバート部に開口クラックが発生しトンネル側壁部の覆工に圧座クラックが発生していることと調和的であり、それらクラックの分布も解析で得られた応力分布と極めてよく一致することがわかった。このことから、このトンネル覆工の変状原因は地すべりによるものであると判断された。今後、この変状に対する有効な対策工について検討する予定である。

**岩盤不連続面せん断力学特性の
寸法効果に関する研究**

岩盤不連続面（以下、単に不連続面という）のせん断力学特性が寸法依存性を示すことは、多くの研究により明らかになってきている。この時、不連続面の寸法が大きくなってきてもかみ合っている凹凸の寸法が同じであればせん断力学特性に対する表面形状の影響は同じものと考えられることから、不連続面のせん断力学特性の寸法効果は、不連続面そのものの寸法よりも不連続面上のかみ合っている凹凸の寸法に依存するものとするのが妥当である。本研究ではこのことを確かめるため、かみ合わせ寸法を1 mm, 2 mm, 4 mm, 8 mmに調整した28 mm × 28 mmの大きさの岩石不連続面供試体モデルを準備してそのせん断試験を行い、不連続面のせん断力学特性に及ぼす不連続面のかみ合わせ寸法の影響について調べた。その結果、かみ合わせ寸法の増加にしたがってせん断強度が低下すると同時に最大せん断強度が発現するまでの垂直変位量が小さくなる傾向が観察された。これにより、不連続面の寸法でなく不連続面のかみ合わせ寸法がそのせん断力学特性に影響することを定性的に示すことができた。今後、岩石不連続面供試体モデルの寸法を変えて不連続面寸法の影響についても検討する予定である。

**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**

フラクタルモデルを用いてフラクチャー浸透率の3乗則からの乖離を定量的に評価する理論式を示し、フラクチャー内流体流動挙動の可視化実験と数値シミュレーションによりその理論式の検証とフラクチャー内流体流動挙動の詳細な把握を試みた。その結果、提案した理論式の妥当性と流体がフラクチャー内の開口幅の大きい領域を選択して流れることを確認することができた。また、フラクチャー内流体流動挙動に及ぼすフラクチャーの接触状態の影響を数値シミュレーションにより検討した。その結果、接触面積率が大きくなるにしたがって流動のトーチュオシティーが増加する傾向を示し、凹凸の分布によるトーチュオシティーのばらつきも大きくなること、フラクタル次元やかみ合わせ寸法は流動のトーチュオシティーに大きく影響しないことがわかった。

教授 斎藤 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、土木調査への利用に重点を置いて研究を推進している。

波形処理を用いた屈折法データ解析

屈折法に反射法で開発されたデータ処理手法を適用して、手間がかかる初動の読み取りを回避するとともに、波形情報を直接利用して解析精度を向上させることを目的とした。2つの震源からの屈折波のコンポリューション結合と、波動方程式マイグレーション下方接続とを組み合わせ、屈折境界面上に仮想受振器を設置するという概念を取り入れた。数値モデルおよび現場データへ適用した結果、ほぼ正確に屈折境界面を求めることができた。

メタンハイドレート資源探査へのAVO解析の適用

南海トラフにおける調査によって得られた反射法地震探査データに対しAVO (Amplitude Variation with Offset) 解析を適用し、メタンハイドレートおよびフリーガスの存在領域の推定を行った。AVOクロスプロット解析の結果、AVO異常とフリーガスの存在が対応づけられた。また、フリーガスのキャップロック的存在であるメタンハイドレート層を検出できる可能性も示唆された。

波動論を用いた多重反射波の予測と除去

海上の反射法地震探査において、多重反射波の存在は擬似構造の生成や速度解析の精度低下など重大な影響を及ぼす。そこで、取得データが一次反射波と海面に付随した多重反射波との線形結合であるという前提に立って一次反射波をインバージョンによって抽出するSMA (Surface-related Multiple Attenuation) 法を用いた多重反射波の除去について検討した。実データにSMA法を適用し、高い精度で多重反射波を予測することができた。

水平超多層構造に対する高速波線追跡法とインバージョン解析

水平超多層構造に対し地下の物性値から高速に合成記録を得る手法として、震源からの射出角によって定まるレイ・パラメータに着目してP波の波線追跡を行い、スプライン補間法を用いてレイパラメータと深度の関数である反射波振幅をオフセット距離と往復走時の関数に変換する方法を開発した。この高速波線追跡法を大域的最適解を求めるSimulated Annealing法による逆解析に導入して、重合前の反射法地震探査記録から地下物性値を推定する逆解析技術を開発した。

周波数領域フルウェーブ・インバージョン

周波数領域フルウェーブ・インバージョンを単振動震源を用いて取得した孔間データに適用することにより計算精度の向上を図った。数値実験と実験データの解析を

行い、震源での初期位相の推定により背景部分の偽像の影響を低減することができるなど、この手法の有効性が明らかになった。スイープ波や連続波を用いた探査手法の新たな進展が期待できる。

海洋電磁気法によるプレート沈み込み帯の電気伝導度構造解析

海洋では、極めて低比抵抗の媒質である海水によって電磁波が減衰するため、従来電磁気探査法の適用が困難であった。本研究では、近年開発された高精度の海底電磁気計 (OBEM) 装置を用いて、福島沖の日本海溝域で取得された自然電磁気データの2次元MT法インバージョンを行い、この海域の地殻深部比抵抗構造を求めた。その結果、比抵抗構造は同一測線上で行われた反射法地震探査のP波速度構造とよい対応が見られた。今後、沈み込み帯の比抵抗構造と地震活動との対応などについて検討を進める。

オイルサンドSAGD法の地表面変形モニタリングの基礎実験

SAGD (Steam assisted Gravity Drainage) 法はオイルサンド貯留層に対して上下2本の水平井を使い、蒸気を注入して原油を回収する手法である。蒸気注入の有効範囲をモニタリングするために、熱膨張によって生じる地表変形を計測する方法について基礎実験を行った。ガラスビーズを用いた模擬地盤を内部から加熱し、温度分布とともにレーザー変位計によって表面形状の変化を計測した。本実験で得られたデータと熱膨張の理論とを比較しよい一致を得た。

石油探鉱における地理情報システムの適用

石油有望地域を選出に際して、データ処理の効率化と評価の客観性の向上を目的として、空間データの処理・解析が容易に行える地理情報システム (GIS) の適用性を検討した。GISの利用により各種図面類を統一された座標系でデータベースとして蓄積することができ、また、各種データの重ね合わせや演算処理を行うことができる。北海道の石狩平野を例題として、この地域における探鉱ポテンシャル評価を行い、有望地を客観的に可視化し埋蔵量の評価を行うことができた。

個別要素法による地表面変形のシミュレーション

破壊や大変形を扱うことに適している数値シミュレーション手法の一つである個別要素法を用いて、インド亜大陸とユーラシア大陸の衝突を再現することを試みた。この衝突とそれに伴う地質構造変化に関してはTapponnierやDavy and Cobboldによるモデル実験が有名である。個別要素法のシミュレーション結果は実験結果と多くの類似点があり、実際の地形をよく説明することがわかった。

教授 芦田 讓
助教授 菅野 強
助手 渡辺 俊樹

計測評価工学分野

吊橋ハンガーロープの腐食劣化連続測定装置の開発

架橋後数十年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が問題となってきた。当研究室では、本四架橋などの現場における実用化試験を通じて、このハンガーロープの腐食の程度を定量的に評価できる磁気検査システムの開発・改良を進めている。昨年度までに、ハンガーロープ全長の特定位置における鋼実質断面積（逆にいえば、腐食による断面積損失量）を計量する方法を開発し、検査装置の製作を行った。なお、全磁束法と呼んでいるこの検査法は、ロープを長手方向に強く磁化したときにロープ内に誘起されている磁束の絶対量をもって、その鋼断面積を求める方法である。本年度は、これをハンガーロープ全長にわたって連続的に計測できるものに改良するとともに、素線断線などの局所的な損傷を検知できる、いわゆる漏洩磁束探傷の機能をこれに付与した総合的な磁気検査システムとして、新たな実機開発を行った。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、開発した装置による全長検査を実施したところ、開発したシステムが十分な実用性をもつものであることが確認されるとともに、ハンガーロープの腐食が、全長にわたって様なものではなく、軽微ながらも他の部分より腐食程度が大きい部分がいくつか偏在するものであることが明らかとなった。

ヒステリシス磁化特性を考慮した漏洩磁束探傷のシミュレーション

近年、鋼などの強磁性材料を含む電磁場解析では、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うシミュレーション手法の開発に努力が傾注されている。鋼材に対する非破壊検査法の一つである直流磁界漏洩磁束探傷においても、欠陥の定量評価のためには、欠陥まわりの漏洩磁場を精度よく再現できるシミュレーション技法の確立が重要となっている。本研究室では、昨年度より、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について検討している。ある要素の磁化状態は、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から、その要素の磁化特性を通じて決定されるが、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、ヒステリシス環線の現時点における傾きから決定できるとする考えののっとったもので、各要素の磁化の非線形な変化を繰返し計算によって逐次的に追跡していく方法である。なお、本手法では、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て、実際の磁化特性を精度よく表現できるようにしている。簡単な欠陥モデルを対象としたシミュレーションの結果、この手法が、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。

電気ポテンシャル法による欠陥イメージングのための逆投影法

電気ポテンシャル法による材料内部の欠陥イメージングに関して、2次元円形領域を対象とした近似的な逆投影法について検討した。材料表面において任意の2点間に通電を行ったときの電位分布の計測値から、材料中に含まれる欠陥の位置や大きさをもとめる問題は、いわゆる非線形逆問題である。したがって、欠陥形状などのパラメータ推定においては、適当な初期値から始めてこれを逐次的に更新していく、繰返し最適化の手順をとることとなる。しかし、その収束値として得られる最適解は、一般に初期値に依存するものであることから、より合理的な初期推定解の選択が重要となっている。本研究で提案した逆投影法は、経路が直線ではない電気ポテンシャル法においても、X線CTと同じような逆投影を実現する方法であるといえるが、また、この非線形な電気ポテンシャル法逆問題に対して、より合理的な初期推定解を提供するものも位置付けられる。具体的には、均質円形領域内の電流・電位分布を複素関数で表現し、それからの摂動場として、欠陥などの導電率異常と表面電位の関係を定式化するものであり、表面上の電位変化を均質場での電流経路にしたがって、対象内部の導電率変化として逆投影するものである。

ロープウェイにおける搬器と索条の連成振動解析

運転速度の上昇や搬器の大型化に対する要望が増すにつれて、今日のロープウェイ設計においては、従来の静的な力学計算に基づいた安全設計だけでは十分でなく、動的な挙動をも考慮した検討が必要となってきた。このことをふまえ、当研究室では、ロープウェイ運行時の搬器や索条の動的挙動を予測できる力学モデルの開発に取り組んでいる。昨年度までに、線路上に存在する支柱を通過する際の搬器の揺れを予測するモデルを提案し、それによって実測結果がうまく説明できることを確認するとともに、支柱通過時の搬器揺動の特異なふるまいが、揺れを抑制するために設けられている減衰器の存在によって、逆に引き起こされていることを明らかにした。しかし、支索軌道という曲線経路上を加速度運動する単振り子系として表現したこの搬器モデルでは、とくに駆動装置から遠い地点における搬器の大きな揺れを十分には説明できない。そこで本年度は、単振り子とする搬器をばね質点系で表した曳索と連結させた連成振動系として取り扱うモデルを提案した。駆動力が長い曳索を媒体として伝達されることが、加速減速時の搬器の揺れに大きく寄与していることが、このモデルによって確認された。

教授 花崎 紘一
助教授 塚田 和彦

資源エネルギーシステム学分野

低温・高圧顕微鏡によるメタンハイドレートの生成・分解挙動の観察と評価

メタンハイドレートは低温高圧の条件下で安定であり、大陸縁辺域の海底下あるいは永久凍土層中に大量に賦存しているものと推定されている。回収・生産システムを構築するには、生成・分解挙動を詳細に検討することが必要である。そこで、低温高圧セルを装着した偏光顕微鏡を用いてメタンハイドレートの生成・分解過程を直接観察し、動的な挙動を検討した。その結果、メタンハイドレートは、条件により生成する結晶の形状が大きく異なることが明らかとなった。このことは、ハイドレートを構成するクラスター構造の形成機構と密接な関連があると思われる。また、分解過程では、平衡温度を過ぎてもしばらくは固気液三相が共存することが確認され、メタンハイドレートの分解には複雑な相転移現象が存在していると推測された。さらに、塩化ナトリウム水溶液条件下でメタンハイドレートを分解したところ、純水よりも1~2K分解温度が低くなることが確認された。このことから、海表面付近よりも低温の海水を利用して効率的にメタンガスが得られるものと推測され、より現実的な回収システムの構築につながるものと考えられる。

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

環境破壊には種々の原因があるが、酸性排水の流出や、それらに含まれる有害物質による事例が数多く報告されている。そこで、本研究室では、有害物質が溶出する危険性のある粒子表面を化学的に安定なシリカでコーティングすることによって、恒久的に溶出を防止する方法を提案、検討している。コーティング材には、安価で埋蔵量が豊富な珪藻土を溶解させた非晶質シリカを用いている。よく知られているように、非晶質シリカの溶解度はpHにより大きく異なり、強アルカリ性領域で溶解度は大きい。pHを漸次減少させると、溶解度は急激に減少し、多量のシリカが沈殿する。この現象を用いて、旧松尾鉱山の廃石試料をコーティングした。その結果、弱アルカリ性領域においてシリカ溶液を攪拌させると、試料の表面全体にシリカコーティングが施されることが明らかとなった。つぎに、コーティング処理をした試料について溶出試験を行ったところ、未処理の試料ではFe、Asがそれぞれ約280 ppm、約6 ppm溶出していたのに対して、pH 9あるいは11のシリカ溶液を用いてコーティングした試料では、いずれも溶出量が10 ppm以下、0.1 ppm以下となり、環境基準値を下回り、この手法が有害物質流出防止にきわめて有効であることが判明した。

50年後の銅の需給予測

人類の生活は物質面で豊かになり、それにもよって

さまざまな資源・エネルギーを大量に消費するようになってきた。とくに1950年代以降の資源・エネルギーの世界需要の増加は著しく、それら資源・エネルギーを獲得するための資源開発は、休むことなく拡大し続けている。将来の供給を地球規模で考えるとき、安定供給が不安な資源・エネルギーが存在する。また、資源産業規模の拡大にともない、リードタイムが長くなり、需要についての長期見通しはますます重要性を増している。

地質学的観点から見ると、十分な供給量が確保できると考えられる資源が存在するが、近い将来に枯渇が懸念される資源も存在する。なかでも、銅、亜鉛、鉛の供給問題は深刻である。鉄や化石エネルギーと異なり古くから使われており、幅広い用途をもち、今後とも必要不可欠な金属資源である。1999年現在の耐用年数は銅が27年、亜鉛が23年、鉛が21年と短い。そこで、当研究室では、銅をとりあげ、50年後の需給銅を研究している。すなわち、最終消費部門の動向から考えた銅の需要と地質学的観点から考えられる供給の長期的な予測である。

現在、銅の最終需要は、主に電力、通信、建築、電気機械、自動車でしめられるが、生活水準の向上、科学技術の発展などから、アジア地域を中心に需要の増加が続くものと考えざるをえない。一方、供給源となっている鉱床は、主に斑岩銅鉱床であり、現在、鉱石となりうる最低品位は0.3%程度であるが、今後、科学技術の発展により、0.1%品位の鉱石までが採掘可能となり、坑内掘り技術がさらに進歩すると仮定しても、急増しつづける需要を長期にわたり満たすことは難しい状況にあるとの結論に至りつつある。

三軸圧縮試験によって形成される花崗岩中のマイクロクラック分布

ますます期待される地下空間の利用において、岩石の破壊機構を解明することは重要な課題である。そこで、稲田花崗岩の三軸圧縮試験において発生するマイクロクラックを、蛍光法を用いて可視化し、画像処理により粒界クラック、粒内クラック、粒間クラックに分類して、それらの挙動を8つの特徴的な破壊段階において観察し、破壊機構について考察した。その結果、マイクロクラックは、弾性限界内の初期段階においては粒内クラックあるいは粒界クラックが増大しており、粒間クラックはほとんど変化しないことが分かった。強度破壊点を越えると、逆に粒間クラックが急激に成長し、粒内クラックおよび粒界クラックには目立った変化はないことが明らかとなった。したがって、岩石の破壊にもっとも直接的にかかわりあいをもつクラックは粒間クラック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

Mg-9Li-1Y 合金薄板の引張特性およびプレス成形性

マグネシウムは、リサイクル可能な軽量材料として期待が高まっているが、結晶構造が最密六方 (hcp) であり、室温では底面すべりしか生じないため、塑性加工性に著しく劣る。しかし、リチウムを添加することにより、hcp 構造の α 相中に加工性の良い体心立方 (bcc) 構造の β 相が出現することは古くから知られている。リチウムはマグネシウムよりさらに軽量であるため、Mg-Li 合金は室温で塑性加工可能な超軽量材料としての期待が高い。

本研究では、実験的に製作された Mg-9Li-1Y 合金薄板の室温における引張特性および基本的なプレス成形性を調べた結果、以下のような知見が得られた。

- (1) 引張試験における伸びは、比較的遅い初期ひずみ速度 $8.3 \times 10^{-3} \text{ s}^{-1}$ では 3 方向の平均で 50% を超えるが、ひずみ速度の増加とともに低下する。また、室温にもかかわらず応力にも顕著なひずみ速度依存性があり、ひずみ速度とともに応力は増加し、加工硬化の割合も大きくなる。
- (2) 延性が支配的な張出しにおいては、成形限界を上げるためには加工速度を遅くする必要があるが、深絞りにおいてはむしろ加工速度を速くして加工硬化するようにしたほうが限界絞り比は上昇する。
- (3) エリクセン値、限界絞り比および穴広げ率は、それぞれの最高値として 9 mm、2.15 および 80% に達しており、この板材は室温において十分な成形性を有する。(吉田哲幸, 現, 日本 IBM)

AZ31 マグネシウム合金板の温間加工後の引張特性

マグネシウムの塑性加工性を向上させるもう一つの方法は、非底面すべりの臨界せん断応力が温度上昇とともに顕著に低下するのを利用して、すべり系の多くなる高温で塑性加工することである。この場合には AZ31 のような汎用圧延板を使用することができる。

本研究では、汎用マグネシウム合金板 AZ31B-O 材の温間加工後の室温における機械的性質を、予め 150、200 および 250°C で引張変形を与えた試料を引張試験することにより調べた。本実験での変形量、変形速度、変形方向などは限られた範囲のものではあるが、温間加工での温度および変形量が加工後の引張特性に及ぼす影響を明らかにした。

250°C では温間加工前後の引張特性値の変化は小さい。これは、マイクロ組織観察で確かめられた再結晶の発生によるものと考えられる。一方、温度の低下とともに再結晶は生じにくくなるので、温間で与えた変形量とともに加工後の変形抵抗は上昇する。ただし、150°C で加工した場合でも、延性の低下は比較的小さいことがわか

った。

また、温間で種々のひずみ速度での引張試験を行うことにより、温間での引張特性を数値化した。(井上大輔)

水ジェットと固体平板の衝突によって形成される水膜流の流れ場と熱伝達の数値解析

液体冷媒を加圧してノズルから噴出させ、それを高温固体面に衝突させることで、固体表面を冷却する技術は、比較的高い熱伝達量が得られるため、様々な材料製造プロセスで利用されている。液体の噴出速度が比較的小さい場合は、噴流は破断することなく固体面に衝突し、固体面には薄い水膜流が形成される。このような冷却法の熱伝達特性を有限差分法に基づく数値解析によって理論的に研究した。

薄い膜状の水流が固体面に衝突する場合と、棒状の水流が固体面に垂直に衝突する場合の 2 種類の流れ場および温度場を取り扱った。前者の解析には 2 次元デカルト座標系を、後者には軸対称座標系を採用し、水膜流を非定常非圧縮性粘性流体とみなして連続方程式、各座標軸方向の運動量方程式、エネルギー方程式からなる支配方程式系を与えた。それには、液体の粘性、表面張力、重力、固体面と液体の濡れ性、液体の物性値の温度依存性、そして乱流の効果を考慮した。また、固体内部の温度解析には、発熱を考慮した非定常熱伝導方程式を使用した。これら固体と液体の方程式は、固液界面の温度境界条件によってカップリングされた。

2 次元流の場合、次のような流れ場および温度場の構造が解析的に明らかになった。固体面に沿って流れる水膜の厚さは、衝突する水流の厚さの半分である。水膜厚さは衝突点から離れるにつれて、粘性や壁面摩擦により若干増加する。速度および温度境界層は、衝突点で最も薄く、壁面下流方向に向かって厚くなる。衝突点における境界層厚さは、慣性と粘性力の比で定義されるレイノルズ数によって変化し、レイノルズ数が大きいほど、境界層厚さが小さくなる。

軸対称流れの場合、水膜流れは放射状に広がるため、液膜厚さは 2 次元流に比べて非常に薄い。また、液膜内流れは固体壁との摩擦によって徐々に減速され、その結果、ある点より下流では液膜厚さは増加に転じる。速度および温度境界層は、半径方向に広がるにしたがって厚くなり、やがて水膜の厚さ方向の全ての領域が境界層になる。また、軸対称流れは、2 次元流に比べて乱流の影響が少ない。これは、液膜が非常に薄くなることで、流れの層流化が行なわれるためであると考えられる。

なお、数値解析結果の妥当性を検証するため、他の研究者によって報告されている幾つかの実験データと比較したところ、両者は良好に対応した。

(谷口武史, 現, 日本 IBM)

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」、「地球にやさしい」資源エネルギープロセスとリサイクリング」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、気泡と微粒子の衝突を流体力学的に理論解析を行っている。

2. 光触媒反応を利用した環境浄化技術に関する基礎的研究

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。

3. リサイクル要素技術

浮選法によるサブミクロン微粒子の濃縮、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。更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相流と融体間の熱及び物質移動速度に及ぼす粒子濡れ性の影響も研究中である。

4. 非平衡エネルギー材料プロセス（地上実験）

太陽電池発電や電気自動車の普及をめぐる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の研究を行っている。本研究は次項の地上実験としての側面を併せ持っている。

5. 宇宙ステーションでの非平衡電気化学プロセス

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

希土類イオン個体レーザー材料における
4f-5d遷移の第一原理計算 (藤村幸司)

現在、希土類イオンにおける4f-5d遷移が、新規紫外固体レーザー材料として期待されている。レーザー材料の開発において、吸収・発光のメカニズムとなるエネルギー構造を理解する必要がある。実用化されている固体レーザー材料の4f-4f遷移、3d-3d遷移のスペクトル解析に関しては、結晶場理論や配位子場理論に基づいた、経験的パラメーターを用いた手法が成果を上げてきた。しかし、4f-5d遷移に関しては母体結晶の影響、相対論効果などが大きいので、パラメーターの決定が困難でそのスペクトル構造は全く未解明である。よって新規紫外固体レーザー材料の探索における方向性が定まっていないのが現状である。

本研究ではこの現状を打開するため、第一原理分子軌道法である相対論DV-Xa法、第一原理多電子系電子状態計算法である相対論DV-ME法を用いて、希土類イオンにおける4f-5d遷移のスペクトル構造を解明することを目的とした。対象物質には希土類イオンとして、 Ce^{3+} 、 Pr^{3+} 、 Nd^{3+} 、母体結晶として $LiYF_4$ を選んだ。

得られた理論スペクトルは、相対的なピーク位置、ピーク強度、偏光依存性などに関して実験スペクトルを再現した。また波動関数の解析によって各ピークの起源を明らかにすることができた。さらに Ce^{3+} 、 Pr^{3+} 、 Nd^{3+} の違いや希土類イオンと配位子との結合距離の違いが、スペクトルへ与える影響についても解析を行った。

Liイオン伝導体におけるLiの移動エネルギーの
第一原理計算 (山田康博)

Liイオン伝導についての基礎的知見を得ることを目的として、簡単な構造の化合物について空孔機構を利用したLiイオン移動エネルギーを平面波基底第一原理擬ポテンシャル法を用いて評価した。移動エネルギーは、Liイオンが移動する前の状態と、移動中で最もエネルギーが高くなる状態のスーパーセルの全エネルギー差から求めた。Liイオンの移動経路としては、それぞれの結晶について、Liイオンが空孔サイトに直線的に移動する経路である“direct jump”と、付近の陰イオン間空隙を経由する経路である“indirect jump”とを考えた。さらに、実用的な化合物として硫化物 LISICON 結晶についてもLiイオン伝導機構を明らかにすることを試みた。

Li_3N 、 Li_2O 、 LiF について計算によって求めた移動

エネルギーは概ね実験値と一致した。またカルコゲン化物 Li_2X ($X=O, S, Se, Te$) とハロゲン化物 LiX ($X=F, Cl, Br, I$) についてのindirect jumpにおける移動エネルギーの傾向から、結晶中における陰イオンのイオン性が移動エネルギーに大きな影響をもつと考えられる。しかしdirect jumpでの傾向はindirect jumpとは異なり、このことを説明するためには他の因子も考える必要がある。

また岩塩型 LiF と閃亜鉛鉱型 LiF との移動エネルギーを比較したところ閃亜鉛鉱型では移動エネルギーが著しく小さくなった。このことから陰イオンの種類だけでなく結晶構造や原子密度がLiイオンの移動エネルギーに大きく影響するといえる。

硫化物 LISICON 結晶 $Li_{1-x}Ge_{1-x}P_xS_4$ について、単一空孔生成時にLi(B)サイト空孔を利用した拡散ではSの四面体位置であるCサイトを経由するindirect jumpが最も支配的であることがわかった。また、複空孔生成時ではLi(B)サイトとLi(D)サイトに空孔を導入したセルで移動エネルギーがかなり小さくなった。このことからLiイオン空孔の相互作用により移動エネルギーが低下すると考えられる。またLi(D)サイト空孔が生成する原因としてPによる何らかの影響が考えられる。

教授 足立 裕彦
助教授 田中 功
助教授 西谷 滋人

表面処理工学分野

電析法を用いる CdTe 化合物半導体薄膜作製と その評価

シリコン半導体を凌ぐ高効率太陽電池材料として、化合物半導体薄膜が有望視されている。特に禁制帯幅 1.45 eV の CdTe 化合物半導体は、太陽光から電気エネルギーへの変換効率が理論上最も高いことが知られており、化学浴析出法による CdS 薄膜と電析法による CdTe 薄膜を積層させた pn 接合太陽電池として実用化されている。CdTe 電析には硫酸酸性水溶液が歴史的に使用されている一方、当研究室ではテルル化学種の溶解度が高い塩基性水溶液からの電析プロセスを他に先駆けて独自に開発した。現在、CdTe 電析を可視光照射によって加速するフォトアシスト電析法、キャリア濃度を高め薄膜の低抵抗化をはかるための電気化学ドーピングおよび熱処理に関し研究を行っている。また、化学析出法もしくは電析法によって透明導電性基板に成膜した CdS 薄膜に、CdTe を積層させた pn 接合太陽電池の試作と特性評価、基板に依存する CdS 薄膜モルフォロジーの解析研究も進行中である。

ジメチルスルホン浴を用いるアルミニウム複合電析

水溶液から電析することのできないアルミニウムの電析は、従来、トルエンなどの有機溶媒、NaCl-KCl などの溶融塩を用いて行われてきた。有機溶媒には毒性や引火性など取り扱いの困難さ、溶融塩には平滑な純アルミ皮膜を得ることの困難さなどの問題がある。当研究室で採用したジメチルスルホン浴は有機溶媒でありながら毒性、引火性が低く、また、平滑な純アルミニウム皮膜得ることも可能である。さらに、水溶液からは分散性良く共析させることが困難なナノサイズの親水性微粒子も、分散性良く共析させることができるという特徴も有する。ジメチルスルホン浴はアルミニウム以外の金属・合金電析への適用も可能であり、多様な分散粒子との組み合わせることにより、新しい機能性薄膜創製プロセスやマイクロマシン技術など応用範囲も広く、現在、多角的な応用研究を進めている。

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「活性化処理」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、その表面での光触媒反応による金属析出を組み合わせた新しい活性化法の構築

を試み、これまでに無電解めっきの始動が可能であることを確認した。現在、ABS 基板の前処理法に関する詳細な検討を行う。

誘起共析型 Ni-Mo 合金めっき浴の半経験的設計と その応用

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。その結果として、工業的なめっき浴は様々な化学種を含有する複雑な溶液となり、その中で電析挙動に本質的に影響をおよぼしている化学種が何かを特定することは困難なのが実情であるが、こういった知見は電析メカニズムの学術的考察には不可欠である。Ni-Mo 合金めっきは硬質クロムめっきの代替として重要な表面処理皮膜であるが、当研究室では誘起共析挙動を示すこの合金めっきプロセスを取り上げ、各種光学スペクトルの多変量解析法から得ためっき浴中の化学種の変化と、電析挙動を関連づけて考察してきた。その結果、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。この情報をもとに、新たな Ni-Mo 合金電析浴を半経験的に設計する試みを行ったところ、電解浴中で上記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。本年度はこの応用研究として、Ni-Mo 合金皮膜と光触媒 TiO₂ の複合化（分散めっき）に関する研究に着手している。

新しいイミド系室温融塩からの金属電析に 関する研究

グリーンケミストリーを指向する新しい不揮発性溶媒として、室温融融塩に代表されるイオン性液体が注目されている。イオン性液体は一般に金属塩の溶解度が高く、また、そのいくつかは耐還元性や耐酸化性に優れ、広い電位窓をもつことから、水溶液から電析できない著しく「卑な」金属の電析溶媒として有望である。当研究室では 4 級アンモニウム陽イオンと含フッ素イミド型陰イオンを組み合わせた、5 ボルト以上の電位窓をもつ疎水性のイオン性液体を用い、還元電位の非常に低い「卑な」金属およびその合金の電析に関する基礎研究を行っている。その結果、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が明らかとなっており、現在、マグネシウムを含有する合金電析を鋭意探索中である。また、アルミニウムや希土類元素を含む合金電析に関する研究にも着手しつつある。

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

Ag添加Sn-Bi共晶はんだ/
Cu界面におけるAgの偏析

近年、深刻化する酸性雨によって廃棄された電化製品の基盤からはんだに含まれる鉛が溶出し、地下水系を汚染することが問題となっている。そのため鉛を用いない鉛フリーはんだの規格化が強く望まれている。鉛フリーはんだの候補として一つとしてSn-Bi系はんだが挙げられる。Sn-Biはんだは融点が低いためコスト面で有利であるが、濡れ性が悪く機械的性質も劣っている。Sn-BiはんだにAgを添加すると機械的性質が若干改善され、Cu基盤に対する濡れ性も向上する。本研究では、Sn-Bi共晶はんだにAgを添加したはんだとCu基盤との界面におけるAgの偏析現象について調べ、濡れ性の向上との関連性についても検討した。得られた結果をまとめると次のようになる。

- ・共晶Sn-Biはんだ、Sn-Bi-2%AgはんだにCuを浸漬すると徐々に溶解する。Fe、Niは溶出しないか、あるいは溶出速度が著しく遅い。
- ・Cu界面近傍にAgが析出するにはCu母材の表面が十分に加熱されている必要がある。Cuがはんだ中に溶出してCu-Sn化合物を生成する。Cu-Sn化合物の生成は浸漬中ではなく、冷却過程の初期であると考えられる。
- ・Cu-Sn化合物の近傍に生成したAg析出物は空冷程度の冷却速度で粗大化する。
- ・Cu界面近傍にAgが偏析する現象は以下の過程で進行すると考えられる。

Cuと溶融はんだが接触する→Cu表面が加熱されてはんだ中に溶出し、母材の周囲にSn-Bi-Ag-Cu溶体の環境をつくる→Cu母材が引き上げられて冷却するとCu界面付近でCu-Sn化合物が生成し、はんだのSnが消費される→残されたBi、Agは固溶しないため融点の高いAgが先に析出する→空冷でAg析出物が粗大化する。

X線表面進行波に関する研究

X線を試料表面すれすれの角度で照射したとき、反射光や屈折光は試料表面にほぼ平行に存在する。これらの反射光や屈折光を用いて表面を分析する方法をX線表面進行波法と称する。この手法を用いて、コンピューターの記憶媒体に代表されるような多層膜の界面の粗さ、膜厚、面密度などを非破壊かつ迅速に解析することを目的とする。白色X線を試料表面に低角度で照射し、等角反射角度における反射率のエネルギースペクトルを測定

し、理論計算と同じ結果が得られた。また入射角度が非常に小さな場合には多層膜の表面近傍の情報だけを反映する結果が得られた。等角反射角度とずれた反射率の角度依存性を調べたところ、等角反射角度にのみ反射光が存在するのではなく、ずれた位置にも同じようなエネルギーを持つ反射光の存在することがわかった。また反射光のエネルギースペクトル現れるピークが2つに分裂することがあった。試料表面の粗さを反映していると考えられている米田ウイングとの関連を示す結果も得られているが、その詳細は今のところ明確ではない。白色X線を照射し、X線強度の入射角依存性に関する実験を行ったところ、対称性を有する強度プロファイルが得られた。試料ホルダーの端で散乱されたX線の影響と思われる原因で再現性はよくないが、試料表面に関する情報を含んでいる可能性がある。

エネルギー分散型蛍光X線分析による
環境試料分析のための基礎検討

市販のエネルギー分散型蛍光X線分析装置を用いて、標準試料を用いないFP法で金属イオンを含有する水溶液を分析し、ピーク検出能力と定量分析値を検討した結果、次のことが明らかになった。ピーク検出は、Znでは60 ppm以上で常に自動的にピーク検出ができる。Cd Ka線のようにピーク付近に強いRh Kbのピークがある場合は、1000 ppmでもピーク検出を誤ることがあるので注意が必要である。分析元素が決まっておれば、元素に合った一次フィルターを用いることでピーク検出能力は向上する。定量検出値は、1000 ppm Fe、Cu、Zn溶液では液体用容器に入れて分析し、誤差は6%以内であった。Cd、Pdでは実際の値の半分程度の分析値となる。100 ppm以下の濃度では、低濃度溶液ほど実際より高い分析値が得られる傾向がある。共存元素の濃度が1000 ppm程度以下では、100 ppm程度の濃度の分析では共存元素の影響はない。

教授 河合 潤
助教授 田邊 晃生
助手 永園 充

マイクロ材料学分野

p型GaNに対するTa/Tiコンタクト材の 接触抵抗低下機構の解明

GaN半導体青色レーザーダイオードの高性能化・信頼性向上には、p型GaNに対する低抵抗オーミック・コンタクト材の開発が必要不可欠である。当研究室ではこれまでに、真空中で800℃の熱処理を施したTa/Tiコンタクト材において接触抵抗が著しく低下することを見出している。本年度は、同コンタクト材実用化の課題である室温保持中の抵抗上昇（室温劣化）機構解明のため、真空中の高温熱処理がGaN基板に及ぼす影響に着目して実験を行った。無ドーパGaN基板にTa/Tiコンタクト材を成膜し真空中800℃の熱処理を施したところ、ドーパしたp型GaN基板と同様にオーム性が得られ、室温劣化も測定された。ホール測定により、基板へのドーピングの有無に関わらず、真空中800℃熱処理後のGaN表面近傍にはn型伝導層が形成されることが明らかとなった。これらの結果は、Ta/Tiコンタクト材における接触抵抗低下は、真空中800℃熱処理により高い窒素解離圧をもつGaN基板が解離し、導入された窒素空孔がドナーとして働くことにより基板表面近傍にn型層が形成されたことに起因していると考えられる。また室温劣化は、室温で過飽和になった窒素空孔の消滅によるキャリア数の減少から説明される。本研究結果は、p型GaNに対するコンタクト材開発においてはコンタクト形成熱処理時の雰囲気制御および低温化が極めて重要であることを示唆している。

p型4H-SiCに対するNi/Al系 低抵抗コンタクト材の開発

SiCは高熱伝導・高絶縁破壊電界など優れた特性から、次世代のハイパワー・高周波デバイスへの応用に期待されている。p型SiCに対するコンタクト材の開発はデバイス実用化に向けて急務であり、低接触抵抗化（ $< 1 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$ ）およびコンタクト形成温度低減（ $< 800^\circ\text{C}$ ）が課題である。本研究では、SiCと比較的低温で反応（500℃）するNiおよびドーパントであるAlに着目し、二種類のNi/Al系（Ni/AlおよびNi/Ti/Al）に対して800℃の熱処理によるオーミック・コンタクト材の形成を試みた。熱処理によりNi/AlとNi/Ti/Alはオーム性を示し、800℃熱処理後の接触抵抗値はそれぞれ 5×10^{-3} と $6.6 \times 10^{-5} \Omega \cdot \text{cm}^2$ であった。X線回折によりSiC基板に対するNi/Al及びNi/Ti/Alの界面反応生成物の同定を行った結果、低接触抵抗が得られたNi/Ti/Alコンタクト材にのみ Ti_3SiC_2 の形成が確認された。これは界面反応による Ti_3SiC_2 の形成が接触抵抗低下と密接な関係にあることを示している。本研究結果は、Ti/Alコンタクト材への第三元素添加による接触抵抗低減および更なるプロセス低温化の実現可能性を示唆している。

配線抵抗値からみたCu配線材の「限界」予測

Si-ULSIデバイスの高性能化・高集積化に伴い、従来のAl合金配線材に替わり、より低抵抗なCu配線材への移行が進められている。しかし、微細化が進み配線幅が $0.10 \mu\text{m}$ 以下になると、配線幅がCuの伝導電子の平均自由行程と同程度になるため、従来問題とならなかった表面（界面）や粒界等における電子散乱による抵抗率増加が顕著になると予想される。本研究では、微細化に伴うCu配線の抵抗率増加を実験的に求めたパラメータを用いて予測し、Cu配線の「限界」抵抗率および抵抗増加抑制手法を議論した。種々の膜厚のAlおよびCu薄膜の抵抗率と結晶粒径分布を測定し、Mayadas-Shatzkes (MS) 理論に基づいて抵抗率増加因子を検討したところ、Cu膜はAl膜に比べ粒界での電子散乱効果が顕著であることが明らかとなった。これはCu配線の抵抗率増加を抑制するためには、配線材の平均結晶粒径の増大が不可欠であることを示している。MSモデルを用いた配線抵抗値の予測から、粒径増大の目標値は配線幅の10倍程度の“準”単結晶配線であり、これにより幅100 nmの配線でも約 $2.1 \mu\Omega \cdot \text{cm}$ の抵抗率を実現できることが明らかとなった。

Cu配線材におけるボイド形成機構の解明

次世代Si-ULSIデバイス開発では、配線微細化に伴う配線信頼性の低下が大きな問題となっている。Cu配線材では、従来のAl配線材には見られなかった様々なボイド（空隙）が形成されることが報告されており、信頼性の著しい低下が懸念される。高信頼性Cu配線材の実現には、ボイド形成機構の理解およびボイド抑制法の確立が不可欠であるが、従来の「配線に生じる応力に起因したボイド形成モデル（ストレスマイグレーション：SMモデル）」のみでは、Cu配線中におけるボイド形成挙動の全てを説明することは困難である。本研究では、薄膜中の“微量不純物”とボイド形成の関連性に着目し、従来とは異なる視点からCu配線中のボイド形成機構を検討した。基板上にスパッタリング法によりCu/CuOx/Cu積層膜を成膜し、不活性Arガスおよび水素を含む還元雰囲気中で熱処理を施した試料の微細構造解析を行ったところ、還元雰囲気中における熱処理を施した場合のみCuOx層の消失およびボイド形成が観察された。同ボイドは、バルクCu材における水素脆性挙動と類似の機構により膜中の酸素が還元されて形成された H_2O バブルであると考えられる。また、CuOx層が自然酸化膜程度の極薄膜であっても、還元雰囲気の熱処理により数十nm径のボイド形成に至ることがTEM観察より明らかとなった。本実験結果から、Cu配線における特異なボイド形成の原因が、製造プロセス中に配線材に混入する不純物および還元雰囲気における熱処理に起因していることが示唆される。

教授 村上 正紀
助手 守山 実希
助手 着本 享

量子材料学

MnAs_{1-x}Sb_xの巨大磁気熱量効果

最近、磁気冷凍が脚光を浴びている。磁気冷凍とは磁性体の磁気熱量効果を利用した冷凍技術であって、環境にやさしく、省エネルギーの冷凍法である。アメリカではすでに室温で作動する磁気冷凍庫が発表され、EV車のエアコンへの導入も検討されている。さらにクリーンエネルギーデバイスとしての水素を液化する技術としても着目されている。磁気冷凍を実現するには大きな磁気熱量効果を示す物質の開発が不可欠である。われわれは一次の相転移物質が大きな磁気熱量効果を示す可能性を指摘してきたが、その結果MnAs_{1-x}Sb_xが室温付近で非常に大きな磁気熱量効果を示すことを見出した。MnAsは317 Kで強磁性から常磁性に一次転移するが、5 Tの磁場によるエントロピー変化は35 J/K kgもあり、これはそれまで最高であるといわれていたGd₂Si₂Ge₂のそれをほぼ2倍上回っている。また、AsをSbで置換した系の磁気熱量効果を調べたところ、この系ではx=0.3まで大きな磁気熱量効果を保ったまま、キュリー温度を240 K~317 Kの間でコントロールできることが明らかになった。この結果は2001年10月23日の日刊工業新聞にも取り上げられている。現在この系の磁気冷凍能力の評価や組成のずれが磁気熱量効果に及ぼす影響の研究

をおこなっている。

RMn₂Ge₂ (R = Gd, Tb, Dy)の磁場誘起相転移

表題の化合物はRとMnが磁気モーメントを持ち、それらの交換相互作用の競合によってさまざまな磁気転移を起こす。たとえばGdMn₂Ge₂では、365 KでMnモーメントが反強磁性にオーダーし、さらに低温の95 KでGdのモーメントが配列するが、このときMnモーメントとGdモーメントは互いに反平行に向いてフェリ磁性が出現する。また低温でフェリ磁性状態に磁場をかけると別の磁気相へ転移するがこの構造はよくわかっていなかった。われわれは単結晶を用いてこの磁場による磁気転移を詳しく調べた。その結果、高磁場相は低温ではキャント構造をもっているが、高温になるにつれてGdモーメントの寄与が小さくなり、95 K付近の高磁場相は反強磁性相と本質的に同じであることがあきらかになった。95 K付近では磁場を磁化困難方向にかけた場合のみ磁場誘起相転移が生じるが、これはフェリ磁性から反強磁性の転移であると考えられる。実際、この系の磁気抵抗は磁場誘起相転移に伴って大きく上昇し、これは磁場によって反強磁性構造が発生することと矛盾しない。また、交換相互作用が原子間距離に強く依存すると仮定して分子場モデルを用いてこの磁気転移のシミュレーションを行った。その結果磁場による磁気転移が概ね説明されることも明らかにした。

高压合成 Co ラーベス相化合物の物性

希土類 (R) と Co のラーベス相化合物 RCo₂ は Co の磁気モーメントの不安定性に関連して様々な興味深い現象が観測される。たとえば R が非磁性である YCo₂ や LuCo₂ は強磁性体に近い常磁性であるが強い磁場の下では遍歴電子メタ磁性を起こす。一方最近では高压合成によって平衡状態図では存在しないラーベス相化合物が見出されてきている。本研究では高压合成によって得られた LaCo₂, MgCo₂, CaCo₂ の磁性を NMR を中心に調べた。LaCo₂ は磁化および NMR の測定から T_c = 132 K の強磁性体であることがわかった。Co の磁気モーメントは 0.1 μ_B/Co と大変小さい。磁化容易方向は <011> である。この物質に水素を吸蔵させた LaCo₂H_{3.8} では水素吸蔵によってアモルファスになることがわかった。このとき室温でも強磁性を示すようになり、平均の磁化は ~1 μB/Co になる。NMR の結果からは微視的には Co モーメントは 0 から 1 μ_B 以上の間で広く分布していることを明らかにした。MgCo₂, CaCo₂ はそれぞれ T_c = 320 K, 530 K, 飽和磁化も 2.6 μ_B/f.u., 3.1 μ_B/f.u. の強い強磁性体であるが、NMR でもそれに対応するような信号を観測した。

Technology

2001年(平成13年)10月23日 火曜日

室温で大きな熱量効果

京大、新磁性体を開発

永久磁石で磁気冷凍実現も

京都大学大学院工学研究科の和田裕助教授らは、室温で磁気熱量効果(磁場を加える磁性体の温度が変わる現象)が大きい磁性体を開発した。磁気冷凍に用いるのも、マンガノヒ素(MnAs)とシリチオン(Si)化合物、磁気エントロピー(磁気場の向きをそろい方の度合い)は、有力材料であるシリコンとゲルニウムを混合したスクリニウム混合化合物(Gd₂Si₂Ge₂)の約2倍となる。超電導磁石を使わず永久磁石を使った磁気冷凍実現の可能性がある。成果は物理学会(AIP)の「アプライド・フィジクス・レター」11月号に掲載。

磁気冷凍は磁性体に磁場をかけ磁気モーメントの温度(低エントロピー)には熱を出し、磁場を取り除いた時(高エントロピー)には熱を吸収する(冷卻)する。省エネにも貢献できる。従来の磁気冷凍では、磁気エントロピー変化はMnAsを約1倍に利用できればガスの圧縮・膨

またこの化合物は希土類を使わず安価にできるメリットもある。磁性体の温度を加えることで磁性体はヒスリシス(層間)は上昇し、温度ヒスリシスに差がある。磁気冷凍サイクルがうまく作動しにくい可能性がある。

磁気熱量効果は一定の温度で磁場をかけた時に磁性体の磁気エントロピーがどれだけ減少するかの違い。ある程度で磁場をかけた時、磁性体の磁気場の向きがバラバラ(常磁性)

結晶物性工学分野

2元系およびMoを添加した
ReSi_{1.75}の結晶構造と熱伝特性

レニウムダイシリサイド (ReSi_{1.75}) はバンドギャップが0.1~0.4 eVと大変小さい半導体で、高温まで安定で、高いゼーベック係数を有する有望な熱電材料である。本研究では、ReSi_{1.75}の結晶構造、微細組織と熱電特性に関する研究を行った。HAADF-STEM像によってC11_b母格子中で規則配列するSi空孔とその周りで理想位置から大きく変位するRe原子の直接観察に成功した。第一原理計算による原子位置フィッティングを行い単斜晶系結晶構造(空間群 *Cm*)を決定した。ReSi_{1.75}へMoを添加すると、正方晶のC11_b構造の母格子を保存しつつMo添加量に応じて様々な結晶構造を示した。特にReSi_{1.75}と(Re_{0.93}Mo_{0.07})Si_{1.82}の間の組成範囲では、母格子を共有する組成の異なる2種類のブロック層をランダムに組み合わせることによって任意の組成・結晶構造を作り出すアダプティブ構造という特異な結晶構造群を見出した。アダプティブ構造を含めたそれぞれの結晶構造のモデル化を行い、ReSi_{1.75}-MoSi₂擬2元系状態図を作製した。各試料とも結晶構造の異方性を反映して試料方位によりp型からn型へキャリアを変えるなど各物性は特異な変化を示した。中でも[001]_{C11_b}を長軸とする試料は高温域において大きいゼーベック係数を持ち、ReSi_{1.75}ではZT = 0.7 (T = 1073 K)、2%Mo添加材ではZT = 0.75 (T = 973 K)と言う現在の実用熱電材料SiGeに匹敵する高い性能指数を得た。

TiAl PST 結晶の拘束変形

TiAl/Ti₃Al二相層状組織となる組成のTiAl合金は軽量かつ優れた高温強度、破壊靱性、耐酸化性を持ち、次世の軽量耐熱構造材料として期待されているが、多結晶体では常温延性に乏しいことが欠点となっている。その層状組織を一方に制御したPST結晶では、ラメラ境界面に平行な方向には圧縮、せん断とも変形が容易であるが、ラメラの板厚が変化するような方向への変形は困難という顕著な異方性を持ち、同時に30%程度の大きな延性を示す。にもかかわらず多結晶体が常温延性に乏しいのは、個々の結晶粒が周りの結晶粒による拘束のためPST結晶本来の変形ができていないからであると考えられる。そこで本研究では多結晶内部の状況を再現するべくTiAl PST結晶のラメラ境界面に平行な変形を阻害するような拘束を行った状態で圧縮試験を行い、変形挙動の変化を調べた。拘束を加えたことにより、A方位では降伏応力はあまり変わらないが、加工硬化率は大きく上昇し、破壊までの変形量は減少した。拘束により、B方位では降伏応力は6倍程度に上昇し、加工硬化率も増加したが、破壊までの変形量は減少した。この降伏応力の増加は、ひずみ適合性からの要請からラメラ境界面を横切るような変形モードが活動するためである。拘束を加えて圧縮を行った場合、ドメイン間のひずみ適合性が満たされておらず、破壊までの変形量の減少および加工硬化率が増加の原因となる。

TiMn₂の水素吸蔵に伴う吸蔵圧と
内部組織の変化

水素吸蔵合金は次世代エネルギーの担い手、水素の貯蔵材料として期待されている。本研究では典型的な水素吸蔵合金、TiMn₂について水素吸蔵放出圧のサイクル変化と、微粉化挙動、内部組織変化の相関を調べることを目的とした。広い固溶度を示すTi-Mn系ラーベス相合金のうち最も水素吸蔵特性に優れているとされるTiMn_{1.5}では、吸蔵圧は第1サイクルのみ高い値を示し、第2サイクル以降はそれよりも低い一定の値を示す。また、放出圧は第1サイクルのみ低い値を示し、第2サイクル以降はそれよりも低い一定の量を示した。第1サイクル吸蔵時の過水素圧はSEM、TEM観察の結果、大量のクラック生成に必要な圧力であるという事が確認された。LaNi₅とは異なり、第1サイクルでは殆ど転位が導入されることはなかった。TiMn₂は第1サイクルの吸蔵圧に初期粒径依存性が観察されなかった。これは、TiMn相との2相組織である事に起因する。TiMn相の水素吸蔵圧は、ラーベス相のそれよりもかなり低く、水素吸蔵中、2相組織の中でTiMn相は母相のより先に水素化しその体積膨張により試料を微粉化させることが水素化その場実験から明らかになった。また、放出時その場観察実験からクラック生成が確認されたため、吸蔵時と同じようにその差圧はクラック生成に必要なエネルギーを与えるためのものと考えられる。このようにTiMn相はTi-Mn系ラーベス相合金の初期活性化に重要な役割を果たす。

Ti₃Al基合金における
水素吸蔵・放出特性と相変態の関連性

Ti₃Al合金は約3 wt.%の水素を吸蔵する水素吸蔵合金として着目されているが、これまで400℃以下では水素を放出しないと報告されていた。しかし、我々は127℃で水素を放出することを見出したので、Ti₃Al合金の水素放出を妨げる要因及び水素吸蔵・放出の機構を考察することを目的とした。Ti₃Al合金に127℃で水素を吸蔵させる3つの水素化物を形成する。水素原子と金属原子との比をH/Nとすると、H/N~0.5のβ水素化物(β_H)とH/N~1.0のγ水素化物(γ_H)を形成し、γ_Hは更にH/Nの低い順にγ_{m1}とγ_{m2}に分類できる。可逆的な相変態はβ_Hとγ_{m1}の間で起こり、その相変態の可逆性により水素の吸蔵・放出も可逆的となる。一度、γ_{m2}まで水素を吸蔵するとγ_{m1}→β_H相変態は起こらず、水素放出曲線にプラトーが現れなくなる。γ_{m2}は高水素圧力で急激に、あるいは水素吸蔵温度を室温まで下げ水素化することにより、容易に形成する。また、Ti₃Al試料を粉砕して水素化に用いても、可逆的なβ_H-γ_{m1}相変態は起こらなくなる。一方、多くの双晶がβ_Hへの水素化過程で形成され、これはβ_Hへの相変態が変位を伴う相変態であることを示唆している。β_H-γ_{m1}相変態もγ_Hの表面起伏より同様の相変態であり、それら変位の連続性が水素化物相変態、つまり水素吸蔵・放出の容易性に重要な役割を果たす。

教授 山口 正治
助教授 乾 晴行
助手 伊藤 和博

構造物性学分野

平成13年7月に広島大学より転任した田村教授のもと、分野名を格子欠陥物性学から構造物性学と改め、新しい研究分野を展開しつつある。今年度は博士課程院生2名、修士課程院生7名、4回生5名が在籍している。平成4年より助手として研究・教育に尽力・活躍してきた田中克志氏は平成14年10月1日付で香川大学工学部材料創造工学科助教教授に栄転した。

超臨界流体の構造研究 - 膨張する水銀 -

液体に圧力を加えてゆくと沸点は上昇する。さらに圧力を上げると沸点は上昇し続けるが、ついには沸騰がみられなくなり、液体とも気体とも区別がつかない超臨界流体とよばれる特異な状態が出現する。超臨界状態を実現することによって、液体から気体へと体積を連続的にかつ1000倍以上も膨張させることが可能になる。このことは平均の原子間距離を10倍以上広げること相当し、この過程で物質の性質は大きく変わる。

我々は流体水銀を対象に研究を行っているが、水銀が面白いのは、この体積膨張にともなって電気伝導度が桁も減少し、金属・絶縁体転移を起こすという際立った特徴があるからである。このような大きな物性変化が起きるとき、原子の並び方がどのように変わるのか、ミクロ構造に秘められた謎を解き明かすことは研究者の長年の夢であった。

我々は、兵庫県西播磨にある世界最大の放射光施設SPRING-8に、水銀のような超臨界金属流体の構造研究が可能な世界初のビームラインを完成させた。実験は順調に進んでおり、すでに重要な結果が出始めている。

水銀が膨張するとき、ミクロに見てどのように膨張するかという基本的な問いに対する答えもはじめて得られた。すなわち、水銀は結晶が膨張するのとはまったく異なり、一様に膨張するのではない。ランダムに並んでいる原子集団の中から原子を一個また一個と抜き去るようにして、局所的に不均質な構造を生み出しつつ、あたかも密な構造から疎な構造へと構造転移を引き起こしながら膨張するという興味深い事実が明らかになった。

このように、強力でしかもレーザーのように優れた指向性をもつ放射光と我々が開発した超臨界実験技術の組み合わせから、これまでにない新しい情報が得られるようになった。研究対象は、今大きく広がっている。超臨界水がなぜダイオキシンを容易に分解することができるのか、構造研究は謎解きの鍵となるであろう。また、質の高いシリコン単結晶や新しい鉄鋼材料の開発には、溶融状態の構造研究は不可欠である。極限状態の物質は、思いがけない姿を現すが、我々は物性物理学を武器に研究を積み重ねている。

具体的な研究内容の紹介として、平成13年度の特別研究報告および修士学位論文の概要を以下に記す。

特別研究「放射光を用いた超臨界流体水銀の密度ゆらぎの研究」峯田邦生

放射光施設SPRING-8にて超臨界水銀の小角X線散乱実験を臨界点近傍で行い、構造因子を測定し密度ゆらぎとその相関長を求めた。データ解析の結果、密度ゆらぎおよび相関長が臨界密度付近で極大になっていることがわかった。また、臨界点に近くなるにつれてその極大値が大きくなる傾向があることもわかった。ただ、解析結果はばらつきも多く今後のさらなる解析や実験が必要である。

特別研究「超高融点金属間化合物Ir₃Nbの高温物性」山下景子

高融点金属間化合物Ir₃Nb(融点2345℃)について、拡散係数と弾性定数の測定を行った。まず、1750℃と1800℃における相互拡散係数を拡散対法により測定した。Ir₃Nbにおける相互拡散係数は純イリジウムにおける自己拡散係数より1桁から2桁ほど小さかった。弾性定数は、室温、500℃、1000℃の三つの温度で測定した。室温でのIr₃Nbの弾性定数は純イリジウムより数パーセント小さい。

修士論文「L₁₀-fcc規則不規則変態に伴う巨視的形狀変化」森岡一裕

等比組成のFePdおよびCoPtはそれぞれ650℃と825℃でL₁₀-fcc規則不規則変態をおこす。通常の規則化では、不規則fcc相から結晶学的に等価な三つのL₁₀バリエーションが等しい体積分率で生成する。しかし、単結晶試料を<100>に平行に圧縮応力を付加した状態で規則化させると、圧縮方向と平行なc軸を持つバリエーションが優先的に生成する。圧縮応力がある値以上の場合には単一バリエーションを形成する。単一バリエーション状態の試料を再び不規則化させると、元の形状を回復する。したがって、単一バリエーション形成に必要な応力をバイアス応力として付加した状態で相変態させると、温度変化に対して可逆的に巨視的な形状変化が得られる。本研究では等比組成のFePd、CoPtおよび(Fe, Cu)PdのL₁₀-fcc規則不規則変態に伴う巨視的形狀変化の大きさや温度ヒステリシスなどを調べ、高温動作形状記憶素子としての応用を検討した。FePdとCoPtでは単結晶試料・多結晶試料とも相変態に伴う可逆的な形状変化が観察されたが、(Fe, Cu)Pdではバイアス応力による塑性変形が大きく観察できなかった。規則化温度と不規則化温度の間の温度ヒステリシスは、本実験の条件下ではCoPt単結晶試料の場合が約30℃と最も小さく、FePd多結晶の場合が約180℃と最も大きかった。また、コイルばね状に成形したFePdとバイアスばねを組み合わせて簡易的な二方向動作アクチュエータを試作し、相変態に伴う挙動を観察した。コイルばね状に成形することで得られる大きな形状変化や、従来の形状記憶合金と比べてはるかに高い動作温度を活用して、保安分野などへの応用が期待される。

材料物理学分野

高濃度 Al-Zn-Mg-Cu 合金における 温間圧延による組織形成

Al-Zn-Mg 合金に代表される時効型アルミニウム合金の高強度を保ちながら靱性や耐食性を向上させるには、結晶粒組織の制御が有効であると考えられる。本研究では、最適な温間加工・熱処理条件への指針を得ることを目的として温間圧延を用い、焼き鈍し条件を検討することで均一な微細粒組織を形成させ、さらに機械的性質と微細組織との関連を調べるべく硬度評価及び微細組織観察を行った。その結果、温間温度域で焼き鈍しを行うことによって均一な微細粒を持つ組織を得ることができた。また、最終熱処理後の微細組織を方位解析した結果、微細粒からなる組織において、ND方向とRD方向に粒界の傾角が累積することで結晶方位差のうねりが生じているのが分かった。

Mg-Y 合金の微細組織制御

Mg 合金はhcp 構造であることから常温でのすべり面が非常に少ない。そのため強度に対する結晶粒微細化の効果が非常に大きい。よって、本研究では時効強化型合金である Mg-Y 合金に、溶体化処理-初期時効-温間圧延-焼鈍-溶体化処理というプロセスを施すことにより結晶粒微細化による高強度化を試みた。その結果、初期時効により析出した Mg₂₄Y₅ 安定相が焼鈍時の再結晶粒の粗大化を防ぎ、数 μm から 10 μm 程度の結晶粒が得られた。

拡張ヒュッケル法による水素吸蔵材料の評価

水素吸蔵材料として求められる 3 つの性質、「水素吸蔵量」、「吸蔵速度」、「可逆性」を決めるものは何かを明確にし、水素吸蔵の時間特性をあらわす反応速度式を構築することを目的として研究を行った。その課題に対する 1 つのアプローチとして、波動方程式を解いて得られる固有値から計算される『エネルギーの揺らぎ』、『凝集エネルギー』等との関連を調べた。これまでに、単体元素に関して、空軌道の多い元素は「水素吸蔵量」が多く、『エネルギーの揺らぎ』の大きな元素は「吸蔵速度」が速く、『凝集エネルギー』の小さな元素は「可逆性」を持つことが確認された。しかし、これらの議論はまだ定性的なものに留まっているため、理論的定量的発展と普遍性の追求が今後残された課題である。

Bi2223 フィラメントの機械的特性

テープ材から抽出した Bi2223 フィラメントの機械的特性の評価を行った。形状が板状の細線で、かつ非常に脆いことからこれまで直接引張試験により特性の評価が

行われた報告はなされていない。本研究では、微少荷重試験機を用い、チャッキング方法を工夫することにより破断強度、弾性率の評価を行った。引張試験を 40 回以上繰り返し破断強度とそのばらつきを調べたところ、破断強度はフィラメントがマトリックス中に埋め込まれた状態のときの推定値と比較して非常に低い値になった。また、強度分布をワイブル分布に基づいて評価するとばらつきが他の超伝導フィラメントと比べて非常に大きいことが明らかになった。

Ag/Bi2223 超伝導複合線材の交流特性

Ag/Bi2223 超伝導線材を実用化するには、線材の臨界電流密度のさらなる向上と低交流損失化が必要である。今回は、作製条件の異なる Ag/Bi2223 多芯テープ線材を用意して J_c 特性・交流損失の評価及び組織観察を行い、作製条件との関連を調べた。その結果、加工の際ロール圧延を加えることでより超伝導特性の良い試料が得られることが分かった。ロール圧延とプレスの複合加工を行った多芯の試料は、プレスのみのも及び圧延のみのもと比較してフィラメント間のブリッジングが少なく、単芯材より J_c 特性は低下したものの低周波数、低伝流域において交流損失の低減化が見られた。また、最適条件よりも高温側で最終熱処理を行った試料はフィラメント間のブリッジングが加速されることが確認された。組織観察の結果、ブリッジングの主な原因は、Bi2223 相の配向性の乱れと非超伝導相の粒径の粗大化であることが分かった。

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 (YBa₂Cu₃O_{7-x}) 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。YBCO 超伝導薄膜の作製方法はいくつかあるが、中でも TFA-MOD 法に着目した。フッ化物を含んだ前駆体膜はポストアニールによってエピタキシャル成長して結晶化する。その際擬液体の出現が膜のエピタキシャル成長を促進していると考えられるが未だその詳細は明らかになっていない。今回熱処理途中でクエンチさせた試料を作製し組織観察及び X 線回折による定量分析を行った結果、多核二次元成長しているのではないかと考えられる。また、金属基板と RE123 層との反応を妨げるバッファ層としてペロブスカイト型の酸化物の使用についても検討した。MgO 単結晶基板上に PLD 法で作製した BaZrO₃ 上に、PLD 法により YBCO 層を成膜したところ、高度に 2 軸配向した YBCO 薄膜の作製に成功した。今後は、金属基板上での応用に向けさらに検討を進めていく。

教授 長村 光造
 助教授 松本 要
 助手 山本 悟
 助手 足立 大樹

材質制御学分野

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。2001年度は主に以下のテーマについて研究した。

1. 鉄合金のマルテンサイト組織に関する研究

高強度鋼における最も基本的な変態生成物であるラスマルテンサイトについて、結晶学・内部組織・界面構造を詳細に調べた。ラスマルテンサイトはオーステナイト母相とK-S関係に近い結晶方位関係を示し、界面には結晶構造の変化を担う変態転位および2組の転位ループが存在し、glissileな構造を持つことが明らかとなった。また、ラス内部およびその周囲のオーステナイト母相中には高密度の転位が観察された。また、加工オーステナイトから生成したラスマルテンサイトはオーステナイト中の転位を受け継ぐことが明らかとなり、ラスマルテンサイト内部の高密度転位の起源の1つとして、母相中に導入された転位の受け継ぎがあることが示唆された。さらに、18Niマルエージ鋼において変態初期にオーステナイト粒界より生成するラスマルテンサイトの形態を調べ、1つの粒界から生成するラスマルテンサイトの方位（バリエーション）は限られていることがわかり、粒界性格によるバリエーション規制の存在が示唆された。

鉄合金におけるレンズマルテンサイトの成長挙動をFe-Ni-C合金において調べた結果、Ms点以下でさらなる過冷を加えても、熱誘起による成長は起こらないのに対して、応力誘起では一部のマルテンサイトの成長が観察された。また、Fe-Ni-Co-Ti合金において熱誘起で生成した薄板状マルテンサイトは、変形温度が低い時には応力誘起により薄板状に成長するが、高い温度での変形ではレンズ状に成長する。また、レンズ状の成長領域には転位がほとんどないものも一部存在することがわかった。

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・分散強化における強化相としてのセメンタイトの分散状態（形状、サイズ、分布）を制御する目的で以下の研究を行った。

共析炭素鋼において層状セメンタイトを含むパーライトを強冷延・焼鈍した場合の組織と機械的特性に及ぼす第3元素添加の影響を調べた。その結果、(1)冷延によって強度が上昇するが延性は低下すること、(2)40%以上の強冷延では圧下率の増加で強度は上昇するが延性はほとんど変化しないこと、(3)Mn、Siの複合添加は、焼鈍後のセメンタイトの球状化および粗大化を遅らせて強度低下を抑制すること、がわかった。

機械構造用鋼SCM435（Fe-0.35C-0.24Si-0.77Mn-1.05Cr-0.17Mo）を用いて、ラスマルテンサイトの組織と特性におよぼす急速加熱焼もどしの効果について調べた結果、焼もどし温度への加熱速度の上昇にともなってセメンタイトの分散がより均一微細になり、強度—延性

バランスが改善された。

Fe-C-M3元合金フェライトからのセメンタイトの局所平衡による成長kineticsについて、熱力学的モデルを用いて検討した結果、極低炭素合金の場合を除いて、析出反応のほとんどは合金元素Mのマクロな分配が起こらないNPLEモードで起こることが明らかとなった。

3. 加工熱処理による微細二相組織の形成に関する研究

（フェライト+セメンタイト）層状二相組織であるパーライトを強冷延・焼鈍した組織をフェライト中の局所方位差に注目して調べた。その結果、(1)冷延組織は非常に不均一であること、(2)変形組織の不均一性を継承して焼鈍によって形成される微細二相組織も不均一となり、フェライト粒界の方位差が大きく比較的粒径が粗大な領域と、フェライト粒界は方位差の小さい亜粒界で粒径が微細な領域の2つからなることがわかった。

β 型チタン合金を種々の温度で温間加工した場合の動的復旧過程を調べた結果、(1) β 単相域変形の場合、 β 粒内では動的回復、 β 粒界近傍では動的不連続再結晶が起こること、(2) $(\alpha + \beta)$ 二相域で変形した場合、第二相 α の体積率が少ない時には β 相の復旧は動的回復によって起こるが、 α 相体積率が高くなると β 粒内での動的連続再結晶が起こり、 β 大角粒界の割合が多い微細 $(\alpha + \beta)$ 二相組織が形成されること。(3)動的連続再結晶の結果、超塑性が発現することがわかった。母相が α 相である $\alpha + \beta$ チタン合金の層状 $(\alpha + \beta)$ 二相組織を温間加工した場合でも、 α 相の動的再結晶が一部起こることがわかった。

4. 鉄鋼における結晶粒微細化に関する研究

鉄鋼の変態組織の微細化に直結するオーステナイト母相粒径の微細化および微細オーステナイト粒からの変態挙動について調べた。

機械構造用鋼SCM435におけるオーステナイト \leftrightarrow マルテンサイト繰返し変態による粒径の微細化では最小約5 μ mまでの微細粒組織が得られた。逆変態処理の温度が低いほど、逆変態の保持時間が短いほど、オーステナイト粒径は微細になった。繰返し数が増すと、3回までで急速に粒径が微細になるが、その後は定常粒径となった。また、マルテンサイトを焼もどした逆変態させると、残留セメンタイトのピン止め効果によるオーステナイト粒径の微細化が若干認められた。

焼もどしマルテンサイトの強加工+逆変態処理とマイクロアロイ元素（V）の微量添加による合金炭窒化物のピン止め効果を併用して、微細オーステナイト粒組織（最小粒径で約2 μ m）を得た後、連続冷却もしくは恒温保持によりフェライトもしくはパーライト変態させた時の、粒径変換比について調べた。その結果、(1)オーステナイト母相粒径の微細化にともなって変換比は増加し、母相粒径10 μ m以下ではほぼ1に近づくこと、(2)フェライト変態について冷却速度が遅く変態の過冷度が小さい場合には変換比が1を超え、微細オーステナイト粒からの変態を利用した場合の粒径微細化には一層の加速冷却が必要であること、が示唆された。

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

素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、

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すこと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指標の確立

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

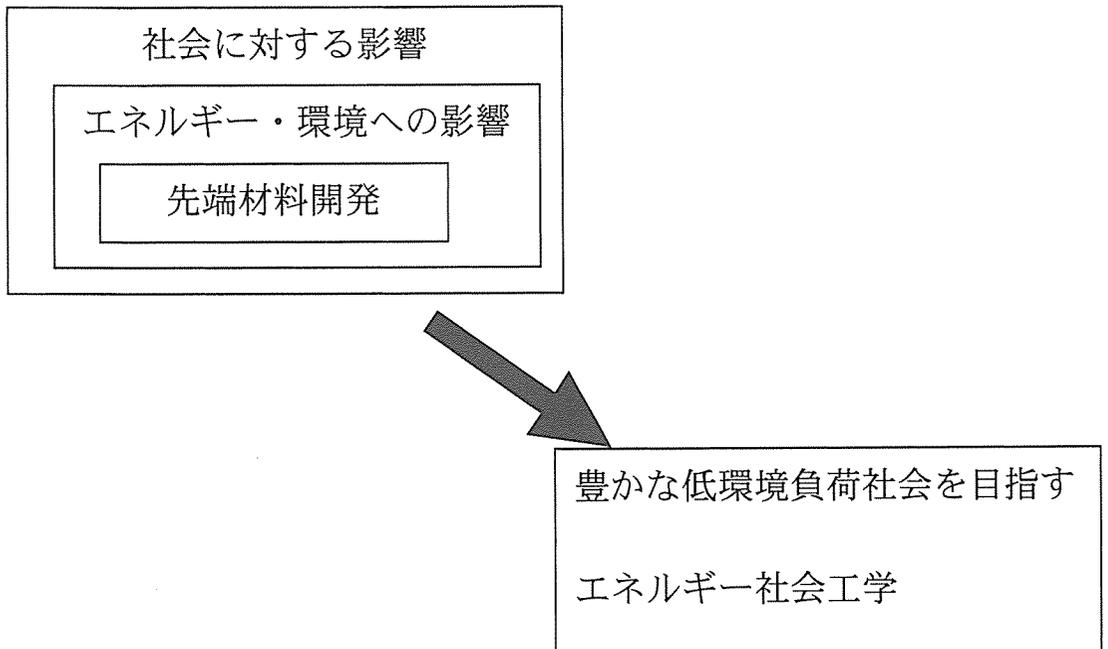
高い光触媒活性を有するといわれているブルックライト型の光触媒をメカニカルミリングにより大量に生産できる方法を開発し、その光触媒性能について研究している。

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。

教授 石原 慶一

助手 山末 英嗣



材料プロセス分野

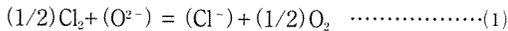
CaO-SiO₂-Al₂O₃系スラグと水蒸気
-塩酸混合ガスとの反応

1. 緒言

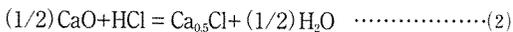
スラグを生成する高温プロセスでは、含塩素物質の熱分解で発生したHClの一部がスラグ中に吸収される可能性がある。しかしスラグへの塩素の移行挙動は不明な点が多く、本研究ではスラグ-塩素挙動を明確にすることを目的とした。

2. 塩素の移行機構

従来スラグ中への塩素の溶解反応は次のように考えられている。



(1)式からはスラグ中(Cl⁻)を低下させる手段として「①O²⁻イオン活量を低下させる、②酸素分圧を上げる」が考えられるが、高炉の場合には両者とも制御が困難な因子である。本研究では塩素の溶解反応を次式のように考えた。



$$a(Ca_{0.5}Cl) = a(CaO)P(HCl)K(2)/P(H_2O)^{1/2} \dots\dots\dots(3)$$

$$\log(\%Cl) = \log(\text{定数}) + (1/2)\log[a(CaO)P(HCl)^2/P(H_2O)] \dots\dots\dots(4)$$

(2)式から「P(HCl)とP(H₂O)によりスラグ中(%Cl)を制御できる」と考えられる。実際の操作においてP(HCl)は塩素含有物質使用量、P(H₂O)は羽口での水蒸気分圧を意味する。

3. 実験方法および結果

CaO-SiO₂-Al₂O₃系スラグをAr-H₂-HCl-H₂O混合ガス中1673 Kにて保持、平衡させた。急冷後、スラグ中の塩素濃度を分析した。

スラグ中塩素濃度の対数log(%Cl)とlog[a(CaO)P(HCl)²/P(H₂O)]の関係をFig. 1に示す。

(4)式から予想されるようにlog(%Cl)とlog[a(CaO)P(HCl)²/P(H₂O)]との間には傾き1/2の直線関係が成立した。

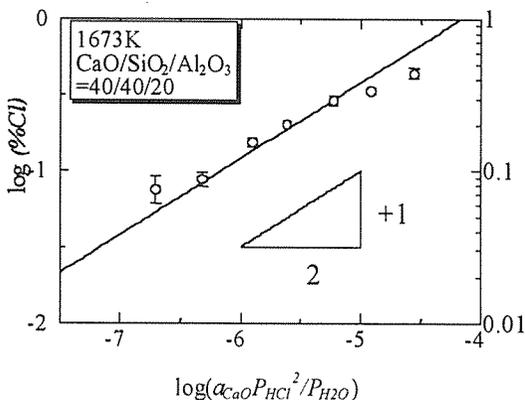


Fig. 1 Relation between log(%Cl) and log(a_{CaO}P_{HCl}²/P_{H₂O}) at 1673 K

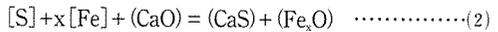
CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO-Fe_xO系スラグの熱力学

1. 緒言

脱硫反応は、



あるいは、



と書ける。CaO活量が高いほど脱硫に有利であり、溶鋼脱硫ではCaO飽和に近いCaO-(SiO₂)-Al₂O₃系スラグを使用することが多い。ところが溶銑温度ではCaO-(SiO₂)-Al₂O₃系スラグにはCaO飽和領域は存在しない。そこでCaO-SiO₂-MgO-(35wt%Al₂O₃)擬三元系状態図において〈CaO+Ca₃Al₂O₆〉で飽和する領域が存在することに着目し(Fig. 1)、Fe_xO活量を測定した。

2. 実験方法および結果

1723Kにおいてスラグ中Fe_xOとFe(s)との平衡酸素分圧をジルコニア酸素センサーにより測定した。log γ_{Fe_xO}/(1-XFe_xO)²とXFe_xOの関係をFig. 2に示した。

当研究室の最新の情報については、<http://lupin.mtl.kyoto-u.ac.jp/>をご覧ください。

教授 岩瀬 正則
助教授 藤原 弘泰
助手 長谷川将克

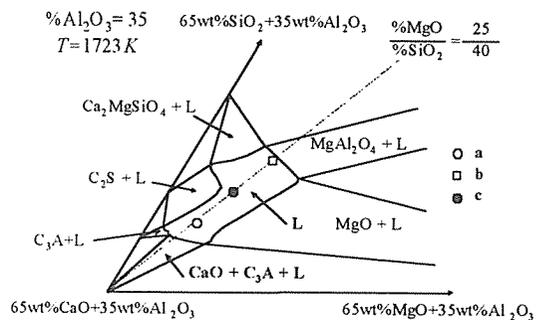


Fig. 1 Compositions of slags investigated in this study, superimposed on phase diagram of the quaternary system of CaO-SiO₂-MgO-(35wt%Al₂O₃).

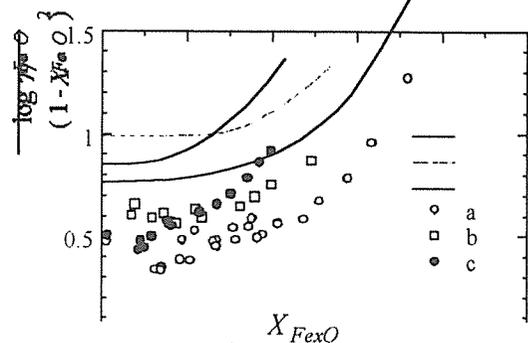


Fig. 2 Relationship between log γ_{Fe_xO}/(1-XFe_xO)² and XFe_xO.

量子エネルギープロセス分野

当研究室では銅酸化物高温超伝導複合体、カルコゲナイドガラス半導体および機能性金属合金などの材料について機能発現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. 複合銅酸化物超伝導体における不均質ナノ構造と非オーミック伝導機能

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複合によるナノ構造固溶体において、最近見出した特異な非オーミック伝導現象の実験的、理論的解明を行っている。絶縁体的であるPr系銅酸化物(PBCOと略記)と超伝導銅酸化物(RBCO, RはY, Gd, Nd, Ho等の希土類元素)の固溶体 $R_{1-x}Pr_xBa_2Cu_3O_7$ (RPBCO)において、ある特定のPr濃度領域で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、また異なったPr濃度領域では電流とともに抵抗が増大する現象が見出された。これらの非オーミック現象は、超伝導相のパーコレーションクラスタの分解過程とその過程が完了後現れる高伝導相クラスタの分散構造を背景にしたナノレベルの局所的な電流分布の挙動に密接に関係していると理解され、構造制御と機能発現に興味ある知見を与えるものである。また、Y系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 面内の電子軌道の共有化により、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見出された。これは局所的超伝導を前提とする非古典的パーコレーション過程の発現を示唆し、このモデルに基づいてナノスケールでの微細構造の挙動に新たな知見を得るべく研究を行っている。

2. 銅酸化物超伝導体の磁束ピンニング特性にもたらす化学ドーブ効果

Y-123系銅酸化物(YBCO)における臨界電流の強化を目的として、カチオン添加による磁束ピンニング効果の研究を行っている。ドーパントとしてPr, Nd, La, Caを用い、これらが磁場誘起型のピンニングセンターとして振舞うことが見出した。それらの元素の置換サイト、イオンサイズ、イオン磁性により、臨界電流が大きく影響され、とくに2種以上の共ドーブや磁性イオンドーブが顕著な磁場誘起ピンニング効果を発現させることを見出した。また、Yb-123系についても磁場誘起ピンニングに対するより顕著なドーブ効果を見出した。

3. カルコゲナイドガラ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、ガラス転移を行うのが特徴である。これらの化合物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、光照射に対して構造敏感で、結晶化相転移、光黒化、光ドーブ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。当研究室では主として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、当初は価電子バンド端のポテンシャル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た。Ge-S系は、カルコゲナイドの中では毒性が無いこと、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。発光強度、X線光電子分光やラマン分光の測定を行いながら、これまで電子構造や原子配位局所構造を調べ、特にその発光スペクトル測定から光照射劣化効果などの光誘起現象の詳細を明らかにした。現在は量子効率の高い希土類元素添加カルコゲナイドガラス $Ga_2S_3-GeS_2-La_2S_3-Pr_2S_3$ の発光現象についても研究を着手し、ギャップ内不純物単位の働きに着目して、構造と光学特性についての詳細な研究を行っている。

4. 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アークプラズマジェットは、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ディ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ドライ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ミ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ディ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合物に広げると共に、リサイクルや廃棄物処理技術(追加)への適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

高温プロセス分野**CaCl₂ + CaO 熔融塩電解による酸化チタンの還元**

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直接カルシウム還元を行い、連続的に金属チタンを生成させる実験を行った。このプロセスは熔融塩化カルシウムを電気分解することによってカルシウムを生成し、その場で酸化チタンの還元を用いるというものであり、還元副生成物である酸化カルシウムは熔融塩中に溶解させて除去することができる。塩化カルシウムのみを分解電圧以上で電気分解したところ、塩素ガスの発生があり1173K 1時間で α -Ti単相を得ることができた。より低い酸化カルシウムのみを電気分解する電圧では、0.5-1 mol%CaOの場合3時間で α -Tiを得た。

熔融塩を用いたタンタル、ニオブ粉末の製造

タンタル・ニオブを製造する新しいプロセスとして、安定酸化物であるTa₂O₅及びNb₂O₅を原料とし、液体カルシウム還元により直接に金属タンタル・ニオブを生成させた。これは熔融塩化カルシウムを反応媒体とするものであり、還元副生成物である酸化Caを還元中に溶解できる。本研究では、生成金属中の酸素濃度の低減と、Ta₂O₅及びNb₂O₅をCaで還元する際の還元機構の解明を目的とした。得られた金属粉末の酸素分析を行ったところ、タンタルは3400 ppm、ニオブは5200 ppmまで酸素濃度を低下させることができた。また、タンタルはTa₂O₅から直接還元されるが、ニオブはNb₂O₅からNb₂O₃を経て還元されることがわかった。

流動下でのCa-CaCl₂による酸化チタンの還元

原料である酸化チタンを、熔融塩化カルシウム中に溶解する液体カルシウムにより還元し、金属チタンを得るプロセスに関して、その生成チタンの残留酸素濃度の低減を目的として、攪拌による流動を加え、その効果を検証した。結果、最も低い酸素濃度を示したチタンは、攪拌を加えた実験による1250 ppmであり、同条件で行った攪拌を加えない実験による3340 ppmという値を下回った。また、酸化チタンには、結晶構造の異なるルチル型とアナターゼ型が存在する。それぞれを出発原料として還元したところ、本実験で採用した条件の下では、両者から生成されたチタンには、酸素濃度、カルシウム濃度、粒の形態及び粒径に違いが認められなかった。アナターゼ型は、ルチル型を硫酸法で製造する過程の初期

段階において得られ、経済的にも有利であることから、本プロセスにおける出発原料として有益であると考えられる。

液体ナトリウムを熱源に用いた金属素子の特性解析及び発電の評価

資源量の豊富なFeおよびFeAl系合金を材料にフィン-素子一体型熱電モジュールをロウ付け接合により作製し、風洞実験による特性評価、伝熱工学による検討を行なった。結果として、素子への供給熱量を増やし、流体の強制対流冷却をすることによって効率が高くなることがわかった。また流体の温度が上がると効率が低くなることがわかった。ふく射に関しては、本研究で想定している温度範囲では出力に与える影響が小さいことがわかった。

さらにこの素子を用いて高温液体ナトリウム(Na)を熱源とした発電を試みた。300~500℃の液体Naが流れるステンレス配管に熱電変換モジュールを取り付け、空気または不活性ガスで冷却し、円筒形長尺の熱電発電を模擬したもので、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。その結果、モジュールに最大36 Kの温度差が生じ、単位面積当たりの最大出力は70.5 mW/m²であった。

熔融塩を用いたコバルトのシリサイドコーティング

材料の表面にのみシリコン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可能性がある。本研究では熔融塩を用いた簡易な手法により、コバルト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からなる熔融塩に、コバルト板を浸漬し、その表面上にシリサイド被膜を形成させた。このシリサイド被膜形成は熔融塩中における不均化反応によるものであり、得られたシリサイド被膜は α -Co₂SiとCoSiであった。シリサイド被膜は大気中1173K、48時間の耐酸化性試験の結果、母材のコバルトよりも優れた耐酸化性を示した。

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

エレクトロニクス分野

Ba吸着Si(111)表面のSTM観察

昨年度に引き続き、STM(走査トンネル顕微鏡)を用いた局所トンネル障壁測定を進めている。今年度はBa吸着Si(111)表面でのSTMおよびトンネル障壁測定を試みた。Ba吸着Si(111)表面では吸着量に応じていくつかの種類の再構成表面が形成されることが知られており、また、吸着量の増加とともに表面の仕事関数が低下することが知られている。我々は、Ba吸着量を制御することで、清浄なSi(111)7×7表面とBa吸着に伴って形成されるBa/Si(111)3×1構造が共存する表面を作成し、Ba吸着3×1構造におけるトンネル障壁の値を清浄なSi(111)7×7表面での値と比較した。この方法をとることにより、トンネル障壁測定の際の探針の状態の影響を軽減できるものと期待できる。測定の結果、Ba/Si(111)3×1構造におけるトンネル障壁の低下量は-2.2eV程度と見積もられた。測定されたトンネル障壁の変化は、表面の仕事関数の局所的な変化と関連付けて考えることができる。マクロな仕事関数測定との比較により、この再構成表面でのBaの吸着量は1/6ML程度と見積もられ、これは最近理論計算等によって提案されているBa/Si(111)3×1再構成表面の原子構造と一致したものとなっている。

本研究では同時に、吸着初期の段階で形成されるBa吸着サイトに関してもSTMおよびトンネル障壁測定を行ない、これらの吸着サイトにおける電荷の移動量の見積もりを行なった。また、吸着の初期段階では特徴的なトライマーが形成されることが明らかになった。

Au(001)表面のバリアハイトイメージング

化学吸着によるサイト間の電荷移動の他には、例えば、転位周辺の格子の歪等によっても電荷の移動が起こることが予想される。このような電荷の移動が表面付近で起こった場合には、これをトンネル障壁測定によって検出することができると考えられる。昨年度の研究ではAu(111)表面付近に存在するShockley転位に注目し、観測されるトンネル障壁の低下量が転位付近の歪の大きさから理論的に予想される値と比較し得る値であることを明らかにした。今回はAu(001)5×20表面でのトンネル障壁測定を試みた。Au(001)5×20構造の表面第1層は下地の対称性と異なる三角格子を形成しており、下地との不整合により表面付近に不均一な歪が生じていると予想される。測定の結果、局所的な圧縮歪が予想される箇所でのトンネル障壁の低下が観測され、この結果は理論的予想とよく一致している。しかしながら研究の結果、理論から予想されるトンネル障壁変化とは異なる変化も観測される場合があることが明らかになった。これは探針-試料間の相互作用が観測されるトンネル障壁に大きな影響を与えている結果であると考えられ、この影響に関してより詳細な研究が必要であると考えられる。

点接触の電子伝導

原子1個で接触している単原子接点では、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。我々は、貴金属・金合金の単原子接点を対象に、高バイアス下における量子化コンダクタンス測定を行なっている。

- (1) AuAg接点: AuAg合金では、全組成に亘って $1G_0$ コンダクタンスが観測されることが明らかになった。またAu31at%Ag合金のコンダクタンスヒストグラムにおける $1G_0$ ピークは、1V以下のバイアスでは、純Auの $1G_0$ ピークよりも高くなっており、このことは、Agとの合金化によって $1G_0$ 接点が安定化されることを示唆している。しかし、1.2V以上のバイアスでは、両金属の $1G_0$ ピークの高さに差は見られず、合金化による安定度向上は、1V以下のバイアスに限定して観測されている。
- (2) Ag, Cu接点: Ag, CuはともにAuと同じく $1G_0$ 量子化コンダクタンスを示す金属として知られている。このAg, Cu接点の高バイアスコンダクタンスを測定した結果、両金属ともに600mV以上のバイアスでは $1G_0$ コンダクタンスを示さないことが明らかになった。この結果は、Au接点で $1G_0$ コンダクタンスが約2Vまで観測されることと対照をなしており、Auの $1G_0$ 接点が例外的に安定であることを示唆している。

走査ホールプローブによる高温超伝導材料の評価

高分解能走査ホールプローブを用いて、約80Kで高温超伝導材料内部の磁界分布の観察を行なった。測定は何れもホールセンサーを試料から約 $2\mu\text{m}$ 離して走査するリフトモードで行なった。

- (1) Y123QMGバルク材: 40-80Gの磁界下で冷却した後、磁界を取り去る前後での磁界分布観察を行なった。どの印加磁界の場合にも、磁界を取り去る前後での磁界分布に殆ど変化は見られず、磁界は強くトラップされていることがわかる。磁界がトラップされている領域の大きさは3-5 μm であり、ピンニングセンターであるY211相のサイズ(1-3 μm)よりも大きい。これは、おそらくセンサー感磁部の大きさによる拡がり、およびセンサーが試料面からやや離れていることに起因する磁界分布の拡がり、の両方が原因になっていると推定される。
- (2) Y123焼結体: ゼロ磁界で冷却した後60Gの磁界を加え、磁界を取り去る前後での磁界分布を観察した。外部磁界除去後のトラップ磁界は加えた磁界の1/4~1/10程度に減少しており、焼結体のピンニング力はQMG材よりも弱い。トラップ磁界は3-5 μm の領域に、約9 μm 程度の間隔で分散して存在している。焼結体のアニール時間を増加させると結晶粒は粗大化しているが、これに対応する磁界分布の顕著な変化は観察されず、このため試料内に粒状のピンニングセンターが存在していることは確認されるが、これらの素性や粒界との関係は未解決のまま残されている。

教授 酒井 明
助手 黒川 修

材料デザイン分野

主として複合材料や多相材料のナノ・ナゾ構造と機能・特性の相関を、実験と解析により解明すること、およびその成果をベースにモデル化・シミュレーション法を開発し心材料をデザインすることを目指している。

繊維強化複合材料のメゾメカニカルシミュレーション

繊維・マトリックス・コーティング層の破断や界面剥離などのメゾ力学事象は材料内各所で生じ、お互いに影響を及ぼし合いながら、負荷ひずみの増加と共にその数を増し、材料全体の破壊につながっていく。したがってその理解と評価にはメゾ力学事象間の相互作用と集積の高精度実験評価法、および定量化に向けたモデリング・シミュレーション法開発が必要となる。そのため、メゾ構造が力学挙動を決定するプロセスを調べ、その結果を基に、「メゾ力学事象の素過程」-「メゾ事象間の相互作用、集積」-「マクロ特性」の統一的記述法の開発を目指している。有限要素法・シェアラグアナリシス法・モンテカルロ法を結合した新しいシミュレーション法を開発中である。

複合構造材料の力学特性

- (i) エネルギー・環境問題の克服に不可欠な超高温材料として実用化が待ち望まれているセラミック融液成長複合材 (MGC: Melt Growth Composite) や SiC 繊維で強化した SiC 基複合材料 (SiC/SiC 複合体) などを対象として、メゾ構造が耐酸化性、引張、曲げ、疲労、クリープなどの特性に及ぼす影響を調べている。また、自動車鋼板として広く用いられている金属間化合物で表面をコーティングした鋼板では加工成形時にコーティング層の破壊・剥離が問題となることから、そのメカニズムを実験的に調べ、有限要素法などによる応力解析を行っている。
- (ii) 複合構造材では界面の力学応答が特に重要な役割を担うが、これまで提案されてきている実験的評価法・解析手法は一長一短があり、普遍的手法の開発が必要となっている。新実験手法として双繊維せん断試験 (Couple fiber shear test) 法を提案し、基礎データを収集中である。また解析は異材界面端における熱応力の特性を応力強さの概念から検討をすすめており、特異性の発生条件・応力分布形態の記述・予測法を開発中である。

超伝導複合材料の力学挙動と超伝導特性の相関

超伝導材料の臨界電流、上部臨界磁場、臨界電流はひずみに敏感であり、実際に作製・使用時には機械的・電磁気学的 (ローレンツ力) な応力環境におかれるため、力学的挙動と超伝導特性の把握とそれに基づく力学的見

地からの運転時の信頼性・安全性・耐久性の確保が必要である。この材料は一方繊維強化複合材料と同じ構造であり、力学的性質は超伝導フィラメントの破断や安定化銅の微視的裂形成といったメゾ事象の集積で決定され、その結果、超伝導特性も大きく変わる。当分野では、メゾメカニクスの見地から、材料工学・超伝導工学・機械工学の学際領域に位置する「超伝導材料のメゾ構造-力学応答-超伝導特性の相関評価とモデリング」とそれを利用した「力学的見地からの超伝導複合構造設計」への応用を目指している。

多相合金材料の表面・界面組織制御のためのシミュレーション技法の開発

実用多相合金の組織設計において、メゾ-マクロスケールでは熱力学モデルに基づく設計が進んでいるが、ナノ-メゾスケールでのモデリングでは離散-連続体モデル、パラメータ設定手法などにおいていまだに多くの課題が残されている。アルミニウム基合金において粒界 PFZ 制御は材料のプロセス制御上重要であるが、現在のところ、その組織制御の微視的キーパラメータが何であるかを実験的に解明する手法、モデル化するシミュレーション技法は、ともに十分な状況にない。そこでモンテカルロ法を利用したナノスケールの離散型微視的組織形成モデルとナゾスケールでの連続体熱力学モデルとのハイブリッド化により、置換型合金材料における表面・界面での組織形成の支配要因の検討のためのシミュレーションを比較的広い空間領域にわたっておこなう試みを進めている。また、この手法に対応する実験的なアプローチの一つとして、表面近傍の相変態過程の反射配置での小角散乱実験によって表面から数十から数百ナノメートルの深さでの組織形成過程を調べるための予備実験を放射光を利用して進めている。

半導体ナノドットの構造評価

格子定数の異なる半導体を基板上にエピタキシャル成長させると、その成長条件によって数ナノメートルのサイズを持つ 3 次元アイランド構造が形成される。自己組織化ナノドットを利用したデバイス設計は近年盛んに研究されている。このようなナノドットは、リングラフによるプロセスでは到達が出来ない微細な構造を大量に作成することができる反面、成長様式に固有のドットサイズ分布、界面の相互拡散、歪の不均一分布などの特徴を持ち、これらの評価は成長制御ね構造設計とデバイス設計に必須の情報である。X 線散乱による構造解析は、キャップ層中に埋めこまれた場合でも評価が可能であるという点で走査プローブ顕微鏡法にない特徴を有する。放射光を利用した散漫散乱測定によって、Ge/Si 系の材料を例としてナノドット構造解析手法の開発と、その構造制御機構の解明に取り組んでいる。

教授 落合庄治郎
助教授 奥田 浩司

会 報

工学研究科教授 志賀正幸先生は停年退官された。



志賀正幸先生の御略歴

志賀正幸先生は、昭和36年3月京都大学理学部化学科を卒業後、京都大学大学院理学研究科修士課程化学専攻を経て、同39年3月京都大学大学院理学研究科博士課程を退学、同年4月に京都大学工学部助手に採用されました。昭和42年3月には京都大学より理学博士の学位を授与されています。その後、同54年10月京都大学工学部助教授、平成元年3月京都大学工学部教授に昇任され、工学部金属加工学科金属物理学講座を担当されました。同8年4月には大学院重点化に伴い、京都大学大学院工学研究科材料工学専攻材料物性講座量子材料学分野を担当されました。平成14年3月に定年退官され、同年4月に京都大学名誉教授になられています。

先生は金属・合金の磁性に関する実験研究の分野において、わが国を代表する研究者の一人に数えられるほどの多くの優れた研究を行われました。なかでも磁性合金の格子定数の組成依存性に始まる磁気体積効果については、バンドモデルによる定性的な説明を与えるとともに、多くのインバー型合金や金属間化合物を発見するなど、独創的な研究をされています。また、メスバウアー効果

の磁性合金への応用、Cu中に整合析出させたFeの磁性の研究、希土類マンガ化合物に見られるフラストレーションの研究などは国内外で高く評価されています。これらの研究成果は263篇の欧文論文、12篇の解説記事、7冊の著書に発表されました。

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り、多くの人材を育成し、京都大学極低温研究室協議員、放射性同位元素等管理委員会委員、工学部放射線障害防止委員会エックス線部会長等を務められました。学外においては二度の日本金属学会評議員の他、日本鉄鋼協会・日本金属学会関西支部常任理事、支部長、顧問を務め、学術行政に尽力されました。また名古屋大学工学部の他多くの大学で非常勤講師を勤められ、海外においても平成7年5月にはザコパネ夏の学校に講師として招待されました。海外の多くの国際会議においても組織委員を務められるとともにわが国の代表として出席されました。平成8年9月遷移金属の物理国際会議においてはプログラム委員長として会議を主宰されました。

(和田裕文)

志賀正幸先生の御退官に寄せて

吉 村 一 良

志賀先生に初めてお会いしたのは、私が金属系教室の4回生になるときに卒業研究を行うため、中村陽二先生の研究室に配属になった時ですから、時の経つのは早いもので今から22年ほど前になります。当時、志賀先生は中村先生の研究室の助教授をされていました。私は、中村研の助手をされていた隅山兼治先生（現名工大・教授）について卒業研究を行いましたので、大学院に進むまでは志賀先生とは雑誌会で一緒にいる程度でそれほど関わることはなかったように思います。志賀先生との関わりが多くなったのは、修士課程に進んでからで、すぐに志賀先生が担当されていた大学院の講義「磁性物理学特論」がありましたし、ゼミでも磁性の「院ゼミ」のチューターを志賀先生が担当されておりました（ゼミなどの企画では、私の1年先輩だった和田さんがリーダーシップをとっておられたと思います）。私は、修士論文のテーマとして核磁気共鳴を用いた RMn_2 の遍歴電子磁性の研究を行いました。核磁気共鳴のテーマ自身は、当時、博士過程を終わられ博士号を取りポストドクとしてアメリカのピッツバーグ大学のウォーレス教授の研究室に行かんとおられた広沢哲さん（現・住友特殊金属）に指導して頂いて装置を引き継いだばかりでして、今思うと右も左もわからない状態でした。このテーマ自身は中村先生に直接指導してもらった研究ですが、色々中村先生にうかがうのも恐れ多く、志賀先生がこのテーマに非常に興味を持って研究を進めておられましたので、志賀先生にご教授いただくことしきりであったと記憶しています。そうは言いますが、まだ磁性研究のかけだしと言うこと自体おこがましいような私でしたから、志賀先生に色々とうかがうことはやはり大変に恐れ多かったです。と言いますのも、諸先輩方から理学部出身で天下の大秀才の志賀先生の切れ者ぶりについて数々聞かされていたからでした。現在、私はその志賀先生が卒業された理学部・大学院理学研究科の教官になっている訳ですが、今でも志賀先生の優秀さについて、理学部化学教室でも語りぐさになっているほどです。

当時の志賀先生の思い出を少し書いてみたいと思います。中村研、志賀研の出身者なら皆さんご存じでしょうが、志賀先生はゼミなどでご自分の髪の毛を指でくるとやる癖がありまして、現在でも学会の時にされているのをお見受けします。そして、時々、居眠りをされているのですが、そう思って油断をしていると、その状態から鋭い質問が飛んできたり、学生の質問にお答えになられたり、いったいどうなっているのだろうと思うことしきりでした。「髪の毛をくるくるやると良いア

イデアが出てくるんやで」などと冗談交じりにおっしゃる先輩などいるくらいで、志賀先生のこの癖はなかなか印象深いものがあります。また、当時、志賀先生の大学院の講義「磁性物理学特論」は、非常に含蓄に富んだ内容で、量子力学に立脚した磁性と、後半は核磁気共鳴、メスbauer効果といった磁性研究のミクロな実験手段についての内容だったと思います。実は、現在、私が担当しております理学研究科での講義「無機構造論」と「化学固体電子論」は、先生の大学院の講義の内容を拝借し、発展的に膨らませたものになっています。先生は物静かな、しかしひょうひょうとした独特の語り口で講義されていたのをはっきり覚えています。先生のおっしゃること一言一句漏らさずに聞いて何とか志賀先生のようにになりたいと思ったものです。実験結果に関してディスカッションをしても、難題をいとも簡単に理路整然と片づけ、次々と出てくるアイデアの数々。これまでこのような先生に出会ったのは、（私が直接指導して頂いた先生という意味では）志賀先生の他には、現在、物性研の教授をされている瀧川仁さんぐらいいでしょうか。ともかく私にとって、志賀先生は学問・研究におけるヒーローの様な存在だったと言っても過言ではありません。

私はD3であった1985年夏にサンフランシスコで開かれた磁性の国際会議であるICM'85に志賀先生と一緒に出席しました。確か、カリフォルニア大学サンフランシスコ校の宿舎で先生と同室であったと記憶しています。会議の最後の頃に、私の家内がサンフランシスコにやってきました半年遅れの新婚旅行を楽しんだのですが、サンフランシスコからグランドキャニオンまで志賀先生と高梨君（私の同学年の友人で、当時、東大物性研安岡研のD3）が一緒でして、大変楽しい旅であったことを今でも印象深く覚えています。高梨君はその後、ラスベガス、ロサンゼルス、サンタバーバラと一緒にした。この旅行は私にとっても家内にとっても本当に感慨深く思い出に残っています。「新婚旅行についていくなんて」とおっしゃった人も居ましたが、私にとってはあこがれの志賀先生と、親友の高梨君と旅行を一緒にしたというのは身に余る光栄で、また本当に楽しいものでした。私の家内は、初めて研究者の習性に触れた訳ですが、それでも志賀先生が当時はやり始めだったハンティングワールドを奥様に頼まれていたことを目ざとく見つけていて「大先生も奥様に対しては普通の人と一緒ねえ」と漏らしていたのを昨日のように覚えています。

私は、博士を研究指導認定退学してすぐ、1986年4月に助手として福井大学に移りましたので、その後は、志賀先生には直接コンタクトをおとりするという機会は減った訳ですが、学会の折りや何かにつけて志賀先生には色々研究の議論をして頂き、お世話になってきまし

た。思えば、私は当時非常に盛んに研究が行われていた遍歴電子磁性研究のまっただ中において、スピンの揺らぎの理論の完成に実験的な側面から直接関わられた訳ですが、これはひとえに当時の中村研で志賀先生が展開されていたラーベス相化合物の遍歴電子磁性の研究に参加したからです。私は、福井大の応用物理に移ってからは、目片守先生の助手として遍歴電子磁性の研究やf電子系の価数転移、高濃度近藤効果といった研究を押し進めながら、更に目片先生のご専門であったフラストレーションスピンの研究も行うようになっていきました。現在、私は遍歴電子系でのスピンフラストレーションの研究を中心に行っていて、昨年にはパイロクロア格子というフラストレーション系で初めて超伝導体を見つけたのですが、これは、(大袈裟に言いますと)まさにこのような歴史的背景があるお陰なのだと痛感する次第です。志賀先生もここ数年間はフラストレーション系に興味を持たれ、遍歴電子とフラストレーションの関係を研究されてきていますが、そんな興味の共通点にもやはり志賀先生は私の師なのであるなあと言う感を強く致しております。

恩師の中村先生、志賀先生は理学部化学教室(金属物性学研究室、略して金物)から来られましたし、福井大応用物理の助手時代のボスである目片先生も、中村先生、志賀先生と同じ理・化の金物出身、というわけで、私が現在、理・化で教授をしているのもこれらの諸先生方と切っても切れない関係から来ているのだと思います。ちなみに現在の私の研究室の名前は無機物性化学研究室ですが、この名前は大学院の重点化に伴って、新しく付けた名前です。昔の名前は「金相学研究室」、略して金相といい、金物の隣に在りまして、金物とは親戚筋に当たる研究室です。私の先代の教授は昨年3月に退官された小菅皓二教授で、志賀先生とは理学部で同級生だということです。ちなみに、化研教授で志賀先生と同じに退官された新庄輝也先生も理・化で同級生、元東大物性研教授でご退官後、原研先端研センター長になっておられる安岡弘志先生(私の物性研時代の恩師です)も京大理(物理ですが)の同期だそうです。そんな訳で、親戚筋でもともかく理・化に私が戻ったというので、中村先生も志賀先生も喜んでくださり、私は大変感激致しましたことを覚えております。ついでに書きますと、金相というのは英語で言いますとmetalographyといいまして、それを昔の漢文ができる大先生(近重先生か岩瀬先生か?)が金相学と翻訳されたもので、それがいにしえとは逆に中国に伝わり、現在、中国では金属学全般に冶金学というよりもむしろ「金相学」と呼ばれているらしく、由緒正しい名前であるわけで、いつかまた研究室名を「金相学」と戻したいと思っております。

志賀先生のご退官に寄せて文章を書くつもりが、なんだか自分の昔話を書いてしまっているのはなはだ恐縮ですが、それだけ私の研生活と志賀先生の存在とは縁が深く切っても切れないということだと思えます。私の研究・教育スタイルは知らず知らずのうちに多くの先生がたの影響を受けているわけですが、自分なりに振り返って見ますと、どうもその中でも特に志賀先生をまねしてやってくるような気がします。中村先生によると私は志賀先生に似ているのだそうで、非常に光栄に思っております。研究者・教育者として志賀先生のようにになりたい、という気持ちが強いのではないかと思いますし、そうなれば本望です。これからもおそらく、何かにつかつた時には、あのと志賀先生はどうしたかなあ、とか、こんなとき志賀先生ならどうするかしら、と思いつ返しに違いないと思えます。志賀先生、これからも益々お元気で、我々後陣を配するものを見守って頂きたいと思えます。また、時には思い出深い理学部にも足をお運び頂きたいと思えます。

(京大大学院理学研究科化学教室)

志賀正幸先生のご退官に寄せて

榎 田 顕

志賀正幸先生のご退官にあたり、先生にお世話になった者のひとりとして在学中の思い出を記したいと思えます。

私は、1983年(昭和58年)に中村陽二教授の研究室に配属され、修士課程を修了するまでの3年間中村研にお世話になりました。当時の志賀先生は助教授で、今では取り壊されてしまいましたが、時計台横の金属系の建物の2階にあった日当たりのよい角部屋に居を構えておられました。志賀先生のお部屋(我々は志賀部屋と呼んでおりましたが)は、南西の区画に並んでいた中村研のいくつかの研究室や実験室のちょうど要(かなめ)の位置にあり、先生方や学生達が何かにつけて集うにぎやかな部屋でした。私にとっても、修士課程の2年間学友と机を並べた思い出深い場所です。志賀先生がお仕事をされる机のすぐ脇にはテーブルと椅子があり、雑談やゼミに使われていました。毎日午後1時前になると、中村先生をはじめ研究室のスタッフの先生方や、時には学生も加わって、コーヒーを片手に雑談をする習慣でした。志賀先生はいつも寛いだご様子でコーヒー談義に加わっておられましたが、あまりご自分から進んでお話をされることは少なく、静かに皆さんの話を聞いておられる風でした。このコーヒータイムには他の研究室の先生方も加わることが多かったのですが、なかでも小林紘二郎先生(現阪大教授)は常連客のお一人で、いつも楽しいお話

を聞かせていただきました。このように、多くの方々が集まって来られたのは、部屋の主である志賀先生が誰でも受け入れる寛容な心をお持ちだったからではないかと思えます。

志賀先生のゼミの時間にはこの同じテーブルが学習の場となりました。量子力学の基礎を教えていただいたり、相変態と臨界現象のゼミというのもありました。あるとき、私が輪読の当番に当たっていたゼミの予習が充分にできないまま本番に臨んだことがあります。先生は私の準備不足をすぐさま看破され、「下調べができてないなら今日はやめとこか」とおっしゃって流会になりました。先生はこういうときにも決して声を荒げたりはなさらないのですが、静かに毅然となされた宣告がかえって身にしみ、先生やゼミの仲間に対して申し訳ないことをしたと深く反省されました。こんな私が言うのも変ですが、学生生活の間に専門の勉強を最も真剣にやったのは志賀先生のゼミにおいてでした。また、先生は学生への指導を通じて実験家のあるべき姿というものを伝えようとしておられたように思います。先生のお言葉によれば、研究者には「理論のひと」と「実験のひと」がいて、互いに補完し合っている、実験家といえども理論の本質をよく理解しておかねばならない、よい実験は理論を越えるものである、等々。先生の数々のご業績はまさに実験家の面目躍如たるものでした。メスパワー装置の置いてある部屋で測定の進み具合を点検する先生のお姿（それはワイシャツの上にベージュ色のカーディガンを羽織ったおなじみのスタイルでしたが）はいつも楽しそうでした。

私は社会人になってからも企業研究者として磁性材料に関わり続けてきました。志賀先生がゼミの時間にホワイトボードに書いて説明して下さった数式の多くは申し訳ないことにきれいに忘れてしまいましたが、先生の教えを通じて学んだものごとの考え方や研究者としての心構えなどは今でも仕事を進めていく上でのより所となっています。志賀先生はまたオーディオをはじめとする多彩な趣味をお持ちで、その研究成果や磁性の基礎講座などをご自分のホームページで紹介しておられます。ご退官されてからの最近のホームページの充実ぶりには目を見張るものがあり、時々チェックするのが楽しみです。これからも奥様とお二人で充実した毎日を過ごされますようお祈りしながら筆を擱きます。

(住友特殊金属株式会社)

志賀正幸先生のご退官に寄せて

光 田 暁 弘

私が志賀先生に最初にお目にかかったのは、確か二回

生向けの講義「金属学概論第2」だったと記憶しています。先生の講義は固体物理学を中心として量子力学、熱統計力学の内容を含んでいて、初学者にはややとつきにくく、また数式も多く登場してなかなか歯ごたえのあるものでした。かくいう私も講義内容をすぐに理解できず、先生が講義の初めに配布されたテキストを何度も読み返し、宿題の演習問題を解きながら勉強していったことを思い出します。このテキストは、志賀先生が自らワープロで入力し、お絵かきソフトで自ら描かれた図もふんだんに盛り込んである力作だと改めて思っています。当時はまだMS-DOSの時代で、先生は確か一太郎と花子を使われていました。現在のWindowsの時代に比べるとまだまだパソコンの性能が発展途上中の時代で、大学理系の講義テキストを作るには性能不足だったことをうかがわせます。シュレーディンガー方程式のハミルトニアン H やプランク定数 h を 2π で割った定数は、先生自ら外字エディターを使ってフォントを作成されたことがわかります。また、当時のプリンターはドットインパクト方式で解像度も低く、文字も図もギザギザしています。ですが、これが逆にこのテキストの手作りの味わいと作り手の親近感を醸し出していたように思います。重要な箇所には「重要!!」や「記憶せよ!!」の言葉を並べて読み手の注意を促したり、固体物理学と実用化されている材料との関連について触れられたり、先生の工夫の跡が随所に見られます。私自身、今でも復習のため読み返すことがあるのですが、要点が簡潔に押さえられていて、キッテルの「固体物理学入門」の横にいつも置いて活用させてもらっています。おそらく当時の金属系学科の先生が作られていたテキストの中でも1、2位を争う力作であったと思います。

4回生になって志賀研究室に配属されて、まず最初にお世話になったのは磁性ゼミでした。そのゼミ中に卒業アルバム用の写真を撮ることになり、カメラマンの注文に応じていろいろなポーズをとることになりました。先生は私との2ショットの中でテキストを指差しながら個別指導をしているポーズをとることになりました。いざ撮影の段になって、私は一生懸命先生の指導に耳を傾けるポーズをとっていると、個別指導のポーズをとる先生の口から聞こえてきたのは「むにゃむにゃむにゃ」という意味不明の言葉でした。私を含め一同大笑いになり、実際のアルバムでは笑いをこらえながら指導を受ける不届きな学生を演じる羽目になってしまいました。このアルバムを見るたびに先生のユーモア溢れる人柄が思い出されます。

研究においては、特に実験結果の考察について有意義なご提案を数多くして頂きました。実は、私がポストクとして在籍した東京大学物性研究所の助手の方からも

「私の投稿論文のレフェリーに当たったのが志賀先生で、非常に建設的なコメントを頂き大変参考になりました。」と伺いました。研究室を卒業後に在籍したこの研究所は、全国から多くの研究者が訪れ、盛んに共同研究や研究会が行われるところでした。私の自己紹介をするときに志賀研の出身であること伝えると、私の出来不出来にかかわらずいくらか良い印象を持ってもらえたように思うのは、志賀先生の研究者としての実績、人柄が相まっつてのことでしょう。その甲斐あってか、私はこうして富山の地に助手として赴任することが出来ました。

先生が退官されて半年後の学会で先生をお見かけしました。退官される前と全く変わらぬご様子で盛んに質問されていました。今後も我々の指導をしていただけるものと期待しております。日本海と立山連峰の眺めが美しいこの地から、先生への感謝の意を表明し、先生のますますのご健勝とご活躍をお祈りしております。

(富山大学理学部物理学科)

志賀正幸先生から受けた教育

西谷 滋 人

私は残念ながら、今春退官された志賀正幸先生の研究室でお世話になったわけではなく、また協同研究で議論させていただいた覚えもあまりありません。でも志賀先生から受けた学生時代の教育からは、本人は気づいておられないでしょうが、私の今の教育・研究手法を決定するいくつかの重要な指導をいただいたつもりです。水曜会の編集委員会からの原稿依頼を機会に、志賀先生の思出を綴らせていただきます。

教養の2回生の時(1980)に、化学の講義があった。内容は一年生のレベルから突然難しくなって、量子力学。講義は化学系のクラスとの合同だったので、きっとこの程度のレベルは必要なのだろうぐらいに考えていた。しかし、いくら講義を聞いてもわからない。そこで同級生の小山君に相談すると、「何ゆうてんねん。あの先生は金属の先生で、めっちゃめっちゃえらいねんぞ。」と言う話。そこで夏休みを前に意を決して、講義が分からないのでどう勉強したら良いか教えて欲しいと聞きに行った。すると、指で頭を掻きながら、大岩正芳氏の初等量子化学という教科書を「わたしもこれで勉強しましたから」と推薦いただいた。それが志賀先生と話した最初。その本は、もちろん本棚に飾られたままになったが…

3回生になると専門で実験が始まった。当時は週3午後で、テキストや内容、演習課題も豊富で少人数でびっちりとは絞られた気がする。そのなかにコンピュータで炉を制御するという異色の課題があった。担当教官が志賀先生。また分からなくなるのだろうなと思ったら…。案

の定、論理回路と機械語の説明で、やっぱりちんぶんかんぶん。ところが初日が終わった後、演習課題を家で眺めていると、これが何となく解ける。おおそうか。コンピュータというのはこうして動いているのかと、大学の講義で初めて『分かる』という感覚を体験した。当時(1981)はPC-8001やFM-8がでた直後ではあったが、私の程度の学生はBASICやFORTRANなどの高級言語しか知らなかった。そんな時代にその課題は、ワンボードマイコン(TK-80だと思っていましたが、MITEC-85Aだそうです)でマシン語を動かして、デジタル-アナログ変換とフィードバック回路を組み合わせて炉の温度を制御するという内容。当時としてはかなりマニアックであったろう。しかし、いまでもパソコンの動作原理を数コマの実験演習で教えるには最適な課題。プログラムミスで温度が上がりすぎて、家原技官にこっぴどく怒られたような…。

修士の時(1984あたり)に、志賀先生がゼミの院生向けに主催していたスタンリーの「相転移と臨界現象」の輪読会に参加した。部屋が志賀先生の隣で、急冷凝固を研究していたので相転移という言葉に引かれての参加だった。しかし、すぐに出てきたのが臨界指数や平均場理論。なんのこともだちんぶんかんぶん。数式を一つ一つ導出する予習が必要で、詰めが甘いと志賀さんに突っ込まれる。最後までゼミには参加したが残念ながら何も理解できず。

このまま大学から離れていたら、志賀先生の思い出というのは1勝2敗ぐらいで終わっていただろう。ところが、縁があって大学に残った後は、志賀先生の教えに多いに助けられた。今、私は計算材料学を専門としているので計算機は必須だし、量子力学と相転移の理論を道具として使っている。これらは驚くなかれ、私にとっては志賀先生とのかかわりの深い内容ばかりである。残念ながら志賀先生からじかに教えを受けたときにはほとんど理解できなかった。本当に役立ったのは、わけの分からない問題に対応する手法について受けた手ほどきである。実際、英国のDavid Pettiforのところへ留学して理論物理学的な仕事をはじめたが、このときの日々の研究はまさに志賀ゼミで要求された、数式を一つ一つ導いて理解していくという作業であった。

志賀先生のキャラは材料あるいは旧金属教室では異色ではあったろう。しかし、オタクっぽい京大の学問の伝統、その一つの形を当学科で具現化するという重要な役割を担われていたのだと思う。こういう世界に触れることができ感謝している卒業生は、私だけではないと思います。

(京都大学材料工学専攻)

平成 14 年 度 水 曜 会 大 会

日 時 平成14年6月22日(土曜) 10:00~16:00

会 場 午前 京都大学本部 旧資源系教室, 旧金属系教室
午後 京大会館

平成14年度水曜会大会は6月22日(土)に開催された。午前中は、京都大学本部構内の旧資源系教室ならびに旧金属系教室において、研究室見学会が行われた。午後からは会場を京大会館に移し、懇親会、記念撮影、総会および特別講演会が行われた。本大会の参加者は約80名であった。

懇親会は、京大会館101号室にて12時15分よりおよそ1時間開催された。栗倉泰弘教授の司会のもと、まず花崎紘一教授の開会の挨拶があり、次いで近藤良夫名誉教授の音頭で乾杯が行われた。会は終始和やかな雰囲気であった。

ロビーで恒例の記念撮影が行われた後、会場を210号室に移し、13:40より総会が開かれた。総会は田村剛三郎教授の司会で議事が進行され、まず、花崎紘一会長から平成13年度の事業報告がなされた。次いで芦田讓会計幹事から会計報告、村上正紀会計幹事の代理として花崎教授から監査報告がなされ、いずれも承認された。続いて、次期会長の推挙がなされ、新会長に長村光造教授が選出された。長村新会長から就任の挨拶と抱負が語られ、総会は終了した。

引き続き、特別講演会が開催された。本年度は次の2つの講演が行われた。

「金箔から電解銅箔まで—京都の金箔屋の300年の歩み—」

福田金箔紛工業(株) 社長 福田 健 氏

「資源開発におけるコンサルタント」

三井金属資源開発(株) 社長 中澤 保延 氏

これらは記念講演として本誌に掲載されているが、福田氏は創業1700年の老舗の歴史に沿って、伝統的な金箔の製法から、現在の銅箔の製法について講演された。中澤氏はコンサルティングの立場から資源開発の現状と展望について講演された。これらの講演はいずれも、非常に興味深く、参加者は熱心に傾聴した。平成14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。

平成 13 年 度 水 曜 会 会 計 報 告

平成14年 3 月31日現在

| 収 入 | | 支 出 | |
|----------------|-------------|---------------------|-------------|
| 前年度繰越金 | 12,565,693円 | 会誌印刷代（製版・郵送料込） | |
| 会費 | 3,706,000 | 23巻4号 | 2,967,934円 |
| 会誌広告掲載料（製版代込） | | 印刷代（封筒他） | 47,775 |
| 23巻4号 | 40,000 | 水曜会大会経費（平成13年6月16日） | |
| 会誌論文別冊代 | 37,275 | 案内状発送関係 | 815,260 |
| 名簿売上 | 48,160 | 懇親会・総会 | 370,154 |
| 水曜会大会懇親会費 | 229,000 | 編集委員会経費 | 156,830 |
| 預金利息 | 8,020 | 会誌原稿料 | 216,000 |
| | | 通 信 費 | 57,273 |
| | | 事務人件費 | 460,960 |
| | | 文具，コピー代等 | 26,542 |
| 収 入 合 計 | 16,634,148円 | 小 計 | 5,118,728円 |
| 上記の通り会計報告致します。 | | 次年度への繰越金 | 11,515,420円 |
| 平成14年6月22日 | | 内訳 銀行普通預金 | 1,350,839 |
| 会計幹事 芦田 譲 | | 銀行定期預金 | 10,000,000 |
| 以上の通り相違ございません。 | | 郵便振替預金 | 65,456 |
| 会計監事 村上正紀 | | 手持現金 | 99,125 |
| | | 支 出 合 計 | 16,634,148円 |

会員消息

にくまれ会 別府開催の記 (昭和29年冶金学科卒クラス会)

にくまれ会も道後温泉、函館についで、今回は九州地区が担当。平成14年5月14日、別府ホテル清風で午後7時開宴。13名参集。ゴルフ組(6名)は、前夜新日鐵別府寮に泊り歓談。当日午前、大分カントリークラブでプレーしたのち、ホテル清風へ合流。

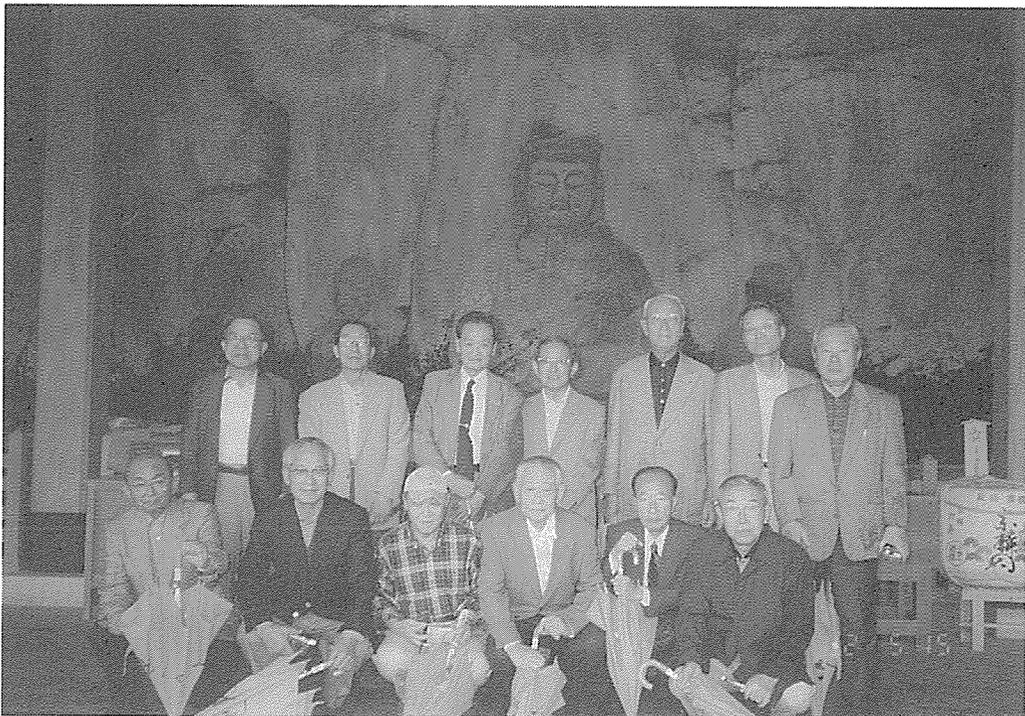
50年前に戻って笑いを交えながら談論風発。今の世情を憂いつつも悲憤慷慨まで至らなかったのは、自分達はやってきたという自負とゆとりがあるからだろうか、議論にも含蓄と味が出てきた感がある。ただ酒量が想像以上に少なくなったことに驚く。

今年は桜の開花以降、天候がすべて2週間前倒しとなり、好天を期待したが翌15日の観光は強雨となった。臼杵の磨崖佛参観。山あいの里に鎮座する4群59体の

磨崖佛は、平安後期～鎌倉の彫像ですべて国宝。大日如来像も仏頭がつながっている。榎本君の解説によれば、大正2年天沼倅先生のご父君(元建築学科教授)が、小川琢次教授に同道されて「臼杵石仏調査報告書」をまとめられた由。ついで、滝廉太郎、田能村竹田の故郷である豊後竹田のふるい町並み、古色豊かな但馬屋で「栗おこわ」の昼食。

ここまではまだよかったが、久住高原、飯田高原に入るにつれて雨脚は強くなり、まったく視界がひらけず。ベテランガイド嬢が阿蘇五岳、久住連峰、祖母・傾山系とみやまきりしまの群落を思い浮かばせようと、思いっきり語ってくれた。みな想像を逞しくしながらよく我慢してくれました。

こうして印象深いクラス会となったが、一同名残を惜しみながら、次回(平成16年、卒業50周年)京都近郊での再会を約してJR杵築で散会。(幹事:田中 記)



臼杵石仏 大日如来像前にて
後列左より 田中、青木、三浦、江崎、小島、大久保、小森
前列左より 岩鶴、松岡、信枝、川島、横田、榎本

昭和51年金属系学科入学者同窓会

平成13年10月13日(土)に昭和51年金属系学科入学者の同窓会を行った。同窓会は普通卒業年次で行うものであり、当初は「55年卒業」の同窓会を予定していたが、同じ年に入学しながら卒業の遅れた人、途中で転学した人にも声をかけたところ、幸いにも参加をいただき、結局共通項が「51年入学」となってしまった。われわれは今回が初めての同窓会であり、25名が日本各地から駆けつけてくれた。当日は希望者のみに大学の見学会を行い、工学部の6号館と物理系校舎および総合校舎を見学した。鈴木助教授、田中助教授、古原助教授には研究室を案内していただいた。また途中で長村教授、牧教授、富井助教授にお会いし、大学の現状についてお話していただいた。お忙しいなか時間を割いていただいた先生方に厚く御礼を申し上げます。最近では大学にも新しい建物がどんどん建っているが、多くの卒業者にとっては

自分が学んだ工学部6号館の見学が一番楽しかったようである。その後京大近くの河道屋養老に集合し4時から懇親会を行った。入学以来四半世紀が過ぎたが、当日はそこだけ20年前にタイムスリップしたようで、思い出話やそれぞれの近況報告は尽きることなく、会場のご好意もあって7時半まで楽しい一夕を過ごすことができた。なお住友電工(株)の矢敷哲男君のご尽力で、京都大学工学部金属系学科51年度入学同窓生の無料のホームページを<http://isweb37.infoseek.co.jp/photo/tyashiki/index.html>に開設した。詳しい同窓会の写真はこのページに掲載されている。また同窓生のためのメーリングリストもつくり、今後の連絡や同窓生の消息情報などを流している。登録を希望される方は和田(wada@mtl.kyoto-uac.jp)までご連絡下さい。メーリングリストが充実し、次回同窓会にはもっと多くの方が参加されることを期待している。(和田 記)



27会卒業50周年記念京都大会

昭和27年鉱山学科を卒業した31名は、27会と称して、節目の年にクラス会を関東・関西交互に開催している。今までに9名の方が亡くなり、クラス会に出席する人数は歳とともに減ってきている。最近では、奥様同伴可と

し、2年に1度の開催頻度となっている。

今年は卒業50周年目に当たるので、大学時代の思い出深い京都で開催する事となり、京都在住の堀池、岡村、寺田の3人が幹事役となり、会員の希望や、京都の行事を考慮して、平成14年5月15～16日に開催、第1日目は桂離宮の見学あるいは葵祭りの参観等、夕方、料理旅

館「菊水」に全員集合して懇親会と宿泊、第2日目は保津川くだりを行う事とした。

桂離宮の見学は宮内庁の規則により団体見学ができないため、希望者13名を4班に分け、それぞれ時間をずらして見学した。また、葵祭り参観や京都名所訪問は各自自由にした。

「菊水」は南禅寺境内にあり、元呉服屋主人の別荘だったそうで、広くて美しい庭があり、味では定評のある京料理旅館である。当日は全館借り切りとなり、女将を始め、支配人、板場、仲居、総がかりのサービスを受ける事ができた。

「菊水」に集まったクラスメートは13名、同伴の奥様8名を加えて、大広間でまず写真撮影の後、京会席料理に舌鼓を打ちながらの懇親会が始まった。我々はすべて70歳を過ぎ、功成り名遂げて、第二の人生を歩んでいる者ばかりであるが、50年前の学生時代が昨日のように蘇えり、昔の面影を思い浮かべて懐かしく、懇談に

花が咲き、時の経つのも忘れてあつという間にお開きとなくなってしまった。その後、話の尽きない者が別室に集まり、さらに談笑の時間をもったが、その際、これから毎年27会を開催しようという事になり、来年春、砂田君が幹事となって、福島県の岳温泉で開催する事が決まった。

翌日、朝9時過ぎ、旅館を出発、地下鉄とJR山陰線を利用して亀岡まで行き、保津川峡谷の美しい景観を眺めながらの舟くだり1時間30分を楽しんだ。雨上がりで水量の多い急流の早瀬では、船が上下・左右に激しく揺れ、大量の水しぶきをあびて、思いがけず嬌声を発する事も屢あったが、軸先と艫で舟を操っている船頭の巧みな竿・櫂捌きにより、無事、昼食予定の嵐山・渡月亭横の下船場に到着した。

渡月亭では、特性の竹弁当と湯豆腐を賞味し、午後2時すぎ再会を約して散会し、京都大会を全部終了した。

(文責 堀池)



34年冶金・関東地区のミニ同期会

平成14年10月21日(月)、小雨がちでしたが、一時帰国中の星野義夫くん(在オーストラリア)と京都から上京中の山本龍太郎くん(東京での写真展に出品のため)のお2人を囲んで、関東地区在住の同期生が、久しぶりで

に集まりました。場所是有楽町、11時に、写真展の会場に集合して鑑賞したあと、近くのレストランで昼食会をしました。

参加者は、枝徹也くん、斉藤晟くん、松井正治くん、山本亮二くん、村上雅昭くん、それに、星野義夫くん、山本龍太郎くん。そうそう、私・熱田善男もです。計、

8名になりました。

皆、とても、お元気なようすで、いろいろ話題が弾みました。参加者だけでなく、大阪は豊中市の森田有彦君とは電話で話ができて、携帯電話のおかげ、とても感動

的でした。昼食会は2時近くまで続き、心から旧交を暖めて、たいへん好ましい会でした。お開きにして外へけると土砂降り、何か印象的でした。（熱田善男 記）



冶金学科卒業50周年記念同窓会

私達は昭和27年に卒業しましたので、七水会との名称で関西在住の同窓生が一年に3～4回京都、大阪、神戸近辺で、水曜日の昼に集まって歓談するのを楽しみにしています。今年は丁度卒業50周年になりますので、日頃会えない首都圏在住の諸君にも呼びかけての記念同窓会を開催しました。今回は平成14年5月22日の水曜日昼、京都の都ホテルで同窓会を開催した後、50年ぶりに大学を訪問しました。東京から今も都会議員として活躍中の田中晃三君と上田喜三郎君、名古屋から久野安夫君の参加をみて、2人のご夫人を含めて総勢15名の賑やかな意義深い同窓会が開催できました。会食しながらの話題としては、若い頃は専ら会社での仕事のことに集中していましたが、今ではどうしても病気と健康のこ

とが多くなりがちです。ただ出席者はまだまだ意気軒昂で話題が多く予定の時間に収めるのに大変苦労しました。大学では粟倉教授の丁寧な冶金学科の変遷、現状についてのご説明に引き続き2～3の研究室を案内していただきました。全く浦島太郎のような感じで最新の研究内容、研究設備に驚嘆するばかりでした。

写真は旧冶金学科がある現在の物理工学教室玄関前から改装中の時計台をバックに出席者一同で写したものです。

(前列) 左から久野安夫、川端保男、田中夫人、柚山昭夫、幸塚善作

(中段) 大辻久男、田中晃三、末正節夫、上田喜三郎、松田佑、松田夫人

(後列) 阿部隆三、赤松経一、松村昭、奥村昇

(ZK)



昭和33年冶金学科卒クラス会
(紀伊勝浦にて開催)

ここ10年ばかりは、毎年定例的に開催しているクラス会。今年は10月10日、名古屋在住の馬場が幹事で紀伊勝浦にて開催。例年に比べやや少なかったが12名が参集し一年ぶりの再会に楽しい時を過ごした。翌日は、那智の滝、西国1番札所青岸渡寺などを巡り解散。

クラス会史を作ろうかという話が出るほど毎年の開催が長続きしている理由は、関西地区と関東地区が一年交替に幹事を回り持ちで決めていること、次年度の幹事をクラス会開宴の幹事挨拶と不参加者の近況紹介の後、当年度の幹事が指名して(勿論本人の承諾が必要だがこれまで辞退したものは居ない)いることなどが挙げられるが、何ものにもましてお互いが同期の絆を大切にしていること、そしていうまでもなくそれなりに元気なものが多いということであろう。

今年も、呼び捨てや昔からの愛称が飛び交う賑やかな宴の後、天下国家を論ずる事から病の克服法、健康方法にまで及ぶ話を花を咲かせたり、好敵手と一年ぶりに烏鷲を戦わすものなど(こちらは腕よりも口の方が達者なのは学生時代と変わらない)、語らいは楽しく深更にまで及んだ。話題といえば昨年などは、家の中で誰が一番偉いのかなどという話も飛び出し、衆議の帰るところそれは「奥方殿」であるということになり、はからずも諸士の家庭の円満なることが判り同慶の至りという挿

話もある。

ところで、年毎に改訂している名簿に今年は大きな変化があった。勤務先欄が消えたことである。高度成長時代からバブルの崩壊に至る激動の時代を第一線に立って頑張ってきた嘗ての猛将・智将連も、なお何人かは現役で現下の厳しい経済情勢に向かい合っているものあるいは後進の指導・助言に当たっているものもいるが、大方は第二の勤めも終え家庭に帰ったことによる。

それに代わり登場したのが「Eメールアドレス」である。三年前の名簿から記載はしており、日常の交友・連絡・近況通信などに多に役立っていたが、今年からさらに全員に呼びかけ、差し支えない限り登録してもらうことにした。現在、登録者14名、利用率 $14/21 = 67\%$ は、我々の世代としては高いのではあるまいか。

翌日は、ここどころ恒例の近くの観光で、前述したとおり那智の滝、那智大社、青岸渡寺などを巡った。

赤レンガの教室から共に巣立った仲間の内、残念ながら5人が鬼籍に入ったことは哀惜の極みであるが、今、21人の旧友達は一芸に深く取り組むもの、多趣味に没頭するもの、地域の趣味のグループで新たな友を増やしているもの、晴耕雨読を専らにするものなど、それぞれに元気に日常を楽しんでおることは、お互い何よりも嬉しいことである。

来年は、九州在住の里見と高橋が幹事で、唐津あたりで玄海灘の美味しい魚でも食おうかと言うことになっている。多くのクラスメートが、相変わらぬ元気な顔を見せ

てくれるであろう。

締めくくりに、今回のクラス会の1 齣を文人松本洋祐が詠んだ一首を紹介して、クラス会の模様と近況報告を

終わることにする。

酔ふほどに白髪みだれ紅に萌ゆるもうれし紀伊の勝浦
以上 (昭和14年11月20日 記; 松本善文)



那智の滝の前にて

左から 谷井充 里見祥明 大谷四聰 上仲俊行 石部浩
松本洋祐 堀啓一 松本善文 馬場義雄 川口宜人
(高橋延幸と田中孝一は所用のため早朝帰郷)

二八会日光旅情記 (S28年冶金学科卒)

S28年冶金学科二八会は毎年クラス会を行い、今まで九州別府・北陸温泉、白川郷・京都嵐山・播州赤穂・四国鳴門と回を重ね、今回は日光で行う事になった。

未だ暑さの残る9月4日午後2時30分、JR日光駅に総勢17名が集合した。常連の梅田君は体調不良、倉知君は中国出張のため、車谷君は原因不明の欠席となったが、今回始めて四名のご夫人が出席され華やいだ旅行になったのは幸である。

ホテル専用のマイクロバスに同乗し、いろは坂を通過して華厳の滝に着く。藤村操の“巖頭の感”が想起される。更に中弾寺湖を左側に眺めながら美しいぶなの林と小笹の茂みの中を通過する。白樺も散見され、北口の気配が

感じられる。当日は曇りで男体山は雲に蔽われていたが、瞬間的に雲が切れ頂上が姿を表す。我々一行を歓迎してくれたのであろう。竜頭の滝(竜の頭に似てこの名前がある)を見学の後、奥日光湯元温泉釜屋ホテルに到着する。温泉の泉質は硫化水素系でゆで玉子の様な臭気放っている。入浴後懇親会に移る。四名のご夫人が出席され華麗な雰囲気醸し出される。渡辺君の日光に関する説明を聞き、その蘊蓄の深さに一同深い感銘を覚える。同君の説明によって旅行が益々面白く有意気になったのは確かである。日光名産湯葉を始めとする地元料理と地酒に舌つづみをうつ。話は青春に回帰し賑やかさを増す。一次会が終り席を移して二次会となる。町田君が二次会用に新潟の名酒“千寿一久保田”をわざわざ持参し、その美味を堪能する。この思いやりのあるヒューマニズムの精神こそが、纏りのあるユニークな二八会の原点にな

っているのである。感謝感激！

翌日バスで湯滝を見学する。湯滝は湯の湖に注ぎ冬でも凍結しない。次いで戦場ヶ原を散策する。「ほごきしもつけ」の花は8月末で散り今はその名残を止めている。最終の目的地東照宮に着く。東照宮、輪王寺、二荒山神社を見学する。世界文化遺産に登録されただけあって建築彫刻の豪華絢爛さに圧倒される。詳細に観察するには余りにも時間が短かすぎる。ただ案内人と寺側が結託して長過ぎる説話の後、物を売つけようとする商業主義にはうんざりさせられた。

帰途日光街道の杉木立を見学し、往事の日光詣を偲んだ。二日間の日光旅行は天候にも恵まれ、楽しく有意義に終り友情の絆を固める事が出来たのも、幹事役の渡辺・川島両君の絶大な努力の賜であり、その労苦に感謝しつつ帰途についた。

西村大先生が曾て二八会のクラスに対し「この学年程

出来の悪い学生は今までになかった。」と憤激されたとの昔話を旅行中に田山君が披露した。しかし旅行参加者の中でこの話を憶えているのは少数で、大多数は知らなかった。それは出席していなかったのか、或は出席していても忘れてしまったのか、いずれにしても不面目な話である。しかし助人が現れた。ノーベル賞受賞者小柴昌俊博士である。同氏の大学卒の成績は逆トツである。二八会員の成績は悪くとも落ちこぼれる事なく社会的責任を十分に果し、人生の終りをこよなく楽しみ、GDPの向上に寄与している。ノーベル賞もどきといえよう。

卒業生44名中8名はすでに泉下に眠っている。去りにし者達への懐旧の念は亡き者に対しては供養となり、生存する者にとっては残された日々を豊穡に充実して生きる糧になると思っている。想は京都における来年卒業50周年記念行事に飛んでいる。

(松浦記)



後列左より 青木司郎、松浦菊男、浅井浩實、川島文野夫人、安田雅子夫人、
城戸敏夫人、岩田孝子夫人、城戸敬一、松村嘉高、森田雄次
前列左より 高野重雄、岩田徳重、渡辺勝彦、町田朗、田山昭、川島禮、西村山治

会 員 通 信 欄

平成14年度水曜会返信葉書の通信欄を初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。

和田 正美（採鉱，昭6年）第二次大戦のドイツの復興はRnhr炭田によるとの話を知りました。資源工学の隆盛なくしては国家の安寧を期することは不可能と存じます。

新持喜一郎（冶金，昭12年）明るくさわやかに散歩を楽しむ専門書を読むこと漸くうすれてまいりました。

田中 俊夫（冶金，昭9年）老齢の為体調をくずしどちらへも失礼しております。

吉村 善次（冶金，昭12年）終焉が近づき、同期生存者は新持，向井，吉村の三人となり長く続いた昭和12年会も自然消滅した今日、適切な時間空間の使い方の必要性を痛感する様になりましたが、今まで技術以外には特に感心のあることや趣味に乏しく、毎日健康維持の目的にヨガと語学の復習に精を出しています。

公荘 惟成（採鉱，昭13年）ご盛會を祈っています。今のところ、恙なく過しています。

永田 正男（冶金，昭14年）何とか消日して居りますが頑張っています。卒業生冶金科13名（内中国人何名）殆んど死亡し残るは2～3名か？

高嶋 宏（冶金，昭15年）水曜会誌毎号楽しく読ませてもらっています。無理はできないが、何かとまだ生かされ、古き佳き時代を回想しながら、急変する現世を眺めながらあきれ且つたのしんでいる現在です。世の中すべてIT時代となっているが、発生している事故の原因の多くに「金属疲労」と「熔接部の欠陥」なる語がでてくると、昔の冶金教室での尊敬すべき恩師の講義を思い出します。水曜会の新会則の目的（第2条）の表現は変わっても当初からの榮ある伝統は永久に残ることを願っております。

久我 正芳（採鉱，16年）年会並の健康を保ち園芸等を楽しんでいます。

成瀬 一郎（採鉱，16年）まあ元気でおります。御一同様のご健康を祈ります。

村田 信（冶金，16年）女房に先立たれ、愚息2人は東京に住み独居ながらなんとか元氣本を読めるのがありがたく、又月1回めっき業界紙に好きなこと書かしていただくのが生き甲斐恵まれた老後です。

有賀 敏彦（冶金，昭17年）元気に暮らしております

すが年をとりすぎましたので、現役の教授方も、また会員もほとんど知友はいなくなりました。話し相手もいないので欠席いたします。ご盛會を祈ります。

中尾智三郎（冶金，昭17年）元気に過ぎて居ります。都合で欠席させていただきます。諸兄によろしく。ご盛會を祈ります。

成瀬 光芳（冶金，昭17年）病氣療養中。

村上陽太郎（冶金，昭17年）お蔭で元気で過しています。水曜会大会で皆さんにお目にかかることを楽しみにしています。

斉藤 敏夫（鉱山，昭18年）年令も81歳7ヶ月になりましたが、お陰様で元気に暮らしています。

新保 康（鉱山，昭18年）おくれて申し訳ありません老妻と無事くらしております。

北村 洋二（冶金，昭18年）引退生活ながら何とか元氣です。5月中旬、クラス会をやりましたが出席者6名でした。

久芳 正義（冶金，昭18年）失礼をおゆるし下さい。まだ遠くには出かけられませんが、無事に81歳の誕生日（5月27日）を迎えました。

小山 昌重（冶金，昭18年）ぼちぼちの生活をおくっています。ご盛會をお祈りします。

寺前 章（冶金，昭18年）横浜の光が着に老妻と二人静かに無事消光いたしております。

三宅 敏夫（冶金，昭18年）元気で庭仕事や俳句を嗜んでおります。5月に例年の通り昭18年冶金のクラス会を沼津で開催6人集まりました。ご盛會を祈ります。

伊吹 昭男（冶金，昭19年）息子自営のパンビ農園でとれる四季折々の野菜と、医学の進歩のお蔭で今日も亦元気に頑張っています。

加藤 三郎（冶金，昭19年）特に無し

菅沼 常生（冶金，昭19年）昭和25年以降、教育一筋に現役をつづけています。

私たちの冶金の同期会が“鍛人会”と称されています。

田中 安（冶金，昭19年）お陰様で元気に過していますが歩行がやや困難です。ご盛會をお祈りいたします。

荒川 武二（冶金，昭20年）元気に満80歳を迎えます

した。勝手ながら欠席致します。ご盛会をお祈ります。

下川 敬治(冶金, 昭20年)残念ですが欠席します。体調は良好です。

山本 剛男(冶金, 昭20年)まだ暫く仕事を続けることになりそうです。

佐伯 博蔵(鉱山, 昭21年)年令相応には元気にしており、時々資源、エネルギー、石炭等の会合に出席するほか、油絵、旅行等を楽しんでいます。

港 種雄(地鉱, 昭21年)年末、脚・腰がいたく、歩行が困難ですので、残念ながら欠席させていただきます。ご盛会をお祈りします。

澤田 清明(冶金, 昭21年)小生元気にしています。老父介護のため外出できません。ご盛会を祈ります。

山脇 尚(冶金, 昭21年)山脇尚は平成13年1月他界しました。生前のご高配厚くお礼申し上げます。二男山脇直大阪市中央区淡路町1-5-10-702

石井 千秋(冶金, 昭22年)病身乍ら何かとやっています。

里見 美雄(冶金, 昭22年)13年9月11日に亡くなりました。

田辺 精三(冶金, 昭22年)今時、珍しくもなった喜寿は一応、元気に迎えました。今後も心・身ともに撰生につとめ、傘寿の次の米寿までは、今のように元気でありたいものと、目標を高くしています。(結末や如何に)

寺井 士郎(冶金, 昭22年)旧冶金学科卒業以来55年が過ぎました。卒業後、日本の工業技術の発展に、いささか役立ったかなと思う今日此頃であります。現役の諸君のますますの御発展をお祈り申し上げます。

安達 克巳(鉱山, 昭23年)老令の身で脱会させて戴きます。身勝手の 相済みませんが、会費は納入させて戴きますが、資料の送付はいりません。

中島 朗(鉱山, 昭23年)鉱山をリタイアして長くなりましたが心身のリフレッシュに心掛けてまして健康であります。皆様のご健勝をお祈りします。

三谷 文夫(鉱山, 昭23年)年相応に元気でおりますが、もう、研究室名をおききしても、門外漢には、一体何を研究なさっているのか、さっぱり分からなくなりました。

岡田 明(冶金, 昭23年)鑄造工学会と九州旅行のため返事がおくれました。昭和23年卒の同級会(全友会)は毎年1回開催して、にぎやかに(今年で40回)やっています。38名中残会員から10名なくなられ、20数名出席しています。所要あり欠席します。

中原 克幸(冶金, 昭23年)体調思わしくないため出席できません。

石田 巖(鉱山, 昭24年)まあまあで何とか生き

ているという程度です。

永野 啓(鉱山, 昭24年)現在入院中です。

青木 信美(冶金, 昭24年)申込期限が過ぎておりますがとりあえずはがきを出しておきます。5月22日に同期の同窓会を熱海で催しました。

鷹取 正六(冶金, 24年)年令(76歳)に応じて元気にしております。

岡本 隆(鉱山, 昭25年)平成12年3月末にて福山大学退職後体調を害し、自重した生活を送ることを余儀なくされている状況。

上田 正雄(冶金, 昭25年)数年来病気療養致しておりましたがこの2月に逝去致しました。生前に頂きましたご厚情に深く感謝申し上げます。

小瀧 昌治(冶金, 昭25年)病気療養中。

福菌 致雄(冶金, 昭25年)頸髓損傷になってから毎日を大切に生きて行く様に心掛けています。

松栄 薫(冶金, 昭25年)去年7月20日亡くなりました。お知らせ致したと思っておりましたがご通知頂き失礼しました何とぞ皆様におよろしく申し上げて下さいませ。留守しており御返事おくれて申しわけございません。松栄かず子

木村 治(鉱山, 昭26年)五拾余年で研究分野が随分変わりましたね。よく分からないですが、それぞれ、発展されるよう祈りながら、何かと元気に過しています。

小川 昌平(鉱山, 昭26年)毎週2回はテニスを楽しんでいます。先日の水曜会誌(Vol.23, No.4)は近來になく興味をもって読みました。(会員消息で、中学同級生は2名他界されているのを知り、ショックでした。)

二宮 脩(鉱山, 昭26年)大会の盛会なること祈念します。小生は年令なりの健康です。厳しい社会情勢の中御活躍を期待しております。

山村 和男(鉱山, 昭26年)老化して、引退致しております。

北岡 博(冶金, 昭26年)昨年10月16日永眠しました。お世話になりました。

高松 隆(冶金, 昭26年)勤め先は変わらないが社名アポロステップ(有)に社名変更グランドコート八幡山勤務は同じ。

田辺 定男(冶金, 昭26年)まあまあ元気で。御盛会を祈ります。

増山 勤(冶金, 昭26年)千葉市民文化大学在学中。

青山三樹男(鉱山, 昭27年)相談役として元気でやっています。余暇を明石工業会会長、兵庫経営者協会常務理事、関西経営者協会理事で出席しています。

杉本 和夫(鉱山, 昭27年)いつもお世話様です。

松岡 秀夫（鉱山，昭27年）年齢相応の心身の衰えは否めないものの、一応元気に過しています。大会には欠席しますが盛会の程を祈念します。

谷口 昭雄（鉱山，昭27年）御蔭様で何とか元気でやっております。御盛会をお祈り致します。

上田喜三郎（冶金，昭27年）相変わらずのんびり碁とGolfでのたりのたりとやっています。過日は粟倉先生に所内見学で大変お世話になり、ありがとうございました。

岡本 成基（鉱山，昭28年）老人前期（75歳未満）を過ぎ後期に突入しました。

小柳 順吾（鉱山，昭28年）盛大な水曜会大会を祈ります。

笹栗 弘喬（鉱山，昭28年）お蔭様で今も元気にしております。本年で第1線を引退の予定です。

空地 公二（鉱山，昭28年）皆様によろしく。

西村 義雄（冶金，昭28年）古稀を過ぎて一年余り。今迄元気に過せたのが不思議な気がします。今後ともあまり他人に迷惑をかけず、むしろ少しでも寄与出来る人生を送りたいと願っています。

樋上 寛（鉱山，昭28年）ご苦労さまです。

倉知 三夫（冶金，昭28年）お蔭様で相変わらず元気にしております。平和と民主主義をすすめる左京懇談会でボランティア活動もやっています。日本国憲法で世界の平和の推進力と致したいものです。

泉 泰通（冶金，昭29年）今年、町内のお世話をすることになり、毎日、日常業務に追われています。

江崎 澣（冶金，昭29年）年相応に元気でやっています。ウォーキングクラブに所属し、毎週土曜日の10kmハイクが楽しみです。

大久保勝夫（冶金，昭29年）現役時代、化学プロセス構成材料の研究でプロセス全体の寿命と各部位の材料寿命の経済的調和に頭をくだいてきましたが、70路（なぞじ）を越えた今、自分自身の心身各部位の寿命の運動に気をもむこの頃です。ところでドライバーの飛距離も遠方視力の能力内に収まることに最近、気付きました。視力が矯正できればもっと飛ぶかも…。成果がありましたら一論文のものにしましょう。年なりに元気に頑張っております。

小島 勢一（冶金，昭29年）5月14、15日昭和29年冶金学科卒業生田中功君のお世話で九州別府に13名集合、今を生き・欲びと、京大の教室での御縁に感謝。最近の政界、官界の非行に激怒の弁多し。

田中 功（冶金，昭29年）「にくまれ会」（昭和29年、冶金学科卒）を別府で開催。13名参集し、ゴルフ、会食と楽しくすごしました。観光は国宝臼杵石仏、豊後竹田の古い城下町と、ここ迄はよかったです、九重

高原はドシャ降りですっぱりでした。

松岡 英夫（冶金，昭29年）「日本製鋼業の今後の進むべき方向」を考えながら、とにかく元気で生活しています。大会が成功することを祈っています。

山之内種彦（冶金，昭29年）仕事はなくなりましたが、生活の雑用がふえて忙しさは変わりません。

井上 瑞城（鉱山，昭30年）長年勤めた資源素材学会を4月末で退職し、フリーとなり、ノンビリした生活を楽しんでいます。

勝見 健（鉱山，昭30年）只今国際協力事業団で（サモア）で働いて居ります。

塩出 啓典（冶金，昭30年）行政書士として、街の法律家と研鑽しています。（返事が遅くなりました。）

清滝昌三郎（鉱山，昭30年）昨年より（財）国際鉱物資源開発協力協会（JMEC）理事長をしています。もっぱらODAプロジェクトの立ち上げと実施を主としています。

太田 奨（冶金，昭30年）学校を出てから約半世紀（47年）を経ております。現在、輸出鉄鋼製品を主体とした検査会社でFree-timeの仕事をしております。元気がだけがとりえです。

佐藤 史郎（冶金，昭30年）アルミ圧延・押出業界、伸銅業界ともに、デフレ不況の中にあって、苦しい経営が続いています。省エネルギーと環境保全に関するNew Businessに「技術立国」の期待を寄せています。

中野弥太治（鉱山，昭31年）麻生リハビリ総合病院入院中。

米津栄次郎（鉱山，昭31年）02年4月末日で、（株）コスモスライフ退職致しました。地域の福祉活動に専念しています。

長澤 元夫（冶金，昭31年）上記会社の顧問をしております。環境を低減するための材料に関心をもって多少ともお役目を果たしたいと思っています。

藤田 良武（冶金，昭31年）御盛会を祈ります。

中廣 吉孝（鉱山，昭32年）上記連絡先に住所変更致しました。

田村 敬二（冶金，昭32年）翻訳、卓球、俳句に動いています。

山崎 隆雄（冶金，昭32年）当日日本熱処理技術協会理事会がありますので出席できません。あしからずご了承ください。

本間 良治（鉱山，昭33年）70歳に近くなりましたけれどまだがんばって働いています。不況で大変です。

里見 祥明（冶金，昭33年）3月で引退しまして、楽しく過しております。自由な生活は、いろいろなことに打ち込め良いものだと実感致しております。

田中 孝一（冶金，昭33年）特に変化もなく、仕事

(アルバイト) 趣味に結構忙しく元気になっています。

伴 誠二(冶金, 昭33年) 3年前に退職し年金生活を送っています。

松本 善文(冶金, 昭33年) 隠居の身ですが、古き友、新しき友たちとの交友心多忙な日々を送っています。ご盛會を祈ります。

伊藤 二郎(鉱山, 昭34年) 地域のボランティア活動に関係しています。

児玉 幸夫(鉱山, 昭34年) 「新しき村」の村外会員になって居ります。宗教とは愛と解くものであると思いますが、70歳の今でも愛はわかりません。

佐藤 隆介(鉱山, 昭34年) 昨年9月30日、8年余の上海駐在生活を終え帰国・退職しました。現在の処、専ら自由を満喫しております。

田村英二郎(冶金, 昭34年) 経営コンサルタントとして、製造会社の納期、品質、コストダウン等の改革に取り組んでいます。

林 明夫(冶金, 昭34年) 老化の進行防止に一所懸命です。

小泉 俊(鉱山, 昭35年) 何時もご案内ありがとうございます。皆様のご健勝お祈りしております。

阿部 光延(冶金, 昭35年) 少し遅刻するかもしれませんが出席いたします。

山田 武弘(冶金, 昭35年) お知らせ有難うございました。

赤井 慎一(冶金, 昭36年) 池田義雄先生の、一無:無煙, 二少:少酒, 少食, 三多:多動(身体を動かす), 多休(休むべき時には休む), 多接(人, 物事, 自然などと接する)を心かけて、若い頃より元気に過しています。

岩崎 滋(冶金, 昭36年) 昨年から地元企業の仲間入りを目指し、ポチポチやっております。

恩田 怜(冶金, 昭36年) 盛會を期待しております。(鳥取での居住福祉学会へ参加するため欠席します。皆様よろしく。)

山本 隆造(冶金, 昭36年) 民生委員・自治会・社会福祉協議会などで福祉活動に微力ながら参加しています。体調おこぶる好調です。

井出 謙三(鉱山, 昭37年) 約4年前に卒業以来勤務していたアラビア石油(株)を定年退職し、以降テニス、ゴルフ、フィットネスクラブ等に余暇を楽しんでいます。当日はマレーシアにゴルフ旅行「6/18~6・27」中ですので欠席。

白井 勲(鉱山, 昭37年) 企業定年退職後、経営コンサルタント(自営)で、公的相談窓口、民間企業の顧問、講演セミナー等の講師などに当たっています。

名和田 進(冶金, 昭37年) H14.2をもって日本軽

金属(株)を退職しました。

秦 瑛(冶金, 昭37年) 同期の福田健君の特別講演が聞けなくて残念です。今秋京都「一力茶屋」での同期会での歓談を楽しみにしております。

梅津 善徳(鉱山, 昭38年) 花崎会長殿残念ながら欠席します。元気にやっております。それにしても、今の日本は、政治も経済もそして科学技術もスポーツも袋小路状態。支持率や視聴率を追い求めるマスコミ・メディアの質的低下は目を掩ばかりです。学校教育の抜本的改革の必要性を痛感。「日本の元氣」のために自分は何が出来るのか模索中です。大会の御盛會と会員の皆様のご健勝を祈念致します。

田村 祥(鉱山, 昭38年) AVEX(株)・製造G生産管理Tにて毎日元気に仕事と取り組んでおります。夕食基はテレビで大好きなプロ野球観戦です。Gファンで高橋由伸選手が打つ日はとても調子が良いです。

福井 利安(冶金, 昭38年) 5月初めより約2ヶ月間の予定で入院です。入院生活は初体験で多少とまどいを感じますが、天より命じられた休養と思い、毎日神戸港と神戸夜景をながめてのんびりしています。神戸中央市民病院にて。

飯島 正雄(鉱山, 昭39年) 定年後はのんびりやっています。

門脇 元則(鉱山, 昭39年) 神戸製鋼所を退社し、畑の神戸大学薬学部にお世話になっています。大学もこれから大変な時代を迎えるようですね。

大橋 和臣(資源, 昭40年) 13年6月に7年と4ヶ月にわたる上海駐在を終え、退職しました。現在、健康な生活を求めて体力造り、山歩き、ゴルフ等を行っております。

西山 孝(資源, 昭40年) 返事が遅くなりご迷惑をおかけしました。

望月 志郎(資源, 昭40年) 大阪製鐵に移り1年電気炉で頑張っております。最近のスクラップ向に閉口しているところです。

中島 恒(冶金, 昭40年) 福田さんのご講演を聴きたいと思ったのですが、都合がつかせませんので欠席いたします。福田さんが原研におられら頃に寮に伺ったことを思い出します。

木畑 朝晴(金属加工, 昭40年) ここ2~3年体調不調で、現在回復に向けて努力中です。つくづく健康のありがたさがわかってまいりました。

松平 靖(金属加工, 昭40年) 会社、住所変更しました。新住所〒561-0862豊中市西泉丘2-2469-403

森光 英夫(資源, 昭41年) 3/末で住友金属鉱山を定年退職し、現在は引続き子会社の丸善工業(株)の代表取締役をやっております。

横山 莞泰（資源，昭41年）京都府園部町の建設工事現場の施工管理業務に従事しています。定年を間近に控え、心揺れる毎日です。

大西 建男（冶金，昭41年）NKKとの統合に向け忙しい毎日です。

岡島 弘明（冶金，昭41年）昨年8月に退職し、現在、法律関係の受験勉強中。ようやく時間の余裕が出来たので久し振りに参加できるのが楽しみです。

森 邦彦（冶金，昭41年）またまた工場勤務をしています。

野瀬 正照（冶金，昭42年）卒業から今年で35年、時が経つのは速いものです。現在は製鉄化学の仕事に従事しています。最近になって、即って京都大学の卒業生との付き合いが多くなりました。

速水 弘之（冶金，42年）「光陰矢の如し」とはよく言ったもので、あっという間に定年間近となりました。振り返りますと、この間、その時代、時代毎にニーズがでてきました新しい商品や技術について、大好きなR&Dにずっと携わることができましたことが、何よりであり、技術者冥利につきる35年でした。私としましては出来過ぎのエンジニア人生であったことに、これまで直接・間接にお世話になりました数多くの方々のお蔭様であると、心から感謝する日々です。

寺田 隆夫（金属加工，昭42年）卒業以来、Powder Metallurgyの仕事に従事しています。このビジネスも競争激化で苦勞しています。アバウトな世界と理屈が通じる世界のミックスした所があり難しいものです。

土居 陽（金属加工，昭42年）材料・薄膜形成&加工装置・分析機器全般を扱っています。（主に開発関係です）昨年、物理本を執筆、自費出版中で好評を頂いています。阪大でも非常勤講師をしています。旧金属系の工学内容が刷新されている様に思われ、頼もしい限りですが…中味に興味あります。

武田 憲司（金属加工，昭42年）横浜の単身寮から古河電工の本社へ通勤しています。久し振りに参加させていただきます。

湯浅 光行（金属加工，昭42年）大学、特に京大は、人間、社会、自然そして宇宙についても興味を忘れぬ人材を育成し続けてもらいたいと、強く思う昨今です。仕事は産学官連の推進で、超多忙ですが、毎日毎日が、面白く、疲れてるヒマがありません。

田中 荘一（資源，昭43年）ご盛会を祈念申し上げます。

吉川 正昭（資源，昭43年）高専も専攻科を作り忙しくなりました。

黒木 正純（冶金，昭43年）創業以来最高の生産台数・売上高でうれしい悲鳴を。悩みは耐圧・気密漏れゼ

ロの青銅鋳物はどうすれば出来るか。御知恵拝借を。

中川 正義（冶金，昭43年）4年前に約30年間勤務したNKKを早期退職して、ISOの審査員、コンサルタントをしながら、日本全国を忙しくとびまわっています。

米田 清（金属加工，昭43年）今年の4月鳥取三洋電機から再び三洋電機に帰りました。今度は液晶ディスプレイだけでなく最近注目されている有機ELディスプレイ事業をも手掛けるため、新たにディスプレイデバイス事業部を創りました。

浅井 達雄（資源，昭44年）4月から松下電器産業（株）法務本部にて、IT情報セキュリティ担当の顧問をしております。

池田 辰雄（冶金，昭44年）引続き製鉄所の運営に携わっていますが、収益性向上に四苦八苦です。日本の鉄鋼技術が世界に先端を再び切り拓く時を目指します。

土田 豊（冶金，昭44年）大学の業事があり申訳ありませんが、欠席いたします。

中野 勇男（冶金，昭44年）三洋電機（株）マテリアルデバイス研究所（岐阜）で半導体集積回路の研究に従事しています。

吉本 宏（冶金，昭44年）昨年よりアメリカ、サウスカロライナ州へ単身赴任しております。

岡田 康孝（金属加工，昭44年）6/22は熱処理技術協会の理事会があり、参加できません残念です。

関東 正治（金属加工，昭44年）旭川に来る時は、連絡下さい。

中野 幸紀（冶金，昭45年）通産省を退職して1997年に関学の先生になりました。2002年4月から関学神戸三田キャンパスに総合政策学部メディア情報学科（文系と理系の中間）が開設されました。小生は学部で資源エネルギー論、技術移転論を担当していますが、大学院ではメディア情報産業を担当しています。

山田 範保（資源，昭46年）5月31日京都議定書の日本政府批准に関する国会承認が成立しました。来週から気候変動枠組条約の締約国会合がボンであり、出張予定です。

恩賀 伸二（金属，昭46年）主人は5月から9月までアメリカ、スタンフォード大で共同研究をしています。

郷 文明（冶金，昭47年）自営業をしています。

水原 誠（冶金，昭47年）今年は残念ながら所用のため欠席致します。皆様によろしくお伝え下さい。

杉本 行廣（資源，昭48年）4月から息子が京都で下宿を始めるようになり、30数年前になる自分の大学生活の頃を懐しく思い出していますが、京都の街や大学の様子が大きく変わっているのには驚かされます。

牟田 潤（資源，昭48年）この春より倉敷に転勤しました。現在、工事の準備中です。盛会を祈念してお

ります。

朝日 格 (冶金, 昭48年) 営業を担当して4年半です。メーカーは技術力をベースにした提案が、営業力と実感しています。

伊庭 良知 (金属加工, 昭48年) 土木資材関連の材料コンサルを始めました。新規材料を公共事業にスペックインする仕事です。

朝倉 俊弘 (資源, 昭49年) 鉄道から大学に転進して2年半余が過ぎました。京都の生活、大学の生活にもようやく慣れてきました。

安井 正和 (資源, 昭49年) ITバブルがはじけて、遂には通信バブルまでもはじけた様です。無線通信にかかわる一員として新しい市場の開拓に力を入れていきたいと思っています。

小西 和幸 (金属加工, 昭49年) 北九州でミニ水曜会を開催します。

押田 淳 (資源, 昭50年) 連絡が遅れて申し訳ありません。

楠井 潤 (金属系, 昭51年) 急冷凝固アルミニウム合金粉末の研究を続けています。

志和陽一郎 (資源, 昭52年) 元気でです。

上島 良之 (金属系, 昭52年) ご盛会をお祈り致します。

宮脇 新也 (金属系, 昭53年) 相変わらず神戸で製鉄所づとめです。

藤本 良一 (金属系, 昭54年) 元気でやっています。

矢内 雅造 (金属系, 昭54年) ご盛会をお祈りしております。

北村 公亮 (資源, 昭55年) スポーツ業界も苦境にたたされております。よろしければ是非ミズノ品をご愛顧下さい。

道本 龍彦 (金属系, 昭55年) 昨年、念願の第3種電気主任技術者の資格を取得することができました。

蓑田 和美 (金属系, 昭55年) 現在、ステンレス製熱交換器の材料と接合関係の仕事をしています。

笹倉 典夫 (資源, 昭56年) 無名の小さな会社ですが経営にかかわる仕事をまかされ、がんばってます。(3月に家族も東京へ来てくれました。)

及川 初彦 (金属系, 昭56年) 業界再編成・グローバル化の中、生き残りをかけて頑張っております。多忙な毎日ですが、変化もそれなりに良いものと感じております。

上島 豊子 (金属系, 昭56年) ご盛会をお祈り致します。

原田 晋作 (資源, 昭57年) 今年も欠席いたしますが、いつか機会を見て出席したく思ってます。皆様に宜しく。PS楠田君お元気ですか？

小松原 実 (金属系, 昭57年) 一昨年夏から一年間MITに滞在していました。家族5人で貴重な経験ができました。

前田 佳均 (金属系, 昭57年) 半導体シリサイドの研究を続けています。欧州での学会の為に欠席致します。

吉留 良史 (資源, 昭58年) 久しぶりに国内の現場勤務となりました。北海道の苫小牧市です。

東 俊夫 (資源, 昭59年) いつも案内ありがとうございます。ご承知のとおり、明石市役所は大変な状況です。

上嶋 啓史 (金属系, 昭59年) 返信が遅くなりましたがよろしくおねが致します。

黒川 高光 (資源, 昭60年) 米国から帰国しております。西山先生、楠田先生お元気ですか？

山本 保 (金属系, 昭60年) 昨年おきる野に転勤になりました。LSI用Cu配線のCMP開発を担当しています。

下水木信久 (金属系, 昭61年) 古原様S61年田村研卒業の下水木です。ご無沙汰しております。今年4月より、上記に勤務先が変わりました。

霧 康彦 (資源, 昭62年) 循環型社会の構築に向け、その足がかりとするべく苫小牧にブラチック発電所を建設中です。現在、試運転中です。

奥村 英之 (金属系, 昭62年) Slow but stadyとはいえませんが、何とか頑張っている様子です。

岸上 一郎 (金属系, 昭62年) 本人は6月末に帰国の予定です。新住所は解りませんので後日連絡すると思えます。

小西 優 (金属系, 昭62年) 5月~7月半ばまで外国出張で不在なので欠席させていただきます。

岡部 徹 (金属系, 昭63年) 幹事の先生方: 会の運営ご苦労様です。私は東北大から東大に移り1年半が経ちました。元気に過しております。小澤克敏 (金属系, 昭63年) 昨年6月に日本IBMから分社化された野洲セミコンダクター株式会社に移籍しました。半導体業界の厳しい環境を実感しながら、生産性改善の業務を行っております。

岸本 宗丸 (資源, 昭63年) ご盛会をお祈りします。

高尾 正義 (金属系, 昭63年) 石原先生教授ご就任おめでとうございます。

中島 俊明 (金属系, 昭63年) 相変わらずです。(遅れて申し訳ありません)

古谷 精市 (金属系, 昭60年) 鉄道用輪軸の製造工場、管理業務に従事して頑張っています。

衣笠 真司 (資源, 平元年) 転居しましたので、会報等の送付先を変更して下さいようお願い致します。

鈴木 薫 (資源, 平元年) 海外出張により残念な

がら出席できません。昨年末にタンザニアから帰国し、現在は本部で評価の仕事をしております。

嶋 睦宏（金属系、平元年）平成14年7月1日よりアメリカニューヨークレンセラー工科大学助教授となります。

高濱 義行（金属系、平元年）元気で頑張っています。

松井 巖（金属系、平2年）古原先生お元気ですか。牧先生もお元気ですか。当方は色々職が変わり、今の社会情勢や金銭的な問題、更に自分の過去の履歴や親戚・家族の問題など、自分の将来をにらみ、様々な人生体験をさせて頂いている最中です。

中尾 力（金属系、平2年）父代筆。元気で勉強しています。

溝口 貴弘（金属系、平2年）いつも参加できずに申しわけありませんが、皆様のお変わりないでしょうか。

瀬戸 順孝（資源、平3年）本年3月をもって京大大学院・博士後期課程（建築）を単位取得認定退学し、7年ぶりに“社会復帰”しました。昨年12月に指導教官が他界、また教授が工学研究科長着任と、目まぐるしい変化がありました。何とか仕事と学位論文を両立させております。

小松 淳（金属系、平3年）3月に転居しました。

山崎 信彦（資源、平4年）宅田教授様、八田先生のことは胸が痛みます。皆様に会えればと思っております。残念です。また一度ごあいさつに伺えればと思っております。八田先生のご冥福をお祈りいたします。

天野 格（資源、平4年）移転しました。

石橋 良（金属系、平4年）牧先生の鉄鋼協会会長、山口先生の金属学会会長ご就任の件、心よりお喜び申し上げます。先生方の御活躍を励みとし、一層の精進に努めたいと思います。大会のほうは都合がつかず欠席させていただきます。今後ともよろしくお願い致します。

加藤 博之（金属系、平4年）勤務地変更になりました。

溝口 将康（金属系、平5年）大阪に戻ってきて1年半ですが、なかなか出歩く機会がありません。

兵江 猛宏（金属系、平4年）海外留学中です。皆様によりしくお伝え下さい。

藤井 秀樹（資源、平7年）楠田先生：ごぶさたしております。2年間イギリスでしっかり勉強して参ります。分野はともかくとして、ゆっくりと好きなだけ物事にとりくむ時間ができ感激しております。イギリスにおいでの際はスコットランドにもぜひお立ち寄り下さい。

金城 正志（資源、平7年）犬山に越してきて、早やまる4年元気にやっています。

奥 健夫（材料、平8年）産業科学ナノテクノロジー

センター所属となりました。ナノテクがはやっているなか、新しい分野を開拓したいと思う今日この頃です。

小島 雄三（資源、平7年）重力ダム式水防の重さの部分は、コンクリートでなく水で代用してもいいのでは？と主張しておりますが一切相手にされない今日この*でよるコンクリートを水に代えることが出来た場合の経済効果等知りもしない親に「早く金を取れ」と言われ続けている今日この頃でもあります。

村守 宏文（金属系、平9年）特許審査官として2年目をむかえました。

大石毅一郎（金属系、平9年）平成14年6月1日に結婚しました。

宮内 宏哉（物理、平10年）はがきの提出が遅くなり申し訳ございません。

夏秋 昌典（物理、平11年）富士通（株）入社2年目となりました。今後共よろしくお願い致します。

深澤 恒典（エネルギー、平10年）現在、大型自動車（トラック）の開発に従事し、忙しい毎日を送っております。

伊藤 英明（資源、平11年）現在京都大学情報科学研究科博士課程に在学しております。

清水 一憲（資源、平2年）去年9月結婚しました。

磯谷 成志（物理、平10年）現在は宇都宮に住んでおります。仕事は車体組立ラインの自動化、効率化に取り組んでいます。

田村 真禎（地球、平13年）仕事の為、9月まで海外です。出席できません（親）よろしくお祈りいたします。

山路 俊樹（地球、平13年）忙しい日々を送ってます。無事、健康でがんばってます。では。

松岡 由記（エネルギー、平11年）遅くなって申し訳ありませんでした。よろしくお祈り致します。

村田 唯介（物理、平14年）古原先生、牧先生には色々とお世話になりました。現在は、父の経営しているTIG溶接装置メーカーで頑張っています。今回は会社が忙しく出席できませんが、又何かの機会にあいさつさせていただきます。

竹長 勝行（資源、平14年）毎日、覚えること、知ることが多く、多忙な日々を送っています。

馬江 唯一（物理、平14年）日新製鋼に勤務しております。

中井 俊忠（金属系、昭54年）皆様お元気ですか。また小野先生におかれましては、退官後、少し落ち着かれたでしょうか。

谷口 章八（鉱山、昭33年）元気にしております。

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のこととお慶び申し上げます。今年も

出席させて頂きたかったのですが当方の学内の都合で欠席させて頂くことになりました。こちらでは産業廃棄物のリサイクルに関する研究を行っています。また研究会などで京大の皆様とお会い出来るのを楽しみにしております。今後の水曜会のご発展を心よりお祈り申し上げます。

志賀 正幸（元教官）不確定要素がありますが出る予定にしています。

内田 祐一（元教官）平成13年5月31日でエネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻助手職を退き、上記に移りました。リストをお改め下さいましたら幸甚です。



平成 14 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、ならびに国際融合創造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 構造物性学 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

○国際融合創造センター

ナノテクメゾ材料学：エレクトロニクス 材料デザイン

旧 資 源 系

学部卒業者

| 氏 名 | 研究論文課目 | 就職先 |
|-----------|-----------------------------|---------|
| 資源開発工学研究室 | | |
| 池田 雄 | 地下発電所大空洞の3次元形状効果に関する検討 | 京都大学大学院 |
| 大場 公德 | 動的注入工法による低透水性岩盤へのグラウト効果について | 京都大学大学院 |
| 小倉 永輔 | 地球統計手法を用いたトンネルの切羽前方地質予測について | 京都大学大学院 |
| 濱村 孝志 | 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 | 自営業 |
| 広橋 宣裕 | 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 | ㈱ニチメン |
| 松岡 哲也 | 沿岸海底下における地下水流動の長期予測について | 京都大学大学院 |
| 三木 隆行 | 岩盤大空洞の掘削に伴う緩み領域の挙動について | 京都大学大学院 |

| 氏 名 | 研究論文課目 | 就 職 先 |
|------------------------|-------------------------------------|-----------------|
| 地質工学研究室 | | |
| 岡 田 明 哲 | 地質統計学を用いた深成岩からなるダム基礎岩盤の地質工学図作成 | 京都大学大学院 |
| 角 軒 雅 彦 | 雨量指標による道路斜面災害発生予測に関する研究 | 京都大学大学院 |
| 外 岡 誠 | 山梨県下のロックフィルダムにおけるリップラップ材の劣化実態 | ㈱TOKAIガス |
| 前 田 崇 伸 | 安山岩の凍結融解作用による劣化特性に関する研究 | コベルコ建機㈱ |
| 吉 田 卓 史 | 「色」指標の深成岩における岩盤分類への適用性に関する研究 | 三井造船 |
| 資源高度利用工学研究室 | | |
| 濱 口 一 博 | かみ合わせを制御した岩石不連続面モデルの製作とそのせん断試験 | 京都大学大学院 |
| 竹 長 勝 行 | 露天掘り鉱山における採掘に伴う切羽周辺の岩盤変形挙動解析 | 名古屋大学大学院 |
| 物理探査工学研究室 | | |
| 大 開 孝 文 | 地表変形計測による地層圧入スチーム挙動のモニタリング | 京都大学大学院 |
| 桐 山 愛 世 | 石油探鉱における地理情報システムの適用 | 京都大学大学院 |
| 白 石 和 也 | 水平超多層構造に対する高速波線追跡法とそのインバージョン解析 | 京都大学大学院 |
| 田 中 篤 史 | 個別要素法を用いたプレート衝突による地質構造変化のシミュレーション | 京都大学大学院 |
| 秦 央 彦 | 単振動震源を用いた周波数領域のフルウェーブインバージョン | 京都大学大学院 |
| 計測評価工学研究室 | | |
| 川 勝 一 聡 | ワイヤーロープ疲労過程における素線破断のAEモニタリング | 京都大学大学院 |
| 木 嶋 崇 博 | 絶縁性材料表面の非破壊評価のための容量型プローブの開発 | 京都大学大学院 |
| 久 野 天 平 | レーザ・ドップラー振動計による超音波伝播挙動の観測 | 京都大学大学院 |
| 柳 内 康 成 | 吊橋ハンガーロープの腐食劣化の磁気的非破壊評価 | エムシー・エクスプローション㈱ |
| 資源エネルギーシステム学研究室 | | |
| 小 沢 和 巳 | シリカコーティングによる廃石からの有害元素の流出防止 | 京都大学大学院 |
| 佐 藤 吉 宣 | 海底環境下におけるメタンハイドレートの分解挙動 | 京都大学大学院 |
| 塩 見 洋 志 | 湖成層産珪藻土からの高純度シリカ精製プロセス | 京都大学大学院 |
| 袴 田 昌 高 | 偏光顕微鏡によるメタンハイドレートの生成過程の観察 | 京都大学大学院 |
| 前 川 良 太 | 三軸圧縮試験によって形成される花崗岩中のマイクロクラック分布の考察 | 京都大学大学院 |
| 守 時 直 樹 | 高機能材料資源タンタルの需給動向 | 京都大学大学院 |
| 資源エネルギープロセス学研究室 | | |
| 大 村 歩 | エアリフトポンプ内の非正常流動特性に関する実験的研究 | 京都大学大学院 |
| 奥 西 祥 人 | AZ31 マグネシウム合金板の温間加工後の機械的性質 | 京都大学大学院 |
| 世良田 浩 平 | 第3元素の異なる種々のMg-Li合金薄板の引張特性および金属組織 | 京都大学大学院 |
| 前 川 典 正 | 垂直管内の液体中を沈降する固体粒子の挙動（重液揚鉱に関する基礎的実験） | 京都大学大学院 |
| 松 本 淳 | 固体面に斜め衝突する微小液滴の変形挙動 | 京都大学大学院 |

| 氏名 | 研究論文課目 | 就職先 |
|---------------|-------------------------------|---------|
| 宇宙資源エネルギー学研究室 | | |
| 石田直子 | 重液の流動特性に関する界面化学的検討 | 京都大学大学院 |
| 小森洋和 | 電磁浮遊法による高融点金属液滴の高純度化に関する基礎的研究 | 京都大学大学院 |
| 堀之内浩嗣 | 陽イオン捕収剤を用いたサブミクロンシリカの液-液抽出 | 京都大学大学院 |
| 本山宗主 | 強磁場中における金属ナノワイヤーの電気化学プロセッシング | 京都大学大学院 |
| 山本直幹 | 液体中の微粒子間に作用する力 | 京都大学大学院 |

修士課程修了者

| 氏名 | 研究論文課目 | 就職先 |
|-----------------|--|-------------------|
| 資源開発工学研究室 | | |
| 岩本智史 | 動電学的手法による重金属汚染土壌の浄化プロセスについて | 日立造船(株) |
| 小川崇 | TBM掘進データを用いた大断面トンネルの支保設計に関する研究 | 豊田自動織機(株) |
| 桜澤俊滋 | 海洋温度差発電における冷排水の拡散特性に関する研究 | (株)ゼネシス |
| 地質工学研究室 | | |
| 川邊亮介 | 空間統計学的アプローチによる地震分布の時空間変動の評価に関する研究 | 大阪ガス(株) 京滋事業本部 |
| 桐谷量 | 軟岩からなる水際斜面のスラビングによる岩盤崩壊に関する研究 | (株)さくらケーシーエス |
| 児玉崇 | ダム欠陥部の検出を目的とした計測データの時間・空間統計分析に関する研究 | 京都大学大学院博士課程中退 |
| 資源高度利用工学研究室 | | |
| 平永敬一郎 | トンネル切羽における岩盤変形挙動と支保設計に関する研究 | (株)東芝 |
| 物理探査工学研究室 | | |
| 青木徹 | 下方接続による屈折境界面のイメージングに関する研究 | 石油資源開発(株) |
| 奥村昌弘 | 波動論を用いた多重反射波の予測と除去に関する研究 | 富士通(株) |
| 永岡卓也 | 海洋MT法調査とそのインバージョン | 金沢市役所 |
| 山口和彦 | AVO解析によるメタンハイドレート探査に関する研究 | 富士通(株) |
| 計測評価工学研究室 | | |
| 明父克幸 | 電気インピーダンス・イメージングに関する基礎的研究 | 福井県庁 |
| 池田俊文 | 磁気ヒステリシス特性のニューラルネット表現とその磁場解析への適用 | 新日鉄ソリューションズ(株) |
| 高本寛之 | ロープウェイ運行時の搬器と索条の連成振動シミュレーション | 日本電気(株) |
| 資源エネルギーシステム学研究室 | | |
| 岡本創 | エネルギー消費からみた現・近未来における銅資源の需給動向分析 | (株)インクス |
| 松尾浩也 | 淡水性珪藻土からの高純度シリカ精製 | (株)アルモニコス |
| 資源エネルギープロセス学研究室 | | |
| 谷口武史 | Flow and Thermal Fields of Free Surface Liquid Jets Impinging on a Solid Surface | 日本IBM(株) |
| 吉田哲幸 | Tensile Properties and Press Formability of a Thin Sheet of Mg-9Li-1Y Alloy | 日本IBM(株) |

| 氏 名 | 研究論文課目 | 就職先 |
|------------------------|---|---------|
| 宇宙資源エネルギー学研究室 太田 真木 | Lithium Metal Electrodeposition in Propylene Carbonate (プロピレンカーボネート中におけるリチウム金属の電析) | 住友スリーエム |
| 長田 哲 | 固体-油-水3相系の界面現象を利用した微粒子分離に関する基礎的研究 | コマツ |
| 東 芳成 | 浮遊選鉱法における気泡-粒子間の干渉 | サントリー |
| 吉川 雅史 | 微粒炭化ケイ素のカラム浮選における金属イオンの抑制及び活性効果 | NTTデータ |

博士学位授与者 課程博士

| 氏 名 | 研究論文課目 | 主 査 | 取得年月日 | 備 考 |
|--------------------------|-------------------------------|------|------------|-----|
| 資源エネルギーシステム学研究室 別所 昌彦 | 機能性材料への適用を目的とした高純度シリカ精製に関する研究 | 西山 孝 | 平成14年9月24日 | |

旧 金 属 系

学部卒業生

| 氏 名 | 研究論文課目 | 就職先 |
|---------------------|--|--------------------------|
| 材料設計工学研究室 池野 豪一 | 遷移金属酸化物 ELNES/XANES の第一原理計算による解析 | 京都大学大学院 |
| 古賀 善仁 | ZnO 中の多価溶質元素と空孔との相互作用 | 同和鉱業株 |
| 小山 賢太郎 | リチウムイオン電池正極材料の第一原理バンド計算による探究 | 東京大学大学院経済学研究科 |
| 佐藤 江平 | 結晶中不純物ウランイオンの光吸収スペクトル理論計算 | 京都大学大学院 |
| 豊田 仁寿 | Al 粒界エネルギーのシミュレーション | 京都大学大学院 |
| 平山 淳一郎 | 対称傾角粒界における原子緩和手法の研究 | 奈良先端科学技術大学院大学情報科学研究科 |
| 松本 良太 | MgO ドープによる ZnO 高压相の合成 | 京都大学大学院 |
| 森下 浩平 | 結晶中 Os ⁴⁺ 吸収スペクトルの第一原理計算による解析 | 京都大学大学院 |
| 表面処理工学研究室 上山 正樹 | 光触媒を利用した ABS 樹脂表面の活性化に及ぼす前処理の影響 | 京都大学大学院 |
| 江森 郁子 | 酸化チタンを分散した Ni-Mo 合金の電析 | 京都大学大学院 |
| 佐藤 史淳 | 塩基性浴からの CdTe 電析におよぼす第三元素の添加効果 | 名古屋大学大学院 (平成15年度入学予定) |
| 篠原 伸樹 | アンモニウムイミド系室温溶融塩からの Zn-Mg 合金電析 | 京都大学大学院 |
| 田中 洋一 | 電気化学 QCM を用いる塩基性水溶液からの CdTe 電析挙動の解析 | 京都大学大学院 (平成15年度入学予定) |
| 中村 登代充 | ジメチルスルホン浴からの Al および Al-Mn 合金電析 | 京都大学大学院 |
| 八木 俊介 | 湿式置換法による TiN 薄膜上への Cu 層の形成 | 京都大学大学院 |
| プロセス設計学研究室 濱井 雄太 | X線反射率による薄膜の評価法 | 東京大学大学院 |
| 古谷 吉章 | エネルギー分散型蛍光 X線分析による環境試料分析のための基礎検討 | JTB |

| 氏 名 | 研究論文課目 | 就 職 先 |
|-------------------|--|-----------|
| マイクロ材料学研究室 | | |
| 島田 雅博 | p型 GaN 用の炭化物オーミック・コンタクト材の開発 | 京都大学大学院 |
| 田坂 創 | p型 4H-SiC に対する Ti/Al コンタクト材への Co 添加の影響 | (株)ジャトコ |
| 堀内 権司 | 超微細配線構造における電気特性 | 企業(連絡なし) |
| 西村 好正 | p型 InGaN 用のオーミック・コンタクト材の研究 | (株)日東電工 |
| 村田 唯介 | CdTe X線検出器における検出特性と半導体/電極材界面構造の研究 | ムラタ溶研 |
| 量子材料学研究室 | | |
| 安孫子 貴 | Ba-Cu-S 化合物の特性 | 東京大学大学院 |
| 貝淵 和喜 | Ho-Ge 系化合物の低温比熱 | 京都大学大学院 |
| 古謝 祐介 | 一次元遍歴電子磁性体 YMn_xAl_3 の核磁気緩和 | 京都大学大学院 |
| 小林 達也 | Gd($M_xM'_{1-x}$) ₂ 系の磁気熱量効果と磁性 | 東京大学大学院 |
| 坂巻 陽平 | RMn_2Ge_2 化合物の磁性に及ぼす格子定数の影響 | 京都大学大学院 |
| 寺山 勝之 | 欠損スピネル化合物 $Ga_{0.5}V_2S_7$ の磁性 | 東京大学大学院 |
| 森川 貴博 | $MnAs_{1-x}Sb_x$ の磁性に及ぼす組成のずれの効果 | 京都大学大学院 |
| 矢島 覚 | β -Mn 合金の構造と磁性 | 東京大学大学院 |
| 結晶物性工学研究室 | | |
| 足立 克之 | Mo や Nb 合金耐酸化コーティング材の開発 | 京都大学大学院 |
| 草刈 美里 | ZrB ₂ 単結晶の力学特性 | 京都大学大学院 |
| 坂本 宙樹 | LaNi ₅ 水素化過程のその場観察 | 京都大学大学院 |
| 高木 紘介 | Ti ₃ Al 基合金の水素化に関するアトミスティックな研究 | 東京大学大学院 |
| 藤井 昭宏 | CBED 法による TaSi ₂ の enantiomorph の決定 | 京都大学大学院 |
| 松原 慶明 | ReSi _{1.75} の構造と物性に及ぼす合金添加効果 | 京都大学大学院 |
| 三船 耕平 | Ti ₃ Al 基合金の水素化物の構造解析 | 京都大学大学院 |
| 構造物性学研究室 | | |
| 峯田 邦生 | 放射光を用いた超臨界水銀の密度ゆらぎの研究 | 東京大学大学院進学 |
| 山下 景子 | 超高融点金属間化合物 Ir ₃ Nb の高温物性 | (就職せず) |
| 材料物理学研究室 | | |
| 浅野 哲也 | YBa ₂ Cu ₃ O _{7-x} 超伝導薄膜の微細組織と輸送特性の解析 | 京都大学大学院 |
| 有賀 亮平 | 拡張ヒュッケル方による水素吸蔵機構の解明 | 京都大学大学院 |
| 磯谷 潤也 | Al-Zn-Mg 合金における準安定相形成への Cu 添加の影響 | 京都大学大学院 |
| 酒井 智弘 | MOD 法による酸化物熱電材料の薄膜化と評価 | 京都大学大学院 |
| 世古 敦人 | Ag/Bi2223 超伝導テープ材における電流-電圧特性の解析 | 京都大学大学院 |
| 羽柴 淳 | Bi2223 超伝導材における熱残留歪の評価 | 京都大学大学院 |
| 板東 麻衣 | 自由度の変化を基礎とした状態図の構築 | 京都大学大学院 |
| 材質制御学研究室 | | |
| 阿部 裕志 | Ti-6Al-4V の動的再結晶組織 | 京都大学大学院 |
| 馬江 唯一 | 繰返し変態によるオーステナイト粒の微細化 | 日新製銅(株) |
| カン ティ | Fe-C-M 三元合金フェライトにおけるセメントタイトの成長 kinetics | 京都大学大学院 |
| 神谷 啓一郎 | ラスマルテンサイトのパケットおよびブロック組織の形成過程 | 東京大学大学院 |
| 齋藤 勇人 | 微細オーステナイト粒からのフェライト変態組織 | 京都大学大学院 |
| 柴田 暁伸 | レンズマルテンサイトおよび薄板状マルテンサイトの成長挙動 | 京都大学大学院 |
| 関根 務 | 微細オーステナイト粒からのパーライト変態組織 | 京都大学大学院 |

| 氏 名 | 研究論文課目 | 就職先 |
|-------------------------|---|-------------------|
| エネルギー社会工学研究室 | | |
| 太田 勝己 | 繰り返し圧縮・圧延を用いたAlの強度に関する研究 | 京都大学大学院 |
| 金子 陽介 | 繰り返し圧縮・圧延によるFe/Ti多層膜の作製 | 京都大学大学院 |
| 西野 剛史 | 繰り返し圧縮・圧延によるNi/Nb多層膜の作製 | |
| 古本 仁 | H ₂ O-D ₂ O系の状態図の作成 | 京都大学大学院 |
| 山口 誠二 | 繰り返し圧縮・圧延により作製された多層膜の熱伝導度に関する研究 | 京都大学大学院 |
| 材料プロセス工学研究室 | | |
| 衛藤 将生 | 2, 3元系アルカリ硫酸塩中の酸化クロムの溶解度 | 京都大学大学院エネルギー科学研究科 |
| 戒田 裕亮 | Cu-Fe-P系の熱力学 | 京都大学大学院エネルギー科学研究科 |
| 曾根 英彰 | CaO-SiO ₂ -FeO系溶融スラグのガス還元 | 京都大学大学院エネルギー科学研究科 |
| 西川 慶 | 高炉系スラグと水蒸気-塩酸混合ガスとの反応 | 京都大学大学院エネルギー科学研究科 |
| 持田 晃弘 | 溶銑用リンセンサーの開発 | 京都大学大学院エネルギー科学研究科 |
| 高温プロセス研究室 | | |
| 石割 正敏 | 起電力法によるニオブシリサイドの標準生成自由エネルギー測定 | 京都大学大学院 |
| 近藤 恒幾 | フィン・素子一体型熱発電モジュールの評価 | 京都大学大学院 |
| 武川 将也 | 酸化ニオブの溶融塩を用いたカルシウム還元 | 京都大学大学院 |
| 立本 海 | 溶融塩浸漬によるCoのシリサイドコーティング | 京都大学大学院 |
| 吉田 政幹 | 流動下でのCa-CaCl ₂ によるTiO ₂ の還元 | 京都大学大学院 |
| メソ材料創製学(基礎工学)研究室 | | |
| 伊藤 浩平 | 「Au(001)再構成表面のSTMバリアハイトイメージング」 | 京都大学大学院 |
| 小山 徹也 | 「磁界下での金ナノ接点の量子化コンダクタンス」 | 京都大学研究生 |
| 佐伯 正仁 | 「合金化による金ナノ接点の高バイアス特性の改善」 | 京都大学大学院(エネルギー) |
| 中野 秀亮 | 「銀および銅ナノ接点の高バイアス量子化コンダクタンス」 | 京都大学大学院(エネルギー) |
| 山田 育弘 | 「高分解能走査ホールプローブによる高温超伝導材料の微細観察」 | ダイキン工業 |

修士課程修了者

| 氏 名 | 研究論文課目 | 就職先 |
|------------------|-----------------------------------|------------------|
| 材料設計工学研究室 | | |
| 藤村 幸司 | 希土類イオン固体レーザー材料における45-5dの遷移の第一原理計算 | 古河電機工業(株) |
| 山田 康博 | Liイオン伝導体におけるLiの移動エネルギーの第一原理計算 | キャノン(株) |
| 表面処理工学研究室 | | |
| 小川 光靖 | 因子分析に基づくNi-Mo合金めっき浴の設計 | 住友電気工業(株) |
| 佐藤 和之 | アンモニウムイミド系室温溶融塩からの金属および合金電析 | 三洋電気(株) |
| 飛岡 知明 | 塩基性浴からのCdTe電析法を用いた太陽電池の試作 | 日本ビューレット・パッカー(株) |

| 氏 名 | 研究論文課目 | 就職先 |
|---|--|---|
| プロセス設計学研究室 岸 田 逸 平 原 田 真 吾 | Sn-Bi-Ag はんだにおける Cu 界面近傍の Ag 偏析について X線表面進行波に関する研究 | 京都大学大学院 博士後期課程進学 |
| マイクロ材料学研究室 小 西 信 也 小 西 亮 平 増 田 晴 樹 村 井 俊 介 | Si-ULSI用 Cu 配線材における微小ボイド形成機構に対する研究 Effects of Ni addition to Ti/Al contact materials for p-type 4H-SiC (p型 4H-SiC に対する Ti/Al コンタクト材への Ni 添加の効果) Electrical resistivities of thin metal films used for interconnects of Si semiconductor devices. (Si 半導体デバイス用配線に用いられる金属薄膜材の導電性についての研究) AlGaIn 及び InGaIn ヘテロ接合半導体に対するオーミック・コンタクト材の開発 | NEC 日本IBM 日立製作所 デロイトコンサルタンツ |
| 量子材料学研究室 中 原 明 仁 吉 岡 裕 典 谷 口 賢太郎 | 高圧合成 Co ラーベス相化合物の物性 RMn ₂ Ge ₂ (R=Gd, Td, Dy) の磁場誘起相転移 MnAs _{1-x} Sd _x の巨大磁気熱量効果 | (株)日立製作所 (株)東芝 本田技研工業(株) |
| 結晶物性工学研究室 岡 部 善 治 桑 原 孝 介 松 浦 友 和 森 田 敏 之 | Ti ₃ Al 基合金における水素吸蔵・放出特性と相変態の関連性 2 元系および Mo を添加した ReSi _{1.75} の結晶構造と熱伝特性 TiMn ₂ の水素吸蔵に伴う吸蔵圧と内部組織の変化 TiAlPST 結晶の拘束変形 | トヨタ自動車(株) (株)日立製作所 トヨタ自動車(株) 大同特殊鋼(株) |
| 構造物性学研究室 森 岡 一 裕 | L1 ₀ -fcc 規則不規則変態に伴う巨視的形狀変化 | 松下電器産業(株) |
| 材料物理学研究室 高 田 祐 二 田 尻 正 幸 中 尾 文 健 野 村 公 平 山 本 大 介 | Ag/Bi2223 超伝導複合線材の交流特性 高分解走査ホールプローブ顕微鏡を用いた YBCO 酸化物超伝導体中の磁束密度分布観察 高濃度 Al-Zn-Mg-Cu 基合金における温間圧延による組織形成 Nb ₃ Sn 線材における Sn の拡散および組織形成過程の定式化 加工熱処理による Mg-Y 系合金の微細組織制御 | マイクロソフト(株) (株)図研 京都大学大学院 (株)シマノ 本田技研工業(株) |
| 材質制御学研究室 小 林 勝 也 田 路 勇 樹 溝 口 太 一 朗 宮 嶋 伸 晃 | ラスマルテンサイトの急速加熱焼もどし組織 β 型チタン合金の動的再結晶 強冷延・焼鈍したパーライトの組織と機械的性質 Fe-Ni-Mn 合金におけるラスマルテンサイトの界面構造および転位組織 | (財)鉄道総合技術研究所 川崎製鉄(株) 日新製鋼(株) トヨタ自動車(株) |

| 氏 名 | 研究論文課目 | 就 職 先 |
|---------------------------|---|--------------------------|
| エネルギー社会工学研究室 | | |
| 嶋 村 純 二 | 繰り返し圧縮圧延法による極低炭素鋼板の結晶粒微細化およびその機械的性質の変化 | 川崎製鉄 |
| 金 基 行 | Ag-Cu 多層体を利用した繰り返し圧縮圧延の機構解明 | コンパック |
| 小 坂 周一郎 | 水素吸蔵合金を利用した自己粉碎材料の開発 | 住友金属 |
| 丁 囁 | 繰り返し圧縮圧延法による Ni-Ta 系バルクアモルファス作製 | 日本発条株式会社 |
| 藤 原 隆 博 | ボールミルによる TiO ₂ 粉末の結晶構造変化およびその NO _x 分解能に関する研究 | ベインアンドカンパニー |
| 古 木 親 智 | 一般廃棄物の排出特性と居住区特性の関係についての研究～京都府相楽郡木津町を事例として | 日本LCA |
| 材料プロセッシング学研究室 | | |
| 塚 本 達 朗 | A thermochemical study of the Cu-Fe-P system (Cu-Fe-P 系の熱力学) | 大阪ガス(株) |
| 松 末 真 明 | {CaO + P ₂ O ₅ + SiO ₂ + Fe ₂ O ₃ } 系の熱力学 | 日本アイ・ビー・エム(株) |
| 松 村 直 樹 | Solubilities of Cr ₂ O ₃ in Binary and Ternary Alkaline Sulfate Melts (2, 3 元系アルカリ硫酸塩中への Cr ₂ O ₃ 溶解度) | 京都大学大学院エネルギー科学研究科博士後期課程 |
| 山 下 俊 幸 | Li ₂ O-CaO-B ₂ O ₃ -SiO ₂ -ZnO-Al ₂ O ₃ 系ガラス中の Fe ³⁺ /Fe ²⁺ の酸化還元平衡 | 日本アイ・ビー・エム(株) |
| 量子エネルギープロセス研究室 | | |
| 太 田 勝 也 | 複合銅酸化物 RPrBaCuO 系 (R = Nd, Ho, Y) における不均質ナノ構造と非オーム性伝導 | (株)キーエンス |
| 関 宗 俊 | Ge-S 系カルコゲナイドガラスの光学特性と電子構造 | 大阪大学大学院基礎工学・研究科物理系専攻博士課程 |
| 村 上 吉 昭 | DC アークプラズマ下での金属-軽元素化合物の生成 | マツダ(株) |
| 高温プロセス研究室 | | |
| 井 上 修 一 | 溶融塩化カルシウムを用いた酸化チタンのカルシウム連続還元 | 大阪瓦斯(株) |
| 京 野 孝 史 | 熱電発電素子の作製と特性評価 | 住友電気工業(株) |
| 田 中 大 輔 | 多段式熱電発電システムに関する研究 | (株)野村総合研究所 |
| 田 邊 健太郎 | ろう接による金属系熱電発電モジュールの作製及び評価 | 新日本製鐵(株) |
| 寺 沼 考 | (CaCl ₂ + CaO) 溶融塩電解による酸化チタンの還元 | 東邦瓦斯(株) |
| 矢 倉 崇 史 | 希土類リサイクルのための脱酸技術 | 日本放送協会大阪放送局 |
| メソ材料創製学 (基礎工学) 研究室 | | |
| 山 下 泰 治 | 「Ba 吸着 Si(111) 表面の STM」 | 福井村田製作所 |

博士後期課程修了者

| 氏 名 | 研究論文課題 | 就 職 先 |
|------------------|---|----------------------------------|
| 材料設計工学研究室 | | |
| 石 井 琢 悟 | First - Principles Analysis for the Optical Absorption Spectra of Cr ⁴⁺ -doped Solid - States Laser Crystals | 日本学術科振興会海外特別研究員 (PD) ハンブルグ大学 (独) |
| 小 山 幸 典 | Electronic Study on Electrochemical Properties of Electrode Materials for Lithium Batteries | 日本学術振興会特別研究員 (PD) |
| 溝 口 照 康 | Study of Local Atomic and Electronic Structures in Ceramic Materials by ELNES and XANES | 日本学術振興会特別研究員 (PD) |

博士学位授与者 課程博士

| 氏名 | 研究論文課目 | 主査 | 取得年月日 | 備考 |
|-------------------|--|------|------------|----|
| 材料設計工学研究室 石井琢悟 | First-Principles Analysis for the Optical Absorption Spectra of Cr ³⁺ -doped Solid-State Laser Crystals | 足立裕彦 | 平成13年9月 | |
| 小山幸典 | Electronic Study on Electrochemical Properties of Electrode Materials for Lithium Batteries | 足立裕彦 | 平成14年3月25日 | |
| 森分博紀 | スピネル型結晶構造酸化物 MgCr ₂ O ₄ の電気的特性とその電子論的考察 | 足立裕彦 | 平成13年9月 | |
| 溝口照康 | Study of Local Atomic and Electronic Structures in Ceramic Materials by ELNES and XANES | 足立裕彦 | 平成14年3月25日 | |
| 材料物理学研究室 宮田成紀 | 中性子小角散乱法による第2種超伝導体の微細構造と磁束状態の観察 | 長村光造 | 平成13年9月 | |

博士学位授与者 論文博士

| 氏名 | 研究論文課目 | 主査 | 取得年月日 | 備考 |
|---------------------|-----------------------------------|-----|------------|--|
| 材料工学(理工学)研究室 黒川修 | 走査トンネル顕微鏡による金属・半導体表面のトンネル障壁に関する研究 | 酒井明 | 平成14年3月25日 | 平成8年3月 京都大学大学院 工学研究科 材料工学専攻 修士課程修了 |

逝 去 会 員

教 室 報 告

逝去日不明 鈴木 恒男 昭42・治
 平成13年11月16日 村山 潔 昭11
 平成13年11月25日 小酒井正平 昭16 (3月)
 平成14年 2月15日 堀 哲 昭28・鉦
 平成14年 3月 5日 八田 夏夫 特名 昭36・鉦
 平成14年 5月10日 藤原 順一 昭21・治
 平成13年11月19日 渡辺 一之 昭19・治
 平成13年11月10日 黒岩慎太郎 昭23・鉦
 平成14年 4月 2日 清野 武 名誉会員
 平成14年 2月26日 津田 陽 昭23・鉦
 平成13年 1月 山脇 尚 昭21・治
 平成13年 9月11日 里見 美雄 昭22・治
 平成13年 6月 1日 山根 鐵也 昭24・治
 平成14年 1月 上田 正雄 昭25・治
 平成13年 7月20日 松栄 薫 昭25・治
 平成13年10月16日 北岡 博 昭26・治
 平成13年10月 5日 水上 一郎 昭33・治
 平成13年 3月30日 斎藤恵佐夫 昭60・金
 平成12年 4月22日 佐野 美則 昭36・鉦
 平成14年 5月 9日 植村 健 昭16 (12月)
 平成14年 2月18日 林 清造 昭27・治
 平成14年 7月 7日 井上 長治 昭12
 平成14年 2月14日 鈴木 勝己 昭22・治
 平成14年 7月 3日 田辺 寛 昭24・治
 逝去日不明 藤原 俊一 昭50・金
 平成14年 8月26日 岡村 志郎 昭17・治
 平成14年 4月 6日 能勢 康男 昭28・治
 平成14年 3月 3日 武石 達彦 昭31・治
 平成14年 6月13日 大西 正躬 昭41・治
 平成14年11月 3日 小松 英一 昭24・治
 平成14年10月31日 亀谷 道夫 昭28・鉦

ご逝去を悼み、ご冥福をお祈り申し上げます。

教官人事

〈旧資源系〉

平成13年11月 1日 松岡俊文 教授に昇任

平成14年 4月 1日 宅田裕彦 教授に昇任

平成14年 4月 1日 新苗正和 助教授に昇任

〈旧金属系〉

平成13年 7月 1日 田中功 助教授, エネルギー科学
 研究科から異動

平成13年 8月 1日 河合潤 教授に昇任

平成14年 3月 1日 田邊晃生 助教授に昇任

平成14年 3月16日 奥田浩司 助教授に任官

平成14年 3月31日 志賀正幸 定年退官

平成14年 4月 1日 石原慶一 教授に昇任

平成14年 4月 1日 落合庄治郎 教授, 酒井 明 教授,
 奥田浩司 助教授, 黒川 修 助手がメゾ材料から国際融合創造
 センターに異動

平成14年 4月 1日 小笠原一禎 関西学院大学に転出

平成14年 5月 1日 小出康夫 物質・材料研究機構に
 転出

平成14年 6月16日 着本 享 助手に任官

平成14年 8月 1日 永園 充 助手に任官

平成14年10月 1日 田中克志 香川大学に転出

平成14年10月 1日 中村裕之 姫路工業大学に転出

「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。

平成14年度水曜会誌編集委員会

| | | | | | | | | |
|-----|------|------|------|------|--|--|--|--|
| 委員長 | 村上正紀 | | | | | | | |
| 幹事 | 松本要 | (編集) | 新苗正和 | (広告) | | | | |
| 委員 | 平野勇 | 河合潤 | 森戸茂一 | 田口功平 | | | | |
| | 中村雄一 | 石田齐 | 白井泰治 | 藤原知哉 | | | | |
| | 佐藤郁夫 | 伊藤俊秀 | 木成寿秀 | 藤村隆志 | | | | |
| | 江原昭次 | 上坂進一 | 守谷敏之 | | | | | |

平成14年12月15日 印刷

平成14年12月20日 発行

編集兼
発行者

長村光造

印刷者

小林生男

日本印刷出版株式会社

553-0006

大阪市福島区吉野1丁目2番7号

電話 大阪 (6441) 6594 (代)

FAX 大阪 (6443) 5815

発行所 京都大学工学部

水曜会

606-8501 京都市左京区吉田本町

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

銀行口座 みずほ銀行百万遍支店

普通 476-1242526 水曜会

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は思いますが、「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。

次号（第23巻6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。

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字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、これを超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。
〒606-8501 京都市左京区吉田本町
京都大学大学院工学研究科資源工学・材料工学
専攻 エネルギー科学研究科 内
水曜会誌編集委員会宛

- (8) 原稿是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に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をもって指定するものとするが、横幅は1段（65 mm以内）または2段通し（140 mm以内）のいずれかとなることを考慮されたい。原図は刷上り図面の少なくとも2倍に書かれたい。この際図面の縮尺を考慮して作図し、とくに図中の文字の大きさについては十分に注意を払われたい。また、原図の左下隅に著者名、論文名、図表番号などを必ず明記されたい。
- (3) 単位は国際単位系（SI単位系）によることが望ましい。
- (4) 参考のため文献を記す場合には本文の肩に1). 2)などを付し、論文末尾につぎの形式で書き加えること。
 - 1) 大塚一雄, 宮城 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。

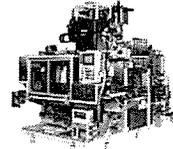


ネットレン 誘導加熱のバイオニア 各種高周波焼入・焼戻装置

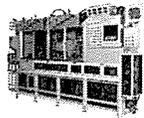
ネットレンは、創業以来50余年誘導加熱のバイオニアとして常に最先端技術の研究・開発に力を注いでまいりました。これからも顧客のニーズに対応した小型・省エネ・高信頼性で生産性の高い高周波焼入装置を提供してまいります。



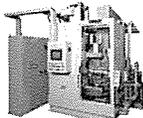
等速ジョイント焼入焼戻装置



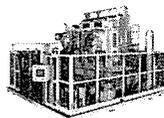
ドライブシャフト焼入焼戻装置



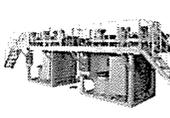
カムシャフト焼入焼戻装置



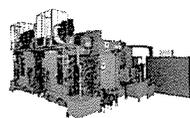
軽型汎用焼入装置



大型シュー/レース/ギア焼入装置



チェーン焼入焼戻装置



クランクシャフト焼入焼戻装置

NETUREN

<http://www.k-neturen.co.jp>

ネットレン

高周波熱錬株式会社

●本社 〒141-8639 東京都品川区東五反田2-17-1 TEL 03(3443)5441 FAX 03(3449)3969
 オーバルコート大崎マークウエスト
 ●営業部 〒254-0013 神奈川県平塚市田村5893 TEL 0463(55)1552 FAX 0463(55)4238
 ●名古屋営業所 〒470-1101 愛知県豊明市沓掛町八幡前77-41 TEL 0562(92)8338 FAX 0562(92)8666

省エネルギー。
しかも寿命が長い。
21世紀のリビングに、液晶テレビ。

目の付けどころが、シャープでしょ。
SHARP



アキタ
TOSHIYUKI KITA DESIGN

LC-37BD5 希望小売価格 850,000円(税別)
BS-110度CSデジタルハイビジョン液晶テレビ

- 189Wの低消費電力設計
- バックライト寿命約6万時間

AQUOS
アクオス

Suiyōkwai-Shi

TRANSACTIONS OF THE MINING AND METALLURGICAL
ASSOCIATION
KYOTO

CONTENTS

Retirement Memorial Lectures

- How Basic Research Contributes to Engineering ?
– Development of the Invar Reseach –Masayuki SHIGA..... 421

Memorial Lecture in the Annal Meeting of Suiyokwai

- 300 Years History of a Gold Leaf Maker in Kyoto
Changing to an Electroritic Copper Foil MakerKen FUKUTA..... 430
Consulting in Mineral Resources DevelopmentYasunobu NAKAZAWA..... 437

Article

- The development of remarkably “Simple & Clean” equipment to measure
quantity of absorbed hydrogen.
– A report from researching site of hydrogen storage alloys –Jun'ichirou KADONO..... 444

Lecture

- Progress in Metal Science and Its Research Technology
– Look Back upon My Research Life [I]Yotaro MURAKAMI..... 451

Review

- Present and Future of Japanese Aluminium IndustriesShiro SATO..... 461

Forum

- Living in BerkeleyToshiki WATANABE..... 480
Material System Engineering #2 Laboratory, Department of Mechanical
System Engineering, Gunma University { Takanori NAKAZAWA..... 485
Ikkuo SHOHJI
Application of Multivariate Analysis to the Sport Technology
– “Try this advanced driver, and you'll get a longer distance !
Is it true ?” –Shigeaki MARUHASHI..... 487
The Fundamentals on which the Education should be builtYoshio ATSUTA..... 494
Current Studies in Laboratories 504
Suiyōkwai Information 528
Letters to Editor 535