

水曜會誌

第24卷 第4号

目 次

大会記念講演

非鉄合金の電気比抵抗	小松 伸也	467
クリーンコールフロンティアを目指して	櫻井 繁樹	482

談話室

セレンディピティの誕生と拡散そして迷走	小岩 昌宏	491
ハウフの童話		
ーシュトゥットガルトとフィレンチェにゆかりの場所を訪ねるー	小岩 昌宏	504
コルポーター	熱田 善男	510

研究速報	512
------------	-----

会 報	535
-----------	-----

卒業者名簿	550
-------------	-----

会 則	564
-----------	-----

平成23年12月25日発行

京 都 大 学

水 曜 会



平成23年度 水曜会大会 記念写真（平成23年6月4日 京大百周年時計台記念会館にて）

大会記念講演

非鉄合金の電気比抵抗



小 松 伸 也*

Electrical Resistivity of Nonferrous Alloys

by Shin-ya Komatsu

1. はじめに

筆者は1961年に非鉄冶金学講座、久島研の学部卒業後、大学院では金属材料学講座、村上研に移り、高村研に入りびたつた。博士課程中退後、村上研の助手は一年半で、67年9月から阪大冶金の特殊精錬学講座、幸塚研に転属し、帯溶融精製による超高純金属の製造と純度検定、酸化物固体電解質の基礎と応用をテーマにした。72年末に要請されて73年から関西大学に移り、格子欠陥論の講義と関連した研究に戻った。12年間に研究分野を一往復半した。関大では京大以来のアルミニウム合金から、他の非鉄三金属、チタン、銅、マグネシウム合金に手を広げた。

扱いにくい学生や助手だったと思うが、変わり者を許容し尊重する京大の学風と、諦めて頂いた村上陽太郎先生、幸塚善作先生に感謝する。幸塚研では物理化学を基礎からやり直し、酸化物などの安定度を示すエリンガム図表の考え方に進んだ。おかげで結晶物理や回折を主とする他の材料系研究者と、一線を画することができた。比抵抗 ρ は、温度の他に純度や組成、格子欠陥濃度に敏感であり、測定値の解釈には正確な分析と、その精度や限界の認識が不可欠なため、超高純金属の経験は大いに役立った。

ρ 測定には手間がかかり、満足な測定には充分な人手が必要である。関西大学は、研究室面積と研究費の割に学生数が多いが、優秀な院生、学生の数は恐らく日本一だろう。 ρ 測定は、この状況を逆用する最適の選択だった。アルミニウム合金だけでなく、各種の合金へ進むことができたのも、関西大学に呼んでくださった亀井清先生のおかげである。

50年一貫して非鉄金属を対象にしてきた理由を考えると、鉄と相性が悪かったとしか考えられない。それにして

も『鉄と非鉄』という呼称は、一種の差別用語ではないか。それでも鉄が威張ってよい理由と、鉄に対して非鉄が占める立場から話を進める。

2. 鉄と非鉄 宇宙物質史

2008年2月に、経産省からの依頼で『非鉄金属とは？』と題して講演した。その内容を再使用する。

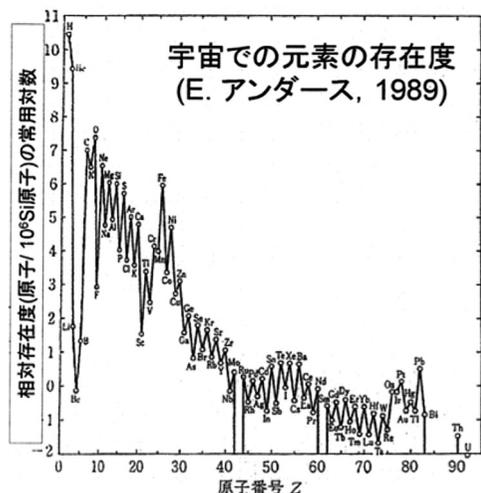
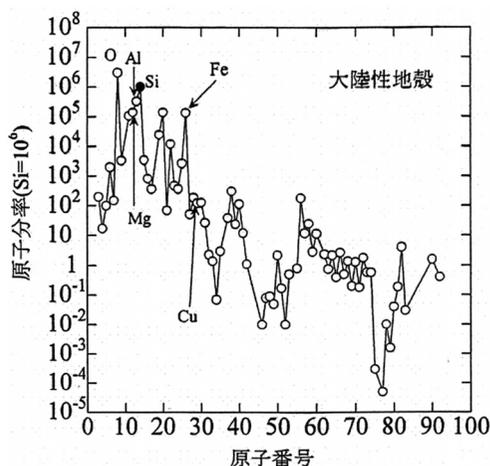
現在の宇宙論では、137億年前のビックバンから、宇宙が始まった。個人的には、現在は廃れた定常宇宙論の方が好きだったが、ハッブル望遠鏡の観察結果から、ビックバン説が正しいとされている。

ビックバンから3分後には、すでに水素、ヘリウムと微量のリチウム、ベリリウムの原子核ができていた²⁾。10億年後には最初の銀河が生まれ、恒星が形成され、核融合反応すなわち人類が現在知っている全元素の生成が始まった。最初の恒星の構成元素は、上にあげた四種類であり、我々が利用している物質の歴史は、ここから始まる。

原子核の中の核子一個当たりの結合エネルギーは、26番、鉄の付近で最大になる³⁾。この辺りまでの核は、融合反応で生成されるとエネルギーを放出し、原子番号の増加とともに安定になる。26番付近以上の原子番号の核は、核融合時にはなく核分裂時にエネルギーを放出する。逆にいうと、その生成には外部からのエネルギー供給が必要である。鉄付近までの原子核は、赤色巨星や赤色超巨星の中心核で形成されるが、それ以上の原子番号の核は、超新星爆発時にしか形成されない。原発の燃料も、超新星爆発時の過剰エネルギーを核に蓄えた化石燃料である。鉄の原子核は、エネルギー的には核融合と分裂反応の吹き溜まりであり、最も安定度が高い³⁾。

約46億年前、ウランまたはそれ以上の元素を含む塵とガスから、太陽系の始原ガス雲ができた。このガス雲は、少なくとも10回以上の超新星爆発を経験した元素群から

*関西大学 名誉教授

図1 宇宙組成³⁾図2 地殻組成⁴⁾

なる。

図1³⁾は宇宙(とは言っても実は太陽系)の組成を示す。一見して、軽い元素ほど多い。元素合成の始原物質は水素とヘリウムだから当然である。さらに、奇数番の元素は両隣の偶数番のものより少ない。例えば13番のAlは、両隣のMg, Siより少ない。これは偶数個の陽子をもつ原子核が、奇数個のものより安定であることを示している。 α 崩壊の際に、ヘリウム原子核(陽子2個、中性子2個)が飛び出すことから、偶数の陽子を持つ核の安定性が大きいことは、定性的に理解できる。

図1で、鉄の存在量は、周囲の元素より飛び抜けて多い。これは、原子核の安定度から当然であるが、同程度に安定なはずの28番のニッケルが、いやに少ない。地殻の形成過程で鉄と合金して中心核に沈むのは、次の段階である。銅は原子番号が29番で、元素存在量が少ない。

ガス雲が各惑星の元となる渦巻き部分に分裂し、中心の渦巻きは原始太陽の形成に向かう。約45~46億年前には太陽が輝きだし、地球の元になる球体も形成されだした。周囲の小天体を取り込まれる時の衝突熱で、地表は全て溶融したマグマ・オーシャンの状態だった。この状態は約6000万年続いた。この間に、鉄などの重い金属は地球の中心核へ沈降し、それより軽い酸化物が浮上分離した。高炉製鉄のslagと溶鉄の分離に似ている。やがて温度が下がると、酸化物は固化して地殻が形成された。この考えを少しひねると、我々人類は固まった高炉のslagの上で生活し、バブルの時期には土一升、金一升と騒いでいたことになる。

マグマ・オーシャンの末期で酸化物と鉄を主体とする金属の分離がかなり進んだ頃、火星ほどの大きさの惑星が地球に衝突した。衝突してきた惑星と地球表面の一部が衛星軌道に出て再集合し、月となった。この際、地球は

衝突以前より余分の鉄を取り込み、月は鉄を失って、密度が低下した。富化された鉄のため、約30億年前の地磁気発生と現在までの存続が可能になった。地磁気には、太陽風を逸らせて大気を保護する作用があり¹⁾、お蔭で人類には現在まで呼吸可能な大気がある。温度がさらに下がると、海洋が形成された。

図2には地殻の組成⁴⁾を示す。クラーク数が古くから知られているが、どちらも地殻上部だけのものである。現在まで最深のボーリングは、ロシアのコラ半島で13kmと聞いており、それ以深の状態については、地震波の解析等による推定しかできない。

Tiは図1と比べて異常に大きく上昇している。これは酸化物の安定性が高いことからくる。酸化し易く酸化物が安定な元素群が、地殻に大きく濃縮された。

鉄は太陽系組成だけでなく、図2の地殻でも周囲の元素より多い。元々多かったが、原始海洋中に溶存できたことも大きく影響している。溶存鉄イオンは、30億年前に出現したストロマトライトなどが産出した遊離酸素で酸化され、三価の鉄イオンの溶解度が低いため、当時の海洋底に沈殿した。この一部が、現在のオーストラリア等の露天堀鉄鉱床を形成した。

金属鉄は地球中心の核に沈んでも、酸化鉄は地殻や海水中にまだ多量に残留した。溶鉄に溶けやすい(≡状態図で鉄の融点を下げる)元素は、金属鉄とともに地球中心核に沈降し、外核の対流によってマントルに移行して、マントル対流に起因する噴火の際に、地表近くまで到達したのだらう。

小惑星や隕石には恐竜を絶滅させたもののように、イリジウムを高濃度を含むものも稀ではあるが存在する。SFのスカイラークシリーズには、小惑星で重金属を採鉱する話があるが、このイリジウムは鉄と合金していた

可能性があり、イリジウムが富化された地層の鉄含有量も調査すべきだろう。

珪素や軽金属のように、酸素との結合力の大きなものが、地殻に濃縮された。自然金や自然銀、銅、プラチナなどはマグマ由来の硫化物の反応によるのだろう。他の非鉄金属の多くは、鉄より酸化物生成時の自由エネルギー変化が大きい。このことは、温度と酸化物生成自由エネルギー変化の関係を示すエリングラム図表で、下方にある元素が地殻に濃縮されやすい、と理解できる。鉄が威張って良い理由は、地表で豊富な資源量と、高炉による連続還元が可能なことから来る低い価格と大きな生産量にある。国内での年間最大生産（使用）量は、鉄が1.20億トン、アルミが400万トン、銅が200万トン程度だが、マグネシウムとチタンは2~3万トン程度で、いずれも鉄より2~4桁小さい。

非鉄金属のうち密度 $4.5 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$ 以下の軽金属は、特に酸素との結合力が強く、炭素や水素による還元は実質上不可能で、工程のどこかで電解製錬が不可欠になる。このため高価格で、単位体積当たりの価格で比較しても、辛うじてマグネシウムが鉄に肉薄する程度である⁵⁾。軽金属の酸化物の密度は、普通その金属より大きい。チタンあたりで初めて元の金属と同程度になる。それでも鉄や銅より軽金属酸化物の密度は低く、地殻に濃縮される傾向は強い。

鉄が威張って良い理由は、豊富な資源量と高炉製錬の発明と発達による巨大な生産量、およびそれらに支えられた低価格である。豊富な資源量は、鉄原子核の高い安定性から恒星中心核での形成量が多いことに起因している。

3. 非鉄金属、比抵抗との御縁

学部は非鉄冶金学講座だった。1961年の卒業当時は高度成長期で、同期生の中には平家物語をもじって『鉄にあらざれば人にあらず』などと言う者もいた。このような、「よらば大樹の陰」的風潮への反発と、終戦直後に家にあったアルミ鋳物の薬罐の記憶から、アルミは平和産業と思えた。盛利貞先生の特論講義で、緊張のあまり胃が痛んだことも非鉄一辺倒の一因だろう。誰も言ってくれないので自分で言うしかないが、当時は筆者も繊細だった。以後も鉄との相性はよくない。

1959年学部三年の時、村上研の講座実験で、初めて金属の電気抵抗を測った。この時は鳥津製の電位差計で、電車のコントローラーのような摺動可変抵抗器がついていた。翌年住友電工伊丹での工場実習では、 UO_2 の比抵抗を測った。PCBだったか、変圧器油の中にドライアイスを入れて、 -70°C あたりまで試料を冷やしたが、昇温時に油に分散した水がとけて細かい水滴になると、絶縁破

壊が起こって、測定できなくなった。吉田起国君のパーコレーションである。

1961~66年の大学院では、時効によるアルミニウム合金の電気抵抗変化を追跡した。サイズファクター測定が面倒で、手抜きを試みて失敗した。高村先生のご推奨で、物理冶金談話会を聞きにいった。英一、広志の両藤田先生の掛け合いが面白く、高村先生の最後のまとめがわかりやすかった。

1967~72年には、阪大で超高純金属や酸化物固体電解質⁶⁾の電気比抵抗を測った。73年以降、関大でアルミニウム合金の時効研究を再開した。80年にチタン国際会議が京都で開かれることになり、亀井先生から『チタンもやってくれ』と言われて、78年から始めた。丁度旧ソ連がアルファ型原潜の船体にチタン合金を使いだし、国際価格が急上昇して日本のチタン産業は好景気に沸いていた。82年からは関大内のグループ研究で銅基形状記憶合金を、実用銅合金は86年から、実用 Mg 合金は高村研から神戸製鋼に行った安倍 睦君のすすめで90年から始めた。

84年に、Al 中の Fe と Si の挙動を比抵抗で調べられないかと村上陽太郎先生に言われて、同組成の試片を多数測定する必要が生じた。サイズファクター誤差検出のために、マティーセン則経験式を考え出した⁷⁾。91年には、マティーセン則からのずれ (DMR: Deviation from Matthiessen's Rule) を修正した誘導式を発表した⁸⁾。94年には、実用高濃度固溶体合金に適用できる修正ノルトハイム則を誘導した⁹⁾が、先にリンデ¹⁰⁾が発表していた。98年には、高濃度まで使える温度と平衡固溶度の関係を Al-Mg 系に適用し、 200°C 以下での平衡固溶度を実測および外挿で求めた¹¹⁾。

思えば、2009年まで50年間、よく測り続けたものであるが、最後まで飽きることなく楽しむことができた。

4. 非鉄合金の電気比抵抗 温度依存性と主要経験則

図3に代表的な非鉄純金属の電気比抵抗 ρ の温度による変化を示す^{5, 12, 13)}。極低温では Cu より Al の方が ρ は低くなる。Ti は非鉄四金属中で最も高い。Fe の ρ は 20°C で $97 \text{ n}\Omega\text{m}$ ⁴⁾で、Ti の $420 \text{ n}\Omega\text{m}$ より低い。この傾向はほかのデータベース¹⁴⁾でも同様である。(a) 図では、 ρ は 77 K 以上で温度の2乗から1乗に比例するように見えるが、(b) 図の真数プロットではほぼ直線と近似できる。

金属固溶体の ρ にはマティーセン則、ノルトハイム則、リンデ則の三つの経験則が知られている。筆者が最も重要と考えるマティーセン則は『固溶体合金の ρ の温度依存性は、純金属のものと等しい』とする近似で、これは『固溶体合金の ρ は純金属の ρ と、不純物(または溶質原子や格子欠陥)の寄与の和である』と置き換えられる。この法則は『キャリアが同一で散乱原因が異なる場合、合金の ρ

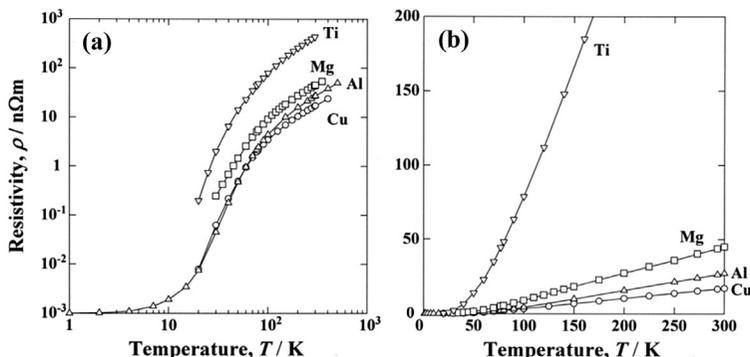


図3 Ti, Mg, Al, Cu の ρ の温度依存性
(a) 両対数プロット, (b) 真数プロット^{5, 12, 13)}

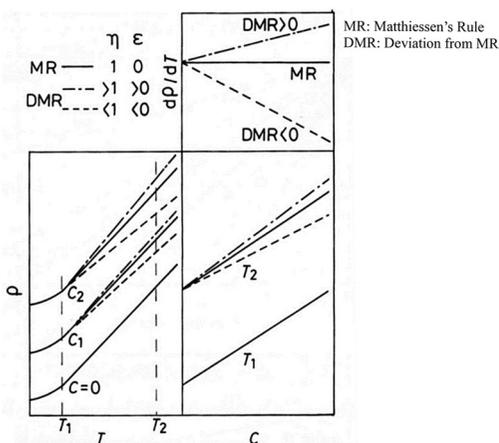


図4 マティーセン側からのずれ DMR の模式図¹⁵⁾

はそれぞれの散乱原因による ρ の和で与えられる』ことを意味している。半導体の場合は、『異種キャリアが伝導に寄与する時、電気伝導度 σ はキャリアによる σ の和』になる。

ノルトハイム則は、『貴金属同士の高濃度固溶体合金の ρ は、溶質の原子分率 X の関数 $X(1-X)$ に比例する』ということで、溶質濃度が数 at% 以上 ($X > 0.02$) の高濃度固溶体では、 ρ の濃度依存性の表現には、濃度の二次項が無視できない。

リンデ則は、『溶質単位濃度あたりの ρ への寄与 $\Delta\rho$ は、溶質と溶媒元素の周期表の族番号差 ΔZ の二乗に比例する』というもので、貴金属基の合金ではよく成立し通電材料としての銅や銅合金では重要な意味を持つ。

マティーセン則はさまざまに表現されるが、すでに解説した¹⁵⁻¹⁸⁾ので、最も広範囲に適用できる表現に飛ぶ。

マティーセンの1864年の原論文¹⁹⁾から、約100年後の1960年代に、マティーセン則からのずれ DMR (DMR: Deviation from Matthiessen's Rule) が盛んに議論された¹⁵⁾。式 (1) は DMR を示す合金元素を含んだ多元希薄

固溶体の $\rho^{ss}(C, T)$ を表す。

$$\rho^{ss}(C^i, T) = \rho^{pure}(T) + \sum C^i \Delta\rho^i(T) \quad (1)$$

ここで、添字 SS は固溶体 solid solution を、PURE は理想的な純金属を、T は温度、 C^i は i 番目の不純物、溶質原子または格子欠陥の濃度、 $\Delta\rho^i$ はそれらの単位濃度あたりの ρ への寄与である。希薄固溶体では、これらの寄与はその濃度 C に比例する。マティーセン則では $\Delta\rho$ が抵抗測定時の試料温度 T に無関係に一定と近似されていた。

ρ 測定用試片のサイズでは完全な純金属は存在せず、全ての『純金属』試片は無限希釈された多元固溶体である。ただし、 C が小さい微量不純物は、(1) 式の総和で無視でき、近似的に二元固溶体として取り扱える。時効析出中の残留溶質濃度や添加元素の固溶体中への残留濃度の議論には、 C が表に出た (1) 式の表現が使いやすい。

図4は、DMR を模式的に示している¹⁵⁻¹⁸⁾。溶媒が同じでも、溶質の種類によって、 $d\rho^{ss}(C, T)/dT$ が C の増加とともに減少する合金系と、増加する合金系^{16, 20)}とがある。このことは、 $d\rho^{ss}/dC = \Delta\rho$ が試片温度 T に依存することに他ならない。 $\Delta\rho$ が T とともに増加する場合を正の、減少する場合を負の DMR と規定した。

図5は、一例として Cu-Zn 合金での DMR を示す²¹⁾。 $\rho^{ss}(C, T)$ の値は筆者らの測定値ではなく、文献¹⁹⁾が記載した推奨値である。(a) は、Zn 濃度の異なる固溶体ごとの T と ρ^{ss} の関係、(b) は 300 K と 77 K での ρ^{ss} と Zn の濃度関数との関係、(c) は 250 K と 300 K の間の $d\rho^{ss}/dT$ と濃度関数との関係を示している。(a) から、濃度が高いほど $d\rho^{ss}(C, T)/dT$ は明らかに大きくなる。(b) の横軸には、ノルトハイム則の関数、 $X(1-X)$ を使った。測定点は曲線上にあるが、強引に直線回歸すると、(b) 図で 300 K の勾配は明らかに 77 K より大きい。 $\Delta\rho_x^{Zn}$ は ρ 測定時の試料温度 (T) が高いほど大きく、Cu 中の Zn の DMR は正である。(c) の $d\rho^{ss}/dT$ も、濃度とともに明らかに増加している。

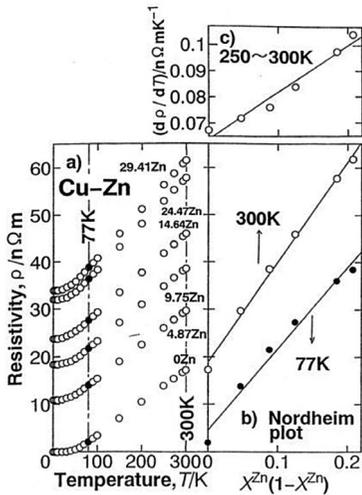


図5 Cu-Zn合金でのDMR^{13, 16)}

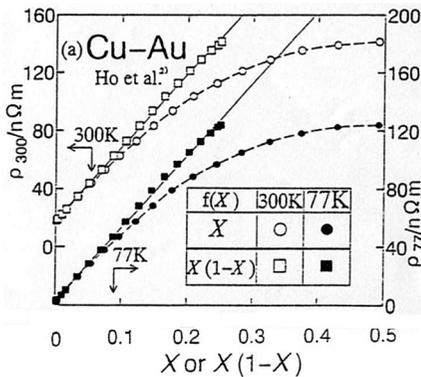


図6 Cu-Au合金でのノルトハイム則^{13, 16)}

希薄固溶体の場合は X が小さいため、(1)式のように、溶質の寄与は濃度の一次関数で近似できる。高濃度固溶体ではノルトハイム則類似の濃度の二次項を含んだ整理が必要になる。

図6はCu-Au合金へのノルトハイム則の適用を示している¹⁶⁾。この場合も、推奨値¹³⁾を用いた。 X に対するプロットは、明らかに二次曲線上にあるが、 $X(1-X)$ プロットなら直線化する。ただし、回帰直線との差を拡大すると、なお小さなずれのピークが検出される¹⁶⁾。 $\Delta\rho_X^{Au}(T)$ の温度依存性は小さく、Cu-Au系ではDMRも小さい。

ノルトハイム則による ρ vs $X(1-X)$ プロットでも直線化できない場合にも、任意の定数 ν を入れた (2) 式の $X(1-\nu X)$ プロットで直線化できる。

$$\rho^{ss}(X, T) = \rho^{pure}(T) + \Delta\rho_X(T) X(1-\nu X) \quad (2)$$

リンデは¹⁰⁾は ν ではなく Λ を使用していたが、筆者ら²⁰⁾はMg-Al合金の ρ とAl濃度の関係を整理するため、 ν を任意に変化させて、直線回帰の相関係数 r が最大にな

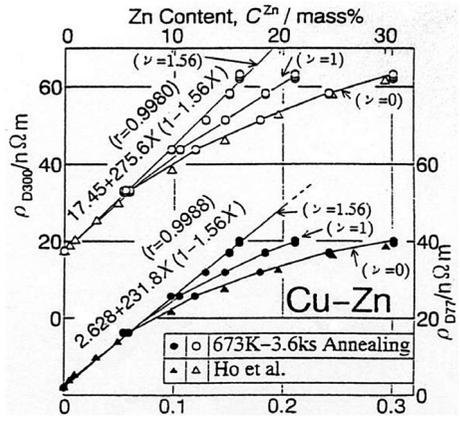


図7 Cu-Zn合金での修正ノルトハイム則^{13, 16)}

る値を求めた。

図7は、図5と同じデータ・セットを一次、ノルトハイム則、修正ノルトハイム則の三通りに比較している¹⁶⁾。横軸を $X(1-\nu X)$ とし、 ν をそれぞれ $0[X]$ 、 $1[X(1-X)]$ 、 $1.56[X(1-1.56X)]$ と変えている。図5でも推定されたが、 $\nu=1$ のプロットではまだ放物線的な濃度依存性が残り、 ν を1.56とした時、 $X \leq 0.30$ の濃度範囲では、最良の直線が得られた。もしもより高濃度までデータ・セットがあれば、おそらくより1に近い ν が得られるだろう。数種の高濃度固溶体で ν を推定した時^{15, 16)}、最大の at% 濃度が高いほど ν の数値は低く、より1に近づく傾向が見られたからである。現状で ν の数値は経験的に理論的根拠はなく、今後の考察課題である。

図7中に記入した回帰式の勾配から、 $\Delta\rho_X^{Zn}(T)$ は T が高いほど大きく、正のDMRを示す傾向は図5と一致している。 $\Delta\rho_X(300)$ と $\Delta\rho_X(77)$ の比 [次の5章で出てくる $\eta = \Delta\rho_X(300)/\Delta\rho_X(77)$] は約1.189で、Cu中のZnのDMRは正で大きい。

高濃度固溶体では、濃度が高い区間で $d\rho^{ss}/dC$ 、すなわち $\Delta\rho$ が小さくなる困った傾向は、ノルトハイム則または修正ノルトハイム則の適用で回避できる。

工業用純 (以下C.P.: commercial pure) チタンでは、不可避不純物の酸素、鉄、窒素などの焼鈍温度での固溶限が広いために、大部分の不純物は固溶し第二相粒子は少ない。不可避不純物として鉄、珪素を含むC.P.アルミニウムは、鉄を含む第二相粒子が必ず存在する複相合金である。 ρ への第二相粒子の影響は、一般的には複相則で取り扱うことができる。

岩波『材料科学入門』は、教科書に多用された名著であるが、複相合金のバルクを電流方向に平行に細分化していくと、いずれは α 相と β 相が直列に配列したコラムになるため、複相合金の ρ は、直列抵抗型になるとしていた²²⁾。実際は、コラムをバルクに再構築する際に、隣接する

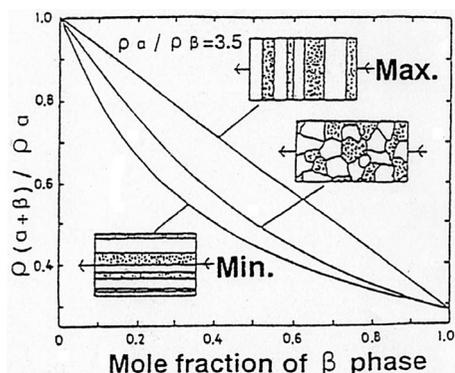


図8 ρ への第二相体積率の影響，複合則の模式図²¹⁾

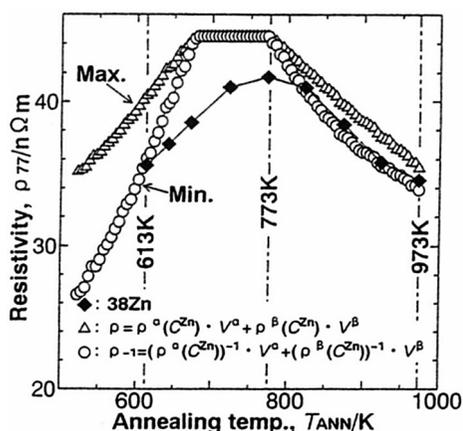


図9 $(a+\beta)$ Cu-Zn 合金の ρ の複合則による計算結果²¹⁾

コラムに流れる電流が必ずあり，並列抵抗の因子が生じる．実際の粒子分散型の複相合金では，図8のように直列型の ρ の複合則と並列型の電気伝導度 σ の複合則との中間の合成比抵抗となる²¹⁾．

図9は $(a+\beta)$ Cu-Zn 合金の β 相体積率を平衡状態図の相比から求め， $\rho(a)$ と $\rho(\beta)$ の実測値を使って計算した ρ 値と，なるべく長時間の熱処理後の実測値を比較している²¹⁾． a 相の方が β 相より比抵抗は高い．823 K 以上で長時間熱処理した時の実測値は，上の予測領域の下限近くにある．773 K 以下では熱処理時間の不足もあって，計算値より低くなっている．

5. マティーセン則の応用

4.2 K と 293 K での残留抵抗比 $RRR = \rho_{293}^{ss}/\rho_{4.2}^{ss}$ は，高純度金属の純度の指標とされてきた．しかし，4.2 K での測定に使う液体ヘリウムは，液体窒素よりはるかに資源量が少ないため，価格が約10倍高く，溜めておく装置も複雑高価で，日常的な測定には向かない．多数の合金の ρ を測定するには，液体窒素温度 77 K の方が有利である．

最初に抵抗比 $R = \rho_{300}^{ss}/\rho_{77}^{ss}$ と ρ_{77}^{ss} の関係を取り上げ

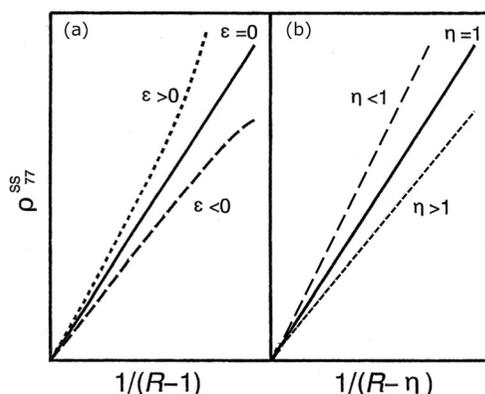


図10 抵抗比 R との関係への DMR の影響

(a) (3) 式と(4) 式の比較，(b) (3) 式と(6) 式の比較^{15, 16)}

る．(1) 式で $\Delta\rho$ が温度に依存せずマティーセン則が成立している場合には(3) 式が誘導される．

$$\rho_{77}^{ss} = (\rho_{300}^{PURE} - \rho_{77}^{PURE}) / (R-1) \quad (3)$$

(3) 式は，マティーセン則が成立する合金系では， $1/(R-1)$ を横軸に， ρ_{77}^{ss} を縦軸にとった測定点は直線上に乗り，その直線の勾配は $\rho_{300}^{PURE} - \rho_{77}^{PURE}$ となることを意味している．この図を以後マティーセンプロットと呼び，M.P. と略記する．

DMR がある二元系の場合には， $\varepsilon = \Delta\rho_{300} - \Delta\rho_{77}$ と書くと，

$$\rho_{77}^{ss} = (\rho_{300}^{PURE} - \rho_{77}^{PURE} + C\varepsilon) / (R-1) \quad (4)$$

となる．多元系の場合も同様にして，

$$\rho_{77}^{ss} = (\rho_{300}^{PURE} - \rho_{77}^{PURE} + \sum C^i \varepsilon^i) / (R-1) \quad (5)$$

が得られる．(4)，(5) の二式では分子に濃度の項が残るため，M.P. の勾配は濃度とともに変化して， ε が正の場合は高濃度(すなわち高 ρ) ほど増加し，負の場合は減少する．

一方，二元系に戻って $\eta = \Delta\rho_{300} / \Delta\rho_{77}$ と書いて整理すると，

$$\rho_{77}^{ss} = (\rho_{300}^{PURE} - \eta\rho_{77}^{PURE}) / (R-\eta) \quad (6)$$

となり，分子の濃度項は消去される． $1/(R-\eta)$ と ρ_{77}^{ss} のプロットでは高い ρ 値まで直線が得られる．しかし，(6) 式は二元系にしか適応できず，また η が既知でないと作図できない．このため，一般的には(5) 式による図を使った¹⁵⁻¹⁸⁾．

図10は，(4) 式と(6) 式のプロットが，DMR の正負でどう変わるかを，模式的に比較している^{15, 16)}．(a) 図の(4) 式によるプロットは，高比抵抗で勾配が増減してカーブするが，(b) 図の(6) 式によるプロットは高比抵抗まで直線になる．(3) 式をマティーセン則誘導式，(4)~(6) 式を DMR 修正誘導式と呼ぶ．

阪大での超高純金属の経験から，多くの「純金属」は実は多元希薄固溶体であると考えている．実際の「二元系」

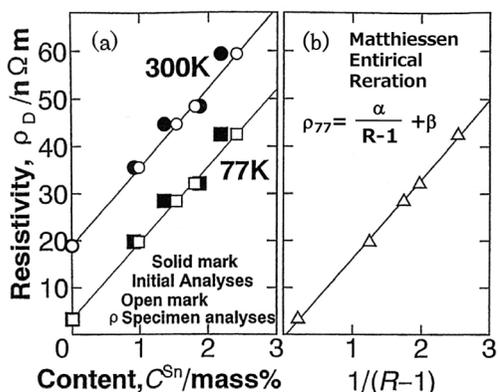


図11 Cu-Sn 合金での (a) C と ρ^{ss} の関係, (b) マティーン・プロット^{16, 23, 24)}

合金でも、主合金元素以外の不純物は必ず存在するので、程度の差はあっても、実は多元系合金であることを思い出す必要がある。

実測した ρ_{77}^{ss} と R を使って M.P. を作り直線回帰すると、(3)~(6) 式にはない切片 β を持った (7) 式が得られる。

$$\rho_{77}^{ss} = [a/(R-1)] + \beta \quad (7)$$

これをマティーン則経験式 (MER: Matthiessen Empirical Relation) と呼んだ。図10から明らかなように、 ϵ が正の場合、 a は $\rho_{300}^{PURE} - \rho_{77}^{PURE}$ より大きく、負の β をともなう。 ϵ が負の時は逆である。

図11は Cu-Sn 合金への適用例を示す^{16, 23, 24)}。(a) の Sn 含有量と ρ^{ss} の関係は、直線回帰を試みる気にもなれないほど、直線からのランダムなずれが大きい。一方 (b) の M.P. はよい直線になっている。この比較から、(a) 図でプロットが暴れる原因は ρ の測定誤差ではなく、横軸の Sn 濃度分析値が試片の Sn 含有量と異なっていたと考えた。 ρ 測定済み試片の分析を改めて依頼し、その結果によるプロットを (a) 図中に白マークで示した。

ρ 試片の分析値を使った C- ρ プロットは、明らかにより良好な直線関係を示す。MER の勾配 a は 17.32 nΩm、切片 β は -1.73 nΩm であった²³⁾。純銅の $\rho_{300}^{ss} - \rho_{77}^{ss} = 15.5$ nΩm と比較して、Cu 中の Sn の ϵ は正である。このように a と β を実測値から求めておくと、抵抗比 R、実は 300 K と 77 K での実測抵抗の比 Ω_{300}/Ω_{77} から ρ_{77}^{ss} を逆算できる。既に得た MER から R を使って求めた ρ の値を、実測値した ρ_{77}^{ss} と区別するために ρ_{M77} と表記した。この手法は、後に述べる U 字型試片の比抵抗値推定などに適用できた。

このようにうまくいった例も多いが、解釈不能な M.P. の例もある。図12は、異常なマティーン・プロットの一例で、Cu-1.5(or 2.0)%Fe-2%Sn 合金の圧延板材を等時焼鈍した場合の M.P. である²⁵⁾。熱延後の冷延直後から焼

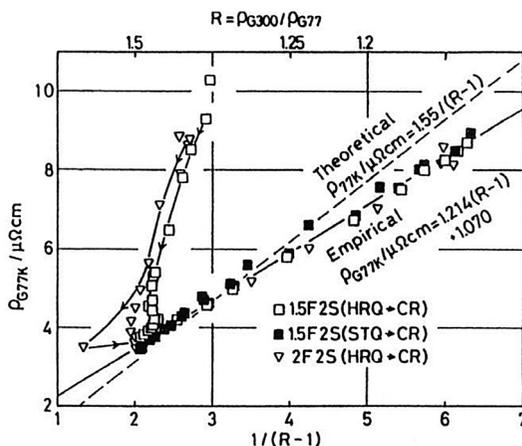


図12 Cu-Fe-Sn 合金圧延材を等時焼鈍した場合のマティーン・プロット²⁵⁾

鈍による ρ 極小までの測定点は、直線から大きく外れており、 ρ 極小から Fe の再固溶による増加や、溶体化処理後圧延材ではほぼ直線になっている。析出鉄の磁性の影響が考えられるが、詳細は不明である。Al-Fe、Ti-Fe 系でも解釈困難な結果を得た。一つの冗談としては、筆者が鉄と相性が悪いことの影響かも知れない。

Cu-3.5%Ti 圧延材を等時焼鈍または焼鈍した時のマティーン・プロットでは、直線部分が全くなく、全体でギリシヤ字の γ に似たループが得られた^{16, 26)}。銅合金に多い規則-不規則反応の影響かとも考えられるが、詳細は不明である。Cu-Ti 合金でも、溶体化処理焼入れ状態の測定値を使うと、変動は大きい理解可能な M.P. が得られた²⁶⁾。

これらの異常は、Cu 合金圧延材の焼鈍過程でしばしば出現し、他の Al 合金、Mg 合金では見られなかった。Cu-Fe 系では析出の初期には γ Fe が出現することが知られており、また Cu-Ti 系では規則化した Ti 濃化相が知られている。一般に、Al 合金固溶体はクラスター型で、Cu 合金固溶体はオーダー型が多いことの影響かもしれない。

Al 合金の標準的な ρ 測定用試片は、(故) 古川弘三先生や岡崎謙二さんなど高村研のメンバーから直伝の石英ガラス棒に、巻き付けた Al 細線に点溶接した。これで試片は石英棒に緩く固定され、急冷時の収縮の影響が低減する。講演当日、新宮秀夫君から聞いたところでは同君が学部生当時に工夫したそうである。高村研の方法の改良点は、池内健二君の示唆による電流・電圧導線の分離、点溶接後に試片の電圧接点間隔測定、密度・質量法による平均断面積の算定、などである。これらの手順で、巻付け中の導線外れという悲劇は回避できた。

圧延直後には、後の図17にも示すように、転位線の増殖

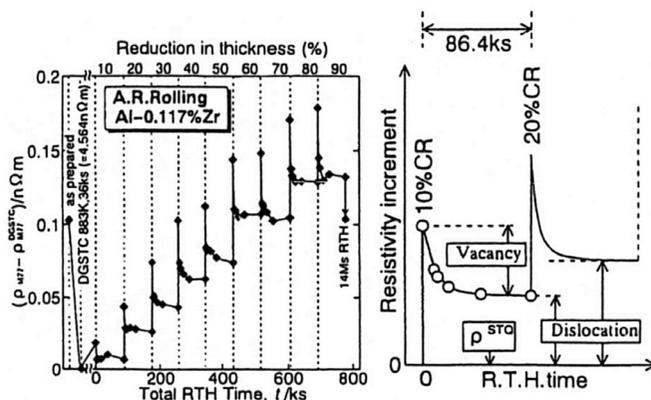


図13 Al-0.117%Zr合金の累積往復圧延と室温焼鈍による ρ 変化²⁷⁾

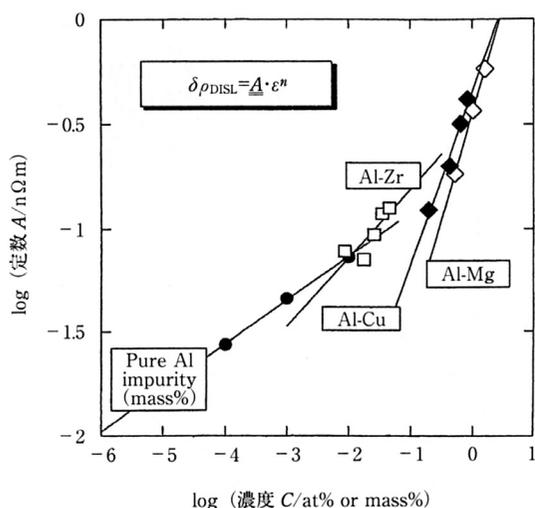


図14 Al合金を $\epsilon=1$ まで圧延した時の転位密度増加に対応する ρ 増加と溶質または不純物濃度との関係¹⁷⁾

以外に、格子間原子、空孔などの点欠陥の導入による ρ 増加がある。格子間原子は極低温でも、空孔も室温では急速に減少する。圧延した板から室温で試片を切り出して、電流・電圧導線を溶接している間に、点欠陥の大部分は粒界などに消滅・減少し、時効性合金の場合はゾーンなどを作る。U字型試片を往復または一方向圧延して、圧延後10s以内に液体窒素に漬けて抵抗を測り、後から圧延で変化したサイズファクターを推定すれば、圧延直後10s以内の ρ 値を求められる。このようなU字型の試片形状やサイズファクター推定手順などは、解説に書いた^{16, 17)}。

図13はAl-0.117%Zr合金固溶体U字型試片の累積往復圧延と、その後の室温焼鈍による ρ 変化²⁷⁾を示す。圧延直後の ρ 増加には、空孔濃度と転位密度の増加が重なっている。室温焼鈍中には、主に空孔が減少し、転位密度の減少は、無視できる。従って、圧延直後から室温保持中の

減少は圧延で導入された空孔濃度に相当し、室温一日保持後に残った ρ 増加は転位密度の増加に相当する。これが大きい合金では、当然加工硬化も大きい。

ところがAl-1.0%Si合金では、圧延直後の増加分は、その後室温一日の保持中にほとんど全て消滅し、中には圧延前の ρ 値より低くなることがあった²⁷⁾。これは、室温一日保持中に固溶していたSiが析出したためである。加工硬化が検出されたので、転位密度は確かに増加している。高温でのデータを外挿すると、Siの室温での平衡固溶度は僅か11ppmで、ほぼ1.0%のSiが固溶している試料では、充分な濃度の空孔が存在すれば、室温でも析出は起こる。圧延後に密度が増加した転位も、有利な核生成場所を提供している。Siの多い工業用純アルミニウムでも、圧延前より ρ 値が低下した²⁸⁾。

図14は、圧延による転位密度増加に対応すると考えられる $\delta\rho^{\text{DISL}}$ (室温一日焼鈍後に残留する ρ 増加)が、圧延真歪み ϵ と $A\epsilon^n$ の関係にあるとした時の前指数 A 、すなわち $\epsilon=1$ の時の $\delta\rho^{\text{DISL}}$ 、とAl合金中の不純物あるいは溶質濃度との関係を示す。『純アルミニウム』の場合は、質量%による不純物濃度を使った¹⁷⁾。99.9999%の時は、不純物濃度は $10^{-4}\%$ である。Cu合金の場合も、図14と同様に、不純物あるいは溶質濃度の増大とともに、 $\delta\rho^{\text{DISL}}$ は大きくなった^{16, 29)}。

溶質(あるいは不純物)濃度の増加とともに転位密度の上昇量は増加する。このことは、不純物または溶質濃度が高いほど、同一圧延加工度での加工硬化量が大きいことを示している。他の合金系でもこの傾向は保持されており、時効硬化性合金を強加工する時には過時効軟化状態から出発する現場の智慧を裏付けている。

これらの知見の応用の一つとして、図15にCu-Zn系合金での加工硬化と ρ 増加の関係を示す^{16, 19)}。圧延後の耐力は溶質濃度とともに大きく上昇するが、焼鈍状態の耐力の溶質濃度依存性はあまり大きくない。転位密度増加

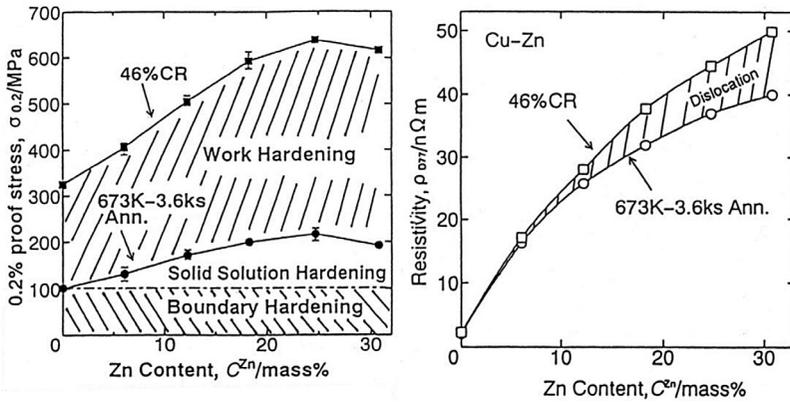


図15 Cu-Zn系合金の圧延による加工硬化(左図)と比抵抗増加(右図)^{16, 29)}

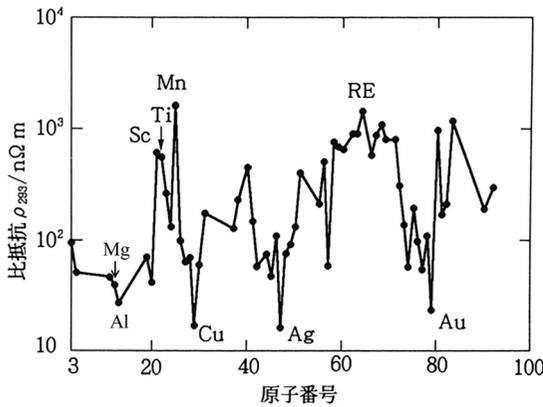


図16 純金属の室温での比抵抗値の比較³¹⁾

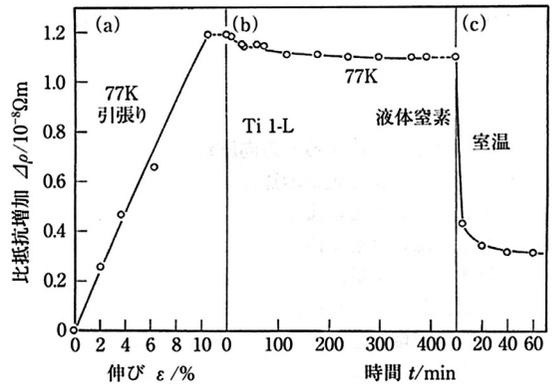


図17 工業用純チタンの液体窒素中引張とその後の焼鈍による比抵抗変化¹⁷⁾

による ρ 増加は、Zr などの微量添加元素ほど大きくないが、添加可能量（平衡固溶濃度）が大きいため、実用的に利用できる。Al-Mg 系でも同様な傾向が観察された³⁰⁾。これら二つのよく使われる合金系は、いずれも固溶体硬化型合金とされているが、実はその強度の大半は加工硬化で得られており、加工硬化型合金ともいふべきである。一方、転位の $\Delta\rho$ は合金元素にくらべてあまり大きくなく、合金の高強度、高電導化には合金元素添加よりも、加工硬化の利用が有利と考えられる。

6. チタンとその合金の ρ

ここまでは、Cu 合金と Al 合金を中心に述べてきた。この節からはチタンとその合金を取り上げる。 α 単相と考えてよい工業用純チタンから、 β チタン合金へと話を進める。

6.1 工業用純チタンの物性

6.1.1 工業用純チタンの ρ

まず α 固溶体である工業用純チタンから始めるが、その前に一般的な非鉄純金属の ρ 値を比較してみる。

図16は各種純金属の室温での ρ 値を原子番号順に示し

ている³¹⁾。金属元素ではマンガンが最高で、高純化が難しいことと、多数の同素変態で焼鈍後の冷却中に導入された格子欠陥によると考えられる。 α チタンも結構 ρ は高く 420 nΩm もあり、鉄の 97 nΩm より約 4 倍高い⁴⁾。合金化すると一般に ρ は増加するが、後に紹介する β チタン合金の ρ はマンガンと同じ 1.5 $\mu\Omega$ m 程度、Ti-Fe 系では 2 $\mu\Omega$ m にもなって、ほとんど半金属と言ってもよい。不純物や合金元素の添加で ρ は高くなるが、格子欠陥も溶質や不純物と同様の影響を与える。

図17は C.P. チタンの液体窒素中引張とその後の焼鈍による ρ 変化を示す¹⁷⁾。C.P. チタンは、厳密には、Ti-O-Fe-N-H-C 多元希薄合金と考えるべきである。高村先生の教科書（材料強度の基礎）にある同様の図は模式図で、金属の種類や ρ 値は指定されていない。三浦 精先生が測っていた金だろうと思う。液体窒素での保持中に徐減する ρ は、格子間原子が移動・減少したことによるとされている。この試片を室温に昇温すると ρ は急減するが、これは空孔が移動し始め、その濃度が急減したことによる。室温焼鈍後に残る ρ 増加は転位や変形双晶など、室温焼鈍でもほとんど減少しない格子欠陥が変形で増加した

ことによる。

C.P. チタンでは、低温変形により双晶変形の比率が増加する³²⁾が、転位線も増殖しており、図17では格子間原子や空孔の濃度減少に対応する ρ 減少が見られる。

チタンとその合金の ρ 測定を始めるにあたって、まずC.P. チタンを取り上げた。図18では700°Cで1時間焼鈍した圧延板を剪断して作った試片を、準備中に導入された転位などの格子欠陥を除去する目的で、673 K以上の各温度で等温処理した際の ρ 変化を示す³³⁾。当初の ρ は、酸素含有量の多いTi-4の方が、Ti-1より高い。両試料とも等温処理の初期に ρ は増加し、その後減少して最後に再増加している。

初期の ρ 増加は、700°C焼鈍後の室温保持中に析出した TiH_2 が、等温処理の初期に再溶解したこと、次の減少は、700°C焼鈍中に固溶していたFeの析出、最後の再増

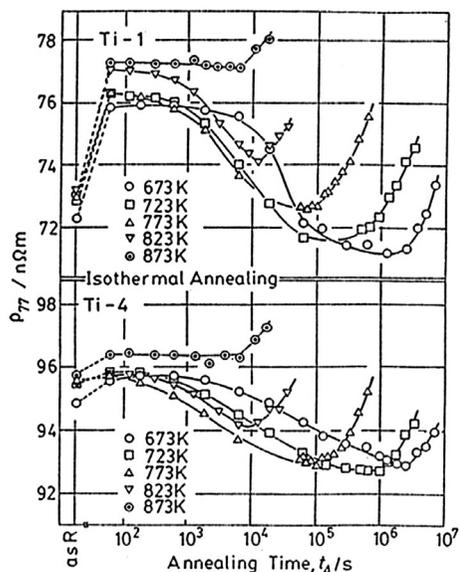


図18 工業用純チタン焼鈍材の熱処理による比抵抗変化、上図のTi-1の方が下図のTi-4より低酸素³³⁾

加は、試片表面の酸化被膜から拡散侵入した酸素濃度の増加、による、と解釈した。

液体窒素の沸点上昇による ρ 測定値の変化を補正するため、C.P. チタンのダミー試片を使用したことがある。ところが、測定していた学生が、ダミーの抵抗値を使って補正すると、かえって測定値の変動が大きくなることに気がついた。この原因は、図19に示すダミー試片の ρ の周年変化であった³⁴⁾。

チタン中のHの平衡固溶度は室温付近で約20~25 ppmで、これ以上に含有されているHは、室温があがると固溶し、下がると析出する。チタン中のHの拡散係数は非常に大きいので、H固溶量は室温変動にともなうて変化している。図19の ρ 変化は、研究室の平均室温の変動にぴったり追従している。当時、関大は貧乏で、研究室に空調は入っていなかった。夏休み前など、標準電池の起電力補正表が35°Cまでなので、室温がそれ以上になったら測定を中止して涼しい図書館に行くことにしていた。5月に測定し始めた ρ は、夏休みまで上昇を続け、室温の低下とともに11月末まで低下した。12月になるとスチーム暖房が入ったので上昇し、冬休みで暖房が止まると低下した。もしもダミーによる補正が必要なら、H量が10 ppm以下の超高純のものを使うとよい。C.P. チタンのH含有量は通常20~40 ppm程度で、室温変化にともなう ρ 変化は避けられないが、逆に積算温度計としての利用も考えられる。

他の非鉄金属でもHは室温で充分な拡散速度を持つので、室温でのHの平衡固溶度と含有量には注意する必要がある。

6.1.2 チタンとその合金の熱伝導度

金属、合金の熱伝導度 κ は電気伝導度 σ に比例し、 $\kappa = L T \sigma$ で現されるWiedemann-Franz則が成立する。LはLorenz定数で理想的には $(\pi k_B/e)^2/3$ で与えられる。Tは絶対温度である。図20は、 $\sigma = 1/\rho$ の関係を使った室温での κ と ρ との関係を示す³¹⁾。実測値は低 κ 側でWiedemann-Franz則よりやや高いが、近似的な直線関

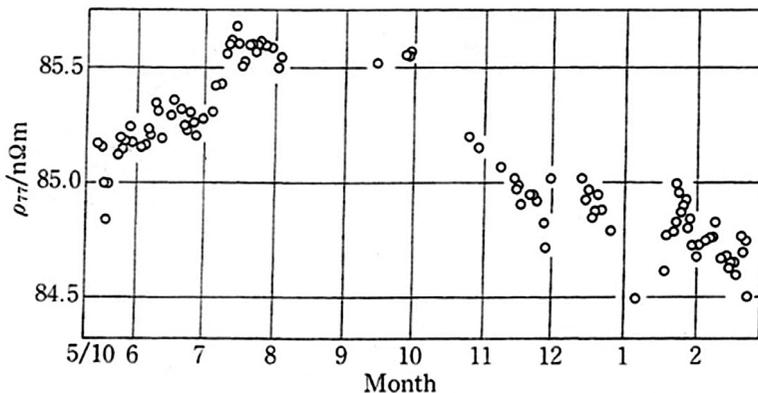


図19 工業用純チタン(ダミー試片)の ρ の周年変化³⁴⁾

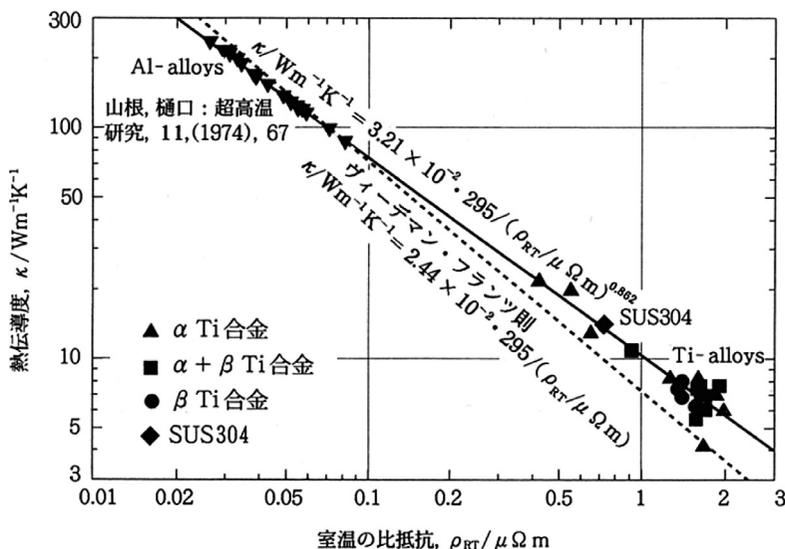


図20 金属, 合金の熱伝導度 κ と ρ の関係³¹⁾

係は保たれている。図中の回帰式を使えば、室温での ρ 実測値から κ を近似的に推定できる。

α チタンの κ はステンレス鋼のものより高い。チタン製魔法瓶が出回り出した頃に購入し、雲ヶ畑のアマゴ釣りに持っていった。空の状態では確かに軽いのだが、紅茶が冷めるのはステンレス製魔法瓶より速かった。Dewar 壇の口の溶接部分から逃げる熱量は、チタンの方が多いと思う。 β チタン合金なら κ はステンレス鋼より低い、残念なことにあまりにも高強度すぎて、深絞り加工に必要な変形限界図を作成する装置の能力を越えたそうである。未だに β チタン合金製の魔法瓶は製造されていない。磁気浮上列車の液体ヘリウム貯槽に β チタン合金を使えば、現行のステンレス鋼より軽量化し、さらに液体ヘリウム気化量低減の可能性も期待できるのに残念なことである。

6.2 チタン合金

6.2.1 析出挙動と ρ

Al, Cu, Mg を主成分とする一般的な析出硬化型合金系では、図21 (a) に示したように、 α 単相領域からの急冷で室温までもちたされた過飽和固溶体から、溶質をより多量に含む β 相が析出し、析出後の母相固溶体の溶質濃度は減少する³⁵⁾。

ところが、(b) の β 安定型チタン合金系では、(a) とは逆に β 相への平衡固溶度は低温ほど高い。これは、 β 相を低温まで安定化するには、より高濃度の β 安定化元素が必要であるため、と解釈できる。 β 型チタン合金系では、(b) 図中に記入したように、マルテンサイト変態開始点, Ms, が室温付近まで低下している組成の合金を、 β 単相領域の温度から急冷すると、室温で準安定な β 固溶体が得られる。この準安定 β 固溶体を時効すると、母相の固溶体よ

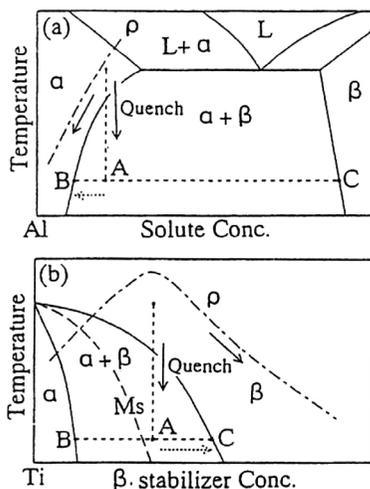


図21 一般的な合金系と β 型チタン合金系の時効挙動の比較
(a) 一般的な析出硬化型合金系, (b) β 型チタン合金系³⁵⁾

り溶質濃度が低い α 相が析出するので、 β 母相の溶質濃度は、Al 合金とは逆に、上昇する。

β 相残留限界付近の組成の合金では、焼入れ直後に X 線回折で ω 相の回折が検出されることがある。筆者らの研究室では、 β チタン合金の高温処理は、石英管に真空封入して行い、所定時間経過後にカプセルを水平炉内から引き出して、水中で破碎して急冷していた。このように、急冷速度を十分に大きくしても出現するので、筆者らは非熱的 ω 相と呼んでいるが、急冷速度に自信を持っていない一部の研究者には、『焼入れ ω 』相とも呼ばれている。こ

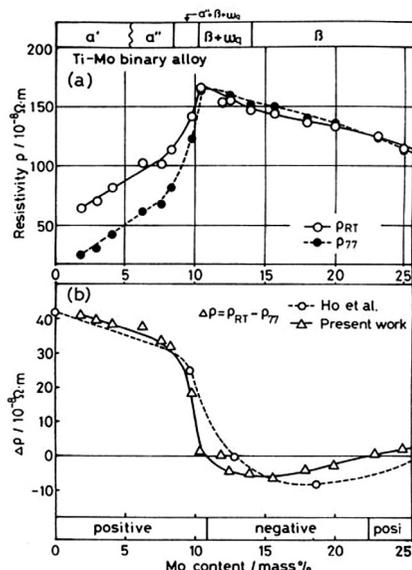


図22 Ti-Mo合金の溶体化処理急冷 (STQ) 後の ρ
(a) Mo含有量にともなう ρ の変化,
(b) 室温 (RT) と液体窒素温度 (LT) での ρ の差³⁶⁾

の呼称では、速度が遅く冷却中に拡散が進んで生じたものと混同しやすい。自分で熱処理をせず、技官に任せるような貴族的な回折学者がいたためだと思う。さらに β 安定化元素の含有量が低い合金では、マルテンサイトが出現する。

図22 (a) では溶体化処理急冷 (STQ: solution treatment and quenching) 後の Ti-Mo 合金の ρ と Mo 含有量との関係、および (b) では室温と液体窒素温度での比抵抗の差の Mo 含有量にともなう変化を示した³⁶⁾。(a) の上部には、X 線回折で推定した相構成の概略を記入してある。STQ で β 相が残留する組成では、 ρ は金属としては異常に高い (約 $1.7 \mu \Omega m$) 値を示す。10 mass% Mo 以下で、STQ 後にマルテンサイト相 α' または α'' が出現する領域では、 ρ はマティーセン則に従い、Mo 含有量にほぼ比例して増加する。ノルトハイム則では 50 at% で現れるはずの ρ 極大は、僅か 10 mass% (約 5 at%) で出現する。準安定 β 相が残留する組成範囲 (10.5 mass% Mo 以上) では、高 Mo 濃度ほど ρ は低い。さらに (b) 図では、10~20 mass% Mo で、室温での比抵抗、 ρ_{RT} より液体窒素温度での ρ_{LN} の方が高くなる ρ の負の温度依存性 (NTDR: negative temperature dependence of resistivity) が現れている。

チタン合金の組成は mass% で表現される。Ti-15 mass% Mo-5 mass% Zr 合金は Ti-15Mo-5Zr と略記され、チタン研究者の間ではさらに 15-5 とまで短縮される。この省略法で、最も多用されている Ti-6Al-4V 合金は 6-4 と略記されることもある。

国産の β チタン合金である 15-5 合金の ρ 測定を、78年

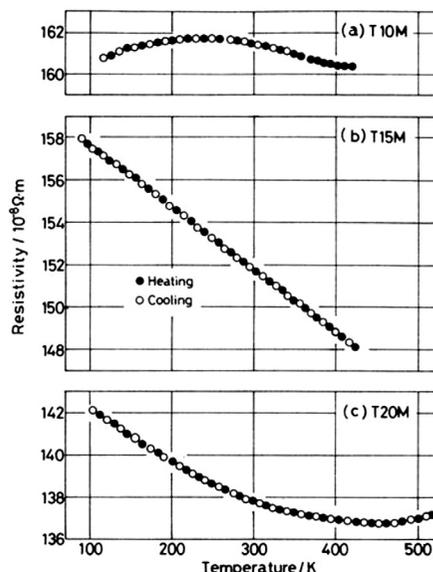


図23 Mo含有量の異なる Ti-Mo合金での T- ρ 曲線
(a) 10 mass% Mo 合金, (b) 15 mass% Mo 合金,
(c) 20 mass% Mo 合金³⁶⁾

に開始した時には、この NTDR に面食らった。銅基形状記憶合金のマルテンサイト変態による ρ 増加を実測していたので、それならヒステリシスが現れる筈だと考えた。測定していた院生に、室温と液体窒素温度を10回往復させて、 ρ の変化を追跡して貰ったが、有意な変化は無かった。結論として、我々の測定方法と精度では、NTDR にヒステリシスは検出できず、現時点ではマルテンサイト変態とは別個のものと考えている。

実用合金で観察された ρ の異常な挙動は、既に Ho ら³⁷⁾によって報告されていたが、試料の不純物含有量の影響が予測されたため、独自の合金試料を準備して再現性を確認した。(a) 図の C- ρ 関係は Ho らの数値とほぼ一致したが、(b) 図の $\rho_{RT} - \rho_{LN}$ が負になる NTDR の出現組成範囲は、Ho らのものより低下した。後に種々の合金系で酸素、アルミニウムなど α 安定化元素添加の影響を検討した結果から推測すると、我々の試料合金の酸素含有量は、Ho らのものより高かったと考えられる。

一般に準安定 β 型チタン合金では、ある組成範囲で NTDR が現れる。 ρ_{RT} と ρ_{LN} の比較だけでなく、その間の温度での ρ 変化を調べるため、T- ρ 図を作成した。

図23は Mo 含有量を変えた Ti-Mo 合金の ρ と温度 T との関係と比較している³⁶⁾。 ρ の温度依存性は組成によって系統的に変化する。(a) 図の低含有量 10 mass% Mo 合金 (図中には T10M と略記) では、 ρ の極大値が現れる。(b) の 15 mass% Mo 合金では、冷却とともに ρ はほぼ直線的に増加する。最後に (c) の、Mo 含有量が高い 20 mass% Mo 合金では、450 K 付近に ρ の極小が見られる。これらの冷却加熱による ρ 変化には、形状記憶合金の

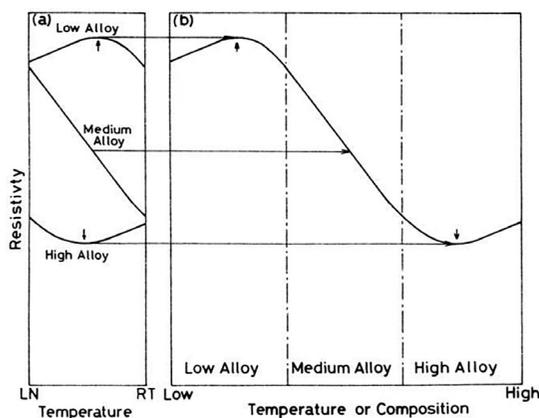


図24 β 安定化元素含有量による温度依存性変化の合成³⁶⁾

熱弾性型マルテンサイト変態でも観察される10°C程度の温度ヒステリシスがなく、冷却曲線と加熱曲線の ρ が一致して、完全に可逆的に見える。

BCCの β チタン合金では、マルテンサイト変態の前駆現象として、 $\langle 111 \rangle$ 方向の弾性率が低下する。このため、一枚おきの $[111]$ 面が六方晶類似の原子配置を取るよう移動し、無拡散で ω 相の結晶構造になったものが、非熱的(athermal) ω 相である³⁶⁾。 β 母相の中で、ある温度で一定の体積率の非熱的 ω 相ができると、それ以上の形成は停止するが、 β 安定化元素の原子は移動しておらず、含有量に変化はないので、母相の格子振動波の重なり具合によって、 ω 相結晶構造になっている場所は自由に移動できる。

比較的低温短時間(15-5なら623 Kで1週間、約0.6 Ms)の時効で出現する時効 ω 相の粒子では、粒子内の β 安定化元素の濃度が低下しているため、粒子の存在する場所は固定され、室温以下への冷却や再加熱では、可逆的な生成や消滅は起こらない。

非熱的 ω 相の、室温以下での生成や消滅は完全に可逆的であり、図23のT- ρ 曲線も冷却時と加熱時とが完全に一致している。このように、非熱的 ω 相の形成は無拡散かつ可逆的であり、その存在位置も、析出粒子とは異なって、移動しうる、というまことにジュンサイな(=ぬるぬるして掴みどころがない)性格を持つ。一方、時効(=熱的) ω 相粒子は、Al合金のG.P.ゾーンとは逆に、ある特定の位置から β 安定化元素原子が脱出(あるいはTi原子が集合)して形成され、溶質濃度が低下しているため、不可逆的である。ただし時効 ω 相も、ゾーンの復元のように、ある程度以上時効温度を上げると、再び拡散で消滅する可能性は残る。

これらの ω 相内の原子結合は、いずれも共有結合的であり、従って、 ω 相はまわりのマトリックスより硬く、電荷のキャリア濃度は低いと考えられている。ただし ρ は、

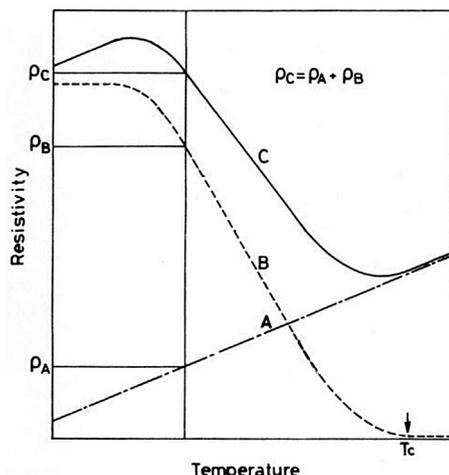


図25 非熱的 ω 相が生成される合金系の ρ の温度依存性³⁶⁾

非熱的 ω 相が形成されると増加するのにも、時効 ω 相が形成されると低下する。

図23(a)~(c)のT- ρ 曲線を、組成ごとに温度範囲をずらせば、一本の曲線が合成できるように見える。この様子が図24に示されている³⁶⁾。逆に、合成されたS字状の曲線を、組成ごとに分解し、同一の温度範囲で上下に重ねると、図23の特徴的な曲線群が得られ、組成により異常な温度依存性を示す範囲が移動したと説明できる。

この考え方が適用できるとして、それでは、図24(b)のS字状の曲線はどう説明されるだろうか。図25では、この問題に対する説明を試みている³⁶⁾。作業仮説は、① β 相の ρ は通常正の温度依存性を示す、②非熱的 ω 相の寄与は低温ほど多い体積率とともに増加する、③実測値は両者の寄与の和である、の三点である。図中の直線Aは、温度依存性を示す β 相の ρ 、Bは非熱的 ω 相の ρ への寄与で、Cは両者の和である。C曲線上で ρ が極小になる温度よりやや高い非熱的 ω 相の生成開始温度(ω_S)から ρ 減少率は低下し、増加に転ずる。充分な低温で、 ρ が極大になる温度よりやや低い温度(ω_F)で非熱的 ω 相の生成は飽和し、 ω_F 以下の温度でC曲線は、A直線の正の温度依存性に戻る。これが、S字状曲線を説明するための非熱的 ω 相モデルである。

X線回折では、このような非熱的 ω 相の消長は追跡しにくい。電子線回折では、試料の組成によっては、冷却により ω 相の反射が明らかに強度を増し、明確化するものがある。この挙動は形状記憶合金の熱弾性型マルテンサイト変態前駆現象と類似しているが、温度ヒステリシスが全くない点が異なる。図22(a)から明らかのように、 β 安定化元素の濃度増加は β 相の ρ を減少させるため、時効 ω 相の折出で ρ は減少する。

その後の検討で、このモデルは β 安定型二元系チタン

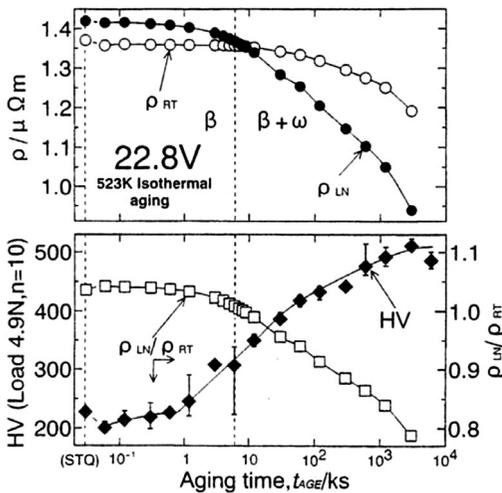


図26 Ti-28.8%V合金の523 K時効による ρ (上図)とHV変化 (下図)³⁵⁾

合金の全ての系に適用できた。 β 安定化元素の含有量が増えると、 ω_s は下がる。 ω_p は上昇する傾向があるが、この点の確認は不十分である。

時効 ω 相または α 相が析出すると、図26のように ρ の温度依存性は正に移行する³⁵⁾。Ti-22.8%V合金の ρ 変化を上図に、硬さ変化を下図に示した。図21で説明したように、 β 安定化元素の含有量が時効 ω 相や α 相では少なく、これらの析出後の β 母相では増加する。この点でも、非熱的 ω 相と時効 ω 相の区別が必要である。時効 ω 相の形成には拡散が必要で、位置が固定された時効 ω 相粒子内の β 安定化元素濃度は減少している。一方、非熱的 ω 相は全く無拡散で形成され、従って β 母相中の濃度変化はなく、冷却-加熱で全く可逆的に生成-消滅する。焼入れ直後にも室温でのX線回折で ω 相が検出されることがあり、このため当初は『焼入れ ω 』相とも呼ばれることがあった。しかし、『焼入れ ω 』相も、溶体化処理温度からの試料冷却中に拡散が生じて生成された時効 ω ではなく、非熱的 ω 相をX線回折で検出したものと考えている。

ρ の減少と正の温度依存性への移行は、図22(a)から考えると、 β 母相中の安定化元素濃度の増加による。

6.2.2 低温時効による ρ 増加

Al-Cu, Al-Zn, Al-Agなどのアルミニウム合金では、室温付近の低温時効により ρ の増加が観察される。 β チタン合金でも、比較的低温での時効によって、 ρ は増加する。一例として、図27では、15-5合金の573 K以下での等温時効による ρ 変化(上図)と、硬さ変化(下図)を示した³⁹⁾。

STQ直後に低かった室温での比抵抗 ρ_{RT} の方が、液体窒素温度での ρ_{LN} より大きく増加している。 ρ_{LN} も僅かに増加する。各種アルミニウム合金と同様に、時効温度が低いほど ρ 増加量は大きい、極大値出現時間は長くな

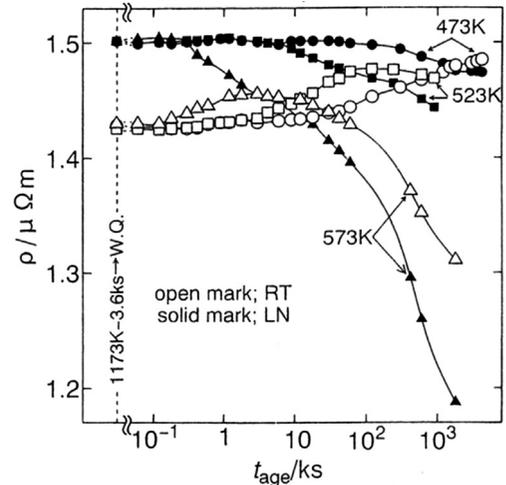


図27 Ti-15Mo-5Zr合金の低温時効による比抵抗増加³⁹⁾

る。これは、低温ほど拡散係数が小さく、アルミニウム合金の ρ を増加させるゾーンに相当する時効生成物量が多いことを示している。

β チタン合金では、時効 ω 相が出現する以前に、溶質濃度の異なる β 相粒子が出現するとされている。これを式化すると、 $\beta \rightarrow \beta_1 + \beta_2$ と書かれる。 β_1 を時効後の母相固溶体とすると、その安定化元素濃度は増加し、 β_2 ではSTQ直後の β より濃度より低下している。アルミニウム合金のゾーンと同様に、結晶構造は母相と同じで、ただ溶質濃度が異なるという点では、ゾーンと酷似している。X線小角散乱でもゾーン類似の結果が得られていた。

低温時効による比抵抗増加はMg-Zn合金⁴⁰⁾でも観察したが、この合金ではピークが大変鋭く、粒界反応開始による母相の溶質濃度の急減と、ゾーンの再固溶が同時に起こっている可能性がある。

7. まとめ

宇治分校でとった地学Cと地学実験のおかげで、教養留年を免れた。採鉱冶金以来の伝統のお蔭である。その後も、地学にはお世話になった。溪流釣りは生涯の趣味だが、下手さを山菜と石が救ってくれた。どちらも溪流魚と違って逃げない。

地球創成期に全球が溶融したマグマオーシャンの時代に、鉄とそれに溶けやすい金属は大部分が中心核に沈んだが、なお多くの鉄が原始海洋水に溶解し、炭酸同化作用を起こす藍藻類が作り出した酸素のため、酸化されて沈澱し露天掘鉱床を作った。『鉄は国家なり』、『鉄は産業の米』、学部当時には『鉄に非ざれば人に非ず』とまで言われたが、食生活の『米ばなれ』の現在でも、鉄の『米』性はそう変わっていない。この表現に従うと、非鉄金属や合金は『産業のビタミン』か『副食、調味料、香辛料』になる。

生来の貧乏慣れもあって、安上がりな ρ を測定してきた。面倒な測定をしてくれる学生諸君の努力を無駄にしないため、マティーセン則誘導式や、様々なサイズファクター測定方法を工夫した。周囲の理解（諦めと見直しも？）のお蔭で、ゾーン形成で ρ が増加した合金の低温塑性変形直後の ρ 減少や、 β チタン合金の負の温度依存性など、多くの『目からうろこ』現象に出会い、最後まで楽しめた。製錬（化学）から材料（物理）へ研究分野を一往復半したことも、Mg合金の熱処理に役立った。

引用文献

- 1) ニュートン別冊、『宇宙創造と惑星の誕生』, (株)ニュートンプレス, (2004), 98.
- 2) ニュートン別冊、『完全図解, 新宇宙図』, (株)ニュートンプレス, (2007), 84.
- 3) 高木仁三郎: 岩波ジュニア新書, 新版『元素の小辞典』, 岩波書店, (1999), p.70, 162, 166.
- 4) 岩波 理化学辞典 第五版, 岩波書店, (1998), p.839, 892, 1539.
- 5) 小松伸也: 科学と工業, **76** (2002), 216.
- 6) 小松伸也, 石谷誠男, 伊木茂男, 幸塚善作: 日本金属学会誌, **37** (1973), 455.
- 7) 小松伸也, 立松一穂, 村上陽太郎, 梶山 毅, 松尾守, 村松俊樹: 軽金属, **35** (1985), 526.
- 8) 小松伸也, 池田勝彦, 松尾 守, 村松俊樹: 軽金属, **41** (1991), 465.
- 9) 小松伸也, 池田勝彦, 生駒敏彦, 薄永 健, 新谷智彦, 内田博幸: 軽金属, **45** (1995), 27.
- 10) J. O. Linde: Helvetia Physika Acta: **15** (1968), 1007.
- 11) 天野英隆, 小松伸也, 池田勝彦, 河本知広: 軽金属, **52** (2002), 210.
- 12) R. J. Wasilewski: Trans, AIME, **224** (1962), 5.
- 13) C. Y. Ho, M. W. Ackerman, K. Y. Wu, T. N. Havi, R. H. Boggard, R. A. Matula, S. G. Oh and K. M. James: Journal of Physical and Chemical Reference Data (JPCRD), **13** (1984), 78.
- 14) 日本金属学会編, 金属データブック, 改訂4版, 丸善, (2004), p.13.
- 15) 小松伸也, 藤川辰一郎: 軽金属, **47** (1997), 170, 396.
- 16) 小松伸也: 銅と銅合金, **41** (2002), 1.
- 17) 小松伸也: 塑性と加工, **46** (2005), 813, 1028.
- 18) 小松伸也: 軽金属, **60** (2010), 511.
- 19) A, Matthiessen and C. Vogt: Ann, Phys, **122-1** (1864), 19.
- 20) 小松伸也, 池田勝彦, 生駒敏彦, 河野洋一: 軽金属, **43** (1993), 421.
- 21) 小松伸也, 佐久間尚幸, 池田勝彦, 杉本隆史, 亀井清, 福原政則, 風間敬三: 伸銅技術研究会誌, **35** (1996), 176.
- 22) ジョン ウルフ編, 永宮健夫 監訳: 材料科学入門, 第IV巻, 電子物性, 岩波書店, (1968), 81.
- 23) 小松伸也, 坪田輝一, 亀井 清, 杉本隆史, 池田勝彦, 風間敬三: 伸銅技術研究会誌, **30** (1991), 70.
- 24) 小松伸也, 福原政則, 池田勝彦, 杉本隆史, 亀井清, 津田滋宏, 風間敬三: 伸銅技術研究会誌, **34** (1995), 145.
- 25) 小松伸也, 坪田輝一, 杉本隆史, 亀井 清, 風間敬三: 伸銅技術研究会誌, **29** (1990), 49.
- 26) 小松伸也, 池田勝彦, 杉本隆史, 佐久間 正: 伸銅技術研究会誌, **39** (2000), 96.
- 27) S. Komatsu, M. Ikeda, T. Miyashita, H. Yukimachi and T. Ikeda: Proc, ICAA-6, JILM, (1998), 991.
- 28) S. Komatsu, M. Ikeda, T. Muramatsu and M. Matsuo: Key Engineering Materials, **44, 45** (1990), 31.
- 29) 小松伸也, 池田勝彦, 今中宏則, 和辻正典, 佐藤巖: 銅と銅合金, **41** (2002), 39.
- 30) 小松伸也, 池田勝彦, 河本知広, 田畑義昭, 谷本孝弘: 軽金属, **48** (1998), 335.
- 31) 小松伸也, 池田勝彦: 金属, **69** (1999), 851.
- 32) 笹野久興, 木村啓造: 日本金属学会誌, **41** (1977), 933.
- 33) 小松伸也, 池田勝彦, 小田 透, 朝山匡一郎, 杉本隆史, 亀井 清: 資源と素材, **107** (1991), 887.
- 34) S. Komatsu, M. Ikeda, K. Asayama, T. Sugimoto and K. Kamei: Proc. RASELM'91, JILM, (1991), 133.
- 35) S. Komatsu, M. Ikeda and T. Sugimoto: Proc. ICSS PT'99 (JIMIC-3), JIM., (1999), 1188.
- 36) 池田勝彦, 小松伸也, 杉本隆史, 亀井 清: 日本金属学会誌, **52** (1988), 144.
- 37) J. C. Ho and E. W. Collings: Phys. Rev., **B6** (1972), 3727.
- 38) J. C. Williams, D. de Fontaine and N. E. Paton: Met. Trans., **4** (1973), 2701.
- 39) S. Komatsu, M. Ikeda, T. Sugimoto, K. Kamei, O. Maesaki and M. Kojima: Mat. Sci. & Eng., **A213** (1996), 61.
- 40) 小松伸也, 池田勝彦, 森 海彦, 安倍 睦: 軽金属, **54** (2004), 131.

追記

あまりにも私的な話なので講演では触れなかったが、筆者の次兄実（筆名左京）は当時会長だった新宮秀夫君の依頼を受け、本会100周年の大会で今はなき法経第1教室で特別講演した。彼は、本稿執筆中の平成23年7月26日に死去した。筆者には彼の出世作と思える『日本アパッチ族』執筆中に、鉄鋼材料用語を説明した記憶がある。盛利貞先生も読んでおられた。思えば、長兄英一（1999年死去）次弟（五男）啓七と、兄弟6人のうち3人が冶金にお世話になった。イタリア文学科だったが左京と筆者の二人が、本会大会で特別講演をさせて頂いたのも、西原清廉先生と亡父英次郎とから続くご縁の流れかとも、今にして思う。

大会記念講演

クリーンコールフロンティアを目指して

櫻井 繁 樹*

To Realize The Clean Coal Frontier

by Shigeki SAKURAI

1. クリーンコールフロンティアとは

表題を見て、クリーンコールフロンティアとは何ぞやと思われる方も多いかと思うので、ここで簡単に定義しておきたい。

簡単に言ってしまうと、クリーンコールフロンティアとは、「石炭資源の安定供給確保を基本として、石炭のクリーンかつ高効率な積極的活用を通じて、これが牽引する経済社会の持続的成長と地球温暖化問題の解決が同時に達成された状態」であり、我が国のみならず、グローバルベースでの展開を指向したものである。

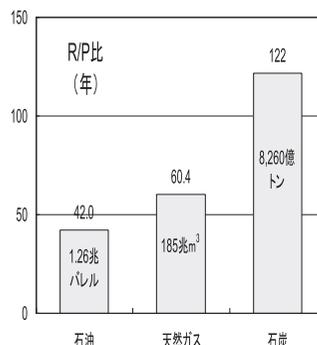
また、手前みそではあるが、筆者の所属する(財)石炭エネルギーセンター(JCOAL)において、本年度を初年度とする中長期事業計画(平成23年度～平成27年度)を策定したところであるが、この中でJCOALの使命・目的として、上記コンセプトによるクリーンコールフロンティアの実現を提示している。

なお、本寄稿文の内容等については、櫻井繁樹個人の見解によるものであり、JCOAL及び関係機関の見解等ではない旨、ここで申し添えておく。

2. 石炭資源の位置づけ

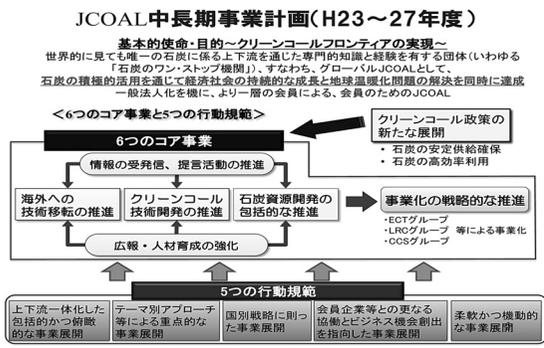
(1) 世界のエネルギー資源と石炭

石炭は、他の化石燃料に比較して、可採年数が長く、賦存地域も世界各国に分散しており、安定供給性が高い(図1、図2)。

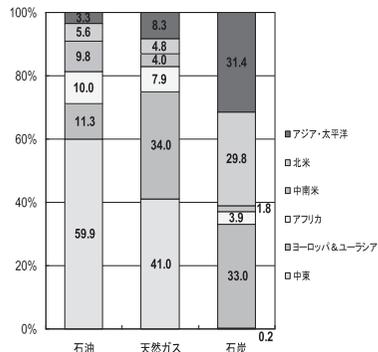


出典:「BP統計2009」

図1 可採年数



*財団法人石炭エネルギーセンター 専務理事
京都大学 産官学連携フェロー

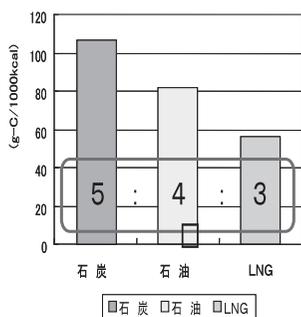


出典:「BP統計2009」

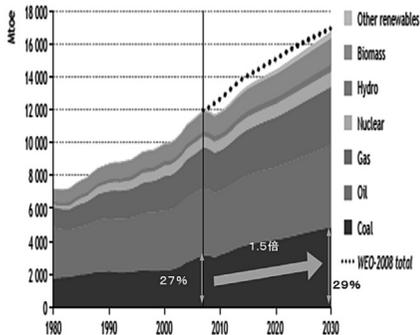
図2 地域別資源埋蔵量



出典：日本エネルギー経済研究所
 図3 燃料価格 (CIF) の推移



出典：「気候変動に関する国際連合枠組
 条約」に基づく日本国政府報告書
 図4 熱量当たりのCO₂発生量



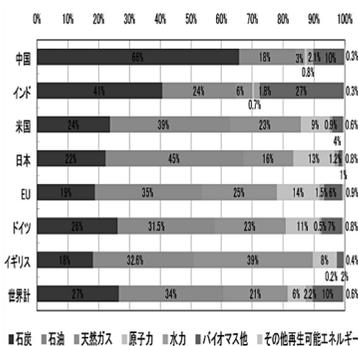
出典：IEA, "World Energy Outlook 2009"
 図5 世界のエネルギー需要見通し

また、価格についても、原油、LNG に比較して、低位で安定している (図3)。

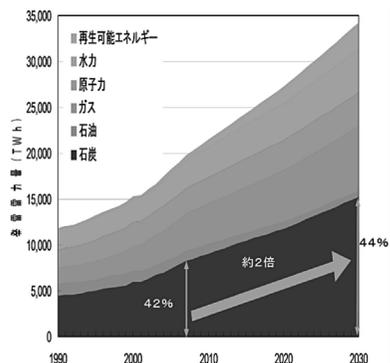
しかしながら、単位発生熱量当たりのCO₂発生量だが、石炭を5とした場合、原油が4、LNG が3とその量が多い (図4)。

(2) 世界の1次エネルギー消費に占める石炭の割合

IEA のエネルギー見通しによれば、石炭は現時点で世



出典：IEA, "World Energy Outlook 2009" & "Energy Balances of OECD Countries (2009 Edition)"
 図6 主要国の一次エネルギー構成比 (2007年)



出典：IEA, "World Energy Outlook 2009"
 図7 世界の発電電力量見通し

界の1次エネルギー消費の25%程度を占めているが、2030年には30%程度を占めるとされ、量的にも1.5倍になる (図5)。

また、今後経済成長が見込まれている中国においては約65%、インドにおいては約40%、石炭が占めている (図6)。

(3) 世界の発電電力量に占める石炭の割合

IEA のエネルギー見通しによれば、石炭火力発電は現時点で世界の発電電力量の40%程度を占めているが、2030年には44%程度を占めるとされ、量的にも倍増となる (図7)。

また、今後経済成長が見込まれている中国においては約80%、インドにおいては約70%、石炭が占めている (図8)。

(4) 日本のエネルギー需給に占める石炭の割合

周知の通り、我が国は、1970年代の石油危機後、石油代替エネルギーとして、石炭、天然ガス、原子力をバランス良く導入し、エネルギーのベストミックスの実現に努めてきた。我が国の1次エネルギー消費の中で、石炭は20%超を占めており、また、石炭火力発電は、発電電力

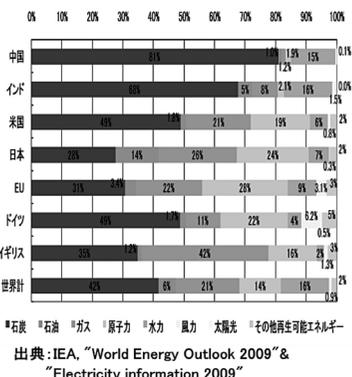


図8 主要国の発電電力量構成比 (2007年)

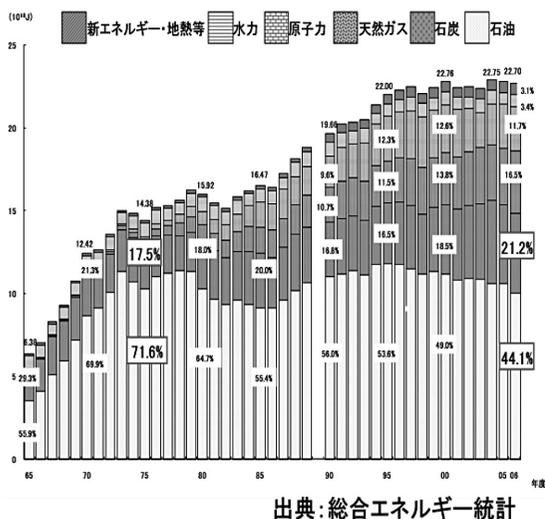


図9 日本の一次エネルギー需要

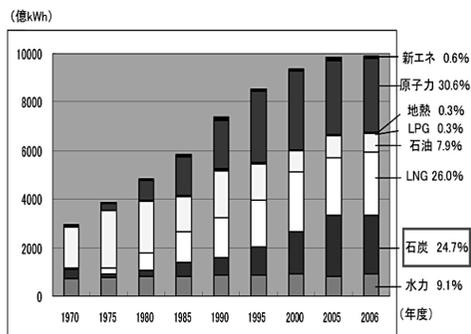


図10 日本の電源構成 (発電電力量)

量の約4分の1を占めている (図9, 図10)。

(5) 石炭資源の位置づけ

上記(1), (2), (3)及び(4)からもわかるように, 中長期的にエネルギー資源としての石炭の果たす役割というも

のは, CO₂発生量というファクターを考慮しても, 言い換えればこのデメリットを克服し, コアエネルギーとして活用していかざるを得ないというところにあることが見て取れる。

この状況は, 石炭を豊富に有し, かつ, 多量に消費する中国, インド, アメリカは言うに及ばず, ほとんど輸入に頼っている日本をはじめとして, ある程度のポジションを輸入に頼らざるを得ないEU等においても同様であるということが, ひとつのキーポイントとなる。

3. 我が国の石炭政策

(1) エネルギー基本計画における石炭

上記計画においては, 2030年に向けての目指すべきエネルギー政策の方向性についての提示がなされている。この中で, エネルギー源のベストミックスの観点から, 石炭については, 「化石燃料の中でCO₂排出は大きいものの, コスト・供給安定性の面で優れたエネルギー源である。CCS (CO₂回収・貯留)やIGCC (石炭ガス化複合発電)等地球環境と調和した石炭利用技術を確認し, 今後も適切に活用していく。また, 世界最高水準にある我が国の石炭利用技術の競争力を維持し, 世界各国に普及させていく。」との基本的な位置づけがなされている。

また, 石炭の高度利用という点につき, 「IGCC等の高効率化とCCSの技術開発を推進するとともに, これらの技術を合わせ, 石炭火力発電等からのCO₂を分離・回収・輸送・貯留するゼロ・エミッション石炭火力発電の実現を目指す。また, 国内石炭火力最新鋭技術の実証の場として位置づけ, これを基盤として海外展開を進める。海外でも多数のCCSの技術開発や実証事業が実施・計画されていることから, 国内でのゼロ・エミッション石炭火力発電の実現を図る上で, これら海外との共同研究等により, 効率的に技術開発を実施する。」と提示されている。

さらに, 石炭の安定確保についても, 「世界的には自国産石炭の自国内消費が一般的な中, 我が国は, 国内石炭消費のほぼ全量を海外に依存する世界最大の石炭輸入国である。今後, 世界的な石炭需要の拡大が見込まれる中, 中国やインド等による石炭輸入の増大や海外権益確保も進展している。我が国にとっても, 石炭の安定供給確保への積極的な取組が不可欠である。とくに世界的にも資源量が希少で鉄鋼原料として不可欠な原料炭については, 新規供給源の開拓が重要である。このため, 今後の開発が期待されるロシア・モンゴル・南東部アフリカ等との関係強化や出融資等の政府支援を通じ, 石炭資源確保に早急に取り組んでいく。・・・産炭国において未利用な低品位炭について, 我が国の優れた石炭ガス化技術や改質技術等による有効利用を進め, 産炭国におけるエネルギー

需給の緩和に貢献する。将来的には、我が国への新たな石炭供給源とすることを目指す。」というふうに強く言及されている。

(2) クリーンコール政策の考え方(我が国の石炭政策)

上記の基本計画に沿った形で我が国の石炭政策が現在実施されているところであるが、これを少し整理してみると下表のようになる。

(3) 国内石炭火力発電のさらなる低炭素化

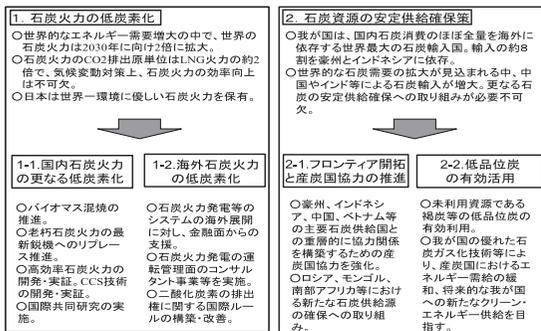
我が国企業は、超々臨界発電や IGCC、CO₂分離技術において、世界最高水準の発電効率と低炭素化を実現しているが、これをさらに推進し、下図ロードマップに示されているように石炭ガス化燃料電池発電(IGFC)により発電端効率65%を実現していくなど、中長期的により一層の国内火力低炭素化を政策提示している。

(4) 海外石炭火力発電の低炭素化

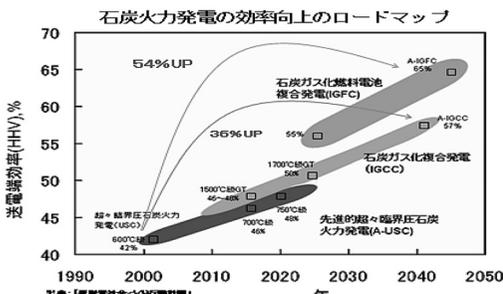
我が国の石炭火力は、高効率技術(超臨界圧・超々臨界圧)と運転・管理ノウハウにより、世界最高水準の発電効率を達成し(図11)、運転開始後も長期にわたり維持している。

我が国で運転中の最新式石炭火力発電の効率を米、中、印の石炭火力発電に適用すると、CO₂削減効果は、約13億トンとの試算もあり(図12)、これに係る技術移転を重点施策の一つと位置付けている。

ちなみに、現在、ASEAN のほとんどの国の石炭火力も低効率の亜臨界圧が主流である。



(資源エネルギー庁石炭課資料)



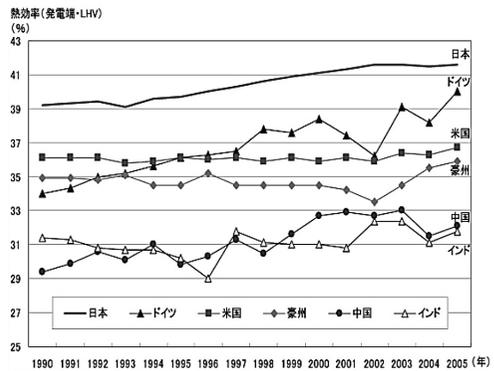
出典:「産業構造委員会(2007)『Cool Earth-エネルギー産業技術開発ロードマップ』

(5) 石炭資源の安定供給確保

我が国の石炭の輸入トレンドについては、(図13)に示す通りであるが、99%以上を輸入に依存しているのが実情であるのは周知の通りである。

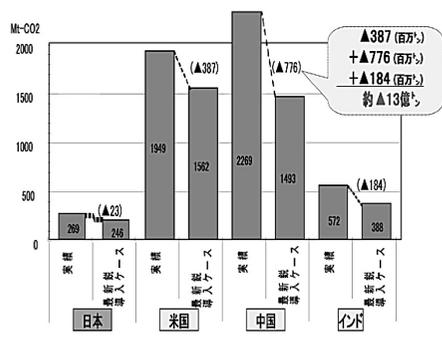
係る状況のもと、「石炭火力の低炭素化」とともに我が国石炭政策の両輪をなす「石炭資源の安定供給確保」が掲げられている。主要産炭国との政策対話等を通じて、相手国のニーズを把握するとともに、地質構造調査事業、産炭国石炭産業高度化事業(生産・保安研修事業)等の協力事業を駆使し、重層的な協力関係を構築することにより、我が国への石炭資源の安定供給確保に努めることとしている(図14)。

とくに、原料炭についてみると、下表からもわかるように、中国及びインドは、主たる生産者である一方で、その経済成長に裏付けられた鉄鋼生産者としての需要増から、日本に次ぐ主たる輸入国へとシフトしてきており、今後の原料炭確保に向けての主要国間の競争激化が想定される。



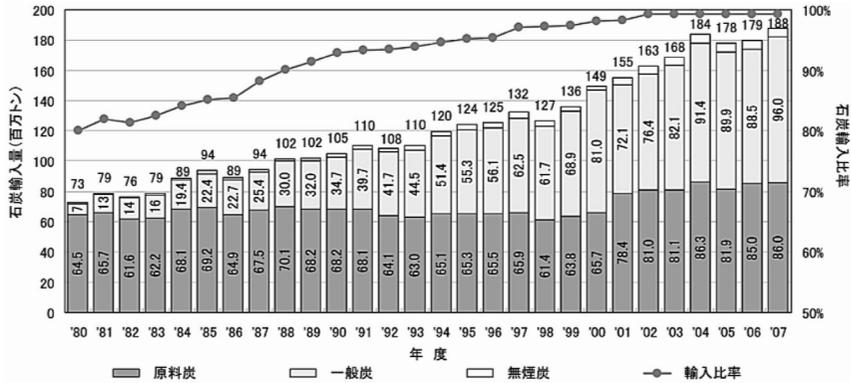
出典:ECOFYS, "INTERNATIONAL COMPARISON OF FOSSIL POWER EFFICIENCY" (2008)

図11 主要国の石炭火力発電効率



※各国の実績に日本のベストプラクティス(商業運転中発電所の最高効率)を適用した場合
出典:日本エネルギー経済研究所、「実績」データ: IEA, "World Energy Outlook 2006"

図12 主要国の石炭火力発電からのCO₂排出量:2004年



注：2001年度以降はデータの出所が異なる。これら統計は石炭の分類法を異にしており、「エネルギー生産・需給統計年報」では一般炭に分類されていた一部の石炭が「貿易統計」では原料炭に集計されている。
 出典：2000年度以前：経済産業省「エネルギー生産・需給統計年報 各年版」、2001年度以降：財務省「貿易統計」

図13 日本の石炭輸入量の推移

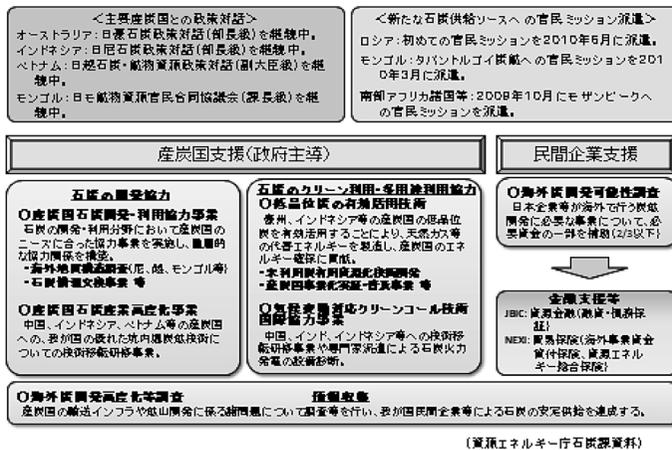
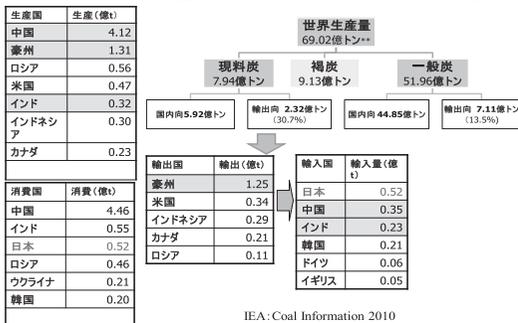
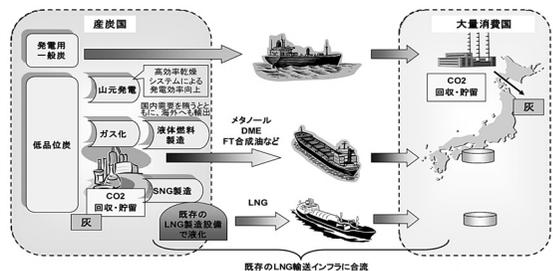


図14 石炭資源の安定供給確保策 (フロンティアの開拓と産炭国協力の推進)

世界の原料炭生産と消費および輸出 (2009年の推定値)



IEA: Coal Information 2010



(6) 低品位炭の有効活用

石炭資源の安定供給確保の観点から、低品位炭の有効活用についても政策的にプライオリティーを置き推進していくとことであり、産炭国において未利用な低品位炭について、我が国の優れた石炭ガス化技術や改質技術等による有効利用を進め、産炭国におけるエネルギー需給の緩和に貢献するとともに、将来的には、上図のようにSNG/LNG 輸入等我が国への新たな石炭関係エネルギー

このような状況の中で、我が国としては、オーストラリア、インドネシア等従来からの主要石炭輸入先との関係強化に努めるとともに、ロシア、モンゴル、南東部アフリカ地域等新規の石炭資源供給国の開拓が喫緊の課題となっており、官民を挙げてのミッションを派遣する等種々の施策対応がなされている。

一供給源とすることを指すとしている。

4. 石炭を巡る Key Issue

前述してきた通り、我が国も含めて世界経済の健全な成長に向けて所要の石炭需要が見込まれる中で CO₂ の排出問題が大きな問題となってくるのが見て取れるが、この問題への対応を考える上で、「石炭燃焼等の前に CO₂ を取り去るとする石炭ガス化 (IGCC 等)」及び「CO₂ を分離回収し隔離する CCS (CO₂ Capture and Storage)」の動向が極めて重要なファクターとなることは想像に難くない。係る観点から、本項では上記2点の動向につき少し詳細に概観する。

(1) IGCC 等石炭ガス化を巡る動向

石炭ガス化については、IGCC+CCS 関連、ガス化技術による SNG 製造、低品位炭の有効利用等多岐にわたるが、ガス化市場をみると依然として中国マーケットが旺盛であり、それに欧米が追従する形になっている。まだ商用実績はないが、豪州や韓国の動きも活発化している。ただし、直近足元についてみると、LNG・シェールガス等との価格競争や FutureGen にみられる計画の見直しの影響もあり、全体的に石炭ガス化の新規計画は減少している。

我が国については、空気吹き IGCC (250 MW) が、クリーンコールパワー研究所により建設され、2007年9月から実証試験運転に入り、2008年の夏場3ヶ月間の連続運転に成功した。その後順調に試験を進めて、これまでに長期運転に耐えられる信頼性を確認するとともに、経済性の面からは、石炭火力発電所に比べ建設費は2割程度増えるものの、効率向上で燃料費は2割程度低減できることから、トータルの発電単価はほぼ変わらないとの見通しを得ている。

また、2009年7月29日に設立された大崎クールジェン(株)は、EAGLEにて確立された酸素吹き IGCC 技術、二酸化炭素分離回収技術に関する大型実証試験設備の建設及び試験の実施を事業内容として2013年3月の建設工事開始、2017年3月の実証試験開始を目指している。

以下に、主要石炭ガス化ライセンスの最近の動向を示す。

① GE Energy

Duke EnergyのEdwardsport IGCC (618 MW) の建設進捗率は2010年10月までで78%であり、2012年の商用運転開始を目指している。豪州 QLD 州で GE と Stanwell がコンソーシアムで推進している Wandoan Power プロジェクトは IGCC (400 MW)+CCS (90%) であり、2015年 COD を目標としている。最初の商用 IGCC (250 MW)+CCS (90%) となる Hydrogen Energy は、2016年 COD の予定である。中国でのガス化事業では、

CPECC と IGCC の共同検討を開始している。また、2010年に11基のガス化炉が稼働を開始しており、特に神華包頭では世界最大の MTO プラントが今年稼働開始し、900 ft³ のガス化炉5基 (+2基予備) が組み込まれている。

② Shell

Shell は Oil & Gas と石炭のガス化技術を保有しており、Oil & Gas については、カナダでオイルサンドのガス化を行っている Nexen Long Lake プロジェクト (重質アスファルトのガス化) と、カタールの Pearl GTL プロジェクト (重質油 2,000 t/d をガス化し、発電 325 MW と EOR 用 CO₂ を 6,000 t/d 回収) の進捗紹介があった。

一方、石炭ガス化については1976年から開発を開始し、1993年 NUON の 2,000 t/d (IGCC-250MW) を経て、近年の中国大唐国際の 2,700 t/d (化学品製造) へと、大型化に移行してきている。

③ Siemens

Siemens は中国寧夏石炭化工基地の NPCC に、プロピレン製造のための石炭ガス化炉 (SFG-500) 5基を納入し、試運転を開始した。米国でも、Secure Energy Inc. の MTG, Tenaska Inc. の SNG, Summit Power Gr. の IGCC+CCS の計画も進められている。中国天津華能集団の GreenGen では、ガスタービン (SGT5-2000E) を納入した。

④ ConocoPhillips

ConocoPhillips が E-Gas をアジアに始めてライセンス供与したのは、韓国の POSCO 光陽製鉄所であり、5,500 t/d の亜瀝青炭を原料に年間50万トンの SNG 生産を行う PDP を2010年10月に完了した。E-Gas は大型化を進めており、as received の単機容量で、石油コークス 3,400 t/d、亜瀝青炭で 4,500 t/d まで対応可能である。

(2) IEA エネルギー技術展望等 CCS を巡る動向

図15は、IEA エネルギー技術展望2010に示されている BLUE Map Scenario (2050年に現在の CO₂ 排出量の2分の1とするケース) での CO₂ 削減の主要技術を整理したものである。2050年に予想される特に何も対応しない

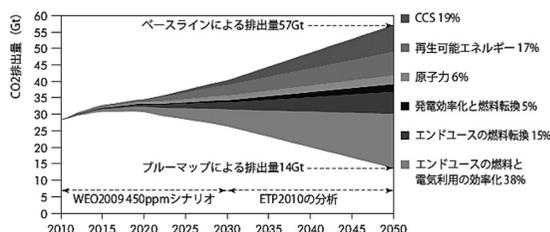


図15 BLUE Map Scenario による CO₂ 排出量削減のための主要な技術

場合（ベースライン）のCO₂排出量は57Gtであるが、BLUE Map Scenarioによればこれを現時点の排出量28Gtの半分、つまり14Gtまで減らすことになる。2050年時点で考えれば、これはベースラインの約4分の1にしなければならないという非常に厳しいものとなっている。

具体的な技術のうち、CCSへの期待は19%であるが、IEAは発電部門におけるCCSに大きな期待をかけている。すなわち、今後10～20年間に建設される火力発電ではCCSへの改造が可能ないように配慮すべきであり、2050年にかけて114GWの既設石炭火力にCCS追加の改造がなされ、550GWのCCS新設石炭火力が建設されるであろうと予測している。

また、CCSを促進させる国際組織であるGCCSI (Global Carbon Capture and Storage Institute) が2010年に発表しているデータベース (The Status of CCS Projects INTERIM REPORT 2010) によれば、2010年4月時点で、大型CCSプロジェクトは、運転中9件 (米国5件、EU2件、カナダ、アルジェリアそれぞれ1件)、実施段階2件 (豪州及び米国) となっているが、主要各国の技術開発動向等については以下の通りである。

① EU

EUではCCSに関するEU指令を出してCCSの法的枠組みを規定しているが、2015年までに最大12の実証プロジェクトを推進することとしている。また、ZEP (European Technology Platform for Zero Emission Fossil Fuel Power Plants) を設置し、2020年までにEU内の化石燃料火力におけるCO₂排出ゼロを目標としている。

この中で具体的な計画としては次のものが挙げられる。

>RWE社のCCS計画：450MW IGCC+CCS

建設サイト：ゴールドバーク (ドイツ)

運転開始：2014年末を予定

>NUON社のCCS計画：1300MW IGCC+CCS

建設サイト：イームシャーベン (北オランダ)

運転開始：IGCC設備 2011年

地中貯留 2013年

② 米国

米国では、Carbon Sequestration Programとして、DOEが中心になってCCS開発を進めている。DOEでは効率向上、コスト低減、低炭素化、CCSの4つのキーワードの下にプログラムを実施している。

なかでも、FutureGen Projectについては、2010年8月5日に米国DOEチュー長官から、酸素燃焼によるCCSに決定したことが発表されている。この新たなプログラムはFutureGen 2.0と呼ばれ、既設のAmeren社所有

Meredosia 発電所 200MWe ユニット (イリノイ州、油焚) を石炭焚 Oxyfuel に建て替える。CO₂圧縮・液化プラントは新設する。貯留サイトはイリノイ州 (正確な場所は未定) で、CO₂輸送のためのパイプラインを新設する。なお、他のCO₂発生源からのCO₂についても一緒に貯留する可能性がある。

基本的なスケジュールは、2015年末に建設完了し、2016年には発電設備ならびにCO₂貯留設備を運転開始することとしている。基本性能は、発電設備として発電端出力202MWe、CO₂回収量は131万トン/年である。

③ カナダ

カナダでは、温室効果ガスの削減について、2020年までにCCSを設置した化石エネルギー発電を含め、炭素排出ゼロの発電割合を90%にすると表明している。またカナダにはCCS導入可能な地形上のメリットがあり、しかもWeyburnプロジェクトの経験を通じてCO₂地下注入・貯留の豊富な経験を持っていることがCCS導入への追い風となっているとしている。

具体的なプロジェクトとして、カナダアルバータ州でTransAlta社とEnbridge社が推進する450MWの石炭火力発電所からCO₂を回収 (3000t/d) し、パイプラインで80km輸送して、帯水層に貯留するPioneerプロジェクト (投資総額17億カナダドル) があり、GCCSIが5百万豪ドルの支援を決定し、現在3千万カナダドルでFEEDを実施中である。

④ 英国

政府が2007年11月に、2014年までにCO₂約200万トン/年以上で約90%CO₂回収貯蔵を可能とする化学吸収法実用化プロジェクトを発表した。また、化学吸収法に加えてIGCC+CCSの実証プロジェクトを3つまで実施、またCCS技術が確立されその商業性が確認されたら5年以内に英国内のすべての300MW以上の火力発電にCCSを導入するとしている。

⑤ 豪州

豪州のCCSプロジェクトはCO₂CRC (CRC for Greenhouse Gas Technologies) が中心になって進めている。数多くのプロジェクトが実行中あるいは計画中となっており、いくつかは商用プロジェクトとして提案されている。これらのうちCallide Oxyfuel Projectは日本企業も参加しているプロジェクトであるが、2010年10月時点で、ほとんどの主要設備は現地に据え付け完了である。ボイラの酸素燃焼への改造も進められており、酸素燃焼開始は2011年内に予定され、2015年までCO₂注入ならびに監視が続けられる予定である。

⑥ 中国

中国では多くのCCS開発計画が発表されているが、その代表的プロジェクトは天津石炭発電所にて、250M

る万全の安全対策等が大前提であるが.)。仮に高速増殖炉サイクルが確立されれば、ウラン資源は2500年ほど利用できることになり、化石燃料資源への負荷も軽減でき、再生可能エネルギー利用促進も円滑に進むものと考えられる。化石燃料資源は燃料だけではなく原料としても重要であり(ノーブル・ユース)、今後のエネルギーのベストミックスを考える上で、係る観点も十分に検討しておく必要がある。いずれにせよ、こうしたエネルギー資源のベストミックスの過渡期を乗りきるに当たり、石炭資源は、上述してきた通りその賦存量の豊富さ等の観点から、CO₂対策技術と組み合わせて適切に使うことで、切り札になるものと考えている。

(2) クリーンコールフロンティアを目指しての我が国の役回り

石炭利用に係る日本の使命としては、先進 CCT 技術開発の牽引や、他国への CCT 技術の移転等が挙げられる。日本が石炭資源活用の最大化を目指す実践の場となることが、ひいては安定供給確保にもつながると考えられる。また、し尿と石炭の混合ガス化等廃棄物処理と組み合わせて、サステナブルな地域社会の構築とも絡めて考えていくことが重要である。海外展開を図るに当たり、

CCS やガス化技術等の技術移転のみならず、石炭開発の早期から産炭国の石炭鉱山等現場に深くかつ鉱山寿命期間全体を見据えて入り込むことで、石炭サイクルの効用最大化、環境負荷最小化を実現するほか、鉱業終息後の地域社会の持続的発展まで展望した、「Smart Mine & Sustainable Development」を目指すことが重要であると思料する。

また、上記事業展開の過程における我が国企業のビジネス機会創出は言うまでもない。ちなみに、JCOLAL においては、「石炭主導低炭素・資源循環型探鉱地域(エコ・コール・タウン)構想」を提唱し、産炭国における CBM/CMM の利活用をベースとする石炭鉱山開発事業等の上流部門から高効率利用ガス化、CCS 事業等の下流分野まで炭鉱地域石炭産業コンプレックスの我が国関係企業の参画を念頭に置いた開発支援の事業展開を図っているところである。

ただしここで、最重要事項としてあるのは、「日本への石炭資源安定供給のレパレッジ獲得」であることを忘れてはなるまい。

以上

談 話 室

セレンディピティの誕生と拡散
そして迷走

小 岩 昌 宏*

Birth, Diffusion and Confusion of Serendipity

by Masahiro KOIWA

1. はじめに

「セレンディピティ」は、1980年代から新聞、雑誌、書籍などでよく見かけられるようになった言葉である。大学の入学・学位授与式における学長訓話や研究所長の講話などで使われるケースも多い。この語に対する関心が高まったのは、ノーベル賞を受賞した白川英樹、田中耕一が自らの研究に関してセレンディピティの重要性を語ったこともあるように思われる。

“Serendipity”という語の誕生と世間に広まった過程を詳しく記した書¹⁾**が2004年に刊行された。本稿ではこの書、および1965年に刊行された Remer の書²⁾を主に参照しつつ、「セレンディピティ」の誕生とその「拡散」過程を紹介する。この語の語源は明らかであるにもかかわらず、巷間いろいろな異説が語られている。その事情についても触れてみたい。

私は「ラングミュア伝」³⁾ (1978年刊行) で、初めてこの単語に出会った。この本の第9章の表題がセレンディピティ(“掘り出し上手”と訳されている)であった。以来、私はこの語に興味を持ち、あれこれ調べた結果を雑誌などに寄稿した⁴⁻⁶⁾。本稿の記述は、これらに記したことと一

部重複することをお断りしておく。

新聞はこの言葉とその意味の歴史を見直すために、関連する人物や事件を年表にまとめ、「セレンディピティの今昔」と題する文章を発表している⁷⁾。本稿でも新聞にならってセレンディピティに関する年表(表1)を示したので、随時参照していただきたい。

2. 辞書をひもとくと...

英語の接尾辞 -ty は 性質・状態などを表わす名詞語尾である。手元にある「英語学習逆引辞典」⁸⁾には語尾が -ty で終わる単語が300余、そのうち -ity で終わる単語が246語収録されている(この辞典には serendipity は載っていない)。その大部分は形容詞に接尾辞 -ity を加えたもので、語幹から容易に意味が推測できる。二三例をあげておこう。

periodic ⇒ periodicity

popular ⇒ popularity

regular ⇒ regularity

これに対して“serendipity”の語幹, serendip は聞きなれない単語で、それを知らなければ意味を推測しようが

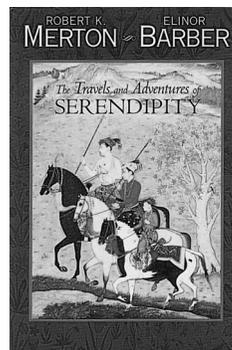


写真1 R. K. Merton and E. Barber
“The Travel and Adventures of Serendipity”

*京都大学 名誉教授 (昭和34年 東大工冶金 卒)

**この本の原稿は1958年には完成していた。著者の一人 R. K. Merton が1965年に刊行した“On the Shoulders of Giants”でこの未刊の書に言及したところ、多くの読者から問い合わせが寄せられたという(筆者もその一人である)。結局、この書は最初にイタリア語で出版され(2002年)、その後英語で出版された。E. Barberとの共著であるこの本の主要部分は、1958年に完成していた原稿そのもので、巻末には70ページ余のAfterword (R. K. Mertonが加筆)が付されている。なお、Mertonは2003年、Barberは1999年に亡くなっており、ともに英語版の著書を眼にすることはなかった。

表1 セレンディピティ年表

時代	人物	事項	注釈
物語“セレンディップの三人の王子”の成立			
1302	Amir Khusrau (ペルシャの詩人)	叙事詩 Hashi bihisht(八つの天国) ペルシャ, インドの昔話を元に構成	ベレグリナッギオの原典
16世紀	Christoforo (アルメニア人)	上記にほかの話も加えて, “セレンディップの王の3人の若い息子の遍歴(ベレグリナッギオ)” としてペルシャ語で出版	Hashi bihisht の翻案
1557	Tramezzino	ベレグリナッギオのイタリア語訳を出版	ヴェニス印刷業者
1719	Chevalier de Mailly	上記のフランス語訳	パリで出版
1722	William Chestwood	フランス語版の英訳	
Serendipity の誕生			
	Horace Walpole	幼い頃, de Mailly のフランス語訳を読む.	(1717-1797)
1754		Serendipity を造語. その定義を述べる.	Horace Mann 宛の手紙
1833		Walpole 書簡集 (Mann へ) 発行	
1857		Walpole 全書簡集発行	
1875	Edwards Solly	Notes and Queries* に serendipity に関する 質疑が掲載される	*1849年創刊の週刊誌. おもに人文学, 民俗学, 英語学を対象とする.
Serendipity の拡散			
1900-1935	このころ 文学者, 好事家の間で serendipity が関心を呼ぶ		
1909		Century Dictionary and Cyclopedia	辞書に収録
1913		Oxford English Dictionary	辞書に収録
1930~	W.B. Cannon	自然科学分野で Serendipity が 使われ始める	ハーバード大学生理学教授
1965	T.G. Remer	Serendipity and the three Princes	シカゴ在住の弁護士
1965	Elizabeth J. Hodges	The Three Princes of Serendip セレンディップの三人の王子	子供向きの物語, 原作とは かなり内容が異なる 2003年7月邦訳出版
2004	R. K. Merton & E. Barber	The Travels and Adventures of Serendipity	Princeton University Press

ない。そのことが言語愛好家、好事家の好奇心をそそいだ。英和および英英辞書でこの語を調べた結果を示そう。

プログレッシブ英和辞典

[名] [U] 《文》ものをうまく発見する能力、掘り出し
じょうず；幸運な発見；[C] 《-ties》運よく見つけたもの
[Horace Walpole がペルシアの寓話 The Three
Princes of Serendip (Ceylon の旧称) (1754) の主人公
たちのもつ能力から造語]

The Oxford English Dictionary

Serendipity [f. Serendip, a former name for Ceylon
+ -ITY] A word coined by Horace Walpole, who says
(Let. to Mann, 28 Jan. 1754) that he had formed it
upon the title of the fairy tale 'The Three Princes of
Serendip', the heroes of which 'were always making
discoveries, by accidents and sagacity, of things they
were not in quest of.' The faculty of making happy

and unexpected discoveries by accident.

要するにこの語は Ceylon の古名 Serendip から来て
おり、ウォルポール (Horace Walpole) が友人にあてた
手紙で「“The Three Princes of Serendip” という物語
の題に因んで造語した」と述べている— というのであ
る。その手紙の造語に関するくだりを示そう*。

* (該当部分の原文) This discovery, indeed, is
almost of that kind which I call Serendipity, a
very expressive word, which, as I have nothing
better to tell you, I shall endeavour to explain to
you: you will understand it better by the deriva-
tion than by the definition. I once read a silly
fairy tale, called the three Princes of Serendip:
as their Highness travelled, they were always
making discoveries, by accidents and sagacity,
of things which they were not in quest of: for
instance, one of them discovered that a mule
blind of the right eye had travelled the same
road lately, because the grass was eaten only on
the left side, where it was worse than on the
right - now do you understand Serendipity ?

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

3. 童話「セレンディップの3人の王子」

シカゴに住む弁護士、Remer氏は“Serendipity”についての本²⁾を出版した。この本には、ウォルポールの手紙、童話の出版と翻訳、各界におけるこの語への関心など、“Serendipityのすべて”が述べられているといっても過言ではない。また巻末の約60頁は、童話原典**の初め

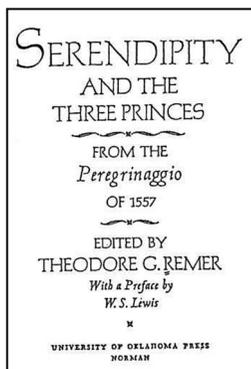


写真2 T. G. Remer
"Serendipity and The Three Princes"



写真3 Peregrinaggio di tre giovani figlioli del re di Serendippo

ての完訳英語版に当てられている。その冒頭部分を抄訳して以下に示す。

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

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

「旅をしてくる道すがら、片側の草はよく繁っており、反対側はそうでもないのに草を喰べた跡があり、そのらくだは片眼しか見えなと思いました」「道には草のきれはしが散らばっており、ちょうど欠けた歯のすき間位の大きさだったのです」「はっきりした脚あとは3つ足分で、足をひきずったあとが目立ちました」

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

その後、王子たちはベラモ王の暗殺計画を察知し、未然に防いで一層信頼を受ける。そして王の依頼を受けて、以前盗み出されて現在はインドの女王の手元にある“正義の鏡”を取り戻して帰国する。王子たちが留守の間に、ベ

*物語の原典ではらくだ (camel) であるが、ウォルポールの手紙では mule (らば) になっている。彼の記憶違いであるので、ラクダと訳してある。

**「セレンディップの3人の王子」の原本は、1557年にヴェニスで発行された「Peregrinaggio di tre giovani figlioli del re di Serendippo」(写真3)(イタリア語)である。

ラモ王はふとしたことから短気を起こして最愛の少女ディリラム (Diliramma) を放逐する。すぐに後悔して八方手を尽くして探すのだが、杳として行方はつかめず落ち込んでいる。以上がこの本の第1部ともいべき部分である。

不幸な王を慰めるため、3人の王子は提案する。

「色とりどりの7つの宮殿を建て、それぞれに、広く諸国から呼び寄せた美しい王女と、名だたる語り部を住ませなさい。王様は、月曜から日曜まで一日一夜、各宮殿に泊まって面白い話を聞き、悲しみを忘れるのです。」

その7つの宮殿で、語り部が王に語った7つの話が、この本の後半の第2部を構成している。これらの話は第1部とはほとんど関係がなく、それぞれ独立な、いわば話中話である。ただし、最後の第7話では、王が行方を捜していた少女ディリラムの消息が判明し、目出度い結末を迎える。

4. 童話「セレンディップの3人の王子」の諸外国語への翻訳



写真4 竹内慶夫 訳
「セレンディップの三人の王子たち」

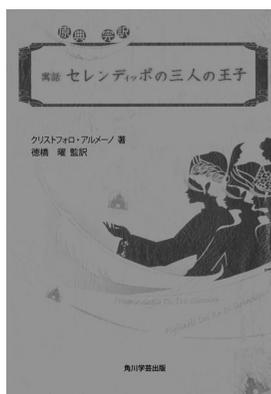


写真5 徳橋曜 監訳
「セレンディップの三人の王子」

この童話が出版された6年後には、早くもドイツ語の翻訳 (J. Wenzl, 1583) が出たが、イタリア語の原著とは100ヶ所も違ったところがあるそうだ²⁾。フランス語版は3種あるが、De Mailly (1719) がもっとも信頼できるとされ、1722年に再版されている。しかし、イタリア語の原著の第2部の7つの話のうち、第4話から第7話の部分を入れ替えて、新たに5つの話を加えた。このDe Mailly訳から、英語 (Chetwood, 1722) およびオランダ語、デンマーク語、ドイツ語への2次翻訳が行われた。serendipityの研究書を出版したRemerは、イタリア語の原典からの英語への直接翻訳の必要性を痛感し、かつてシカゴのイタリア領事館で文化アタッシュを務めたA. G. Borselli氏と同夫人Theresa (アメリカ生まれ)の協力を得て、その著書²⁾に英語訳 (完訳) を掲載した (この英語訳の抄訳を前節に示した)。

日本語への訳はどうであったか? 筆者がセレンディピティに関する文章^{4,5)}を記した1988年には、「セレンディップの3人の王子」の邦訳は出版されていなかったが、それから間もなくして出版された二三の書籍^{9, 10)}には話のあらすじが紹介されていた。2004年以降、以下に示す4冊の翻訳が出版された。

- (a) プレシャニック 真由子 訳
「セレンディップの三人の王子」¹¹⁾ 2004年7月
- (b) よしだみどり 訳
「セレンディピティ物語」¹²⁾ 2006年4月
- (c) 竹内慶夫 訳
「セレンディップの三人の王子たち」¹³⁾ 2006年10月
- (d) 徳橋曜 監訳
「寓話セレンディップの三人の王子」¹⁴⁾ 2007年12月

このうち、(a)と(b)はElizabeth J. Hodgesが1965年に出版した児童向けの書¹⁵⁾の翻訳である。後述のように、ウォルポールが読んだ本* (原著「Peregrinaggio di tre giovani figlioli del re di Serendippo」のフランス語訳) とはかなり内容が異なる。竹内訳の(c)はウォルポールが読んだ本の英訳版 (Chetwood) を児童向きに邦訳したものである。(d)はイタリア語版 (2000年に刊行された校訂版) 原典の完訳である。

5. 日本に来ていた「逃げたらくだ」

筆者がセレンディピティについて書いた文章⁹⁾を読んだある知人は、「らくだの話は昔の小学校の教科書に載っていたはずです。子供のころ、姉が朗読しているのを聴い

*「ウォルポールが読んだ本は英訳版 (Chetwood) であるとされてきたが、フランス語版 (De Mailly, 1721)らしい。」とRemer²⁾は記している。



写真6 小学校第4学年用国語教科書
(東京書籍株式会社, 昭和22年)



写真7 THE OCEAN READERS BOOK II
(大日本図書株式会社, 大正14年)

たことがあるし、私自身も読んだ記憶があります。」と教えて下さった。調べてみたところ小学校の国語教科書(大正7年 - 昭和15年, 昭和21年 - 24年)に、「逃げたらくだ」という表題でらくだの話が載っていることが分かった*。昭和ひとけた生まれの人は3年生で、昭和11~14年生まれの人は4年生でこの話を読んだはずである。第6期(昭和21年 - 24年)の第4学年用国語教科書¹⁰⁾に掲載されたものの冒頭部分を付録1に採録した。

この話は、「もと外国の読本にあった材料」(「小学国語読本総合研究」, 国語教育学会, 岩波書店, 昭和11年)とのものである。それならば、中等学校の英語教科書にも載っているだろうと見当をつけて探してみたら、大正14年および昭和7年発行の教科書に「The Lost Camel」という表題の話があった。付録2に採録しておく¹⁷⁾。

6. “serendipity” の拡散

ウォルポール**が友人への手紙にこの語serendipity

*このことについては、前稿⁵⁾に詳しく記した。なお、国定教科書の内容、変遷、成立事情などについては下記の書に詳しい記述がある。

高木市之助 述, 深壺和男 録
「尋常小学国語読本」, 中公新書 1976

を用い(1754年)て以来、彼の書簡集が刊行された1833年まで、“serendipity”は人の眼に触れる機会は無かった。これらの書簡集以外にこの語が印刷物に現れたのは1875年のことで、“Notes and Queries”***に関連記事が掲載された。読者からの問合せに答えて、編集者の一人である Edwards Solly がこの語の由来を説明している。Merton らの広範な調査によれば¹⁾, Solly の回答以後の83年間(1875~1958)に、“serendipity”はわずか135回の使用(公的な印刷物に現れた回数)が認められるのみである。これは、年平均1.6回ということになるが、この数字は1950年代には年平均3回程度まで上昇する。しかし、その後の使用頻度の増加は驚異的である。たとえば、1958年から2000年の間に、“serendipity”をタイトルに含む書籍が57冊出版された。これは“Book in Print”で調べたもので、学術的な書籍のみを対象としているが、通俗的な本まで含めると、はるかに多い数になるであろう。

Merton が LEXIS-NEXIS (新聞雑誌など18,000件以上を対象とするデータベース)で1960年以降の使用回数を調べた結果は次のとおりである。

1960-1969	2
1979-1979	60
1980-1989	1,838
1990-1999	13,266

また、新聞は2002年に Google を用いて検索している⁷⁾。同様な方式で私が検索した結果を並べて示す。****

キーワード	2002年	2010年8月1日
(1) セレンディピティ	702	226,000
(2) Serendipity	528,000	9,610,000
(3) (日本語限定)	1,570	319,000

**ウォルポールの「書簡や回想録は、英国貴族の目に映じた18世紀ヨーロッパ文化の姿を反映したものと、文化史的価値を有する」(岩波西洋人名事典, 1981)といわれ、また“the best letter-writer in the English language”ともたたえられて、1857年にはウォルポールの全書簡集が刊行された。

***1849年創刊の週刊誌。英語学、文学、辞書学、歴史などに関する好事家向き雑誌。その副題に「文学者、芸術家、古物研究者、系譜学者その他の間の相互交通のための媒体」とあり、「ノーツ(報告)」「クイアリーズ(質問)」「リプライズ(答文)」の3部から構成される。読者投稿のみによって成り立つ雑誌。博物学者・生物学者である南方熊楠(1867~1941)のこの雑誌への投稿は323篇におよび、東洋学の権威としても広く世界に知られる存在となった。

**** (キーワードとして“セレンディピティ”(1)、“Serendipity”(2)を選んだ場合、さらに、(2)で日本語限定とした場合(3)の結果を示す)

7. 科学における“serendipity”

「セレンディピティ」という語は1900年代から1935年のころ、文学者、好事家の間で広まっていったけれど、自然科学の分野ではやや遅れて1930年あたりから使われ始めた。その際に大きな役割を果たしたのが W. B. Cannon (ハーヴァード大学の生理学教授) で、彼は頻繁にこの語を用いた。その自伝¹⁸⁾には“Gains from Serendipity”と題する1章が含まれている。その後、自然科学の分野で次第に用いられるようになった。「セレンディピティ」の典型例としてよく紹介される X 線とペニシリンの発見の経緯を簡単に述べておこう。

(a) レントゲンと X 線の発見

X 線の発見は偶然と幸運に恵まれた事例としてしばしば引き合いに出される。レントゲン (Wilhelm Konrad Röntgen 1845~1923) は、当時関心を集めていた陰極線の研究を行っていた。ガラス製の管球を黒のボール紙で覆い光が全く洩れないようにして暗闇の中で高圧放電を開始したところ、1 m ほど離れたところにある蛍光板が光るのを認めた。1895年11月8日夕刻のことであった。陰極線(今では電子線であることが分かっている)は大気圧の空気を高々2,3 cm しか透過しないので、何か別の新し



写真8 レントゲン (Wilhelm Konrad Röntgen)



写真9 フレミング (Alexander Fleming)

い放射線が発生したに違いない。その後の7週間、実験に没頭したレントゲンは同年12月28日付で「放射線の一新種について」と題する論文を発表し、明けて正月にはその別刷が諸国の著名な物理学者宛てに発送され、大きな反響を呼んだ。新しい放射線の定性的な性質は、この論文にほとんどすべて正確に記述されたが、彼自身はまだそれらを完全に理解していないという意味を込めて X 線と名付けた。1 m ほど離れたところに蛍光板がおいてあったことは、まことにまれな偶然であった。管球に高圧をかけたときそれがまんやりと光ることに気がつき、徹底的にその原因を探求したレントゲンの注意深さと賢明さが世紀の大発見を生んだのである。1910年、レントゲンはこの発見により、第1回のノーベル物理学賞を受賞した。

(b) フレミングのペニシリンの発見

1928年の夏、フレミング (Alexander Fleming, 1881-1955) はインフルエンザの研究をしていた。蓋つきの皿に培養中の細菌の様子を顕微鏡で調べていたフレミングは、皿の中に異常にきれいな部分があることに気づいた。そのきれいな部分は、一片の青カビ(蓋が開けてあった間



写真10 R. M. ロバーツ著、安藤 喬志 訳
セレンディピティ



写真11 G. シャピロ著、新開 暢一 訳：創造的発見と偶然
科学におけるセレンディピティ

に入り込んだらしい)の周りに広がっていた。フレミングは、このカビがブドウ球菌を殺す何かを作っているのだと考え、このかびを分離して、それが作り出す物質をペニシリンと名付けた。この物質は、悪質な細菌に対しては破壊的な力を持つけれども、動物の組織に対しては無害であり、病原菌に対して理想的な殺菌剤であった。

のちに彼は「何千というカビがあり、何千という細菌があるのだから、ちょうどいいときに、ちょうどいい所へそのカビを入れるということは、まるで宝くじに当たるようなものだ」と言っている。また、彼は次のようにも述べている。「ペニシリンの物語には確かにロマンスがあり、誰の人生にもついてまわる偶然とか、幸運とか、宿命の意義を象徴している。」しかし、もしもフレミングが、青カビが落ち込んだ培養皿を実験の失敗として捨ててしまっていたら、すべては無に帰していたのだ。強調されるべきことは、彼の知性と洞察力があったからこそ、舞い込んだ偶然を生かすことができたのである。

これら、科学技術分野での「セレンディピティ」を論じた書籍として、文献^{19, 20)}をあげておく。R. M. ロバーツ著の「セレンディピティ」¹⁹⁾には、アルキメデスの「ユリイカ」をはじめとして、天然ゴム、合成ゴム、合成染料、レーヨン、テフロンなど36章にわたって思いがけない発見・発明のドラマが語られている。

8. 再びウォルポールの手紙の手紙について

第2章で「セレンディピティ」を造語したというウォルポールの手紙の一部を紹介した。ここで改めてその手紙について、その背景を含めて詳しく述べることにする。

Horace Walpole (1717~1797) は英国の著述家で、ケンブリッジ大学を卒業し、フランス、イタリアに遊学、帰国して政治生活に入り、芸術に関する著作やゴシック小説を発表した。ヨーロッパの歴史に精通していたウォルポールは、若いころフィレンツェ滞在中にある肖像画に魅



写真12 ホラス・ウォルポール (Horace Walpole)

せられた。のちに Francesco de Medici (メディチ家) と結婚し、トスカナ大公妃となる Bianca Capello の肖像画であった。その時から14年後、友人のマン (Horace Mann, トスカナ宮廷の英国公使) が Bianca の肖像画を購入し、ウォルポールへ贈った。ウォルポールはその肖像画用の新しい額縁を飾るために Capello 家の紋章をさがしていた。彼は偶然にも古い本でその紋章を見つけた。そこで彼は、Mann へてに次のような礼状を書いた。

1754年1月28日

“Bianca Capello 大公妃殿下の肖像画は、そのために準備された...に無事到着しました。...私は肖像画用の額を注文しました。その額の上部には大公の宝冠をつけ、下部には彼女の来歴を簡潔に記し、片側にメディチ家の紋章をつけました。ところで、私は重大な発見をお伝えしなければなりません。

...

そして、ヴェネチアの紋章の古い本で必要とした紋章をみつけたことを述べ、次のように続ける。

Chute 氏が Walpole の運と呼ぶ魔力によって、私はこの発見をしました。それは私が探し当てようとしていることなら、なんでも運よく見つけさせてくれるのです。この発見は...

----- (第2章に示した部分に続く) -----

serendipity という言葉の意味がお分りいただけただでしょうか？

この偶然の賢明さ (accidental sagacity) のもっとも特筆すべき一例を以下に挙げておきましょう。Clarendon 大臣閣下の家で食事をしておられた Shaftsbury 卿が York 大公と Hyde 夫人との結婚を察知されたのは、Hyde 夫人に対する母親の態度が、わが娘であるにもかかわらず、敬意に満ちたものであったからです。(「自分が求めているものを発見する」というのは、この範ちゅうには入らないことにご注意ください)

9. 曖昧で矛盾に満ちたウォルポールの手紙*

英語学者 Milic**は、上述の手紙におけるセレンディピティの定義は「首尾一貫しない矛盾に満ちたものである」と以下のように指摘した。

*この章は Milic の評論²¹⁾の抄訳をもとに、筆者の見解も若干加えて構成したものである。

**Louis T. Milic: Cleveland State University の英語学科に所属 (1991年まで) した。彼が創刊した季刊誌 The Gamut には、多くのその道のエキスパートが広汎な主題に関し執筆し、同大学の知的活動の一側面を世間に知らせる上で大きな役割を果たした。しかし大学が財政的支援を打ち切ったため、1992年、惜しくも終刊した。

- (1) ウォルポールは、ある貴夫人の肖像画用の額縁を飾る紋章を探していた。幸運にもヴェネチアの紋章の古い本でそれを見つけた。「探しているものを、うまく見つける“運”に私は恵まれている」とウォルポールはいう。
- (2) それでは、ウォルポールが読んだ“silly fairy tale”における3人の王子の行動はどうか？彼らは注意深い観察と推論によって、ラクダの特徴を言い当てた。いわば、シャーロック・ホームズの能力を発揮したのである。「何かを探し求めている過程で、別もの(探し求めているものとは異なる)を発見する」ことをもってセレンディピティと定義するのであれば、セレンディップの王子の話は該当しない。彼らはとくになにかを探し求めていたわけではなく、単に旅の途中で、逃げたラクダを探していた商人に自分たちの推理を話したにすぎないのだ。

したがって、上述の(1)のケースを(2)の逸話で説明するのは不適切である。

- (3) 第3の例はあまり詳しく書かれていないので、正確に評価するのは難しい。もしShaftsbury 卿が何かを求めて Clarendon 邸を訪れ、未来の女王と同席していることに気づいたのであれば、ウォルポールの定義の範疇に入るであろう。しかし、単に食事に参加したので出かけて、何事かに気づき推理によりある結論を導いたとすれば、(2)で述べたセレンディップの王子の話の場合と同じことである。

結局のところ、ウォルポール自らが造語した serendipity を説明する手紙の文章は、曖昧かつ誤解を招きやすいものというべきである。「何かを探している際に別のものを見つける」が serendipity を定義するものであ

れば、セレンディップの王子の話は不適切な例である。3人の王子は何かを見つけようとしていたのではなく、ラクダを探していた商人に、そのラクダの特徴を推理して話ただけである。すなわち、serendipity は誕生の瞬間から、曖昧さを伴っていたのである。

Milic は、数種の辞書について serendipity がどう定義されているかを調べた結果を示した。どの辞書も、serendipity の定義には以下の5つの要素があるとしている。

1. 能力 (gift, ability, faculty)
2. 発見する (making discovery, finding)
3. 有用な (useful, valuable, interesting)
4. 求めている (unsought, unexpected)
5. 偶然に (by accident, by accidental sagacity)

表2に数種の辞書の定義を比較して示した。どの辞書も“発見 (discovery) そのもの”ではなく、“発見する能力 (gift, ability, faculty)”を serendipity と呼んでいるのに対し、実際の用例の多くは、予期しなかった“発見そのもの”を serendipity と呼んでいる。また、いずれの辞書も(ウォルポールにしたがって) serendipity を“単に偶然 (accidental) であるのみならず、求めていなかった (unsought for) もの”に限定している。そうであるすると、「明確な目的をもち、目標に向かって努力している学者・発明者・科学者・あるいは探求者が、予期せざる方法・仕方でも成功する」というのはこの語に該当しないことになる

1940年から1950年代の間に serendipity という単語はサイエンス・ライターがよく用いるようになり、1960年代の初期には、「科学研究はすべて調子のいい推論と幸運な偶然 (all lucky guesses and happy accidents) に依

表2 英語辞書における serendipity の定義の比較 (Milic による²¹⁾)

Dictionary /date	1	2	3	4	5
Century(1909)	happy faculty	of finding	interesting items of information	unexpected proofs of one's theories	by "accidental sagacity"
Merriam Webster (1909,1934)	gift	of finding things	valuable agreeable	not sought for	-
OED(1912)	faculty	of making discoveries	happy	unexpected	by accident
Merriam Webster (1961)	assumed gift	of finding things	valuable agreeable	not sought for	-
American College (1958)	faculty	of making discoveries	desirable	unsought for	by accident
American Heritage (1969)	faculty	of making discoveries	happy	unexpected	by accident
Webster's New World(1970)	apparent aptitude	of making discoveries	fortunate	-	accidentally

るもの」と人々が思いかねない風潮も出てきた。こうした憂慮すべき事態に対する反撃がはじまった。科学雑誌サイエンスの論説（1963年6月）は「科学研究におけるセレンディピティの重要性は庶民の誤解」であり、「時として、たまたま目に止まったことが契機となって予期せざる発展をみることがあるにしても、進歩は実験者がそれを追い求めていたからこそ達成される」のであることを強調した。この系統の批判の最たるものは、精神分析学の雑誌に掲載された一文であろう。その筆者は「凝り固まったセレンディピティストは本筋はずれがちであり、常に横道に入り込んでしまう。“セレンディピティは天賦の才能を補い、幸運に恵まれて重要な発見を助ける”といったものではなく、不具者の神経症状であり、学ぶ能力の欠損でしかない」と主張する（Psychoanalytic Quarterly, 1963年5月）。

この語は知的な発見という最も神秘的な過程を一般大衆に説明するには便利である。「あるものを探しているときに別ものを見つける」という概念は、研究の複雑な過程をおそろしく単純化したものではあるけれども、誰しも日常的に経験することである。現在では店の名前などに serendipity が多く使用されている。この語の響きがいいこと、さらに何かしら上品さと東洋の物語の魅力を感じさせることが、その人気を少なからず支えている。各地の電話帳を見ると、この語を冠した画廊、骨董店、印刷所、旅行代理店、レストランなどが多く目につく。20世紀の初頭以降、こうした店が現れたようである。

以上に見てきたような語義の（混乱した）変遷は言語の生態について興味ある教訓を与えるものである。語源は意味を支配できない、用法こそそれを支配するものだ。かりに、ウォルポールがより正確に定義し、より適切な例を挙げたとしても、言語のユーザーはそれを無視し、その語の意味を当初のものから強引に捻じ曲げて新たな意味で使いだしたであろう。今日では、serendipity はもはや（ウォルポールが定義した）個人の能力ではなく、偶然に恵まれた幸運な出来事とされている。だから辞書はすべて誤りであって、その原因は語源を尊重したことにある。

この語から派生した単語として、

serendipitous, serendipiter,

serendipitist, serendipitously

などを見かける。私自身（Milic）は“serendippyness”を造語した。この単語の意味は

“その場限りの言葉について、騒ぎたてすぎること”

（excessive ado made about a nonce word.）

である。この単語が辞書に採録されることを望む。

10. 異説 セレンディピティの語源いろいろ

毎日新聞の「余禄」（1994年8月23日）で以下のような文章を見かけた。

セレンディプの三人の王子は国王である父の命令で、秘密の巻物を手に入れるため、旅に出る。国を取り巻く大洋に出没する巨大なドラゴンを退治する方法を書いた巻物だ。三人は次々に難題を解決していくが、みつからない。旅の途中、昔なじみの村の廢墟を見て三人は涙を流した。涙はドラゴンに滴り落ち、ドラゴンは滅びた。まるでテレビゲームのような奇想天外な筋だ。ここから十八世紀半ばに「セレンディピティ」という英語が生まれた。

これを読んで私は首をかきげた。原著“The Three Princes of Serendip”には“国を取り巻く大洋に出没するドラゴンを退治する方法を記した巻物”は登場しない。その出所を調べた結果次のような事情が判明した。

「セレンディピティ」の語源探索にとりくんだ詳しい道行きを竹内慶夫氏が「オリジナリティーとセレンディピティ」と題して日本大学文理学部の「学叢」に記しておられる²⁹。また、新関暢一氏もその訳書「創造的発見と偶然科学におけるセレンディピティ」³⁰の訳者あとがきで「私とセレンディピティ」の関わりを述べている。両氏がともに最後に辿り着いた文献としてあげておられるのは、Elizabeth J. Hodges の著³¹である。この本は子供向きに書かれたもので、ここにドラゴンが登場する。原作の枠組みを踏まえてはいるものの話のあらすじは原著（「Peregrinaggio di tre giovani figlioli del re di Serendippo」）とは大幅に異なっており、ほとんど彼女の創作というべきものである。したがって、「セレンディピティの原典」としてとりあげるのは適当でない*。

上に述べたケースは情報の出所がはっきりしているのだが、セレンディピティの語源をめぐっては、出所不明の話が数多くある。以下にそれを列記しよう。

- ・この三王子は、よくものをなくして、さがしものをするのだが、ねらうものは一向に探し出さないのになんか予期していないものを掘り出す名人だった、というのである。（思考の整理学、1986）
- ・主人公の王子たちはさがそうしているのでもない宝ものを掘り出すことにたけていた。（名言の内側、日経、1988）
- ・セレンディプティの意味は複雑だ。多岐に分かれて

*したがって、Hodges の著の邦訳である文献^{11, 12}も「セレンディピティの語源となった物語」ではないことに注意したい。

いる。定義が異なっている。まず私が知っている定義を言えば“捜しものがあるとき、一生懸命にそれを捜しているあいだは見つからず、あきらめたあとでヒョイとそれが見つかること”これがセレンディピティである。(好奇心紀行 講談社 1994年)

- この言葉の元々の意味は、“セイロン島のハブニング”ということだが、一般にはあることに熱中していると、当初の目的は達せられなくても、まったく偶然に別の異なったことを発見することがあるという意味に使われている。この言葉は、セイロン島について研究していたある考古学者の話に由来している。彼は、セイロン島の文献を調べているうちに、世界にもまれな大遺跡があることを発見した。勇躍して大調査団を組み、乗り込んだのだが、どこを探してもあるべきはずの遺跡が見つからない。結局、当初の目的は達せられなかったが、遺跡の調査中、偶然にも、昔、海賊が隠匿していた宝物を発見し、彼は一躍、大金持になったというのだ。(発想読書術 ごま書房, 1978)
- 昔、セレンディップ国、ひと昔のセイロン、現在のスリランカのお姫様が、予期せぬ幸運にめぐり合ったので、Serendip の国の名前をとって、このような単語の意味になった。(ちょっとした外国語の覚え方 講談社 1995)
- ペルシアの王子セレンディスは、父王の命令に従い、東方の海へ宝捜しの航海に出た。ある日、ある島に漂着し、そこで世にも珍しい宝石を発見した。その島は、王子の名にちなんでセイロン(現在のスリランカ)という名前が与えられたという。このペルシアの寓話と同様に、意図せざる大きな発見を“serendipity”(運良く見つけること)というようになったが、--- (鉄鋼界 1993年 4月号)

もうひとつ、この言葉に早くから着目していた柳田博明は、セイロンの3人の王子が王様に命じられて宝石探しに山に登るといふ話を書いている²⁹⁾。

第一王子は宝石があると思われる山に、わきめもふらずに進みました。途中にどのようなすばらしいものがあるかをためす余裕など全くありません。第二王子は怠け者で、少々さぼり癖があり、ときどき休息をとりながら、のんびり進みました。ある時、彼が休んだその足元に石が落ちていました。拾い上げてみましたが、価値がないといって、捨ててしまいました。第三王子は、目的の山に向かって計画的に進みました。あるところで休息をとり、面白そうな石があったので拾い上げてみました。よく見ると、その石は王様から命じられた、本来探す目的の宝石とは違いますが、とてもすばら

しいものだったので、喜んで持ち帰りました。とさ。言うまでもなく、三人の王子の内、当然、第三王子がセレンディピティに恵まれたというわけです。

柳田は、そのブログ (<http://blog.livedoor.jp/yanagi-da0601/> 2006年9月4日)において、以下のように書いている。

.....柳田博明は、これらの著書(いくつも出版されているセレンディピティに関する)を読んでから、セレンディピティという用語を使い出したのではなく、欧米の研究者と研究哲学談義を重ねた後、この言葉のもつ意味の重要性を説き始めました。私の理解するセレンディピティは、彼らから研究者としての意義を体得したもので、文献学的考察によるものでないことをお断りしておきます。.....

柳田は、科学研究の携わるものの心得ないしは資質を説くために、宝石探しをする3人の王子の話をも“創作”したようだ。「セレンディップの3人の王子」という原典が存在する以上、それと異なる話を書くならば自らの創作であることを明記しておくべきであった。語源に関する“文献学的考察”を行わずして独創的解釈を提案すると混乱を招く。

11. おわりに

ウォルポールが与えたセレンディピティの定義は曖昧で矛盾を含み誤解を招きかねないものであった。もともと彼は、親しい友人あての私信の中の軽い冗談が、後世このように大きく取り上げられるとは予想もしなかったであろう*。上述のように、その曖昧さと不完全さを Milic は厳しく批判した。一方、ウォルポールの意図を忖度し、擁護するスタンスで「セレンディピティ」を定義したのが Remer で、以下の様に述べている²⁹⁾。

...研究者は問題に対する解答、あるいは仮説に対する証明を求めて研究を行う。偶然に恵まれて目的を達する場合もあろうが、それはたまたま掘り出し物がでてきたとしても、それを即座に認識する心の準備、条件づけができていたからである。研究の全過程において、ゴールに達するための手が

*ウォルポールはこの物語を“a silly fairy tale”と呼んでいることからして、あまりこの本を高く評価していないようである。「彼は冒頭のらくだの話の部分を読んだだけで、後の方の話は全く読まなかったのではなからうか?」と Merton は示唆している³⁰⁾。いづれにしても、物語「セレンディップの3人の王子」の後半部分は、セレンディピティの定義とは関連がないから、この物語を最後まで読んでもセレンディピティ(の定義)の“より良き理解”にはつながらないことを付記しておきたい。

表3 日本におけるセレンディピティの紹介年表

年	著者・訳者	事項	注釈
1967	藤原 武夫	Serendipity とは何か知っているか?	藤原武夫先生追悼記念誌 1982
1971	柴田 和雄	日本最初の活字による紹介	『蛋白質 核酸 酸素』 第16巻2号巻頭言
1978	兵頭申一・雅子 訳	ラングミュアー伝	A. Rosenfeld 著 1966
1984	柳田 博明	Serendipity の最も期待できる材料 それがセラミックスである	これからどうなる日本・世界・ 21世紀 岩波書店
1984	諏訪 邦夫 訳	医学を変えた発見の物語	J. H. Comroe Jr. 著 1977
1985	堀越 弘毅	思いがけぬ発見 自然の語りかけを知れ	日本経済新聞 4月17日
1986	外山 滋比古	セレンディピティ 思考の整理学	ちくま文庫
1986	竹内 慶夫	オリジナリティとセレンディピティ (日本大学文理学部「学叢」第41号)	Hodges の物語の概要, セレンディピティ の考察
1988	小岩 昌宏	Serendipity とは何か	Walpole, Hodges, Remer の 業績の解説と考察
1988	小岩 昌宏	続 Serendipity とは何か 日本に来ていた逃げたらくだ	小学国語読本の紹介
1989	横井 晋 訳	ある神経学者の歩いた道 追及・チャンス と創造性	J. H. Austin 著 1978
1993	安藤 喬志 訳	セレンディピティー 思いがけない発見・発明のドラマ	R. M. Roberts 著 1989
1993	新関 暢一 訳	創造的発見と偶然— 科学におけるセレンディピティ	G. Shapiro 著 1986

かりはないかと油断なく見張りつづけていたからである。かすかな手がかりでもぬかりなくそれに気づくには、もちろん高い知性が必要であろう。しかし、ある問題の解決をめざして探求をつづけている研究者が、まったく別の発見をなしうするためには、より高度のなにものかが必要ならぬ。この高度の知性こそ、ウォルポールが語った“accidental sagacity”であり、“serendipity”に他ならない。これは、洞察、天啓、ひらめき、靈感なども表現されてきたものである。このとらえどころのないものこそが、天賦の才に恵まれた研究者 (gifted researcher) の精神をより高い次元の認識状態にパッと飛躍させる—どうしてそこに到達できたのか—には説明できぬまま—のである。

Remer はこのように“serendipity”を天賦の才能と定義する。そうだとしたら凡人である研究者は“serendipity”はないとあきらめるべきか?

R.S.レノックスは、“好奇心や認知力が生まれつきほかの人たちより強い人もいられるかもしれないが、(教育によって)その能力を引き出し、助長することは可能である”として、「セレンディピティの発見のための教育」という論文[24]で学生が好運な偶然を利用できるような心構えを育てるいくつかの方法について述べている。第一の方法

は、予想されたことばかりでなく予想されなかったことも含め、すべてを観察し記録するという訓練を課すことである。また、「指導者が、学生の書いたノートを詳細に点検し、観察能力と記録能力を評価・指導することの重要性」を指摘している。セレンディピティの恩恵をこうむるための準備のもうひとつの方法は、その研究分野を注意深く勉強しておくことである。「偉大な発見の種はいつでも私たちの周りに漂っているのだが、それが根をおろすのは十分待ち構えた心に限られる」。

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

最後に、日本におけるセレンディピティの拡散に関する年表を示しておこう。これは新関による年表²⁾から、1993年までの事項を抜き出したものである。これによれば、セレンディピティを日本に最初に紹介した人は、広島大学理物理の藤原武夫先生らしい^{22, 25)}。

文献 [25] は、北野保行さん (広島大学名誉教授) のご好意で見ることができた。厚く謝意を表する。

文 献

- 1) R. K. Merton and E. Barber: "The Travel and Adventures of Serendipity", Princeton University Press, 2004.

- 2) T. G. Remer: Serendipity and The Three Princes, University of Oklahoma Press, 1965.
- 3) 兵藤申一, 雅子 訳(A. Rosenfeld 著):「ラングミューア 伝」アグネ, 1978.
- 4) 小岩昌宏:“Serendipity とは何か”, BOUNDARY, 4 (1988) No.5, 73-80.
- 5) 小岩昌宏:“続 Serendipity とは何か—日本に来ていた「逃げたらくだ」—”, BOUNDARY, 4 (1988) No.10, 74-80.
- 6) 小岩昌宏:“セレンディピティ—その源流と異説の由来”, 金属学プロムナード, アグネ技術センター, 2004.
- 7) 新関 暢一:“セレンディピティの今昔”, ミクロスコピア. 19 (2002), 3号, 193.
- 8) 郡司利男 編著:「英語学習逆引き辞典」開文社, 1967.
- 9) 横井晋 訳 (J. H. Austin 著):「ある神経学者の歩いた道 追求・チャンスと創造性」金剛出版, 1989.
- 10) 久保田競, 夏村波夫:「セレンディピティ ツキを呼ぶ脳力」主婦の友社, 1990.
- 11) プレシャニック 真由子 訳:「セレンディップの三人の王子」バベル・プレス 2004.
- 12) よしだみどり 訳:「セレンディピティ物語」藤原書店 2006.
- 13) 竹内 慶夫 訳:「セレンディップの三人の王子たち」偕成社 2006.
- 14) 徳橋 曜 監訳:「寓話セレンディップの三人の王子: 原典完訳」角川学芸出版 2007.
- 15) Elizabeth J. Hodges: The Three Princes of Serendip, Constable Young Books Ltd., London, 1965.
- 16) 文部省, 国語第4 学年上, 東京書籍株式会社, 昭和22年.
- 17) 岡倉吉三郎:“The Ocean Reader Book Two”, 大日本図書株式会社, 大正14年.
- 18) W. B. Cannon: The Way of an Investigator: A Scientist's Experiences in Medical Research, W.W. Norton & Co., Inc., New York, 1945.
- 19) 安藤 喬志 訳 (R. M. Roberts 著):「セレンディピティ」, 化学同人, 1993.
- 20) 新関 暢一 訳 (G. Shapiro 著):「創造的発見と偶然 科学におけるセレンディピティ」東京化学同人, 1993.
- 21) Louis T. Milic: "Serendippyness", The Gamut, #3, p.87, Cleveland State University, 1981.
- 22) 竹内 慶夫: オリジナリティーとセレンディピティ, 「学叢」(日本大学文理学部), 第41号1986年12月, 45-55頁.
- 23) 柳田 博明: 新素材の開く世界 セラミックスの展開を中心に, NHK 人間大学, 1994.
- 24) R. S. Lenox: Journal of Chemical Education, 62 (1985) 282.
- 25) 藤原武夫先生追悼記念誌 (1982) 広島大学図書館所蔵.

付録1 小学校国語教科書に採録された「逃げたらくだ」の話¹⁶⁾

七 にげたらくだ

人 甲と乙ほかにひとりの旅人

ところ さばくの中

甲乙ふたりが、あちこちまわしながら、なにかものをさがして歩いてくる。

甲 「どこへいったのだろうね。」

乙 「ちょっとのまに、いなくなってしまった。さて、どこへいったものかしら。」

ふたりそろって、遠くをみまわす。

甲 「砂のほかに、なにもみえない。」

乙 「木一本もみえない。」
そこへひとりの旅人がやってくる。

旅人 「もし、もし。」

甲乙がいっしょにふり返って、

甲乙 「はいはい、なんですか。」

旅人 「あなたがたは、なにかさがしておいでのようなだ
が――」

甲 「そうです。」

乙 「さきほどから、さがしつづけているのですが。」

旅人 「もしや、あなたがたは、らくだをにがして、それをさがしていらっしゃるではありませんか。」

ふたりはびっくりした顔で、

甲乙 「そうです。そうです。」

旅人は、おちついたことばつきで、

旅人 「そのらくだは、かた目ではありませんか。」

ふたりは、びっくりした顔で、

甲 「まったくそのとおりです」

乙 「かた目なんですよ。」

旅人は、思いだすようなふうをして、

旅人 「そうして、左の足が一本短くて―それから―」

といってから、ちょっと考える。

このようすを、甲乙ふたりがみてとって、なにか、ここそささやきあう。

旅人 「そうそう、そのらくだは、まえ歯が二三本ぬけて
いませんか。」

ふたりはいよいよびっくりして、

乙 「それにちがひありません。」

甲 「どこでみましたか。」

旅人は、それには答えしないで、また思いだしながら、

旅人 「それから、つけた荷がありましたね。」

甲乙 「ありました。」

旅人 「その荷は麦でしょう。」

甲 「たしかに、たしかにそうです。」

乙 「どこにいるか、早く教えてください。」

旅人 「いや、わたしは、そのらくだをみたのではありません。」

甲 「え、でも、そんなにくわしくごぞんじではありませんか。」

乙 「それとも、だれかにおききになったのですか。」

旅人 「いいえ、みたのでも、きいたのでもありません。」
ふたりは、また顔を見あわせていたが、

甲 「どうもおかしい。あなたは、そのらくだを、どこかへつれていったのにそういない。」

旅人はおどろく。

乙 「あやしい。さあ、けいさつしょへ、いっしょにいつてもらおう。」

旅人 「そんな。」

甲乙 「いや、あちらであかしをたててもらおう。」

ふたりは、旅人の両手をとる。むりにつれていく。

(以下略)

付録 2 中等学校英語教科書に採録された「逃げたらくだ」の話¹⁷⁾

LESSON 29 The Lost Camel

A dervish was travelling alone in the desert when he met two merchants.

"You have lost a camel," said he to the merchants.

"Indeed we have," they replied.

"Was he not blind in his right eye, and lame in his left leg?" asked the dervish.

"He was," replied the merchants.

"Had he lost a front tooth?" asked the dervish.

"He had," answered the merchants.

"And was he not laden with honey on one side, and corn on the other?"

"Most certainly he was," they rejoined.

"And as you have seen him so lately; you can of course lead us to him."

"My friends", the dervish said, "I have never seen

your camel, nor have I heard of him, except through yourselves."

"A pretty story, truly," cried the merchants. "You must have seen him! And where are the jewels which formed a part of his burden?"

"I have never seen your camel nor your jewels," repeated the dervish.

Upon this they seized him and took him to the *cadi*, to be judged; but on the strictest search, nothing could be found against him.

Nothing was found to prove him guilty of either falsehood or theft.

"He is a magician," exclaimed the merchants. But the dervish calmly said to the *cadi*,

"I see that you are surprised and that you believe that I am deceiving you. Perhaps I have given you cause for such belief.

"I have lived long and alone, but I have learned to see and to think, even in a desert.

"I knew that I had crossed the track of a camel that had strayed from its owner, because I saw its footprints, but no trace of a human being.

"I knew the animal was blind in one eye, because it had cropped the herbage only on one side of the path. And I knew that it was lame in one leg because one foot had made but a faint impression upon the sand.

"I also concluded that the animal had lost one tooth, because, wherever it had grazed, a small tuft of herbage in the centre of its bite was left untouched. I knew that which formed the burden of the beast, for the busy ants told me that it was corn on one side, and the clustering flies, that it was honey on the other."

(2011年5月31日)

談話室

ハウフの童話

－シュトゥットガルトとフィレンチェにゆかりの場所を訪ねる－

小 岩 昌 宏*

Wilhelm Hauff and his Märchen

by Masahiro KOIWA

1. 子供のころに読んだ物語

戦中戦後に小学生時代を送った私たちの世代は本に飢えていた。新しい本の出版は少なく、本屋の店先には粗悪な紙の薄っぺらな本しか並ばない時期が続いた。母が子供のころ読んだという小学生全集**や文学全集を、母の実家から借りて来てむさぼり読んだ。また友達からもいろいろ借りあさって読んだ。そんな1冊だったと思うのだが奇妙に印象に残る話を読んだ。

ある国でのこと、医術を学んだことのある男が奇妙な依頼を受ける。「私は妹とこの国へやってきたが、妹は病を得て死んでしまった。国のしきたりとして首を持って帰らねばならない、愛しい妹の首は、到底私には切れない。あなたは医学を学んだ方と聞く、どうか切ってください」依頼を受けて、首を切り落とす時、娘はカット大きな目を見開く。死んではいなかったのである。その男は殺人犯として逮捕され裁判にかけられる。弁護人の働きで死刑は免れ、左手切断・財産没収の上永久追放となった。...

2. その作者はハウフだった

その本は、表紙どころか目次など最初の数ページが欠落しており、本の題名・著者名を確かめるすべはなかった。もっとも、小学校3年か、4年生であった私は、欠落がなかったとしてもお話の中味だけに気を取られて、著者が誰かを気にとめることはなかっただろう。それから

*京都大学 名誉教授 (昭和34年 東大工冶金 卒)

**菊池寛が芥川龍之介の協力を得て編集した小学生向けの全集 (全88巻) で、『クオレ』『小公子』『ジャングル・ブック』『家なき子』『ピイター・パン』など外国文芸の翻訳と、日本の著者による啓蒙的な本とから構成されていた。文芸春秋社が昭和2年から昭和4年にかけて発行した。

20年ほど経った頃、ふとこの話が気になり出した。はつきりしているのは日本の話ではないことで、どこの国のお話かもわからない。作者も題名もわからないとなると、いろいろそれらしい本を手にとって、お話を読んでみるしかない。図書館や大きな書店、とくに当時住んでいた仙台の金港堂、高山書店、丸善などに行く機会があるごとに、児童用書籍・民話などの書棚の前に立って、各国の童話などを拾い読みして探しつづけた。そんな探索の日々が何年続いたか今は記憶も定かでないが、とにかく苦勞の甲斐あってその物語にめぐり合うことが出来た。ドイツの作家ハウフの「隊商」であった。

童話といえば、グリム兄弟が収集した童話集 (初版1815年156話、第7版1857年200話) があまりにも有名であるが、ドイツではハウフ童話もよく知られており、20世紀の中ごろまではほとんどすべての子供に親しまれた存在であったようである。

3. ハウフの作品

後述のように、ハウフは25才で夭折したけれども、そ



写真1 ハウフとその作品「リヒテンシュタイン城」、
“小人のムクの話”を描いた切手



写真2 Märchen, Th. Knauer Nachf. Berlin, 1939年。
水彩画の挿絵が美しい



写真3 高橋 健二訳 『隊商』岩波書店, 1977年

の短い生涯のうちに、詩集1巻、長編小説3篇、中・短編小説8篇、童話集3巻を残した。少年時代から多読家であった彼は、3人の作家 ウォルター・スコット、E.T.A ホフマン、ジャン・パウルの影響を大きく受けているといわれる。また、彼の小説にバクダットやエジプトが好んで舞台として取り上げられているのは、18世紀初頭にヨーロッパ社会に紹介された千一夜物語の影響であり、グリム童話集、ほら吹き男爵などからも創作のヒントや刺激を得ているといわれる。

ハウフの作品は旧制高校および戦後の大学教養課程におけるドイツ語教材(購読用テキスト)としてよく用いられた。

ハウフの作品の邦訳

「隊商」は明治20年(1887)中川霞城訳「沙漠旅行物語」として刊行された。この年、グリム童話が「西洋古事・神仙叢話」として、翌年にはアンデルセンの「諷世奇談、王様の新衣装」が出て、著名な外国童話が同時期に本邦に紹介された。その後、小学生全集など子供向きの本にリライトされた話がいくつか掲載された。原文に忠実な全訳としては岩波文庫版の「隊商」(高橋健二訳、1940)が最初である。なおこの本は1977年以降、岩波少年文庫の一冊として刊行されている。戦後は創元社、講談社、小学館が出版した少年少女向けの世界文学全集の中に、隊商の一部が収録されている。

「隊商(Die Karavane)」について少し説明を加えておこう。5人の商人が大勢の護衛に守られて砂漠を旅しており、旅の途中でゼリムと名乗る男が加わる。この6人が休憩地で休むごとに、無聊を慰めるために交代で語った

以下の6つの話により構成されている。

- (1) コウノトリになったカリフの話
(Die Geschichte vom Kalif Storch)
- (2) 幽霊船の話(Die Geschichte vom Gespensterschiff)
- (3) 切り取られた手の話
(Die Geschichte von der abgehauenen Hand)
- (4) ファトメの救い出し
(Die Errettung Fatomes)
- (5) 小さいムクの話
(Die Geschichte vom Kleinen Muck)
- (6) 偽りの王子のおとぎ話
(Das Märchen vom falschen Prinzen)

一行の一人で左手のない男(ツァロイコス)が、手をなくした経緯を語った第3話が本稿の冒頭で述べた物語である。そのあらすじを記しておこう。

切り取られた手の話—あらすじ

ギリシャ人である私ツァロイコスは、コンスタンチノーブル(トルコの首都)で生まれた。父はトルコ語の通訳をする傍ら、香水、衣料の店を開いており、いずれは私に店を継がせるつもりだった。しかし、私が期待以上にできがよさそうだとみさだめると、友人の勧めに従って私をパリに送り医学を学ばせた。3年後に外科医となってコンスタンチノーブルへ帰ってみると、父は2ヶ月前に亡くなっており、残しておいてくれたはずの巨額の財産もなくなっていた。父が残した店を売り払い、香油・シヨール・絹を買い入れフランスの各地を回って商売をした。故郷の友人が新しい品物を送ってくれたので、ふところ

は日に日にふくらんでいった。じゅうぶんな元手を作ったところでイタリアへ行った。フィレンチェが気に入ったので、ここにしばらく滞在することにした。サンタ・クロッチェという町に店を借り、医者と小売商を開いたところ大繁盛だった。開店4日目の夕方のことだ。店を閉めて片付けているとき、一枚の紙切れに気づいた。それには「今夜12時、ポンテ・ヴェッキオ橋の袂まで来てほしい」と書いてあった。行ってみると、まっかなマントを着た男がやってきて、ついて来いという。用件を言えといっても返事をしないで立ち去ろうとするので、マントをつかむとそれを私の手に残したままいってしまった。

翌日、その高級品らしいマントを売りものとして店頭と並べておいたら、いつの間にかマントに紙切れがつけられていた。それには「今夜、例の時刻に、このマントを持ち、ポンテ・ヴェッキオ橋まで来たら、400ツェヒネ渡す」とあった。昨夜と同じ時刻に出かけると、闇の中から現れた男が金を払ってマントを受け取ったのち、私に頼みがあるという。「私は妹と二人で遠い国からやってきた。妹が急病で死んでしまった。首を持って帰って祖先の墓に葬らねばならぬ。あなたは医師だから首を切ってほしい」という。男が案内した大きな屋敷の一室の寝台に美しい女が横たわっていた。医者としていつも持っていたメスを取り出して、一気にのどをかき切ったところ、死者はぱちりと目を開け、次の瞬間目を閉じて本当に死んでしまった。私はこの女を殺してしまったのだ。赤マントの男はいつの間にか姿を消してしまっていた。私はおそろしさのあまり、とぶように宿に逃げ帰り、布団をひっかけたがとてども眠ることはできなかった。



写真4 切り取られた手の話の挿絵²⁾

“…私は、医者としていつもたずさえていたメスを取り出して、寝台に近づきました。死体のうち頭だけが見えました。……一気にのどを切断しました。だが何ということでしょう！死人は目を開き、それから又すぐに閉じたのです。そして深いため息をついて彼女は今はじめて、息をひきとったようでした。……。”(高橋健二訳 隊商³⁾)

部屋に残したメスから足がつき、私は逮捕された。私が殺した娘は、結婚式を翌日に控えた総督令嬢ビアンカだった。事情を説明したが誰も信じてくれず死刑が宣告された。絶望の淵に沈んだ私を、パリ時代の友人パレットィが救ってくれた。彼の父はフィレンチェの有力者で法律に明るかった。フィレンチェの古い書物を調べたところ、昔同じような事件があり「その者の左手を切り、財産を没収し、フィレンチェから永久追放した」とあった。そこで私も死一等を減ぜられ、片手を切り落とされて釈放された。

故郷のコンスタンチノーブルへ帰ってみると、立派な家が用意され、店と商品までもが備わっていた。毎年、多額の金も送られてくる。私をひどい目にあわせたあの男の償いのつもりだろう。

やがて旅を終えて隊商が解散するとき、ツァイコロスに娘の首を切ることを依頼したのは旅の途中から一行に加わった男ゼリムであったことが判り、その事情が説明される。

4. ハウフの生涯

手元にあるハウフの童話集¹⁾や関連書籍³⁻⁷⁾の訳者解説、月報記事などを参考にして、ハウフの生涯を紹介することにしよう。

子供時代

ウイヘルム・ハウフ (Wilhelm Hauff, 以下 WH と略記) は1802年11月29日、ヴュルテンベルグ公国の首都シュットガルト (ドイツ南西部の都市) に生まれた。当時のドイツはこうした多数の小君主国に分かれていた。父はこの小国の内閣秘書官で、WHはその次男として生まれた。7歳のとき父親が病死し、母、兄、2人の妹とともに母親の実家で暮らすことになった。母方の祖父はチュービンゲン市 (シュットガルトの南35キロに位置する大学町) の高等法院判事で、膨大な蔵書を持つ文学愛好家であった。WHはその書庫からゲーテ、シラーをはじめイギリスやドイツの長編小説など世界の名作を持ち出して耽読した。子供たちに御伽噺を読み聞かせるのがうまかった母親に真似て、WHは12、3歳のころから妹や友達に自分の作った話を聞かせるのを好んだという。

神学校から大学神学部へ

WHが15歳になったとき、母親は彼を牧師にするつもりで神学校に入れた。これは父のない子が官費で学問を修めることのできる唯一の道であった。そこでの自由のない息苦しい日々ののち、チュービンゲン大学神学部へ

進んだ。この学部先輩にはヘーゲル、ヘルダーリン、メーリケなどそうそうたる文人、哲人がいたが、WHはこの学問になじむことはできなかった。しかし、神学校での規則正しい生活で体が丈夫になり、友人たちと徒歩旅行を楽しむなど学生生活を満喫した。

家庭教師となり、童話を創作

1824年10月、学士号を得てシュトゥットガルト市のヒューゲル男爵家の家庭教師になった。男爵はかつてナポレオンの副官を勤めたこともある軍人であったが、夫人とともにWHを親切に遇し、その創作活動にも理解を示したので、かねてから構想を暖めていた歴史小説や童話を書き進めることができた。創作童話を男爵家の2人の息子に話して聞かせると、聞き手に加わっていた夫人が本として出版することを熱心に勧めた。そのようにして出来上がったのが「隊商」で、「1826年のメルヒェン年鑑」として1825年10月に刊行され、続いて27年度、28年度版が出された。これらは後に増補され、「教養ある階層の子女のための御伽噺 (Märchen für Söhne und Töchter gebildeter Stände)」としてまとめられた。これらは以下の3篇で、いずれも「粹物語」*の形式で数個の物語から構成されている。

(1) 「隊商」Die Karavane (1826)

(2) 「アレクサンドリアの酋長とその奴隷たち」

Die Scheik von Alessandria und seine Sklaven (1827)

(内容「小人の鼻吉」「アプナー、何も見なかったユダヤ人」「焼かれた頭」「人間としてのサル」「アルマンゾルの話」)

(3) 「シュベサルトの料理店」

Das Wirthaus im Spessart (1828)

(内容「ヒルシュゲルデンの伝説」「冷たい心臓」「サイドの運命」「ステイーフォルの洞穴」)

家庭教師を辞し、取材旅行へ

1826年4月、1年半ほど勤めた家庭教師を辞し、作家として独立することにした。それまで生まれた土地の周辺しか知らなかったので、この機会に取材をかねて国内外を旅行することにした。パリに2ヶ月滞在後、ベルギーの諸都市を経て北ドイツに入り、カッセル、ゲッチェンゲン、ブレーメン、ハンブルグを回って9月にはベルリンに着いた。すでに有望な新人として名を知られていたWHは著名な文人と交流を深め、7ヶ月の実り多い旅を終えて

11月には故郷のシュトゥットガルトに戻った。1827年1月からは大書林コッタ社の雑誌・新聞の編集を引き受けることになった。

結婚そして死

1827年2月、3年前から婚約していた従妹のルイーゼと結婚し、美しい庭付きの一戸を構え、24歳の若さで名声と安定した家庭を手に入れたのであった。彼は前年の旅行で訪れたブレーメンを舞台とした「ぶどう酒綺譚」などの短編を矢継ぎ早に発表した。夏にはチロルの民族的英雄を主人公とする新作の取材のために旅行に出かけたが、妊娠中の妻の健康がすぐれないとの知らせで帰宅した。ところが、彼自身が急に体の変調をきたして床につき、長女の誕生の1週間後の1827年11月18日、享年わずか25歳で帰らぬ人となった。

5. ハウフゆかりの場所を訪ねる

シュトゥットガルト

私の海外旅行の記録を調べてみると、1984年5月8日から約6週間、ヨーロッパの研究機関を訪問している(イタリア、スイス、ドイツ)。東北大金研に在職中で、前年の秋、高村仁一先生から京大への転勤を打診され、どうするか自らの意志を固めねばならないと思いながらの遍歴であった。ドイツではシュトゥットガルトとミュンヘンを訪問した。

シュトゥットガルトでは、マックス・ブランク金属研究所に約2週間滞在した。Seeger教授を所長とする同研



図1 ドイツ地図

ハウフはシュトゥットガルトで生まれ、チュービンゲンで育った。1826年4月の取材旅行：パリに2ヶ月滞在後、ベルギーの諸都市を経て北ドイツに入り、カッセル、ゲッチェンゲン、ブレーメン、ハンブルグ、ベルリンをめぐる。

*導入的な物語を「粹」として使うことによって、ばらばらの短編群を繋ぐ物語技法。「額縁小説」とも呼ばれる。「千一夜物語」はその典型例である。

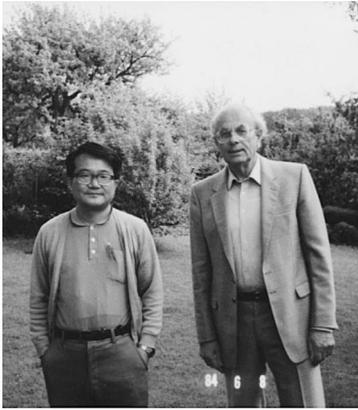


写真5 Schultz 教授と。(1984年6月同教授宅の庭で)



写真7 ハウフの墓。シュトゥットガルト市内のホッペンラウ霊園にある。



写真6 マックス・プランク金属研究所の研究者と
左から H. Kronmüller, W. Frank, A. Seeger 各教授、
筆者 (1984年6月、H. Schultz 教授宅の庭で)

究所は、当時、格子欠陥研究の分野で世界をリードする一大中心であった。高融点金属の点欠陥・水素の研究をされていた H. Schultz 教授(写真5)がホストとしていろいろ世話をして下さった。写真6は、同教授の家でのガーデン・パーティの折に撮ったもので、左から H. Kronmüller, W. Frank, A. Seeger 各教授である。ハウフの童話のことを話題にしたら、「我々の世代(1930年代生まれ?)は子供のころにみな読んだものだ。しかし、今の世代は知らない人も多いだろう」とのことであった。シュトゥットガルト市内にはハウフにゆかりの場所がいくつかあるとのことで、Schultz 先生が一日案内して下さいることになった。

市の中心部にある Hoppenlau Friedhof (ホッペンラウ霊園、コンサートホール Liederhalle の近く) にハウフの墓がある(写真7)。竖琴を模した墓標は文人・詩人の墓に多い。写真8は、墓地から南西方向約2km離れた地点 Hasenbergsteige の小さな公園にあるハウフの胸像である。年来の友人、Hans-Eckhardt Schaefer が寄せてくれた情報によれば“彫刻家 Wilhelm Rösch 作で、



写真8 ハウフの胸像。シュトゥットガルト市内の公園にある。

1882年に除幕式が行われた”そうである。

フィレンツェ ポンテ・ヴェッキオ

ところで、「隊商」の第3話「切り取られた手の話」の事件は、ポンテ・ヴェッキオ (Ponte は橋、Vecchio は古いという意味) での赤いマントを着た男との出会いから始まる。1993年9月、イタリアで開かれた国際会議に出かけた機会にフィレンツェに立ち寄ってこの橋を歩いてみた(写真9)。

アルノ川に架かるこの橋は河川の氾濫などで何度かかけ直されており、現在の橋は1345年に再建されたもの。橋の両側には店が並んでおり観光客でにぎわっているので、ぼんやり歩いていると、橋の上にいることに気が付かない。ヨーロッパにはかつて多くあったという家付き橋



写真9 フィレンチェ市の家付き橋 ポンテ・ヴェッキオ。

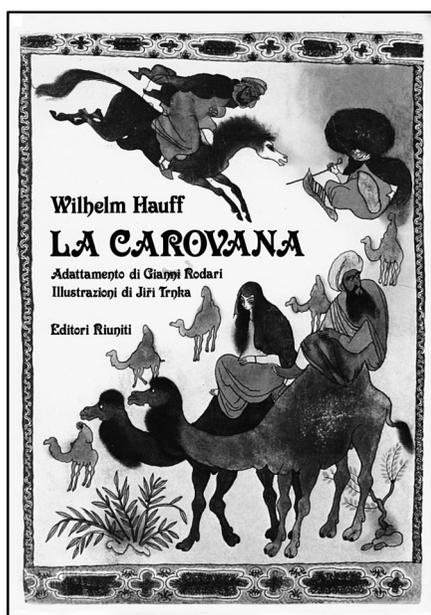


写真10 「隊商」のイタリア語版。

である。当初は肉屋やなめし革職人の店などがあつたそうだが16世紀末(1593年?)に、フェルディナンド1世が、肉屋などを放逐して金銀細工の店に変えてしまったとか。また家の上に重なるように連なるのは、「ヴァザーリの回廊」と呼ぶ廊下で、北側のヴェッキオ宮からウフィツ

イ美術館を経て、南側のピッティ宮殿まで続いている。橋の中央部だけは家並みが途切れてちょっとした広場になっており、川の眺望が楽しめる。

ハウフの話中の人物 ツァロイコスが深夜12時にポンテ・ヴェッキオにでかけたときは“人通りは途絶え、月がこうこうと照らす寒い夜であった”という設定であるが、それとはうらはらのにぎやかな雰囲気のある場所であった。時代、季節、時間帯が違うせいかもしれない。しかし、“ほとんど生地の周辺を離れたことがなかった”というハウフは、フィレンチェを訪れこの橋に立つ機会もないままに、この物語を書いたのではないだろうか? そんな疑問が心をよぎった。ふと思立って近くの書店でハウフの童話のイタリア語訳を探してみた。「隊商」の訳があつたので早速購入した(写真10)。この原稿を執筆する際、久しぶりに開いてみると、第3話“La storia della mano mozzata”のページにはいくつか単語の意味が書き込んであるから、辞書を引きひき読もうとしたらしい。イタリアには、ローマの音響研究所、ローマ大学などの短期訪問など総計6カ月くらはいは滞在したけれども、結局、イタリア語はものにならなかった。

文 献

- 1) 塩谷太郎 訳 ハウフ童話集、彌生書房 1961年。
- 2) Wilhelm Hauff: Märchen, Th. Knaur Nachf. Berlin, 1939年。
- 3) 高橋健二 訳 隊商-キャラバン-, 岩波少年文庫 1977年。
- 4) 種村季弘 訳 魔法物語、河出書房新社、1993年。(中味は隊商である。)
- 5) 乾侑美子 訳 冷たい心臓-ハウフ童話集-, 福音館書店、2001年。(3つの童話集 を訳したもの。ただし、省かれた話が2つある)。
- 6) 池田香代子 訳:メルヒェン集 盗賊の森の一夜、岩波書店、1998年。
- 7) 前川道介 訳 ぶどう酒綺譚 (ハウフ-メーリケドイツ・ロマン派全集 第七巻)国書刊行会、1984年。
- 8) Gianni Rodari 訳 La Carovana, 1960, Editori Riuniti, Rome (“隊商”のイタリア語訳)。

談 話 室

コルポーター

熱 田 善 男*

Colporter

by Yoshio ATSUTA

コルポーターとは

フランス南東部のドゥーザルブ・スキー場に隣接したジャンドリ氷河の下端に博物館がある。そこに展示されている像の一つに、コルポーターの像がある。

コルポーターとは、商品を、首（col：仏語）にかけ運ぶ（porter：仏語）人、という意味で、16世紀から17世紀にかけて、ヨーロッパでは、多くのコルポーターが、いたのです。

そ の 仕 事

多くのコルポーターの活動は中世の後期に始まったようです。その先駆けとなった人びとは、アルプスの三日月地帯、ピレネー山脈、スコットランド高地などの山地に住む人々でした。多くは農業を営み、収穫が終わってから行商人としての生活を始めました。

ジェアン・グラビエというフランス人男性もその一人でした。16世紀、ジェアンと家族はラ・グラブという山岳地帯に住んでいました。農地が肥沃でなかったためですが、ジェアンは谷間の町々に住む人々に、木材、革、羊毛、塩などを、行商しました。

グラビエのようなコルポーターが、それを、町で服飾品、櫛、眼鏡、書籍、薬、煙草、版画などと交換しました。そして今度はそれらの品物を、遠く離れた町に住む人や農家の人に売りました。

コルポーターの中には、1日に20キロの道のりを歩いた人もいました。

しかしグラビエは、他のコルポーターと同じように小間物だけではなく書籍の販売にも携わっていました。

当時のヨーロッパはルネッサンスを経験しており、

1500年～1600年にかけて、1億4,000万冊～2億冊の本が生産されていました。だからグラビエは本の仕入れに困るようなことはありませんでした。

しかし、グラビエのように利潤だけを求めて本を販売した人ばかりではありませんでした。

信仰をひそかに持ち込む人たち

印刷機が出て、コルポーターが運びだすと、人びとは宗教的な書籍、冊子、パンフレットなどむさぼるように読みはじめました。

聖書が最初にラテン語で、その後は一般の言語で印刷されました。ドイツでは何百万冊もの聖書が印刷されましたが、コルポーターはそれを田舎の人びとに素早く流通させました。

しかしこのような活動を皆が好ましく思ったわけではありません。

1525年には、フランス議会は、聖書をフランス語に翻訳することを禁じ、その翌年には自国語の聖書の所有も禁止しました。

それにもかかわらず、何千冊もの聖書が印刷され、その多くは、固い決意を抱いたコルポーターにより、フランス全域に持ち込まれました。

その一人にピエール・シャポという若者がいました。この人は1546年に捕えられ、死刑になりました。

ついに1551年、フランスのカトリックは、コルポーターによる書籍販売を禁止するという強硬策をとりました。「ジュネーブから来る」書籍、つまりプロテスタントからの書籍を「ひそかに」運んでいたからです。

しかし、そんなことでは流れを食い止めることはできませんでした。

聖書をフランスに持ち込むために、ありとあらゆる方法がされました。

*昭和34年卒 水曜会OB, 村上研OB

聖書は小型のものが多かったので、ワインの大だるの上げ底、栗の実のたるの中、さらには船倉などに隠されました。

デニ・ル・ベールという勇敢な人は、たるいっぱい聖書を入れて運んでいたところを捕えられ、処刑されました。

コルポーターに敵意を持つ、当時のあるカトリック教徒は、「コルポーターにより、短期間のうちにフランス中にフランス語の新約聖書が行きわたった」と述べている。

16世紀を通じて、少なからぬコルポーターが、捕えられ牢屋に入れられ、追放され、殉教しました。聖書ともに焚

刑にされたコルポーターもいます。

歴史に名が記されているのは一握りの人だけですが、ここに挙げた多くの勇敢な人のおかげで、プロテスタントの家庭の大半で聖書が入手できたのです。

参 考 文 献

『目ざめよ!』, 2001年12月8日

連絡先: 熱田善男

〒262-0001 千葉市花見川区横戸町 1-71

メール: y.atsuta@water.ocn.ne.jp

研究速報

工学研究科 社会基盤工学専攻

資源工学講座
応用地球物理学分野

応用地球物理学分野は物理探査工学を中心とした地球物理学関係の研究を行っている。特に弾性波や電磁波を用いて、地下構造調査・地球計測や波動伝播メカニズムの解析を行っており、探査対象領域は海洋下の深部構造から陸上の極表層の領域まで多岐に及んでいる。

Coda-Q 値モニタリングによる地殻内応力場の推定

地震活動期に入った日本列島では1995年兵庫県南部地震、2004年新潟県中越地震、2011年東北地方太平洋沖地震など、相次いで甚大な被害をもたらす地震が発生している。こうした状況の中で応力変化を時系列変化で得ることは地震活動を予測する観点から非常に重要である。しかし、地殻内の応力を測定することは様々な制約から困難であることが知られている。

一方で、Aki (2004) は米国サンアンドレアス断層周辺の地震観測から、当該地域の地震発生頻度と定常的に発生する地震波から得られる Qc 値の間に高い相関性があることを報告した。地震の発生は地殻内の応力集中や変化に起因するため、Qc 値が地震発生数と相関性を持つことは Qc 値が地殻内応力変化と連動していたと考えることができる。そこで、「地震活動を引き起こす地殻応力変化と Qc 値変化が定量的な相関関係を持つ」という仮説を立て、検証することにより、稠密地震観測網から得られる地震波データから地域応力場における応力状態変化を推定する新たな間接的測定手法を提案できると考え、研究に取り組んでいる。現在は、数値実験による Qc 値と応力場の関係を示すことを試みており、継続的なモニタリングにより地殻内応力の相対的な大きさや方向の変化を捉えられる可能性が示された。

人工信号源電磁探査法の海底熱水鉱床への適用

近年、海洋における詳細な比抵抗構造を調べるために、人工信号源を用いる CSEM 法が利用されている。また、海底熱水鉱床の電磁探査も行われており、磁場を発信源とする電磁探査がその例として挙げられる。一方、海底熱水鉱床への CSEM 法の適用事例はこれまでほとんど報告されていない。これまで行われてきた海中での CSEM 法では、調査船と深海曳航体を同軸ケーブルで結び、その後方にケーブルを用いて送信電極を曳航する方式が用いられていた。しかしこの方式では海底熱水鉱床周辺に見られる大小の海底地形の起伏のために、海底面からケーブルを離して曳航する必要がある。このため、従来の方式では海底下直下の地下構造の情報を得にくいという問題点があった。そこで本研究では、自律型無人探査船 (AUV) を2台用いた新しい CSEM 法探査を行うことでこの問題を克服することを提案した。この方式によれば、海底地形の起伏に影響されことなく海底面から一定の高度を保つことができるので、有効な電磁探査を行うことができる。

この手法の適用性を評価するため、有限要素法を用いた疑似3次元解析に取り組んでいる。その結果、ノイズによる影響を考慮しても電流源から最大で130~190 m離れた位置でも電磁場を検出可能であることが分かった。また、電磁場の減衰量から海底熱水鉱床のおおよその形状を推定できる可能性、すなわち、埋蔵量を推定できる可能性があることが指摘された。今後は実海域で得られたデータに対して検討を進めていく予定である。

桜島火山のマグマ供給システムと地殻変動に関する研究

これまで火山噴出物の分析や地質構造の解釈から定性的に噴火のメカニズムを解明する研究は多くなされてきたが、定量的にそのメカニズムを評価する研究はあまりされてこなかった。従来の研究例として火道流やマグマ溜まりでの結晶分化作用など、噴火機構の一部についての研究はあるが、火道とマグマ溜まりを一体として噴火メカニズムを考えた研究は少ない。そこで本研究では、地殻変動から噴火直前のマグマがどのような挙動を示すかを解明するため、図1に示すモデルを仮定した数値シミュレーションをおこない、2009年4月9日に桜島火山昭和火口で生じた噴火前36時間の観測データと比較した。

本研究では火道をマグマが一次元気液二相流として流れると仮定し、深いマグマ溜まりへ定常的に供給されるマグマによって生じる過剰圧を引き金としてマグマが上昇するモデルを考えた。このモデルに対するシミュレーションの結果、観測データで見られた二つのマグマ溜まりの体積増減の時間差(図2)について十分に再現することができた。今後は、定量的な噴火メカニズムの解明のため、新たな流動様式などを取り入れた研究を計画している。

教授 三ヶ田 均
准教授 後藤 忠徳
助教 武川 順一

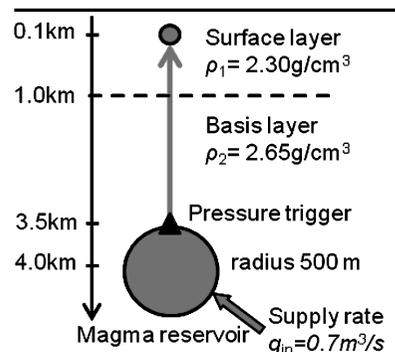


図1 本研究で仮定したマグマ溜まりと火道モデル

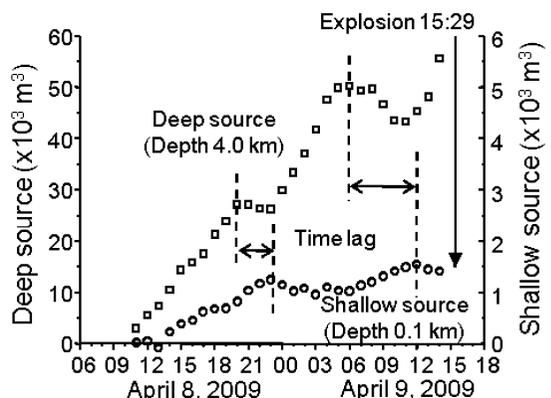


図2 深さ4.0 kmと0.1 kmに存在するマグマ溜まりの噴火前の体積変化量

工学研究科 都市社会工学専攻

ジオマネジメント工学講座 環境資源システム工学分野

CO₂ 地中貯留における貯留量評価手法と石油増進回収法 (EOR) に関する研究

CO₂ 地中貯留は、地球温暖化をもたらす温室効果ガス削減の有効な手段として注目されており、帯水層に圧入された CO₂ 挙動のモニタリングは、重要な課題である。

- ・CO₂ 地中貯留に関する研究として、本研究室では光ファイバーにより岩石試料内の CO₂ 挙動をモニタリングする手法を開発している。CO₂ フロントの到達に伴う岩石試料のひずみを光ファイバーで測定することにより、岩石中の CO₂ の流れを捉えることに成功した。
- ・地熱地帯への CO₂ 地中貯留では、岩石から溶脱した Ca と CO₂ 溶解水との反応速度が促進し、炭酸塩鉱物として沈殿する。この鉱物固定化現象を検証するために、地層を模擬したカラム内に炭酸カルシウム飽和水を通水した結果、透水性が減少した。さらに流量変化から沈殿速度を推定した。
- ・EOR において重要な油-水-鉱物 3 相界面の濡れ性を評価するため、接触角測定実験と界面張力測定実験を行っている。基礎的な炭化水素としてアルカン試料のヘプタン、芳香族試料のトルエンと原油の接触角を比較したところ、原油とトルエンの接触角の整合性が高いことがわかった。

地震波探査手法の開発に関する研究

- ・CRS (共通反射面) 重合法によって効率的に高解像地下構造イメージングを行うために、焼き鈍し法による最適化を検証した。瀬戸内海近傍で取得された低重合数 MCS データに適用した結果、従来の手法よりも中央構造線による反射境界構造を高解像度にイメージングすることができた。
- ・中央構造線付近の陸上において、P 波反射法地震探査のデータに表面波解析を適用することで、反射断面図に整合的な S 波速度構造を推定することができた。この結果から、P 波反射法のデータがあれば、表面波解析により S 波に関する情報も抽出可能であるといえる。
- ・一次元地震波干渉法を日本全土に分布している地震計に適用することにより、日本中の浅部弾性波速度を解析することができた。この解析を応用することで、2011 年東北地方太平洋沖地震によって、東日本の大部分において浅層部の弾性力が弱くなっている事を明らかにした。
- ・南海トラフ付加体における 3 次元反射法地震探査のデータを使い、分岐断層の構造解釈を行った。さらに、AI インバージョンを行うことで断層周辺の物理特性を抽出した。その結果、断層周辺での 3 次元的な「構造」と「物性」と「断層の活動性」に相関があることが判明した。

干渉 SAR による地表変動解析

干渉 SAR 解析とは、合成開口レーダによって取得された 2 回の観測記録の位相差から、観測間に生じた地表変動を広域かつ高密度に推定する手法である。当研究室では防災・資源探査を対象とし、手法開発・地表変動現象の解明を行っている。

- ・2011 年東北地方太平洋沖地震では地盤液状化が甚大な被害をもたらした。当研究室では、干渉 SAR 解析により、液状化地域の把握と液状化に伴う地盤沈下量の推

定を行った。この結果は現地調査の結果と整合的であり、本研究により未発見の液状化地域や地表変動の分布が明らかとなった。

- ・インドネシアの都市であるバンドンやスマランでは地下水の過度な汲み上げによる地盤沈下が発生している。干渉 SAR 解析を適用した結果、広域の沈下量が明らかになった。
- ・重質油の開発手法である SAGD 法は蒸気を圧入するため、地表面の隆起が起こる。干渉 SAR 解析により地表隆起量を推定し、逆解析を行うことで、地下の貯留層開口量及び体積変化量を推定することに成功した。

アナログモデル実験を用いた地質モデル構築に関する研究

地質構造の変形過程を観察することは、空間スケール・時間スケールの観点から困難である。そこで当研究室では、アナログモデル実験を行うことで構造変形を実験室スケールにて再現し、そのメカニクスの解明に挑戦する。

- ・陸上スラスト帯では、降雨や生物活動による浸食作用が隆起部を削り取ることで上載荷重圧が減少する。モデル実験においても浸食作用を施すことで、上載荷重圧の減少が構造変形に及ぼす影響を解明した。
- ・モデル実験を断続的にデジタルカメラで撮影し、デジタル画像相関法を適用することで、2 時刻間の変位量やひずみ量およびそれらの時系列変化を取得し、断層活動を可視化した。また 3 次元非接触デジタル計測でモデル表面の 3 次元形状を計測することで、断層活動が地表面形状およびその変形に与える影響を評価した。
- ・モデル実験をもとに個別要素法を用いたシミュレーションを行うことで、計測困難な応力情報を抽出し議論することも行っている。

格子ボルツマン法を用いた流体シミュレーションの資源開発分野への適用

本研究室では、岩石孔隙内の流体挙動特性の把握をテーマに、格子ボルツマン法 (LBM) を用いた流体シミュレーション解析を行なっている。岩石モデルに LBM と有限要素法 (FEM) を適用し、間隙中の流体挙動と弾性波速度を中心とした弾性特性の間の関係解明を目指している。

分子動力学法を用いた研究

分子動力学法 (MD 法) は、原子間ポテンシャルをもとにニュートンの運動方程式を解くことで、時々刻々すべての原子の挙動を追跡し、その軌跡から系の性質の把握や物性値の算出を行う分子シミュレーションの一手法である。当研究室では、

- ・油-水界面での芳香族炭化水素の集積と界面張力への影響
- ・CO₂-水-シリカ界面での濡れ性と接触角の算出
- ・ガスハイドロレートの生成・分解挙動計算
- ・アスファルテン分子が及ぼす油・水界面での物性値への影響
- ・塩化物の溶解度計算

といった現象に分子動力学法を適用し、ナノスケールでの解析から資源開発分野への寄与を目指している。

教授 松岡 俊文
准教授 山田 泰広
助教 辻 健

工学研究科 社会基盤工学専攻

資源工学講座 地殻開発工学分野

① 超臨界二酸化炭素を用いた岩石の水圧 破砕に関する研究

地球温暖化対策の観点から二酸化炭素の地中貯留技術が注目されている。貯留が期待されている地下深部のサイトにおいては、その温度圧力条件から二酸化炭素は超臨界状態になると考えられている。超臨界状態の流体は、液体に近い密度と気体に近い流動性を有する特殊な状態であり、その挙動については未だ解明されていない点が多い。特に、二酸化炭素地中貯留における超臨界流体の岩盤への圧入に関する研究はあまり行われていない。そこで本研究では、岩石試料として花崗岩を用い、超臨界流体の圧入を模擬する基礎的な実験として、破砕流体に超臨界状態および液体状態の二酸化炭素を用いて三軸応力下における岩石の水圧破砕実験を行い、破砕圧力の比較を行った。また、Acoustic Emission (以下 AE) の震源決定や破砕時に形成されたき裂の観察を行い、き裂の性状についても比較検討を行った。

その結果、超臨界二酸化炭素による破砕試験の方が、液体二酸化炭素による破砕試験に比べて破砕圧力が低いという結果が得られた。き裂の進展傾向については、AEの時空間分布のデータと蛍光法によるき裂の顕微鏡観察結果から、液体二酸化炭素の場合はき裂が平面的に分布するのに対し、超臨界二酸化炭素の場合は平面から逸脱して細かく分岐し、より立体的に分布する傾向が見られた。本研究で得られた成果は、二酸化炭素地中貯留に際しての地層破砕圧の評価や貯留範囲の評価方法に貢献するものであると考えられる。

② 石灰石鉱山における発破低周波音の 低減に関する研究

近隣に民家がある石灰石鉱山では、切羽のレベルダウンに伴い、発破低周波音による振動問題が顕在化してきている。この問題を解決するには発破規模を小さくすればよいが、発破効率が低下し鉱山開発の経済性が悪化するため、発破規模を小さくせずに発破低周波音を低減する方法が求められている。そこで本研究では、建物・建具のガタつきを発生させている低周波音の周波数を特定するため、近隣民家の木枠ガラス戸のガラスとアルミサッシのガラスそれぞれの振動計測を実施した。また、発破位置から約 200 m 離れた切羽において単発発破および 2 段発破の発破低周波音の計測を行い、発破音源波形の決定を行った。

その結果、木枠戸のガラス、アルミサッシのガラスの共振周波数は、それぞれ 8.5 Hz, 6.3 Hz であることがわかっ

た。また、同時に民家で計測した発破低周波音の卓越周波数成分は 1.0 Hz 付近にあり、この周波数成分が建物や建具を動かす原因となっていることがわかった。したがって、発破低周波音による建物・建具のガタつきを低減させるには、1.0 Hz 付近の低周波成分と建物や建具の共振周波数付近の周波数成分を可能な限り低減させることがその基本となることがわかった。次に、切羽における単発発破の発破低周波音計測により単発発破の低周波音源波形を得ることができた。そこで、この低周波音源波形を実際の発破と同じ秒時差をつけて重ね合わせることで 2 孔発破の低周波音波形の合成を試みたところ、計測波形の 2 孔目の発破によるピーク振幅とピーク位置は合成波形のそれらに対して、それぞれ約 0.8 倍となること及び前後に数 ms ずれることがわかった。

③ 岩石のき裂進展と長期強度に及ぼす 周辺環境の影響に関する研究

近年、地下発電所や原油地下備蓄空洞、放射性廃棄物の地層処分施設など、地下地盤の利用が進められている。これらの構造物は、長期的な安定性が求められるため、その設計において、長期強度の評価が重要となる。長期強度を評価するためには、岩石の変形・破壊挙動の時間依存性について多くの情報が必要である。き裂進展の時間依存性の代表的なものとして、サブクリティカルき裂進展が挙げられる。これは、応力拡大係数が破壊靱性に達していない状態でき裂が緩やかに進展する現象である。既往の研究より、サブクリティカルき裂進展は、応力のみならず、周辺環境にも影響を受けることが定性的に知られていた。そのため、岩石がさらされる環境を考慮して、サブクリティカルき裂進展に及ぼす影響因子を明確にする必要がある。そこで本研究では、大気および水中環境下において、破壊力学試験法の一つであるダブルトーション試験法を用い、火成岩や砂岩などの岩石におけるサブクリティカルき裂進展を計測し、岩石破壊の時間依存性に及ぼす周辺環境の影響を調べた。また、試験結果に基づいて、岩石の長期強度を評価した。

その結果、岩石のサブクリティカルき裂進展は水の存在に影響を受け、大気中よりも水中においてき裂進展速度が高くなることが示された。また、大気中において、相対湿度の高い環境下では、き裂進展速度がより高くなることが示された。さらに、水中での長期強度は大気中よりも小さくなることが示され、大気中では湿度の高い環境下において長期強度が低くなることが示された。ゆえに、周辺環境、特に水の流入や湿度を制御することで、岩石の長期的な安定性が保たれるといえる。

教授 石田 毅
准教授 村田 澄彦
助教 奈良 禎太

工学研究科 都市環境工学専攻

**資源工学講座
計測評価工学分野****円筒形トンネルの3次元地震時応答の簡便な評価方法に関する研究**

山岳トンネルは一般に地表面構造物と比較して耐震性に優れているが、大規模な地震では、山岳トンネルといえども大きな被害を受けることがある。しかし、その耐震性については十分な検討がなされておらず、また地震被害メカニズムに関しても十分に理解されているとはいえない。円筒形地中構造物の地震時応答を理解するための基礎的な研究として、前年度は、3次元弾性波動論にもとづき理論的な考察を行った。しかしながら、得られた解が複雑な形であったため、その結果の考察と実際問題への利用に難があった。そこで、今年度は、静弾性論、shell理論、弾性床上の梁モデルを組み合わせることで、円筒形トンネルの3次元地震時応答を簡便な式で評価し考察を行った。その結果、トンネル横断方向の挙動は地盤と覆工の相対的な剛性で決まるが、トンネル縦断方向の挙動は地盤と覆工の相対的な剛性だけでなく、トンネル径に対する地震波の波長にも強く依存することが明らかとなった。

トンネルの背面空洞が覆工耐力に与える影響の評価

山岳トンネルの覆工と地山の間には、特に NATM 導入前の在来工法で建設されたトンネルにおいて、天端アーチ部に空洞が残っていることが多い。覆工背面に空洞があるとその部分で地盤反力が受けられないため、アーチ構造の利点が失われ、地圧の作用に対して覆工の構造耐力は極端に低下する。背面空洞のあるトンネルの補強方法としては、空洞をモルタルなどで充填する裏込注入工があるが、背面空洞のあるトンネルは非常に多く、優先順位の高いものから順番に施工する必要がある。そこで、本年度は空洞範囲や空洞高さ、覆工巻厚をパラメータとして、裏込注入工の優先順位の高い条件を数値解析によって検討し、それぞれの条件の覆工耐力を定量的に示した。また、裏込注入工を実施することにより、地震時荷重に対してどの程度覆工耐力が改善するのかについても数値解析により検討した。さらに、注入材に要求される弾性係数についても検討し、裏込注入材の弾性係数が地山の弾性係数の4分の1よりも小さくなると裏込注入の効果が顕著に低下することを明らかにした。

誘電率分布可視化のためのキャパシタンス CT システムの開発

メタンハイドレートの開発や放射性廃棄物の地層処分、汚染土壌の浄化など、近年の資源・エネルギー分野の研究課題の多くが、地下内部における流体の流動挙動の解明に関係している。本研究室では、砂質あるいは岩石コア中の水やガスの流動をリアルタイムで可視化することを目的としたキャパシタンス CT システムの開発を進めている。円筒断面内の誘電率分布を可視化する技術としてのキャパシタンス CT は、化学プラントなどにおけるパイプ内の気液混相流の可視化を目的として、90年代初めにその可能性が示されたものである。X線 CT よりもデータ取得時間が短く、リアルタイム性に優れており、また、岩石・水・ガスの三相を対象としたとき、比抵抗 CT よりも逆問題としての非線形性が穏やかであって、逆解析においてアーチファクトが生じにくいなどの特長から、その実用化が期待されるものである。本年度は、円筒形のキャパシタンス CT システムについて、その電極配置等の最適化について検討するとともに、軸方向多断面での準リアルタイム可視化について調査し、その可能性を実証した。

吊橋ハンガーローブ末端部検査のための磁歪型超音波法に関する検討

当研究室では、本四架橋などの大型吊橋のハンガーローブに対して、その腐食劣化を非破壊的に評価できる検査法の開発に取り組んでいる。これまでに、ハンガーローブの通常部分については、全磁束法と名付けている磁気検査手法を開発し、実用的かつ定量的な検査法との認知をうけて、実検査に利用されている。残っている課題として、端末固定部など磁気検査の困難な箇所劣化評価法の確立を目的として、現在、非接触の超音波法について、その実用化に取り組んでいる。この方法は、磁歪効果を利用してワイヤローブ内に波動を非接触で発生・検出する方法で、端末部ではその反射波の性状変化にもとづいて、劣化程度を評価しようというものである。これまでの研究から、方法としての可能性は確認できているので、今年度からは、実際の吊橋での適用試験を開始して、端末の腐食劣化を定量的に評価するための計測結果の処理方法の確立や、検査法としてどれほどの精度を保証できるかなど、実用化に向けた検討を行っている。

教授 朝倉 俊弘
准教授 塚田 和彦
助教 嶋本 敬介

工学研究科 都市環境工学専攻

地殻環境工学講座

地球統計手法を用いたトンネル切羽前方
地質の統合的予測システムの構築

トンネル掘削においては、設計・施工の安全性や効率性、あるいは経済性の観点から、切羽前方の地質性状の予測を行い、掘削計画や事前設計を合理的に適宜更新する、いわゆる情報化設計施工が重要である。しかしながら、情報化設計施工を行う上で必要となる切羽前方地質予測手法に関しては、結果の評価に高度な専門性が必要となるなど客観的に評価できる手法が少ないのが現状である。また、予測に求められる要件はトンネル掘削の進行段階によって異なるが、現状では各段階での手法が別々に論じられておりトンネル掘削プロジェクトの一連の流れをフォローしているとは言えない。そこで本研究においては、地質性状のような空間的相関性をもつ対象を予測するのに適している地球統計手法を用い、より合理的な情報化設計施工を可能とする統合的な切羽前方予測システムの構築を試みた。その結果、トンネル掘削プロジェクト各段階における目的に応じた切羽前方地質予測サブシステム（長区間・中間・短区間予測サブシステム）を構築すると共に、それらを統合した切羽前方地質の統合的予測システムを提案した。

グラウチングによる節理のせん断強度の改良メ
カニズムの解明磁歪型超音波法に関する検討

本研究では、グラウチングによる節理のせん断強度の改良メカニズムを明らかにすることを目的とし、数値解析を用いて実際に観測された節理のせん断破壊挙動を表現できる解析モデルを構築し、それを用いた一面せん断シミュレーションを通して節理特性の違いが節理のせん断強度に影響を及ぼすメカニズムを考察した。まず、節理を有する供試体の挙動を粒状体個別要素法によってモデル化した。節理面については、個別要素法の接触モデルの一部をスムーズジョイント接触モデルに置きかえることでモデル化を行った。次に、一軸圧縮シミュレーションと一面せん断シミュレーションを用いて、力学的粒子パラメータと節理パラメータを導出した。その際、一面せん断シミュレーションにおける破壊時の力学挙動が実際のせん断破壊時の力学挙動の特徴と一致することを確認した。そして、スムーズジョイント接触モデルを組み込んだ粒状体個別要素法に、導出した力学的粒子パラメータおよび節理パラメータを設定することで、節理のせん断破

壊挙動時の力学挙動を表現できる解析モデルを構築した。その結果、グラウチング後の節理のせん断破壊がグラウト内部ではなく、グラウトと節理面との付着面において生じることが分かり、それを基に、各節理特性（ラフネス、挟在物、壁面強度）がせん断強度の改良効果に影響を及ぼすメカニズムを明らかにすることができた。

岩盤のグラウト充填過程の定量的評価に
基づく岩盤透水性の改良予測

本研究では、必要十分なグラウチング施工による合理的な地下水制御を行うために、グラウチング施工による遮水効果を考慮した岩盤透水性の改良予測手法を提案し、その予測手法の妥当性の検証を行った。まず平行平板状放射流モデルが適用可能な岩盤に対して、現場で得られる亀裂性状とグラウト注入パラメータから、対象岩盤の亀裂内でのグラウト充填過程を評価するモデルを構築した。次に、現場試験でのグラウト注入方法を考慮してグラウト充填過程を解析し、原位置岩盤での注入実績と比較することで構築したモデルの適用性を検証した。次に、構築したグラウト充填過程モデルに基づいてグラウチング施工後における岩盤透水性の改良状況を予測する手法を考案し、原位置岩盤に適用することでその妥当性を検証した。

打撃削孔時における岩盤破壊挙動の解明

トンネルの情報化設計施工における切羽前方地質の主要な評価技術として、削孔検層を挙げることができる。この方法は、パーカッションドリリング（打撃削孔）による岩盤の削孔速度を基に岩盤評価を行うものであり、広範囲にわたる地質状況を迅速かつ定量的に評価することが可能である。しかしながら、削孔機の仕様が現場ごとに異なることや、岩盤の打撃破壊のメカニズムが不明確であることなどの理由から、得られる測定値の一般的な評価方法が確立されておらず、現場ごとの相対的な岩盤評価技術にとどまっているのが現状である。そこで本研究では、微小時間間隔で破壊を含む力学的挙動を合理的に再現することができる個別要素法を用いて岩盤の打撃削孔のシミュレーションを行うことで、打撃削孔時の岩盤破壊挙動に関する基礎的検討を行った。その結果、ピストンの運動エネルギーの対数値で削孔速度を正規化した値を用いることによって、岩盤の一軸圧縮強度を評価できる可能性が示された。

教授 小池 克明
准教授 水戸 義忠

エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

**資源エネルギー学講座
資源エネルギーシステム学分野****冷間プレス成形性に優れたマグネシウム
合金の開発**

マグネシウム (Mg) は実用金属中で最も密度が小さく、近年注目を集めている軽量材料の一つである。しかし、Mg は最密六方格子構造であり、底面すべりと非底面すべりの臨界分解せん断応力の差が大きいため、圧延すると強い底面集合組織が形成され塑性加工が困難となる。そこで本研究では、塑性加工性向上を目的に、Mg-Zn 合金及び微量 (0.1 wt%) の Ca を添加した Mg-Zn-Ca 合金の圧延材を作製し、室温引張試験及び室温エリクセン試験を行い、塑性加工性に及ぼす Ca 添加の影響を調べた。

室温引張り試験の結果、Mg-Zn-Ca 合金圧延材の強度は Mg-Zn 合金圧延材より低くなり、Ca を添加することにより固溶軟化が生じることがわかった。また、Mg-Zn-Ca 合金圧延材は約 9 という高いエリクセン値を示した。この値は Mg-Zn 合金圧延材のエリクセン値の約 3 倍であり、市販 Al 合金のそれと同等の値である。このように、Ca 添加によって Mg の室温成形性は著しく向上した。底面集合組織を調べたところ Ca を添加することにより集合組織のランダム化が見られ、Ca を添加することにより非底面すべりが活性化されることが示唆された。

金属材料における粒界塑性の原子シミュレーション

結晶粒径 100 nm 以下のナノ結晶金属は、高強度かつ高延性を示すことから注目を集めている。ナノ結晶金属の主となる変形様式は粒界からの転位放出であり、すでに過去の研究から単相ナノ金属の転位放出について多くのことが解明されている。最近、複相ナノ結晶合金が特異な力学特性を示すことが報告された。しかし、複相ナノ結晶合金の変形機構に関する研究は極めて少ない。そこで、本研究では複相ナノ結晶合金の変形機構の解明を目的に、2 相粒界からの転位放出の分子動力学シミュレーションを行った。

転位放出する粒界のシミュレーションモデルとして、Cu/Cu 単相粒界と Co/Cu 2 相粒界を作製した。緩和後粒界と垂直な方向に引張応力を負荷し、転位放出の初期段階の原子の動きを詳細に調べた。その結果、Cu/Cu 粒界では E Structure と積層欠陥の両方から転位放出が起こる一方で、Co/Cu 粒界では積層欠陥からのみ転位を放出し、加えて Cu 原子のみがシャッフリングすることによる Cu 相側からの転位放出が優先的に起こることがわかった。これは、Co/Cu 粒界の整合性が低いほど顕著であり、内部エネルギーの低い Cu 側に大きな空隙構造が生じること起因すると考えられる。

**脱合金化によるナノポーラス Ni の
作製とその磁気特性**

ナノ材料は電気および光学、磁気、化学的特性などバルク材料とは異なった特性を示すため、盛んに研究されている。なかでも近年、ナノポーラス (多孔質) 金属は新しいナノ材料として注目を浴びている。本研究では、新規磁性材料として有望なナノポーラスニッケル (Ni) を作製し、その磁気特性について調査した。

アーク溶解と均質化熱処理により $\text{Ni}_{0.25}\text{Mn}_{0.75}$ 母合金を用意した。ポテンショスタットと三極式電解セルを用い、作用電極を母合金として 1 mol/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 溶液中において -650 mV (対飽和カロメル電極) の定電位電解を行うことで、母合金から Mn のみを選択的に溶解させ、ナノポーラス Ni を作製した。そして、熱処理による構造と磁気特性の変化を調べるために、200, 300, 400°C での熱処理に供した。

電子顕微鏡観察や X 線回折分析等により、試料は Mn が選択的に溶解されたナノポーラス Ni (未熱処理試料に関してはリガメント径 10 nm) であることが確認され、また熱処理の温度が高いほど孔径が粗大化することがわかった。磁化曲線測定では、孔径あるいはリガメント径が微細なほど保磁力および飽和磁化が低くなった。組織微細化による交換結合作用の変化や、表面格子のひずみによるスピン配列の乱れと弱磁性体部との相互作用が原因であると考えられる。

**温度変化により形成される花崗岩中の
マイクロクラックの進展パターン解析**

地下深部の岩石物性調査は従来から行われているが、近年放射性廃棄物地層処分の必要性が高まる中、処分地の選定を的確に行い長期管理の安全性を保証するため、さらに詳細な検討が必要となっている。とくに、岩石中の空隙やクラックの構造についての知見は十分ではない。本研究では、地下深部を想定し、高温条件下での岩石物性とクラックの関係を調査した。具体的には、数種の花崗岩試料に対し温度履歴試験 (最高到達温度 100~600°C) を行い、それぞれの試料について P 波伝搬速度の変化と蛍光法によるクラック観察から、空隙構造の変化を比較した。その結果、すべての花崗岩について、試験での到達温度が高いほど P 波伝搬速度は小さくなり、かつ粒界クラック、石英内クラック及び長石内クラックが増加することがわかった。P 波伝搬速度の低下は、温度履歴による粒界・石英内クラックの進展及び劈開割れの増加による長石粒子の弾性係数の低下によって伝搬が阻害されたためと考えられ、P 波伝搬速度から、岩石内部のクラック進展状況や地下環境を推測できる可能性が示唆された。

教授 馬 潤 守
准教授 浜 孝之
助教 陳 友晴

エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

資源エネルギー学講座
資源エネルギープロセス学分野

高温固体面に衝突する単一/複数液滴の
変形挙動および沸騰現象

固体面と液滴との衝突は、インクジェットプリンタやスプレー冷却などのアプリケーションで広く利用されているため、これまで数多くの研究例がある。しかし、そのほとんどは単一液滴衝突を扱ったものであり、複数の液滴が合体・干渉するような現象を研究した事例は非常に少ない。本研究では、高温固体面に連続衝突する水液滴の変形挙動を Two-directional flash photography 法を用いて写真観察し、単一液滴衝突と連続 2 液滴衝突の挙動の差異を詳細に研究した。固体面にインコネル合金を採用し、その表面温度を 170℃ から 500℃ の間に設定して実験を行なった。表面温度が比較的低い場合は、液滴の連続衝突により固液界面近傍の温度が単一衝突の場合よりも下がることが示唆された。また、表面温度が 500℃ で、かつ液滴の慣性力と表面張力で定義されるウェーバー数が 50 以下の場合、液滴は固体面上で薄い円盤状に拡大後、収縮し、反発する。その際の最大広がりが直径について、単一液滴衝突と連続 2 液滴衝突のいずれの場合にも適用可能な予測式を提案した。

(荻原 知洋, 現: トヨタ自動車株)

Mg 合金板における繰り返し負荷時の加工硬化挙動

マグネシウム (Mg) 合金は実用金属中で最も密度が小さく、また比強度、比剛性が高いため、軽量化材料として大きな注目を集めている。Mg 合金は最密六方構造を有していることから、立方構造を有するこれまでの構造用金属とは変形特性が大きく異なる。その特徴的な変形挙動の 1 つとして、引張変形時と圧縮変形時における加工硬化挙動の非対称性が挙げられる。Mg 合金の構造部材への利用促進には、このような特徴的な変形特性の解明が不可欠である。そこで本研究では、Mg 合金圧延板 (AZ31B) を用いて面内の繰り返し引張-圧縮試験を行い、その際の加工硬化挙動について詳細に検討した。その結果、繰り返し数が増すのに伴い圧縮変形時には加工硬化率が徐々に上昇したのに対して、引張変形時には逆に加工硬化率が徐々に低下した。結晶組織観察により変形中の変形双晶の活動推移を調査した結果、圧縮変形時の加工硬化率上昇は繰り返し数が増すにつれて変形双晶の活動が弱まるために、一方引張変形時の加工硬化率低下は繰り返し数が増すにつれて変形双晶の回復量が大きくなるために発現したことが示唆された。

(仮屋崎 祐太, 現: JFE スチール株)

対向液圧角筒絞り成形における圧力媒体の
潤滑効果の実験的評価

対向液圧成形は板材のプレス加工時に液圧を援用する成形法であり、通常のプレス加工に比べて成形性が向上することから幅広い分野での適用が進められている。対向液圧成形において成形性が向上する要因の一つとして、成形中に圧力媒体が金型間から流出することで潤滑状態が向上する現象が挙げられる。しかしながら、その流出量と潤滑効果の相関については詳細が明らかにされていないため、加工条件の最適化が困難となっている。そこで本研究では、対向液圧角筒絞り成形において圧力媒体の流出量を変化させた時の成形性の違いについて検討した。実験では、圧力媒体を用いない場合 (通常のプレス加工)、圧力媒体の流出が少ない場合 (創成液圧法)、圧力媒体の流出が多い場合 (強制加圧法) の 3 通りで実験を行った。その結果、通常のプレス加工に比べて創成液圧法および強制加圧法では成形性が大幅に向上した一方で、創成液圧法と強制加圧法では成形性にほとんど差は見られなかった。この結果より、少量でも圧力媒体の流出があれば、十分な潤滑効果が得られることが示唆された。

(北島 達, 現: 関西電力株)

移動平板上の水膜流に衝突する棒状水噴
流の流動特性

鉄鋼業の熱間圧延後の冷却工程では、多数の衝突水噴流で熱延鋼板表面を強冷却している。金属組織制御の観点から、精密な鋼板の温度コントロールが求められているものの、冷却機構の詳細は充分解明されていないのが現状である。この主たる理由は、移動鋼板上に滞留する板上水が、水噴流と鋼板の直接接触を阻害し、複雑な流動を呈するためである。本研究では、非加熱ではあるが移動金属板上の板上水と単一衝突水噴流の干渉流れを模擬する実験室レベルの装置を作成し、様々な条件下で観察実験を行なった。その結果、水噴流の衝突点近傍の流れは、定常で安定な薄い水膜が形成される流れ、非定常性が強く自由表面形状が非常に不安定な流れ、およびそれら 2 つの中間の性質を示す流れの 3 種類に分類できることが明らかになった。また、定常かつ安定な流れを呈するための条件式を、ポテンシャル流理論により提案した。さらに、詳細な流れ構造を有限差分法に基づく数値解析によって解明した。

(鈴木 悠平, 現: 住友金属工業株)

教授 宅田 裕彦

准教授 藤本 仁

助教 袴田 昌高

エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

資源エネルギー学講座
ミネラルプロセス分野希薄 H_2S が CH_4 ハイドレート生成に与える影響

近年、エネルギーの貯蔵・輸送の観点から注目を浴びているガスハイドレートであるが、ハイドレート化には冷却・圧縮という操作が必要であり、投入エネルギーやコストを下げるのが今後の課題の一つとなっている。本研究では、希薄な H_2S 濃度で混合したとき、 H_2S が CH_4 ハイドレート生成に与える影響を解析・検討した。

実験によって得られた平衡曲線をギブスエネルギー最小の条件を用いた相平衡計算プログラム CSMGem で得た H_2S の平衡条件と比較すると、 H_2S 濃度が 10% を下回ったあたりからこれとは違う値をとり始めていたことから、 H_2S 単体のハイドレートではなく CH_4H_2S 混合ハイドレートが生成していることが推測された。さらに膜成長速度を見てみると H_2S 濃度が 15% あたりまでは H_2S 単体とほぼ同じ値を示しているが、そこから濃度が小さくなると成長速度が増加し始めた。このことから、 H_2S 単体のハイドレートではなく混合ハイドレートが生成し始めていることが考えられた。また、この混合ハイドレートは平衡曲線が高温低圧側へシフトしていた。以上のことから CH_4 に微量の H_2S を混合することでできる混合ハイドレートは CH_4 単体のハイドレートよりも平衡条件が緩和されることが明らかになった。

下水汚泥のメタン発酵

下水汚泥は、人間の日々の生活の中から大量に発生するものであり、水質保全の観点から適切に処理を行う必要がある。一方で、下水汚泥に含まれる有機物はメタンガスなどの形でエネルギーとして利用でき、下水処理工程中でメタン発酵を行っている場合もある。しかしながら、発酵効率が十分ではないことや長い発酵時間を必要とするなど、種々の問題が指摘されている。そこで本研究では、下水汚泥のメタン発酵の高効率化に向けて、熱およびアルカリによる前処理の影響を検討した。

その結果、余剰汚泥に関しては、熱処理したものの発生量が多く、また発生速度が大きくなっていった。熱を加え、有機物中の水素結合を解離することにより微細化・可溶化され、効果的に発酵が行われたと考えられる。また、消化汚泥に関しては熱アルカリ処理したものの発生量が多く、発生速度も大きく、かつ、発酵時間が短くなった。有機物の中には、熱とアルカリ両方の条件が必要な分解反応も存在し、前処理によって、そのような有機物の微細化・可溶化が進んだため促進されたと推測される。

中温メタン発酵における KCl 及び $CaCl_2$ の影響

バイオマスエネルギーの 1 つであるメタン発酵は、食

品廃棄物などを利用しメタンを取り出す技術である。しかし食品廃棄物は栄養塩類の濃度が安定しておらず、その濃度による発酵の促進または阻害も考えられる。本研究では、他の無機塩類が及ぼす影響についても評価するため、Na に次いで食品廃棄物中に多く含まれる K 及び Ca を想定した中温メタン発酵実験を行った。

実験の結果、低濃度で添加した場合は、未投入と比べ KCl ならびに $CaCl_2$ いずれの場合も積算メタンガス発生量と積算 CO_2 ガス発生量に顕著な変化は見られなかった。このことから、食品廃棄物に含まれる K^+ 及び Ca^{2+} がメタン発酵に及ぼす影響は小さいと言える。次に、高濃度で KCl を添加した場合は、未投入と比べ積算メタンガス発生量で 17%、積算 CO_2 ガス発生量で 4.7% の減少が見られた。これは高濃度の KCl 添加がメタン菌の細胞内外における K^+ 濃度勾配に異常をきたした可能性が考えられる。最後に、高濃度で $CaCl_2$ を添加した場合は、積算メタンガス発生量に変化は見られなかったが、積算 CO_2 ガス発生量で 14% の増加が見られた。さらに pH とアルカリ度は未投入に比べ低下し、メタンガスは発酵後半まで比較的多く発生していた。これらの結果から、メタン発酵の中でも酸生成段階が卓越したと推測され、高濃度の $CaCl_2$ 添加によって有機物の分解が促進されたと考えられた。

浮遊選別法による微粒石灰石の高白色度化

石灰石はセメント材料のほか、微粉末として紙や樹脂などの充填剤としての利用も多い。しかし、我が国の石灰石は灰色を呈する産物が多く、充填剤として利用するためには有色不純物を除去しなければそのまま使用できない。そこで本研究では、微粒子の選別法である浮遊選別法（以下、浮選）により石灰石の高白色度化を試みた。

石灰石の塩酸不溶解残渣の分析により、石灰石中の有色不純物として炭素、ケイ酸塩、酸化物、硫化物が含まれていることが推定された。特にケイ酸塩の除去が効果的であると考えられたので、ケイ酸塩の代表的な捕収剤であるドデシルアミン酢酸塩 (DAA) を用いて浮選を行った。その結果、pH が高くなるにつれ浮上産物の歩留が増加することから、pH が高くなるにつれ DAA の起泡性が増して多くの $CaCO_3$ 粒子が泡沫層に迷い込んで浮上したためであることを考察した。さらに、pH が 9 で浮上産物の白色度が低く、残留産物の白色度が高くなることから、最適 pH は 9 付近であることが確かめられた。この pH 域でケイ酸塩粒子の表面電位が増大し、ドデシルアンモニウムイオン (DA^+) の吸着性が良くなっているためと考えられ、一方、この pH 域を超えると、 DA^+ は加水分解反応により中性分子となるので、捕収剤が吸着できずにケイ酸塩の浮遊率が低下するためと考えられた。

准教授 楠田 啓
助教 日下 英史

工学研究科 材料工学専攻

材料設計工学講座 材料設計工学分野

超短パルスコヒーレント回折による イメージング技術の基礎研究

新世代の X 線源である XFEL が SPring-8 に隣接して建設され、2011年度中の X 線レーザー発振を目指し調整が行われている。XFEL には大強度・超短パルス・完全空間コヒーレンスという特徴があり、コヒーレントイメージングと組み合わせることにより、将来的にナノスケールでの超短時間の反応の可視化が期待されている。本研究では、XFEL を用いて超短時間での現象を可視化するための基礎的知見を得るため、日本の XFEL のプロトタイプである SCSS 試験加速器を用いてコヒーレントイメージングを行った。透過配置のホログラフィーでは、HERALDO 法という手法を用いて、EUV-FEL の 1 パルスを照射し得られたホログラムから試料像を復元することに成功し、また反射配置のホログラフィーでは、in-line ホログラフィーという手法で試料像を復元することに成功した。

銅ナノ粒子を用いた赤色釉薬の研究

釉薬とは、陶磁器を保護し様々な色合いや模様を持たせるために、陶磁器表面に融着させるガラスのことを指す。釉薬の中には、ガラス中に微細な銅粒子が分散し、赤色に発色する辰砂釉と呼ばれる釉薬がある。本研究では、液相還元法による銅ナノ粒子の作製を行い、作製した銅ナノ粒子の耐酸化性の向上を目的として、ゾルゲル法を用いたシリカ被覆あるいは無電解めっき法を用いたスズ被覆によって安定化を試みた。さらに、安定化した銅ナノ粒子を用いて実際に釉薬を作製し、発色を確認した。シリカ被覆による安定化銅ナノ粒子を用いて作製した釉薬では、添加剤としてケイ素を加えた場合、辰砂釉に近い赤色発色を確認することができた。また、ケイ素添加により赤色発色した釉薬について、発色機構の考察を行った。

マグネシウム合金におけるプラズマ陽極酸化皮膜の形成機構

現在、マグネシウム合金は軽量な構造用金属材料として期待されている。しかし、マグネシウム合金は耐食性が低く、表面処理などの方法により耐食性を向上させるプロセスについて多くの研究がなされている。本研究ではプラズマ陽極酸化皮膜の形成機構について検討を行った。処理時間の異なる試料に対する形態観察、構造解析および組成分析から、皮膜の形成機構について調べた。その結果、プラズマ陽極酸化皮膜は 2 層構造であり内層を覆うように外層が成膜されること、成膜の際の電極間に印加される電圧の時間変化から成膜状況がある程度把握できること、皮膜には電解液成分とマグネシウム合金の合金成分が含まれることが分かった。内層を完全に覆うように外層を成膜することと局所的に火花放電が起こる前に処理を終えることが、プラズマ陽極酸化処理を用いて

マグネシウム合金の耐食性を向上させるために重要であることが明らかになった。

金属ガラスの緩和構造についての研究

金属ガラスは異方性の低い金属結合が主なものにも関わらずアモルファス状態で準安定的に存在できる。現在その安定性の起源や内部の構造についての研究が盛んに行われており、金属ガラスは結合力が強い領域と、結合力が弱い領域からなる静的な不均質構造を持つ事が報告されている。このような構造を調べる手段の一つに緩和現象の観察があり、広い周波数領域における内部摩擦 (I.F.) の測定から金属ガラス内部の構造についての情報を得る事ができる。本研究では極低温 (4.5 K) からガラス転移温度以上 (約 700 K) までの幅広い温度域で I.F. 測定を行いガラス構造について考察をした。高温域では β 緩和が、低温域においてもアモルファスに由来する緩和現象が観察された。前者は局所的な原子のジャンプ、後者はケージ内に形成された二重井戸型ポテンシャルでの rattling motion に起因すると考察された。次に超音波と X 線非弾性散乱 (SPring-8, BL35XU) を用いて Pd-Ni-Cu-P 内部を伝わる波長の異なる波の音速を求め、不均質構造の評価を行った。この試験を室温から融点以上の温度まで行う事により、不均質構造の温度変化を調べた。この結果、Pd-Ni-Cu-P ガラスは弾性的な不均質構造を持つが昇温と共に不均質性が解消していくことも実験的に証明した。また 200°C から 250°C の温度域 (ガラス転移温度近傍) でフォノン伝播挙動が変化する様子が観察された。本研究で行われた X 線非弾性散乱試験や内部摩擦試験の結果は静的な不均質構造を考える事により説明でき、構造不均質が金属ガラスを理解する上での重要な基礎的知見であると考えられる。

Mg イオン電池正極材料としてのスピネル型 MgCo_2O_4 の研究

リチウムイオン電池に代わる次世代の蓄電池として、安全性・コスト・環境などの面で有利な Mg イオン電池の研究が各所で行われている。しかし、これまで報告されているマグネシウムイオン電池は作動電圧が 1-2 V 程度のものでなく、これは負極材料である金属 Mg の負に大きい標準電極電位 (-2.356 V) を生かした正極材料が未だ開発されていないことを示唆している。そこで、本研究では Mg と遷移金属の複合酸化物を正極材料として用いたときの電荷補償反応に注目し、より高い起電圧を示すマグネシウムイオン電池作製を試みた。遷移金属として Co を用いたスピネル型構造をもつ MgCo_2O_4 、Ni を用いた岩塩型構造の $\text{Mg}_{0.67}\text{Ni}_{1.33}\text{O}_2$ を逆共沈法によって合成し、正極材料として用いて電池を作製した。これらの電池は定電圧：4V の条件で充電することにより、3V を超える開回路電圧 (OCV) を数十時間保持した。これらの結果はマグネシウム遷移金属複合酸化物が有能な正極材料としての可能性を示唆していると考えられる。

教授 松原英一郎
准教授 市坪 哲

工学研究科 材料工学専攻

**材料プロセス工学講座
表面処理工学分野**

当研究室では、新しいタイプの中温型燃料電池、チタン製錬プロセス、リン化合物太陽電池に関して、電気化学と熱力学を駆使した研究を展開している。以下に昨年度の研究概略を記す。

・バリウムジルコネートを用いたプロトン伝導セラミックス型燃料電池

プロトン伝導性電解質を用いた燃料電池は固体酸化物燃料電池に比べて燃料である水素の利用効率向上が期待できる。本研究では、アクセプタードーピングにより加湿雰囲気中でプロトン伝導性を有するバリウムジルコネート(BaZrO_3)について研究を行っている。これまでの研究により、 BaZrO_3 にドーピングしたドーパントイオン、特にYのサイト分配性を解明した。また、SrでBaを部分置換し、Sr濃度と電解質の組織及び伝導性の相関を明らかにした。これらの結果から、電解質のプロトン伝導率を向上に向けた材料設計の指針が得られた。さらに、Ptの無電解めっきの研究に取り組み、高い出力密度の燃料電池を試作した。今後、電解質、電極の基盤研究を遂行するとともに、燃料電池を試作して発電試験を行い、高性能な燃料電池の実現を目指す。

・新規固体電解質

本研究では、中温域(200~600℃)で比較的高いプロトン伝導を示すランタンリン酸塩に着目して研究を進めている。これらの物質が属する $\text{La}_2\text{O}_3\text{-P}_2\text{O}_5$ 系については、報告された状態図に矛盾があるため、本系の相平衡関係を再調査した。加えて、 LaP_3O_9 、 $\text{LaP}_5\text{O}_{14}$ の分解により発生する P_4O_{10} 蒸気圧を気体輸送法によって測定し、リン酸塩の安定性評価の基礎となる熱力学データを求めた。また、1mm程度の大きさの LaP_3O_9 の単結晶の合成法を確立し、これを用いた伝導度測定の結果、主要なプロトン伝導経路が結晶粒内であること、c軸方向が優先伝導方位であることを明らかにした。さらに、焼結を経ない緻密な電解質膜の直接合成法を確立し、これを用いた燃料電池セルの発電性能を実証した。今後は、ドーパント・ドーピング率の最適化といったアプローチにより、プロトン伝導率の向上に取り組むとともに新規リン酸塩系電解質の探索も試みる。

・チタンの溶融塩電解

チタンは資源量が豊富で軽くて強く、さらに、海水中で高い耐食性を示すため、エネルギー効率の高い輸送機器や半永久的に使用可能な海洋建築物の製造にも大きなポ

テンシャルを有す。しかし、従来のチタン製造法はバッチ式であるため、生産効率が非常に悪くコストもかかる。そこで、本研究では、チタン製造の低コスト化に貢献することで低炭素社会の実現に寄与することを考えている。具体的には、Reduction-Refining Cell(還元精製セル)を基本とした新製錬プロセスの開発を目指している。これまでの研究では、チタンを運搬するための媒体として、スズ、アンチモン、ビスマスなどの液体金属に注目し、チタンを十分に溶解可能かどうか調べている。一方で、酸化チタンから電解還元によって液体金属中にチタンを回収することにも取り組み、効率的な電解条件などを検討している。

・新規太陽電池用材料の探索

現在、太陽電池材料としてはシリコンが主流であるが、太陽電池の更なる普及のために様々な材料が研究されている。化合物半導体はシリコンに比べて大きな光吸収係数を持つため薄膜化が可能であり、省資源の面からも期待されている。カルコパイライト構造を持つ化合物半導体 ZnSnP_2 は、現在実用化されている CuInSe_2 と同程度以上の光吸収係数を示すことから、太陽電池の光吸収層用の材料として有望である。本研究では、 Zn-Sn-P 三元系状態図を実験的に作成し、これを基にフラックス法により ZnSnP_2 バルク結晶を作製し、その物性を評価した。その結果、 CuInSe_2 と同程度のキャリア濃度・易動度が得られた。さらに、ドーピングによるキャリア濃度制御の可能性を探ると共に、固溶体を利用したバンドギャップ制御も試みている。

・薄膜材料の作製プロセスの開発

本研究では、金属膜のリン化によるリン化合物半導体の新規成膜プロセスの開発を行っている。その際、リン蒸気圧の制御が重要な要素となるが、従来その供給源として用いられているホスフィン是有毒のある気体であり、また、赤リンを用いた場合、蒸気圧制御が困難であることが知られている。そこで、金属とそのリン化合物の熱力学的平衡を用いる独自の手法により、リン蒸気圧を制御し、リン化合物半導体の成膜を試みている。これまでの研究により、すずリン化合物を用いることで大気圧を超えない程度に十分高いリン蒸気蒸気圧を得られ、温度によって系統的にそれを制御できることがわかった。これを用いて亜鉛薄膜をリン化することにより、亜鉛リン化合物半導体である Zn_3P_2 が、また、スパッタ法により作製した Zn-Sn 合金薄膜をリン化することにより ZnSnP_2 が得られている。今後、これらの形成メカニズムを解明すると共に、高品質な薄膜が得られる条件の確立を目指す。

准教授 宇田 哲也
助 教 野瀬嘉太郎

材料プロセス工学講座
プロセス設計学分野
(現 物質情報工学分野)

【対称性による信号棄却アルゴリズム】

デジタル信号処理はX線検出器の信号処理において広く使われているが、エネルギーの検出下限はアナログと同様に検出器窓の材質と電気ノイズによって決まっている。通常この低エネルギー領域の電気ノイズは信号検出に閾値を設けることで無視している。そこで、ノイズを信号と区別できれば閾値を設けることなく窓材による制約のみで計測可能になるのではないかと考えた。

X線プリアンプからの信号は主に3つの成分の重ね合わせで考えることができる。X線光子によるステップ関数、暗電流による一次関数とノイズによる乱数である。この中で暗電流による一次関数成分は相対的な高さだけを計測するか、2階の微分を行う事で容易に無視することができる。残ったステップ関数成分と乱数成分を分離するために時間軸方向の対称性に着目した。ステップ関数はステップ位置を中心として点対称になっているがノイズ成分は有限区間を考えれば常に非対称であると言える。

この対称性を数値的に評価し、対称性毎のスペクトルを測定したものが図1である。低エネルギー領域の電気ノイズが対称性の低い領域(<10)にだけ現れており、対称性の低い信号を棄却することでスペクトルの信号バックグラウンド比を向上させることができる。

【複数の結晶構造を取り扱えるクラスター展開法の開発】

クラスター展開(CE)法は、経験的パラメータを用いない第一原理計算との組み合わせにより、合金の構造と相安定性を高効率かつ高精度で予測できる手法として確立されてきた。その適用例は合金のバルク、清浄表面や分子吸着表面、界面にまで及んでいる。しかしCE法では最初に格子の形を与え、その格子点上でのイジングスピンとして原子配置を表現するため、結晶構造が温度・組成・圧力などに依存する系への適用が極めて困難であった。これに対し我々のグループでは、異なる結晶構造を同時に取り扱える二つの新しいCE法の開発に成功した(Variable-lattice CE (VLCE), Grid-increment CE (GICE))。VLCEは特に複数の副格子の組み合わせで表現される一連の構造に、GICEは共通の格子点位置を多く含む一連の構造に対して特に有効である。さらに、VLCEで用いる抽象格子である仮想格子をGICEと組み合わせることで、より構造の自由度の高い系の物理量を予測することが可能になると考えられる。

教授 河合 潤
助教 弓削 是貴
助教 今宿 晋

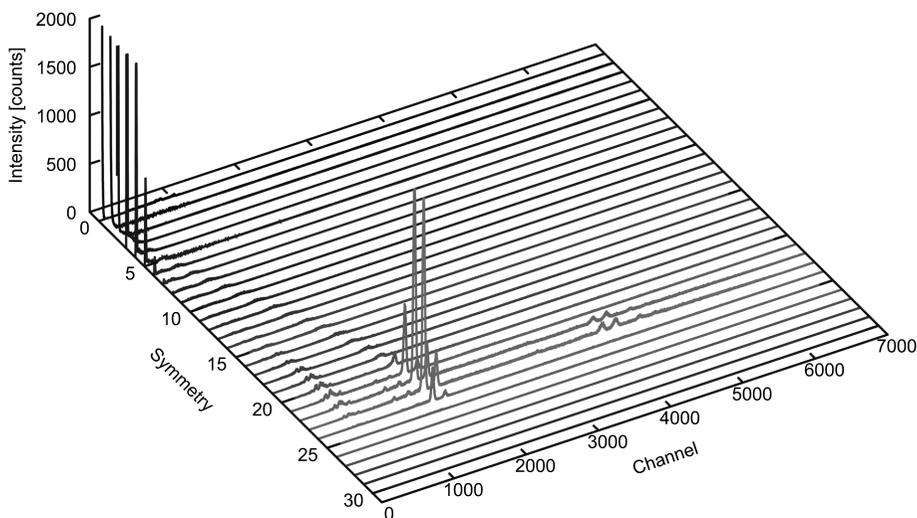


図 1

工学研究科 材料工学専攻

材料プロセス工学講座
マイクロ材料学分野
(現 ナノ構造学分野)

陽電子消滅法による高温クリープ損傷評価

陽電子消滅法は、高分解能電子顕微鏡でも観察困難な原子スケールの格子欠陥やナノ組織の変化を高感度で、非破壊検出することが可能である。当研究室では、陽電子寿命法を用いて、フェライト系、オーステナイト系、ニッケル系の各耐熱材料の高温クリープ損傷評価に取り組んでいる。フェライト耐熱鋼クリープ試験材のクリープ極初期から破断に至るまで、各クリープ時間において、陽電子寿命測定を行った結果、最小クリープ速度に到達するよりも早い段階で、すでに材料の劣化を捉えていることが分かった。このことはクリープ損傷の早期検出が可能であることを示唆しており、クリープ劣化機構の解明やクリープ余寿命評価に貢献することが期待される。

クリープ試験における試験材の余寿命診断だけではなく、それを応用して実機材を対象とした、現場におけるその場での陽電子寿命法を用いた余寿命評価技術の開発にも取り組んでいる。現場での余寿命評価技術は、発電プラント保守の高効率化にとって重要あり、新しい評価技術が求められている。従来の陽電子寿命測定装置は、陽電子線源を2個の試料片で密着させて挟み込んで測定を行っている。そのため、試験片を切り出す必要があることから、実質的には破壊検査であり、現場での陽電子寿命測定は困難であった。そこで、現場でしかも非破壊で陽電子寿命を測定し実機材の余寿命評価するために、持ち運び可能な小型の新しいタイプの陽電子寿命測定装置の開発を目標としている。陽電子寿命のスタート信号として、従来用いられている高エネルギー核 γ 線をシンチレーション検出器で検出する方法ではなく、アバランシェフォトダイオード (APD) を用いて、陽電子自身が APD を通過する際に得られる信号でスタート時刻を測定する方法を採用した。この方法は、測定対象への陽電子の入射の保証と入射時刻の測定を同時に行うことが出来るため、高効率で陽電子寿命スペクトルを得ることが可能である。また APD は小型の電子部品であるため、従来法のシンチレーション検出器に比べて大幅に小型化 (検出部を片手で軽く持てるサイズ) になり、持ち運びが可能で、その場でしかも短時間で陽電子寿命を測定し実機材の余寿命診断を可能にする。現在、予備試験は終了し、実用化に向けて取り組んでいる。

Cu(Ti) 合金薄膜を用いたガラス基板上での配線形成技術の開発

液晶ディスプレイ (LCD) の大型化に伴い、配線材として用いられている Al をより低抵抗率な Cu に置き換える技術開発が進められている。しかし、Cu とガラス基板との密着性が弱く、密着性を改善するために Cu を合金化する方法や密着性の良い下地膜を作製する方法が試されているが、配線抵抗低減との両立が困難な状況である。

当研究室では、Si-UlSI デバイス用の配線材において、誘電体層上に成膜した Cu(Ti) 合金薄膜を熱処理し、Ti の反応生成層を合金膜の表界面に自己形成させる事により、抵抗率の低減とバリア層形成を同時に実現する方法を提唱してきた。そこで、本研究ではこの技術を LCD 用ガラス基板に応用し、Cu(Ti) 合金薄膜を用いることで密着性の向上と抵抗率の低減が両立した Cu 配線形成技術を開発する事を目的とした。

ガラス基板上に成膜した Cu(Ti) 合金薄膜を約 10^{-3} Torr の真空雰囲気中で熱処理すると、抵抗率は合金膜中の初期 Ti 濃度に関わらず約 $2.8 \mu\Omega\text{cm}$ まで減少した。また、Cu(Ti) 合金薄膜とガラス基板との界面の引張強度は、熱処理前は Ti 濃度の増加に伴い増加したが、熱処理後は 60 MPa まで増加した。合金薄膜中の Ti が表界面に偏析したため膜中の不純物散乱が減少し、粒成長が促進された事により抵抗率が低減され、さらに界面にアモルファス Ti 酸化物が形成された事により密着性が向上したと考えられる。

更なる低抵抗化と密着性向上には、Ti 反応層形成のための熱処理条件を最適化する事が必要となる。そこで、超高真空下で熱処理することにより界面のみに反応層を形成した試料を作製し、RBS 測定により Ti の界面偏析量を測定した。界面における Ti 偏析量の時間依存性や温度依存性を調べ Ti とガラス基板との反応を式にて再現、熱処理条件を容易に予想できるようにした。SiO₂/Si 基板と比較して、ガラス基板上では熱処理温度などのプロセスウインドウが広い事が明らかとなった。また、同じ熱処理条件でもあまり Ti 原子が界面へ偏析しないものが存在した。試料断面組織観察の結果、界面偏析が容易でない試料は界面直上の Cu 膜組織に等軸粒の割合が大きい事が分かった。厚い等軸粒の微視的な空隙 (三重点等) が Ti 原子をトラップするため、界面への Ti 拡散を阻害する要因になっていると考えられ、成膜時の微細組織制御も重要なプロセス要素の一つであることを確認した。

教授 白井 泰治
准教授 伊藤 和博
講師 井上 耕治
助教 杉田 一樹

先端材料物性学講座
先端材料物性学分野

STM による材料表面の原子レベル評価

(1) 貴金属表面に生成する特異な炭素構造の研究

これまでに我々は Au(111) 表面に炭素を一定の条件で蒸着させると、大きさが 0.6 nm 程度のほぼ完全に形の揃った炭素からなる構造が形成されることを見出している。この構造の形成メカニズムを明らかにするため、他の貴金属表面への炭素導入を行い、その構造を STM (走査トンネル顕微鏡) で調べた。結果、Cu(111) 表面ではこのような構造は観察されず、一方 Ag(111) では Au 上と同様の構造が形成されることが明らかになった。炭素との相互作用という観点からは Cu は Au と近く、Ag 表面とは異なっている。一方、Ag の格子定数は Au のそれと非常に近いので、これらの結果からは下地金属の格子定数と炭素構造のマッチングが形成の成否を決めるポイントの一つではないかと推察される。現在炭素導入の条件を変化させた場合の生成物の変化の研究を進めている。

(2) SOI 基板を用いたナノギャップ作成の試みと分子架橋構造の直接観察

ナノメートル以下の間隙を持った接合は、単分子デバイスの研究の舞台であり、このことから将来的には実用的にも重要性が増す構造であると考えられる。本研究では SPM (走査プローブ顕微鏡) で観察可能なナノギャップの作成を試みている。SPM が使用できれば、接合の局所的な電子状態さらには電流を流した状態での局所的な電圧降下 (電子散乱) など、有用な情報が得られると考えられる。

本研究ではこれまでに SOI (Silicon on Insulator) 基板を使用してナノギャップを作製するという独自の手法を試みてきており、今年度は研磨材・方法などの改良により比較的歩留まり良くナノギャップを作製することができるようになった。形成されるギャップの幅は STM 像上で数 nm 程度であり、付近の凹凸も 1~2 nm 程度である。また本年度は形成されたギャップに分子架橋を試みる研究を開始した。手始めに C60 フラーレンを架橋分子として選択し研究を進めている。一部電極間に架橋していると考えられる STM 像の取得にも成功しているが、この領域の形状を評価する際には探針の形状の影響を十分に考慮する必要がある、慎重に研究を進めている。

原子・分子サイズ接点の研究

(1) 単分子スピバルブの研究

低温 MCBJ 装置を使用して Ni/BDT/Ni 接合の低温

磁気抵抗特性を明らかにした。昇磁過程では抵抗が 30 mT 付近で最大になるのに対して、降磁の際には抵抗が最大値を示さず、磁気抵抗にヒステリシスが観測された。この抵抗の変化は Ni 電極の磁化反転によるスピバルブ動作から期待される磁気抵抗特性と一致しており、実験結果は Ni/BDT/Ni 接合が単分子スピバルブとして動作することを示している。また磁気抵抗の大きさは 80~150% と高く、 π 共役性の分子接合が大きな磁気抵抗を示す、という理論予想と合致した結果が得られている。また Ni/BDT/Ni 接合の I-V 特性はゼロ磁場では ± 0.2 V の範囲で上に凸の非線形性を示すのに対して、150 mT の磁場下では逆に下に凸の形状となる。この実験結果は、150 mT における電子透過関数のピークがゼロ磁場の場合よりもフェルミ準位から離れた位置にあることを示しており、理論予想と良い一致を示している。

(2) 微細加工 MCBJ の作製と分子コンダクタンス測定

微細加工 MCBJ はワイヤー電極のものよりも安定性が高く、溶媒に対する化学的耐性に優れている。京都・先端ナノテク総合支援ネットワークを利用して金電極の微細加工を行い、微細加工 MCBJ を作製した。これを利用してアミノ基とチオール基の 2 つの接合部位を有するユニークな分子であるテレフタルジチオアミド (TPDTA) のコンダクタンス測定を行い、いくつかのコンダクタンス状態を見出されている。各状態のコンダクタンスは一定の規則に従っているように思われるが詳細は未解明である。なお微細加工 MCBJ の作製では阪大の谷口准教授、京大の神野准教授、田畑教授、また TPDTA の合成では首都大学東京の杉浦教授のご協力を得ている。

(3) 金属単原子接点と水素との相互作用

低温・水素雰囲気中で Pt の原子接点を作製すると、水素分子が直線的に架橋された Pt-H-H-Pt 接合が形成されることが知られている。この接合の形成過程を調べるために、最初に 4 K で Pt 単原子接点を作製した後に水素を導入し、コンダクタンス測定を通して接点変化のモニタリングを行った。Pt-H-H-Pt 接合のコンダクタンスは 1G0 であるが、水素導入後の接点コンダクタンスは 1G0 の他にも (0.25~0.75)G0 に亘る様々な値が観測された。この結果から、水素雰囲気中の Pt-H-H-P 接合形成とは異なり、Pt 単原子接点と水素との反応によって生じる接合は多様な原子配列をとることが示唆される。

教授 酒井 明
准教授 黒川 修

工学研究科 材料工学専攻

材料物性学講座
量子材料学分野

PLD 法による Ni 添加 γ -Ga₂O₃ の合成と評価

3d 遷移金属元素を添加した典型元素酸化物は、希薄磁性半導体や蛍光体など様々な応用の観点から広く研究されている。当研究室ではこれまでに、サファイア基板上に堆積した Mn 添加 Ga₂O₃ 薄膜が欠陥スピネル型構造を持ち、室温においても強磁性を示すことを報告した。本研究では、磁性元素の濃度依存性について系統的に研究するため、MgAl₂O₄ 基板上に Ni 添加 Ga₂O₃ の成膜を行い、薄膜の結晶構造や配位環境、磁気特性の Ni 濃度依存性を評価した。

薄膜はパルスレーザー堆積 (PLD) 法により MgAl₂O₄ 単結晶基板上に堆積した。得られた薄膜について成膜条件や Ni 濃度と結晶構造の関連を調べた。作製した薄膜はスピネル構造単相で良好な結晶性を有し、基板と cube-on-cube の方位関係でエピタキシャル成長することがわかった。また、Ni-L_{2,3} XANES より、薄膜中の Ni は主にスピネル構造の 6 配位サイトに存在することが示唆された。SQUID による磁化測定からは、薄膜中の Ni 間には反強磁性的な相互作用が存在し、薄膜中の Ni 濃度が減少するに従って、その相互作用が希薄化されることが示唆された。

ランタンシリケートの酸化物イオン拡散に関する第一原理計算

アパタイト型の結晶構造を有する希土類シリケートは、固体酸化物燃料電池 (SOFC) の固体電解質としての応用が期待されている。例えば、ランタンシリケート (La_{9.33+2x/3} (SiO₄)₆ O_{2+2x}, (0 ≤ x ≤ 1)) は、過剰な O²⁻ が重要な役割を果たすと考えられている。本研究では、第一原理計算を用いて、ランタンシリケート中の過剰 O²⁻ イオンの局所構造およびイオン伝導機構の解析を行った。

まず安定・準安定サイトの候補について第一原理計算を行った。その結果、過剰 O²⁻ の最安定サイトは、過去の実験報告と同様に O3 サイト近傍であった。また、O²⁻ イオン拡散の最小エネルギー経路を解析した結果、O²⁻ イオン拡散の活性化エネルギーは 0.40 eV であり、La₁₀(SiO₄)₆O₃ に対する実験値 0.47 eV とよく一致した。予測された拡散機構は、サイトを交換しながら拡散する interstitialcy 機構であった。単独で格子間を拡散するには大きなエネルギー障壁が予測されるが、interstitialcy 機構により、高速な O²⁻ イオン拡散が発現するものと結論づけられた。

II 族酸化物における酸素空孔準位の理論的検討

m 型伝導性を示す金属酸化物において、酸素空孔がドナーとして働くかどうか議論の対象となっている。金属酸化物の電気的、光学的特性は、酸素空孔と密接に関係するものの、酸素空孔が形成する電子準位については、十分な知見が得られていない。本研究では、様々な結晶構造の II 族酸化物中の酸素空孔について系統的な第一原理計算を行い、酸素空孔の電子状態と形成エネルギーについて考察した。

II 族については、カチオンが周期表の下にくにつれ、中性酸素空孔準位における電子の空孔サイトへの局在が弱くなり、遷移準位は伝導帯に近づいていくことがわかった。これは、伝導帯下端における d 軌道の寄与が増えていくこと、また、d 軌道成分の局在性が順に低下していくためと考えられる。また、BeO と ZnO については共有結合性が強く、電子が強く局在することで、中性の空孔が安定化され、1+ の電荷状態が安定とならないことがわかった。

逆蛍石型リチウム複合酸化物の合成と電気伝導度評価

近年、Li イオン二次電池においてさらなる高エネルギー密度化と安全性が求められており、高いイオン伝導度を有する不燃性の固体電解質が望まれている。本研究では Li₂O の Li を多価イオンで置換し、電荷補償により空孔が導入された逆蛍石型類縁構造を持つ複合酸化物試料を系統的に作製し、それらの結晶構造解析および電気伝導度測定を行い、結晶構造と電気伝導度や活性化エネルギーの関係に関して検討を行った。

添加元素には Al, Ga, Zn を用い、固相反応法によって Li₅AlO₄, Li₅GaO₄, Li₆ZnO₄, Li_{5.5}Ga_{0.5}Zn_{0.5}O₄, Li₅Al_{0.5}Ga_{0.5}O₄ 試料を作製した。Li₅AlO₄, Li₅GaO₄, Li₆ZnO₄ 試料については、単相の焼結体試料を作製でき、Li_{5.5}Ga_{0.5}Zn_{0.5}O₄, Li₅Al_{0.5}Ga_{0.5}O₄ 試料についてはそれぞれ Li₆ZnO₄, Li₅AlO₄ と同じ結晶構造で同定でき、固溶体を形成していると考えられた。活性化エネルギーを求めたところ、Li₅GaO₄, Li₆ZnO₄ は Li₅AlO₄ よりも低い活性化エネルギーを示した。また、Li_{5.5}Ga_{0.5}Zn_{0.5}O₄ は Li₅GaO₄, Li₆ZnO₄ よりも、Li₅Al_{0.5}Ga_{0.5}O₄ は Li₅AlO₄, Li₅GaO₄ よりも活性化エネルギーが低かった。これは、別の元素を添加することで規則性が乱れ、静電ポテンシャルの低い空孔が一部生成したことによるものではないかと考えられる。このように、異なる 2 種の多価カチオンを混合した固溶体の形成は活性化エネルギーの低下に有効であることが示された。

教授 田中 功
准教授 大場 史康
助教 世古 敦人

材料物性学講座
結晶物性工学分野

(La,Sr)MnO₃ 電極/イットリア安定化ジルコ
ニア電解質界面の微細構造と電池特性

高効率・高環境性の新規エネルギー源として最も期待されている固体電解質型燃料電池 (SOFC) において空気極に (La,Sr)MnO₃ (LSM), 電解質にイットリア安定化ジルコニア (YSZ) を用いる場合, 運転初期段階に界面抵抗が低下する現象 (通電効果) や長時間運転に伴う性能劣化が見られる. そこで (La_{0.8}Sr_{0.2})_{0.97}MnO₃ 空気極 /YSZ 電解質 /Ni-YSZ 燃料極で構成されるモデルセルのこれらの電池特性変化機構の詳細を明らかにする目的で, 透過電子顕微鏡法を用いて通電過程各段階における LSM/YSZ 界面の微細構造解析を行った. 通電前試料では界面近傍の YSZ 中に大量の格子欠陥 (転位) が見られたが, 通電効果段階にある試料ではこれらの格子欠陥の消滅および LSM/YSZ 界面へのポイドの形成が確認された. 一方, 通電効果終了後の試料では界面ポイド量の減少が観察された. これらの結果は通電効果前後における LSM/YSZ 界面を横切る物質の拡散形態の変化を示唆し, LSM 空気極が電子伝導体から混合伝導体へと徐々に変化することで電極反応の反応場が LSM/YSZ/空気が接する三相境界から LSM/YSZ 界面の方へも拡張したことにより通電効果が生じた可能性を示唆していると考えられる.

M₅Si₃ 型遷移金属シリサイドの力学特性

遷移金属とシリコンの比が 5:3 となる遷移金属シリサイドいわゆる 5:3 シリサイド (M₅Si₃) には 2000°C を超える高融点を有する化合物が多く存在しており, 次世代の超高温耐熱材料として期待されている. 5:3 シリサイドは複雑な結晶構造に起因して一般に室温延性に乏しいため, これまでの研究は各種金属材料への強化相としての利用を目的としたものが主であり, 一部を除いて単相化合物, とりわけ単結晶材料を用いた力学特性の評価はほとんど行われてこなかった. そこで D8_m 型構造を持つ 5:3 シリサイドの高温構造材料としての有効利用指針を得ることを目的として, Cr₅Si₃ および Nb₅Si₃ (高温相) の単相単結晶試料を用いて熱膨張率, 弾性率および塑性変形挙動について調べた. Cr₅Si₃ および Nb₅Si₃ (高温相) の室温での弾性率測定の結果と Mo₅Si₃ の弾性率の文献値の比較により, これら同じ結晶構造をもつ 3 種類の 5:3 シリサイドの中では Mo₅Si₃ が比較的延性的であり, Cr₅Si₃ が最も脆性的であることが示唆された. 一方, Cr₅Si₃ 単結晶圧縮試験の結果, Cr₅Si₃ は 900~1100°C 以上の温度域において {100}[001] すべりや <111> すべりにより塑性変形可能であることを確認し, これら D8_m 型構造を持つ 5:3 シリサイドが高温において十分な塑性変形能を有していることを明らかにした.

FePd の結晶磁気異方性に及ぼす温度, 軸比及び外部磁場の効果

L1₀ 型構造を有する金属間化合物は, その強い一軸結晶磁気異方性から次世代の高密度磁気記録媒体として期待され, 結晶磁気異方性エネルギーの温度依存性や磁化依存性の研究が理論的, 実験的に進められている. 最近の理論計算で結晶磁気異方性に結晶の軸比が関わることを示され, また軸比は温度依存性を持っていることから, 結晶磁気異方性の温度変化には軸比の温度変化が関わっていると考えられる. 本研究では温度, 軸比, 外部磁場などの外部要因に関わらず統一的に L1₀ 構造を有する結晶の結晶磁気異方性を理解することを目的として実験を行った. その結果, FePd と Fe₄₀Cu₁₀Pd₅₀ の軸比は, FePd では軸比が 0.97 から 0.93 まで, Fe₄₀Cu₁₀Pd₅₀ では 0.93 から 0.88 まで温度の上昇に伴い変化することがわかった. また, FePd において, L1₀ を bct と見たときの軸比の 1 からのずれと 0K における磁気異方性が比例すると仮定した場合, 結晶磁気異方性に及ぼす温度の影響は磁化の 3.06 乗となり古典的理論予想に非常に近くなることがわかった. さらに FePd の磁化をワイスの分子場近似で表した場合は, 磁気異方性が実測より小さくなり, ハイゼンベルグモデルで表した場合は磁気異方性が実際よりも大きくなることがわかった.

Ba₈Ga₁₆Ge₃₀/Sr₈Ga₁₆Ge₃₀ クラスレート
化合物界面の熱伝導フォノン散乱

クラスレート化合物は, 大きな空隙を有する多面体ケージが Ba や Sr などの金属原子を内包した結晶構造を有し, 内包原子のラトリング運動によりフォノンが散乱されるため非常に低い熱伝導率を示す. ディヒューズミスマッチモデルと呼ばれる界面熱伝導に関する理論によれば, 異相界面を挟む両物質の状態密度差が大きいほどフォノン散乱が強まり, 界面熱伝導率は小さくなると考えられている. 本研究では, Ba₈Ga₁₆Ge₃₀/Sr₈Ga₁₆Ge₃₀ 双結晶の界面垂直方向の熱伝導率測定を行うことにより, 内包原子の局在フォノンモードのエネルギー準位差が界面熱伝導率に及ぼす影響を明らかにすることを目的とした. 融点差を利用して Ba₈Ga₁₆Ge₃₀ 単結晶上で Sr₈Ga₁₆Ge₃₀ を融解させた後エピタキシャル成長させて Ba₈Ga₁₆Ge₃₀/Sr₈Ga₁₆Ge₃₀ 双結晶を作製した. 界面近傍では Sr₈Ga₁₆Ge₃₀ 中に Ba が固溶しており, 組成変化の急峻性は小さいことがわかった. 界面垂直方向の熱伝導率は, 各単相クラスレート化合物の熱伝導率より求めた直列モデル下での合成値よりも僅かに大きかった. これは, Sr₈Ga₁₆Ge₃₀ 中に Ba が固溶したことにより界面両側のフォノン状態密度の差が小さくなり, 界面フォノン散乱効果が弱まったことに起因すると考えられる.

教授 乾 晴行
准教授 岸田 恭輔
助教 岡本 範彦

工学研究科 材料工学専攻

**材料物性学講座
構造物性学分野**

新研究室からの初めての修士課程修了生が、下記に示すような研究を行った。足立助教は平成23年4月に兵庫県立大学准教授に転出した。

**純アルミニウムの巨大ひずみ加工に伴う
転位密度変化の精密な測定**

種々の金属材料に対して巨大ひずみ加工法の一つである Accumulative Roll-Bonding (ARB) 法を施すことにより、平均結晶粒径が数百 nm の超微細粒組織を有する材料が得られている。ARB 法により作製された超微細粒アルミニウムにおいては、焼鈍により強度が上昇することや、純アルミニウムにも関わらず降伏点降下減少を示すことが見出されている。これらの特異な挙動は、超微細粒材料における転位の挙動が通常粒径とは異なることを示唆するものであるが、その詳細なメカニズムは明らかとなっていない。そこで、これらの特異な力学特性の発現プロセス解明への前段階として、超微細粒純アルミニウム中の転位密度の測定を種々の方法により行い、正確に転位密度を評価することを目的として研究を行った。

純アルミニウムの各サイクル ARB 材に対し、STEM, XRD, 電気抵抗率測定等の複数の測定法を用いて、転位密度の測定を行った。それぞれの測定法によって得られた転位密度の値には、測定法の違いにより最大で1桁程度の違いがみられた。また、いずれの測定法においても、ARB の初期段階において転位密度が大きく上昇することが確認された。本研究の結果、巨大ひずみ加工により作製された超微細粒アルミニウムの粒内には、 10^{14} m^{-2} オーダーの転位が存在することが確かめられた。

**純アルミニウム双結晶の強度におよぼす
粒界性格・構造の影響**

結晶粒界は、塑性変形の素過程である転位運動の障害として働くことが知られている。結晶粒微細化強化は Hall-Petch の関係に従うことが知られているが、これは多結晶体の平均的な強化を扱うものであり、個々の結晶粒界と転位運動との関係や、粒界性格・構造の影響を言及するものではない。個々の粒界と転位の相互作用を明らかにするために、双結晶を用いた実験や電子顕微鏡内でのその場観察などにより、粒界近傍での転位運動挙動や活動するすべり系についての報告がなされている。しかしながら、種々の性格の粒界が存在することによって材料強度がどのように変化するかは明らかになっていない。そこで本研究では、対称傾角粒界を有する純アルミニウム双結晶の力学特性試験を行い、種々の性格を有する粒界が材料強度に与える影響について検討した。

[011] 軸周りに回転角が 2° , 10° , 15° , 70.5° の対称傾角粒界を有する純アルミニウム双結晶を修正ブリッジマン法により作製した。回転角 2° , 10° , 15° の双結晶に対し

圧縮試験を行い、粒界とすべり系の幾何学的関係を比較した結果、残留転位の大きさと、粒界を挟んだ2つの結晶のすべり面と粒界面のトレース同士の間角が大きい場合に、単結晶よりも変形応力が増大することが明らかとなった。圧縮試験前後の組織を TEM により観察した結果、変形応力が増大しなかった試料では変形前後で粒界構造に変化が見られなかったのに対し、変形応力が増大した試料では、変形前の周期的な転位列により記述される粒界構造から、複雑に転位が入り混じった構造へと変化していた。以上の結果より、変形が進み粒界構造が変化した場合に、転位が粒界を横切ることが困難となって変形応力が増大したものと考えられた。

**Ag-Ni 系、Nb-Zr 系および Ti-Zr 系の巨大
ひずみ加工に伴う非平衡相の形成**

粉末のメカニカルアロイング (MA) などの固相の超強加工法によってアモルファス金属や過飽和固溶体などの非平衡相を作製できることが知られているが、非平衡相の形成メカニズムは明らかとなっていない。また、固相の超強加工を利用した方法は熱移動や平衡状態図上の制約を受けないため、凝固法では得られない新しい非平衡材料を作製できる可能性がある。そこで本研究では、巨大ひずみ加工の一つである High Pressure Torsion (HPT) を用いてバルク MA を試み、非平衡相形成メカニズムについて検討した。本研究では、正の混合エンタルピー ΔH_{mix} を有する Ag-Ni 系 ($\Delta H_{\text{mix}} = +15 \text{ kJ mol}^{-1}$)、Nb-Zr 系 ($\Delta H_{\text{mix}} = +4 \text{ kJ mol}^{-1}$)、および Ti-Zr 系 ($\Delta H_{\text{mix}} = 0 \text{ kJ mol}^{-1}$) の3種類の異種金属対に対して HPT によるバルク MA を室温で行い、結晶構造変化、組織変化および力学特性を調べ、MA のメカニズムを解明することを目的とした。

Ti-Zr 系および Nb-Zr 系では、室温での HPT 加工にもかかわらず、 ω -Ti や β -Zr といった高压相・高温相が出現した。一方、Ag-Ni 系では100回転の加工後も原子レベルでの混合は生じていなかった。HPT 加工に伴うマクロな組織変化を調査した結果、それぞれの系で相対的に硬質相が加工の進行に伴って分断され、軟質相中に島状に分布する傾向が見られた。また、TEM/EDX 測定より、Ti-Zr 系では軟質相の Ti 中に Zr が固溶し、Nb-Zr 系では軟質相の Nb 中に Zr が固溶していることが明らかとなった。以上より、HPT によるバルク MA においては、マクロレベルでの混合は相対的な硬質相が分断されて軟質相中に微細に分散することで進行すると考えられる。また、ミクロレベルでの混合では、異相界面エネルギーの効果により微小分断部の自由エネルギーが固溶体の形成エネルギーを上回ることが、過飽和固溶体形成の駆動力となっている可能性が示唆された。

教授 辻 伸泰

助教 足立 大樹 (平成23年4月兵庫県立大学に転出)

助教 寺田 大将

助教 柴田 暁伸

工学研究科 材料工学専攻

先端材料機能学講座 先端材料機能学分野

複数の相が内在する繊維強化複合材料, 多相合金, 金属ガラス, 超伝導テープなどの「複合系材料」について, 微視構造形成過程, 構造と材料全体としての力学および機能特性との相関の実験的評価およびモデリングによる普遍的な体系化, およびこれら成果に基づく材料設計, 性能予測などへの応用を目指している. 本年度の主な成果は以下のように要約される.

(1) 高温酸化物超伝導テープの負荷ひずみ下でのクラック形成部での迂回電流とその電流輸送に及ぼす影響のモデル解析

引張負荷ひずみ下で, DyBCO コーテッドコンダクター中の DyBCO 超伝導層に部分クラック (partial crack: 横断面を貫通していないクラック) が発生・成長した場合, 印加電流はクラック部では超伝導層を流れず, 安定化材 (本研究の試料では銀及び銅) に迂回する. 本研究では, クラック部での電流迂回が V (電圧) - I (電流) カーブ, 輸送電流および超伝導から常伝導への遷移の鋭さを示すパラメータである n 値に及ぼす影響を調べることを目的として, 実験とモデル解析を行い, 以下の結果を得た. (1) クラック部での迂回電流は, 印加電流が臨界電流値付近では低いが, その後印加電流 (および発生電圧) の増加とともに増加する. (2) クラックサイズが大きくなればその傾向は激しくなる. (3) これら (1), (2) の結果を反映して $\ln(V) - \ln(I)$ カーブの傾きから求めた n 値は印加電流の増加と共に低下し, その傾向はクラックサイズが大きくなるほど顕著になる. (4) クラック存在下の電流とクラックが存在しないと仮定したときの電流の比は, 印加電流が臨界電流値付近ではクラックのリガメント面積率に比例するパラメータで表され, 印加電流がさらに増すと, 迂回電流の増加に伴い, パラメータ値より上方に偏奇する.

(2) 高温酸化物超伝導テープの負荷応力下での層識別応力状態評価

超伝導電流輸送を担う超電導物質の熱残留ひずみは臨界電流の耐ひずみ特性を決定する因子の一つであり, その集積過程の解明が待たれている. 本研究では, 昨年度構築した, 「層を識別して, 系統的に内部応力状態を定量評価できるその場応力状態測定システム」により, DyBCO コーテッドコンダクターの負荷応力下での応力状態を調べ, In-situ で多重は断にいたる DyBCO 層の歪変化を明らかにした.

(3) 高強度自動車鋼板のコーティング層の破壊・剥落

エネルギー, 資源問題の緩和に向けて, 自動車鋼板の高

強度化研究が進められている. 本研究では, 高降伏応力高強度鋼板と加工時の形状凍結性を有する低降伏応力高強度鋼板のコーティング層の多重破断挙動の観察結果と有限要素応力解析で得られた応力伝達効率から, コーティング層強度を 200-300 MPa と評価した. この値は従来の軟鋼ベース自動車鋼板コーティング層の強度とほぼ同等であった. また, クラック間隔分布は高強度鋼板および従来鋼板共に同一のマスターカーブで表現できた. これらの結果はコーティング層の破壊機構および強度が合金元素や熱処理過程でほとんど変化していないことを意味し, 高強度基材鋼へのコーティング技術の進歩を反映した結果となった. 今後は, 高強度鋼と従来鋼のコーティング層の剥離挙動の比較研究を行う予定である.

(4) Zr 基金属ガラスからのナノ準結晶形成過程と組成揺らぎの検討

Zr 基金属ガラス中のクラスター的な不均一構造と準結晶晶出の関係を調べるため, 異常分散効果を利用した異常小中角散乱測定を複数の吸収端でおこなった. 特に Cu 吸収端に極めて近いエネルギーで Cu のコントラストを強調した異常小角散乱測定の実現により, 母相と小さな組成差しかない ZrCuPt 合金のナノ準結晶の形成過程において, 明確な偏析構造が存在する事が初めて明らかとなった. これはナノスケールでの準結晶形成過程においても局所平衡を前提とした拡散相変態が進行している可能性を示唆しており, Zr ガラス中の準結晶形成機構を考える上で興味深い結果である. 今後 Pt 組成の異なる試料での比較を進めると共に, 実時間測定による Kinetics の評価をおこなう予定である.

(5) 軟 X 線領域における共鳴 GISAXS 法の開拓

薄膜の 3 次元ナノ構造を非破壊評価する新たな手法として, 軟 X 線領域を利用した GISAXS 法とその解析方法の開発を進めた. Si の K 吸収端を利用した異常 GISAXS の二次元散乱パターンを取得する事に成功し, 1.7 keV 領域での定量二次元強度測定と歪形波ボルン近似 (DWBA) による強度解析が可能である事を示した. 軟 X 線領域ではエバルト球の曲率に起因する二次元散乱プロファイルのゆがみが顕在化することが明らかになった一方, その効果は強度シミュレーションによって十分再現され, 定量評価に問題はないことが示された. Si 吸収端などの軽元素の異常分散効果の利用が可能になったことから, Si 基板上のナノ構造の非破壊精密解析などへの展開が可能となった. 軟 X 線領域での二次元 GISAXS 測定はこれまで例のない試みであり, 軟 X 線特有の光学的・解析的課題を検討しながらナノ構造評価手法としての確立を目指してゆく.

教授 落合庄治郎
准教授 奥田 浩司

工学研究科 材料工学専攻

材料機能学講座
磁性物理学分野

新奇遍歴電子フラストレート磁性体 η -カーバイド化合物における異常な強磁性量子臨界現象

正三角形や正四面体を基調とした格子で発現する幾何学的フラストレーションは、様々な異常物性の起源となる事が知られている。我々は、遍歴電子磁性体のフラストレーション効果を研究するため、そのモデル物質として η -カーバイド化合物に注目している。本研究では、様々な η -カーバイド化合物の単相試料を合成し、その物性を調べた。その結果、 $\text{Fe}_3\text{Mo}_3\text{N}$ における外部パラメータ調節無しの非フェルミ液体挙動、Co置換による遍歴電子強磁性量子相転移、極めてシャープな遍歴電子メタ磁性、異常磁気相図、などを見いだした。これらの異常物性は、星型四面体格子を構成する磁性Fe副格子のフラストレーションに起源がある、と考えられる。

金属磁性体 MnP における 逆 Dzyaloshinsky-Moriya 効果

MnPは、常磁性-強磁性-ヘリカル磁性と逐次相転移する典型物質として1960年代から知られる古典的な金属磁性体である。我々は、この物質の磁性を詳細な磁化測定、中性子回折実験により再検討したところ、Mnスピンの反対称Dzyaloshinsky-Moriya(DM)相互作用に起因する磁性が発現している事を見いだした。さらに、低温ヘリカル相では、ヘリカル秩序に付随する巨大スピнкаイラリティにより格子歪みが生じている事を見出した。この格子歪みは、絶縁体のマルチフェロイック物質などで観測されているDM相互作用の逆効果(逆DM効果)がMnPで起こっている事を意味している。これは、金属磁性体で逆DM効果が見いだされた初めての例である。

正方形金属クラスタ化合物 $\text{V}_4\text{S}_9\text{Br}_4$ における不可逆磁性と圧力誘起量子相転移

金属クラスタ化合物は、クラスタ内では電子軌道は混成しているが、クラスタ間では電子の波動関数の重なりはほとんどない、金属と絶縁体の中間に位置する物質群であり、クラスタ軌道の持つ大きな宿重度に起因する異常物性の発現が期待されている。我々は、Vの正方形型ク

ラスタを有する $\text{V}_4\text{S}_9\text{Br}_4$ の磁性を詳細に調べた結果、 $T_N=18\text{K}$ の反強磁性が $P_c=0.3\text{GPa}$ の低い圧力によって非磁性スピンギャップ相へ一次で量子相転移すること、反強磁性には構造転移が伴っており、反強磁性転移による自発歪みによって試料内部に応力がかかり、零圧でも反強磁性相と高压相である非磁性相に相分離して共存し、不可思議な不可逆磁性を示すこと、を見いだした。

長距離相互作用イジングスピングラス相 転移の普遍性とレプリカ対称性の破れ

ランダム磁性体におけるスピングラス現象は、その発見以来、統計物理の魅力ある対象として盛んに研究されている。特に、平均場モデルの解析によって得られた「レプリカ対称性の破れ(RSB)」は、均一な系には無いランダム系特有の性質として注目されてきた。しかし、現実のスピングラス物質に対する平均場モデルの適用の妥当性には問題があり、RSBが現実起こっているか否かについては、多くの疑問が投げかけられていた。我々は、長距離相互作用であるRKKY相互作用の働く金属間化合物 $\text{R}_x\text{Y}_{1-x}\text{Ru}_2\text{Si}_2$ ($R=\text{Dy}, \text{Tb}, \text{Gd}$)の臨界現象を詳細に調べ、これらの物質では異方性の強弱に関わりなく、そのイジングスピングラス転移は平均場の普遍性クラスに属すること、磁場中転移の存在からRSBが起こっている可能性が高いこと、を実験的に示した。

磁場勾配によるスピン流の生成とその検出

電荷の流れである電流に対応した概念である、スピン角運動量の流れである「スピン流」、特に、絶縁体中を流れる(電流を伴わない)純スピン流の生成と制御は、ジュール損失無しの信号伝達の可能性などの観点から、スピントロニクス分野で注目されている話題である。我々は、スピン流を駆動する最も自然な外場である磁場勾配を絶縁磁性体 CuB_2O_4 にかけ、流れる純スピン流を逆スピンゼーベック効果によって生ずる温度差を観測する事で検出しようと試みた。その結果、 CuB_2O_4 の弱強磁性相で、磁場勾配の強さに比例した温度差の観測に成功した。これは、磁場勾配によって確かに CuB_2O_4 中にスピン流が流れた事を強く示唆する実験結果である。

教授 中村 裕之
准教授 田畑 吉計
助教 和氣 剛

材料機能学講座
機能構築学分野

イオン液体中における金属 Mg のアノード溶解

Mg は卑な標準電極電位 (-2.363 V vs. SHE) と大きな理論電気容量 ($3,839\text{ Ah dm}^{-3}$) を備え、ポストリチウムイオン電池の負極材料として注目されている。卑な標準電極電位をもつ Mg を扱うため電解液には強い還元耐性が要求されるが、電位窓の広いイオン液体はその候補の一つである。しかし、イオン液体中での Mg の電気化学挙動に着目した報告は少なく、未だ系統的な理解が得られていない。本研究では脂肪族4級アンモニウムカチオンからなる疎水性イオン液体 trimethyl-*n*-hexylammonium bis[(trifluoromethyl)sulfonyl]amide (TMHA-Tf₂N) を電解液として選択し、当該浴中での Mg²⁺/Mg⁰ の酸化還元電位、および浴中の微量水分がアノード溶解挙動に与える影響について調べた。Mg²⁺/Mg⁰ の酸化還元電位を評価するため、ポテンシャルステップ法による sampled-current ボルタンメトリーを行い、温度 50 °C の 0.05 mol dm⁻³ Mg(Tf₂N)₂ - TMHA-Tf₂N 浴中での電位が +1.41 V vs. Li⁺/Li⁰ であると見積もった。また、Mg²⁺/Mg⁰ の酸化還元電位は浴中の水分含量にあまり依存しないが、水分含量が増えるとともにアノード溶解電流が顕著に増大することがわかった。

音叉型水晶振動子を用いたイオン液体中 FM-AFM の開発

イオン液体-固体界面の微視的分析は、イオン液体を用いる電気化学に有用な知見を与えると期待される。一方、周波数変調原子間力顕微鏡 (FM-AFM) は、固体表面あるいは固-液界面の高分解能分析技術として、近年著しい発展を見せているが、イオン液体への適用はほとんどなかった。イオン液体は粘性が高く、Si カンチレバーを用いる一般的な液中 FM-AFM では Q 値が著しく低下し、高感度な分析が期待できない。そこで本研究では、先鋭化した金属探針を有する音叉型水晶振動子をセンサとする FM-AFM を開発した。本センサはイオン液体中でも高い Q 値を示し、さらに変位検出回路の低ノイズ化により、イオン液体中における固体基板の原子分解能観察および局所溶媒和構造の分析に成功した。以上の結果より、本手法がイオン液体-固体界面分析に有効であることが明らかとなった。

分子被覆金ナノ粒子の配列構造形成とシリコン表面への固定化

金ナノ粒子は可視光とカップリングする事で局在表面プラズモン共鳴を誘起し、光電場を局在化することができる。これを用いる事で光センサなどへ応用が期待されるが、そのためには金ナノ粒子の配列制御や基板への固定化技術が不可欠となる。一般的には金ナノ粒子を負、基板表面を正に帯電させ、静電引力によって金ナノ粒子の固定が行われるが、この方法では粒子同士に静電反発力が働いてしまい、粒子密度の高い構造を得ることができない。一方、水素終端化シリコン表面は可視光を照射することでビニル基を持つ有機分子と Si-C 結合を形成することが明らかにされている。そこで本研究では、可視光照射による光化学反応を誘起することで、ビニル基を有する分子で被覆した金ナノ粒子をシリコン (111) 基板上に固定化することを試みた。

粒径が 4.8 nm の金ナノ粒子を分子長 1.5 nm の 11-mercaptoundecene (MUD) で被覆することで粒子表面をビニル基終端化し、これをトルエンもしくはクロロホルムに分散させた。これに水素終端化 Si (111) 基板を浸漬し、可視光を照射することで、MUD 被覆金ナノ粒子の固定化に成功した。粒子間距離は 6.6 nm であり、粒子同士に斥力が働かず、密な構造が得られた。これに加え、リソグラフィを利用した位置選択的固定化や、LB 法を用いた固定化についても検討した。

教授 杉村 博之
准教授 邑瀬 邦明
助教 一井 崇

社会エネルギー科学講座
エネルギー社会工学分野

研究室の現状

博士課程学生7名、(南アフリカ1, ベトナム3, メキシコ1, バングラデシュ1, 日本1名) 修士課程学生13名、(エアクアドル1名), 学部学生5名。また, 3月より8ヶ月間, マレーシアからの短期留学生も在籍していた。

上記にスタッフ5名を加えて30名のうち外国人が6名を占めている。言葉も多彩で, 日本語, 英語, スペイン語, ベトナム語という4カ国を母国語としていて, グローバルな環境の下, 研究を行っている。

最近の研究から

博士課程を修了した原康祐君とタイ人留学生 Supawan Joonwichien さんの研究を紹介する。前者はメカニカルミリング中における生成相決定メカニズムで

(1) MoSi₂ 相にはα相とβ相が存在することが知られているが, α相についてメカニカルミリングを施すと, α相とβ相が1:2の存在比で動的平衡状態になることを見出し, MoSi₂ 相を構成するある結晶面が周期的に滑ることにより生ずることを解明した。また, Feの混入がβ相を安定化することを明らかにし, 第一原理計算によりMoの一部がFeに置換することにより生ずるSiの欠陥がその要因であることを解明した。(右図)

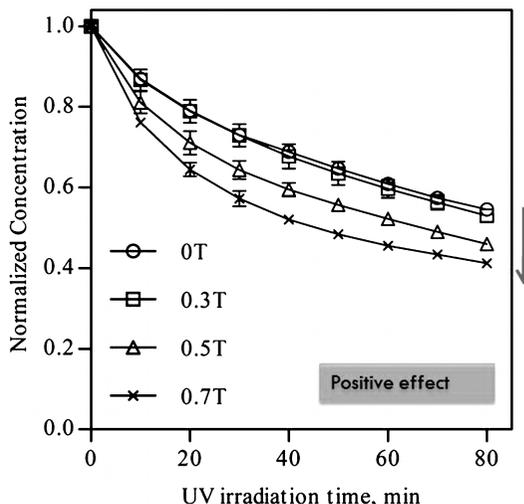
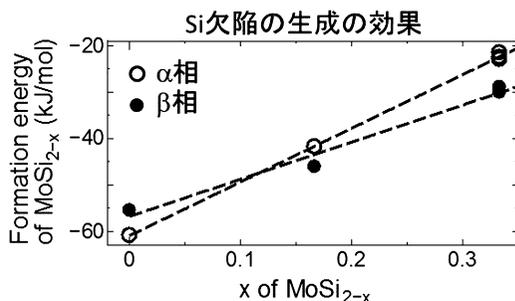
(2) メカニカルミリングにより生ずる多形変態について, 実験結果および過去に報告された事例について, モル原子体積と既約単位胞体積に基づき定性的に整理できることを示した。

が主な結果である。後者については, メチレンブルーの不均一光触媒分解反応における磁場効果を評価したもので,

(1) 酸化亜鉛光触媒および酸化チタン光触媒におけるメチレンブルー水溶液の分解反応速度について, 再現性のある実験に成功し, 本実験条件の範囲では酸化亜鉛では磁場により反応が促進されるが(右図), 酸化チタンにおいては抑制されることを見出した。

(2) 初期濃度, 光強度, メチレンブルー調合後の経過時間, 溶存酸素濃度, 磁場強度, が磁場効果を支配している因子であることを明らかにし, 特にこの中で調合後の経過時間が重要であり, 経過時間により溶存酸素が変化していることを見出した。

教授 石原 慶一
准教授 奥村 英之
助教 山末 英嗣
技術職員 藤本 正治



エネルギー科学研究科 エネルギー基礎科学専攻

エネルギー反応学講座 量子エネルギープロセス分野

— エネルギー機能材料の電子構造と光物性 —

当分野では、光物性を中心とした固体機能材料の解析を行っている。マイクロ波照射を行った金属酸化物表面からのプラズマ生成メカニズムの分光学的手法による解明^[1]をはじめとして、多種多様な機能を持ったエネルギー機能固体酸化物、硫化物ガラス、電気化学的手法により作成された半導体薄膜を対象とした光学物性の探求を主研究目的としている。

マイクロ波照射による酸化亜鉛表面での プラズマ励起現象

マイクロ波加熱は物体内部の直接的加熱を実現できることから、近年、様々な応用が始まっている。特に、その選択加熱と非加熱効果が注目を集めており、CO₂排出削減、省エネルギー化を可能とする技術として期待されている。しかしながら、GHz帯周波数のマイクロ波の金属酸化物など固体のマイクロ波吸収による励起状態生成から熱化へ向かう経路や、その非加熱効果は未解明である。

一方、これまでに、減圧下でTiO₂、ZnO、Fe₂O₃セラミックスに対してマイクロ波を照射する事で、反応性が高い原子状酸素プラズマ生成を伴う金属酸化物の直接還元効果を観測してきた。

本研究では、マイクロ波直接励起プラズマ反応におけるZnOセラミックスの発光現象における、発光強度の時間変動に着目し、モデル式を構築し測定結果と比較することにより、マイクロ波非加熱効果を解析する(図1)。

なお本研究は研究科内、京都大学生存圏研究所、同エネルギー理工学研究所の研究グループとの共同研究である。

光誘起構造変化ガラスの発光疲労と回復現象

カルコゲナイドガラスは、光誘起現象による様々な光学特性を示す事が知られている。特に、As-カルコゲナイド、Ge-カルコゲナイドにおいて、長時間励起による発光強度の減少が知られている。これらはフォトルミネッセンス疲労 (photoluminescence (PL) fatigue) と呼ばれ、電子構造と光誘起変化とを関連させた研究がされてきた。われわれは、長時間励起によるGe-S系ガラスの発光に注目し、低温での発光疲労と疲労の回復現象を見だし、実験値が疲労と回復にそれぞれ時定数を仮定した理論式でよく一致できることを明らかにしてきた。

本研究では、光誘起反応と熱による効果の競合した現象と考えられる発光疲労-回復現象の温度依存性に注目し、この現象の統一的な知見を得ることを目的として、レーザー励起による発光強度の時間変化測定とモデル式の構築/比較により、この現象のメカニズムの解析を行った(図2)。

- [1] T. Sonobe, K. Yoshida, K. Hachiya, M.A. Bakr, T. Kii, S. Yoshikawa, H. Ohgaki, *J. Sustainable Energ. Environ.*, **2**, 27 (2011).
[2] T. Nakanishi, Y. Tomii, K. Hachiya, *submitted*.

助教 蜂谷 寛

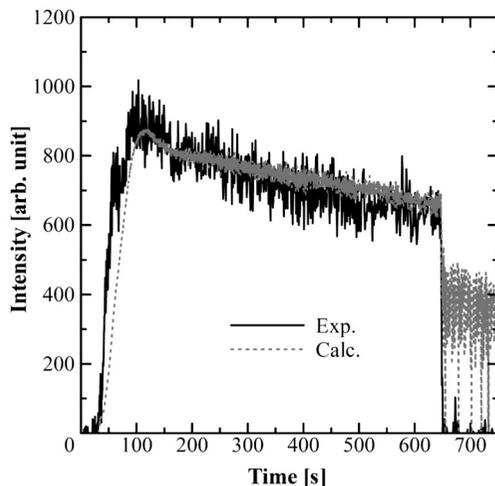


図1 酸化亜鉛へのマイクロ波照射後の発光強度の時間変化の測定値(実線)とモデル式による計算値(点線)

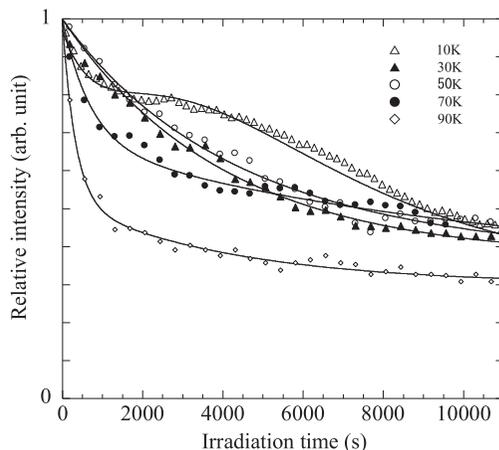


図2 Ge₁₀S₉₀の時間変動発光の測定温度による変化とモデル式によるフィッティング^[2]

エネルギー科学研究科 エネルギー応用科学専攻

**エネルギー応用プロセス学講座
材料プロセス科学分野****有機溶媒からのアルミニウム電析**

鉄鋼材料の表面処理には亜鉛めっきが広く用いられているが、亜鉛資源枯渇の問題から“脱亜鉛めっき法”の開発が望まれている。この候補として、独自の非水溶媒（ジメチルスルホン、DMSO₂）を用いる新しい Al 電気めっき法の開発を行っている。また、この Al 電析法を利用して、Al の多孔質体の作製や、高温材料の耐酸化コーティング層の形成法の研究に取り組んでいる。

(1) 光沢アルミニウムめっき

Al は水溶液から電析することはできないが、有機溶媒の DMSO₂ を電析浴として用いることで、緻密な Al 膜を 100℃ 付近の温度で電析することが可能である。これまでの電析 Al 膜は全て無光沢であったが、電析浴に微量のテトラエチレンペンタミンまたは塩化ジルコニウムを添加すると、金属光沢を有する Al 膜が電析可能であることを見出した。微量成分を添加した浴から得られる Al 電析膜の表面粗さは、無添加浴から得られるものと比べて10分の1以下にまで低下した。添加分子が電極表面に吸着することにより、電析 Al の結晶粒が微細化し、平滑な表面が形成されたため、Al 膜が金属光沢を呈するようになったと考えられる。

(2) ポーラスアルミニウム材料の作製

リチウムイオン電池の正極集電体や電解コンデンサなどの電極材に Al が用いられている。電極材の Al を多孔質化できれば、表面積が増大するため、電池やコンデンサの性能の改善が期待できる。そこで本研究では、DMSO₂ 浴からの Al 電析を利用して、Al の多孔質体を形成するプロセスの開発を行っている。ポリスチレンコロイド粒子を堆積させた基板を用い、粒子間の空隙に Al を電析した後、ポリスチレンコロイドを有機溶媒で溶解除去するプロセスにより、周期的な三次元多孔構造をもつ Al 層の形成に成功した。

また、より簡便な Al 多孔質体の作製プロセスとして、DMSO₂ には不溶の水溶性粉末を電析浴に堆積した状態で Al を電析する方法の開発を行っている。電析により、水溶性粉末を含有する Al 層が形成され、これを水洗すると多孔質 Al 層を得ることができる。

(3) 電析と熱処理による Al 合金皮膜形成

航空エンジン内部等に用いられる金属材料は厳しい酸化環境に置かれるため、長寿命化のためには表面処理による耐酸化性の改善が必要となる。耐酸化性表面処理法の一つに、材料表面に Al を付与し、母材-Al 合金層を形成するものがある。本研究では、高温材料のベースとして広く用いられている Ni を基板とし、基板表面に Al を電析し、さらに熱処理を施すことで、Al-Ni 合金層を形成することを試みた。700℃ で熱処理を行うと、Al-rich な化合物である Al₃Ni および Al₃Ni₂ が生成し、熱処理温度の上昇に伴って、Ni-rich な化合物である AlNi および AlNi₃ が優先的に生成することが確認された。

同様に Ti についても、高温における耐酸化性を高める

必要があるため、Ti 表面上に Al 電析を施し、熱処理を加えることで、Ti-Al 合金層の形成を試みた。Ti 板上に密着性の高い Al 層を電析するのは困難であったが、電析前に Ti 板をシュウ酸で洗浄し、さらに表面の酸化膜を完全に除去するため、DMSO₂ 浴中でアノード溶解した後、Al の電析を行うことで、平滑な密着性の良い Al 皮膜を得ることができた。660~800℃ での熱処理の結果、Al₃Ti、AlTi および AlTi₃ の複数の合金層の形成が確認された。

水溶液プロセスによる半導体製膜

ZnO は ITO に代わる透明電極材料として注目されている。本研究では低コストプロセスである水溶液プロセスを用いて ZnO を製膜する技術の開発を行っている。アンモニア水溶液を用いるプロセスによって、Al がドーパされた低抵抗の ZnO が成長する条件を見出した。また、単結晶基板上に ZnO 結晶が水溶液からエピタキシャル成長する条件を確立し、さらに低抵抗化した ZnO 膜を得る技術の開発を行っている。

電析 Cd-Te の熱処理による結晶化

電析による CdTe 薄膜製膜の高速化を目指して、Te-rich なアモルファス Cd-Te 電析と電析物の熱処理を組み合わせることに由来する電析物の再結晶化過程について調べた。短時間の電析でアモルファス Cd-Te を成膜し、温度 400℃ において空气中で熱処理を行うことにより、粒径約 50 nm の結晶性 CdTe 薄膜が得られた。しかし、同時に CdTe 薄膜内に直径が数十 μm の孔が生成することが観察された。これは、電析膜中の過剰の Te が蒸気圧の高い Te₂O₃ 気体となって急激に揮発するためと考えられる。熱処理における昇温速度を減少させることで、この大きな孔の生成を避けられることを確認した。

三次元フォトニック結晶の作製

フォトニック結晶は、内部に屈折率の周期的分布をもつ人工結晶で、光の伝搬や発生を自在に制御できる可能性をもつ新しい光材料である。オプトエレクトロニクス・デバイスへの応用を目指し、光学特性だけでなく、電気的特性にも優れたフォトニック結晶を得る作製プロセスの開発に取り組んでいる。その作製法の一つとして、ポリスチレンコロイドの自己組織化によって得られるコロイド結晶をテンプレートとして用い、この空隙を ZnO で充填した後、テンプレートを溶解除去することで、コロイド結晶の反転構造をもつ ZnO からなる三次元フォトニック結晶を得る研究を行っている。

金属-シリコン系の熱力学関数の測定およびシリコン化合物の合成

液体電解質を使用してシリコンの活量を測定し、種々の熱力学関数を導出する。合成が困難な化合物の新しい合成方法を開発し、その機構を解明する。

教授 平藤 哲司
准教授 土井 俊哉
助教 植田 幸富
助教 三宅 正男

エネルギー応用プロセス学講座 プロセス熱化学分野

多元系溶融スラグの Chloride Capacity

1. 緒言

廃プラスチックや廃電池を再資源化する際に発生するハロゲン元素を無害化することを目的に、当研究室では酸化物融体への塩素溶解度を測定してきた。しかし、そのデータは限られている。

一方、多元系スラグの Sulfide Capacity, C_S の膨大なデータに基づき、Sosinsky and Sommerville は C_S と Optical Basicity, Λ の関係式 (1) を報告している¹⁾。

$$\log C_S = (43.6 - 54,640/T) \Lambda + (-25.2 + 22,690/T) \quad (1)$$

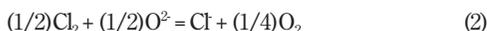
本研究では CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 系スラグへの塩素溶解度を測定し、式 (1) を用いて Chloride Capacity, C_{Cl} の予測式を導いた。

2. 実験方法

(%SiO₂)/(%MgO)=40/25 一定、(%Al₂O₃)=30 又は 35、(%CaO) を 39~56% で変化させた CaO-SiO₂-Al₂O₃-MgO 均一液体スラグを用いた。実験温度 (1723 K~1823 K) に保持した炉内に Ar-H₂-HCl-H₂O 混合ガス ($PHCl = 5.91 \times 10^{-3}$ atm, $PH_2O = 3.55 \times 10^{-2}$ atm) を流通させ、スラグを炉内で 6 時間保持して平衡させた。スラグを急冷し、試料中の塩素濃度を分析した。

3. 実験結果・考察

スラグ中への塩素の溶解反応は、



であり、 C_{Cl} は次式で定義される。

$$C_{Cl} = (\%Cl) PO_2^{1/4} / PCl_2^{1/2} = K(2) aO^{2-1/2} / fCl \quad (3)$$

一方、 C_S は次式で定義される。



$$C_S = (\%S) PO_2^{1/2} / PS_2^{1/2} = K(4) aO^2 / fS^2 \quad (5)$$

1773 K での実験結果を Figure 1 に示す。図中には同一組成で測定された C_S を示した²⁾。2log C_{Cl} と log C_S は Λ の増加とともに増加し、 Λ に対する傾きがほぼ等しくなった。いま式 (3)、(5) より、

$$\begin{aligned} 2 \log C_{Cl} - \log C_S &= 2 \log K(2) - \log K(4) + \log (fS^2 / fCl^2) \quad (6) \\ &= 2 \log K(2) - \log K(4) \end{aligned}$$

(%Cl)、(%S) は希薄であり、 $fS^2 = fCl^2 = 1$ とした。式 (6) の右辺は温度のみの関数である。温度一定において、(2 log C_{Cl} - log C_S) は一定値となり (Figure 1)、2 log C_{Cl} と log C_S について Λ の係数が等しいことを意味する。また、全実験温度でのデータから (2 log C_{Cl} - log C_S) の値と温度の関係を求め、次式を得た (Figure 2)。

$$2 \log C_{Cl} - \log C_S = -10.9 + 31,700/T \quad (7)$$

式 (1) を式 (7) に代入すれば、

$$2 \log C_{Cl} = (43.6 - 54,640/T) \Lambda + (-36.1 + 54,400/T) \quad (8)$$

Figure 3 より、式 (8) から求めた計算値は本実験値及び文献値を良好に再現していると言える。

参考文献

- 1) D. J. Sosinsky and I. D. Sommerville; *Metal. Trans. B*, 17B, 1986, pp.331-337.
- 2) H. Hayakawa, M. Hasegawa, K. Oh-nuki, T. Sawai and M. Iwase; *Steel Res. Int.*, vol.77, 2006, pp.14-20.

教授 岩瀬 正則

准教授 長谷川 特克

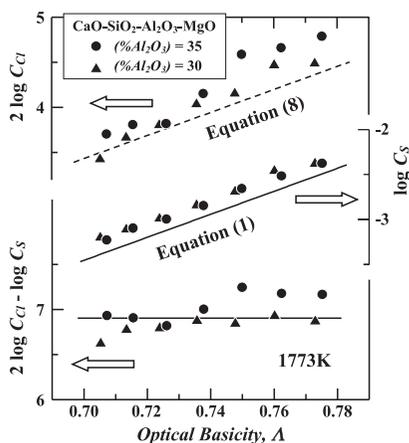


Figure 1. Values for log C_{Cl} and log C_S plotted against Λ at 1773K.

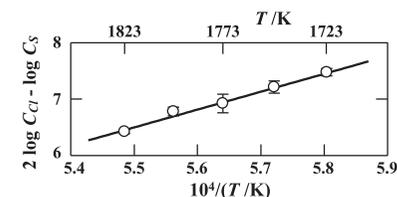


Figure 2. Values of (2log C_{Cl} - log C_S) plotted against reciprocal temperature.

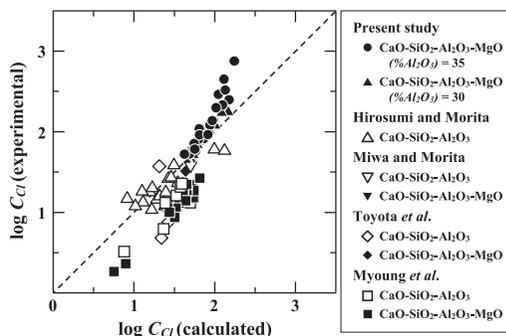


Figure 3. Comparison of experimental and calculated values for log C_{Cl} .

会 報

追 悼

菊地 宏吉 先生

京都大学名誉教授、菊地宏吉先生は平成23年3月26日、享年75歳にて逝去されました。ここに先生のご功績を偲び、謹んで哀悼の意を表します。



菊地宏吉先生の御略歴

昭和34年3月	北海道大学理学部地質学鉱物学科卒業	在任中、岩の力学連合会理事長、土木学会・地盤工学会・日本材料学会等の岩盤工学関連委員会の委員長、国際岩の力学学会試験法委員会委員、国際会議組織委員会委員、国際ワークショップ組織委員長等を歴任
昭和34年4月	財団法人電力中央研究所	
昭和57年7月	東電設計株式会社	
平成2年3月	京都大学教授、工学部資源工学科応用地質学講座担任	
平成12年3月	定年により退職、京都大学名誉教授	
平成12年4月	東電設計株式会社最高顧問	

菊地宏吉先生の想い出

山田 文 孝

菊地先生が本学へ赴任されたのは、私が大学院修士課程2回生に進級する春のことでした。「あの」菊地式岩盤分類を考案した偉大な研究者、どれほど近寄り難い先生かと想像していたところ、あに凶らんや、現れたのは人好きのする微笑を満面にたたえた、ひどく気さくな紳士でした。「君が山田君か」と両手で握手、「よろしく頼むな。いろいろ教えてくれよ。」と、いち学生に過ぎない私に、なんと腰の低いお言葉をいただきました。

大学教授らしからぬ言動は普段の学校生活にも随所に現れていました。当時、講座対抗の朝野球大会が開催されていたのですが、「出るからには優勝を目指せ。私も参加する。」と、時間が空いているときには(わざわざ時間を作って?)御所の野球場まで足を運び、張り切ってプレーされていたことを昨日のように思い出します。もっとも弱小1講座、異例の教授参加で対戦相手を威嚇することには成功しましたが、成績自体はぱっとせず、挙句の果てに先生は名誉の負傷まで負ってしまいました。

私は菊地先生に直接研究指導を受けてはおりませんが、学生時代のわずか1年の間にダム、地下発電所、庵治の浸透流実験施設等々、さまざまな施設の見学にお連れいただきました。また授業ではご自分の手がけたものも含めて数多くのプロジェクトを、地質工学の視点から紹介していただきました。陽におっしゃったわけではありませんが、「地質学者は社会に出て人の役に立たなければいけない」というメッセージを強く受け止めました。

退官後も常に社会の最前線でご活躍され、ようやくご自分のための人生を謳歌されようとしていた矢先の今回の訃報、本当に残念でなりません。

地質工学に従事する者として、社会貢献を常に考えよという先生の教を心に刻んでまいりたいと思います。

菊地先生のご冥福を心よりお祈りいたします。

(三井住友建設 平成元年卒)

菊地先生、ありがとうございました

宇津木 慎 司

菊地先生、本当にありがとうございました。

先生が電力中央研究所、東電設計を経て京都大学にいられたのが平成2年の春と認識していますが、私が3回生で専門の授業を受け始めた時期と一致します。今でも印象に残っているのが、最初の先生の授業で、ご自身が携われたダムや地下空洞の写真をOHPの大きなスクリーンで見せていただいたことです。その際、土木工事に

おける地質工学の係わりについて熱意を持って話されているのをお聞きし、その魅力に引き込まれ、現在も建設会社に従事している次第です。

在学中はもちろんですが、社会に出てからも定期的にお会いして、その時々、具体的な技術的課題について、そして技術屋、社会人としてのあり方についてなど、小生が抱える悩みに対して、常に適切なご助言をいただきました。本当に様々なことを教えていただきましたが、要点をまとめると下記の3項目になります。

- ①社会の役に立つ研究、仕事をするのが大事。
- ②物事を成し遂げるためには、それを成し遂げたいという強い意志が必要。
- ③ただし、一人では何もできない、周囲への気遣い、チームワークが必須。

これらの教を忘れず、先生のような研究者、技術屋に少しでも近づけるよう精進していく所存ですし、若い人達にもしっかり継承していきたいとより強く考えるようになりました。

菊地先生、本当にありがとうございました。今後も温かく見守ってください。

(株式会社間組、平成4年卒)

菊地先生を偲んで

神田 耕 治

大きな体を揺さぶり、OHPシート一杯の手提げカバンを片手に講義室へ向かう姿。溢れんばかりの躍動感で、私たちに語りかけるように講義を進める姿。今でも鮮明に記憶している。菊地先生の著書「地質工学概論/土木工学社」の表紙を飾る奈川渡ダムや今市地下発電所など、日本の経済成長を支えてきた数多のプロジェクトに、先生は土木地質学の分野で貢献され、そこで培われた知見を、私たちの前で惜しげも無く披露された。仕事においては妥協を許さず、威圧感すら感じさせる厳しい姿勢で臨まれていたと思うが、厳しさとは異なる面を感じた先生との想い出を、少しだけ紹介したい。

私は鹿島建設に入社して17年目で、これまで3つの建設現場を経験した。入社して間もなく、広島県の温井ダムに赴任した。アーチ式コンクリートダムとしては黒部ダムに次ぐ日本で二番目の堤高(156m)を誇るダムで、同じくアーチ式の奈川渡ダムを1m上回る。在任中、先生が現場にいられた。ダム直下流からアバットメントを見上げながら、「奈川渡と良く似てるなあ」と、感慨深げに語られたことを想い出す。先生の30年前の記憶が蘇った瞬間であった。

8年目にLPガス国家備蓄倉敷基地に赴任した。ここは地下160~184mに大空洞を掘削し、水封式岩盤貯蔵方式(先生の講義で何度も説明された)で40万トンの

LP ガスを貯蔵するための工事を行っている。建設目的は異なるが、今市地下発電所の建設技術が伝承された工事である。ここでも在任中、先生が現場に来られた。先生を待ち構え、出迎えると、同行された他の方々に、「彼、僕のゼミの卒業生で、鹿島建設のかんちゃん」と紹介していただいた。何とも気恥ずかしく感じたことを想い出す。

13年目に鳥取県の殿ダムに赴任した。在任中の2009年秋、先生が現場に来られた。研究室で一学年上の宇津木先輩と一緒にいた。建設中の堤体上で代わる代わる記念写真を撮影した。レンズを覆う先生の指が気になったが、おそらく先生に撮っていただいた初めての写真。先生の心遣いが嬉しく、黙って写真に納まった。先生にお会いしたのはこれが最後となった。

昨年末、先生から自宅に電話があり、家内が応対した。電話口の先生はとてもお元気で、いつものように私たち家族の健康と子供の成長を気遣っていただいた。それがあまりにも急な展開となってしまった。

17年目の始まりは先生との別れであった。その2日後に、以前在籍した倉敷備蓄基地に赴任した。もう先生は現場に来られないが、先生がカラオケでよく歌われた「千の風になって」のように、いつまでも暖かく見守っていただけるものと信じている。

先生のご冥福を心よりお祈り申し上げます。

(鹿島建設株式会社, 平成5年卒)

菊地宏吉先生の思い出と東日本大震災に想うこと

宮本健也

私が菊地先生から直接指導いただいたのは、大学3回生の秋から修士課程終了までの約3年半でした。その間、繰り返し先生から指導いただいたのは、「学生であっても、現場に行き、現場で役立つ研究をせよ」ということでした。その言葉通り、私が3回生の秋に菊地研究室に仮配属になった直後から、最初は先輩方とともに、修士課程に進んでからは後輩を連れて、多くの現場に行かせていただく機会を与えていただきました。

数多く経験させていただいた現場の中で、特に記憶に残っているのは、当時建設中であった建設省宮ヶ瀬ダムの建設現場に何度もお世話になって、調査、測定を行ったことです。それまで机上での勉強しかしておらず、ダムの建設現場を見るのは初めてだったこともあり、研究に直接関係する調査、測定だけではなく、現場全体を通して非常に印象深く、現在でも当時のことを鮮明に記憶しています。宮ヶ瀬ダムという建設省としても大きなプロジェクトにわずかながら関わったということも一つのきっかけとなり、菊地研究室を卒業した後、建設省・国土交通省で主として河川行政に携わることとなり、現在

まで至っています。菊地先生の現場主義が、私の人生を方向付けたのだと改めて、今、感慨深く思います。

さて、先生が亡くなられる直前の今年3月11日、東日本大震災が発生しました。現在、私も、国土交通省において河川行政の面より、その復旧、復興に携わっています。その中で対応に悩むことも多々ありますが、その時にたびたび私が考えるのは、菊地先生がこの大震災の直後に亡くなられたのは、「この大震災からの我が国の復旧・復興に対して、菊地研究室の卒業生一人ひとりがそれぞれに力を尽くしなさい、後のことは皆に任せた」とする先生の意志の表れだったのではないかということです。

私も、菊地研究室の一員として、諸先輩方や仲間には負けないよう、我が国の復興に力を尽くすことが先生の意志に沿うことになるのだと思い、日々の業務に取り組んで参りたいと考えています。そして、この国が今回の大震災から復興を遂げたとき、復興に携わった菊地研究室の仲間の力を先生に報告することができれば先生も喜ばれるのだらうと思います。

先生のご冥福を心からお祈り申し上げます。

(国土交通省水管理・国土保全局治水課, 平成6年卒)

菊地宏吉先生を偲んで

足立倫海

昨年6月に「南部フォッサマグナ地域における地震発生の可能性と特徴について」と題した先生の講義を拝聴しました。いつもと変わらぬ精力的な研究成果をご披露頂きましたが、その翌年に先生の訃報に接し、大変驚き、言葉を失いました。

私は平成3年に入学しフィールドスタディーに強い憧れをもち、平成6年菊地研究室にお世話になることになりました。

学生の立場で拝聴した先生の講義は机上重視ではなく常に現場現物現実(3現主義)に基づくものでした。それだけに学生時代には、新鮮ではありましたが、経験不足からイメージすることが困難なことも少なからずありました。しかし、社会に出て自分が現場と向き合う立場になって初めて先生の言われていたことがわかったような気がしたことも多々ありました。

卒業後も先生の講義を拝聴する機会に恵まれましたが、その度に先生が携わってこられた現場に対する思い入れの強さに、いつも頭が下がる思いでした。何十年前前に調査された現場での出来事について、日にちはもちろんのこと、曜日・時間まで克明に覚えておられて、われわれにその経験を何度も話していただき、知見の伝授いただきました。

先生と学生時代に調査をご一緒させていただいた回数

は少ないですが、現場をご覧になる先生ののめり込まれる姿をはっきりと思い浮かべることができます。そのときは講義されている姿とは別人のようで、地質に真剣勝負を挑まれているようでした。

先生がそのような姿勢で現場に臨まれているにも関わらず、学生の私が現場で採取したデータを取りまとめている状態にも関わらず、車中に放置し杜撰に扱ったために先生に叱責いただいたことは忘れられない出来事です。

地盤や地質に対する姿勢や情熱はまだまだ先生の足元にも及びませんが、少しでも先生に近づけるよう精進を重ねたいと思います。

先生のご冥福を心よりお祈り申し上げます。

(東京電力株式会社 平成7年卒)

菊地宏吉先生の想い出

藤 田 士 郎

菊地研究室では、3回生の途中で研究室に配属されてから、数々のダムの現場において、ダム横坑調査やダム基礎地盤のボーリング孔内載荷試験等を通じて、社会人になる前に大変貴重な経験をさせていただくこととなりました。私が行ったのは、温井、富郷、サンル、上ノ国、日吉、清水建設の技術研究所等で、上ノ国では先生も現地に来られ、一緒に調査を行い、現場で岩盤や地質について教えていただきました。また、北海道古平町の豊浜トンネル事故の際には、先生が道警から依頼されて岩盤の崩落メカニズムについての見解を求められ、それを説明するための図(ポンチ絵)を先生のご指導の下にパソコンで描く作業をさせていただきました。

菊地先生と言えば野球も堪能で、もう60歳近くでしたが、講座対抗の野球大会には率先して参加されましたし、先生とキャッチボールをした時、切れの良いボールを放っておられたので、「先生、中々やりますねえ。」と言ったことをずっと覚えていて下さり、最近もお酒の席で、「藤田君に『やりますねえ』と言われたんだ。」という話で盛り上がりました。

就職では、先生の「発注者も面白いぞ」というお言葉で道を開いていただき、宮本先輩に倣って国家公務員試験を受けて建設省(今は国土交通省)を目指した結果、何とか合格して就職することができました。

就職してからも折に触れ声を掛けて下さり、北陸地方整備局に赴任していた際には、新潟まで研究の一環でお越しになり、夕食を妻とご一緒させていただいた上、スナックを開拓してカラオケで盛り上がったことが思い起こされます。

今年になって体調を崩されたとのことで、2月にお見舞いに伺った際には、ご自分で喋ることは出来ませんで

したが、こちらからの喋りかけには反応して下さり、力強い握手をさせて頂いたのが最後となりました。

菊地先生は私の父と年齢が近く、私にとってはもう1人の父のような存在で、いつも何かにつけ気にかけて下さっていたように思います。そんな先生のご恩に心から感謝しつつ、ご冥福をお祈りします。

(国土交通省水管理・

国土保全局河川計画課課長補佐 平成8年卒)

菊地 宏吉 先生を偲んで

御 崎 哲 一

私は、平成5年入学、平成9年学部卒業、平成11年修士卒業、その後社会に入りました。

諸先輩方のご指導があったのは勿論ですが、卒業論文・修士論文共に、様々なご助言・ご指導を賜りました。

先生とは、学生時代に1度斜面踏査にご同行させて頂いたことがありました。先生はその時ではほぼ還暦の御年であったにもかかわらず、私の倍以上の速度で斜面をお歩きになり、ハンマーを片手に調査をされておられました。私はついていだけで必死だったことを思い出します。

社会に出てからも、年に1度程度は菊地先生を囲んで会合があり、菊地先生といえは、そういった場でお酒を飲まれたり、歌を歌われたりと、本当にお元氣な姿とお声の記憶しかありません。

先生には、私の結婚式へのお招きにも快く引き受けて頂き、私の学生時代のお話を頂いたことを覚えております。

私がお会いした最期は、平成22年11月2日(火)の夜、京都で菊地先生のご講演があった後、京都でお会いしたときです。

当時、私は京都大学大学院の博士課程に進むかどうか、先輩にもご助言を頂き、少し考え出していた頃でした。その時はその先輩とお会いする約束をしていたのですが、夜遅いにもかかわらず、なんと私のために、「博士に進むように」ということをお話に来て頂きました。

最近少し足が悪くなられ、よくお疲れになると伺っておりました。そのようなご体調にもかかわらず、教え子には本当に親身になっていつまでも指導していくんだ、という先生の心遣いが本当にうれしく思いました。ただ、お会いした時の菊地先生のご様子は、夜も遅かったのでお疲れになられたのかな、と感じた程度で、お一人でホテルに帰られるほどお元氣でした。

それから年明けに入院され、すぐに容態が悪くなられて、本当に突然亡くなられました。

まだ74歳というお若さでのご逝去に、残念でなりません。

いつでも、先生にはご配慮頂きました。深く感謝申し上げますと共に、心からご冥福をお祈り申し上げます。

(西日本鉄道株式会社 平成9年卒)

菊地宏吉先生と私

日 外 勝 仁

菊地先生のご退官は、私が修士課程修了した平成12年3月であり、それまでの3年間ご指導いただきました。テーマは岩盤斜面の安定度評価についてで、先生の出身地である北海道で起きた豊浜トンネル岩盤崩落事故(平成8年2月)を契機としたものでありました。その後の博士論文まで続いた研究テーマの縁で、先生の口添えもあり、(独)北海道開発土木研究所に任期付研究員として就職しました。当時、先生が副委員長をされていた岩盤斜面計測に関する委員会の事務局もさせていただき、学生時代の指導教官と生徒の関係がそのまま続いているかのような錯覚を覚えたものです。

その後、国家公務員試験を受け、(独)土木研究所への採用が決まった際は、「国の関係機関で研究をするのだから、社会の役に立つ研究をするように。」との叱咤激励の言葉を頂きました。私が委員を務める学会研究委員会のシンポジウム講演で、先生から直接ご意見を頂いた時は、厳しい意見にもかかわらず、少しは認めていただけたように思い、嬉しく感じました。

昨年春の札幌からつくばへの異動で、ダムに関わるようになり、大学の講義で先生が繰り返し仰っていた「ダムはロマンだ」という言葉が耳に甦ってきました。先生ご自身の体験を交え、大型土木構造物の建設に係る地質調査の役割や重要性を話されたのですが、内容もさることながら、大の大人がここまで熱く語ることのできる分野というのに興味が湧き、菊地研究室への配属希望の動機となったことが思い出されます。

菊地先生には、研究上にとどまらず、人生について多くのことを教えていただきました。先生がお亡くなりになられた今、強く思い出されますのが、日光いろは坂の現地調査の後に宿で伺った「今は亡き恩師から受けた恩を後進に返すため、大学教授への転身を決めた。」との言葉です。卒業後も含め、先生には他の誰よりもご迷惑をおかけし、また、可愛がっていただきました。先生から受けた計り知れない恩義に報いるため、社会に役立つ研究を行い、いずれ何らかの形で後進にお返しすることをお誓いしたいと思います。

先生より賜りました数々のご厚情に感謝申し上げますとともに、ご冥福を心よりお祈り申し上げます。

(土木研究所研究員、平成10年卒)

菊地先生を偲んで

山 本 真 哉

私は、菊地先生が平成12年にご退職されるまでの4年の間指導を仰ぎましたが、私たちにとっての菊地先生は学生のことを暖かく見守ってくれる心優しい先生でした。私はその後、博士課程を経て就職しましたが、その間も先生にはいろいろと気遣っていただき、とりわけ、私が転職する際には先生は親身になって心配して下さいました。

先生はずっと「自分の専門性を活かして世の中に役立つことを考えなさい」と言われてました。学生の頃はそうかと単に聞いていただけでしたが、私も技術者の端くれになってみますと、地質工学の分野で実践されてきた菊地先生が言われるこの教えは年々重みを増してきます。

私が菊地先生に感謝していることの一つは、全国の何か所ものダムの建設現場に赴いて岩盤の原位置試験を行う貴重な機会を与えて下さったことです。何も知らなかった当時の私は、長期間続く試験に、時には辛く感じることもありましたが、学生でありながら現場の迫力や緊張感を直接肌で感じながら、汗水を流してデータを取得した経験はとても貴重なものであり、そこから多くのことを学び取り、成長することができました。試験状況の視察のために現場に来られた先生が学生を見たときに出る、少し嬉しそうなお顔が今でも記憶に残っています。

菊地研では、恒例行事として京都大学と、以前に先生が教鞭を執られていた早稲田大学の卒業生が一堂に会して先生を囲む会が開かれ、大学や年齢の分け隔てなど全く無く、いつも大変楽しく盛り上がるのですが、これも菊地先生のお人柄の賜物だったと思います。この場で、先生はいつも私たちに対して個人的に取り組まれていた研究の考察などを熱く語り、そして、二次会では若々しい声で得意の歌を披露して下さいましたが、ご退職後も年齢を感じさせず、精力的にご活動されている様子に毎回感心させられたものでした。今となっては先生のお話や歌声が聞けなくなってしまい、寂しい限りですが、先生に教えて頂いたことは我々卒業生の間に着実に伝わっているものと思います。

先生にご指導頂きましたことに深く感謝申し上げますとともに、心よりご冥福をお祈りいたします。

(清水建設株式会社、平成10年卒)

菊地先生を偲んで

佃 十 宏

菊地先生との出会いは、学部2回生の授業のとき、好々爺な雰囲気教室を歩き回りながら講義されていた

のが印象的でした。そしてその2年後、先生が退官の年に菊地研に入り、文字通り最後の教え子となりました。それは、社会人としての私の礎となる比類なき邂逅でした。直接のご指導は1年という短い期間でしたが、研究者・技術者として大所高所に立たれた指摘を随所に賜りました。また、にぎやかな席がたいへんお好きで夕方になると研究室のメンバーに声をかけ、お酒をご馳走になりながら談笑したり、研究者としての真摯なお話を伺ったりしたことが昨日のことのように思い出されます。たまたま頼ずりのおまけもついたりしましたが、それもご愛嬌でした。

菊地先生のご研究者としてのご活躍はご存知の方も多くおられますが、教育者としても尊敬すべき御仁でした。それは菊地研の同窓会を通じて知り合えた研究室の先輩各位がそれぞれの専門分野で大いに活躍されていること、また、長年にわたり変わらぬ教え子に対する先生の厳しくも温かい慈愛は、私が卒業後に菊地研の一員であ

ることに強い誇りをもつ所以です。また、薫陶を受けた末席の者として先生や諸先輩に対して恥ずべき在り方はできないと身の引き締まる思いを強く抱いております。

研究に対する強い信念と厳しい眼差し、他者に対する細やかな気遣いと優しさ、赤ワインを好み、カラオケで十八番にされた「千の風になって」。同窓会の後、いつもお別れの際には先生の肉厚の手で力強く握手をしていただきました。無言のうちに「しっかりやるように」と伝えられているようで日々精進の励みとしておりました。

最晩年に縁あって、声楽コンサートにて先生の発表を映像に収める役を仰せつかりました。ファインダー越しに10数年前から変わらぬ先生の歌声を聴きながら、これが生前の最後の元気なお姿になるとは夢にも思いませんでした。菊地先生のご恩に深く感謝するとともに、心からご冥福をお祈り申し上げます。

(株式会社ニュージェック、平成12年卒)

平成23年度水曜会大会

- 日 時 平成23年6月4日(土) 11:00-16:30
- 会 場 京都大学工学部6号館および百周年時計台記念館

平成23年度水曜会大会は6月4日(土)に開催され、午前は工学部6号館の共同第一講義室にて研究室紹介のポスター展示が行われました。午後からは百周年時計台記念館にて懇親会、総会、特別講演会が開催されました。午前の展示にはおよそ30名の方の参加があり、懇親会には56名、総会・特別講演会には約50名の参加がありました。

約1時間の研究室紹介のポスター展示が行われた後、会場を百周年時計台記念館に移し、国際交流ホールⅢ号室にて懇親会が開催されました。酒井明教授の司会のもとで、松岡俊文会長の挨拶の後、村上陽太郎先生の音頭で乾杯が行われました。また、岡田明先生(治23)および櫻井繁樹氏(資53)から挨拶をいただきました。続いて新任の教員が前に並び、一言ずつの挨拶をいただくなど、立食パーティーの和やかな雰囲気の中、白井泰治先生の閉会の辞とともに会は恙無く終了しました。

記念撮影の後、会場を国際交流ホールⅡ号室に移し、小池克明教授の司会のもと松岡俊文会長より平成22年度の事業報告、中村裕之会計幹事より会計報告、朝倉俊弘会計監事より監査報告がなされ、いずれも承認されました。続いて次期役員推挙により、新会長に白井泰治教授、新副会長に朝倉俊弘教授および酒井明教授が選出され、新会長の挨拶がありました。その後、以下の2件の特別講演が行われました。(特別講演の内容は、大会記念講演として本誌に寄稿いただいておりますので、詳細はそちらに譲ります。)小松伸也先生は非鉄合金の電気比抵抗についてご自身の系統的な実験結果に基づいて熱く語られ、櫻井繁樹氏は石炭について、その市場や利用に関する国内外での動向や取り組みなど広範にわたり講演されました。

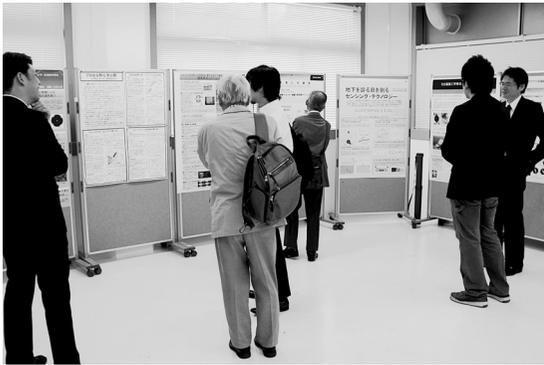
「非鉄合金の電気比抵抗」

関西大学名誉教授 小松 伸也 氏

「クリーンコールフロンティアを目指して」

財団法人 石炭エネルギーセンター 専務理事 京都大学 産官学連携フェロー
櫻井 繁樹 氏

最後に白井泰治教授より、来年度は6月2日(土)に百周年時計台記念館にて開催される予定であることが報告されました。





平成22年度水曜会会計報告

平成23年3月31日現在

収 入		支 出	
前年度繰越金	6,379,370円	会誌印刷代（製版・封筒・郵送料込）	
会 費	3,368,000	24巻3号	1,482,877円
会誌広告掲載料（製版代込）		水曜会大会経費（22年6月12日）	1,159,600
24巻3号	681,275	名簿発行費	2,754,980
名簿広告掲載料（製版代込）		名簿代金返戻	7,000
平成22年11月発行	415,925	編集委員会経費	59,241
名簿売上	1,487,320	会誌原稿料	150,000
会誌売上	4,820	会費返戻	4,000
水曜会大会懇親会費	245,000	通 信 費	
預金利息	2,780	（切手・後納郵便料・振込手数料）	246,465
		事務人件費	659,000
		封筒・文具・コピー代等	87,111
		資料整理アルバイト代	6,000
収 入 合 計	12,584,490円	小 計	6,616,274円
上記の通り会計報告致します。		次年度への繰越金	5,968,216円
平成23年6月4日		内訳 銀行普通預金	1,453,974
会計幹事 中 村 裕 之		銀行定期預金	4,500,000
以上の通り相違ございません。		郵便振替預金	3,420
会計監事（監査） 朝 倉 俊 弘		手 持 現 金	10,822
		支 出 合 計	12,584,490円

会 員 消 息

鉾山学教室卒業 60 周年同期会 報告 (昭和 26 年卒業生)

平成 23 年 5 月 7 日、昭和 26 年鉾山学教室を卒業した私達は卒業 60 年を記念して時計台内のレストランに集いました。

大学も 60 年経つと世の中の動きと共にすっかり様変わりして、赤煉瓦二階建ての教室も装いを新たにしてみました。

在学中は戦いに敗れてまだ連合軍の占領下にあり、日本の至る所が焦土化した中で衣食住に事欠き、鉾山での実地研修にも米を持参したものでした。

同期卒業の 32 名中、学位を取得したものが 9 名あったのも特筆すべきことかも知れません。

卒業 50 年記念のときは聖護院に 17 名が出席しましたが、年齢 80 を過ぎた今回は 9 名でした。(卒業後の物故者は 17 名です。)

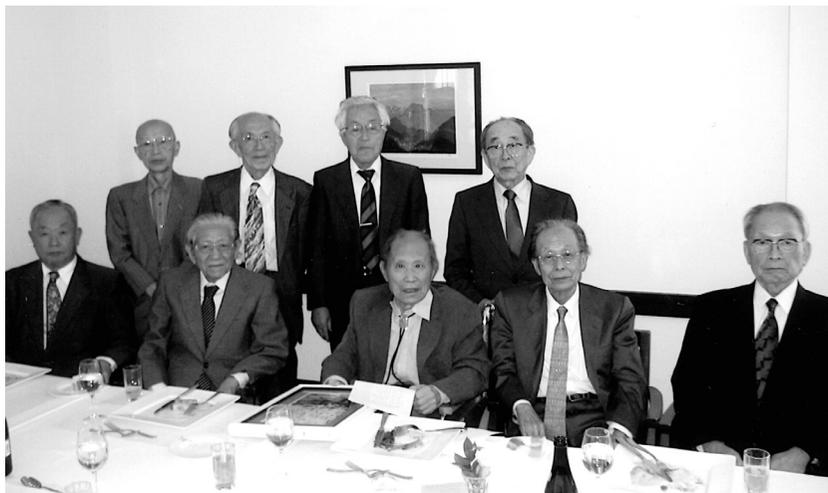
今回は加齢や疾病の他に東日本大震災の影響で欠席者が出たのも特色でしょう。

末筆ながら、水曜会のますますのご発展を祈念致します。

追記

当日の記念写真を貼付します。

(昭和 26 年卒業 二宮、小川 記)



大学時計台内のレストラン ラ・トゥールにて
前列左から 真嶋、津金、長原、佐原、岡町
後列左から 松永、大森、小川、二宮

冶金昭和 31 年組同窓会

平成 22 年 11 月 25 日，天候に恵まれた京都の花園駅前前に集まり，1 年半ぶりの再会を喜びあったのは喜寿を迎えた 8 名のメンバー（1 名後から参加）であった。

洛西の臨濟宗大本山妙心寺とその中の退蔵院，近くの等持院を訪ね久しぶりの京都の紅葉を愛でながらのそぞろ歩きであった。

夜妙心寺ご用達のあじろという料理屋で精進料理を味わいながらの宴会を行った。

夫々が近況，健康等を語り合い，今後の会の運営につ

いて意見があり集う所はやはり京都が良いとの結論になり，1 年半後の次回幹事を野村君とした。

泊まりは近くの花園会館で清潔なホテルであった。

次の日は絶好の行楽日和，人数も少ないので自由散策とした。

洛北大原の里を訪ねるグループもあり，小生は石井君と嵐山から京大本校へ足をのばした。吉田校舎で学生の授業風景を眺め，時計台記念館を経て北部キャンパスより北山を展望，グラウンドでのソフトボール見物と思わぬホームカミングデイとなった。

（昭和 31 年冶金学科卒 村上嗣郎 記）



大本山妙心寺にて 平成22年11月25日
左から 田畑，竹内，野村，海田，藤田，江藤，村上（石井後より参加）

会 員 通 信 欄

平成23年度水曜会大会への返信はがきには、会員の方々から多くのお言葉や近況報告を頂きました。ここにその一部を掲載致します。なお、文章を損なわない程度に表現を変えた部分もあることをお断りいたします。

浅田 幸吉（冶金，昭16）卒業後70年になり，同級生もいなくなりました。元気に過しています。

村上 陽太郎（冶金，昭17）お陰で元気に過しています。毎朝のウォーキングは続けています。又 NMC の「新素材・新技術」の毎月の執筆も楽しみながら続けています。家内も元気です。

三宅 敏夫（冶金，昭18年9月）同期生も少なくなり淋しい限りです。俳句など嗜みながら余生を過しております。

菅沼 常生（冶金，昭19）本年3月末をもって勤務を辞めました。（私立高槻高校・中学校）

荒川 武二（冶金，昭20）満89才の高齢者となり元勤務先の愛知製鋼の同属会社である全豊田自動車関連会社のOB 連中の中でも最高齢となりました。今暫らくの間お付合いを御願い申し上げます。

池田 保（冶金，昭21）今年で米寿になりますが、元気に過しています。日曜日にはテニスもやっています。

山崎 豊彦（鉱山，昭22）まだ元気にしています。東京では同窓会を6月に行っています。5人ぐらい集まります。皆様に宜しく。今後も日本のこの分野での人材が必要ですから、宜しくご活躍お願いします。

三谷 文夫（鉱山，昭23）馬齢を重ねて86年余。戦前・戦中・戦後の動乱の中をよくここまで生きてきたなあの思い、痛切です。まだ足腰はしっかりしております。

生長 克己（冶金，昭23）卒業以来63年悠々自適，老人会のお世話をして元気に過しています。

鷹取 正六（冶金，昭24）大正15年生まれで実社会より引退して，7年目になります。高血圧や前立腺などいろいろの成人病にかかっていますがバランスよく抑制していますので一応，元気です。社交ダンスをしていますが，これは，運動になると同時に頭の退化防止にと思っています。

鴛海 眞樹（鉱山，昭26）私はすでに定年退職していますが Toastmasters Club という語学（主体，英語）club に属しております。本部はカリフォルニアにあり，各国に支部があります。私は日本と共に台湾の大会に毎年参加，沢山のひとと交流することは楽しいことですね。

二宮 脩（鉱山，昭26）腰椎分離迂りの他は一応無難，歳なりの元気です。思考は疎疎，行動は鈍ながら前は見ていたいと思います。

松岡 秀夫（鉱山，昭27）年相応の心身の衰えは避けられませんが，何とか日々を過しています。毎年のクラス会を楽しんでおります。大会のご盛會を祈ります。

浅井 浩實（冶金，昭28）現役を退き既に16年，傘寿を越えたが，年相応ながら元気で消光しています。諸兄によりしく。

松村 嘉高（冶金，昭28）腰痛のため遠出を控えていますが，剪画に取組み，毎日を楽しく，忙しく過しています。

泉 泰通（冶金，昭29）ボランティアや家庭菜園で暇なしの生活をしています。皆様によりしく。

三輪 義人（鉱山，昭30）喜寿も過ぎ，傘寿も目の前です。元気な内にと，囲碁，ゴルフ，カラオケ，麻雀など趣味悠々の日々です。

佐藤 史郎（冶金，昭30）福島第一原子力発電所の事故故の推移を固唾を呑んで見守っている毎日です。「二度あることは三度ある!!」自戒をこめて。

長澤 元夫（冶金，昭31）お陰様で健康 孫共集めて野球の稽古など...

野村 悦二（冶金，昭31）海外メジャーの再編，新興国の台頭により，懸命の競争力強化に励んでおられる技術者の皆様の苦勞が偲ばれる此の頃です。健康を大事に過しています。

田中 孝一（冶金，昭33）他人事のように思っていた喜寿の齢になりました。時のたつのがますます早くなります。昨年，病氣しましたが回復し元気にしています。

森 孝夫（冶金，昭34）3月11日の東北・北関東地震の余震が未だに続いておりびくびくする毎日です。ご盛會をお祈り致します。

西田 米治（冶金，昭35）アインシュタインの言葉と式：「知的愚者は，物事をより大きく，より複雑にする。逆方向に進むには，少しの創造的才能と，とてつもない勇気が，必要である」と「 $E=mc^2$ 」。その含蓄を力不足ながら勝手に推察して，嘯みしめることの多い此の頃です。

赤井 慎一 (冶金, 昭36) 今年1月28日に「化合物半導体材料・デバイスに関する研究開発と産業貢献」に対し「応用物理学会関西支部貢献賞」を授与されました。しかしながら、あれほど親しんだ化合物半導体の世界も何か遠くになってしまいました。相変わらず晴耕雨読の毎日です。

岩崎 滋 (冶金, 昭36) 小松氏のご講演をお聞きしたいのですが、所用があって出掛けられません、申し訳ないです。

熊谷 忠彦 (鉱山, 昭37) 福島原発事故の処理をめぐって、吾国の原子力事業に携わる技術者の危機管理能力の低レベル度に嘆息しています。

遠藤 将一 (元教官 京大理, 昭38) 千葉科学大学を定年退職し、京都に戻りました。京大文学部の科目履修生として哲学、宗教学の勉強を始めました。

細田 義郎 (冶金, 昭39) 今年3月でアルバイト等全て退職致しました。

木村 篤良 (資源, 昭40) 退職し11年になり、現在は悠々自適の生活を楽しんでいます。

武藤 昭男 (資源, 昭40) 重晶石骨材入プレキャストコンクリート放射線遮へい建材の販売を7月から手がけます。(重晶石: 硫酸バリウム結晶)

横山 莞泰 (資源, 昭41) 2009年3月にJICA (国際協力機構) のシニア海外ボランティア (SV) として南部アフリカのマラウイから帰国して以来、JICA 近畿 SV-OV 会の世話役等をして過しています。

白井 秀明 (金属, 昭41) 37年入学-41年学部卒業の(37-41) みなよい会の面々は、昨年信州につづき、今年も山口へ旅行の予定です。

牧 武志 (資源, 昭42) 昨年末に磐城沖石油開発株を退職いたしました。同社の海底ガス田採掘用のプラットフォームが福島県沖沖合約40kmのところがありました。昨年度、27年間の操業を終了し、世界的にみても巨大なプラットフォームの撤去工事が無事完了できました。偶然ながら、今回の東日本大地震の約半年前に作業を終えた幸運に感謝しております。

岩坂 光富 (金属, 昭42) 退職後デジタルカメラをいじくりながらのんびりと過しております。今回の東日本大地震、原発事故で、日本の技術体系の制度疲労を痛感しました。大変革出来るかどうか? これからです。

加藤 雅典 (冶金, 昭42) 昭和42年冶金卒関東在住者の懇親会を4月6日に開催しました。

近崎 充夫 (金属, 昭43) 東日本大地震のため、愛知県に避難中です。2011.5.28 (土)

福田 隆 (金属, 昭43) 日本高圧力技術協会、JIS等の工業規格の制定、改訂業務についており、忙しくしています。

八十 致雄 (金属, 昭44) 日本刀の材質研究を進めています。最近この研究報告書の第一報を発刊しました。

池内 建二 (金属, 昭44) 係りの方、ご苦労様です。昨年3月に阪大を定年退職し、その後晴耕雨読を専らにしております。

服部 成雄 (冶金, 昭44) 目下、福島第一原発事故の収束につき海外技術も動員した支援に注力。

友田 陽 (冶金, 昭45) 還暦を学生諸君に祝ってもらい、後は軟着陸で静かに大学から消えようと思っていたところ、初の入院、鉄鋼協会会長、工学部長、そして東日本大震災と遭遇し、予想外の展開です。

藤本 満雄 (冶金, 昭46) 昨年 神鋼100%子会社のエヌアイウエルを退職しました。40年のサラリーマン生活を無事終えて、ホッとしています。

綿谷 秀次 (冶金, 昭46) 近藤先生のご逝去を悼みます。

若野 晃一 (金属, 昭46) 今年3月末でユニバーサル造船株の取締役を退任し、顧問として因島に生活の場を移しました。

郷 文明 (冶金, 昭47) リサイクルの事業に取り組んでいます。

福井 康司 (金属, 昭48) 東京が1/3、大阪が1/3各地の工場に1/3という毎日です。これからは海外出張も増えていきそうです。

中山 俊夫 (金属, 昭48) 不景気で困っています。

朝倉 俊弘 (資源, 昭49) 今年度は地球工学科長として多忙な毎日です。孫は、もうすぐ3人になります。

城戸 正憲 (冶金, 昭50) 学校勤務は退職し、僧侶の生活だけに今は専念しています。四季を感じる生活は楽しいです。

楠井 潤 (金属, 昭51) 2010年3月に、3年7ヶ月滞在したフランスより帰国し、大阪で働いています。

明珍 宗孝 (金属, 昭52) 福島支援業務中心の日々です。

宮脇 新也 (金属, 昭53) 東京での単身赴任生活も5年めに入りました。相変わらず「元気だけが取り得」です。

竹士 伊知郎 (冶金, 昭54) 昨年より畑違いの化学会社に勤務しております。“ものづくり”の基本はいつも同じであることを改めて認識する日々です。

道本 龍彦 (冶金, 昭55) 昨年は電気化学会溶融塩委員会にて講演および会誌「溶融塩および高温化学」に論文を掲載させていただくことができました。

及川 初彦 (冶金, 昭56) 厳しい状況の中、毎日方向性を見定めております。グローバル化は次々と進み、その対応に追われております。

安倍 研吾 (冶金, 昭57) 昨年末より東京近辺在住の同

級生（現メンバー5名）の会を始めました。1回/3ヶ月を目処に開催し、仕事を含めた近況報告、学生時代の懐かしい思い出話を花を咲かせています。

吉留 良史（資源、昭58）2009年11月から、ジャカルタの Kangean Energy Indonesia LTD. に出向しています。現在バリ島北方の Kangean 鉱区（Offshore）で天然ガス開発井5坑の掘削中です。

北河 久和（金属、昭59）かつての産業の米だった“鉄”もグローバル化の中で生き残りをかけて戦っています。50才になりましたが、日々“チャレンジ”でがんばっております。

木村 得彦（金属、昭61）昨年（2010年）7月に会社名が JX 日鉱日石金属(株)に変わりました。また、今年（2011年）3月に日立加工工場から磯原加工工場に異動となりました。とたんに3月11日の震災に見舞われました。茨城はあまり報道されませんでした。相当に被災しました。放射線のこともあり、3月11日からの10日間は必死で復旧に努めました。

田畑 仁（金属、昭63）先日、卒業以来初めて、東京で開催されていた同期の集まりに参加致しました。皆、学生の頃とほとんど変わっておらず、感動致しました。

西尾 裕司（金属、平成1）痛くない、削らない、神経を残す最新の虫歯治療『Doc's Best Cements』を実施しています。詳しくは“千里中央にしお歯科”ホームページで。

山口 潔人（資源、平3）7月14日～29日まで一時帰国することになっております。

大石 祖耀（金属、平3）お世話になります。おかげさまで日本、中国の両方で事業展開しています。この5月

にも、中国で新しい電子機器関連の会社を立ち上げ頑張っております。

山邊 昌太郎（金属、平4）3.11以降、これからの生き方についてより強く考えるようになってきています。

北村 典子（金属、平6）娘が生まれました。

武内 淳（資源、平7）昨年より、年4ヶ月ほど仕事でベトナムに滞在しております。現在も、ハノイにて道路関係の業務に携わっています。返事遅れ申し訳ありません。

山下 彰（資源、平8）水曜会誌も希望者には PDF 配信に切り替えてはいかがですか？

高瀬 嗣郎（資源、平10）津波の防災、数値解析の業務をやっております。この度の大震災で大きく津波がクローズアップされており、仕事も状況が大きく変化しています。技術をもって、社会貢献していきたいと思えます。

生田 直子（地球工、平14）2011年4月から金沢大学大学院博士課程に入学しました。

山本 健太（地球工、平16）原子力発電所の津波対策に鋭意取り組んでおります。

松長 剛（社会専攻社会人博士後期、平20）病気で3年目ですが、ゆるやかに回復してきております。焦らずに前を見ることが今の目標です。

古澤 大介（物理工、平23）日々、勉強、研究に励んでおります。

段野 勝（元教官）通信欄で皆様の消息を楽しく拝読しています。御盛会をご祈念申し上げます。

山口 正治（元教官）元気です。春、秋京都、夏、冬海外の生活を enjoy しております。貴会のますますのご発展を心よりお祈り申し上げます。

平成 23 年 3 月 卒 業 者 名 簿

旧 資 源 系

学部卒業者

氏 名	研究論文題目	就 職 先
応用地球物理学分野 (旧 ジオフィジクス分野)		
今 井 優 希	エシェロン構造の形成と応力場の関係の研究—MPS法による数値シミュレーション	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
樹 田 行 弘	水中音響探査記録における平面波分解の研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
田 中 伸 明	海底下地殻における地震発生時の海底変形に関する研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
永 田 光	電磁気探査における数値フィルタを用いたデータ処理	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
巳 波 壮 馬	桜島火山昭和火口のマグマ供給システムと2009年噴火時地殻変動の研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
地質工学分野 (現 環境資源システム工学分野)		
辻 真 也	異なる圧力条件下でのCO ₂ /Water/Silica界面における濡れ現象の分子動力学シミュレーション	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
中 務 真 志	モデリング手法を用いた北海道幌延地域における長期地質変動評価	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
堀 内 侑 樹	光ファイバーセンシングによるCO ₂ 注入時の岩石コアのひずみ測定	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
三 上 陽 平	分子動力学シミュレーションによるガスハイドレートの相変化に関する研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
地殻開発工学分野		
大 江 悠 真	X線CT法による三軸圧縮下における不均質岩石のひずみ場の測定	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
樽 井 直 良	単一フラクチャー内の原油回収率向上に関する数値解析的検討	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
當 麻 玄 太	石灰石鉱山における発破低周波音の低減に関する基礎的検討	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
山 川 彩 香	ボアホールブレイクアウトの発生に対する中間主応力の影響について	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
ジオメカトロニクス分野 (現 計測評価工学分野)		
北 村 希	各種要因がトンネル覆工のひび割れ分布に与える影響評価	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
高 田 尚 子	交流磁界を用いた鋼線材の磁気応力測定について	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
中 桐 寛 仁	埋設鋼材のガイド波検査に関するFDTDシミュレーションによる検討	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)

氏 名	研究論文題目	就 職 先
地殻環境工学講座		
杉 村 美 緒	トンネルの情報化設計・施工における切羽前方地質の長区間予測	京都大学大学院 (修士課程進学)
三 原 祥 平	岩盤のグラウト充填過程の定量的評価に基づく岩盤透水性の改良予測	京都大学大学院 (修士課程進学)
井 上 惇	節理のせん断強度に及ぼすグラウチング効果の数値解析モデルの構築	京都大学大学院 (修士課程進学)
良 元 泰 雄	打撃削孔時における岩盤破壊挙動の個別要素法シミュレーション	京都大学大学院 (修士課程進学)
資源エネルギーシステム学分野		
雨 宮 崇	第一原理引張試験による鉄粒界の水素脆性機構の解明	京都大学大学院 (修士課程進学)
泉 航	一軸圧縮状態における花崗岩中の黒雲母のキンクの発生及び進展	京都大学大学院 (修士課程進学)
音 松 侑 貴	第一原理計算によるマグネシウムの転位運動に及ぼすCa, Alの影響	京都大学大学院 (修士課程進学)
益 永 康 平	Mg双晶と転位の相互作用に関する分子動力学シミュレーション	京都大学大学院 (修士課程進学)
松 村 聡	ナノポーラスAu/バルクAuマイクロアキュエータの作製	京都大学大学院 (修士課程進学)
資源エネルギープロセス学分野		
建 部 勝 利	水膜流に衝突する棒状水噴流の流動特性	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
西 村 祥 彦	対向液圧深絞り法における圧力媒体による摩擦低減効果に関する実験的研究	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
細 川 尚 宏	Mg合金板の繰り返し反転負荷時の変形特性に関する実験的研究	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
吉 本 宗 司	高温固体面に連続衝突する二液滴の変形挙動および沸騰現象	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
ミネラルプロセッシング分野		
岩 村 宗千代	下水汚泥のメタン発酵に関する基礎研究—熱およびアルカリによる前処理の影響—	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
柴 田 茉莉江	中温メタン発酵におけるKCl及びCaCl ₂ の影響	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
菊 池 賢 太	希薄H ₂ SがCH ₄ ハイドレート生成に与える影響	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
本 村 隼 一	ナノポーラスRu触媒の創製	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
柳 澤 悟	浮遊選別法による微粒石灰石の高白色度化に関する基礎的研究	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
山 本 太 応	ナノポーラスFe触媒の創製	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)

修士課程修了者

氏 名	研究論文題目	就職先
応用地球物理学分野 (旧 ジيوفジクス分野)		
川 林 徹 也	反射法地震探査におけるフレネルボリュームマイグレーション適用性の研究	石油資源開発(株)
坂 野 貴 仁	高音波速度異常を利用した地層水中のガス飽和度推定手法の研究	国際石油開発帝石(株)
安 井 佑 介	アンテナ形状を考慮した地中レーダの可探深度改善に関する研究	京都府
今 村 尚 人 (平成23年9月 期間短縮修了)	海底熱水鉱床に対する電磁探査手法の基礎研究	京都大学大学院工学研究科 (博士課程進学)
岡 本 京 祐 (平成23年9月 期間短縮修了)	地震波散乱現象の観測による地域応力場変化推定法の研究	京都大学大学院工学研究科 (博士課程進学)
地質工学分野 (現 環境資源システム工学分野)		
池 田 達 紀	表面波探査による改良地盤の巨視的S波速度構造の推定	京都大学大学院工学研究科 (博士課程進学)
牧 村 大	Application of Molecular Simulation to CO ₂ -EOR: Interfacial Phenomena and Phase-Equilibria (分子シミュレーションのCO ₂ -EORへの適用: 界面現象と相平衡)	シュルンベルジェ(株)
宮 本 広 樹	新潟中越地域の浅部変形と深部基盤形状の解析	国際石油開発帝石(株)
山 田 達 也	溶解促進型CO ₂ 地中貯留の実験的研究	国際石油開発帝石(株)
地殻開発工学分野		
丹 羽 智 哉	超臨界二酸化炭素を用いた花崗岩の水圧破碎実験	中部電力(株)
ジオメカトロニクス分野 (現 計測評価工学分野)		
駒 嶺 聡 史	磁気モーメント法による履歴性を考慮した磁気探傷のシミュレーション	トヨタ自動車(株)
野 口 貴 史	キャパシタンスCTシステムの設計と開発	(株)リコー
前 田 龍 一	地山の違いによる長尺鏡ボルトの補強効果に関する解析的検討	鉄道建設・運輸施設整備支援機構
保 田 尚 俊	トンネルの地震時挙動に関する基礎的研究	京都大学大学院工学研究科 (博士課程進学)
地殻環境工学講座		
吉 川 輝	地球統計手法を用いたトンネル切羽前方地質の統合的予測システムの構築	マースジャパン(株)
中 村 哲 也	グラウチングによる節理のせん断強度の改良メカニズムに関する研究	阪神電気鉄道(株)
資源エネルギーシステム学分野		
上 田 貴 康	Solid Solution Softening and Enhanced Stretch Formability in Mg Alloys (マグネシウム合金における固溶軟化と張り出し成形性向上)	トヨタ自動車(株)
北 川 彰 紀	Fundamental Studies on Mixed Gas Hydrate for Gas Separation (ガス分離のための混合ガスハイドレートの基礎研究)	電源開発(株)
高 橋 真 生	Fabrication and Functional Properties of Nanoporous Ni and Au (ナノポーラスNiとAuの作製とその機能特性評価)	旭化成(株)
中 澤 拓 己	Atomic Simulations of Grain Boundary Plasticity in Metallic Materials (金属材料における粒界塑性の原子シミュレーション)	オムロン(株)

氏 名	研究論文題目	就職先
資源エネルギープロセス学分野		
萩原 知洋	Hydrodynamics and Boiling Phenomena of Single/Multiple Droplets Impinging on Hot Solid	トヨタ自動車(株)
仮屋崎 祐太	Work-Hardening Behavior of a Mg Alloy Sheet during Cyclic Loading	JFEスチール(株)
北島 達	Experimental Evaluation of the Fluid-Lubrication Effect during Square-Cup Sheet Hydroforming	関西電力(株)
鈴木 悠平	Flow Characteristics of a Circular Water Jet Impinging on a Moving Surface Covered with Water Film	住友金属工業(株)
ミネラルプロセッシング分野		
栗山 歩	Investigations of Methane Fermentation Fed with Various Substrates and Additives (さまざまな基質と添加物を用いたメタン発酵に関する研究)	(株)神戸製鋼所
澁谷 誠幸	Molecular Dynamics Simulations for Effects of Cage Occupancy on Gas Hydrate Structure Stability (ガスハイドレート構造安定性に及ぼす充填率変化の影響に関する分子動力学シミュレーション)	三菱重工業(株)
前西 遼	Analysis on microcrack development in granite subjected to thermal changes (温度変化により形成される花崗岩中のマイクロクラックの進展パターン解析)	古河スカイ(株)

博士後期課程修了者

氏 名	研究論文題目	就職先
地質工学分野 (現 環境資源システム工学分野)		
宮川 歩夢	個別要素法を用いた地質構造モデリング手法の付加体への適用	(独)海洋研究開発機構
金 鍾旭	CO ₂ 地中貯留における貯留層特性と貯留量評価の実験とシミュレーション研究	韓国電力公社

博士学位授与者 課程博士

氏 名	研究論文題目	主 査	取得年月日	備 考
地質工学分野 (現 環境資源システム工学分野)				
宮川 歩夢	個別要素法を用いた地質構造モデリング手法の付加体への適用	松岡 俊文	平成23年3月23日	
金 鍾旭	CO ₂ 地中貯留における貯留層特性と貯留量評価の実験とシミュレーション研究	松岡 俊文	平成23年3月23日	

博士学位授与者 論文博士

氏 名	研究論文題目	主 査	取得年月日	備 考
ジオメカトロニクス分野 (現 計測評価工学分野)				
千代 啓三	場所打ちライニング工法によるトンネル掘削時の力学挙動に関する研究	朝倉 俊弘	平成23年3月23日	平成7年 京都大学大学院工学研究科土木工学専攻

旧 金 属 系

学部卒業者

氏 名	研究論文題目	就 職 先
材料設計工学分野		
池 田 剛 介	銀ナノ粒子上へのスズ被覆の研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
金 子 尚 樹	ニッケルナノワイヤーの蓄電池合剤電極への応用	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
島 田 康 気	蓄電池反応下での活物質・電解液界面の構造解析	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
高 田 宜 典	蓄電池反応下での電極活物質のその場構造解析	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
西 岡 達 矢	コヒーレントX線回折によるランダム系物質の局所対称解析	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
表面処理工学分野		
木 村 駿 伺	化学溶液堆積法を用いたZnS膜の作製	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
中 村 彰 宏	ポーラス表面を有するプロトン伝導型電解質の作製及び電極性能の評価	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
丸 山 翔	雰囲気真空にした場合のチタンの熔融塩電解	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
野 田 陽 平	LaPO ₄ への各種元素のドーピング可能性及び電気伝導特性への寄与	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
プロセス設計学分野 (現 物質情報工学分野)		
高 橋 博 希	安定な合金表面構造の探索手法の開発	京都大学経営管理大学院 (修士課程進学)
寺 田 怜 史	手のひらEPMAの開発	(有)エックスブリッジテクノロジー
花 園 雄 三	Mn K β X線スペクトルの配位数効果	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
山 岡 正 和	第一原理計算に基づく合金の電子状態設計	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
上 村 建志郎	コロイドの共鳴周波数に関する研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
マイクロ材料学分野 (現 ナノ構造学分野)		
則 包 一 成	陽電子消滅法を用いた低炭素鋼のTiC析出挙動の研究	京都大学大学院 (修士課程進学)
浜 坂 啓 司	Si基板とCu薄膜界面のバリア層に及ぼす熱処理雰囲気中酸素濃度の影響	京都大学大学院 (修士課程進学)
松 本 卓 也	スパットCu膜の配向性に及ぼす基板表面エネルギーの影響	京都大学大学院 (修士課程進学)
森 川 健 二	希薄Fe合金における格子欠陥回復挙動の陽電子寿命法による研究	京都大学大学院 研究生
林 徳 樺	共析鋼パーライト組織の陽電子消滅法を用いた評価	京都大学大学院 (修士課程進学)

氏 名	研究論文題目	就 職 先
先端材料物性学分野		
栗山公威	Au斜め蒸着による単原子接点の作製と観察	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
高橋篤史	Mg合金の室温におけるナノ接点形成	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
平松良朗	金属ナノギャップの高バイアス安定性	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
藤本裕磨	室温におけるFe原子サイズ接点のコンダクタンス	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
森健太	Au(111)面に現れる炭素ナノ構造の解明	京都大学大学院人間・環境 学研究科 (修士課程進学)
量子材料学分野		
岩崎航	逆蛍石型リチウム複合酸化物のイオン伝導への固溶元素効果	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
宋天明	化合物半導体界面におけるバンドオフセットの理論的検討	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
野口哲寛	ランタンジャーマネートの酸化物イオン伝導機構の理論計算	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
前川伴也	データマイニングによる二元系化合物の融点予測手法の開発	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
松延尚矢	PLD法によるZnO-MgO薄膜の作製と結晶構造評価	京都府公立学校教員 (高校数学)
結晶物性工学分野		
末吉亮太	La ₂ Ni ₇ の水素化サイクルにおける劣化機構	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
西村健太郎	合金化溶融亜鉛めっき鋼板中のFe-Zn系金属間化合物相の変形挙動	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
西村卓也	Ni ₃ Al単結晶マイクロピラー圧縮変形	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
長谷川喜彦	L1 ₂ 型Pt ₃ Al単結晶の降伏応力の温度依存性と変形組織	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
藤井紀志	固体酸化物燃料電池燃料極側三相境界近傍の微細構造変化	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
構造物性学分野		
佐藤祐也	超強圧延したFCC金属の集合組織に及ぼす積層欠陥エネルギーの影響	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
高橋弘	低炭素マルテンサイト鋼の水素脆性と微視組織の関係	(株)オアシスソリューション
谷口聡	Al-Si合金の巨大ひずみ加工に伴うSiの強制固溶と時効析出	東京大学工学系研究科マテリアル工学専攻(修士課程進学)
陳美伝	オーステナイト系ステンレス鋼における加工誘起マルテンサイト変態と粒内局所ひずみ分布の関係	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
吉野公太	超微細結晶粒組織を有する極低炭素IF鋼の深絞り性と変形組織の発達	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)

氏 名	研究論文題目	就 職 先
先端材料機能学分野		
今 西 朗	DyBCOコーテッドコンダクターの引張負荷ひずみ下における臨界電流変化と不可逆ひずみ	京都大学大学院工学研究科(修士課程進学)
前 澤 佑 介	ZrCuAl金属ガラスにおける微細組織とシャルピー値の関係	京都大学大学院工学研究科(修士課程進学)
又 野 卓	コーテッドコンダクターの超伝導層及び発泡金属のヤング率測定	京都大学大学院工学研究科機械系(修士課程進学)
光 原 克	TRIP鋼板GAコーティング層の多重破断挙動に及ぼす調質圧延の影響	住友商事(株)
磁性物理学分野		
赤 坂 一 行	六方晶フェライトのメスバウア効果	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
岩 竹 佑 樹	逆スピホール効果による磁場勾配誘起スピン流の検出	京都大学大学院工学研究科(修士課程進学)
藤 阪 拓 道	高压条件下での η カーバイド型窒化物の合成	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
渡 邊 誠	遍歴電子フラストレート磁性体 YMn_2 の単結晶育成とその物性	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
鈴 木 遼 平	η -カーバイド型炭化物 $M_3M^e_2M^dC$ の合成	京都大学大学院工学研究科(修士課程進学)
古 澤 大 介	幾何学的フラストレーションを起こしうる遍歴電子ホウ化物の物性探索	東京大学大学院工学系研究科(修士課程進学)
機能構築学分野		
内 田 翔	真空紫外光によるアミノ基終端化単分子膜のサブミクロン加工	京都大学大学院工学研究科(修士課程進学)
駒 井 琢 也	シリコン表面終端ニトロフェニル基の可視光還元	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
首 藤 俊 也	還元拡散法によるCu-Zn合金皮膜形成挙動	京都大学大学院工学研究科(修士課程進学)
根 上 将 大	音叉型水晶振動子を用いたイオン液体中位相変調AFMの開発	京都大学大学院工学研究科(修士課程進学)
李 在 眞	真空環境下でのイオン液体浴金属電解	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
エネルギー社会工学分野		
梶 原 崇 志	酸化マグネシウム存在下における水、二酸化炭素、水素の反応	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
柴 田 紘 平	酸化亜鉛と酸化スズの混合物および多層膜の光触媒能	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
谷 達 也	Ag ₃ PO ₄ とWO ₃ による光触媒反応の磁場効果	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
林 洋 平	湿式法で作製したビスマス-スズ酸化物の光触媒能評価	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
藤 井 智 也	Naフラックス法により作製した β -MoSi ₂ 粉末の相安定性	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
諸 富 恵 一 朗	FeOとCu,Fe,Ni,Mnとのメカニカルミリング	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)

氏 名	研究論文題目	就職先
材料プロセス科学分野		
久保雄輝	AlおよびAl合金電析における添加剤の影響	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
坂本遼平	Al基板上へのポリスチレンコロイド結晶成長	京都大学大学院工学研究科(修士課程進学)
杉之原真	ルチル型TiO ₂ からなる逆オパール・フォトニック結晶の電析	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
常松裕史	塩基性水溶液からのCuSCN薄膜の電析	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
成田論一郎	Cu-Al酸化物薄膜の電解析出	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
福井宏史	アンモニア水溶液からのAl添加ZnO製膜	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
山下瑛	三次元ポーラス構造をもつアルミニウムの直接電析	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
プロセス熱化学分野		
川中清之	メカニカルミリングによるリチウム電池用正極材LiFePO ₄ の合成	(株)アスパーク
伊奈康二	CaO系スラグ中への塩素溶解度	経済産業省
鍛冶本昌孝	廃アルカリ電池からの亜鉛の回収	トヨタ自動車(株)
栗林翔	固液共存スラグへの塩素の溶解	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
中崎亮	ジルコニア固体電池によるLiFePO ₄ の標準生成自由エネルギーの測定	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
福西宗吾	LiFePO ₄ の合成法	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
山本悠司	廃アルカリ電池からのカリウムと水分の分離回収	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)
横関直樹	Na ₂ O-MoO ₃ -La ₂ O ₃ 系状態図	京都大学大学院エネルギー科学研究科(修士課程進学)

修士課程修了者

氏 名	研究論文題目	就職先
材料設計工学分野		
足立毅郎	Mgイオン電池正極材料としてのスピネル型MgCo ₂ O ₄ の研究	(株)神戸製鋼
岡谷基弘	超短パルスコヒーレント回折によるイメージング技術の基礎研究	新日本製鐵(株)
塩見昌平	ナノ粒子を用いた赤色塗薬の研究	京都大学大学院工学研究科(博士後期課程進学)
仙石晃大	銅ナノ粒子を用いた赤色塗薬の研究	住友金属工業(株)
雪谷俊介	金属ガラスの緩和構造についての研究	三井金属

氏 名	研究論文題目	就職先
表面処理工学分野		
林 彰 平	真空溶融塩電解によるカルシウムおよびチタンの製錬	京都大学大学院工学研究科 (博士後期課程進学)
藤 川 皓 太	すずりん化合物を用いたリン分圧制御によるZn ₃ P ₂ 薄膜の作製	サンディスク(株)
山 本 樹	プロトン伝導性バリウムジルコネートの焼結性, 伝導度に対するSrによる部分置換の影響	京都大学大学院工学研究科 (博士後期課程進学)
プロセス設計学分野 (現 物質情報工学分野)		
大 阪 友 也	Pt-Rh合金の熱膨張効果に関する理論研究	JFEスチール(株)
土 田 佳 孝	Pt-Pd-H合金の相安定性の理論研究	(株)キーエンス
森 川 悠 佑	全反射蛍光X線分析法の基礎研究	(株)コルゲ
マイクロ材料学分野 (現 ナノ構造学分野)		
上 原 脩 司	Cu(Ti)合金薄膜を用いたガラス基板上での配線形成技術の開発	住友金属工業(株)
金 谷 徹	陽電子消滅を用いた高温クリープ損傷過程のその場観察	住友金属工業(株)
永 池 諒 彦	陽電子消滅法による6000系Al合金の析出物形成時の空孔挙動の研究	日新製鋼(株)
正 木 幹 人	Si-ULSIデバイスにおけるCu(Ti)/誘電体界面の密着性評価	本田技研工業(株)
先端材料物性学分野		
大 橋 裕 介	金属単原子接点とガス原子との相互作用	古川スカイ(株)
垣 内 孝 則	貴金属表面での炭素蒸着によるカーボンナノ構造形成メカニズムの解明	三洋電機(株)
匂 坂 多佳実	微細加工MCBJ電極の開発とその単分子コンダクタンス測定への応用	住友電気工業(株)
量子材料学分野		
今 林 宏 樹	PLD法によるNi添加 γ -Ga ₂ O ₃ の合成と評価	関西電力(株)
喜 多 祥 章	ランタンシリケートの酸化物イオン拡散に関する第一原理計算	(株)大阪チタニウムテクノロジー
田 中 宏 樹	II族酸化物における酸素空孔準位の理論的検討	(株)MARUWA
西 尾 尚 己	逆蛍石型リチウム複合酸化物の合成と電気伝導度評価	(株)東芝
結晶物性工学分野		
井 上 雄 貴	(La, Sr)MnO ₃ 電極/イットリア安定化ジルコニア電解質界面の微細構造と電池特性	伊藤忠丸紅鉄鋼(株)
落 合 祐 司	M ₅ Si ₃ 型遷移金属シリサイドの力学特性	日産自動車(株)
田 中 慎 哉	FePdの結晶磁気異方性に及ぼす温度, 軸比及び外部磁場の効果	(株)IHI
LI ZHENGYU	Ba ₈ Ga ₁₆ Ge ₃₀ /Sr ₈ Ga ₁₆ Ge ₃₀ クラスレート化合物界面の熱伝導フォノン散乱	(株)小松製作所

氏 名	研究論文題目	就 職 先
構造物性学分野		
Aries Setiawan	Microstructure Evolution in Ultra-low Carbon Steel Severely Deformed by Hot Torsion	インドネシアに帰国
高 木 健	純アルミニウムの巨大ひずみ加工に伴う転位密度変化の精密な測定	川崎重工業(株)
田 中 孝 明	純アルミニウム双結晶の強度におよぼす粒界性格・構造の影響	JFEスチール(株)
宮 崎 達 也	正の混合エンタルピーを有するAg-Ni系, Nb-Zr系およびTi-Zr系の巨大ひずみ加工に伴う非平衡相の形成	ローム(株)
先端材料機能学分野		
荒 尾 亮	Zr ₇₀ Cu ₂₅ Pt ₅ およびZr ₅₀ Cu ₄₀ Al ₁₀ 金属ガラスの晶出初期構造のASWAXS解析	シャープ(株)
戸 田 徳 大	コーテッド系高温酸化物超伝導体における臨界電流の引張負荷ひずみ依存性	富士通(株)
藤 岡 和 宏	GA鋼板コーティング層の多重破断挙動と強度に及ぼす調質圧延ならびに基材高強度化の影響	住友軽金属工業(株)
磁性物理学分野		
金 田 理 史	長距離相互作用イジングスピングラスR _x Y _{1-x} Ni ₂ Ge ₂ (R = Gd, Tb, Dy)の相転移現象	住友金属鉱山(株)
高 橋 颯	絶縁体における逆スピンゼーベック効果およびスピン流のホール効果の観測	(独)産業技術総合研究所
寺 澤 慎 祐	η -carbide型遷移金属窒化物Fe ₃ Mo ₃ N及びその周辺物質の物性	日立金属(株)
富 岡 祐 岐	磁性金属クラスタ化合物V ₄ S ₉ Br ₄ の新奇な物性	(株)小松製作所
機能構築学分野		
佐々木 出	イオン液体中における金属Mgのアノード溶解	パナソニック(株)
藤 村 元 彦	音叉型水晶振動子を用いたイオン液体中FM-AFMの開発	パナソニック(株)
山 城 宏 介	分子被覆金ナノ粒子の配列構造形成とシリコン表面への固定化	ローム(株)
エネルギー社会工学分野		
上 原 昂	環境配慮型商品の選択における環境意識の影響	高等学校教師
坂 口 和 也	Cuドーブ型タンゲステン酸化物薄膜の光触媒能評価	三菱マテリアル(株)
芝 大 輔	Ti/W系のメカニカルミリングによる合金化の研究	京都大学大学院エネルギー科学研究科(博士課程進学)
難 波 一 成	炭酸飲料における振動履歴効果の研究	三菱重工業(株)
三 宅 裕 之	家庭系廃プラスチックリサイクルの評価	半導体エネルギー研究所
脇 坂 孝	マイクロ波加熱を用いたシリカと炭素の反応について	カルソニックカンセイ(株)

氏 名	研究論文題目	就職先
材料プロセス科学分野		
植田 毅	電解法による炭素担持白金触媒の作製	JFEスチール(株)
杉浦 崇	塩基性浴を用いるCdTe電析と熱処理による結晶粒成長	双日(株)
塩見 卓	ジメチルスルホン-AlCl ₃ 浴からのAl電析と熱処理を組み合わせたNi基板上へのアルミナイドコーティングの作製	京都大学大学院エネルギー科学研究科(博士後期課程進学)
田力 誠也	アルミニウム電析と熱処理を用いるチタン合金の耐酸化性表面処理	UBS証券(株)
プロセス熱化学分野		
今西 正起	ジルコニア固体電池による酸化物融体のサルファイドキャパシテイ測定	新日本製鐵(株)
林 広明	CaO系スラグ中へのCaS溶解度	JFEスチール(株)

博士後期課程修了者

氏 名	研究論文題目	就職先
材料設計工学分野		
Mary Donnabelle Lirio Balela	Syntheses of Metallic Cobalt Nanoparticles and Nanowires by Electroless Deposition	University of Philippines
先端材料物性学分野		
堀口 和孝	機械制御破断接合法を用いた単分子接合の電子およびスピン輸送特性に関する研究	(株)東芝
量子材料学分野		
松本章史	First principles molecular dynamics calculations for superionic phase transition in Bi ₂ O ₃	エスオーシー(株)
村田秀信	Local Atomic and Electronic Structures of Solutes in Hydroxyapatite	日本学術振興会特別研究員(PD)(京都大学工学研究科)
CHOI, Minseok	Defect physics of perovskite oxides by first principles calculations	University of California, Santa Barbara
結晶物性工学分野		
原田俊太	空孔規則配列を含むレニウムシリサイドの結晶構造と熱電変換特性	名古屋大学大学院工学研究科マテリアル理工学専攻
中本貴之	金属粉末積層造形法における造形物の高性能化に関する研究	大阪府立産業技術総合研究所
磁性物理学分野		
山崎照夫	Novel phenomena caused by the chiral order in metallic magnets	東京大学物性研究所
機能構築学分野		
桑原孝介	ナノインプリントによる微細加工とその応用	(株)日立製作所
関本英弘	チタンを利用した表面処理プロセスに関する高温物理化学	岩手大学工学部
エネルギー社会工学分野		
原康祐	Mechanism of Phase Selection during Mechanical Milling (メカニカルミリング中における生成相決定メカニズム)	東北大学金属材料研究所研究員

博士学位授与者 課程博士

氏 名	研究論文題目	主 査	取得年月日	備 考
材料設計工学分野 Mary Donnabelle Lirio Balela	Syntheses of Metallic Cobalt Nanoparticles and Nanowires by Electroless Deposition	松 原 英一郎	平成23年9月26日	
先端材料物性学分野 堀 口 和 孝	機械制御破断接合法を用いた単分子接合の電子およびスピン輸送特性に関する研究	酒 井 明	平成23年3月23日	
量子材料学分野 松 本 章 史	First principles study on structure and superionic transition of bismuth oxides	田 中 功	平成23年3月23日	
村 田 秀 信	Local Atomic and Electronic Structures of Solutes in Hydroxyapatite	田 中 功	平成23年3月23日	
CHOI, Minseok	Defect physics of perovskite oxides by first principles calculations	田 中 功	平成23年3月23日	
結晶物性工学分野 中 本 貴 之	金属粉末積層造形法における造形物の高性能化に関する研究	乾 晴 行	平成22年9月24日	
原 田 俊 太	空孔規則配列を含むレニウムシリサイドの結晶構造と熱電変換特性	乾 晴 行	平成23年3月23日	
磁性物理学分野 山 崎 照 夫	Novel phenomena caused by the chiral order in metallic magnets	中 村 裕 之	平成22年9月24日	
機能構築学分野 桑 原 孝 介	ナノインプリントによる微細加工とその応用	杉 村 博 之	平成23年3月23日	
関 本 英 弘	チタンを利用した表面処理プロセスに関する高温物理化学	杉 村 博 之	平成23年3月23日	
エネルギー社会工学分野 原 康 祐	Mechanism of Phase Selection during Mechanical Milling (メカニカルミリング中における生成相決定メカニズム)	石 原 慶 一	平成23年3月23日	

水曜会誌卒業年次幹事制について

水曜会では、下記のような付則にもとづき卒業年次幹事を委嘱しております。年次幹事には卒業の年次ごとに金属系、資源系より各1名の年次幹事を定め、各系同年次会員の連絡先の掌握や同年次会員を代表して水曜会運営へのご協力をお願いすることになります。年次幹事にご就任頂く会員の方々には、水曜会の活動をより充実したものとするため、何卒ご協力の程お願いいたします。

水曜会年次幹事に関する付則

(目 的)

第1条 水曜会の円滑な運営のため年次幹事を定め、水曜会会長は次の任務を依頼する。

1. 同年次会員の連絡先の掌握、
2. 同年次会員を代表して水曜会運営への協力

(定 員)

第2条 年次幹事を各卒業年次ごとに旧資源系（鉱山）1名、旧金属系（冶金）1名を定めるものとする。

(任 期)

第3条 任期は2年とし、重任は妨げないものとする。

(委 嘱)

第4条 年次幹事の選任は、同年次会員の推薦により会長が委嘱するものとする。

この付則は平成15年6月14日より施行する。

逝 去 会 員

平成22年10月22日	山本 俊二	昭26・冶
平成22年10月27日	広野修一郎	昭32・鉱
平成22年2月4日	小瀧 昌治	昭25・冶
平成22年11月22日	神尾 恭一	昭33・資源
平成23年3月26日	菊地 宏吉	特別名誉会員
平成23年4月1日	近藤 良夫	昭20・冶 特別名誉会員
平成23年7月	岡 輝男	昭23・冶
平成19年3月	藤原 正二	昭42・金
平成23年3月21日	和田 善雄	昭45・資源
平成23年6月7日	橋本 昭弘	昭43・冶
平成22年9月	今井 一彦	昭21・冶
平成22年12月25日	福井 泉	昭28・冶
平成22年9月20日	団 智之	昭27・鉱
平成23年2月11日	白川 真弘	昭25・鉱
平成23年6月24日	奥谷 恒久	昭28・冶
平成23年7月29日	末正 節夫	昭27・冶
平成20年10月	波多野農一	昭28・冶旧制
平成22年11月15日	木村 光弘	昭40・資源
平成23年1月16日	晝間 岳	昭45・冶
平成23年1月10日	大西 昭宣	昭42・冶
平成22年8月14日	阪本 好司	昭31・鉱
平成23年1月6日	寺前 章	昭18・冶
平成22年10月29日	赤澤 正久	昭30・冶
平成22年12月21日	荒木富太郎	昭19・冶
平成23年1月23日	藤井 洋二	昭31・鉱
平成22年12月7日	賀川 鐵一	昭36・鉱
平成23年4月7日	北神 康司	昭36・鉱

平成22年8月19日	高橋 明彦	昭44・冶
平成22年10月22日	尾形 宏靖	昭23・鉱
平成23年4月2日	石井小太郎	昭26・冶
平成22年	古賀五百里	昭16・採鉱
平成22年9月1日	鈴木 章夫	昭47・資源
平成20年12月1日	本間 良治	昭33・鉱
平成23年3月6日	高嶋 宏	昭15・冶
平成22年8月	川崎 実	昭46・冶
平成23年8月25日	堀池 嘉一	昭27・鉱
平成23年6月23日	長谷川雅志	平7・資源
平成23年9月29日	岩瀬 正則	昭46・冶
平成23年9月23日	水田 善博	昭21・冶
平成23年11月	藪内 聰	平14・資源

教 室 報 告

教員人事

<旧資源系>

平成23年1月1日	嶋本 敬介	助教に採用
平成23年3月31日	深堀 大介	助教 辞職
平成23年4月1日	小池 克明	教授に採用
平成23年4月1日	奈良 禎太	助授に採用

<旧金属系>

平成23年2月1日	今宿 晋	助教に採用
平成23年3月1日	土井 俊哉	准教授に採用
平成23年3月31日	松永 克志	准教授 辞職
平成23年3月31日	八木 俊介	助教 辞職
平成23年3月31日	足立 大樹	助教 辞職
平成23年4月1日	世古 敦人	助教 採用

水曜会誌投稿規定 (昭和62年4月23日改訂) (平成21年10月20日一部改訂)

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、獨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
京都大学工学部8号館内
水曜会宛

- (8) 原稿は水曜会誌編集委員会が受理した日をもって受理日とする。
- (9) 投稿原稿に対し、編集委員会は査読を行って掲載の可否を決定する。また、査読結果に基づき編集委員会は投稿原稿に対して問い合わせ、または内容の修正を求めることがある。
- (10) 編集委員会は、用語ならびに体裁統一のため編集係によって文意を変えない程度に投稿原稿の字句の修正をすることがある。
- (11) 初校は著者にて行ない、第2校以降は編集委員が行う。初校における原文訂正の必要のないよう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でもって指定するものとするが、横幅は1段（65mm以内）または2段通し（140mm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。

会 則

改訂（2011年12月5日）

【名 称】

第1条 本会を水曜会と名付ける。

【目 的】

第2条 本会は資源、エネルギー、環境および材料に関する学問、技術並びに経済の発展に寄与し、会員相互の親睦をはかることを目的とする。

【会 員】

第3条 会員を分けて正会員と学生会員とする。

第4条 正会員は以下の各項のいずれかに該当する者とする。

1. 別表1に掲げる学科、専攻または講座を卒業あるいは修了した者。
2. 別表2に掲げる別表1の学科等の後身である講座または分野において学部教育あるいは大学院教育を受けて卒業あるいは修了した者。
3. 前項の講座または分野の教員および元教官並びに元教員。

第5条 学生会員は別表2に掲げるコース、講座または分野に在籍する学部学生とする。

【役 員】

第6条 本会には以下の役員を選出する。任期は1年とし、重任を妨げない。ただし、幹事は2年とし、重任を妨げない。

会 長	1名
副 会 長	若干名
会 計 監 事	2名
編集委員長	1名
幹 事	若干名

第7条 会長は本会を総括し、本会を代表する。会長は役員会の推薦により水曜会総会において承認する。副会長以下の役員は別途に定める細則により会長が指名する。副会長は会長に事故のあった場合、その職務を代行する。会計監事のうち1人は財務の管理、他は会計の監査を行う。編集委員長は別途に定める細則にもとづき会誌の編集を行う。幹事は会誌の編集、広告、名簿、行事およびその他について、会長、副会長、会計監事および編集委員長を補佐し、会務を、別途に定める細則にもとづき処理する。

【総 会】

第8条 総会は毎年1回開催する。

【役 員 会】

第9条 役員は、役員会を構成し、本会の重要事項の審議を行う。

【事 業】

第10条 本会は会誌「水曜会誌」および「水曜会名簿」を発行する。

第11条 本会はその他本会の目的を達成するために必要な事業を行う。

【経 費】

第12条 本会の経費は別途に定める会費、寄付金その他の取入により支弁する。

【会則変更】

第13条 本会の会則は役員会の議を経て、総会の議決により変更することができる。

第14条 第13条の規定によらず、別表1、2※および細則は役員会の議決により変更することができる。

【付 則】

1. この会則は平成23年12月5日から施行する。
2. 従前の会則による既会員は従前の会則に基づく会員資格を有するものとする。

水曜会講座等一覧（その1：旧学科、旧専攻等）

2001年現在

学 部	工 学 部	採鉱冶金学科 鉱山学科, 資源工学科, 冶金学科, 属加工学科, 金属系学科
大 学 院	工学研究科	鉱山学専攻, 冶金学専攻, 金属加工学専攻, 資源工学専攻 環境地球工学専攻資源循環工学講座

水曜会講座等一覧

2011年現在

学 部	工 学 部	地球工学科	資源工学コース	全講座・分野
		物理工学科	材料科学コース	全講座・分野
			エネルギー応用工学 コース	エネルギー社会工学分野
				材料プロセス科学分野
大 学 院	工学研究科	社会基盤工学専攻	応用地球物理学分野	
			地殻開発工学分野	
			計測評価工学分野	
		都市社会工学専攻	環境資源システム工学分野	
			地殻環境工学講座	
	材料工学専攻	全講座・分野		
	エネルギー 科学研究科	エネルギー社会・環境科学専攻	エネルギー社会工学分野	
		エネルギー応用工学専攻	資源エネルギーシステム学分野	
			資源エネルギープロセス学分野	
			ミネラルプロセッシング分野	
材料プロセス科学分野				
エネルギー基礎科学専攻	プロセス熱化学分野			
		量子エネルギープロセス分野		

水曜会会費細則

(2011年12月5日改正)

1. 正会員は、年間2,000円の会費を納入する。
2. 学生会員は4年間5,000円とし、平成24年度入学生より適用する。平成23年度以前入学生の学生会員は、無料とする。

水曜会誌の企画と投稿のお願い

水曜会誌編集委員会

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

具体的には、

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

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

次号の発刊に向け、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。

平成 23 年 度 水 曜 会 誌 編 集 委 員

委員長	辻	伸	泰					
幹事	田	畑	吉	計	(会誌)	水	戸	義
委員	平	藤	哲	司	邑	瀬	邦	明
	雨	宮	清	木	戸	俊	郎	西
	別	所	昌	彦	川	分	康	博
	上	島	良	之	藤	原	清	人
								安
								田
								秀
								幸
								中
								根
								徹
								裕
								宇
								津
								木
								慎
								司
								奥
								洋
								介
								松
								岡
								俊
								文
								小
								林
								誠
								造

平成23年12月20日 印刷 平成23年12月25日 発行

編集兼
発行者
印刷者

松 岡 俊 文

小 林 誠 造

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

京都大学工学部3号館内

電話 (075) 753-5930 (月・木曜日)

振替口座 京都 01090-8-26568 水曜会

銀行口座 みずほ銀行出町支店 普通 1242526 水曜会

Suiyōkwai-Shi

TRANSACTIONS OF THE MINING AND METALLURGICAL
ASSOCIATION
KYOTO

CONTENTS

Memorial Lecture in the Annual Meeting of Suiyokwai

Electrical Resistivity of Nonferrous Alloys	Shin-ya KOMATSU	467
To Realize The Clean Coal Frontier	Shigeki SAKURAI	482

Forum

Birth, Diffusion and Confusion of Serendipity	Masahiro KOIWA	491
Wilhelm Hauff and his Märchen	Masahiro KOIWA	504
Colporter	Yoshio ATSUTA	510

Current Studies in Laboratories	512
--	-----

Suiyokwai Information	535
------------------------------------	-----

Letter to Editor	550
-------------------------------	-----

Regulations	564
--------------------------	-----