水曜會誌

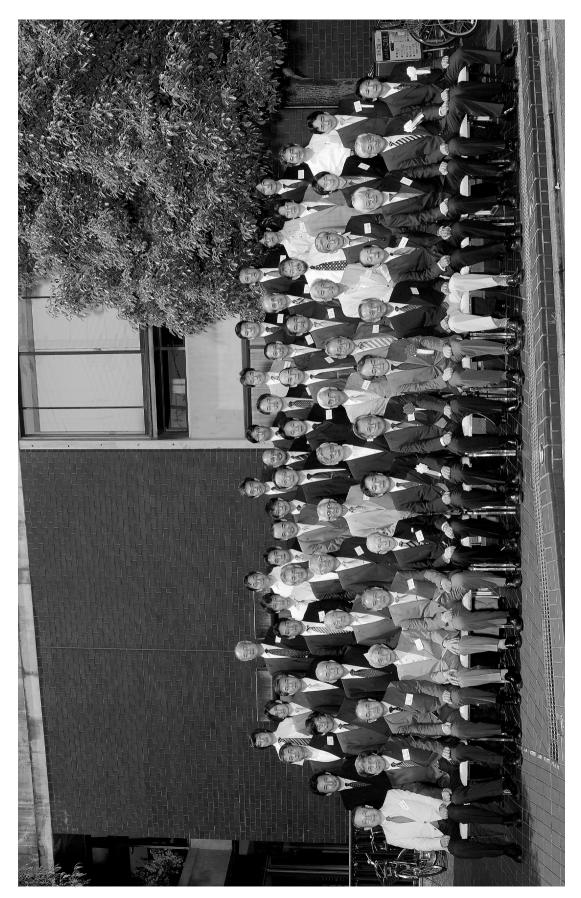
第 24 巻 第 3 号

目 次

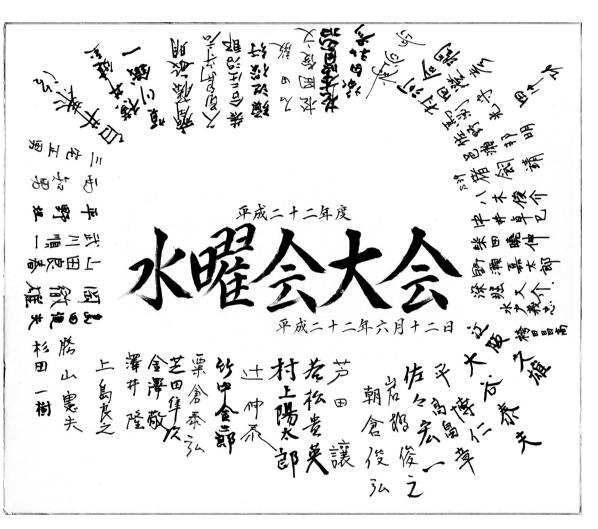
大会記念講演		
低炭素社会における社会基盤、資源と材料		
- CCS から石炭ルネサンス、アジアとの共生 久留島		
環境調和社会に貢献する鉄鋼素材開発の現状勝 山	憲 夫	341
談話室		
マイクロ・ナノポーラス金属の創製と塑性変形 袴 田	昌高	359
マイクロサイズ試験片を用いた金属材料変形挙動の局微小領域解析柴 田	曉 伸	366
陽電子消滅法を用いた Zr 基金属ガラスの自由体積評価杉 田	一樹	370
粒子法による破壊の数値シミュレーション武 川	順一	374
Enhanced Oil Recovery Resort to Brute Forces Between Atoms	IANG ·····	378
イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校でのフォトニック結晶作製技術の開発三 宅	正 男	382
探偵作家 高木 彬光	昌 宏	387
続 歌をめぐる物語 岩	昌 宏	395
松下政経塾	善 男	403
研 究 速 報		405
会 報		428
☆ 孝 孝 々 馀		450

平成22年10月30日発行

京 都 大 学 _{水 曜 会}



平成22年度 水曜会大会 記念写真 (平成22年6月12日 京大会館にて)



平成22年度 水曜会大会 懇親会寄せ書

大会記念講演

低炭素社会における社会基盤、資源と材料

-CCS から石炭ルネサンス、アジアとの共生-

久留島 守広*

The Introduction of CCS:CO₂ capture and geological storage for our Low Carbon Society by Morihiro KURUSHIMA

Abstract

As 80% of the world primary energy including in the Asian region is dependant on fossil fuel, it is essential to address large-scale emission sources to achieve the reduction targets set by the Kyoto Protocol of COP3. Even though promotion of utilizing renewable energy, energy conservation, etc. are important measures for reducing CO₂ emissions, sustained utilization of fossil fuels including coal resources cannot be denied from the viewpoint of efficient use of resources. And, the implementation of an effective CO₂ capture and storage is the key to efficient use of fossil fuel for the Asian region and the global environment.

Key words: Environment, Eco System, CO₂ capture and storage: CCS, public acceptance

1. はじめに

20世紀が「地球資源の消費による発展の時代」とすれば、21世紀は「地球環境の制約下での成長の時代」として、環境問題への人知の集約が不可避な時代だといえる。

環境の世紀を迎え、低炭素社会への転換・地球温暖化をはじめとする環境問題への対応が社会の最重要課題となっている。

一方,世界のエネルギー消費は,中国・インドをはじめとする開発途上国の人口増や経済発展による増加は不可避で,石炭を中心とする化石燃料に依存することか

ら、今後の対応においては省エネルギー、新エネルギー、原子力発電、さらに二酸化炭素(CO₂)を分離し貯留するいわゆる CCS(Carbon Dioxide Capture and Storage:二酸化炭素回収・貯留、以下 CCS という.)技術導入などが求められつつある.

2008年4月より、京都議定書の実施期間(2008~2012 年の温室効果ガス排出量を平均し2010年目標とし、基準 年の1990年と比較し6%削減が国際的責務)となった が、2005年国内の温室効果ガス総排出量は13億5,520万 トンと、京都議定書の基準年である1990年を7.4%上回 っている。

国際的にも、温室効果ガスの排出量は増加傾向を示している。例えば、図1及び図2の示すように中国・インドをはじめとして発展途上国の温室効果ガス排出量の増加傾向に歯止めがかからない中、世界各国では温室効果ガス対策として、「原子力の見直し」などとともに、「CCSの推進」を重要な施策の一つとして位置けている。

この CO_2 の回収・貯留に関する議論は国内的にも活発化している。2006年秋には、環境省及び経済産業省が各々 CO_2 の回収・貯留に関する検討の場を設立した。

まず環境省では、ロンドン条約下での廃棄物の海洋投棄を規制に関しその改正案が2006年秋に採択され、CCSの手法の一つである「海底下の地層への貯留」を可能とされそのための国内法制の改正案を審議するべく「二酸化炭素海底下貯留に関する専門委員会)」(委員長・清水誠東京大学名誉教授)を立上げた。

一方,経済産業省は、「二酸化炭素回収・貯留研究会」(委員長・茅陽一地球環境産業技術研究機構 (RITE) 副理事長)を立上げた.同研究会では,技術課題をはじめ CCS 実施のための法令整備の在り方や,

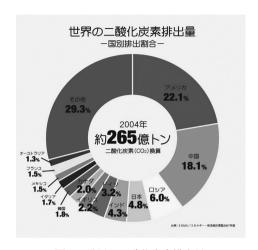


図1 世界の二酸化炭素排出量

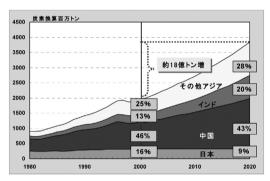


図 2 アジアにおける CO。排出量の予測 (出典:エネルギー経済研究所)

社会的受容性・合意形成、透明性の確保などについて論 議し、報告書をとりまとめた.

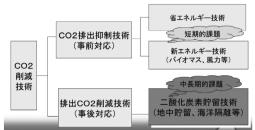
さらに, 同省・資源エネルギー庁では「石炭火力発電 の将来展望研究会| (筆者が座長) を設立, 前述のアジ アにおけるエネルギー需要の急増とエネルギー資源の価 格高騰・供給制約の顕在化において、石炭火力発電を将 来ともいかに取組むべきかを中心とした議論の場を設 け、クリーン・コール技術の開発とアジアへの移転、さ らに CCS の実施を中心とした将来展望を報告書にとり まとめた.

2. 地球温暖化問題とは

地球温暖化問題は、各国首脳マターとしていまや国際 社会の中心的課題となり、ドイツにおけるサミットに引 続き,一昨年の北海道・洞爺湖におけるサミットでも主 題となった.

そもそも、CO。に代表される温室効果ガスの排出削減 を国際的に取組むべく、1997年気候変動枠組条約第3回

二酸化炭素削減技術の体系 省エネルギー技術 CO2排出抑制技術 短期的課題 ~



二酸化炭素削減技術の体系v 図 3

締約国会議(COP3)が京都で開催され、先進各国は温 室効果ガスの大幅削減(1990年比2010年平均目標:日本 は-6%, EU は-8%, 米は-7% 他) を約束した.

また本件は、言われている将来の海面上昇のみでなく ①「将来の危機ではなく現に今ある危機」として持続的 発展のための基盤であり、②上記削減目標(京都議定 書)の実施規則他が定められ、本年よりその目標年が始 まり、さらに③各国政府・企業は「新たなグローバル・ スタンダード | として戦略的に活用しようとする姿勢が うかがえることなどから、わが国として産官学の総力を 結集した対応が必要である.

このための、CO₂排出削減のメニューは図3に示すと おりであるが、①省エネルギーはその即効性から、工業 プロセスのみならず、家電、事務機器、自動車等につい ても現在官民あげて新たな技術へのチャレンジが行わ れ、②原子力も近年の地震災害等による影響が憂慮され るが、立地への着実な努力が行われている。また、③新 エネルギーについては、導入促進への努力が国内外で行 われている. しかしながら, 開発途上国では引続き増大 するエネルギー需要を化石燃料に依存すること等から, 世界のエネルギー供給の見通し (OECD/IEA 「World Energy Outlook 2007 Edition |)では、2030年までに エネルギー需要は50%増加(年平均では1.6%増)す るとされている. その需要増の70%は、開発途上国に よるもので、中国だけでも30%を占める.

また、この見通しでは、現在(2005年実績で、石炭・ 石油・ガス等で80%)及び将来(2030年見通し同 81%) とも大部分は化石燃料に依存し、とりわけ2005年 から2030年へのエネルギー需要増の83%を占めると予 測されている.

こうした状況の下、環境の世紀、21世紀におけるエネ ルギー供給確保において、私達によって子孫に良い地球 環境を残すために何をなすべきか、また単なる夢の技術 でなく産業技術として、いかに取組むべきであるかが最

大の課題であり、原子力の推進とともに CCS の導入などその早急な対応が問われている。

3. わが国の対応

日本の1990年における温室効果ガス排出量は二酸化炭素換算で12億3,700万トンなのに対し、最近の地球温暖ガス排出動向については、2005年国内の温室効果ガス総排出量は13億5,520万トンと、京都議定書の基準年である1990年を7.4%上回っている。今後の見通しでも対策がなされないと目標年の2010年には6%の増加となり、実質的には12%の削減が必要となる。このため、目標達成には産業界のみならず、民生、運輸の各分野で非常に大きな努力が必要とされている。

日本は1998年4月、京都議定書に署名し、国際公約の 達成に向けた第一歩を踏み出すとともに、同年6月この 国際合意を達成するための取組みとして、2010年に向け た地球温暖化対策に関する「地球温暖化対策推進大綱」 が地球温暖化対策推進本部により策定された。また、こ れに関し、「地球温暖化対策の推進に関する法律(地球 温暖化対策法) | 及び改正「エネルギーの使用の合理化 に関する法律(省エネルギー法)」の2つを制定し、公 約達成に向けた今後の方向を示した. さらに, 上記削減 目標(京都議定書)の実施規則他が2001年に定められた ことを受け国内体制の整備に努め、翌年2002年上記「地 球温暖化対策推進大綱」の見直しを行うとともに、その 実施を担う3つの法律、「地球温暖化対策法」及び「省 エネルギー法」の2法律の改正と、電気事業に一定量以 上の新エネルギーの導入を義務づける新法「雷気事業者 による新エネルギー等の利用に関する特別措置法案(略 称 RPS 法) | を制定の上、同年 6 月 4 日京都議定書批 准を行った.

その具体的対策の方向は、経済成長と環境保全を両立しつつ国際公約を達成するため、①新エネルギーの導入・普及に向けた一層の努力、②省エネルギーのより一層の推進、③電力事業における燃料転換を図ることなどである。また、抜本的な温暖化問題の解決には、中長期的な視点に立った対応が必要であり、技術開発リスクが高くても将来相当の効果が期待できる革新的な技術開発、現在想定されていないような新技術の開発・普及への取組みが含まれている。わが国の対策の内訳を図4に示す。

4. 地中貯留への期待

(1) CCS 技術の国内外の動向

CCS 技術による世界の二酸化炭素貯留ポテンシャルは、地中貯留で1,745 Gt 以上、海洋隔離で4,000 Gt 以上が見込まれ、大規模排出源に対応した適切な海域や地層の存在があり、経済的に成立するかどうかを考慮する必要があるものの、大量の削減ポテンシャルが期待できる(図5参照)。

我が国では、CCS技術は、総合科学技術会議における重点分野である環境分野に位置付けられており、さらに経済産業省のエネルギー環境二酸化炭素固定化有効利用プラグラムの中の研究開発プロジェクトとして推進されている他、前述のとおり関係省庁における事業化へ向けての検討が進められている。

一方海外でも、多数の国及び機関等が、隔離技術に対する研究開発を熱心に進めている。特に、石油増進回収法(EOR: Enhanced Oil Recovery)の一手段としてCO₂を油田に注入することが行われており、商用化している事例も多数ある。二酸化炭素を用いたEORによる原油生産量は2000年世界で日産約230万バレルであり、

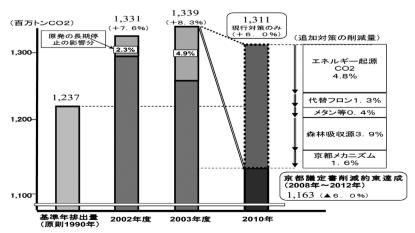


図4 わが国の温暖化ガス排出量削減対策の内訳 (出典:2005年度地球温暖化対策推進大綱等)

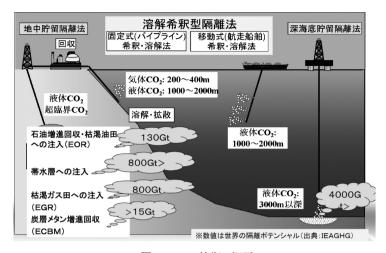


図5 CCS 技術の概要

CO₂ PIPELINE TO CANADA

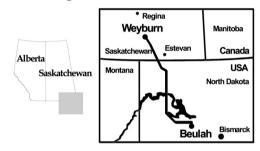


図 6 石炭ガス化プラントから油田までの CO_2 パイプライン (カナダ)

(出典:サスカチュアン州エネルギー資源省資料)

全世界の原油生産量の約3.5%を占める.

米国は1970年代より、上記 EOR を商業的に実現しており、帯水層貯留、炭層メタン増進回収(ECBM: Enhanced Coal Bed Methane)、さらにフューチャジェンと呼ぶ発電技術も含めた CCS に関連する多様な研究開発を進めるなど戦略的な展開を図っている。

さらに、前ブッシュ政権は化石エネルギー産業に好意的な面があり、エネルギー省における CCS に関する予算の顕著な伸びとともに、電力業界・石油産業などをはじめ産業界も強い興味を示し、州政府も研究・事業施設立地に向けた行動を示している.

カナダでは、アルバータやサスカチュワンの両州を中心に油田増産 EOR、石炭メタン回収 ECBM などの研究開発が実施されており、2000年からは、カナダのワイバーン油田において圧入を実施しているもので、 CO_2 を用いた石油増進回収 EOR を目的としたもので、 $325\,\mathrm{km}$ 離れた米国の石炭ガス化工場で発生した CO_2 を

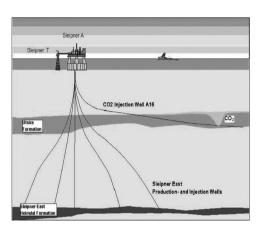


図7 天然ガス採掘設備から CO₂分離・帯水層に 年間約100万トン注入 (ノルウェー) (出典:スタットオイル社資料)

パイプラインで輸送し、年間 100 万トン規模で20年間、総量 2,000 万トンの圧入を計画している(図 6 参照). この結果、ワイバーン油田において約 50% の石油増産を達成している。ただし、事業化において各国関係機関も参加して、注入した CO_2 漏洩のモニタリングを実施しており、同 CO_2 の約半分の量は再度空気中に排出されるとのこと。一方、同量は地下に留まり、貯留される。

ノルウエーでは Statoil 社が、1996年より、劣性天然ガスから分離回収した CO_2 を北海ノルウエー沖約 240 km の海底帯水層に年間約 100 万 t 規模(ノルウエーの二酸化炭素排出量の約 3%)で隔離をしている(図 7 参照)。同国では、導入時約38ドル/t- CO_2 の炭素税が課税されるため、炭素税を回避するための手段としても検討されたとのことである。

アルジェリアでは、2004年からのインサラー・ガス田において、産出ガスから分離した CO_2 (ガス全体の $5\sim10\%$)を、大気放散せずに地下のガス貯留層(石炭紀帯水層)に圧入・貯蔵を行っている。

オランダでは、工業プロセスから分離した CO_2 をパイプラインで輸送し、天然ガス採掘跡に隔離し、夏季に取り出して園芸施設で活用する「 CO_2 Buffer Project」を実施しており CO_3 の農業利用としても着目される.

また、IEA(国際エネルギー機関)では化石燃料部会の下に Greenhouse Gas R&D Program(IEA/GHG プログラム)の実施協定を設置し、海洋及び地中貯留技術をはじめとする各種温暖化対策技術の調査研究と活動成果の普及に努めている。IEA/GHG プログラムには、欧米先進国を中心とした17ヵ国の政府関係機関、欧州委員会(EC)及び BP、Chevron-Texaco、Exxon-Mobil、Total-Elf 等オイルメジャーを中心とした7企業が参加。日本からも産業技術総合研究所が参加している。

わが国においても、産官学が連携し国内の具体的なフィールドに適用する技術の開発に着手している。具体的には、経済産業省により NEDO プロジェクトとして当初の予算計上がなされた後、地下エンジニアリングと地球環境技術の各々中核機関たる(財)エンジニアリング振興協会及び(財)地球環境産業技術研究機構(RITE)が車の両輪となり、産官学の技術力を結集した体制のもと上記課題に取組み、新潟県長岡市において CO_2 圧入実証試験による帯水層貯留の実証試験が行われた。この実証試験では、平成15年7月からの18ヵ国間で合計約1万トンの CO_2 が、地下約1,100 m の帯水層に貯留され、現在、観測井などによる貯留後のモニタリングが継続的に行われている。

また、 CO_2 地中貯留を組合せたゼロエミッション型石炭火力発電所の実現に向けた米国を中心としたイニシアティブ:フューチャジェン(米国エネルギー省主導のもとで進められているプロジェクトで、石炭ガス化発電と発生する CO_2 の回収・地中貯留を行うことによってニアゼロエミッションを達成すべく、大規模のプロトタイプ発電施設を建設・実証するというもの)に参画すべく、19年度予算には7.45億円の内数として新規計上された。

対象フィールド (技術) は大きく3つに分類される。まず①廃油田・ガス田に貯留する方法。次に、 $2CO_2$ を油田に注入して石油回収量を増加させる原油増進回収法 (EOR)。そして前出図7に示すような③帯水層に貯留する方法である。

国内においては、これまでの調査結果から、貯留能力の高い帯水層が日本海側に存在することが確認されており上記③が有望と思われる。高い貯留能力を有するフィールド(地層)は、難浸透性の岩石で構成されている層(キャップロック)に覆われた封塞構造(トラップ)を持つ構造性帯水層で、調査の結果、構造性帯水層が確認された地域は、陸域16ヵ所、海域13ヵ所の計29ヵ所におよび、その隔離能力は約15億トンと見込まれる。これは、我が国の CO_2 排出量の内、1990年を基準とした削減目標 6% の約 2 割,年間 1,500 万トン(全体の約1.2%)をこのフィールドに地中隔離すると仮定して、約 100 年分に当たる。

(2) CCS 技術実用化にむけての課題

1) 社会的受容性・法的整合性の確保

CCS 技術の基幹である CO_2 二酸化炭素の地中への注入については、前述のように EOR などですでに実用化されているものの、地球温暖化対策の観点からは、隔離

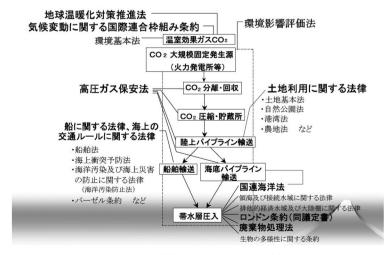


図8 CCS 技術実用化に関係する法制度

技術の社会的認知を新たに得る必要がある。そのためには、科学的・技術的な知見をさらに集積し、長期に渡る環境影響評価やリスク評価を積重ねるとともに、より簡便で有効なモニタリング技術を確立することが重要である。

さらに、事業化のためには、図8のように関連法制と ともに事業法制の整備が前提であり、関係省庁における 審議・策定が期待される. 筆者は、鉱業法の改正にて対 応すべきとの思いにより本稿を執筆した.

ちなみに、気候変動に関する政府間パネル IPCC は、COP7 のマラケシュ合意にもとづいて、 CO_2 分離回収・貯留技術に関する特別報告書を作成し2004年の COP/MOP2 に提出した。この中では個々の技術の現状を整理するだけでなく、リスク評価や環境影響評価等の社会的合意形成を図る上で欠かせない項目についても議論された。

また、海洋海底下貯留については、産業廃棄物の海洋 投棄を禁じたロンドン条約及びロンドン条約締約国会議 において採択された1996年議定書(廃棄物の海洋投棄を 原則禁止とするが例外としてリバースリストを規定)と の整合性を保つ必要がある。このための同条約が改定さ れ、前述のように国内での同条約おける事業についての 議論の方向も注視する必要がある。

更に、国際連合気候変動枠組み条約(UNFCCC)への参加国が義務づけられている国別報告書を作成するための IPCC ガイドラインが発行されており、温室効果ガス排出量の推計、報告書の仕様等方針が示されているが、同技術の取り扱いに関する記述がまだ不十分であり、とりわけ京都メカニズムにおけるクリーン・デベロプメント・メカニズム CDM(Clean Development Mechanism)として明確に位置付けられることによ

り、発展途上国も含めた世界各国における事業化が活発となり、CCS 技術の評価を高めることが期待される。

2) 経済性の確保

CCS 技術についてのコスト試算は国内外で実施され ているが、図9に示すように NEDO 技術開発機構の調 査資料によると, 分離・回収から隔離に至るまでのトー タルコストは、海洋隔離(LNG 複合発電から化学吸収 法により二酸化炭素を分離回収した後、LNG 冷熱利用 液化船舶輸送で海中に隔離した場合)では、約7.940円 /t- CO₂, 地中貯留 (LNG 複合発電から化学吸収法によ り二酸化炭素を分離回収した後、パイプラインで 100 km 輸送後, 帯水層に隔離した場合) では, 約6.800 円/t- CO₂と試算されている. 特に、トータルコストの うち約60~70%程度を占めるのが分離回収に係るコス トであり、この分離回収の為の設備コスト、処理コスト を低減することが重要である. 米国 DOE は, 2015年頃 に、二酸化炭素分離回収、隔離を含む処理コストを約10 ドル/t-C (t- CO。あたり 327 円程度) にする目標を置い ており、EOR 等によるメリットを考慮した上で設定さ れたものと考えられる.

また、EU が2007年発表の「世界エネルギー技術の展望報告書(WETO-H2)」では、上記処理コストが25ユーロ/tCO $_2$ に達したならば、火力発電における CCS 発電所シェアは2050年には 62% に達すると予測されており、二酸化炭素の年間貯留量は、6.5 Gt/年あるいは総排出の 20% であるあり、25ユーロ/tCO $_2$ のコスト削減が達成されれば、CCS の展開にとり図10ように申し分ない起爆剤となることが期待されるとのこと。

分離回収分野については、日本においても、化学吸収 法や膜分離等で優れた技術がある。海外では、EOR等 ですでに商業的に地中貯留が実施されている事例もある

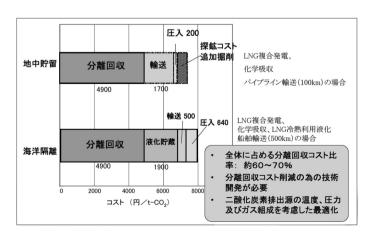


図9 CCS 技術のコストの算出例 (出典:IEA/GHG 資料に基き NEDO にて作成)

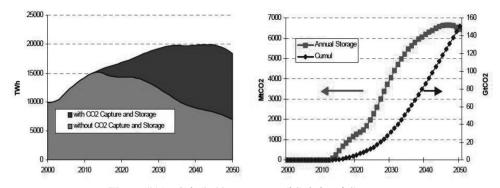


図10 世界の火力発電と CCS - 二酸化炭素固定化ケース (出典:世界エネルギー技術の展望報告書2008, WETO-H2)

表1 CCS 技術の概要例 (出典: NEDO 技術開発機構にて筆者他作成資料)

	化学吸収法	吸着法	膜分離法
長所	・常圧、低CO2濃度の ガスに適する。 ・大規模化が比較的 容易。	・装置が簡単であり、 中小規模プラントに 適する。 ・中小規模では化学 吸収法よりもコスト的 に有利である。	・装置が簡単であり、 小規模プラントに適 する。・相変化を伴わないエ ネルギー的に有利で ある。
短所	・吸収液の再生に大きなエネルギーを必要とする。 ・排ガス中の不純物により吸収液が劣化する。	・吸着剤の再生に大きなエネルギーを必要とする。 ・NO×、SO×の事前除去が必要である。 ・バルブの切替が頻繁なため、耐久性の面で問題を生じやすい。	・膜が非常に高価である。 ・排ガスから固体粒子、液体成分の事前除去が必要である。 ・CO2回収率が低い。
課題	・吸収液の再生エネルギー低減。・排ガス中の不純物による吸収液の劣化対策。	・大規模化の実績がないため、大規模化のためには新たな技術開発が必要。	・膜の分離能、信頼 性、耐久性の向上な ど。

表 2 我が国の CO₂大規模発生源の特徴

	年間排出量(炭素換算)		排出ガスの特性		
	排出総量 (1999年度)	1箇所あたり	CO ₂ 濃度	その他排ガス中物質	排ガス温度
石炭火力発電 所(電力事業)	3,831万t	(平均規模)約64万t (大規模)210~280万t	13~15%	•SOX:30~70ppm• •∮*スト:5~25mg/Nm3	100度前後
石油火力発電 所(電力事業)	1,695万t	(平均規模)約9. 8万t (大規模)180~250万t	12~13%	•SOX: ~100ppm	100度以下
天然ガス火力発 電所(電力事 業)	2,790万t	(平均規模)約24万t (大規模)100~130万t	8~10%	不純物は少ないが、水 分が15~17%と多い	100度前後
一貫製鉄所(高 炉+転炉)	3,585万t	(平均規模)約84万t (大規模) 93万t	高炉ガス:22% 熱風炉ガス:2 7%	高炉ガスには、CO、H2 の含有量が高い	数百度
セメント工場(キルン保有工場)	887万t	(平均規模) 約46万t (大規模) 95万t	23~37%	・SOX:~30ppm ・ダスト:50mg/Nm3程度	100度前後

【出典:各種資料を基に NEDO 技術開発機構で作成】

ことから、当面は我が国のすぐれた分離技術をさらに磨きをかけた上で海外のケスサイトに適用し、経済的な可能性を追求することが、わが国での将来において事業化・実施を行う上の大きな力となる.

また、分離技術の技術開発を推進するためには、表1

の手法があるが二酸化炭素排出源の単位時間当たりの処理量,温度,圧力等の物理的特性やガス組成等の化学的特性を把握したうえで,適切なプロセスを選定し,最適化を図ることが重要である.更に,表2のように大規模な排出源における高濃度の二酸化炭素を処理することが

可能となれば分離エネルギーを飛躍的に低減させることが可能であるが、酸素分離等の前工程や輸送・貯留等の 後処理工程を含めたトータルシステムを考慮して最適化 を図る必要がある.

5. 法制度の検討・整備

(1) 喫緊の課題

わが国として京都議定書の遵守とともに、鳩山新政権は『CO₂削減-25%』(1990年を基準とし2020年目標)を世界に声明、その順守が迫られることとなった。このためには、産業分野において、上記の CCS 技術の速やかな導入が不可欠であり、その基盤をなす法制度の検討・整備とともに、地域住民合意形成を得るための努力を傾注する必要がある。

一方、世界のエネルギー消費は、前述のように中国・インドをはじめとする発展途上国の人口増や経済発展による増加は不可避で、さらに石炭を中心とする化石燃料に依存することから、今後の対応においては、産業・民生・運輸の各分野における省エネルギーの推進、太陽光発電・バイオマス有効利用などの新エネルギー開発・導入とともに、化石燃料のクリーン利用と本 CCS 技術の導入が求められ、欧米はじめ国際エネルギー機関 IEAにおいて喫緊の研究課題とされている。

- ①このため、筆者は資源エネルギー庁の「石炭火力発電の将来展望研究会」の座長に任命され、前述のアジアにおけるエネルギー需要の急増とエネルギー資源の価格高騰・供給制約の顕在化において、石炭火力発電を将来ともいかに取組むべきかを中心とした議論の場を設け、クリーン・コール技術の開発とアジアへの移転、さらに CCS の実施を中心とした現状と展望を2007年3月報告書にとりまとめたが、その際法制度の不備を痛感した。
- ② なぜなら CCS 技術は、新しい技術であるため、社会 的受容性・法的整合性の確保が全くと言っていいほ ど図られておらず、海外においては石油の増産回収 EOR、また炭素税回避のためなどですでに実用化さ

れているものの,地球温暖化対策の観点からは, CCS 技術の社会的認知を新たに得る必要がある.そのためには,科学的・技術的な知見をさらに集積し,長期に渡る環境影響評価やリスク評価を積重ねるとともに,事業化のために,関連法制とともに事業法制の整備が前提であり,これらの検討を行い関係省庁における審議・策定に資する必要があるため1)導入に際しての社会的受容性の確保の方策,及び2)事業実施に際し関連する法制度の整理,さらに3)新規事業法制の検討とその骨子の策定などを試みている.

(2) 法制度の骨子案の検討

事業化に際しての法的基盤構築のキーとなる、事業者の責任の所在、その期間、さらには無過失賠償責任の概念導入の可能性を示すことによりはじめて、本 CCS をエネルギー・システムとして産業活動に組込んでいくことが可能となりうる.

前述のように、CCS 技術は新しい技術であるため、社会的受容性・法的整合性の確保が全くと言っていいほど図られておらず、ロンドン条約下での廃棄物の海洋投棄を規制に関しその改正案が2006年秋に採択され、CCSの手法の一つである「海底下の地層への貯留」を可能とされ、わが国においても海洋汚染未然防止の観点から所管官庁である環境省が、そのための国内法制の改正案を審議するべく「二酸化炭素海底下貯留に関する専門委員会)」(委員長・清水誠東京大学名誉教授)を立上げ所要の法改正を行ったのみである。

このため、筆者は鉱業法に着目し、これに基く事業法制案の策定に取組むこととした。鉱業法とは、鉱物資源の合理的開発を行うことを目的として、昭和25年(法律第289号)に制定され、事業実施の基本的権利として鉱業権制度を設け、その賦与および行使に関して、次のような考え方に基づき諸種の措置をなさしめている。

その趣旨は,鉱業法(昭和25年法律第289号)における第111条及び第113条から第116条までの規定は,鉱業を行うことに伴う廃水の放流,捨石若しくは鉱さいの

表3 鉱業法の骨子 (出典:経済産業省資料に基き筆者加筆)

- (1) 鉱物採取のための権限として、土地所有権から独立し、その制約を受けない鉱業権を認めること。
- (2) <u>鉱業権は国の設定行為により賦与され、日本国民又は日本国法人である限り、先願</u> 主義の原則により、平等に鉱業に参加しうる機会を与えていること。
- (3) <u>鉱業権の行使については、原則として鉱業権者の創意と責任に委ねるが、鉱業の特</u> 殊性により必要な限度の監督を国が行い、その適正、合理的な施業を図ること。
- (4) 鉱業権の設定・変更・消滅および行使について、鉱業と一般公益および他産業との 利害の調整を図るとともに、鉱業の実施によって外部に与える損害は公正に賠償すべき義務を課すること。(いわゆる無過失賠償責任の概念を導入)

たい積又は鉱煙の排出によって他人に損害を与えたとき は、故意又は過失によらずとも損害賠償の義務を負うも の.

同じく CCS は極めて新しい事業概念であり、地下構造を対象とするもので、地下に CO_2 を注入することに際し国民の不安もあることからである.

また、事業実施に関連するとみなされる損害発生の際、万一当該事業者が休止・撤退している場合は、過去の事業を行った法人が、その損害賠償の責任と取ることをなさしめる。

一方,事業者の責任期間(モニタリング義務を定め,同期間と同一となす)を明示・制定するための欧米関連法制の調査・科学的論理構築に取組んでいくこととする.

6. お わ り に

大量の二酸化炭素貯留ポテンシャルを有し,各国で積極的に研究開発等が行われている CCS 技術の実用化に向け,(1)社会的受容性・法的整合性確保,(2)経済性確保,の2つの課題がある.これらの課題の中には,社会的受容性確保や国際法上の位置付け等,一国だけでは解決が困難であることが多くあるが,各国とも協力・連携しつつ取組むとともに,とりわけ喫緊の課題である法制度制定に取組んでいるところである.

わが国として,鳩山新政権は『 CO_2 削減 -25%』 (1990年を基準とし2020年目標)を世界に声明,低炭素社会への路を明白に示した。このためには,産業分野において,上記の二酸化炭素 CO_2 を分離し貯留するいわゆる CCS 技術の速やかな導入が不可欠であり,その基盤をなす法制度の検討・整備とともに,地域住民合意形

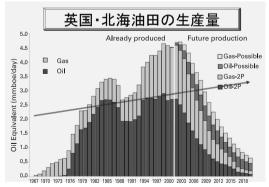


図11 英国・北海油田の生産量 (出典:英・旧産業貿易省 DTI 資料) 注)

図中のオレンジが石油の生産量, 黄色が天然ガスの生産量, 緑の線が需要量, 図中の縦の白い線の 左側が実績, 右側が予測値 成を得るための努力を傾注する必要がある.

筆者は、国際エネルギー機関 IEA の実施協定を含め、各国との共同調査・研究等を進めており、今後とも積極的に対応したい。また、前述の IPCC における二酸化炭素回収・貯留に関する特別報告書において示された、二酸化炭素の分離・回収から隔離・貯留までの技術内容・コスト比較、環境影響評価・リスク評価、隔離・貯留に係る法的側面等に関する国内での検討を進め、関連する技術の確立を含めわが国の法制度策定に協力していく。

さらに、多国間連携と併せ二国間の連携強化も図る必要がある。日米間では、フューチャ・ジェン・プロジェクトへの協力など CCS 技術が重要な研究開発課題の一つと目され、また、EU 諸国の中には、CCS 技術に地域・住民の合意形成手法も含め積極的に取組んでいる国が多く、また、EU 委員会も本年半ばには統一した推進方策を策定するとのこと(筆者が、2009年3月26日ブラッセルにてクリス・デービス議員との面談の際同氏談)。これらの国々との協議等を通じ、具体的な国際共同研究に着手すべきである。

さらに、前述のように、 CO_2 排出削減のための方策、 ①省エネルギー、②燃料転換・原子力、③新エネルギー については、省エネルギー以外は各々限界と制約を抱え ている。

また、引続き増大するエネルギー需要を依存すること になる化石燃料については、石炭以外の石油・天然ガス ともその資源賦存量から今世紀半ばには生産の限界が来 ると予測されている。

例えば図11のように、北海油田には既にその兆候が現れており、早晩英国は石油資源の輸出国から、輸入国へ転じる(国内需給:直線)と危惧されているとのこと.

こうした状況において、CCS技術と組み合わせることにより、環境調和型資源としての石炭の活用として、例えば二酸化炭素分離回収型の石炭火力と地中貯留 CCSを活用したエネルギー・システムを志向することも一案である。他方、新エネルギーに過大な期待や幻想を有することは社会・経済の安定性の観点から危険でもあり、これらエネルギー供給の限界をはじめ、経済性や克服すべき課題を十分に把握することが前提である。

このため、前述のように、CCS 技術と発電技術などを組み合わせた各種技術をエネルギー・システムとして産業活動に組込んでいくことが、わが国のエネルギー・セキュリテイ及び地球環境のため、またアジアにおける持続可能な社会・経済発展を可能とし新規産業・雇用の創出に資するとともに、わが国が当該分野で、世界の「グローバル・スタンダード」を構築するためのまさに近道となる。

このようなことから、CCS 事業展開の基盤となる上記法制度の検討・整備とともに、地域住民合意形成を得るための努力を傾注するためには、パブリック・アクセプタンスの手法導入が必要であり、次に述べるような活動に取り組んでいくことにより、環境の世紀を支える社会的受容性確保のキー・テクノロジーとなることを期待したい。

①広報活動

CCS 技術の利用にあたり、広く国民に対して、継続的にメリットとデメリット等正確な情報発信を行っていくことが重要となる。「地下のことはわからないし危険だ」というイメージを払拭し、技術としてのブランド力を高めるためにも、CCS の持つメリットや重要性については、目に見える形で広報活動を強化する必要がある。

③ 人材育成・教育

CCS 技術開発とその利用において、継続的に世界をリードしていくためには、人材育成が極めて重要であるが、上記のようなマイナスのイメージ及び正確性の欠けた情報は人材育成を阻害する要因になる可能性があり、また実施地域における説明・対話のため、「説明できる」のみならず「心を通わすことのできる」人間力に富んだ人材育成が必要不可欠であり、広報活動をとおした人材育成の側面支援をする必要がある。但し、これら人材育成については、経済外部性が大きく認められることから、産業界からは国が主導的に実施すべきとの声が強く、大学等における工学教育分野での説明力・人格教育の拡充、同教育における積極的なインターン・シップ、

海外派遣など,基盤的な教育・研究から大型技術開発までの幅広い人材育成を,産官学が密接に協力しながら進めていくことが望まれる.

引 用 文 献

- 1) 久留島守広:地球エコシステムとしての地中隔離 「環日本海研究」第11号,2005.10.1,P123.
- 2) 久留島守広:地球ビジネスとしての地中隔離に向けての基礎的研究 CO_2 分離・地中隔離・エココンビナートの導入 「資源と素材」 Vol.120 (2004. 10. 1) P677-680.
- 久留島守広:地中隔離技術,21世紀地球環境技術 戦略の要,「Engineering」No. 93, P14-17, 2001.
 11.
- 3) 久留島守広:連載解説,地球ビジネス時代の化学工学(第1回)地球環境問題とビジネスチャンス「化学工学」Vol. 68 No.4, 2004, 4.1.
- 4) 久留島守広:環境分野における大学発の新産業創 出は可能か「環境会議」2001.9.25.
- 2) 桑木賢也、堀尾正靱、久留島守広、中川和明、村田圭治:CO₂吸収セラミックスを用いた炭酸ガス高効率回収システムの概念設計、化学工学会第33回秋季大会、2000.11.
- 3) 株式会社日建設計:平成15年度 NEDO 委託調査 報告書「植物工場等二酸化炭素隔離技術の経済性 等調査」, 2003.3.
- 5) 資源エネルギー庁編集:『考えよう,日本のエネルギー』(財)社会経済生産性本部エネルギー・コミュニケーションセンタ,2003.
- 6) アジアへの環境移転とバイオマス NEDO 海外レポート No.1008, P1-7 2007. 10.3.

大会記念講演

環境調和社会に貢献する鉄鋼素材開発の現状

勝 山 憲 夫*

Current status of research and development of steel products contributing to environmentally harmonized society

by Norio KATSUYAMA

1. 緒 言

新たな社会インフラの建設,既設設備の更新や拡充など,社会を支える鉄鋼材料のニーズは,世界の経済発展とともに今後もますます高まると思われる。一方で,経済活動の拡大と人口増加に伴う地球環境問題,国内製造業の空洞化の問題が議論されている。そこで,本稿では,鉄鋼業の環境調和社会への貢献にスポットを当て,世界の鉄鋼需要と展望,日本の製鉄業の技術競争力を幾つかの事例で示し,今後の社会のニーズに対応する技術開発とその方向性について,当社の具体的な取組みの中で,筆者が少しでも関わったものを主に述べる。また,このような発表の場を提供して頂いた水曜会の諸先生に,改めて感謝の意を表したい。

2. 世界の鉄鋼需要と展望

世界の鋼材生産量は1970年から2000年まで30年間ほぼ $7 \sim 8$ 億トン/年で推移した。21世紀になり新たな成長市場である中国、東アジアでの生産が拡大、2009年はリーマンショックの影響があったが12億トン強に達し、20世紀末時点での IISI による長期予想をはるかに上回る年率 7% で増加している(図 1)1.2.2。このうち、8億トンがアジアで生産されており、国別生産量では中国が 5億トン以上で世界第 1 位、日本は 1 億トンで第 2 位である(図 2).

この10年間で鋼材需要は世界で6割増加,特にアジア地域が2倍,中国が3倍増加した(図3). 1人あたりの鋼材見かけ消費量は日本や欧米先進国では,500kg/人/年で変動はないが,中国,ブラジル,インドなど新

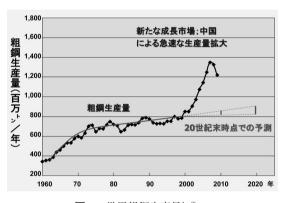


図1 世界粗鋼生産量^{1,2)}.



図2 主要国の粗鋼生産量推移1,2).

興国を中心にさらなる市場拡大が見込まれている(図 $4,5)^{1-4}$.

3. 日本の製鉄業の技術競争力

我が国の鉄鋼業の強みは3点ある.1点めは、国際的 に見て商品競争力、品質競争力、安定かつ迅速な供給力

^{*}新日本製鐵株式会社 常務執行役員 名古屋製鐵所長

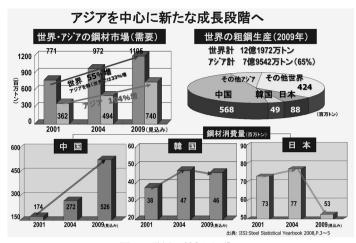


図3 世界の鉄鋼需要2.

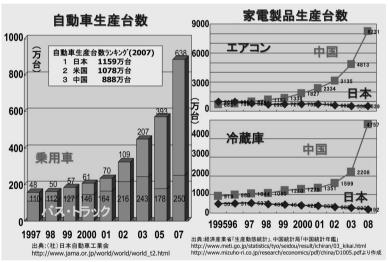


図4 中国の経済発展.

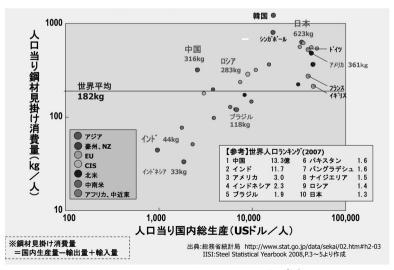
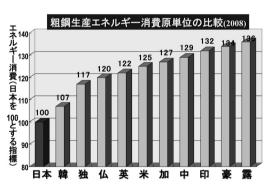


図5 世界の人口一人当たりの鋼材消費量2,4).

があること、2点めは研究開発・商品開発力の維持向上 により、今後も品質コストで競争力のある素材を提供す ることが可能、3点めは成長するアジア市場に極めて近 い立地条件であり、これらの理由により、さらなる収益 成長を目指すことができる国際競争力のある素材産業と 言える. 製造技術力の尺度である粗鋼製造時のエネルギ - 原単位は、我が国が世界最高水準であること (図 6), 当社データであるが北米他社と比較して自動車鋼 板における圧倒的な不良率の低さなどが、その根拠であ る. 適材適所であるが、アルミニウムやマグネシウム、 高分子材料, 炭素繊維など他の構造材料と比較して, そ もそも鉄は製造時のエネルギー原単位が低いので、それ だけ環境負荷が少なく安価な素材である(図7,8).あ る評論家が、第2次世界大戦後65年となるが、安価で良 質な鉄が日本の産業を支え、安価で栄養価のある卵が日 本人の健康を支えてきた、と述べていたが、戦後、大量



出典: 「エネルキ"-効率の国際比較(発電、鉄鋼、セメント部門)IRITE,2008(日訳、指数化は日本鉄鋼連盟)

図6 日本鉄鋼業の優位性,高い省エネ技術1.

生産が進み安価に供給できた製品の良い例と言える.

4. 当社の技術開発の事例

自動車や住宅用などの薄鋼板,自動車用鋼管,電磁鋼板,造船橋梁建築など構造物用厚鋼板と,その鋼材製造プロセスについて,当社の技術開発の取り組み事例を述べる.

(1) 自動車用高強度鋼板

自動車メーカーでは、さらなる CO₂削減、燃費向上を実現する車体軽量化と衝突安全性との両立、海外現地生産とグローバル車の世界同時生産立上げ、新車の開発工期短縮のニーズがある。そこで、当社は材料開発と機械的性質の評価はもちろん、鋼板成形や溶接等の利用加工技術、部材設計とその性能評価まで一貫したトータルソリューションを提供して、自動車メーカーとの協業を進めている(図9). 以下、車体軽量化に有効な高強度鋼板の開発について述べる.

自動車への高強度鋼板の適用は、1980年代の燃費改善

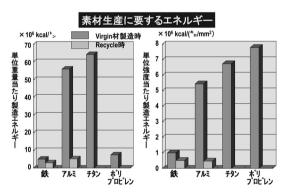


図7 鉄の優位性、鉄は環境に優しい.



図8 鉄の優位性, 鉄は安価.

から始まり、90年代以降は衝突安全性、さらに地球環境 問題でますます使用率が増している(図10)、ドア、フ ード、フェンダーなどの外板部品用には C 濃度を 10 ppm まで脱炭した IF 鋼が使われるがこれを抗張力 340 MPa まで高強度化した、外板部品には、ヤング率 と板厚および製品形状で決まる剛性と、人間が押したり 小石が飛来したりして凹むことに対する抵抗(耐デント 性) が要求される。耐デント性向上には降伏強度の増加 が有効であるが、種々の形状で高い面精度でプレス加工 するためには降伏強度の低減が求められる. この相反す る特性を満足するために、プレス加工時には低降伏強度 で良好な加工性を有し、プレス加工後の車体製造工程で の塗装焼付け処理で強度を高める BH 鋼板 (焼付硬化 Bake hardening 鋼板)を開発し、実用化した。その中 で、微量の Mo 添加による遅時効性にも優れた BH 効 果は、当社の水曜会員らが見出したもので、鋼中の固溶 Mo と固溶 C の原子間相互作用による原理が明らかに できた5).

メンバーやピラー等の車体の骨格構造部品は、衝突時 の乗員保護を目的とするものであり、高まる安全基準と 軽量化ニーズを背景に、一部の部材では抗張力 1470 MPa クラスまで高強度化が進んだ。これらの高強 度鋼板は、強度と加工性、疲労特性等を満足させるため に種々の高強度鋼板が開発、使用されている。 なかでも TRIP 鋼は鋼板中にオーステナイト相を残留させたもの で、プレス加工時に導入される歪により残留オーステナ イト相がマルテンサイト相に変態して硬化、局所くびれ 変形が起こりにくい特長があり高延性が得られる。当社 では抗張力 780 MPa 級までの TRIP 鋼種を開発、自動 車メーカーに採用され、実際の安全性能向上に貢献して いる6. 本鋼種は自動車の衝突時のエネルギー吸収能が 析出強化鋼よりも向上する特性を確認しており、現在、 さらなる高張力・高成形性・高吸収エネルギー鋼板を開 発しているところである8.40年前,田村今男先生の講 義で TRIP の話があったが、現在は、薄鋼板の世界で も日常的に使われるようになった.

利用加工技術院 社会的要請 自動車メーカーのグローバル化 地球環境問題 海外現地生産 戦略車種(グローバルモデル車) 燃費改善のための軽量化 の世界同時立ち上げ増加の傾向 環境負荷物質の軽減 自動車開発工期のスピードアップ 衝突安全性の追求 →1年) -の鉄鋼業に対する「グロ-体制の構築」と「高技術製品の世界同時実用化」の要請 自動車メーカーと鉄鋼業との協働による新しいモノ造りへ - タルソルーション/材料開発~材料評価~成形加工~部品設計~全体設計/の提供

図9 自動車市場での鋼材、競争ステージの変化.

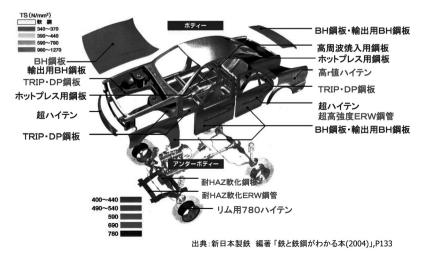


図10 自動車に使われる高強度鋼.

自動車メーカーでは、実車の衝突実験に加えて FEM 解析による衝突変形シミュレーションを活用して高張力鋼板の適用部位や部品形状の設計が行われている。当社においても材料開発と構造提案を目的に、部材および車体全体の衝突変形 FEM シミュレーションを実施している。一例として、ULSAB プロジェクト^ので設計された車体をモデルとした衝突解析結果を示す(図11, 12)。このようなモデル計算を行う上で最重要項目の1つが材料データである。高速変形時は転位の移動速度が抵抗になり、静的な機械試験評価よりも抗張力が高くなる現象(静動比)や、スポット溶接部の強度評価などがポイン

トになる。そこで、当社では、時速50~100kmの衝突を模擬する試験片サイズの母材およびスポット溶接部の高速引張試験装置、部材相当サイズでの単純形状部材用、さらに複数の鋼板からなる実車相当の部材用の高速衝突試験装置を開発、鋼材ごとに広範囲にデータを採取して衝突性能シミュレーション計算を行っている(図13、14)。また、鋼材開発と性能評価と最適構造計算を同時進行させ、短期間に最適鋼材、最適形状を自動車メーカーに提案している。なお、当社の試験片サイズのワンバー方式高速変形試験装置は、試験片に加えられた衝撃に起因する弾性振動ノイズが排除できるように工夫し

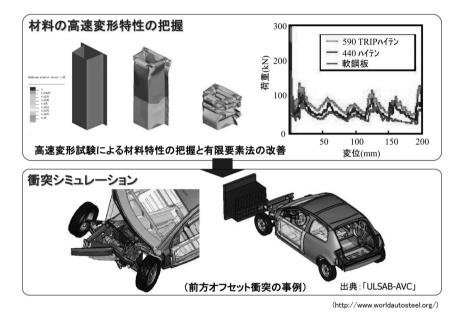
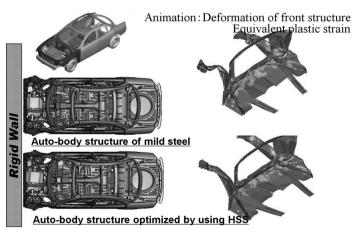


図11 車体衝突シミュレーション.



出典:「ULSAB」(http://www.worldautosteel.org/)

図12 ハイテン鋼板による衝突安全性の向上.

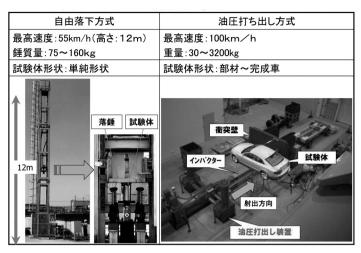


図13 部材の衝突性能評価装置.

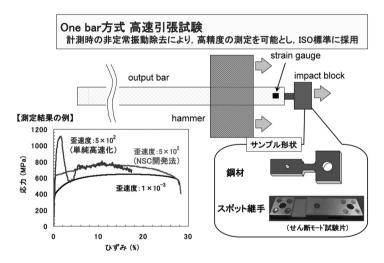


図14 鋼材の高速変形特性の高精度計測.

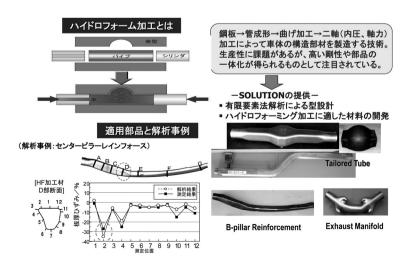


図15 ハイドロフォーミングによる部材軽量・高剛性化.

たもので、極めて高精度に応力歪曲線が測定できる特長があり、ISO 標準に採用されている^{8,9}.

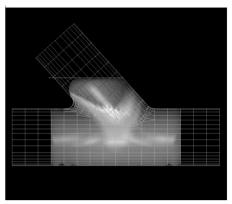


図16 排気管ハイドロフォーミング加工のシミュレー ション.

軽量化に加えて、剛性向上、部品点数や組立時の工数の削減などのニーズに対応するために、従来は鋼板の溶接構造部材を、鋼管のハイドロフォーミング加工法への置換を提案して、自動車製造における新たな鋼管市場を開拓してきた。図17に示すように、従来の1/10に小型化したハイドロフォーミング設備スーパーハイドロフォームをトヨタ自動車(株)殿と共同開発、2002年から実生産に供しており、鋼材、成形工法、生産設備のトータルを提案している10. 高精度の部材を複雑加工して高歩留を得るためには、金型設計、加工時の内部水圧、管端部の軸押し力など総合的な工程設計が必須である。このような複雑加工においても、当社は通常の機械試験や多軸引張試験など鋼管加工に必須の材料データと加工シミュレーションの両輪で、最適な鋼材と部品設計と製造工程を自動車メーカーに提案している(図16).

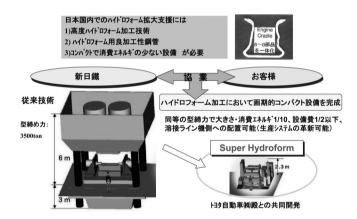


図17 お客様との協業による新しい物造り

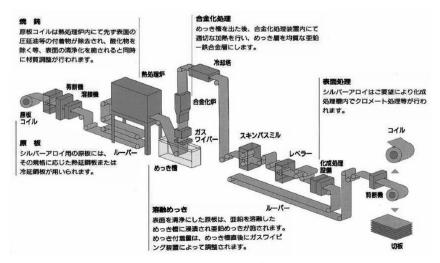


図18 溶融亜鉛めっき鋼板の製造ライン.

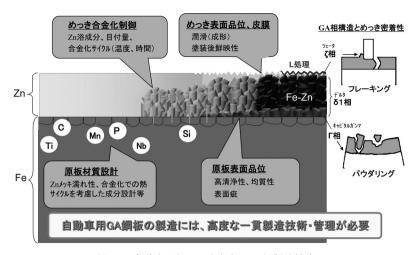


図19 自動車亜鉛めっき鋼板の一貫製造技術.

(2) 防錆鋼板

自動車用防錆鋼板は、外板部品では表面外観維持、内部骨格部品では肉厚維持による機能保持が目的であり、亜鉛めっき鋼板が広く使用されている。当社が開発した合金化溶融亜鉛めっき鋼板 GA は、防錆性能はもちろん、成形性、めっき密着性、溶接性、塗装性など多くの特性を満足するものである。

GA 鋼板は冷延後の連続焼鈍工程のあとに、鋼板を溶 融亜鉛浴に浸漬後,再び500~550℃に数秒間加熱して 亜鉛と鉄を相互拡散させたのち冷却して製造する(図 18)¹¹⁾. めっきの厚さは約 7 µ m, 平均 Fe 濃度は約 10% で、鋼板側から Γ 相(Fe_3Zn_{10})、 δ_1 相($FeZn_7$)、 ζ 相 (FeZn₁₂) の3相の各金属間化合物から成る(図19). これらのめっき相の厚み制御は、成形性とめっき密着性 の性能において特に重要である. 合金化不足の場合は, めっき表層に存在する柔らかいて相が厚くなり成形時に 金型に凝着して、摩擦抵抗を高め、プレス割れやフレー キングと呼ばれるめっき剥離を起こすことがある. ま た,過合金化した場合は、鋼板界面に厚く形成した硬く てもろいΓ相が成形時にパウダリングと呼ばれるめっき 剥離を起こすことがある、従って、成形性とめっき密着 性の両立には Γ 相と ζ 相を極限まで低減し、 δ ₁相を主 体としためっき構造を作ることが重要である。そのた め、亜鉛浴の成分調整や加熱合金化のヒートサイクルな どを制御して, 亜鉛-鉄の合金化反応を最適化する操業 を実施している. 自動車外板のパネル部品では、成形性 をさらに改善する目的で L 処理と呼ばれる潤滑性の優 れた有機被膜塗布の IF 鋼 GA 鋼板を開発, 実用化し た. この潤滑皮膜は、自動車製造工程および塗装性能に 影響を及ぼさないように設計したもので、自動車メーカ ーに広く採用されている12).

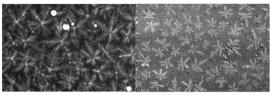
外板部品は、鋼板のわずかな疵や汚れが欠陥になる. そのため、鋼板の欠陥を事前に察知して除去する努力 や, めっき後の数 100 µm サイズのわずかな欠陥も見逃 さないオンライン外観検査技術の開発と、欠陥となる製 鋼介在物や亜鉛ドロスの巻き込み、圧延や搬送時の擦り 傷の防止など源流対策を実行している. また, 衝突安全 性と車体軽量化の両立のため, 高張力鋼板の適用が拡 大、合金元素が添加された鋼板を原板とする GA への ニーズに対応して抗張力 980 MPa クラスの GA 鋼板を 開発した13. 合金元素によっては溶融めっきとの濡れ性 を劣化させ、合金化反応を阻害する等の課題があるの で、母材の特性と、めっきの濡れ性、合金化反応性を両 立した鋼板設計や、より生産性の高い設備開発を行って きた. このように、自動車用亜鉛めっき鋼板の製造は、 上工程の製鋼、圧延、焼鈍工程による母材の作り込みと 最終めっき工程までの一貫した高度な製造技術と操業管 理により実現している.

住宅建材用防錆鋼板においても、省資源・部品長寿命化の観点から、従来製品より約4倍耐食性を高めた Al 濃度の高い Zn-Al-Mg 系合金溶融めっき鋼板スーパーダイマ®を開発¹⁴、住宅建材メーカーに採用頂いている.このような3元系の亜鉛めっきの凝固と合金化挙動をより深く理解する目的で、鋼板上での Zn-Al-Mg 合金の凝固現象を SPring8 により解析、挙動の直接観察に成功した. 観察結果から、鋼板上のめっき合金は、バルクのインゴット凝固に比べて、初晶の Al リッチ相の個数密度が2倍近く増え、かつ微細に生成することが分かった(図20). 鋼板もバルクインゴットも冷却速度など熱履歴は同一条件にセットしているので、本結果から、鋼板表面自体が、めっき凝固時の初晶の核生成サイトとして作用していることが明確になった。今後の溶融

めっきのさらなる性能向上を図る上で重要な知見が得られた. なお,本研究は水曜会会員の大阪大学教授,安田秀幸先生のご指導によるものである¹⁵.

(3) HEV モーター用および変圧器用電磁鋼板

自動車メーカーでは、走行時の CO₂排出量削減対策として、内燃エンジンと電気モーターのハイブリッド車、電気自動車、燃料電池車などの駆動系の開発が進められ、実用化されている。モーターの鉄芯に使われる無



(a)インゴット凝固

(b)めっき鋼板凝固

 $100 \, \mu \, \mathrm{m}$

白く見える部分がAIリッチ初晶。メッキ鋼板上の方が、同一成分同一冷却速度でもインゴットよりも緻密に生成する。 メッキ鋼板表面の凝固核生成作用。

図20 SPring8 による ZnAlMg めっき観察.

ガソリンエンジン自動車 ディーゼルエンジン自動車 燃料

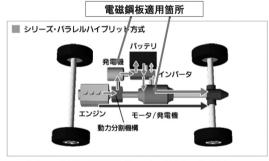
ハイブリッド電気自動車(HEV) 燃料電池自動車(FCEV)

駆動モータへの要求性能

- ■発進時、坂道走行時の高トルク
- 高速走行時の高回転数対応
- ■市街地走行時の高効率、実効的な 低燃費

図21 地球環境・省エネルギーに応える無方向性電磁 鋼板 NO の開発. 方向性電磁鋼板の性能が車の性能を左右するので、高トルクで航続距離が長くできる軽量・高磁東密度・低鉄損の電磁鋼板が要請された。そこで、当社では従来品に比べて高い磁東密度を保ったまま大幅に鉄損を下げた高周波特性に優れた薄手高合金系の電磁鋼板ハイライトコア®を開発した(図21~23)16。 本製品は、優れた平坦度と電気絶縁性と複雑な鉄心設計を可能にする高い打抜加工性を併せ持っており、ハイブリッド車の交流モーター小型化の必須アイテムとなっている。今後もさらなる小型化、高性能化のニーズに対応すべく開発を進めている。ハイブリッド車が最初に世に出る時、緊急で当社広畑製鉄所で電磁鋼板の開発を行った。当時、開発チームは極めて短期間で涙ぐましい努力で実行したが、筆者もそのメンバーの一人である。今後とも、この分野の開発は熾烈な競争が続いていくものと思われる。

次に、発電所や変電所で変圧器として使われる方向性 電磁鋼板の開発を述べる。方向性電磁鋼板は圧延後にイ ンヒビターと呼ばれる結晶粒ピニング粒子の MnS,



出所: NEDO技術開発機構「技術解説・ハイブリッド自動車ってなんだろう」 http://app2.infoc.nedo.go.jp/kaisetsu/seg/seg04/index.html#elmtop

図22 HEV 自動車の構造.

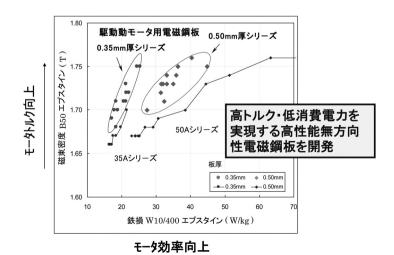


図23 駆動モータに適した電磁鋼板の開発.

AlN を分解して圧延方向に平行な 100 方位(ゴス方位)の結晶を 2 次再結晶させた鋼板である。変圧器用鉄心は高磁東密度と低鉄損が必要とされる。そこで、当社は 2 次再結晶後にパルスレーザー処理を施し鋼板表面に応力を付与して磁区を細分化した当社独自の高配向性方向性電磁鋼板 ORIENTCORE・HI-B®・レーザーを製造販売している(図24, 25)。磁区細分化により交流磁場の磁界変化に追随する磁区移動距離が小さくできるので、鉄損を大幅に下げることに成功している。国内総発電量のうち年間70億 kWh 以上が変圧器の鉄損ロスにより消失している試算があり、おおよそ人口 100 万人の年間消費電力量に相当する。もし、全国の変圧器を当社の

現在の最高級電磁鋼板に置換えれば、本製品を製造する 当社広畑製鉄所の所在地である人口50万人の姫路市の年 間電力量が節約できる勘定になる(図24)。また中国に は目下、長距離の超高圧送電網計画があり、建設が始ま った。直近では1000km以上の距離で800kVに達する 送電設備が完成し、ここでも当社の電磁鋼板が採用され た。今後も更なる高性能電磁鋼板の開発を推進して、国 内外の電源開発に貢献していきたい。

(4) 社会資本の刷新

発電所や港湾,水道,電気ガス,橋梁,建物など, 我が国にストックされている社会資本の総資産価値 は約440兆円,新たな公共工事投資は年間約20兆円であ

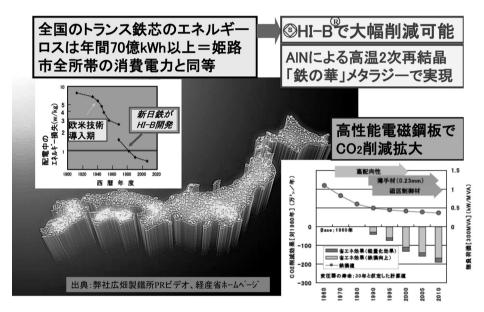


図24 地球環境・省エネルギー要求に応える,低鉄損・高性能方向性電磁鋼板 ORIENTCORE・HI-B® の開発.

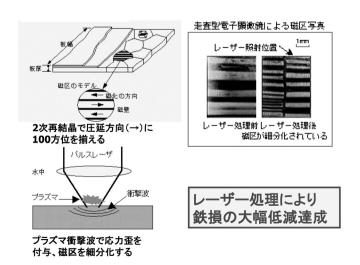


図25 方向性電磁鋼板 ORIENTCORE・HI-B® のレーザ磁区制御.

る¹⁷. 一方,維持修繕投資の比率は約25%であり,社会インフラは貴重な財産であると同時に,その刷新には多額の予算が必要になる.維持管理費が削減できる新しい鋼材のニーズは非常に高く,疲労寿命や耐食性などの長期耐久性,安全性,施工性,メンテナンス性に優れた鋼材開発は大変意義がある(図26).そこで,当社における建設・重工・エネルギー分野の製品開発事例を以下に,紹介する.

①耐塩害性を高めた Ni 系高耐候性鋼, NAW-TEN® 山岳地帯が多い我が国では、道路橋、鉄道橋などの橋 梁は必須のインフラの1つである。鋼橋はコンクリート 橋に比べ比強度が高く軽量化が容易であり、特に支間長の長い橋には鋼橋が適用されている。このような鋼橋には、従来から大気中の腐食に対して優れた耐食性を示す耐候性鋼 COR-TEN®が用いられてきた。 耐候性鋼は、一般の大気環境において耐食性に有効な Cu, Ni

などの元素を微量に添加した鋼材で、無塗装のまま長期 間使用すると表面に緻密で密着性の高い保護性さびが形 成され、"さびでコーティング"することを意図した鋼 材である. COR-TEN®は、1960年代から鋼橋への適用 を開始,1996年までに累計で3000橋を超え、国内インフ ラの長寿命化の一端を担つてきた. しかしながら、海が 近く飛来塩分が付着するような地区では、塩分により保 護性さびが期待通り形成されず、無塗装での適用ができ ない弱点があった。海岸地域に人口が集中している我が 国において、耐塩害性の高い耐候性鋼の開発が強く望ま れていた、このようなニーズから、当社では1980年代よ り研究開発に着手し、9年間以上の暴露試験などを通じ て、飛来塩分濃度が高くても優れた耐食性を示す新しい Ni 系高耐候性鋼を開発した (図27)¹⁸⁾, この鋼材は、鋼 中の Ni 量を増やし Cr を無添加としたもので、鋼材表 面に生成するさび層中に存在する有害な塩化物イオンを

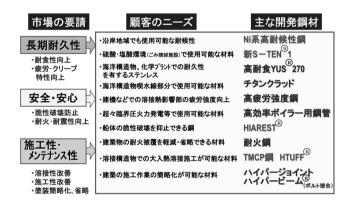


図26 社会インフラ (建設, 重工, エネルギー) と鋼材.

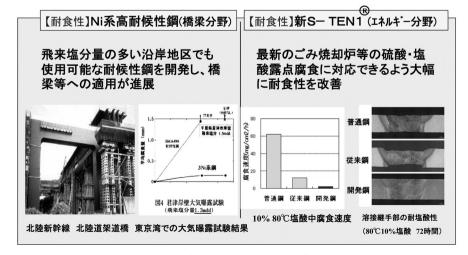


図27 建設・重工・エネルギー分野の製品開発.

さび層の外側に追いやると同時に、耐食性の向上に有効なナトリウムイオンをさび層内部に濃縮させる一種のイオン交換機能をさび層に持たせたことが特徴である.これにより、図に示すように、従来の耐候性鋼(SMA-490)と比べ、大幅な腐食量の低減が実現できた.本鋼は1998年に商品化し、日本海親不知海岸、北陸自動車道と交差する新幹線架道橋にはじめて採用され、北陸新幹線や九州新幹線を中心に70橋以上に適用され、累計27,000トン以上の出荷実績がある.なお COR-TEN®は United States Steel Corp. の登録商標である.

②ゴミ焼却炉、再資源化プラント用鋼、新 S-TEN®1 ボイラープラントなどの排煙処理や熱回収装置では、 高温排ガス中に含まれるガス状酸性物質 SOx. HCl な どの結露により酸露点腐食と呼ばれる腐食が進行する。 例えば、発電設備に多数使用されてきた重油焚きボイラ ーや石炭焚きボイラーなどでは燃料に含まれる S によ り硫酸露点腐食が生じ、設備維持保守費用がかかる。そ こで1960年代以降の高度成長期において、耐硫酸性鋼を 鉄鋼各社が開発, 当社においては耐候性鋼の知見を活か し S-TEN®1 を開発, 商品化を行つた, 近年, ゴミ焼却 炉や再資源化プラントなどの運転において, 耐硫酸だけ でなくゴミ中の塩化ビニールなどに由来する塩酸雰囲気 による腐食問題がクローズアップされてきた. 腐食形態 は、腐食生成物中に多量の可溶性金属塩化物塩などを含 むもので、硫酸の場合より 10倍も腐食速度が高いもの である. 従って、これらのプラントでは、従来の耐硫酸 性に加えて耐塩酸性の向上が強く望まれてきた. そこ で、当社は2002年に従来の S-TEN®1 に耐塩酸性を付与 した新しい新 S-TEN®1 とその専用溶接材料を開発19, 販売を開始した (図27). 開発鋼は、機械的性質、溶接 性は普通鋼と同等であり、大変加工しやすい. そして、

耐食性は、従来と同等の耐硫酸性と、図に示すように優れた耐塩酸性を実現しており、最新のごみ焼却炉、再資源化プラントへの適用がますます期待される.

③造船用 HIAREST® 鋼

大型溶接構造物では、脆性破壊に対する安全性は非常に重要な特性である。特に、船舶や低温貯槽タンクなどでは、万一破壊が発生してもその脆性き裂の伝播を阻止しうる性能(脆性き裂伝播阻止性能以下、アレスト性能と呼ぶ)が要求されている。特に、船舶では、船の大型化から万一衝突事故などが発生した場合の人命の損失だけでなく、積み荷の原油流出などによる環境被害も懸念され、破壊事故時でも脆性き裂が進展しないような破壊特件に優れた鋼板の適用が望まれている。

破壊特性向上の手法としては、従来から Ni など靭性 を向上させる元素の添加などで達成されてきた. しかし ながら、その方法では合金コストの上昇や溶接性の低下 などのデメリットを招くことから, 高価な合金添加なし で、アレスト性能を向上しうる鋼材が必要とされてき た. そこで、当社では、従来成分のままで、鋼板の表層 部の耐脆性破壊特性を向上させた HIAREST® 鋼を開発 した (図28)²⁰. 本鋼板の表層部は、1~3 µm の超微細 粒に制御、脆性破壊しにくい鋼材構造となっている. こ の鋼板に脆性き裂が突入してくると、この鋼板表層部に シアリップと呼ばれる延性的な破壊形態となり、 脆性き 裂の進展にブレーキがかかり、アレスト性能が上昇す る. 表層部の超細粒化は、低温のフェライト域で加工す る厚板製造技術を実ラインに世界で初めて適用、実現し た. これにより、図に示すように、LPG タンカー、バ ルクキャリアなどの船側外板上部の舷側厚板(シアスト レーキ) 等の重要部位に適用されている.

④大入熱溶接用鋼,HTUFF®

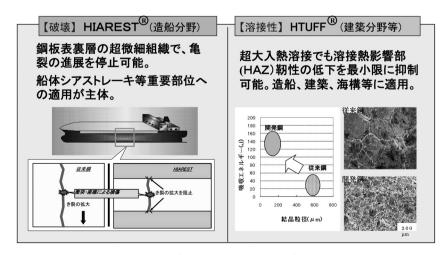


図28 建設・重工・エネルギー分野の製品開発.

阪神大震災以降、超高層ビルのような建築構造物につ いて鋼板に対する耐破壊特性の要求が厳しくなってい る. 例えば、高層建築に用いられる鉄骨の溶接部に対 しては、シャルピー試験で従来0℃で47」以上の要求 値が、70 J 以上と高い吸収エネルギーが要求されるよう になった. また、構造物の高層化や大スパン化に伴って 鉄骨用鋼材の板厚の増大から、鉄骨の溶接施工における 高能率溶接技術として, エレクトロスラグ溶接や多電極 潜弧溶接などの大入熱溶接が適用されている. 入熱量 は、50~100 kJ/mm に達するもので、この様な大入熱 溶接を施した鋼材側の溶接熱影響部(HAZ)のミクロ 組織は、通常の小入熱溶接時に比べ極めて粗大化するた め、靭性が大きく低下することが知られている、従来、 HAZ 靭性の向上には、ミクロ組織の粗大化を抑制する ためピン止め効果を利用してきた. これは、鋼板中に 室化物 TiN などをピン止め粒子として微細分散させ, 結晶粒界の移動を阻止することで粗大化を防止するもの である.この技術は通常の溶接施工では、細粒化効果が 期待できるものの, 近年の鉄骨加工で用いられる 50 kJ/mm を超える入熱では、高温での滞留時間が極め て長く, 窒化物では熱的に不安定であり, ピン止め粒子 としての効果が消失してしまう欠点があった。 そこで、 当社では、 高村仁一先生が提唱されたオキサイドメタラ ジー20を発展させ、高温でも安定なピン止め粒子として 酸化物および硫化物に着目した研究を行った結果、〇 やSと親和力の強い Mgや Caに着目,これらの化合 物を鋼中に微細分散した大入熱溶接用鋼 HTUFF®を開 発した. これにより、図に示すように、従来の建築用鋼 の HAZ 靭性に比べ、結晶粒径を約 1/10 程度に微細化す ることに成功, 靭性を飛躍的に向上することができた (図28)²². 本技術は、建築分野だけでなく、造船、海 洋構造物など大入熱溶接を必要とするあらゆる分野に適 用されており、38万トンの出荷実績がある。

⑤長大橋用の高強度橋梁用鋼線

近年のミクロ・ナノ解析技術の進歩は目覚しいものが あり、新鋼材開発の大きな武器になっている。一例とし て、水曜会の先輩の成果である長大橋用の高強度橋梁用 鋼線の開発事例を紹介する23). 本州と淡路島を結ぶ明石 海峡大橋は1998年に開通したが、主塔間の距離、即ちセ ンタースパン 1991 m は世界最大長さである. この世界 最大の明石海峡大橋は、メインケーブル用の 1800 MPa 級の高強度鋼線の開発によって初めて実現できたと言っ ても過言ではない(図29). それまでの吊橋は、この半 世紀の間、ジョージ・ワシントン橋やゴールデンゲート 橋を含めていずれもセンタースパン1200~1500 m 級で あった. これは. 吊橋のセンタースパンは吊橋のメイン ケーブルのワイヤ強度で決まり、そのワイヤ強度がこの 半世紀の間, 1600 MPa 級に止まっていたためである. 明石海峡大橋ではその地理的条件からセンタースパン 1990 m の確保が必須であり、そのためには 1800 MPa 級の高強度線材の開発が不可欠となった. 橋梁用鋼線は 伸線後450℃で溶融亜鉛メッキが施されるが、このメッ キ時にパーライト組織を構成するセメンタイトのラメラ 組織が崩壊することが高強度化の課題となっていた. こ れに対して、Si 添加量を増量することにより、Si がセ メンタイト/フェライトの界面に濃化することをアトム プローブ FIM やナノプローブ EDS を用いて明らかに した (図30). これにより, 450℃ での溶融亜鉛メッキ 時のセメンタイトのラメラ組織崩壊を抑制できることを 見出し、メインケーブル用の 1800 MPa 級高強度鋼線を 実現した.このように、解析基盤技術の進歩により、 種々の冶金現象をナノオーダー、原子オーダーで解析す ることが可能になり、これまで停滞していた技術をブレ ークスルーした新鋼材開発につながっている.

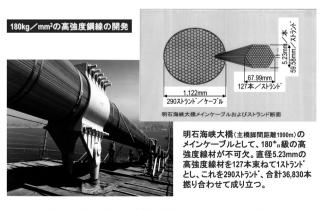


図29 明石海峡大橋と高強度ケーブルの開発.

(5) 製鉄プロセスと発生物処理,水素エネルギーの利用

循環型社会を形成する上で、社会から大量に発生する 発生物をいかに動脈系生産プロセスに戻し、処理するか が課題である。鉄鋼業においては、国内の鋼材生産量は 年間約1億トン、当社は約3千万トンであり、それに伴 い、多量の原料である鉄鉱石、石炭や水及びエネルギー を使用している。また、鉄を生産するのと同時に、鉄以 外のスラグ、ダスト、スラッジ及び副生ガスなど多くの 副生物も生成するが、当社はこれらを製品化及び製鉄所 内リサイクル技術を開発し、ゼロエミッションに向けた 製造体制を構築している²⁰.

製鉄プロセスは、多量の物質とエネルギーを取り扱うので、社会で発生する発生物の処理量は相対的に少量であることから、製鉄プロセス内に外部からの発生物処理を取り入れることが可能である。製鉄プロセスは固体、液体、気体など3相にわたる原材料、生成物を扱い、多

様な反応工程,反応条件を内包していることから,様々な発生物処理の可能性を秘めている。例えば,高炉では鉄鉱石を還元して溶融鉄を生成し,転炉では溶融鉄から炭素を酸素により酸化除去するが,これらの過程で強還元~強酸化雰囲気の反応があり,その温度は1550~1700℃にも及ぶ。また製鉄所内では,空気から深冷分離操作により酸素,窒素を製造しており,液体窒素-196℃の極低温の環境も有している。反応圧力としては,高炉では5気圧,転炉以降の二次精錬では脱ガス処理のため,真空下で処理しており,取り扱う圧力範囲も広い。鉄鋼業の懐の深さは、地球上の発生物、廃棄物を処理する役割を担うことで社会と共生できる,ポテンシャルの高さを示しており、循環型社会形成に果たす役割は大きいと認識している。

社会からの発生物処理を当社製鉄所内で実施した具体 例としては、石炭の乾留技術を利用した廃プラスチック 処理、転炉工程を利用した廃タイヤの資源化、高炉技術

1nmg 領域の点分析からSi,Mn,Crの元素分布を解析

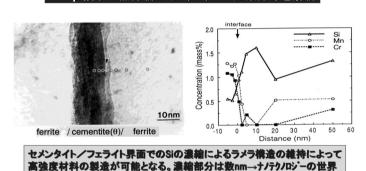


図30 ナノプローブ EDS によるセメンタイト/フェライト界面の解析.

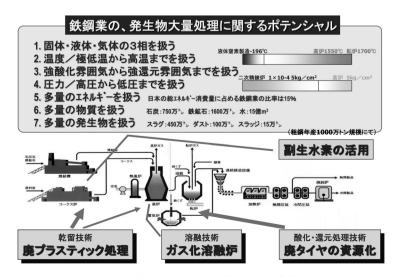


図31 製鉄プロセスと発生物処理の可能性.

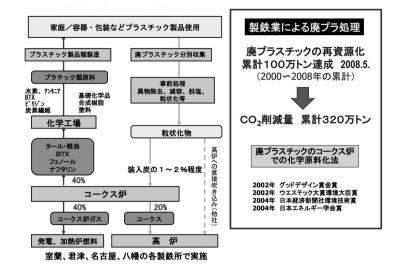


図32 製鉄業での廃プラのリサイクル、

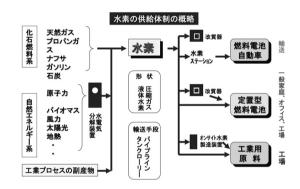


図33 水素エネルギーの近未来.

を活用したガス化溶融炉がある.また逆に,製鉄所内から発生する副生ガスから水素を精製し,水素エネルギー社会構築への貢献も期待されている.以下,その内容を述べる.

①廃プラスチックのリサイクル

コークス炉化学原料化法は、日本の各地方自治体が一般家庭から分別回収する容器包装プラスチックを再資源化し 100% 有効活用する技術として、当社が開発したものである(図31)²⁶. この技術は、コークス炉に事前処理した廃プラスチックを石炭とともに投入することで、プラスチックを熱分解して油やガス、コークスを生み出すという高度でクリーンなリサイクルシステムであり、すでに当社の5つの製鉄所で日本全国をカバーする廃プラスチックの受け入れ態勢を確立しており、2008年5月には立ち上げ以降の累計処理量 100万トンを達成した。これは、 CO_2 削減量で約320万トン、埋立処理量で約400万 m^2 を回避した計算になり、全国で発生する容器

包装プラスチックの約3割に相当する再資源化量は、単一企業での受け入れ規模としては世界最大である.

コークス炉化学原料化法は、既存の製鉄プロセスを活 用することでコストと資源回収の課題を一挙に解決した 画期的な手法である、コークス炉で最高温度 1200℃ で 高温乾留し、安定した物資に熱分解する同技術は、地方 自治体で焼却処理する際に起こる CO。発生を回避で き、地球温暖化対策に直接的に貢献している。 さらに、 容器包装プラスチックにはさまざまな種類のプラスチッ クが混在しているため選別が非常に困難であるが、本技 術は、プラスチックの種類を問わずに化学原料として再 利用が可能である。なおコークス炉に投入したプラスチ ックはほぼ全量が有効利用される. 投入プラスチックの 40% は分解ガスとなり、製鉄所内の燃料として活用さ れ,20%は炭化物として、コークスとともに製鉄原料 として高炉で使用される、残る40%は、軽油、タール 等になり、化学工場の化学原料として活用され、再びプ ラスチック製品として社会にリサイクルされている.

②コークス炉ガスからの水素製造

鉄鋼業の水素エネルギー社会に向けた取り組みとして、製鉄所の副生ガスから水素を精製し、燃料電池車などに水素供給する水素ステーションへ安全に輸送・貯留する技術に着手している(図33、34)、製鉄所の全ての水素を利用すれば、250万台もの水素燃料乗用車に水素を供給し続けることができ、且つ製鉄所は全国に分散し、主要都市にも近いことから、供給拠点としても有望視されている。

製鉄所のコークス工程から出るコークスガス (COG) は水素を約55%含んでいる。当社ではCOG 中の水素を圧力スイング法 PSA による吸着分離操作で

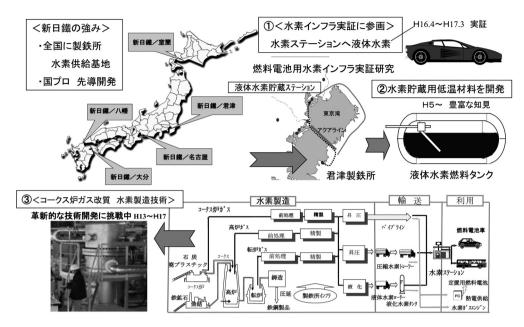


図34 コークス炉ガスからの水素製造.

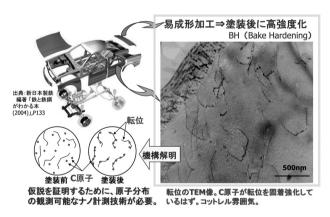


図35 易成形高強度の自動車パネル用 BH 鋼板.

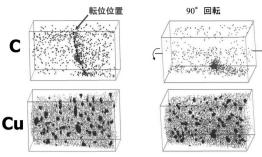
精製するプロセスを開発した。本プロセスは化石燃料からの水素製造のような改質プロセスが不要のため、改質に伴う排出ガスや排熱がなく、且つ、分離後の残ガスもCOGまたは他の副生ガス系統に回収され、製鉄プロセス内で燃料として利用されることから、環境負荷が少なく、且つエネルギー効率の高い優れた水素製造法である。

当社は、経済産業省が実施している「水素・燃料電池 実証プロジェクト(JHFC)」²⁶に参画し、2004年には君 津製鉄所で COG から液体水素まで世界初の製造実証試 験を実施し、JHFC 有明水素ステーションに液体水素 を供給している。また名古屋製鐵所では、2005年愛・地 球博において燃料電池バスへの燃料供給を目的とした水 素ステーションに水素供給し、その後 JHFC セントレア水素ステーションへ圧縮水素を供給している。その他、八幡製鉄所でもパイプライン輸送による水素供給実証試験を実施中である。

また液体水素燃料タンクの安全性確保のため、水素貯蔵用低温材料開発を鉄鋼メーカーとして取り組むなど、水素製造設備をはじめとする水素供給システム全般に関する技術力をベースに、水素エネルギー社会の構築に貢献していきたい.

5. 今後の技術開発の視点

継続的な材質と品質の向上,コスト削減はもちろん重要であるが,今後の技術開発の視点として,(1)市場ニ



Fe-0.001%C-1.4%Cu, 45nm × 47nm × 88nm

Cu原子の3D-AP像で、連続的なCu析出粒子から転位位置を特定。 C原子の3D-AP像で、転位上のC偏析=コットレル雰囲気の観察に成功。

図36 転位上への C 固着, コットレル雰囲気の直接観察.

- 鋼材を強化するナノ炭化物TiCの安定性
- 新炭化物制御の追究

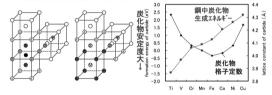


図1 C原子●周囲のFe原子 Ti原子○周囲のFe原子

図2 ■炭化物安定度 ◆炭化物格子定数

図37 第一原理計算による鋼材設計の探求.

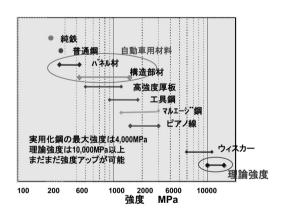


図38 鉄鋼のいろいろな強度.

ーズとタイミングに合致した新商品の開発,(2)製造工程における省エネルギー,省原料,ゼロエミッションのリサイクル技術開発,(3)根源的な課題解決を導く新たな原理,考え方の3つの視点が必要である.

近年,高分解能電顕をはじめとするナノスケールの観察技術が著しく進歩した.従来は,このように考えると説明がつく,という仮説で済まされていたものの実像がいよいよ明確にされつつある.例えば,前述の自動車用BH 鋼板はプレス成形時に導入された転位に 10 ppm 程

度のフリー炭素を固着させるコットレル効果を使っている。当社では3次元アトムプローブを用いて転位上に固着された C 原子の観察, コットレル雰囲気の直接観察に成功している (図35, 36) ^{27, 28)}. このような転位と C の固着作用, あるいは, TiC のような析出強化作用など, どのような状態で最大強度が得られるか, その製造プロセスの必須要件は何か, 高度観察技術と第1原理計算の検討により, 原点に戻り明らかにしているところである (図37). 転位論についても40年前, 高村仁一先生の講義で勉強したが, 最近は技術者の日常会話の中で当たり前のように使われている。易成形と高強度を両立させる理想強度鋼材など, まだまだある鉄の特性を引き出す取組みを続けていきたい。

6. 結 言

当社における、環境調和社会に貢献する鉄鋼素材開発の現状と今後の技術開発のあり方を述べた、製鉄技術は人類有史以来5千年の歴史がある。しかし、鉄の理想強度から考えるとまだ1/10程度がようやく工業的に使えるレベルである(図38)。未だ気が付いていない事象が沢山あるものと思われる。事実に裏打ちされた新たな発想により、社会のニーズにマッチした鉄鋼素材開発に挑戦していきたい。雑駁な紹介記事になり恐縮であるが、会員各位のご参考になれば幸甚である。なお、本稿は、主に、水曜会会員である当社フェロー上島良之工学博士にまとめてもらった。この場を借りて感謝しておきたい。

引用文献

- 1) 日本鉄鋼連盟:http://www.jisf.or.jp/
- 2) IISI: Steel Statistical Yearbook 2008, worldsteel Committee on Economic Studies, Brussels, (2009) p.3.
- 3) 日本自動車工業会:http://www.jama.or.jp/world/world/world_t2.html
- 4) 総務省統計局:http://www.stat.go.jp/data/sekai/02.htm#h2-03
- 谷口裕一,後藤貢一,岡本力,杉山昌章,山崎一正:鉄と鋼,88 (2002) p.808.
- WorldAutoSteel: http://www.worldautosteel. org/
- 7) 佐久間康治,木村徳俊,伊丹淳,樋渡俊二,河野治,坂田国臣:新日鉄技報,354(1994) p.17.
- 8) 吉田博司,栗山幸久,上西朗弘,高橋学:自動車 技術会学術講演会前刷集,No.71-02,(2002)p.9.
- 9) 上西朗弘,吉田博司,栗山幸久,高橋学:新日鉄 技報,378(2003) p.21.
- 10) 水村正昭, 吉田亨: NIPPON STEEL MONTH-LY, 132 (2003) p.8.
- 11) 新日本製鐵 (株): http://www.nsc.co.jp/prod-

- uct/superdyma/material/process.html
- 12) 落合忠昭,鈴木眞一,宮坂明博,福井政治,平田 雅裕,伊藤健:新日鉄技報,378 (2003) p.43.
- 13) 野中俊樹,藤田展弘,友清寿雅,松村賢一郎,宫城隆司:自動車技術会学術講演会前刷集 No.136-08 (2008) p.13.
- 14) 森本康秀,本田和彦,西村一実,田中暁,高橋彰,新頭英俊,黒崎将夫:新日鉄技報,377 (2002) p.22.
- 15) H. Yasuda, T. Nagira, H. Harada, T. Sawai, H. Shindoh and K. Nishimura: Proceedings of the 7th International Conference on Zinc and Zinc Alloy Coated Steel (Galvatech'07), ISIJ, Osaka, Japan, (2007), p.545.
- 16) 黒崎洋介:日本能率協会第28次第1回モーター技 術フォーラム,2009年7月 p.2-1.
- 17) 内閣府:http://www.esri.cao.go.jp/jp/sna/h20kaku/22annual-report-j.html
- 18) 字佐見明, 紀平寛, 楠隆:新日鉄技報, 377 (2002) p.19.

- 19) 字佐見明, 奧島基裕, 坂本俊治, 西村哲, 楠隆, 児嶋一浩: 新日鉄技報, 380 (2004) p.21.
- 20) 石川忠, 野見山祐治, 吉川宏, 今井嗣郎, 井上健 裕:新日鉄技報、365 (1997) p.26.
- J. Takamura and S. Mizoguchi: Proc. of the Sixth International Iron and Steel Congress, ISIJ, Nagoya, October, vol.1, (1990), p.591.
- 22) 児島明彦,清瀬明人,植森龍治,皆川昌紀,星野学,中島隆雄,石田浩司,安井洋二:新日鉄技報,380 (2004) p.2.
- 23) 高橋稔彦: 水曜会誌 23, (1999) p.26.
- 24) 織田博史, 茨木哲治, 高橋政治:新日鉄技報, 376 (2002) p.28.
- 25) 加藤健次,野村誠治,福田耕一,植松宏志,近藤博俊:新日鉄技報,384 (2006) p.69.
- 26) 水素・燃料電池実証プロジェクト(JHFC): http://www.jhfc.jp/
- 27) J. Takahashi and K. Kawakami: to be submitted to Scripta Mater. (2010).
- 28) 丸山直紀, 高橋学:鉄と鋼, 93 (2007) p.506.

談話室

マイクロ・ナノポーラス金属の創製と塑性変形

袴 田 昌 高*

Fabrication and Plastic Deformation of Microporous and Nanoporous metals

by Masataka HAKAMADA

1. は じ め に

平成22年4月1日付で京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻資源エネルギープロセス学分野の助教に着任した袴田昌高と申します。平成19年3月に京都大学大学院エネルギー科学研究科エネルギー応用科学専攻にて馬渕守教授のご指導のもとポーラス金属の作製および特性評価の研究を行い、博士(エネルギー科学)の学位を取得しました。その後は独立行政法人産業技術総合研究所サステナブルマテリアル研究部門で任期付研究員として3年間勤務し、マグネシウムの鍛造技術開発に携わりつつ、ポーラス金属の研究も続けておりました。本稿ではポーラス金属の研究結果の一部を紹介させていただきます。

2. ポーラス金属

ポーラス (多孔質) 金属は、例えば 70% 以上といった高気孔率を有するスポンジのような金属材料です¹⁾. ポーラス金属は低密度であることに加え、圧縮時に一定応力で大ひずみまで変形するという特異な塑性変形挙動(応力 - ひずみ曲線においてこの領域をプラトー領域と称する)を示すため、自動車など輸送機器の衝突エネルギー吸収材としての応用が期待されています。

ポーラス金属のもう一つの特徴として、質量あたりの表面積(比表面積)が大きいことが挙げられます.孔径を微細化することで表面積が大きくなり、流体抵抗や吸音等の表面に由来する効果も格段に強くなります.この表面効果を積極的に活用するためには、孔径の微細制御(マイクロ化・ナノ化)によって表面積を大きくするこ

*京都大学大学院エネルギー科学研究科 エネルギー応 用科学専攻 助教 とが不可欠です。同時に孔径を微細制御することで小型部材への適用を可能にし、ポーラス金属の用途を拡大できます。たとえば1mmの寸法を有する部材にポーラス構造を導入する場合は、孔径は少なくともマイクロメートルオーダに微細であることが望ましく、また、孔径の微細化により、マイクロマシンやマイクロ反応容器等への応用も期待されます。

しかし、現行のポーラス金属の孔径は多くの場合ミリメートルオーダと粗大であり、また大きさ・形状などのばらつきが大きいことも問題です。そのような背景から最近、孔径がマイクロメートルあるいはナノメートルオーダのマイクロポーラス・ナノポーラス金属が注目を集めています。しかし、マイクロ・ナノポーラス金属の研究はまだ揺籃期の段階にあり、その塑性変形挙動はよくわかっていません。そこで、本研究ではマイクロポーラス金属・ナノポーラス金属を創製し、その塑性変形挙動を詳細に調べました。

3. マイクロポーラス金属

3.1 スペーサ法によるマイクロポーラス金属の 創製

焼結スペーサ法(図1)ではまず原料として金属微粉 末およびスペーサ粒子を用意し、これらを所与の比率で 混合したのち圧粉し、加熱して焼結します。焼結中ある いは焼結後にスペーサを除去することで、スペーサとほ ほ同じ大きさ・形状を有する気孔が形成されます。

マイクロポーラスアルミニウム(AI)の作製の場合,原料 AI 微粉末は平均粒径約 3μ m のものを,スペーサ粒子はふるい分けによりマイクロメートルオーダの粒径に整粒された NaCl 粒子を用いました.焼結には放電プラズマ焼結(SPS)装置を用い,真空中で行いました.焼結後の試料の水洗により NaCl 粒子を除去する

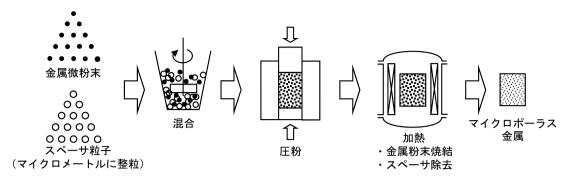


図1 焼結スペーサ法によるマイクロポーラス金属の作製

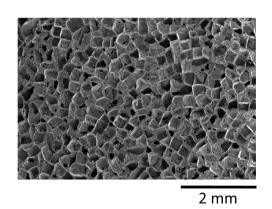
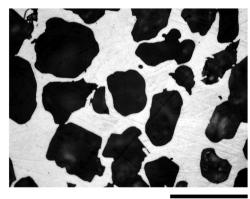


図2 スペーサ法により作製されたマイクロポーラス Al の走査電子顕微鏡写真

ことで、マイクロメートルオーダの孔径を均質に有するマイクロポーラス AI を得ることに成功しました^{2,3)} (図 2).

マイクロポーラス銅(Cu)の場合,原料 Cu 微粉末は平均粒径約 1.5μ m のものを,スペーサ粒子はふるい分けによりマイクロメートルオーダの粒径に整粒された炭酸水素アンモニウム(NH_4HCO_3)粒子を用いました.焼結は管状電気炉を用い,昇温中に $NH_4HCO_3 \rightarrow NH_3 + H_2O + CO_2$ の反応を起こすことによりスペーサを気化,除去した結果,マイクロメートルオーダの孔径を均質に有する Cu を得ることができました 4 (図 3).

マイクロポーラス Al と発泡法で作製された市販のポーラス Al 合金の室温圧縮試験を行った結果(図 4),マイクロポーラス Al においても明瞭にプラトー領域が表れており、しかもプラトー領域の応力変動幅は発泡法で作製されたポーラス Al 合金に比べ小さいことがわかりました。スペーサ法により均一微細に気孔性状を制御した結果、このように一定応力で安定して塑性変形するマイクロポーラス金属を得ることができます。



400 μm

図3 スペーサ法により作製されたマイクロポーラス Cu の光学顕微鏡写真

3.2 圧縮変形機構の相対密度依存性

スペーサ法の優れた点のひとつに、出発原料の金属微粉末とスペーサ粒子の配合比率を変えることで、最終的に得られるマイクロポーラス金属の相対密度(=1-気孔率)を精度よく制御できることが挙げられます.粒径・気孔形状を変えずに相対密度のみを制御できることから、本研究では種々の相対密度を有するマイクロポーラス Cu をスペーサ法で作製し室温で圧縮試験に供することで、圧縮特性の相対密度依存性を調べました。なお、降伏強度 σ と相対密度 ρ */ ρ _s (ρ *, ρ _s はそれぞれポーラス Cu および緻密 Cu の密度)を σ =C (ρ */ ρ _s) (C は定数) で関連付けたとき、この指数 ρ の値がセル壁の変形機構と関連することが知られています。

室温圧縮試験により得られたマイクロポーラス Cu の 圧縮降伏強度と相対密度との関係(図5)から、圧縮強度の相対密度依存性は、相対密度の大小によって3つの領域に分かれることがわかります。領域 I (低密度領域) においては、p は2と3の中間の値をとり、セル壁の曲げおよび座屈が支配的な変形様式であることが示唆

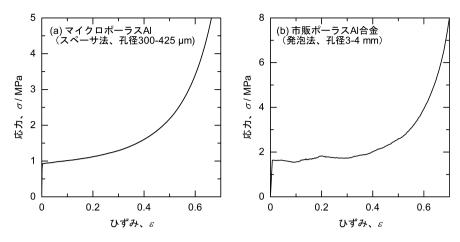


図4 (a) マイクロポーラス Al および (b) 市販のポーラス Al 合金室温圧縮試験における応力 - ひずみ曲線

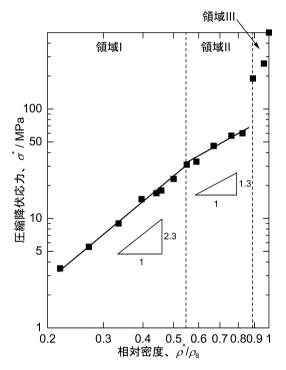


図 5 マイクロポーラス Cu の圧縮降伏応力と相対密度の関係

され $^{\mathrm{D}}$, 一方領域 II (中密度領域) では p=1 に近く, 圧縮変形中のセル壁の変形様式が降伏であると考えられます。実際に圧縮したマイクロポーラス Cu を観察すると(図 6),低密度試料ではセル壁の曲げあるいは座屈が,中密度試料ではセル壁の降伏が観察されます。また,領域 III はわずかな気孔が応力集中の源となり強度が急激に減少する領域です。

これらの結果は、ポーラス金属の圧縮特性の相対密度 依存性が相対密度の大小によって異なり、セル壁の変形 様式とpの値が緊密に対応していることを示しています。異なる見方をすると、もし座屈の起こりにくいような気孔性状を実現できれば、pの値を小さくでき、相対密度の低減(=ポーラス化)による強度減少を抑えられる可能性があります。

3.3 高温圧縮特性

金属材料の高温変形においては応力指数 n や活性化エネルギー Q が変形機構を表す代表的なパラメータです。特に n の値は局所変形により実効ひずみ速度が大きくなることを反映する可能性がある 6 ため,本研究ではポーラス金属の応力指数 n や活性化エネルギー Q の値を検討しました。

スペーサ法により作製したマイクロポーラス Al. お よび母材である緻密 Al を高温圧縮試験に供した結果、 応力指数 n および活性化エネルギー Q は、ポーラス Al と緻密 Al でほぼ同じ値でした (図7および図8). さ らに、ポーラス Al の高温変形応力 σ*を相対密度で補 正し,変形時の Z 因子($=\dot{\epsilon}\exp(Q/RT)$, $\dot{\epsilon}$ はひずみ速 度, R は気体定数, T は変形温度) との関係を緻密 Al と比較すると, ほぼ同一の直線上に表されました (図 9). Zhang らは、発泡法で作製したポーラス Al 合金 においては n の値が母材である緻密 Al 合金よりも大き くなると報告しており、その原因は局所変形であるとし ました5. ポーラス金属が局所変形を呈する原因は、そ の気孔性状が不均一であることです. 焼結スペーサ法で 作製したマイクロポーラス金属ではより均質なポーラス 構造を有しているため局所変形が生じにくくなったと考 えられますり.

3.4 圧縮-圧縮疲労特性

実用上の観点からはポーラス金属の疲労特性を調べる ことが欠かせません. 焼結スペーサ法を用いて作製した マイクロポーラス Al および市販のポーラス Al を圧縮

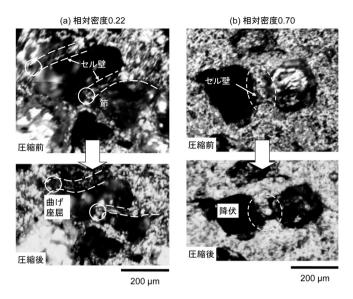


図 6 マイクロポーラス Cu の圧縮によるセル壁の変形 (a) 相対密度 0.22 および (b) 相対密度 0.70

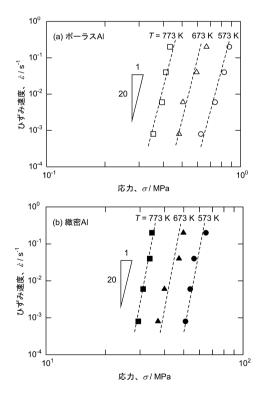


図7 (a) マイクロポーラス Al および (b) 緻密 Al の高温圧縮試験における応力とひずみ速度 の関係

- 圧縮の繰り返し載荷に供し、その際の試験片の変形挙動を追跡しました。その結果、市販のポーラス Al ではある繰り返し数でひずみが急激に増加する "ひずみジャンプ" が発生しました (図 10 a). ひずみジャンプの発

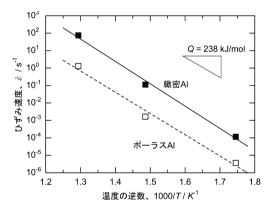


図8 マイクロポーラス Al および緻密 Al の高温 圧縮試験におけるアレニウスプロット

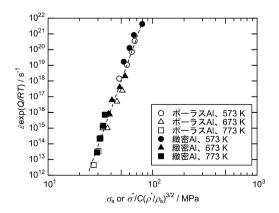


図9 高温圧縮試験におけるマイクロポーラス Al および緻密 Al の相対密度補正応力(横軸) と Z 因子(縦軸)の関係

生する繰り返し数は荷重が大きくなるほど小さくなりました. 一方,マイクロポーラス AI ではこのひずみジャ

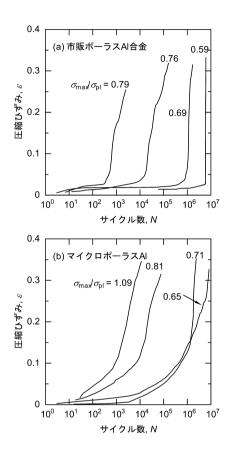


図10 (a) 市販のポーラス Al 合金および (b) マイクロポーラス Al の圧縮 - 圧縮疲労試験における圧縮ひずみと繰り返し数の関係(σ_{max} は最大応力, σ_{pl} はポーラス金属のプラトー応力)

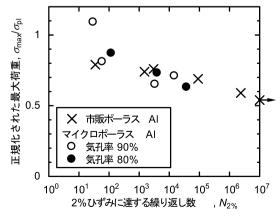


図11 市販のポーラス Al およびマイクロポーラ ス Al の S-N プロット

ンプが明瞭に見られず、繰り返し数の増加にともないひずみが漸次的に増加しました(図 10 b). 圧縮中の気孔性状を観察した結果、市販のポーラス Al は発泡法で作製されているため孔径が粗大かつ不均一であり、圧縮・圧縮繰り返し載荷中に局所変形を生じたが、マイクロポーラス Al では孔径が微細かつ均一であるために局所変形が抑えられ、ひずみジャンプが明瞭に生じなかったことがわかりました.

S-N 曲線(図11)においては市販のポーラス Al とマイクロポーラス Al で大きな差が見られないが、S-N 曲線に表れない繰り返し載荷中の変形挙動に気孔性状が大きく影響することを見出しました⁵.

4. ナノポーラス金属

4.1 脱合金化によるナノポーラス金属の創製

スペーサ法ではスペーサと同じ大きさの気孔が形成されるため、原理上はナノメートルオーダの大きさのスペーサを用いれば、ナノメートルオーダの孔径を有するナノポーラス金属を作ることができます。しかし実際には、スペーサとなるナノ粒子よりも充分に小さい金属微粉末を用意しなければならず³、現実的ではありません。焼結ではなくめっき等による場合でも、スペーサのナノ粒子と金属とを均一に混合(配置)し、その後スペーサのみを除去する技術は複雑です®、

他のナノポーラス金属の作製法として,脱合金化法が知られています⁹. 貴な金属と卑な金属の2成分からなる完全固溶単相合金を作り,卑な成分を酸などによる腐

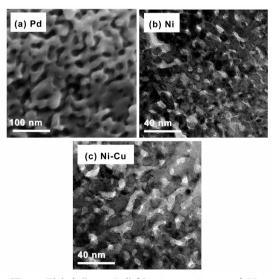


図12 脱合金化により作製したナノポーラス金属 の電子顕微鏡写真 (a) Pd, (b) Ni, (c) Ni-Cu ((a) は走査電子顕微鏡, (b) および (c) は透 過電子顕微鏡)

食により選択的に除去すると、腐食中に貴な成分の金属原子が自己集合し、ナノメートルオーダの非常に微細な開気孔構造を形成します⁹. スペーサ法のようにあらかじめ一定の寸法を持つ2相を含ませておいて片方の相を除去するのとは違い、貴な金属の自己組織化を利用してナノポーラス構造を形成するところが特徴です.

脱合金化法により Au-Ag 単相固溶合金から Ag を選択除去することでナノポーラス Au を得る研究が多い中で,著者はパラジウム (Pd)・ニッケル (Ni)・ニッケル・銅 (Ni-Cu) といった多種のナノポーラス金属の創

表 1 ナノポーラス Au のナノインデンテーション試験結果

試料	セル柱径(≒孔径) <i>d</i> _L /nm	硬さ H/GPa
腐食まま材	5	0.99 ± 0.18
473 Kアニール材	29	0.74 ± 0.12
573 Kアニール材	126	0.52 ± 0.14

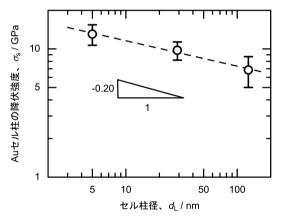


図13 ナノポーラス Au のセル柱強度とセル柱径 の関係

製に世界に先駆けて成功し(図12),ナノポーラス構造 の形成機構や孔径微細化の指針を明らかにしました 10-12)

4.2 力学特性

連続体力学の観点からは、ポーラス金属の圧縮特性は、セル形状が同一(相似)である限り、気孔径あるいはセル柱寸法には依存しません¹⁾. しかし、本研究で脱合金化法により作製されたナノポーラス Au のナノインデンテーション試験を行った結果、孔径が小さくなればなるほどナノポーラス Au の強度が著しく向上することが示されました(表1).

開気孔ポーラス金属の力学特性に関する以下の2式より、ナノポーラス Au を構成するセル柱の降伏強度 σ_s を推測することができます 1 .

$$\sigma^* = H \tag{1}$$

$$\sigma^* = C\sigma_s(\rho^*/\rho_s)^{3/2} \tag{2}$$

ここで、 σ^* はナノポーラス Au の降伏強度、Hはナノインデンテーション試験により得られる硬さ、C は定数 (=0.3)、 ρ^*/ρ_s は相対密度です。 σ_s をセル柱径に対してプロットすると、セル柱径が小さくなるほど σ_s は大きくなり、理想強度(=2-20 GPa)近くにまで達します(図13)。

このように、ナノポーラス金属においては、従来のミリ〜マイクロメートルオーダの孔径を有するポーラス金属では見られない微小寸法強化機構が発現します。このナノポーラス金属の強化機構は、ナノワイヤやサブミクロンロッド等で提唱されている、転位欠乏による強化機構⁽³⁾と共通するものと推測されます。

以上のようにポーラス構造をナノメートルオーダまで 微細化することで高強度化し、気孔の導入による強度の 低下を補える可能性を提示しました¹⁴.

4.3 圧延と脱合金化によるナノポーラス表面の 形成

前節で述べたようにナノポーラス金属は高強度を有するものの、脱合金化の過程で体積収縮を受け脆化します

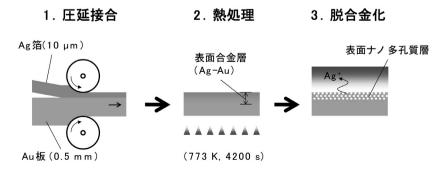


図14 圧延と脱合金化による Au 板表面へのナノポーラス層形成

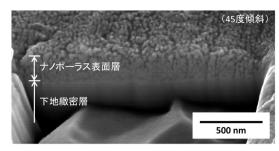


図15 表面をナノポーラス化した Au 板の走査電 子顕微鏡写真(断面を収束イオンビーム装 置で調製)

15. 電極や触媒、センサなどへの応用の場合、必ずしも金属のバルク全体がナノポーラス構造をとっている必要はなく、表面だけがナノポーラス構造で内部はバルクであってもよい場合があります。本研究では、圧延接合を利用して表面だけ合金化し、その表面合金層のみを脱合金化によりナノポーラス構造とすることを試みました(図14). その結果、図15に示すように、Au 板の表面に厚さ約200 nm のナノボーラス構造を形成することに成功しました¹⁶. ナノポーラス構造は基板 Au と接合されており、基板金属の延性を保ったまま表面のナノボーラス構造を利用できます。

5. おわりに

本研究ではマイクロメートルおよびナノメートルオーダの均一な孔径を有するマイクロポーラス金属・ナノポーラス金属の塑性変形機構を詳細に検討しました。その結果、ポーラス金属の相対密度がセル壁の変形機構に影響を及ぼし、材料全体の塑性変形機構をも大きく変化させることを明らかにしました。また、マイクロポーラス金属の圧縮変形においては気孔の微細均一性により圧縮変形時の局所変形が抑制されることを、ナノポーラス金属においては孔径のナノ化による従来にない高強度化を実証しました。これらにより、孔径のマイクロ化・ナノ化がポーラス金属の塑性変形挙動を安定させるのに有効であることが示されました。

現在はこれら塑性変形挙動の解明に加え、水素吸蔵特性¹⁷⁾や磁性^{18, 19}、有機・無機化合物との複合化など、多面的な観点からポーラス金属の研究を推し進めています。水曜会の諸先輩方には今後ともご指導・ご鞭撻いただきますようよろしくお願い申し上げます。

参考文献

 L. J. Gibson and M. F. Ashby: Cellular Solids - Structure and Properties (2nd Ed.),

- Cambridge University Press, 1997.
- M. Hakamada, Y. Yamada, T. Nomura, H. Kusuda, Y. Chen and M. Mabuchi: Mater. Trans. 46 (2005) 186-188.
- 3) M. Hakamada, Y. Yamada, T. Nomura, Y. Chen, H. Kusuda and M. Mabuchi: Mater. Trans. 46 (2005) 2624-2628.
- M. Hakamada, Y. Asao, T. Kuromura, Y. Chen, H. Kusuda and M. Mabuchi: Acta Mater. 55 (2007) 2291-2299.
- M. Hakamada, T. Kuromura, Y. Chino, Y. Yamada, Y. Chen, H. Kusuda and M. Mabuchi: Mater. Sci. Eng. A 459 (2007) 286-293
- P. Zhang, M. Haag, O. Kraft, A. Wanner and E. Arzt: Philos. Mag. A 82 (2002) 2895-2907.
- M. Hakamada, T. Nomura, Y. Yamada, Y. Chino, H. Hosokawa, T. Nakajima, Y. Chen, H. Kusuda and M. Mabuchi: J. Mater. Res. 20 (2005) 3385-3390.
- K. M. Kulinowski, P. Jiang, H. Vaswani and V. L. Colvin: Adv. Mater. 12 (2000) 833-838.
- J. Erlebacher, M. J. Aziz, A. Karma, N. Dimitrov and K. Sieradzki: Nature 410 (2001) 450-453.
- M. Hakamada and M. Mabuchi: J. Alloy. Compd. 479 (2009) 326-329.
- M. Hakamada and M. Mabuchi: J. Alloy. Compd. 485 (2009) 583-587.
- M. Hakamada, K. Tajima, K. Yoshimura, Y. Chino and M. Mabuchi: J. Alloy. Compd. 494 (2010) 309-314.
- B. Wu, A. Heidelberg and J. J. Boland: Nat. Mater., 4 (2005) 525-529.
- 14) M. Hakamada and M. Mabuchi: Scr. Mater. 56 (2007) 1003-1006.
- 15) S. Parida, D. Kramer, C. A. Volkert, H. Rösner, J. Erlebacher and J. Weissmüller: Phys. Rev. Lett. 97 (2006) 035504.
- M. Hakamada, Y. Chino and M. Mabuchi: Mater. Lett. 64 (2010) 2341-2343.
- 17) M. Hakamada, H. Nakano, T. Furukawa, M. Takahashi and M. Mabuchi: J. Phys. Chem. C 114 (2010) 868-873.
- M. Hakamada, M. Takahashi, T. Furukawa and M. Mabuchi, Appl. Phys. Lett. 94 (2009) 153105.
- M. Hakamada, M. Takahashi, T. Furukawa and M. Mabuchi, Philos. Mag. 90 (2010) 1915-1924.

談 話 室

マイクロサイズ試験片を用いた金属材料変形挙動の 局微小領域解析

柴 田 曉 伸*

Characterization of Local Deformation Behavior of Metallic Materials Using a Micro-Sized Specimen

by Akinobu SHIBATA

1. はじめに

私は、平成22年度4月付けで材料工学専攻構造物性学分野(辻 伸泰教授)の助教に着任しました。これまでの経歴を簡単に述べますと、材料工学専攻材質制御学分野において牧 正志教授(現:京都大学名誉教授、新日本製鐵顧問)の指導の下、「鉄合金レンズマルテンサイトの内部微視組織および結晶学に関する研究」と題する研究にて平成19年3月に博士(工学)の学位を取得しました。学位を取得後、平成19年4月から東京工業大学精密工学研究所に助教として3年間勤務し、現職に至っております。これまで鉄鋼材料をはじめとする構造用金属材料の組織形成原理や組織と力学特性の相関に関して研究を行ってきました。本稿では金属材料の力学特性発現機構や組織形成原理をマイクロサイズ試験片を用いた局微小領域解析により調べた研究を紹介させていただきます。

2. マイクロ曲げ試験による鉄合金ラス マルテンサイトの粒界強度評価

ラスマルテンサイト組織はほとんどの高強度鋼に現れるため、実用上非常に重要な組織です。ラスマルテンサイト組織が高強度を示すのは、ラスマルテンサイトが固溶強化、転位強化、粒界強化、析出強化といったすべての強化因子を含んでいるからです。これらの強化因子のうち炭素による固溶強化および析出強化の寄与率がラスマルテンサイト全体の強度に対して最も大きいとこれまで考えられていました¹⁾. しかし近年のナノインデンテーションを用いた一連の研究²⁻⁴により、マルテンサイトの全体の強度に対する粒界強化の寄与率は過去の研究

で見積もられていた値よりも非常に大きいということが 明らかとなってきました.

ラスマルテンサイト組織は非常に特徴的な微視組織を 有しており、母相オーステナイト粒は変態によって、パ ケット,ブロック,サブブロック,ラスといった異なる 大きさの微視組織によって分割されます(図1). その ため、ラスマルテンサイト内にはラス粒界、サブブロッ ク粒界, ブロック粒界, パケット粒界, 旧オーステナイ ト粒界といった結晶学的に異なる粒界が多数存在しま す. 粒界方位差の観点から, ブロック粒界が強度に対す る有効結晶粒界であるという報告5があるのに対し、マ ルテンサイト内に存在する粒界はすべり面に対する方位 差が小さいため、旧オーステナイト粒界のみが強化に寄 与するという報告6もあります。 そのためマルテンサイ トの強度に対する有効結晶粒界に関しては不明な点が多 く, 現時点では、「ラスマルテンサイトの強度を向上さ せるためにはどの組織単位を細かくすべきか?」という 根本的な質問に対して明確な答えがないのが現状でし た.

そこでマルテンサイトの力学特性を更に向上させるた

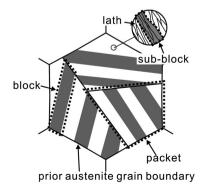


図1 鉄合金ラスマルテンサイトの模式図

^{*}京都大学大学院材料工学専攻 助教

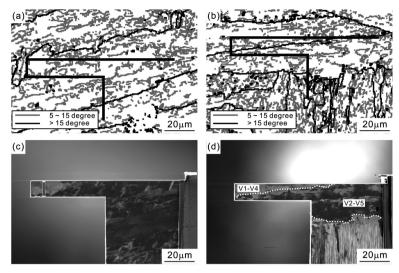


図 2 (a), (b) Fe-23Ni 合金におけるラスマルテンサイトの粒界マップ, (c), (d) 作製したマイクロサイズ片持ち梁試験片の SIM 像 (作製した領域は (a), (b)に示してある).

めには、ラスマルテンサイト全体の強度に対するそれぞれの粒界の寄与率を正確に評価する必要があると私は考えました.

粒界による強化機構を調べる場合。加工熱処理によっ て種々の粒径を有するバルクサイズの試験片を作製し、 その強度変化について議論するのが常套手段です。しか しバルクサイズ試験片は多種多様な粒界が含まれていま すので、ラスマルテンサイト内に存在するような個々の 特徴的な粒界が変形挙動におよぼす影響を正確に評価す ることは困難です. また目的の組織単位のみを制御する こと(例えばマルテンサイトの場合、ブロックの大きさ のみを制御すること) は不可能に近く, さらに加工熱処 理によって粒径以外の因子が一定であるという保証はあ りません、このような困難を克服するために、私はマイ クロサイズ試験片というものに注目しました. マイクロ サイズ試験片はラスマルテンサイトのブロックやパケッ トといった微視組織とほぼ同等のスケールです。そのた め、ある特定の粒界のみを有する試験片を作製すること ができ、特定の粒界のみの強度を直接評価することが可 能です. そこでマイクロサイズ試験片を用いて、ラスマ ルテンサイトの粒界強度を正確に評価しました.

図2(a),(b)に電子線後方散乱回折図形(EBSD)により得られたラスマルテンサイトの粒界マップを示します。黒色の線が大角粒界であるブロック粒界,灰色の線が小角粒界であるサブブロック粒界を表しています。図2(a)に示した領域からサブブロック粒界のみを含むマイクロサイズの片持ち梁型試験片を収束イオンビーム(FIB)加工により作製しました。作製した試験片の走査型イオン顕微鏡(SIM)像を図2(c)に示します。

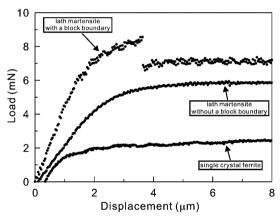


図3 作製したマイクロサイズ片持ち梁試験片の マイクロ曲げ試験における荷重-変位曲線

SIM 像のコントラストは方位マップと一致しており、マイクロサイズ片持ち梁型試験片の固定端付近にはプロック粒界が存在していないことが分かります。さらに図 2 (b) に示した領域から一つのブロック粒界を含むマイクロサイズ片持ち梁型試験片を FIB 加工により作製しました。図 2 (d) に示しますように、ブロック粒界が試験片表面から約 2.6μ m のところに存在しています。また参照試料としてフェライト粒内から単結晶フェライトであるマイクロサイズ片持ち梁試験片も同様に作製しました。

図3に作製したマイクロサイズ試験片のマイクロ曲げ 試験によって得られた荷重-変位曲線を示します。ラスマルテンサイトはブロック粒界を含まない試験片,ブロック粒界を含む試験片伴に単結晶フェライト試験片よりも強度が大きく上昇していることが分かります。さらに

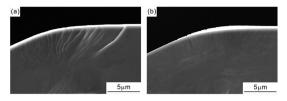


図 4 マイクロ曲げ試験後の試験片の SEM 像; (a) ブロック粒界を含まないラスマルテンサイト試験片, (b) ブロック粒界を含むラスマルテンサイト試験片.

ブロック粒界の存在は強度をさらに上昇させています. 単結晶フェライト試験片とブロック粒界を含まない試験 片の強度差は非常に大きくなっていますが,詳細な強度 解析の結果[®],この強度上昇量はラスマルテンサイト組 織内に存在する転位による強化量とほぼ一致しているこ とが分かりました.つまりサブブロック粒界による強化 能はあまり大きくないと言えます.一方,ブロック粒界 を含まない試験片からブロック粒界を含む試験片への強 度上昇量はそのままブロック粒界による強度上昇量となっています.試験片表面からブロック粒界までの距離を 粒径と見なし,半定量的な Hall-Petch 解析を行ったと ころ,ブロック粒界の強化能はフェライト組織の大角粒 界とほぼ同等であることがわかりました.

図4にマイクロ曲げ試験後の試験片の走査型電子顕微 鏡(SEM)像を示します。ブロック粒界を含まないラ スマルテンサイト試験片(図4(a))では明瞭なすべり バンドが観察され、すべりが局所化していることがわか ります。すべりが局所化しているということは転位の運 動に対して障害がほとんど存在しないことを意味してい ます. 一方, ブロック粒界を含むラスマルテンサイト試 験片(図4(b))では、図4(a)に比べてすべりバンドを ほとんど観察することができず、非常に不明瞭になって います、このようにすべりが局所化しないのは試験片表 面で生成した転位がブロック粒界によってその運動が抑 制されるためであると考えられます. つまり変形後の組 織観察結果からもブロック粒界がすべり運動に対して強 い障害になっていることがわかりました。以上のことか ら、サブブロック粒界による強化に比べてブロック粒界 による強化の方がはるかに大きく、ラスマルテンサイト の強度に対する有効結晶粒界はサブブロック粒界ではな く, ブロック粒界であると結論付けることができまし た.

3. マイクロサイズ試験片を用いた金属ガラスの 変形誘起組織変化の直接観察

金属ガラスは金属でありながらアモルファス構造であり、かつ昇温時に明瞭なガラス転移を示す非常に特殊な

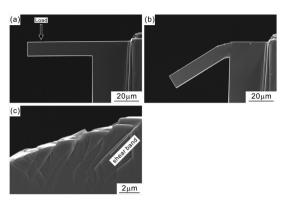


図 5 Pd₇₈Cu₆Si₁₆金属ガラスのマイクロサイズ片 持ち梁試験片の SEM 像; (a) 変形前, (b), (c) 変形後.

金属材料です. 金属ガラスは電気的・磁気的性質, 耐腐 食性、力学特性に優れており、近年盛んに研究が行われ ています、金属ガラスの力学特性に注目しますと、通常 の結晶金属材料と比べて極めて高強度・低弾性率であ り、強度が5GPaまでにも至る合金も報告されていま す. しかし金属ガラスはシェアバンドと呼ばれる特定の 変形帯のみに変形が局所化し容易に破断してしまうた め、塑性変形をほとんど示しません、この塑性変形能の 低さが実用的に金属ガラスを用いる際の最大の問題で す. 塑性変形能を向上させるためには、金属ガラスの変 形機構を解明し、シェアバンドの伝播を抑制するメカニ ズムを構築する必要があります. そこで近年, 透過型電 子顕微鏡 (TEM) を用いて変形により導入されたシェ アバンド近傍の組織解析が行われており、ナノ結晶化や 高密度のナノボイド形成などの組織変化が報告されてい ます8-11). しかし過去の研究はシェアバンドと組織変化 が生じた領域の位置関係を特定できておらず、シェアバ ンド伝播による組織変化の要因の解明には至っていませ んでした.

金属ガラスの変形誘起組織変化を詳しく調べるためには、TEM 試料内でシェアバンドの位置を特定する必要があります。私はマイクロサイズ片持ち梁試験片を用いれば、変形中に生成した試料表面のすべりステップの延長線としてシェアバンドの正確な位置を特定可能なTEM 試料を作製することができると考えました。

図5(a)に FIB 加工により作製した $Pd_{78}Cu_6Si_{16}$ 金属 ガラスのマイクロサイズ片持ち梁試験片の SEM 像を示します。このマイクロサイズ片持ち梁試験片に曲げ変形を施しますと,図5(b),(c)に示すように多量のシェアバンドが試験片表面付近に導入されます。そこでこの図5(c)のような変形が集中し,試料表面にすべりステップが生成している領域を選択的に薄膜化することにより TEM 試料を作製しました。図6に作製した試料の

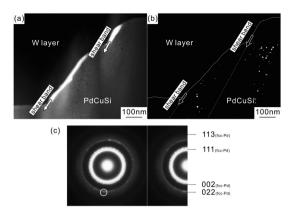


図 6 Pd₇₈Cu₆Si₁₆ 金属ガラスの変形後の TEM 像; (a) 明視野 TEM 像, (b) 暗視野 TEM 像, (c) 対応する領域の制限視野回折図形.

TEM 像を示します ((a) 明視野 TEM 像, (b) 暗視野 TEM 像, (c) 対応する領域の制限視野回折図形). 試料表面のすべりステップが残存しており,シェアバンドの位置を正確に特定できる TEM 試料の作製に成功しました. 図 6 (b) の暗視野 TEM 像から金属ガラス中に多くのナノ結晶が生成していることがわかります. 特筆すべきことはこのナノ結晶がシェアバンド上ではなく,シェアバンドから 20 - 130 nm 離れた領域に生成していることです.

これまで金属ガラスの変形誘起ナノ結晶化は、(1) せ ん断変形により原子移動が局所的に誘起され、その結果 ナノ結晶が生成する^{8,10,11)},(2)シェアバンド伝播に伴 って試料の温度が局所的に上昇し、その結果ナノ結晶が 生成する10,という二つの機構が提案されていました. もしせん断変形による原子移動度の上昇がナノ結晶化の 要因であるならば、ナノ結晶はシェアバンド内にしか生 成しないはずです. しかしこれは図6(b)に示す観察結 果と一致しません. 一方, シェアバンド伝播に伴う試料 内の局所温度上昇がナノ結晶化の要因であるならば、ナ ノ結晶がシェアバンド近傍で生成したことを説明できま す13. シェアバンド伝播によるシェアバンド内の局所温 度上昇量は数1000℃にも達すると報告されています 12). 温度上昇がこのように非常に高い場合,シェアバン ド内の領域は一度溶融します. しかし溶融後の冷却速度 が非常に速いため、シェアバンド内の領域では結晶化が 生じず, アモルファス構造が再度形成されます. 一方, 局所温度上昇量が数 100℃ 程度であるシェアバンドから ある程度離れた領域は原子クラスターが成長できるのに 十分な時間、結晶化温度域に保持されるため、ナノ結晶 化が生じると考えられます、以上より、金属ガラスの変 形誘起ナノ結晶化現象はシェアバンド伝播に伴って試料 の温度が局所的に上昇したためであると結論付けること

ができました.

4.終わりに

本稿では金属材料の力学特性発現機構や組織形成原理をマイクロサイズ試験片を用いた局微小領域解析により調べた研究を紹介させていただきました。この研究テーマは私が学位取得後の東工大在籍時に一から自分で立ち上げたものです。東工大着任時には新しい研究テーマを生み出すために四苦八苦,右往左往しました。そんな私を救ってくれたのが,学生時代に培った組織解析技術でした。学生時代に指導教員であった牧正志教授が「組織の中に必ず答えが隠れている。組織は嘘をつかない。組織の気持ちになりなさい」と仰っていたことが今でも私の研究の拠り所となっています。

学位取得後,一人の研究者として社会に出て,自分はいかに未熟な研究者であるかを痛感し,落ち込む日々が続きました。ですが,今は自分の研究者としての伸び代はまだまだある,自分はもっともっと成長できると固く信じることにしています.

これからは早く自分独自の研究分野を築いていけるよう日々努力を積み重ねていく所存です。皆様には今後ともご指導,ご鞭撻を賜りますようよろしくお願いいたします。

参考文献

- G. Krauss. Mater. Sci. Eng. A 273-275 (1999) 40.
- T. Ohmura, K. Tsuzaki, S. Matsuoka. Scripta Mater. 45 (2001) 889.
- T. Ohmura, K. Tsuzaki, S. Matsuoka. Phil. Mag. A 82 (2002) 1903.
- T. Ohmura, T. Hara, K. Tsuzaki. J. Mater. Res. 18 (2003) 1465.
- N. Tsuji, T. Maki. Scripta Mater. 60 (2009) 1044.
- J. W. Morris Jr, C. S. Lee, Z. Guo. ISIJ Int. 43 (2003) 410.
- 7) A. Shibata, T. Nagoshi, M. Sone, S. Morito, Y. Higo. Mater. Sci. Eng. A in press.
- 8) H. Chen, Y. He, G. J. Shiflet, S. J. Poon. Nature 367 (1994) 541.
- 9) J.-J. Kim, Y. Choi, S. Sureshi, A. S. Argon. Science 295 (2002) 654.
- W. H. Jiang, F. E. Pinkerton, M. Atzmon, Scripta Mater. 48 (2003) 1195.
- W. H. Jiang, M. Atzmon. Acta Mater. 51 (2003) 4095.
- J. J. Lewandowski, A. L. Greer. Nat. Mater. 5 (2006) 15.
- A. Shibata, M. Sone, Y. Higo. Scripta Mater. 62 (2010) 309.

談 話 室

陽電子消滅法を用いたZr基金属ガラスの自由体積評価

杉 田 一 樹*

Positron Annihilation Studies of Free Volume Change in a Zr-Based Metallic Glass

by Kazuki SUGITA

はじめに

平成22年4月1日付けで材料工学専攻ナノ構造学分野 (白井泰治教授) に助教として着任いたしました、杉田 一樹と申します。この場を借りてご挨拶を申し上げると ともに、これまでの略歴と研究成果の一部を紹介させて いただきます、私は平成14年3月に大阪大学工学部応用 理工学科マテリアル科学コースを卒業後、大阪大学大学 院工学研究科マテリアル科学専攻前期課程、後期課程へ と進学し、白井泰治教授のご指導の下、平成20年3月に 博士(工学)の学位を取得いたしました。学士、修士課 程は金属酸化物の陽電子寿命値や欠陥形成エネルギーの 第一原理計算を,博士課程ではZr基金属ガラスの陽電子 消滅実験と理論計算についての研究を行いました. その 後、NEDO の「鉄鋼材料の革新的高強度・高機能化基 盤研究開発」プロジェクトの産学官連携研究員として、 豊橋技術科学大学の梅本実教授のもとで、V添加中炭素 鋼の加工熱処理の研究を行いました. 本稿では博士課程 で行っていた、Zr 基金属ガラスの陽電子消滅実験につ いての研究成果の一部を紹介させていただきます.

金属ガラスの局所構造と自由体積

1960年に Au-Si 系において液体からの急速凝固により液体構造が凍結されアモルファス相が得られることが Duwez らのグループによって発見されて以来,今日まで多くの種類のアモルファス合金が作製されてきましたが,極めて高い冷却速度が必要であり厚さもごく薄いものしか得られませんでした。1988年以降,東北大学金属

材料研究所の井上らのグループにより従来のアモルファス合金よりもかなり低い、~100 K/s の臨界冷却速度を持つ多元系のアモルファス合金(以降、金属ガラスと記述)が発見されました。構造解析実験の結果、これらの合金では、(a) ランダムな稠密原子配置 (b) 結晶とは異なる新しい局所原子配置 (c) 長範囲の尺度では均一な原子配置を持つことが判明しています。このことから金属ガラスは、冷却過程において特殊な原子配置によって原子の拡散が抑制されることで、室温までガラス構造が凍結されて形成されると考えることができます。図1にアモルファス合金の結晶化や構造緩和過程における体積変化を示します。金属ガラスの形成機構を明らかにするためには、過冷却液体やガラス状態での自由体積変化を捉えることが重要であると考えられます。高いガラス形成

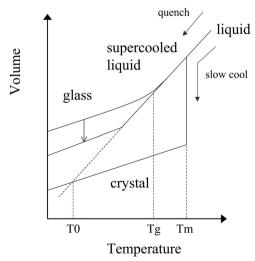


図1 結晶化や構造緩和過程におけるアモルファ ス合金の体積変化.

^{*}京都大学大学院材料工学専攻 助教

能を持つ、Zr 基金属ガラス合金 $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ について、材料中の空隙を敏感に検出可能な陽電子消滅法を適用した結果を以下に示します。

陽電子消滅法

陽電子は電子の反粒子であり、電子と等しい質量と正の電荷を持っています。 β^+ 崩壊核種である 22 Na は陽電子を放出するのとほぼ同時に 1.28 MeV のエネルギーを持つ γ 線を放出ます。 材料に入射後、陽電子は $2\sim 3$ ps の極めて短い時間で熱エネルギーまで減速され、消滅サイトの電子密度を反映した寿命の後、511 keV のエネルギーを持つ消滅 γ 線をほぼ正反対方向に放出し、電子と消滅します。よって陽電子誕生時に放出される 1.28 MeV の γ 線を検出してから、陽電子消滅時の511 keV のエネルギーを持つ γ 線を検出するまでの時間差を計測することで、陽電子寿命スペクトルを得ることができます。

一方、陽電子・電子ペアの運動量は対消滅後も保存されるので、2本の消滅γ線のエネルギーは511 keV からドップラーシフトします。ドップラー幅拡がり法では消滅γ線のドップラーシフトを計測することにより、消滅前に電子が持っていた運動量を知ることができます。本研究では2本の消滅γ線の同時計数率を求めてドップラー幅拡がりを測定することにより、対消滅する電子の高運動量成分を検出可能な同時計数ドップラー幅拡がり(CDB, Coincidence Doppler Broadening)法を用いました。内殻電子の運動量分布に対応する高運動量成分の運動量分布は元素固有であるため、CDB法では陽電子消滅サイト周辺に存在する原子の種類に関する情報を得ることができます。図2に陽電子寿命法とCDB法の測定原理の概略を示します。

陽電子消滅法を金属ガラスに適用した場合,陽電子寿命法からは空隙のサイズの情報,CDB法からは空隙周

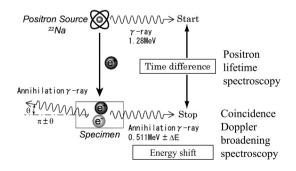


図 2 陽電子寿命法,同時計数ドップラー幅拡がり (CDB) 法の測定原理概略.

囲の元素の情報を得られることが期待されます.

金属ガラスの陽電子寿命, CDB スペクトルの温度変化

Zr 基金属ガラス Zr₅₅Cu₃₀Al₁₀Ni₅合金の陽電子寿命を 6~650 K で測定した結果を図 3 に示します。極低温冷 凍機,液体窒素冷凍機,電気炉を用いて陽電子線源と試料を各温度に保持し、その温度での陽電子寿命を測定しました。陽電子寿命の変化が可逆的であることから、構造緩和による過剰自由体積の減少では説明できず、観測された陽電子寿命の変化は、金属ガラスの可逆的な構造変化を反映しているものと考えらます。

陽電子寿命値の変化は次のようなステージに分けることができます。

ステージ I:6 K~300 K の温度範囲における正の温度依存性 (可逆変化)

ステージ II: 300~550 K の温度範囲における負の温度 依存性 (可逆変化)

ステージ III: 550~650 K の温度範囲における正の温度 依存性 (可逆変化)

ステージ I 及びステージ III の変化は可逆的であり、陽電子寿命の変化も数 ps であるため、熱膨張及び熱収縮に伴う変化であると考えられます。一方、ステージ II では温度の上昇により陽電子寿命が 15 ps 低下しています。これは熱膨張・熱収縮に伴う変化とは全く逆方向であり、温度が上昇するほど陽電子消滅サイトの空隙のサイズが小さくなっていることに対応しています。全体の体積は図 1 の模式図のように熱膨張により増加していると考えられるので、一見矛盾しているように思えます。

各温度で測定した Zr 基金属ガラスの CDB スペクト

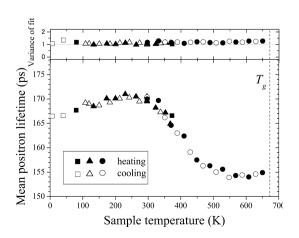


図 3 $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 金属ガラスの陽電子寿命の温度依存性. 各温度その場で陽電子寿命を測定したものです.

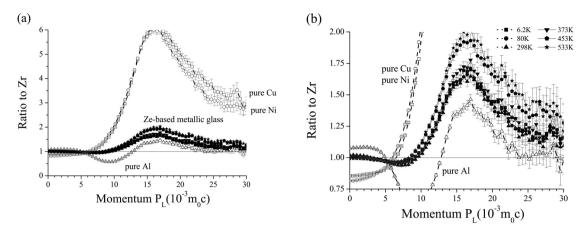


図 4 $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 金属ガラスの CDB スペクトル. (a) に構成元素の純金属との比較, (b) に温度による変化を示します. 純金属のデータは室温にて、合金のデータは各温度で測定を行ったものです.

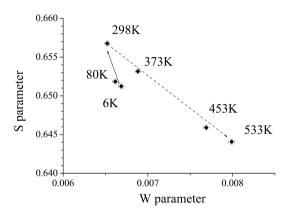


図 5 $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 金属ガラスの S-W プロット. 各温度で測定した CDB スペクトルから算出されます. 298 K を境に変化挙動が異なることが分かります.

ルを図4に示します. 図4(a)に純 Zr に対する比率曲線を純 Al, Ni, Cu ともに示します. Zr と Al では高運動成分が少なく, Cu と Niが多いことが分かります. 図4(b)に各温度のデータの比較を示します. 第 III ステージの温度の試料において運動量17×10³moc 付近のピークの高さが増大しており, Cu, Ni との消滅が増加していることが分かります. 消滅割合の変化を明らかにするため, 低運動領域のカウント数が全体に占める割合 Sパラメータ, 高運動領域の割合 W パラメータとして図示すると図5のようになります. S パラメータは主に価電子との消滅割合を示すため, 陽電子寿命の変化と良く対応しています. 陽電子消滅サイト周辺の元素の消滅割合が変化していない場合は S パラメータと W パラメータは直線状に変化します. 298 K を境に傾きが異なっ

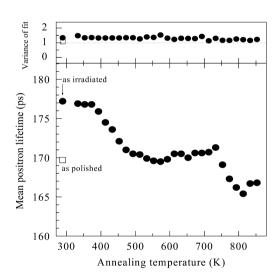


図 6 電子線照射を施した $Zr_{55}Cu_{30}Al_{10}Ni_5$ 金属ガラスの回復過程での陽電子寿命変化. $20 \, \mathrm{K}$ 以下で電子線照射を行った後,各温度で30分焼鈍し,室温で陽電子寿命を測定した結果です.ガラス転移温度以下の $400-500 \, \mathrm{K}$ で 照射損傷がアモルファス状態を保ったまま 回復するという結果が得られました.

ていることから、消滅割合が変化していることが分かります。Wパラメータが顕著に増加しているため、ステージ II と III では Cu や Ni との消滅割合が増加していることが示唆されます。

これらの結果から、ステージ II で観測された陽電子 寿命と S パラメータの負の温度依存性は、陽電子消滅 サイトの変化による Cu, Ni との消滅割合の増加が原因 であると考えられます。この結果はガラス転移温度以下 での可逆的な構造変化の存在を示唆しています。高温で 焼鈍を施し、部分的に結晶化させた試料の陽電子寿命測 定を別途行った結果、陽電子寿命の減少幅が小さくなる ことが分かりました。このことから陽電子寿命の負の温 度依存性が金属ガラス特有のものであるということが分 かりました。

また、電子線照射を行った試料の回復過程を陽電子寿命法で調べた実験(図6)においても、ガラス転移温度以下の400-500 Kで照射損傷が回復するという結果が得られています。ガラス転移温度以下においても過剰な大きさの空隙の周囲では原子の短距離拡散は可能であるということが分かりました。

これらの結果から本研究で対象とした Zr 基金属ガラスではガラス転移温度以下において、原子の短距離移動による空隙サイズや局所構造の変化が起こっていることが示唆されました。この局所構造の変化は、通常のアモルファス合金では観測されないため、高いガラス形成能

を持つことと深く関係があると考えられます. ガラス形成能を直接評価するためには、冷却過程での自由体積の凍結に一番関連の深い、液体状態の測定を行うことが有効であると考えられます. 高い蒸気圧のために従来測定が困難であった、軽金属を含む合金の融点直下や液体状態での陽電子寿命高温その場測定が可能になるように、測定装置の改良を行うことで、金属ガラスの形成機構についての検討を重ねていく予定です.

おわりに

Zr 基金属ガラスの陽電子消滅実験についての研究成果の一部を紹介させていただきました。陽電子消滅法は材料中の空隙の情報を選択的に捕らえる,ある種特殊な研究手法と言えますが,標準的な材料研究の実験手法となる日を夢見て,これからも一層精進していく所存ですので,今後ともご指導,ご鞭撻を賜りますよう,よろしくお願いします。

談 話 室

粒子法による破壊の数値シミュレーション

武 川 順 一*

Numerical Simulation of Failure Phenomenon Using a Particle Method

by Junichi TAKEKAWA

はじめに

平成21年7月1日付で京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専攻地設工学講座ジオフィジクス分野(現在,資源工学講座応用地球物理学分野)の助教に着任いたしました武川順一と申します。この場をお借りしてご挨拶を申し上げるとともに,これまでの略歴と研究成果を簡単に紹介させていただきます。

私は平成14年3月に関西大学工学部土木工学科を卒業 した後、同大学院工学研究科土木工学専攻に進学し、平 成16年3月に修士課程を修了しました。当時の私の研究 テーマは、反射法地震探査によるトンネル切羽前方の高 精度イメージングに関するものでした。この当時より、 京都大学の芦田讓教授(現・京都大学名誉教授)の研究 室とは交流があり、共に研究をさせて頂いておりまし た. その後, 京都大学大学院工学研究科社会基盤工学専 攻博士後期課程へと進学し, 芦田讓教授の御指導の下, 平成19年3月に博士(工学)の学位を拝受いたしまし た. 博士論文のテーマは数値解析による岩石破壊のシミ ユレーションに関するものでした。平成19年4月からは 財団法人地域地盤環境研究所(旧大阪土質試験所)へと 入所し, 地震防災・道路斜面防災や圧密沈下解析に関す る業務、地盤情報データベースに関する研究をしており ました、そして、平成21年7月1日に着任となりまし た.

現在の研究内容は、物理探査・波動伝播現象や破壊現象の数値シミュレーション・流れの数値シミュレーションなど多岐に渡っておりますが、今回は粒子法の一種である MPS 法を使った固体の破壊の数値シミュレーショ

ンに関する研究の紹介をしたいと思います.

MPS 法

従来、連続体に対する数値計算法として有限差分法や 有限要素法などが広く用いられてきました。これらの手 法では, 計算対象領域を格子や要素で分割し, 支配方程 式を離散化します.一方で、離散化の過程に格子を用い ない手法に粒子法があります. 粒子法では, 連続体を有 限個の粒子によって表現し、連続体の挙動を粒子の運動 を追跡することによって計算します. 粒子を用いて解析 対象を離散化する利点は、格子を用いないために格子の ゆがみによる計算の破綻が生じないことです. 現在, 粒 子法には様々な手法が提案されています. 例えば, 物質 を構成する原子あるいは分子1個を粒子1個で表現し、 分子間ポテンシャルを用いて分子間力をモデル化する分 子動力学的手法や,物質を複数の粒子の集合体と仮定 し、粒子間にバネとダンパーを仮定して接触力を計算す る個別要素法などが挙げられます. これらは、解析に格 子の生成を必要としないという点では粒子法に分類され ますが、連続体の挙動を支配する偏微分方程式に対する 一般的な離散化手法ではありません. 一方, Smoothed Particle Hydrodynamics (SPH) 法や Moving Particle Semi-implicit (MPS) 法は偏微分方程式に対 する一般的な離散化手法です.

MPS 法とは、東京大学の越塚誠一先生によって考案された数値解析手法で、主に非圧縮性流れを扱うために開発されました¹⁾. 図 1 に、自由表面流れの解析におけるベンチマーク問題である水柱の崩壊の解析結果を示します。流体は非圧縮非粘性流体としています。初期に幅L、高さ 2 L の水柱が解析領域の右端に置かれます。時間の経過とともに重力により水柱が左側に崩れ、左側の垂直壁に衝突して上方に跳ね上がります。その後、落下

^{*}京都大学大学院社会基盤工学専攻 助教

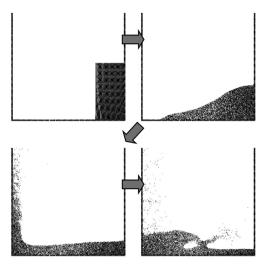


図1 水柱の崩壊シミュレーション結果

してきた流体が右側へ戻っていきます。このように MPS 法では、自由表面から流体が飛び散ったり、再び 合体する様子も、特別な処理を必要とすることなくシームレスに解析することができます。これが粒子法を用いる最大の利点です。このような特徴から、MPS 法は混相流解析や流体-構造連成解析への適用もおこなわれています^{2.3}。また、粒子法は有限差分法や有限要素法のように計算格子や要素を必要としないため、解析対象のモデル化も容易となります。3次元の複雑な幾何学的形状を有する解析対象をモデル化する場合には、粒子法のこのような特徴は大きな利点になります。

私は MPS 法を用いて海洋における資源探査機器の挙動解析などもおこなっておりますが、今回は前述しました通り固体の破壊のシミュレーションを紹介いたします。具体的には、弾性波動伝播現象と破壊が同時に起こる現象を、MPS 法を使ってシームレスに解析した事例を紹介いたします。

弹性波動伝播現象

弾性波動伝播現象のモデリングには、有限差分法が従来から広く用いられてきました。しかし、有限差分法では解析対象領域を格子で離散化するため、破壊などにより生じる不連続を扱うことは容易ではありませんでした。そこで、私は粒子法の一種である MPS 法に着目いたしました。前述のとおり、MPS 法は大変形や破壊を容易に扱うことができるからです。そこで、まずはMPS 法で弾性波動場を正確に再現できるかを有限差分法の結果と比較することで検証しました。有限差分法には、スタガードグリッドを用いた 4 次精度差分近似を用いています。

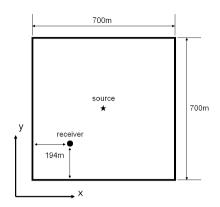


図2(a) 計算モデル⁵⁾

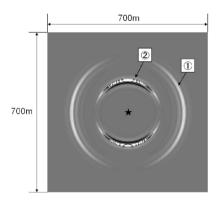


図 2 (b) 計算結果 (MPS 法)⁵⁾

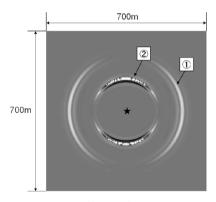


図2(c) 計算結果 (有限差分法)5

図 2 (a) は、検証に用いたモデルであり、正方形のモデルの中央に振源が設けられています。解析対象は、701×701 の粒子 (MPS 法) または格子 (有限差分法) によって離散化しています。振源波形には周波数 75 Hz のリッカーウェブレットを x 方向の変位速度に適用しました。媒質定数は P 波速度 V_p = 4000 m/s,S 波速度 V_s = 2310 m/s,密度 ρ = 2700 kg/m³ の等方均質媒質としています。図 2 (b), (c) に,MPS 法と有限差分法による 70 ms 後の x 方向変位速度場のスナップショットを

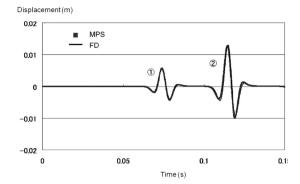


図3 受振点における x 方向変位速度の時刻歴⁵

示します.振幅が小さく伝播速度の速い P 波が左右方向に,振幅が大きく伝播速度の遅い S 波が上下方向に 伝播していく様子が再現されています. MPS 法の結果 は有限差分法の結果とよく一致しています. また,図3 に,図1中に示す受振点における x 方向変位速度の時刻歴を示します.図から,受振点までの到達時間の早い P 波と,その後到達する振幅の大きい S 波が観測されていることがわかります.両者のあいだにはわずかな誤差はあるものの,ほぼ一致していることがわかります.これにより,MPS 法で弾性波動場がよく再現できていることが示されました.

ホプキンソン効果の数値シミュレーション

弾性波動伝播と破壊が同時に起こる現象として、ホプキンソン効果のシミュレーションをおこないました。モデルは図4に示すような2次元の棒を用いました。棒の上端に衝撃力を加えることで、棒内部を圧縮波が伝播し、それが自由端反射することで生じる引張力が他端に破壊を生じさせるというものです。ホプキンソン効果は弾性波動によって生じる破壊現象として有名です。

MPS 法で破壊を表現するためには、何らかのモデルを導入する必要があります。導入した破壊のモデルとしては、粒子間距離が一定以上になると粒子間の相互作用を強制的にゼロにするというアルゴリズムです。MPS 法における隣接する各粒子は相互作用でつながっており、互いに近づこうとすれば反発力が、逆に遠ざかろうとすれば引張力が生じて、元の形状に戻ろうとします。この相互作用をなくすことで復元力が消失し、材料の破断を表現することが可能となります。これは、ひずみが一定値を超えると塑性領域を経ることなく破壊に至る、というモデルを導入したことに相当します。これは、非常に簡便なアルゴリズムであり、適用が容易であるという利点があります。

図5に、棒の内部を伝わる圧力の分布を示します。白

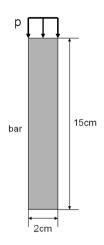


図4 ホプキンソン効果の解析モデル5

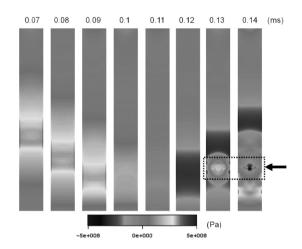


図5 棒を伝播する圧力分布5

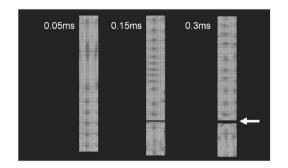


図6 ホプキンソン効果の解析結果5

黒なので伝わりにくく恐縮なのですが、白系の色が圧縮 を、黒系の色が引張を表していると思って下さい。ま ず、棒の内部を圧縮波が下方に伝播していく様子が確認 できます。その圧縮波が下端に到達し、自由端反射によ り引張波に変換されている様子がわかります。次に、反 射した引張波が上方に伝播していくのですが、0.13 ms において矢印で示した位置に粒子間相互作用の消失による圧力場の乱れが生じています。この時の粒子の状態を図6に示します。図の矢印で示した位置に破断が生じており、これは、図5における圧力の乱れが見られた位置と一致します。その後、完全に剥離した破片が下方へと飛翔していく様子までが再現されています。このように、MPS 法を使うことで破壊を伴う現象をシームレスに再現することが可能になります。

おわりに

本稿では、MPS 法を用いた固体の破壊シミュレーションに関する研究の一部を紹介させていただきました. 本研究はまだ基礎的な段階であり、今後、実用化に向けてより発展させていく段階になります。これからもより一層精進していく所存ですので、今後とも御指導、御鞭撻を賜りますよう、よろしくお願い申し上げます.

参考文献

Koshizuka, S., H. Tamako and Y. Oka (1995):
 A particle method for incompressible viscous

- flow with fluid fragmentation, Compt. Fluid Dyn. J., 4, 29-46.
- Yoon, H. Y., Koshizuka, S. and Oka, Y. (2001): Direct calculation of bubble growth, departure and rise in nucleate boiling, *Int. J. Multiphase Flow*, 27, 277-298.
- Chikazawa, Y., Koshizuka, S. and Oka, Y. (2001): Numerical analysis of three-dimensional sloshing in an elastic cylindrical tank using moving particle semi-implicit method, Comput. Fluid Dynamics J., 9, 376-383.
- Graves, R. W. (1996): Simulating seismic wave propagation in 3D elastic media using staggered-grid finite differences, Bulletin of the Seismological Society of America, 86, 1091-1106.
- 5) 武川順一,山田泰広,三ケ田均,芦田譲 (2008):MPS 法による弾性波動伝播現象と破壊 現象の数値シミュレーション,物理探査,61, 169-179.

談話室

Enhanced Oil Recovery Resort to Brute Forces Between Atoms

Yunfeng Liang*

Enhanced Oil Recovery Resort to Brute Forces Between Atoms

by Yunfeng LIANG

I. A Short Biography

Since July 2009, I am assistant professor in Kyoto University and hold the chair of JAPEX Energy Resources Engineering Laboratory. I received my PhD degree in SISSA (Italy) in October 2007 with thesis "Modelling structure, phase transition, and vibrational spectroscopy of silica at extreme conditions" supervised by Prof. Sandro Scandolo, where I have developed my skills both in ab initio and classical molecular dynamics simulations. After that, I was postdoc fellow in Canada for computational material sciences in Prof. John S. Tse group for one and half year before moving in Kyoto. My current research topics include: energy resources (enhanced oil recovery and methane hydrate), interfacial phenomena and wettability, high-pressure physics and geosciences, first-principles and classical molecular dynamics simulations. The aim of the whole Energy Resources Engineering Lab is to develop new techniques for inquiry and recovery of new energy resources such as "trapped oil" and methane hydrate and also to precede carbon dioxide sequestration. We devote ourselves to nurture the next generation of petroleum engineers and scientists with necessary chemical-physics and thermodynamics background. The molecular dynamic simulations conducted by our group will throw some insights on the mechanisms and insights for

the relevant phenomena, and arm the next generation with a detailed structural information on oilwater-mineral systems at molecular level.

II. Application of "Nanogeoscience" to Petroleum Engineering

Enhanced Oil Recovery (EOR) techniques to increase the crude oil production from oil reservoirs are increasingly important for the energy security, as the reserves are limited. Because the oil field is enormous, it is generally thought that EOR is a matter of drilling and flooding. It is shown here that the "small", like in nanoscale or atomic scale, is also very important to enhance oil recovery. There are two examples: one is oil-water interface system, which is typically less than 1 nm; the other is the three phase zone of oil-water-mineral, namely, a conatct line of three-phase. Molecular dynamics are inevitable for such nano-scale simulations of these two systems, which rely on the brute forces between the hydro-carbon atoms of oil, the oxygen, hydrogen atoms of water and those of minerals. In fact, there are many EOR techniques including gas injection and chemical injection, among others. The main approach to EOR is to decrease the interfacial tension (IFT) between oil-water interface, to alter the wettability of the rock, or reduce the viscosity of the crude oil through molecular additives that are adsorbed at the oil water interface or migrate into the crude oil through the interface. It is important, therefore, for the phenomena pertaining to the crude oil and underground fluid (usually

^{*}JAPEX Energy Resources Engineering, Department of Urban Management, Kyoto University

aqueous) interface as well as the crude oil, the underground fluid and the rock 3-phase interface to be understood. The aim of our study is to develop and apply computational materials science tools to study the structural properties of oil-water inter-

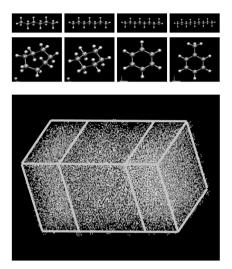


Fig. 1 Preparation of light-oil-water interface system. The upper panel shows the iol components of our light oil model.

face and to predict wettability phenomena in the oil-water-rock system.

A. Oil-water interface

The interfaces between two immiscible liquids are ubiquitous and play an important role in many natural and technological processes. Unlike the bulk materials, the interface system is a noncentrosymmetric environment about which we know very little. Experimental measurements for liquidliquid interfaces are challenging because of the relatively small size---typically only a few molecular diameters wide and the buried nature of the interface. In our study, the light oil system was modeled to realize the components of the crude oil (Fig. 1), which consists of n-Alkanes (n-hexane, n-heptane, n-octane, n-nonane), cycloalkanes (cyclohexane, cycloheptane) and aromatics (benzene, toluene). The number of molecules in the light oil model system was 144, 132, 156, 180, 96, 156, 60 and 156, respectively. The interface systems were prepared as follows: at first, all hydrocarbon molecules were mixed and equilibrated at the target temperature and pressure in the isobaric and isothermal ensemble. The water molecules were prepared in almost

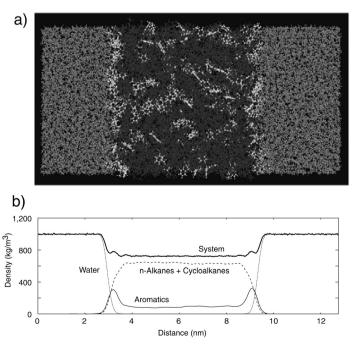


Fig. 2 (a) A snapshot of light-oil-water interface system at 298 K and 1 bar taken after 5.0 ns and (b) the density profiles. It is shown that the aromatics accumulate at oil-water-interface, whereas the other hydrocarbons are uniformly distributed in the oil phase.

same box size with equilibrated hydrocarbon system. Then the interface system was made to combine the hydrocarbon and water system. Each simulation was run for 5.0 ns under ambient condition (298K-0.1MPa) and the reservoir condition (400K-30MPa). We have found, at all thermodynamic conditions, that aromatics (benzene and toluene) concentrate on the interfacial regions, whereas the other hydrocarbons of oil are uniformly distributed along the oil slab (Fig. 2). We attributed the self-accumulation of the aromatics to the favorable Gibbs free energy due to the lower interfacial tension between the aromatics-water interfaces.

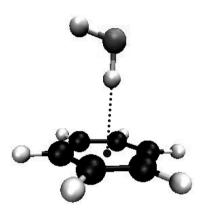


Fig. 3 A schematics of the weak hydrogen bonding

Further, we suggest that the "weak hydrogen bonding" between the aromatic rings and the proton of the water (Fig. 3) are the cause of the lower interfacial tension among others¹⁾.

B. The wettability of oil, water and mineral

Sandstone reservoir minerals are usually represented by crystalline quartz or by various glass surfaces. The wettability of oil/water/quartz is therefore a model system for those of reservoirs. On a freshly formed dry SiO2-surface, a number of reactive sites [e.g. siloxane bonds (-Si-O-Si-O), non-bridging oxygens ($\equiv Si - O$)] react rapidly with the water in atmosphere causing the formation of silanol species ($\equiv Si - OH$ and $\equiv Si(OH)_2$). The concentration, distribution and nature of sianol groups on the hydrated surface will most probably influence the properties relevant for the technological application³⁾. As a demonstration, we have shown the quartz likely presents very different wetting phenomena for different treated surfaces (Fig. 4). In addition, the kinetics of liquid/liquid displacement (i.e. dynamic wetting) on solid surfaces is not only dependent on the interfacial tension and relative viscosity, but also influenced by solid-liquid interactions. Such study is under way.

III. Remarks and Prospects

By better understanding a) oil-water interface and oil-water-rock interface interactions at molecu-

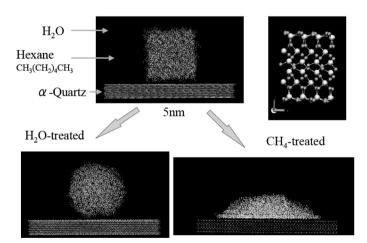


Fig. 4 The comparison of the wettability of hexane-water-quartz systems with two different surfaces between H₂O-bearing- (left) and CH4-bearing- (right) on quartz (0001) surface.

lar level, b) the absorption and desorption of hydrocarbon molecules on surfaces of rocks and c) their diffusivity under different conditions (ambient and reservoir), it is possible to explore and assess new methods to enhance oil recovery. Our study in future will include the CO₂-effects, salinity effects, "hard" nanoparticle⁴⁾ and some other "soft" surfactant agent effects on the water-oil interface and the oil-water-rock wettability.

Acknowledgments

I would like to acknowledge JAPEX for financial support and gratefully thank T. Matsuoka and A. Ueda for valuable advices. I particularly appreciated M. Kunieda, D. Makimura, K. Nakaoka and M. Ledyastuti for their imponderable contributions.

References

 M. Kunieda, K. Nakaoka, Y. Liang, C. R. Miranda, A. Ueda and T. Matsuoka, Selfaccumulation of aromatics at oil-water inter-

- face, a molecular dynamic study. Goldschmidt (2010); Self-accumulation of aromatics at oil-water interface through weak hydrogen bonding. Under review in J. Am. Chem. Soc.
- L. T. Zhuravlev, Colloids and Surfaces A, 173, 1 (2000).
- 3) M. Kunieda, K. Nakaoka, Y. Liang, C. R. Miranda, A. Ueda, T. Matsuoka, S. Takahashi and H. Okabe, Modeling the structural properties of oil-water interface and the wettability of oil-water-silica. 11th International Symposium on Reservoir Wettability.
- D. Makimura, C. Metin, T. Kabashima, T. Matsuoka, Q. P. Nguyen and C. R. Miranda, Combined modeling and experimental studies of hydroxylated silica nanoparticles. J. Mater. Sci. 45, 5084-5088 (2010).

談 話 室

イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校での フォトニック結晶作製技術の開発

三 宅 正 男*

Development of a Fabrication Process for Photonic Crystals at University of Illinois at Urbana-Champaign

by Masao MIYAKE

1. はじめに

私は、平成22年4月1日付けで、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の助教に着任い たしました。これまでの経歴を述べますと、平成10年 3月に京都大学工学部物理工学科を卒業後,材料工学 専攻修士課程,博士後期課程と進学し,粟倉泰弘教授 のご指導のもと、 "Electrical and Microstructural Characterization of CdTe Layers Electrodeposited from Basic and Acidic Aqueous Electrolytes"の研究 題目で平成15年3月に博士(工学)の学位を取得しまし た. 学生時代は、主に、水溶液からの電析に関する研究 を行いました. 同年4月, 東京大学生産技術研究所に助 手として赴任し、4年間、高温・真空下での化学反応の 熱力学や金属および半導体素材の生産・リサイクル・精 製プロセスの研究に携わりました. その後, 平成19年4 月からの3年の間、イリノイ大学アーバナ・シャンペー ン校にて, フォトニック結晶に関する研究を行って参り ました. 本稿では、イリノイ大学アーバナ・シャンペー ン校の研究環境を述べるとともに、研究課題の一つとし て取り組んだ「干渉リソグラフィと電析技術を用いた三 次元フォトニック結晶の作製プロセスの開発」について 紹介します.

2. UIUC の研究生活環境

2.1 アーバナ・シャンペーンの生活

イリノイ大学アーバナ・シャンペーン校 (University of Illinois at Urbana-Champaign, 以 下 UIUC) は、イリノイ州の州立大学の一つで、アー バナとシャンペーンという隣接する二つの市にまたがっ てキャンパスをもちます. アーバナ・シャンペーンはシ カゴから南に車で二時間半下った所にある、見渡す限り のトウモロコシ畑と大豆畑に囲まれた小さな町です. 人 口は両市合わせて11万人程度で、そのうちの約5万人が 大学関係者です. 「田舎で不便. 退屈. 冬は寒そう.」 などと、ネガティブなイメージばかりをもつ人がいます が、人が多すぎる東京での暮らしに疲れていた私には、 程よく田舎のアーバナ・シャンペーンは快適でした。車 さえ持っていれば、何の不自由もありません. 治安は良 好で、物価や住居費も安いので、特に家族とともに生活 するには適していると言えます. 人々は優しく, 地域に 密着したイベントが頻繁に開催されていましたので、私 の妻と息子 (渡米時一歳半) も、日本にいた頃よりも活 発に外にでかけ、日々の生活を楽しんでいました.マイ ナス20℃になることもある冬の厳しい寒さだけはどう にもなりませんが、冬の間は、遊びに出かける気が失せ るおかげで、仕事に没頭できる良い時期でもありまし た.

2.2 なぜ UIUC の材料研究は優れているのか?

UIUCは、卒業生と教授を合わせて21名のノーベル賞受賞者を輩出しており、世界有数の研究機関として確固たる地位を築いている大学です。文系学部の評価があまり高くないためか、日本での知名度は低いですが、情報科学、電子工学、物理学、材料工学などの工学系の分野では、突出して高い評価を得ています。U.S. News & World Report¹による2010年の大学院ランキングでは、UIUCは工学分野で全米5位、材料工学分野に限れば2位にランクされています。

実際, UIUC の材料研究の環境は, これまでに見てきたどの研究機関よりも優れていると感じます. その最大

^{*}京都大学大学院エネルギー応科学専攻 助教

の理由は、セントラル・ファシリティ (共同実験施設) の存在です. Frederick Seitz Materials Research Laboratory (MRL)²はキャンパスにある共同実験施設 の一つで、ここには材料研究に必要な一般的な装置が完 備されています、SEM, TEM, AFM, XPS, SIMS など の分析装置だけでなく,電子ビームリソグラフィ装置, 蒸着装置、ドライエッチング装置などの材料の微細加工 に必要な装置、各種レーザーおよび分光装置などが揃っ ています. これらの装置は、専属の技術スタッフからト レーニングを受け、利用許可を受けさえすれば、誰もが 24時間いつでも使用することができます. 使用時間に応 じて使用料が課金されますが、それもそれほど高くあり ません、装置は専属スタッフによって管理されています ので、多くの人で共同利用されているにも関わらず常に 良好な状態に保たれています。また、インターネットを 使った予約システムもあるので、使い勝手は非常に良い です。同様のセントラル・ファシリティのシステムが、 キャンパス内のBeckman Institute や Micro and Nanotechnology Laboratory にも整備されています. したがって、UIUCでは、実験をする際に、装置がな くて困るということはほとんどありません. 研究のアイ ディアが装置に制限されることが少なく、思い付いたア イディアを気軽に試行してみることもできます. UIUC で世界をリードする材料研究が多く行われていることに 納得がいくと思います.

このようなセントラル・ファシリティのシステムを京大にも導入できないでしょうか?現在、研究室ごとに装置を管理していますが、装置を共有する体制にしたほうが、個人が利用できる装置の数が増え、画期的な研究成果が生まれ易いと想像します。多くの先生方に共有体制の実現を検討して頂けることを願っています。

2.3 Wiltzius & Braun グループ

UIUCでは Pierre Wiltzius 教授と Paul V. Braun 教授の研究グループに所属しました。最初の二年間は日本学術振興会海外特別研究員として Wiltzius 教授のグループに属しておりましたが、Wiltzius 教授がカリフォルニア大学サンタバーバラ校に Dean として異動されたこともあり、後の一年間は、Braun 教授にポスドクとして雇って頂きました。両グループは、実験室を共有し、グループミーティングやパーティなどのイベントは合同で行っていましたので、ほとんど一つのグループとみなしても構いません。

両グループには合計30人以上の学生とポスドクが所属 しており、メンバーの専門分野は多岐にわたります。材 料工学あるいは化学を専攻する学生がおり、ポスドクに も、電磁気学の理論屋から有機化学の実験屋まで、様々 なタイプの研究者がいます。異分野の人間が集まり、そ れぞれが自分の専門知識を生かしつつ、他と協力し合って、フォトニック結晶を共通のテーマに研究が進められています.(Braun グループでは、一部、自己修復ポリマー材料の研究にも取り組んでいます.)Beckman研究所の所長でもあった Wiltzius 教授は、「所長としての私の仕事は、様々な分野の専門家を交流させて学際的な研究を推進することだ」とおっしゃっていました。同じ理念がグループのメンバー構成にも反映されています.フォトニック結晶という比較的新しい分野で、インパクトの高い研究を行おうとすると、必然的にグループが異分野集団になってしまうのかもしれません.

専門分野を広げたいと思い、それまでの研究とは異なる分野に挑戦しようと渡米した私にとって、学際的研究を好むグループで働けたことは好運でした。専門外であった光工学や有機化学の知識が必要となった時、それらを専門とする同僚が身近におり、彼らに気軽に相談できたことは大変助かりました。一方で、教わるばかりでなく、私の得意分野である電気化学に関して、助けを求められることもしばしばあり、この点でグループに貢献できたとも思います。Wiltzius & Braun グループに参加したことで、渡米前に期待していた以上に幅広い知識・技術を習得することができたと感じています。

3. フォトニック結晶の作製技術の開発

このような環境の下で取り組んだ課題の一例として, 干渉リソグラフィと電析技術を用いた三次元フォトニック結晶の作製プロセスの開発³について紹介します.

3.1 フォトニック結晶とは

フォトニック結晶とは、屈折率の異なる複数の(半)透明な物質を、光の波長と同程度の周期で配列させた周期構造体を意味します。多層膜のように一方向にのみ周期構造をもつものを一次元フォトニック結晶、二次元平面内にのみ周期構造をもつものを二次元フォトニック結晶、全ての方向に周期構造をもつものを三次元フォトニック結晶と呼びます。

通常の固体結晶において、原子の周期配列によって、電子のエネルギーに対してバンド構造が形成されるのと同じように、フォトニック結晶では、屈折率の周期的分布の存在により、光がとり得るエネルギーに対してバンド構造(フォトニック・バンド構造)を生じます。また、半導体が電子のエネルギーに対してバンドギャップをもつのと同じように、フォトニック結晶では、光に対するバンドギャップ(フォトニック・バンドギャップ)をもち得ます。フォトニック・バンドギャップ内のエネルギーをもつ光は、フォトニック・バンドギャップ内のエネルギーをもつ光は、フォトニック結晶内には存在できません。したがって、フォトニック・バンドギャップに対応する波長域の光は、外部からフォトニック結晶内部に

進入しようとしても、結晶表面で完全に反射されること になります. さらに、フォトニック結晶内に意図的に構 造欠陥を導入すると、欠陥部に光を効率よく閉じ込めた り、導波したりすることが可能になります.

このような特性を利用することで、低閾値レーザー、 微小導波路、光センサー、高効率太陽電池など、様々な アプリケーションが考案され研究されています。さらに 将来的には、光集積回路も実現できるものと期待されて います。今後ますます進展する高度情報化社会におい て、伝送・記録すべき情報量は飛躍的に増大し、従来の 延長線上の技術では対応が困難になることが予想されて います。フォトニック結晶はこの難題を解決し得るもの と期待され、精力的な研究が行われています。

3.2 作製技術の課題

フォトニック結晶を実用化するには,高精度の微細な 周期構造を簡便に作製する技術を開発する必要がありま す.二次元フォトニック結晶は,従来の半導体加工技術 を利用することで、比較的容易に作製できます。これに対し、三次元フォトニック結晶の作製は非常に困難です。二次元周期構造を作製し、これを一層ずつ堆積させていけば、高品質の三次元フォトニック結晶を得ることはできます。しかし、この方法では、微小体積のフォトニック結晶しか得ることができないうえに、多くの手間と時間とコストを必要とするため、工業化には適していません。一方、生産性の高い簡便な作製法として、コロイド粒子の自己組織化を利用する方法が広く研究されています。しかし、この方法で得られるフォトニック結晶中には、構造欠陥がランダムに導入されてしまう問題があります。そこで、無欠陥の周期構造体を簡便に作製する方法として、マルチビーム干渉リソグラフィを検討しました。

3.3 マルチビーム干渉リソグラフィ

マルチビーム干渉リソグラフィとは、複数のレーザー 光による干渉パターンをフォトレジスト内に現像させる

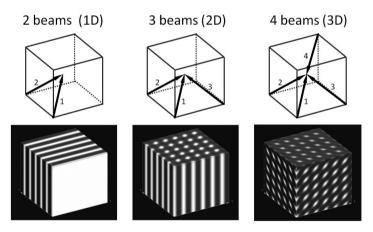


図1 ビームの入射方向および生成する干渉パターン

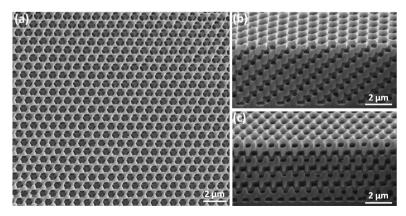


図 2 マルチビーム干渉リソグラフィによって得たポリマー三次元周期構造体の SEM 写真. (a) 表面 (b, c) FIB 断面

ことにより、周期構造体を作製する方法®です。図1に示すように、二本のレーザー光が干渉すると、光の強弱からなる一次元周期の干渉パターンが生じます。レーザー光の数を三本、四本と増やせば、それぞれ二次元、三次元の干渉パターンが生じます。この干渉光をネが型のフォトレジストに照射すると、光強度が閾値以上の部分では、フォトレジストがポリマー化します。フォトレジストを露光後、現像液に浸すと、ポリマー化しなかった部分は溶解除去され、ポリマー部分だけが溶け残りますので、結果として、干渉光のパターンを反映したポリマー製の周期構造体を得ることができます。

この原理に基づき、四本のレーザー光(波長532 nm)による干渉光を SU8 と呼ばれるフォトレジストに照射して得た試料の SEM を図 2 に示します。規則正しい三次元周期構造体が得られています。この試料は、作製可能なパターンの一例に過ぎません。マルチビーム干渉リソグラフィでは、露光に用いる光の波長、入射方向、偏光方向、および強度を変化させることにより、対称性および格子定数の異なる多様な周期構造体の作製が可能です。また、多孔質体の空隙率も、ビームの照射線量およびフォトレジストの熱処理条件によって制御可能です。フォトニックバンド構造は、周期構造の対称性や空隙率に依存するので、これらを制御できることは作製法として重要です。原理的に欠陥を含まない周期構造体が得られる点も大きな特長の一つです。

3.4 電析による高屈折率物質への置換

干渉リソグラフィによって直接得られるポリマー製の 周期構造体は、ポリマーおよび空気からなるフォトニック結晶とも言えます。しかし、ポリマーの屈折率は1.6

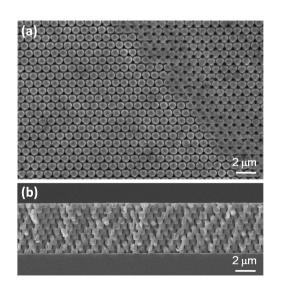


図3 Cu₂O 三次元フォトニック結晶の SEM 写真. (a) 表面 (b) 破断面

程度であり、空気(屈折率1)との屈折率差は大きくありません。このため、フォトニック結晶としての十分な光学的機能は得られません。そこで、ポリマーの周期構造体をテンプレートとして用い、このレプリカを高屈折率物質で作製することで、機能性の高いフォトニック結晶を得る試みが行われています。これは、ポリマー周期構造体の空隙を高屈折率物質で充填した後、ポリマーを除去することで達成されます。

これまでに空隙を充填する方法として、主に、CVD (Chemical Vapor Deposition) 法やその一種である ALD (Atomic Layer Deposition) 法が用いられ、 TiO_2 、アモルファス Si または Ge からなる三次元フォトニック結晶が作製されてきました。しかし、CVD および ALD 法では、三次元的に複雑な形状をもつテンプレートの空隙を完全に埋めることができない欠点があります。径の細い部分が析出物質によって先に塞がれ、その後、残った空隙部に反応気体が供給されなくなるためです

そこで我々は、電析法による空隙の充填を考えました。CVD や ALD では、テンプレートの全表面で析出が起こりますが、電析法では、絶縁体であるテンプレート上に物質が直接析出することはなく、導電性の基板からのみ成長が起こります。したがって、電析法では、テンプレート内部の空隙を完全に充填することが期待できます。これを実証するため、図 2 のポリマー周期構造体を ITO 基板上に作製し、これをカソードとして Cu_2O の電析を行いました。 Cu_2O は波長約 600 nm 以上の光に対して高い透過性を示し、高屈折率 (n=2.6) をもつので、フォトニック結晶の材料に適しています。電析後の試料断面を SEM で見てみますと、期待していた通りに Cu_2O はポリマー・テンプレートの空隙内を基板から表面に向かって成長し、空隙を完全に充填することが明らかになりました。

電析後の試料から、ポリマー・テンプレートを除去できれば、結晶内の屈折率のコントラストがさらに増大するため、フォトニック結晶としての機能は強化されます。このポリマー除去には、反応性イオンエッチングが有効でした。図3に、テンプレート除去後の試料のSEM像を示します。 Cu_2O はエッチングされず、テンプレートだけが完全に除去されています。したがって、 Cu_2O の三次元周期構造体、すなわち Cu_2O および空気からなる三次元フォトニック結晶を得ることができました

作製した Cu_2O フォトニック結晶の反射スペクトル を測定しますと、理論的に予測していた波長に、反射率 がほぼ 100% となる反射ピークが得られました。このことは、電析法によってテンプレートの構造の完全な反転

が達成され、規則性の高い高品質なフォトニック結晶が 得られたことを示しています.

以上のように、マルチビーム干渉リソグラフィと電析法を利用したプロセスにより、高品質の三次元フォトニック結晶が得られることを実証できました。本プロセスでは多様な周期構造が実現でき、電析可能でさえあれば、他の物質による周期構造体も簡便に作製できます。フォトニック結晶デバイスの設計にさらなる多様性を与えることができたと考えています。

4. おわりに

UIUCの恵まれた環境下での研究生活を通じ、多くの新しい専門知識や技術を習得することができました。 学術面だけでなく、文化的な精神面でも新しい価値観を 得ました。これらの経験を生かし、フォトニック結晶の 研究に留まらず、さらに創造的な研究にも挑戦していきたいと考えています。イリノイで出会った学生およびポスドク達の向学心や上昇志向は非常に強く、皆、高い目標に向かって研究に取り組んでいました。彼らに負けず、世界で戦える研究が行えるよう、常に前向きに必死に頑張りたいと思っています。今後ともご指導・ご鞭撻賜りたくよろしくお願い申し上げます。

参考文献

- 1) http://www.usnews.com/
- 2) http://mrl.illinois.edu/
- M. Miyake, Y.C. Chen, P.V. Braun and P. Wiltzius, Advanced Materials, 21 (2009) 3012.
- 4) Y.C. Chen, J.B. Geddes III, J.T. Lee, P.V. Braun and P. Wiltzius, Applied Physics Letters, 91 (2007) 241103.

談 話 室

探偵作家 高木 彬光

小 岩 昌 宏*

Akimitsu TAKAGI, Detective Story Writer

by Masahiro KOIWA

1. はじめに

昔,「小説の中の金属」と題する小文をある雑誌に寄稿したことがある¹⁾. 金属がストーリーの主題になっている小説をいくつか紹介した。その冒頭に取り上げたのが高木彬光の「肌色の仮面」**であった。

…東邦大学工学部は私鉄東横線沿線の紅葉ヶ丘に、3 万坪の敷地を持っている大学園である。その冶金学教室 の近藤則彦教授は、京都で開かれる日本金属学会で講演 するために出張したまま行方不明となり、東横線沿線の 某所で死体となって発見される。同教授が発明したとさ れているガンマ合金は、ジュラルミンの数倍の強度を持 つ軽合金で、その成分表をねらっての犯行らしい。

作者の高木彬光 (写真1) は京大冶金学科卒とのこと



高木彬光 (1920 - 1995)

*京都大学 名誉教授 (昭和34年 東大工冶金 卒) **初出:「週刊大衆」連載 (1962年04月~10月), 単行本:光文社 1962. で、ほかにも金属関係の作品があるかどうか暇ができたら調べてみたいと思っていた。たまたま、高木彬光の想い出を記した本²(写真 2)を読み、その著者、高木晶子さん(彬光氏長女)に問い合わせて、いろいろ教えていただいた。この機会に、昔読んだ作品のいくつかを読み直してみた。水曜会会員であった高木彬光氏に関する話は本誌の読者にとっても興味があるであろうと考え、一文を寄稿する。

2. 作家 高木 彬光

「高木 彬光」の本名は誠一で、水曜会名簿には"高木 誠一 昭和18年入会"とある。異色の分野で活躍した同窓の足跡を辿り、2、3の作品の内容、エピソードを記すことにしよう。

2.1 誕生から一高入学まで(自筆年譜より抜粋) 大正 9 年 (1920) 9 月25日

青森市で4代続いた医者の家系に生まれる

昭和3年(1928) 8歳

母死亡.この年から翌年にかけて月刊誌「富士」 (講談社) に連載された「謎の刺青美人」を読んで疑問と 不満を抱き,後の「刺青殺人事件」のおぼろげな構想 をいだく.

昭和11年(1936)16歳

津軽半島に旅し、龍飛岬において義経渡海伝説に憧れ 「成吉思汗」のおぼろげな構想を抱く.このとき、青 森中学の文集に書いた作文「龍飛の印象」の一部を以 下に示す.

…今や日は全く沈まんとしてゐる。何といふ荘厳な光景であらう。それは悲壮な英雄の最期にも似てゐるではないか。思ひ起こす,七百年の昔,源義経が兄頼朝に追はれこの津軽の地より祖国を去らんとしたる時に,彼薄命の英雄は如何なる思ひもて,この落日を眺

めたりしぞ。知れるはこの落日と海と津軽の山との み、三者口をつぐみて吾に語らず。吾また、かの悲運 の武将の思い知るすべなし、…

昭和12年(1937)17歳

旧制青森中学校(現青森県立青森高等学校) 4 年修了第一高等学校理科乙類入学.

9月 肺結核にかかり死にそこなう.

12月 父(高木東園) 61歳で死亡. 負債総額2万円以上.

2.2 一高・京都大学時代3,4)

父親の通夜の席上、彬光は父の友人の一人に手相を見てもらう。「体のほうはさしあたり心配ない、学資については半年以内に親身になって面倒を見てくれる人が現れ、無事学業を続けられることは間違いない」と聞かされる。それから1月もたたないうちに、手相の予言どおりに救いの手がさしのべられた。一高の寮で同室の友人の叔父(薬学博士、松尾仁氏)が窮境を聞いて援助を申し出たのである。

学資の問題は一応解決したのだが、肺結核がじりじりと進行し健康に対する不安はさらに大きくなる. 結核の特効薬はまだ開発されておらず、外科手術も進歩していなかった時代のこと、医師の「学校のほうは落第をしない程度に、最小限の勉強でとどめたら」という忠告に従うほかはなかった. 東西の文学書を読み出したのも、占いの本格的な勉強もこの時期からである.

一高を卒業して東大理学部の化学科を受験するが、試験中39度の高熱を出し、不首尾に終わる。校医は「とにかく君は東京にいちゃ命の方が危ない。大学の間は、地方へ行って落第しない程度にのんびりくらしてはどうだ」と忠告する。当時は徴兵制度の関係で高校浪人はできても大学浪人はできにくい状況であった。その時期、京都帝大の薬学科は創設2年目で志望者が定員に満たず、2次募集をしていたのでとりあえずそこに入り、翌年改めて受験し冶金学科に入りなおす。京都を選んだの

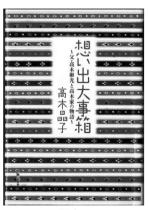


写真2

は, ...

「こういう健康状態だから,万一の場合どうしようもないと思ったので,姉たちが住んでいるところにした.冶金科を選んだのは,実験や製図が割合少なくて,体に楽をさせられることと,飛行機に興味を持っていたため,当時軽合金の研究では日本一と言われていた西村秀雄先生が,義兄の親友だったので,将来その方面に進みたかったのだが,こと志と違って,推理小説などやりだしたのは,全く不肖の弟子というほかはない.西村先生にも,3年のときの主任教授だった西原清廉先生にも,お目にかかるたびにそのことを話して頭をかくのだが,両先生とも,いつもにこにこ笑っておられるのだ.|

転科した後,前出の松尾仁氏の紹介で,教育団体「尚志社」から学資を出してもらうことになる。「尚志社」は武田薬品工業株式会社の前社長 故武田和敬翁が創立した団体である。薬学科をやめてから面接に臨んだ高木は、審査員の一人から「どうして薬学をやめたのです?惜しいことをしましたなあ」と言われ返答に窮したが、和敬翁は「ええがな、ええがな」と笑ってとりなしてくれた。のちに翁は高木に次のように語ったという。

「君は武田家のことや薬学のことは考える必要はない。何かの方面で国家のお役に立てば、それでいいのだ。長者に三代なしというが、武田家が天明年間に創業以来、百何十年今日まで栄えているのは、たえず人さまのことを考えてきたためだろう。もし、君がえらくなったらまたほかの人の面倒を見てあげたまえ。それで私たちの志が生きるのだ!

高木はこの恩を忘れず、後年、財団法人「尚志社」の 理事を長年にわたって務めた.

2.3 中島飛行機入社から離職。作家デビュー3,4)

昭和18年(1943),戦時中特例の学年短縮により在学2年半で冶金学科を卒業した高木は、中島飛行機株式会社(富士重工の前身)に就職する。当時、冶金学科を卒業生に対する求人率は20倍にも達した。しかし、どんな会社でもより取り見取りかというと、決してそうではない。当時、物資の購入は、既に切符による配給制であった。たとえば一人の衣料切符は年100点の割り当てがある。靴下一足は3点とかタオル一本は5点とか細かくきめられていて、代金のほかにその点数だけの切符を渡さなければならないのである。求人就職の関係にもこの切符制が採用されていた。全国の大学の冶金卒業生の総数を100人と仮定すると、厚生省は総員の約一割り増し、110枚の切符を発行して、これを求人希望の各会社に割り当てる。求人希望の各社は、厚生省より割り当てられ

る切符の範囲内でしか採用できない.

高木は「三菱鉱業」の入社試験を受けたが(各社は切符が入ることを期待して、採用試験だけはあらかじめやっておく)、切符の割当がなかったと断られてしまった。結局、中島飛行機株式会社に決まり、群馬県の太田製作所に配属され、まもなく新設された宇都宮製作所へ転勤し、そこで終戦を迎える。「工場を作りながら、飛行機を作っていく」という泥縄ぶりで、建物はできても機械が間に合わない、機械はあっても材料がない、下請けに発注してある部品が来ないので、飛行機組立の流れ作業がとまる・・・という惨憺たる状況であった。

高木の担当は材料検査であったが、組立工場はできても検査室はできないし、検査用機械も入ってこない。そもそも幹部は「材料検査は必要ない」という考えだ。もし厳密な検査をして、不良品が大量に出ると困るのだ。月産の割り当てに届かないときは、太田で組み立てた飛行機を空輸して宇都宮で製作したことにして員数を合わせた。「宇都宮製作所は着々と軌道に乗りつつある」と陸軍に印象付ける必要があったのだ。昭和20年に入ると空襲にそなえて「近くの大谷石の採掘跡の穴に工場を移し、その中で飛行機を生産せよ」と再疎開の命令が出た。到底実現不可能な話で、当時の陸軍首脳部はそこまで血迷っていたのである。

宇都宮は空襲で町の8割は焼け、社宅も相当の被害があったが、高木の家は幸い無傷であった。8月15日に戦争は終わり、残務整理の後10月に離職する。闇屋(米の運びや)をはじめ、さまざまな仕事につくがことごとく失敗する。骨相師の勧めで小説家を目指し、幼少時に読んだ「謎の民衆裁判」(柳原緑風)を元に「刺青殺人事件」を執筆し、江戸川乱歩に送ったところ認められて1948年出版の運びとなり、推理作家としてデビューした。

3. 神津 恭介の活躍*

神津 恭介(かみづ きょうすけ)は、江戸川乱歩の明智小五郎、横溝正史の金田一耕助と並んで「日本の三大

*Web-site 高木彬光の部屋(http://homepagel.nifty.com/kokubyaku/takagi.htm)には、"神津恭介登場作品全作紹介"という項目があり、全62編の書誌データなどが記されている。これを参照して、本稿で取り上げる作品についての情報を記しておく。

No. 1. 「刺青殺人事件」(昭和23年6月 岩谷書店・書下ろし、昭和28年12月 春陽堂・改稿版)

No. 25. 「わが一高時代の犯罪」(「宝石」昭和26年 6~7月)

No. 29. 「輓歌」(「宝石」昭和27年7~9·10月合併号, 28年6月)

名探偵」の一人で、高木彬光のデビュー作「刺青殺人事件」に登場する。その横顔・経歴を作品から拾ってみる

白皙の美男子で、中学4年修了(府立四中:現戸山高校)で一高理乙に入学、東大医学部を卒業後、軍医として中国・ジャワへ渡り、帰還してまもなくの昭和21年11月、刺青殺人事件を解決する。東京大学医学部法医学教室助教授を勤める(のち教授に昇進)傍ら、警視庁の依頼を受け数々の犯罪捜査を手がける。退官後は伊豆の別荘で悠々自適に暮らす

初登場の場面を「刺青殺人事件」** (写真3) から以下に引用する.

3.1 神津恭介の初登場「刺青殺人事件」

秋もたけた11月の初めごろ,「三四郎」で有名な東大構内の池のほとりに,一人の青年がたたずんで,懐かしそうにあたりの景色を眺めていた. 額はぬけ上がったように高く広く,目は黒曜石のように澄んで輝き,漆黒の眉はいくらか力が弱かったが,女のような感受性をあらわしていた.男には珍しいほど美貌の青年ではあったが,美青年にありがちないやらしさを救うものは,その顔全体に,みなぎる気品と英知であった.

この青年の名は神津恭介という。一高から東大 医学部へ、松下研三と前後して進み、稀に見る偉 材といわれていた英才であった。

神津恭介の才能については、彼の前後に一高に



写真3

^{**「}刺青殺人事件」の初出時(昭和23年)は原稿用紙325枚であったが、昭和28年に単行本化された際には650枚で、大々的な改訂がなされた。ここに引用している文章も改訂版のものである。

学んだ人々は誰しも知らぬ者がない. 開校以来五十年, 無数の人材をあらゆる方面に送り出した一高が、とくに誇るべき天才の一人であった.

彼は弱冠19歳で、すでに英、独、仏、露、ギリシア、ラテンの六ヶ国語を話し分けた。一高在学中に書き上げた整数論の大論文、

「ユーベル ディー アインハイテン デア ディヴィジョンスアルゲブレン」*

はドイツの学術雑誌 マテマチッシェ ツァイトシュリフトに掲載され、それまで金科玉条のように尊ばれていたグルンワルトの定理を根本から覆すものとして、のちに「神津の定理」と呼ばれるに至った。はるかドイツの学会から、彼の輝かしい功績をたたえて。

「第一高等学校教授 理学博士 神津恭介先生」 という宛名の分厚い封書が配達されたときには、 並み居る教授連は一人として、この二十にも満た ない青年の前に顔色を失わないものがなかった.

彼はとうぜん,理学部の数学科か物理学科に進 学して,世界的な大学者,大教授になると思われ ていた.しかし彼は胸中に何か期するところがあ ったのか,医学部へ進学し,法医学を専攻して, ここでもまた

「神津の前に神津なく、神津ののちに神津なし」 とまでその才能を激賞された.

世が世ならば、とうぜん彼は大学に残り、博士、助教授、教授と輝かしいコースをふんでいっただろう。しかも、激しい時代の潮流は、この天才をも見のがさなかった。彼は応召して軍医となり、中国から南方へ征旅の途にのぼった。生きて帰れぬ首途と心にきめていただけに、ふたたび見(まみ)える母校の光景は、神津恭介の心にも感慨ひとしおなのだったろう。あかずに、そのあたりをしばらく眺めていたが、まもなく坂を上って、医学部本館の方へゆっくりと歩き出して行った。

ちょうどこのとき、構内を歩いていた松下研三が銀杏の大樹の下で、ふり返った。幽霊でも見たように、顔をこわばらせ、青くなってたたずみ、二三分後には、「神津さん!」と歓呼の叫びをあげながら、恭介のそばへ駆け寄って来た。

Über die Einheiten der Divisions Algebren 邦語では"多元体(可除多元環)の単位について" ということになろうか.

3.2 「わが一高時代の犯罪 |

神津 恭介が探偵として最初に解決した事件は、「わが一高時代の犯罪」(写真 4)である。 "冒頭の一文が郷愁を誘う一編。実際に旧制高校に在学しておられた方にはたまらない作品"と、あるサイトに紹介されている。その冒頭の一文とは…

追憶とは美しいものである。まこと、忘却の霧は、はるかなる時の彼方にわだかまる苦悩と悔恨とをおおいかくし、美しきもの、懐かしきもの、心うたれる思い出だけを、鮮やかに浮かびあがらせるものであろうか。

思えば、ものみなすべて、滔々として移り変わってやまぬいまの世に、帰り来ぬ昔の夢を追うことは、むなしい痴人の業にすぎない。

と知りつつも、私はいま十年の昔に過ぎ去った 一高三年の思い出を、甘く、ほろ苦い感傷と、胸 をしめつけられるような、やるせない気持ちで思 い浮かべずにはおられない。

この物語は、その失われた青春に捧ぐる私の挽歌である。この世から姿を消した、一高に捧ぐる一つの悲歌である。(中略)

思えば、私が二条の白線に金色の柏葉のかがや く帽子を誇らかに、この門をくぐったのは、いま を去る十数年前、昭和十二年のことである.

そして、本郷から駒場へ、一高が移ってきたのは、それを遡る二年前、昭和十年九月のことだった.

さらば! さらば! 先人の夢いざさらば! 向丘 よ, いざさらば!

開校以来五十年,幾多の先人の青春をはぐくみ 育てた本郷向ヶ丘の地に,自らも去りがたき魂の



写真4

^{* (}小岩註) カタカナを独語の原綴で記すと以下のようになる

故郷,八つの寮に別離を告げた,一高九百の学生は,銃を肩に,歩武堂々,自由を求め,新しき歴史を求めて,この駒場の丘へ発足した.

目を閉じれば、私の耳には、彼らのさくさくと 砂利を踏み鳴らす靴音が、いまなお聞こえてくる 気がする.

開拓者の希望を胸におどらせて、彼らがこの新 天地にたどりついたとき、時の校長、森巻吉(けんきち)は、再びこの丘に向ヶ丘の名を与えた。 だが、それは、はかない虚名にすぎなかった。 誰一人、この丘を向ヶ丘と呼ぶ者はなかった。

新墾 (にいはり) のこの丘の上 移り来し二歳の春 緑なす真理 (まこと) 求めつつ 万巻書 (よろずふみ) 索るも空し 永久 (とこしえ) の昏迷 (まよい) 抱きて 向陵 (おか) を去る日の近きかな*

当時の寮歌を耳にするものは誰しも、その曲に ひそむ、かぎりなき哀愁と、すぎ去った本郷の生 活に寄せる、切々たる思慕を感ぜずにはおられな い. (後略)

一高(現 東大教養学部)の正門を入ると正面に本館がある。三階の建物の上にさらに3階の高さで時計台が聳えている。その時計台の中から、一人の生徒は忽然と、跡形もなく、煙のように姿を消した。その2日後、その生徒の死体が寄宿寮の寝台で発見される。その部屋北寮17番室は、神津恭介それに"私"(「わが一高時代の犯罪」の語り手 松下研三)の居室であった。戦争への気運が日に日に高まる中、憲兵が一高生を装って学園内の自由主義者の情報を集めている暗い時代であった。

一高は昭和25年に廃止され、東京大学教養学部になった**. 寮は一高時代と同じく、南寮、中寮、北寮、明寮

*第47回記念祭寮歌,田中隆行 作詞,服部正夫 作曲. **高木彬光は,母校である一高の近くに住むことを夢としていた.願いかなって,昭和34年の中ごろから 目黒区駒場の(その頃は東大教養学部となってい た)母校の脇の門から2,3軒目の家に住み,大い に喜んだ.しかし,「夜中に飢えた兵隊の幽霊を見 た」といい,1年半で転居したという.その家は以 前,ガダルカナル島の激戦を指揮した丸山中将の家 であった.易学,運命学に造詣が深かった彬光は, 何かと理屈をつけて引っ越した.高木晶子さんの書 の第2章には こうした8回?に及ぶ引越と住んだ家 に関する話が書かれている. であったが、学生数は一高時代より格段に増えたため、 南寮は教官研究室に転用された. なお駒場寮は、学生定 員増加によりキャンパスが手狭になったことなどの理由 により廃止された. 廃寮の方針が打ち出された1991年以 降、反対する動きが続いたが、2001年8月強制執行によ りすべての学生が退去し、駒場寮は67年に及ぶ歴史の幕 を閉じた.

3.3 天城一の"刺青殺人事件"評

高木晶子さんは、父親の遺品・手紙を整理している間に、"天城一"という人物が送ってきた「少し黄ばんだ薄い2枚の紙に小さい字で書かれた"刺青殺人事件"評」を発見する。これは、探偵作家クラブ(当時、彬光はこのクラブの書記長を務めていた)の会報用原稿(未掲載)であった。それには、大要、以下のような手厳しい批評が記されている²。

"刺青殺人事件"のトリックはヴァン・ダインの二番煎じで独創性に乏しい。そんな作品が "日本探偵小説界における最良の作"とされることはなげかわしい。名探偵神津恭介君は、20歳にして数学の論文を書き、ドイツから Prof. Dr. つまり "博士教授殿"という肩書で手紙が来たと大騒ぎをしているが、こう書くのは礼儀であって論文の価値には関係がない。また、彼の論文は、「翻訳された」と貴兄は註して居られる***が、間違いである。数学の論文は非正規的なものを除き一切欧語で書かれる。

最後に、この作を海外の佳品と比較して、程度を調べよう。小生の評価は傑・佳・凡・愚・悪の五作に分ける。現在の所、小生の知る限り傑作に価する DS はただ一つソポクレスの"オイディプス"のみである。Bishop 以下 Best ten 級は佳作と呼ばれるにふさわしい。この水準では貴兄の作は凡作である。

高木晶子さんは

刺青殺人事件の初版発行は昭和23年5月30日である。書評としては時機を逸したのは間違いない。 結局これは父が目を通しただけで会報には載らなかったのだろう。凡作と言われて父はどう思ったのだろうか。

と記している。

3.4 神津恭介の数学業績

3.1 で述べたように、神津が一高在学中に書き上げた

***初版の「刺青殺人事件」には、"その数学的才能を 傾けて書上げた論文は翻訳されて、はるか海外に伝 えられ、ドイツの一学会から"となっていた。改 訂版で"翻訳されて"という語句が消えているの は、天城一氏の批判を受けたためであろう。 整数論の大論文が、ドイツの学術雑誌に掲載された高く評価された(ことになっている). 高度に専門的な整数論に関する学会の動向を、高木はどのようにして知り、もっともらしい話として書くことができたのであろうか?実は、すぐ上で述べたように、初版「刺青殺人事件」に対して辛辣な批判をした天城一氏が代作?したのだそうである²⁾. 天城一氏の本名は中村正弘(1919-2003)、東北大学数学科卒、大阪教育大学名誉教授である. 名探偵研究という雑誌の第54弾に特別寄稿として天城一"神津恭介の数学業績"が載っている⁵⁾. それによると....

超秀才神津が一高在学当時に数学論文を書いてドイツの数学界を驚かして「プロフェッソール・ドクトール」と敬称をつけた手紙を受け取ったというお話は、もうどなたもよくご存じのことですから、改めて書くまでもないでしょう。しかしその論文の内容がどうだったかということになると、流石の高木氏の手に余るものですから、誰かが代作したに違いないぐらいの見当はつくでしょう。実は小生でしたと申し出るのをはばかっていなければならない時代ではなくなったと思います。神津神話はそのくらいの打撃では崩壊しないほど堅固に出来上がっていると認識するのですが、どなたかに異議があるでしょうか。

相談を受けたときに二の返事で引き受けました。当時数学会はまだ風通しがよく、分科会で割拠して隣は何をする人ぞという時代ではありませんでしたから、私でも全く専門外の話題にある程度通じていました。とくに日本では代数数論が主流です。そこでの出来事はいやでも耳に入ってきます。

専門家たちが当時ハイマークと呼んでいた高度の理論がありました。この名前が曲者でした。ケーテ・ハイという女流数学者の学位論文がその理論の種本でした。指導教官はエミール・アルティン-女流数学者エミー・ネーターと組んでワイマール時代に現代代数学を建設した天才です。ハイがマークしたからハイマークというわけではないのでしょうが、若手研究者には第一の関門でした。

そのハイマークの証明にミスがあることが発見されたばかりでした。その点について神津が戦前にコメントしていたとあれば、誰だって驚いて当然でした。しばしば全くの素人が「通説」を破壊して新しい視野を拓くことが学問の世界ではよくあることでした。幾分かは控え目にして、ドイツ語の論文タイトルを並べて、ドイツの有名雑誌に出

たことにすれば筋は通るだろうと考えたわけでした.

高木氏が原案をそのまま書いたのではないので、代作者の私は幾分びくびくものでしたが、ある日、その方面の若手研究者が高木氏の小説を読んで感想を語り合っているところを通り合わせましたが、論文のタイトルから彼らが想像するところでは、ハイマークのミステークを指摘しても当然ではないかと言い合っているのでほっとしました。

天城一氏が言うところの代作を参考にして書かれたと思われる作品は「輓歌」で、これは「わが一高時代の犯罪」の続編とも言われている。その中に、神津恭介がアメリカから帰国して開かれた祝賀会の場面がある。スピーカーの一人である数学専攻の教授が恭介の業績を紹介している。そのスピーチの内容が"代作"を下敷きにして構成されたものと推測される。

4. 高木彬光と金属

高木彬光は"肌色の仮面"以外に金属を主題にした小説を書いたであろうか。この稿の冒頭にこの疑問を記した。高木晶子さんがファンクラブの方達に尋ねてくださったところ、下記の SF 2 篇くらいであろうとのことだった。

(1) ハスキル人(写真5), 初出 科学読売 昭和32 年1月号~33年7月号

地球から 3.56 光年の距離にある遊星, ハスキル星から円筒が飛来した. その中には, ハスキル人の脳が入っていた. 円筒を分析したところ, 外壁は Al 36%, Ti 57%, Pb 7% の合金であった. これは, 地球で作られたものではない...

(2) 食人金属,初出 講談倶楽部,昭和33年6月号) 着地した空飛ぶ円盤の周辺には,鶏卵と同じような形と大きさの白い物体が無数に落ちていた.見かけの大き さに似合わず非常に重い.外側の卵白にあたる部分をは



写真5

がすと、中には青銅色の金属が見える。それに触れた生物は、一瞬にして金属化してしまうのだ。ドランと名づけられたこの超金属と人間はどう戦うのか?

高木は一時期,金鉱探しに熱中した。昭和42年 (1967)から約2年間,秋田の阿仁合の山の採掘権を得て,甥を専従者とし自らも休筆宣言までして打ち込んだ。明治以前,古河鉱業が砂金を掘っていたが,放棄してから70年にもなる山だった。のちには,大学の後輩で住友鉱山にいたS氏も仲間入りしたというのだが,高木家には山に関する資料はほとんど残っていないそうである。晶子さんは以下のようにいう³.

「父は、何かで痛い目に遭ったとき、それを元に小説を書けば多少の元は取れる、取材したと思えばいい、ということが常だったが、この金鉱探しはあとでどう結実したのだったろうか、娘としてはあほらしくて探す気にも読む気にもならない。」

5. もう一人の推理作家「由良三郎」

一高時代に高木と同室で、基礎医学研究者となり、60歳を過ぎてから推理作家となった人がいる。由良三郎がその人で、随筆にそのことを記している⁹.

高木彬光氏 (概要)

昭和13年に私が一高(現在の東大教養学部)に 入ったときは、全寮制で、全員が強制的に寄宿舎 に入れられ、どこかの運動部に属さねばならなかった。私の選んだ弓術部は三室から成り、各室に 約十名が机を並べ、廊下を隔てて寝室があった。 北寮三十一番というのが私の居室で、そこに起居 した人々の中に、一年先輩で高木誠一という学生 がいた。彼こそ後の推理作家高木彬光氏その人で ある。彼は一年で部を退いた。たしか体が悪かっ たと記憶している。

面白いことには、二人ともお互いに、相手が推理小説(当時の探偵小説)に興味を持っているとは全然知らなかったのである.

一年も同居していたのに、と驚く人がいるかも知れない。しかし、あの当時の学生気質、とくに一高の寮内の空気をご存知の方は、それももっともと言われることだろう。

「運命交響曲殺人事件」

冒頭で述べた「小説の中の金属」には、由良三郎のデビュー作「運命交響曲殺人事件」 7 を取り上げた. (写真 6) そのあらすじは…

ある地方都市で、有名指揮者を招いて開かれ

たアマチュア交響楽団の演奏会の最初の曲目は、ベートーベンの第5番「運命」であった. ダ、ダ、ダ、ダーンと演奏が始まったとき、指揮台が爆発した. 爆発の起爆剤はニトログリセリン、指揮台の近くに音叉が転がっていた.

音叉(ドイツのエーデルマン社製)は U字型の金属棒で、その左右端近くに両手に腕輪を嵌めたような格好の荷垂が付いている。 荷垂の位置は、音叉が E フラット(変ホ)の音に共鳴するように調節されていた。 すなわち運命交響曲の冒頭、第 2 小節のところで、すべての弦楽器とクラリネットが最強音の変ホを斉奏するとき、共鳴で振動した音叉(指揮台に固定されていた)がニトログリセリンの爆発を誘発したのだ。

この作品「運命交響曲殺人事件」は、音叉が殺人に使われたというだけで、「金属が主題の小説」というわけではない。にもかかわらず取り上げたのは、学士会報に掲載された以下の文章®が教訓的で、紹介に値すると思ったからである。

推理作家「由良三郎」のできるまで(要約抜粋)

東大医科学研究所(ウィルス研究部教授)を定年退職した後、山梨県の衛生公害研究所長になった。暇つぶしに若いとき好きだった推理小説を200冊ほど読んだ。自分でも書いてみようと思い立ち、処女作を第2回サントリーミステリー大賞に応募したら、なんと入選して賞金500万円をいただいた。

あまり文学の素養がないのに、とんとん拍子に 運んだのはなぜかじっくり考えたら、若干思い当 たる節があるのでそのいくつかを述べる.



写真6

第一. 今まで小説を書いたことはなかったが、専門の医学論文は多く書いた. その大部分は英語である。また、他人の英語論文もずいぶん直してあげた. いつも感じたのは、日本人はどうしてこう英語が下手なのだろうということだった. それらは英語がまずかったのではなく、文章そのものが悪かったのだと思う. 中学校の英作文のような幼稚な文の羅列、貧弱なボキャブラリー、同型文の繰返し、文脈の飛躍、それらは日本語で書かれていても下手な文章であったろう. 私はひとつの前置詞を at にするか on にするかで10分も20分も考えることがある. そういう文章作成の苦労を34年の研究生活で味わってきた. その修練が小説を書く際にも役立った.

第二. 文芸ものと違って推理小説では論理性が 大切. この領域ではサイエンスをやってきた人間 の方が文学畑一本槍で育った人間より優位に立つ といえよう. 科学研究の場では,正確な観察,緻 密な解析,綿密な実験による立証がかけていては 商売にならない. そういうことに慣れているわれ われは推理小説を書くのに向いている.

第三. 推理小説と科学研究とで完全に一致することは、オリジナリティが絶対必要だという点である. 犯人のトリックもそれを解明する探偵の推理も独創性が要求される. それがないと推理小説としては落第だ. 科学にたとえてみれば単なる追試に過ぎない. サイエンスの分野では、外国の仕事の追試で満足する研究者はいない(はずである). 科学者の感覚ではオリジナリティのない仕事は発表する気になれない. われわれが小説を作るときには、その気分をそのまま創作に持ち込んでしまうのである.

ただし、この最後の点は相当問題である。自分の作品が先人の真似でないことを確認するためには、従来出版されたものに通暁している必要がある。科学者が広く文献を読みあさるのと同じである。私は、にわか作家の悲しさで、あまり読書範囲が広くなかったから、今になって夢中で乱読している。その結果、新たに2つのことが分かった。その一つは、エラリー・クイーンとかアガ

サ・クリスティなど古い大家の作品でも、本当に優れたものは、よく人に知られた数篇に過ぎず、後は全部駄作であり、第二には、どの作品も比較的初期の作品にはよいものがあるが、名声を博してから後のものには傑作がほとんどないということである.

6. おわりに

「日本推理作家協会」という団体がある。以前は「日本探偵作家クラブ」と称していたが、1963年に名称変更した。高木彬光は1949年にこの団体から第3回探偵作家クラブ賞を受賞している。"探偵小説"という呼び名は「偵」の字が当用漢字制限を受けたために用いられなくなったといわれ¹⁰、現在では"推理小説"が広く用いられている。本稿の表題にあえて「探偵作家」としたのは、高木彬光が作家として登場した時期の雰囲気を伝えたかったためである。

執筆に際して、自筆年譜、全集の月報など種々の資料 を提供していただいた高木晶子さんに厚く感謝する.

文 献

- 小岩昌宏: "小説の中の金属",金属,58 (1988) 86. アグネ.
- 2) 高木晶子:想い出大事箱 ~父・高木彬光と高木 家の物語~,出版芸術社,2008.
- 3) 高木彬光:光文社刊「高木彬光長編推理小説全集」月報(1972~1974).
- 高木彬光:「我ら大正っ子」第4集, 徳間書店, 1962.
- 5) 天城一:"神津恭介の数学業績", 名探偵研究第 54弾, 神津恭介研究, 手塚隆幸責任編集, 1996.
- 6) 由良三郎: "高木彬光氏", 「ミステリーを科学 したら」, 文芸春秋, p.152, 1991.
- 1984.
- 8) 由良三郎: "音楽演奏が呼ぶ爆発", 「ミステリーの泣きどころ」, KK ベストセラーズ, p.204, 1992.
- 9) 吉野亀三郎: "推理作家「由良三郎」のできるまで", 学士会報, No.771. 1986年4月号; 「そいつァご挨拶だね」, 立風書房, p.177, 1995.
- 10) 山村正夫:『推理文壇戦後史』 p.87, 双葉社, 1973.

談 話 室

続 歌をめぐる物語 -琵琶湖哀歌、七里ヶ浜哀歌-

小 岩 昌 宏*

A revisit to songs of "Lake Biwa Elegy" and of "Mt. Fuji entirely Covered with Snow"

by Masahiro KOIWA

本誌前号に『歌をめぐる物語-琵琶湖周航の歌,琵琶湖哀歌,七里ヶ浜哀歌-』と題する一文を寄稿した^D. その別刷を数人の知人に送ったところ,興味深く読んだと好意的な反響があった。その一人からは次のような礼状が届いた。

「…昨年送っていただきました『歌をめぐる物語』は、母世代(母は7人兄弟の末っ子のため上のほうはかなり高齢です)に大変好評で、母の希望で伯母(亡夫が八高.京大).伯父(京大.ボート部)にもコピーを届けました。伯母には年末に直接老人ホームに届けたのですが.何曲かは即座に口ずさみ、懐かしそうにエピソードも思い起こしておりました.お陰さまで何よりのお土産になったようで、心よりお礼申し上げます。

また、ある知人は「七里ヶ浜哀歌」の作詞者とされる 三角錫子についての、またある友人は、"この歌の作詞 者は別人であること"を示唆する情報を寄せてくれた。 これらの情報を元に調べた結果、ならびに前稿の執筆後 に気付いた点を併せて記し、寄稿することとした。

1. 第四高等学校漕艇部の遭難事故

前稿で述べたように「琵琶湖哀歌」は、四高漕艇部の遭難事故(高島町沖合、昭和16年4月6日)を悼んで作られた歌である。ついでの折(2010年4月17日)に、石川四高記念館(金沢市)に立ち寄り、遭難事故に関する資料をみせてもらった。同館は市の中心部兼六園、金沢城公園にほど近い場所にある旧第四高等学校の建物を使用している(写真1)。四高関係の展示資料の中には、琵琶湖における遭難事故に関連する新聞記事(写真2)、遭難者の写真、追悼文集などがある。

建物の前にある雄魂碑(写真3)は遭難事故の翌年 (昭和17年)に建てられた。昭和43年に追設された由来 銘板に

「昭和二十五年 母校はその絢爛たる六十余年の歴史を閉じ 四髙健児の影も今や已に莫く 碑の由緒を説く者もまた年と共に甚だ稀となった 我ら艇友はこれらの時運に鑑み(中略)此に建碑の由来を銅鈑に刻し これを後代に瞭らかにせんとするものである

と記されている。その前におかれた一対の花瓶には、 "水悠々と流れゆく"、"水青きところまたゆかむ"と それぞれ四高漕艇歌、漕艇班遭難追悼歌の一節が記され ている。毎年遭難の日、4月6日には人知れず生花が供 えられるとのことで、おそらく、遭難者の遺族 あるい は四高同窓会の関係者によるものであろうとのことであ った。

琵琶湖の遭難とその記録

同館所蔵の書「第四高等学校時習寮史」(昭和23年4月)には"琵琶湖の遭難"として、以下のように記載されている。



写真1 石川四高記念館

^{*}京都大学 名誉教授(昭和34年 東大工冶金 卒)



写真2 北国毎日新聞 昭和16年4月8日



写真3 雄魂碑

昭和16年も春なお浅き4月6日,琵琶湖上に於いて彼の悲壮なる漕艇部の遭難事故が突発した.

(中略)日常金澤での練習の外に毎年春季休業期間,3月下旬より約半ヶ月,大津市瀬田川河畔にて合宿訓練を為し,4月に入って琵琶湖の天候定まるを待って遠漕を行ひ有終の美を帰するを以て二十数年来の恒例としていたのであった.

遠漕実施状況

第3日(4月6日)

この日朝来曇天なれど漁船の出漁あり, 天候 さして心配なしと認め, 午前七時四十五分今津を 出発す. 艇は陸地より二百米ほど離れて航行せ り. 陸上連絡員三名は艇の見えなくなるまで見送 りて近江舞子に向う.

乗艇員 左の通りなり*

岡本重司, 西村 潔, 西村 寿, 高見益三, 中川 浩, 奥田豊治, 佐野 實, 南 嵩, 大東政俊, 仁瓶健二, 福富不二男

…正午近江舞子桟橋に寄着の予定なるを以って汽車にて直ちに同所にいたりて艇を待ちたり. 然るに予定に時刻に至るも到着せざる為 白髭駅に引き返し湖上を凝視したり. しかもなお艇を認めず依って途中予定を変更してどこかに不時上陸したるものと判断し,大津市石山寺邊所の合宿所に戻り京大端艇員らと協議の上電話を以て沿岸各地警察署に手配,太湖汽船会社各支所等に照会したるもなんらの手がかりなし. (北辰追悼号 昭和十七年四月)

飛行機による捜索も行われ4月8日には艇及び1名の遺体が発見された.5月10日に合同慰霊祭が行われた時点では、7名の遺体が未発見であった.5月18日石川県金石漁業協同組合の応援により捜索が再開され、6月10日にはようやく全遺体が発見された.

"石の微笑み"

高橋治(昭和26年四高卒)の"石の微笑み"は、舵手(コックス)をつとめ遭難死した四高生と少女の恋、少女の父親である石工の刻んだ11体の石仏を描いた短編である。そこには、当時の状況が次のように描かれている。

当時は途方もない大事件だったのです。遺体の 捜索はなかなか進まず、一時学校側は打ち切りと いう覚悟を決めました。しかし生徒たちが承知し なかったのです。あのころ、新体制という言葉が あって、日本は戦争に向けてまっしぐらに走り出 していました。もちろん、学校の中にも軍国主義 やら、在学期間の短縮やらが入って来ずにいませ んでした。そんな風潮への反発もあったのだそう です。人命軽視への最後の抵抗だったのかもしれ ません。

結局2ヶ月余りもかかって全員の死体が上がるのですがその位置を辿ってみると、予想もしない事実が浮かび上がって来たのです。泳げない生徒を中心に、他の人たちが周囲を取り囲むようにして、みんなが力尽きていたことがわかりました。遭難追悼歌**はこの悲劇を主題にしたもので、

大東 政俊(昭和11年四高卒,東亜医科学院教授) 仁瓶 健二(昭和14年四高卒,京大医学部学生) 福富 不二男(昭和16年四高卒,京大医学部入学)

^{*}以下の3名は四高 OB

^{**}正式には「四高漕艇班遭難追悼歌」である.

とっても胸に迫ってくるものがあります.

琵琶湖哀歌への批判

前稿で述べたように「琵琶湖哀歌」はこの遭難事故を 悼んで作られた歌(作詞 奥野椰子夫,作曲 菊池博) で東海林太郎,小笠原美都子が歌った(昭和16年6月テ イチクレコード).なお,次のサイトで原盤の歌を聴く ことができる.

http://www.youtube.com/watch?v=1-tXAKnOWxc

レコードの発売の時期からすると、まだ遺体の捜索が 続いていたさなかにレコード会社はせっせと制作に励ん でいたことになる。その歌詞については「近江八景や滋 賀県の名勝をつまみ食いして並べ,キーワードを填め込 んだだけの安直な歌詞である - と酷評する向きもある ②. 同じサイトから、引き続いて引用することにしよ う.

「琵琶湖哀歌」を「琵琶湖周航の歌と並ぶ名曲」などと褒める人も少なくないが、反感を買うことを承知で、あえて「この曲は駄作である」と書かせていただくことにする.

三高 OB はこの歌に手厳しい. 堀準一氏は次のように書いている.

...況や際物稼ぎのレコード会社が、即席五目飯の

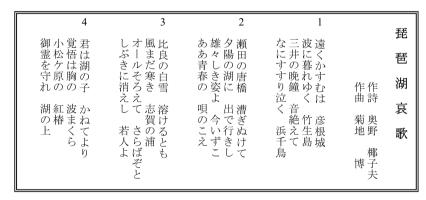
如く「周航歌」と「七里ヶ浜」とをかき混ぜて作った「琵琶湖哀歌」など、並べ論じる紙面はない、「三高同窓会報 | 51号1979.

…一方の四高生も黙ってはいない。後に社会党の京都市議になり、同和問題と朝鮮人問題に取り組んだ末松徹夫は、犠牲者の一人が彼と懇意だった朝鮮出身者だったこともあってか、この歌に猛烈に反発し、金沢から東京のレコード会社にまで抗議に押しかけ、レコードの発売中止を申し入れた3.

2. 七里ヶ浜哀歌*

1910年(明治43年)1月23日,逗子開成中学の生徒ら12名が悪天候の中,江の島を目指してボートを漕ぎ出し転覆し全員が死亡した.2月6日に行われた慰霊祭において,鎌倉女学校の生徒70余名が三角錫子(みすみ・すずこ)教諭のオルガン伴奏で"哀歌"を歌った.数学教諭であった三角が作詞したものとされている。

このことについては、前稿で詳しく述べた.その前稿の別刷を送呈した知人のお二人から、興味深い手紙が届いた.ひとつは三角錫子に関する詳しい情報であり、もうひとつは"「七里ヶ浜哀歌」の作詞者は三角錫子でな



2 5 4 3 夕陽ちるかの潮路を空青く水青き所再ゆかね空青く水青き所再ゆかねっないの夢とのぞみよ 新たなる温度がひはいます。 さ此は い砂岸ほ沖 た呼か春思 沈めしとうつゝなりやますらをの青春の日をさゞなみさやぐ志賀の此の愁ひはたこの嘆き いまはなき友を偲びぬ砂握りしめ夕なみに一般になるではのぼのと霞み渡れりほのぼのと霞み渡れりまた。 高 たなる涙つきせずひ出にめぐり来る春のくましきますらを男のくましきますらを男のかひはいよゝはげしく 漕艇 班遭難追 れま雲を表れるいかれる 作 謞 曲 心さむす 悼 Ĺ のき 加満石 B を き て 0 歌 り to 砂 ある l 藤島上 ゆく ゆゑに ź いにぎり 日子 ź Ź もなき のの 郎次

^{*}歌いだしのフレーズをとって「真白き富士の嶺(根)」とも呼ばれる.

い"という情報であった、以下、それらに関して述べる。

2.1 逗子開成中学のボート遭難事故と三角錫子

三角錫子に関する詳しい情報を知らせてくださった方 の手紙には次のように記されてあった.

…私は92歳となり、明日にあの世へ行く準備を整えております。「三角錫子」は私の伯母(父康正の姉)に当たります(私は旧姓を三角 菊と申します)ことなどから手元に残っておりました三角錫子関係の資料をお目にかけたいと思います。ご一覧の上ご破棄くださいませ。

そして、函入りの本『婦人生活の創造』(三角 錫子著 大正10年11月1日発行、実業之日本社)⁴と雑誌「新潮」 (昭和52年9月号)が同封してあった。「新潮」には宮 内寒弥の『七里ヶ浜 - ある運命 - 』(230枚)*が掲載さ れており、惹句として"逗子開成中学ボート遭難事件の 責任を負った父。数奇な宿縁に連なる海の鎮魂譜。"と ある。さらに、この作品を詳しく紹介する江藤淳の文芸 時評(毎日新聞夕刊、昭和52年8月30日)も同封されて いた。この文章は、小説の内容を簡潔的確に要約してい るので、かなりの長文であるが抜粋紹介することにしよ う。

江藤淳の文芸時評 一宮内寒弥著『七里ヶ浜』ー

…小学生のころ、身体虚弱だったために鎌倉の稲村ヶ崎に転地療養させられた私は、当時すでにこの「真白き富士の嶺」の歌をよく知っていた.日本の唱歌には珍しい八分の六拍子で、しかも長調なのに哀愁を帯びたその優美な旋律は、小学校の下級生だった私の胸に沁み入るように思われた.そんな記憶があるので、私は宮内氏の『七里ヶ浜』を読んで事件の責任者に擬せられた逗子開成中学教諭が、実は宮内氏の厳父その人だったことを知り、少なからず驚いた.それと同時に、あの「真白き富士の嶺」の作詞者である鎌倉高女の三角錫子教諭が、宮内氏の厳父とのあいだに縁談のあった人だという奇しき因縁にも驚かされた.

学校の規則によれば、ボートは舎監の許可印を 得、さらに生徒監から校印を貰わない限り乗艇を 禁止されている。さらに生徒だけで乗艇する場合 には、逗子湾内だけが乗艇許可水面と定められて いる。しかし、この日にボートに乗り出した12人 の生徒は、誰の許可も得ていず、救助された生徒 が稲村ヶ崎沖合を漂流していたことからして、湾 外に遠く航行していたことが明らかであった。

しかも調査が進むにつれて,首謀者が素行不良 のために県立中学から退校を命じられ,この学校 に転校してきた五年生であることが判明し、艇庫番の女房を脅かしてボートを出したことまで明らかになった. つまり非は全くといってよいほど生徒側にあり、事件当初舎監と生徒監の責任を追及しようという空気は皆無に等しかったのである.

それが一変して、とくに石塚舎監への風当たりが強くなったのは、江の島で船酔いのために下船して自宅に戻った一人を除いて乗組生徒がすべて遭難し、しかもその遺体の発見が遅れたためであった。

そのために、遺族側の合同葬の時には学校関係者の参列は拒否された.翌日に学校で行われた合同慰霊祭には、鎌倉高女の三角錫子教諭が女学生七十数名を率いて参列し、自らオルガンを弾きながら愛唱歌に作詞した「真白き富士の嶺」を捧げて列席者の涙を誘ったが、皮肉なことにこの歌によって美化された遭難生徒たちへの同情が深まるにつれて、石塚舎監はさらに窮地に陥った.ここにおいて石塚舎監は断然退職を決意し、私物を入れた信玄袋一つを携えて悄然と東海道を西へ向かった.

『七里ヶ浜』の中では、畑中という名前になっている作者が生れたのは、石塚教諭がやがて岡山の県立農学校に職を得、地元の自作農家に入婿して池上と改姓したためである。石塚教諭はこの改姓によって、不運な過去と絶縁しようとしたのである。

ところで作者は、何故に六十七年後の今日になって、自分の父親を巻き込んだこの有名な遭難事故を掘り起こそうとしたのであろうか?それはほかでもない、作者が二十年前に他界した亡父と自分との係わり合いの根源をたずねようとすれば、どうしても自分が生れるより前、父の独身時代に起こったこの事故を探らねばならないと思ったからにちがいない。

のちに樺太庁中学校の奏任官教諭となった石塚 改め池上教諭は、息子が中学生になると校規を文 字通り厳守することを要求し、教科書以外の本を 読むことを禁じる。むしろ理数科が得意だった畑 中が文科志望に転じ、やがて早稲田の英文科に進 学するようになったのは、彼が禁を犯して東京か ら取り寄せた新潮社の『世界文学全集』を、無残 にも "焚書の刑"に処した父への反発があまりに も強かったためである。

しかし,この遭難事故を調べるにつれて,畑中は,亡父の厳格さがその深い心の傷に根ざしていたことを知り,さらに父の文学嫌悪が、徳富蘆花

^{*}のちに単行本5として新潮社から刊行された.

の『不如帰』に感動したあまり浮薄にも逗子に転勤してしまった若き日の自分の誤ちを二度と息子に繰り返させたくない自己処罰の感情から生じたものであることを知るにいたる。この『七里ヶ浜-ある運命-』が窮極的には父を理解しようとする衝動に貫かれた作品であることは疑う余地はない。人は正当に父を理解するためには、老いなければならないのだろうか。

三角錫子の略歴

さて, 石塚教諭の縁談の相手であり, 哀歌の作詞者と される三角錫子の略歴を記しておこう。1872年(明治5 年) 金沢市に生まれ、父の転勤に伴って名古屋、静岡に 移り住んだ。1892年、女子高等師範学校(現お茶の水女 子大)を卒業し札幌女子尋常小学校に奉職、母や弟たち を連れ赴任した. 女高師卒業の彼女は単に生徒を指導す るだけでなく、地方教師の模範となり指導することが期 待されており、21歳の若さで校長と同額の月俸で遇され ていた. 札幌に赴任後まもなく父が亡くなったため、4 人の弟の養育の責任負うことになる。97年、資産家と結 婚するが、教職を続けることに反対されて離婚し上京す る. 横浜, 東京の女学校に職を得るが結核を発病し逗子 海岸に転地療養する、小康を得て1908年4月から鎌倉女 学校に勤務し数学を担当していた. 江藤淳が「自らオル ガンを弾きながら愛唱歌に作詞した『真白き富士の嶺』 を捧げて列席者の涙を誘った」と紹介している愛唱歌に ついて、宮内寒弥は次のように述べている.

たまたま日曜礼拝に出かけた(札幌の)プロテスタント教会で、オルガンの伴奏に和して老若男女の信者たちが斉唱した聖歌『われ等が家に帰る時』に三角先生は心を打たれた。当時は同じ曲を使った大和田建樹作詞の明治唱歌「夢の外」として女学生間に歌われていたとも伝えられる。遭難した生徒達の残恨の霊を慰める意を込めて、二十代の初めころから愛唱してきた聖歌の曲に合わせて、最後の遺体が新居浜へ返ってきた1月27日の夜、その歌詞の一番から六番までを「夢の外」を参考にして一晩で書き上げて「七里ヶ浜の哀歌」と題したが、札幌で教会に通うようになった頃から、楽譜とオルガン奏法の勉強を続けてきたので、原曲の基調が伝わってくる慰霊歌になっていた*. (「七里ヶ浜」945、46頁)

錫子は、遭難事故 (1910) の翌年3月には鎌倉女学校 を退き、1916 (大正5) 年常盤松女学校を創立、初代校 長に就任した。夜間部を設置し働きながら勉学を志す少女たちの修学を助けた。10数人で始めた小さな学校は、今では学校法人 トキワ松学園 (小・中・高・および横浜美術大学) に成長している。大正前期の婦人思想界の指導的立場にあったが、大正10年3月12日に死去した(50歳)。その自叙伝『涙と汗の記』のには「七里ヶ浜の哀歌」に関する記述はない。なお、この自叙伝は錫子を追悼して編まれた著作集『婦人生活の創造』4の付録として収録されている。なお、「真白き富士の嶺・三角錫子の生涯」8はこの自叙伝及び宮内寒弥の小説「七里ヶ浜」9などを参考に書かれたものである。

2.2 "「七里ヶ浜哀歌」の作詞者は父 福田正夫 です"

上述のように、「真白き富士の嶺」の作詞者は三角錫子であるとされ、前報でもそのように記した。ところが、その別刷を読んだ友人の一人が、『亡くなった義母がベッドの横に置いていた文箱の中にあった』と新聞の切抜を送ってくれた。その切抜きは2003年3月3日付(第288号)鎌倉朝日所載の"かまくら今昔抄"と題する清田昌弘氏の連載原稿のひとつ⁹⁾であった。鎌倉女学院(旧鎌倉女学校)の校歌、旧校歌の制定の経緯に触れた後、『七里ヶ浜の哀歌』について以下のように述べている。「…ところが最近のこと、月刊タウン誌「かまくら春秋」(平成13.9)に小田原出身の民衆詩人福田正夫(1893-1952)の四女美鈴が「七里ヶ浜哀歌」は父が神奈川師範在学中に書いたものであると発表した。…」

その福田美鈴の文章とは、「かまくら春秋」の連載シリーズ「父の肖像」の一環として掲載されたもので、 "同人誌と[七里ヶ浜哀歌]のこと"¹⁰ と表題がつけられている。そのうち、該当部分を以下に引用する。

> 最後に鎌倉と父の関わりを一つ書きます。十五 才の時、神奈川県立師範学校入学、鎌倉で寄宿舎 生活が始まります。同級に内藤卯三郎、石野降、



写真4 村上 尋著 真白き富士の嶺

^{* &}quot;真白き富士の嶺"は長いあいだアメリカ人のガーデンという人が作曲したということが定説になっていた。その誤解をただしたのは手代木俊一で、その著りに詳細が記されている。

新倉文郎,柳田謙十郎たちがいました. 詩歌を愛好する文学仲間が出来,雑誌を出したと言います. 原稿を綴じただけの回覧誌ではなかったでしょうか.

二年後,逗子開成中学生のボート遭難事件が起きます。十二人の少年たちが死亡した事件は、今も「七里ヶ浜哀歌」という歌で知られています。鎌倉女学校の数学教師だった三角錫子の作詞として歌い続けられていますが、これは、満十七才に満たなかった時の父が書いたものです。雑誌用に清書して寄宿舎の自室の机上に置いた原稿を、一教師が持ち去ると数日後、法要の集いで三角指



写真 5 三角 錫子著 婦人生活の創造

揮,鎌倉女学校生徒の合唱で発表され、世の中に 広がりました。ほんの数ヵ所、ほんの少し言葉を 変えています。三連までを父が書き、あとは文学 仲間たちと考えました。みんな悔しかったでしょ う。父は抗議をしたらしく、父の名で歌詞集に載 ったこともありますが、その後あきらめたようで す。



写真 6 三角錫子と楽譜「哀歌」 (村上 尋著 「真白き富士の嶺」の口絵写真より) なお, 楽譜は錫子の末弟 三角武雄が昭和17年に復 刻したもの.原本は大正5年6月発行と思われる.楽譜の表紙の文字は錫子の自筆で 『三角錫子作詞 哀歌 真白き 婦しの根 ははのなげき』 となっている.

6 5 4 3 2 1 きょうも明日も 斯くて永久に尽きせぬ恨みに泣くねは共どもわれも恋し 失せし人よ 保らぬ波路に 友よぶ千鳥 引き星も 影をひそめ 月も星も 影をひそめ み魂よ何処に迷いておわすか がします。 日本星も 影をひそめ 響く波の音も高し ましさ余りて寝られぬ 人の姿 神よ早く我も召せよ 黄金も宝も何しに集め暗にすずむ 親の心 親のの 恨みは深し 七里ヶ浜 力もつきはて呼ぶ名は父 かささはて呼ぶ名は父 かき かき からき に アルー ボートは沈みぬ 千尋の 捧げまつる 胸と心 帰らぬ十二の雄々しき 帰らぬ十二の雄々しき 真白き富士の根 緑の 里ヶ浜哀歌 (真白き富士 み光 うの ぬ 8 0 き魂 0 枕に 父母 N ö 江 根 月影 海 ノ島 原

> 地に咲き句: 神稜威 勇士 ИD うれしく匂う 優 家をは子を **神国につくす** 爱 こぞりて咲いて 女といえど まごころ燃 こころの 真白き富 光りて たかに香る ĩ に咲き匂う 国 のあ 4 O 句う o) 4 尾 強 ゃ とを + しるし ゆる ば Ç, 作作曲詩 国の花 女等 ŧ 守りゆく 雄々しくも 楯として 古関裕而 福田正夫 国 生命が 红椿 美しく た妻 日の本の 菊 だ Ø Ø は か 老 老 さき H

父の作詞,戦時中の国民歌謡「愛国の花」が,「七里ヶ浜哀歌」と同じに〈真白き富士の〉で出だすのは,父の胸中に去来するものがあったからかも知れません.

(福田正夫四女 横浜市在住)

ここまで原稿を書き上げたところで、福田美鈴著 "父福田正夫「民衆」以後"¹¹⁾を入手した。その本には「師範時代・七里ヶ浜の哀歌」と題する一文も含まれている。上に述べたことと重複する点が多いが、以下に注目される事項を要約する。

「師範時代・七里ヶ浜の哀歌」から

正夫と親しく交流した人の多くは、「七里ヶ浜の哀歌」の作詞者が正夫であることを、正夫自身の口から聞いていると思われる*. 私 (美鈴) もそれを知ったのは、父が来客に話しているのを聞きかじったからである。「寄宿舎の部屋に教師がやってきて、机の上の原稿をみると『やあこれはいいものがあった』って持ってっちまったんだよ。それがあとで歌われだしたんだから、おどろいたよ.」 父に問いただしてみればよかったものを、それをする考えも知恵も浮かばず (父は亡くなり) 時が経った。何人かの友人に『あれは本当はうちの父の作詞だった』としゃべったりして母に叱られた。

歌詞の本などで三角錫子という名前は見たが架空の女性だと思っていた。やがて実在の人と知り兄姉との話題になることもあった。長姉の美弥子は、一番の歌詞の終行"捧げまつる胸と心"が父の原作では"捧げまつる夢と心"であったと、父自身から聞いたと教えてくれた。私のすぐ上の絵描きの兄は、昔ラジオの音楽番組で、詩人のサトーハチローが『あの詩は福田正夫さんの作にまちがいはない。読んでみればすぐ分かる』という意味の話を聴いたといった。下の姉、芙美子は小学生のころ(昭和9-15年)、少女倶楽部の付録の歌詞集に、「七里ヶ浜の哀歌」が福田正夫作詞として載っていたこと、またどこかで日本詩人会作詞となっているのを見たことがあるという。また、私の従姉(昭和5・6年ごろ、叔父である正夫の家に寄宿し津田塾に通学していた)は正夫から『あれはもう話がついたからいいんだ。

それに歌詞はおれが書いたのとは違っているしな』と聞いたことがあるという。どんな形で話がついたのか。話がついたのになぜその後、少女倶楽部の付録が正夫作になっていたのか、考えてもきりがない。

こうした兄姉との話を告げても、母は晩年まで私に言うな、書くなをくり返した.結局母は三角錫子という人を、気の毒がっていたのである.何しろ、これだけ有名になった歌の作者で通っていたのだから.母がなだめたから、父は著作権の主張を取りやめたのだという,兄姉の話である.クリスチャンの家に生まれて母は、人を傷つけたくなかったのだろう.

近藤東先生(前出)から、宮内寒弥著『七里ヶ浜』 (昭和53年・新潮社)⁵が出ていると聞き、購入した、 「七里ヶ浜の哀歌」の原作者が福田正夫であったことは 書かれていない。近藤先生は宮内寒弥氏に福田正夫が原 作者であることを告げたそうだが、その後の反応は聞い てない。

判らないことは判らないまま眠ってもらってもかまわない.何もかも追求するつもりは私にはない.父が自分たちの薄い雑誌に詩を発表しただけでは『七里ヶ浜の哀歌』は人に歌われず,読んでももらえなかったかも知れない.遭難学生の大法要で発表されたからこそ,人々に感激を与え,広がり陽をあびた.歌の運命,そういったものがあったのだろう.その運命が福田正夫の側にも影響をひびかせてきて,小ドラマを展開させた.それらを記録しておくことを許してもらおう.

原稿を持ち去った教師は誰か?ー清田の推測ー

福田正夫の机の上の原稿を持ち去った教師は誰か?清田は以下のように推測している.

「(神奈川) 師範の音楽教師小林錠之助は明治39年から昭和11年までの永きにわたり、鎌女の教師として出講した、ボート遭難事件から追悼式までの限られた日時で、数学教師の三角が作詞に苦しむ姿を見かねた小林が、同僚の山内惇吉から教え子の福田が哀歌を書いたことを知らされ、三角に提供したという推理は十分に成り立つ|9

2.3 七里ヶ浜哀歌 作詞者は?

以上の情報を総合すると,「七里ヶ浜哀歌の作詞者は 通説である三角錫子ではなく,福田正夫である」可能性 が高い. 関係者がすべて亡くなった現在では,真実を知 る由もない. 以下は私の推測である.

三角錫子は、その日限りの追悼の歌と思って、神奈川師範の一教師から提供された原稿に若干手を入れて、生徒たちに歌わせたのであろう。その歌が思わぬ反響を呼び、盗作と責められても仕方がない事態に困惑したのではないだろうか。

一方の福田正夫は"寄宿舎の自室の机上に置いた原稿

^{*}たとえば 近藤 東は『七里ヶ浜の哀歌』の謎¹³ と 題する文章で以下のように述べている.

ところで、この歌の作者は当時鎌倉女学校の教師であった三角錫子となっているが、じつは福田正夫の作であるとのウワサを聞いていた。(中略)先日、中山智方氏から頂いた詩誌「焔」第十七号に「先生(正夫)が生きているうちに聞いたことだけれど(中略)事実は福田正夫が在学中(神奈川県立師範学校)にかいた作品だ。このことは福田さんにきいた」と、山本和夫氏が発言しているのを読んだ。 『横浜文芸懇話会会報』(昭五六・二・八号)

を持ち去られ"て、断りもなく使われたことに激しい憤りを覚えたであろう。しかし、遭難事故の詳細が判明するにつれて、事故の責任は"校則に反して無許可でボートを出し、禁止区域へ漕ぎ出した生徒"にあり、"帰らぬ十二の雄々しき魂"と美化する歌詞が、必ずしも適切でないことに気付いたであろう。そうした状況の中で、原作者であることを主張する意義を自らに問うて思い悩んだのではあるまいか。

福田正夫の夫人が家族に「人に話しちゃいけないとか,書くんじゃないよ」と言っていたのは,三角錫子の事情を思いやった夫妻の寛容を物語っている.一方,"歌詞が描き出す虚構"と"事件の真相"の乖離に直面し,あえて沈黙を選んだのではないだろうか*.

福田正夫 (1893-1952)15)

最後に、福田正夫の略歴を記しておこう. 正夫は明治 26年 (1893) 小田原に医師 堀川好才の5男として生まれた. 17歳のとき福田家の養子となる. 神奈川師範を卒業, 東京高等師範中退. 小学校教員を経て文筆業に入る. 大正七年 (1918). 雑誌『民衆』を創刊. 民衆詩運動を展開した. 『農民の言葉』『船出の歌』『耕人の手』等の詩集. 映画化された長編叙事詩『高原の処女』ほかの作品がある. 雑誌『焔』などで後進の育成に尽力した.

謝 辞

本稿は、山口幸夫さんに「哀歌の作詞者は別人だ」とする新聞記事®を知らせていただいたことがきっかけとなって執筆したものである。三角(旧姓)菊さんは、三角錫子の著書®・江藤淳の文芸時評のコピーなどを送ってくださった。福田美鈴さんには著書®を寄贈していただいた。石川四高記念文化交流館を訪問した際には、中谷松雄(同館総務課長)、香村幸作(石川近代文学館理事)のお二人をはじめ同館の職員の方々に資料の閲覧などの便宜をはかっていただき、親切に対応していただいた。これらの方々に厚くお礼申し上げる。また、三角錫子、福田正夫に関する調査に際して、横浜市中央図書館、小田原市立図書館、フェリス女学院大学図書館の協力を得たことを記し謝意を表する。



写真7 福田正夫(小田原市立図書館所蔵)

文 献

- 小岩昌宏:歌をめぐる物語-琵琶湖周航の歌,琵琶湖哀歌,七里ヶ浜哀歌-,水曜会誌,第24巻第2号,2009年,pp.232-239.
- 2) 琵琶湖哀歌の成立過程 (三文楽士の音楽室), (http://music.geocities.jp/japan_mellophone_ alliance/biwako/melody2.htm) 2009年.
- 前田隆司,「にんげんシリーズ 市議は走る/京都 第三話,学者肌」,毎日新聞 1985.05.08.1985.05.21.(http://www5d.biglobe.ne.jp/~tosikenn/tetusigi.html)
- 4) 三角錫子:婦人生活の創造,実業之日本社 大正 10年. なお,この本は 山崎朋子監修 叢書女性 論(大空社)の第19巻として,1996年に刊行され ている.
- 5) 宮内寒弥:七里ヶ浜、新潮社、昭和53年、
- 6) 三角錫子: 涙と汗の記(自叙傳),婦人公論1920 年4月号。
- 7) 手代木俊一:讃美歌・聖歌と日本の近代, 音楽之 友社, 1999年11月.
- 8) 村上尋:真白き富士の嶺 三角錫子の生涯, 足立 区コミュニティ文化・スポーツ公社 1992.
- 9) 清田昌弘:かまくら今昔抄,鎌倉朝日,第288号,2003年3月3日.
- 10) 福田美鈴: "同人誌と [七里ヶ浜哀歌] のこと", かまくら春秋, No. 137 (平成 13. 9).
- 11) 福田美鈴: 父福田正夫『民衆以後』 福田美鈴文 集 I (2002年4月). なお、本書は小田原市立図 書館地域資料室が所蔵している.
- 12) 近藤 東:七里ヶ浜の哀歌の謎,横浜文芸懇話会会報(昭五六・二・八号) (この文章は文献 15) に収録されている。)
- 13) 堀内敬三:日本の唱歌:定本,実業之日本社 1970.
- 14) http://crd.ndl.go.jp/GENERAL/servlet/detail.reference?id=1000014383(レファレンス協同データベース)
- 15) 福田正夫詩の会編 資料・福田正夫 人間と芸 術,教育出版センター,昭和60年.

^{*}慰霊祭で歌われた「七里ヶ浜の哀歌」は,演歌師によって全国に広まり,女学生たちの愛唱歌になった.その歌詞が初めて印刷出版されたのは文献「『によれば,大正五年六月とのことで"「七里が浜の哀歌」という単行本となって楽譜が発行され(写真6を参照),雑誌「月刊楽譜」にもこの歌詞が『哀悼の歌』と題して載せられた"とのことである¹⁴. その楽譜には,作詞者として三角錫子の名前が記されている.福田美鈴の言う「父は抗議をしたらしく.父の名で歌詞集に載ったこともあります」というのは,この時期のことだったのであろうか?

談 話 室

松下政経塾

熱 田 善男*

The Matsushita Institute of Government and Management

by Yoshio ATSUTA

松下政経塾の設立

1978年9月,83歳の,松下幸之助は,記者会見を開いて「松下政経塾」の設立を発表.71歳の時の前の発表から13年間も温めていました。

「どうして人間が野原に住んでいる獣や鳥より、劣った生活をするのか. 人間は万物の霊長といわれるぐらい、すべての点において、すぐれておる. それにもかかわらず、みずから招いて貧乏している、栄養失調に陥っている. これはおかしい. そういうことの研究をやろう」と、PHPの研究を、戦後間もなくはじめたのでした.

「政治がこければ社会全体がダメになる,それを救うのが PHP だ」. それ以来30年以上も PHP を続けてきたが,政治はよくならなかった. あいかわらず,政治は,汚い社会でした. とうとう,直接のりだすことにしたのでした.

政治家養成機関の設立でした.

無税国家の実現を

税金は国家の運営になくてはならないもの、というのが世間一般の常識だが、幸之助は、考え方、やり方いかんによっては税金がいらない国家経営も可能であるとして、無税国家構想を提言している.

すなわち、今日の国家財政は、単年度主義で運営されており、1年間で予算を使い切るために、ときには無駄とも思える使い方も出てきている。

これを、仕事の効率をあげることによって少しずつ残して、積み立てていく方式にきりかえる.

そして, 毎年, 予算の何パーセントかを積立てて, 複

利で運用していけば、100年後には、その運用益だけで、現在の年間税収をはるかに上回る収入が得られて、税金は一切不要になるばかりか、国民になんらかのかたちで還元することも可能になるだろう、ということである

げんに民間企業のなかには、本業で懸命な努力を続けながら、利益の一部を営々と積み立てて、それによって配当金ぐらいは十分にまかなえるところも少なくない. この手法を国家経営にも生かすべきである.

そのためには行政のあり方を抜本的に見直し、徹底的に 合理化、効率化をはからなければならないが、お互い国民 の知恵と努力を寄せあえば、それは必ず可能である.

今後21世紀までの20余年間を、そのための研究・準備にあて、21世紀の終わりにはそのような国家をぜひとも 実現したいものである、と幸之助は1978年83歳で、気字 壮大な構想を提唱したのである。

開塾とその後

1979年6月,神奈川県茅ケ崎に,松下政経塾が設立された.1981年4月,23名の一期生を迎えたのでした.幸之助85歳の春でした.

研修期間は5年,研修費は,1年と2年は月13万5 千円,3年以上は15万5千円,年2回10数万円のボーナスもあった。それも、もらえるのですね。

1982年の夏,「政経塾では間に合わんかもしれんな」と、幸之助が側近の江口克彦にもらすようになった。そして、江口に命じて、幸之助新党の、設立趣意書、立党宣言、信条、綱領、組織図、党則、等々が、順次、できてくる。

実は、遡って、1972年6月1日、盛田昭夫、牛尾治朗、稲盛和夫、香山健一、浅利慶太が京都の幸之助の別邸・真々庵に集まって、新党の密儀をしたのだった。

その密議に出た牛尾を東京の自宅に訪ねる. そして

^{*}村上研 OB 新日鉄 OB 元·文教学院大

「牛尾はん、やっぱり新党しかありまへんで」.

新党の内容に目をとおした牛尾は「無税国家論などの 国内政策はいいが、安全保障や外交にはもっと充実した ことが必要ですね。もうしばらく時間がいりますね」. と冷淡な返事。同行していた江口はいささか失望した.

京都へ帰ると、息子のように付き合っていた、ワコール会長の塚本幸一に声をかけたが、これも消極的な返事だった.

「新党を作ろうとしたが、出来んかった. いざとなると、やらんほうがええという」.

中曽根首相から、幸之助に出馬要請があったが.これを固辞する.

1985年,90歳のとき,塾の1期生が卒業. 開塾ご5年では目立った成果は出なかった.

再び,新党結成の動き始めるが体調が悪化して,挫 折.

2010年の参議院選挙

この選挙で、ミスター政経塾といわれる人が、立って、残念なことに、落ちてしまいました。前杉並区長の山田宏氏、政経塾2期生です。

この人は、1浪後、京大へ入った。2年の時に政経塾がつくられるということをニュースで知った。PHP発行のVOICEを見ると、「まさに人材、将来の指導者たる人材を開発し育成する」とあった。そこで、4年生になり、政経塾を受けた。面接を通り指導教官の高坂正堯に推薦文をたのんだ。「おまえ、あんなとこへ入ったら大変やで、5年いても何の保証もない」

でも,政経塾から合格の通知がきた.

しかし、山田の父も「金持ちが道楽で始めた仕事、男 が一生かけてする仕事じゃない」

塾で、山田は大暴れをする。大暴れをするというと言葉は悪いが、塾の管理方針と違ったことをしたのでした。こんなことが有名になり、ミスター政経塾と言われたのでした。

3年の秋には、塾生のまま衆議院議員・熊谷弘の秘書になる。新自由クラブ代表の河野洋平に説得され、そして4年になると東京都議選に走り回る。塾には選挙に出れば卒塾という決まりがあった。山田は幸之助に挨拶をすませ卒塾した。

やはり金の問題で困る. 200万円の貯金はポスター代だけでなくなる. 新自由クラブの公認料の300万円も諸費用でなくなる. とうとう,幸之助に泣きついた. 幸之助は500万円の小切手を手渡してくれた. 「上げるのと違う. 貸しや. 10年返済でええわ. 利子は寄付や」. そして,杉並区で,当選した.

幸之助から金を借りたということでも、 ミスター政経

塾と言われたのでした.幸之助から金を借りたのは,た しかこの人が最初で最後でした.

1990年の衆議院選で、6名の塾出身者が、立候補したが2代目の逢沢一郎の他は、落選、政経塾出身者は地方議員どまりということが定着したのでした。

しかし、日本新党ブームが起こり、事情はかわる.

1993年,日本新党ブームななかで15人の松下政経塾出身者が、衆議院に当選したのでした。その一人に山田がいたのでした。しかし、次の1996年には、このときは小選挙区制でしたが14人の塾出身者が当選しました。

が、山田は落ちました. そこで、山田は方向転換して杉 並区長になった.

区長時代には、自分の給与を10%カットとボーナス50%カットして、財政再建につとめます。10年間に職員を1000人削減という公約を柱に、4700人の職員を3700人に減らし財政に余裕を生み出し、それを使って942億円まであった借金もあと2年で完済できるようになり、19億円だった使える貯金は190億円になりました。

あと2年で区の財政は、きれいになる予定でした。本 当は杉並区長のままいた方がよかったですね。しかし、 3期目の半ばで区長を辞任して、立ったのでした。

「このまま、あと3年、民主党政権が続けば日本は沈没してしまう」「目指すのは自分の旗のもとでの政界再編です.参院選で2~3議席、来年の統一地方選、さらには次の衆院選に持ち込みたい」と、退職金1400万円にさらに借金5000万円をして、日本創新党を立ち上げ、何人かで立候補しましたが選挙区でも比例区でも全員アウトでした.やはり時代がかわり、知名度も薄れていたのです

杉並区長のときにやったのは、松下幸之助が言っていた無税国家のミニ判ですね.これからは、ひたすら使える貯金にはげむ.そして、最後は無税に移るのでした.

この選挙に,江口克彦が,みんなの党から立候補して,当選しました.

幸之助の側近として、それこそ、政経塾作りにも、幸 之助新党にも、いろいろやってきた人が、党派をかえて 立ち当選しました。しかし、ほんとうは、落ちてもいい から、山田とやってほしかった。

参考文献

- 1) 松下政経塾とは何か(井手康博)新潮新書.
- 松下政経塾に日本を任せられるか(井手康博)
 Will 8/2010.

著者:熱田善男 電話: 047-411-9594(FAX も同じ)

住所: 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

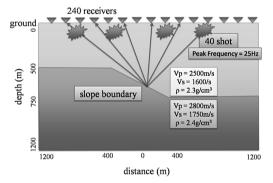
資源工学講座 応用地球物理学分野

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。

地震探査の高精度化に関する研究

従来の地震記録処理や人工地震記録作成のために用いられてきた地震波伝播シミュレーションでは、その震源は点震源であると仮定されてきた.しかしながら、現実には有限の大きさをもった起震機によって地震波動は生成されている.そこで、大きさを有する起震機から生成される地震波を数値シミュレーションにより推定した.その結果、これまで無視されてきた起震機構造や近傍不均質構造とそのカップリングが地震記録に大きな影響を与えることがわかった.

得られた地震記録に施すデータ処理技術にマイグレーション処理があるが、近年、フレネルボリュームを考慮したマイグレーション手法の適用が進められている。三成分記録に対しては、地震波の種類を同定するため、見かけ速度と入射角の関係を利用する必要がある。この入射角決定に τ -P 変換を用いたところ、ノイズの大きいデータに対してもロバストな入射角の決定ができること、そして安定したマイグレーション適用が可能となる(図1)ことが確認された。



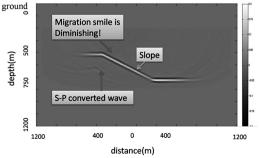


図1 数値計算に用いたモデル(上)と τ -P変換により入射角決定をしたマイグレーション結果(下). τ -P変換による正確な入射角決定がマイグレーションスマイルを低減している.

電磁探査の高精度化に関する研究

石油・天然ガス資源やメタンハイドレートの開発、あ るいは地震防災の側面で、沿岸域での海底下の地下構造 調査は重要な要素の一つである.近年、海洋地殻浅部の 詳細な比抵抗構造を調べるため人工的に発生させた電磁 場信号を用いた電磁探査法が注目され始めている. 従来 の海底比抵抗探査としては、自然の電磁場信号を用いた MT 法に基づく電磁探査が広く使用されてきたが、海底 浅部の情報を持つ磁場変動の高周波成分が低比抵抗物質 である海水により減衰することから、MT 法では海洋地 殻浅部の比抵抗を求めることは難しい. そこで, 人工的 なダイポール電場による電磁探査法である CSEM 法に 注目し、日本の EEZ (排他的経済水域) 内に存在する 非在来型資源である海底熱水鉱床への適用性を検討し た. 検討には 2.5 次元の CSEM 法解析プログラムを新 たに開発した、数値シミュレーションの結果、ノイズの 影響を考慮しても電流源から 150 m~200 m までの範囲 で電場を検出可能であることがわかった.

一方、陸域においては空洞・配管調査や活断層調査などにおいて、地下 20 m 程度までを効率よく面的に探査する手法が求められている。そこで電波時計の時刻校正用に非常に安定した電波送信がなされている JJY 標準電波に着目し、これを用いた浅層電磁探査法を新たに開発した。3次元数値シミュレーションの結果、既存のVLF-EM 探査に比べて浅部への感度が高いことが示された。また、試作機を用いた現場試験でデータ取得・解析をおこなったところ、野外での人工埋設物、構造異常体の検出における有用性が確認された。

様々な波動伝播現象の解明に関する研究

塗料にある微小セラミック球を混ぜて金属に塗布すると、混ぜていないものを塗布した場合、あるいは何も塗布していない場合に比べ、太陽光照射時の温度上昇が抑制されることが知られている。この塗料についての実験的な考察はこれまでにも行われてきたが、温度上昇を抑制する効果の理論解明はほとんどなされていない。そこで、温度上昇を抑制するメカニズムに電磁波散乱(ミー散乱)が関与しているとする仮説を提唱し、その仮説の検証のため数値シミュレーションをおこなった。その結果、温度上昇抑制に最適な球径が推定された。

また、日本は海に囲まれた国であり、プレートが重なりあう地震発生帯に位置するため、古来より津波被害を被ってきた。この津波の発生・伝搬の様子を数値シミュレーションすることにより津波予報や被害予測に役立てることが可能となる。数値解析手法としては、比較的簡便な有限差分法を採用し、計算格子に不等間隔格子を利用することで複雑な幾何学的形状を有する解析対象への適用を試みた。また、不等間隔格子に対する近似にPearson近似を用いた補間をおこなうことで、より正確な津波の発生・伝搬シミュレーションをおこなうことが可能となった。

地震の発生に関与する地域応力場の推定では、GPSを用いた測地学的な手法が使われている。この間接測定で求まる状態量である地殻内応力の推定のため、地震波伝播を利用した推定手法の適用可能性について検討した。その結果、弾性変位と地震波速度の応力依存性により、コーダ Q と呼ばれる統計学的数量が差応力の大きさに依存して変化することが確認された。

教 授 三ケ田 均 准教授 後藤 忠徳 助 教 武川 順一 工学研究科 社会基盤工学専攻

ジオマネジメント工学講座環境資源システム工学分野

環境資源システム工学分野は,所属専攻が平成22年4月に社会基盤工学専攻から都市社会工学専攻に変更になり,同時に地殼工学講座・地質工学分野より改称された。当研究室の主な研究成果を以下に示す。

CO。地中貯留における貯留量評価手法と 地化学的評価に関する研究

CO。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、Sleipner や InSalah のような商業規模の実施例がよく知られてい る. 地中貯留において, 帯水層に圧入された CO。挙動の モニタリングは、基本的かつ重要な課題である。本研究室 では、物理探査的手法である弾性波や比抵抗を用いた CO。モニタリング手法の開発や、CO。貯留量評価に関 する基礎研究を行っている。現在は新潟県南長岡ガス田 で実施された CO。圧入実証試験の結果と、室内で行わ れている比抵抗と弾性波の同時測定実験の結果を比較検 討し、CO。貯留量評価手法の確立を試みている。また、 実験において複数の構造の異なる砂岩試料を用いること で、CO2挙動に及ぼす砂岩の空隙構造の影響を検討して いる。一方で、CO。地中貯留については長期安全性に関 する検討も重要な課題である. CO。貯留の安全性に寄与 する、溶解トラップメカニズムの促進手法として、CO。 を微細気泡にして圧入する技術開発を進めている. 現在 は微細気泡発生手法の実験を行っており、温度圧力条件 や地層水の塩分濃度等の影響評価をしている. また, CO。と岩石鉱物との地化学反応実験による、鉱物固定メ カニズムの解明などの基礎研究も行っている.

波動を用いた地下イメージングの研究

地震波干渉法や表面波探査などの弾性波を用いた物理 探査手法により、地下の情報を高精度に推定する技術の 開発及び適用範囲の拡大を行った.以下に得られた成果 を示す

- ・瀬戸内海近傍で取得された MCS (三次元地設構造解析システム) のデータに対して CRS (共通反射面) 重合法を適用することで、従来の CMP 重合法によるものよりも高解像度な中央構造線のイメージングに成功した。
- ・相互コヒーレンス型(周波数領域ノーマライズ型)地 震波干渉法を提案し、従来では適用が困難であった電 車振動を中心とした交通ノイズに対して地震波干渉法 を適用し、反射法地震探査手法による浅部地下構造の イメージング及び表面波探査手法による S 波速度の 推定ができた。
- ・理論上は水平成層の仮定を必要とする表面波探査であるが、均質化法により検証を行ったところ、水平方向に不均質な構造であっても、長い波長を選べば均質体として評価できるという空間分解能があることを確認した.

これらの成果は、土木建設分野の調査をはじめとし、 環境分野および石油開発のモニタリング、あるいは活断 層調査などの防災分野と幅広い応用が考えられる.

マイクロ波リモートセンシングの研究

干渉 SAR 解析により、地震や石油掘削に起因する地表面変動量の観測に関する研究を行った。さらに地表面変動量を評価関数として逆解析を実施することにより、地震断層などの変位量の推定も行った。

・重質油を回収する一手法である SAGD 法では地中に 水蒸気を圧入するために、地表面が隆起する場合があ る。SAGD 法により重質油の採取を行っているカナ ダ Hangstone 鉱区において干渉 SAR 解析により高 精度の地表面変動量測定を行ったところ,最大で年間 3.8 cm の隆起を確認した.また逆解析を行い,この 隆起を引き起こしたのは最大で 4.5 cm の貯留層内の 開口であったと推定した.

・1997年鹿児島県北西部地震に対する干渉 SAR 解析により、震源断層の北側で 6 cm の沈下、南側で 4 cm の隆起を観測した。また逆解析により、観測した地表面変動を定量的に説明できる断層形状と滑り量分布の推定に成功した。

これらの研究成果は、防災分野への応用や、地盤変動 モニタリングへの実用化が期待できるものである.

地下構造モデリングに関する研究

アナログモデル実験と数値シミュレーションを組み合わせる事で, (i)海底地すべり, (ii)新潟中越地域の油田構造形成, (iii)南海トラフ付加体の形成, などの地質現象の解明に取り組んだ. このうち海底地すべりの検討では, 逆断層の変位に伴って発生する海底地すべり発生のメカニズムについてモデル化を行った. アナログモデル実験の画像解析結果から, 斜面下部で小規模な地すべりが繰り返し頻発し, その結果力学的に不安定となった斜面上部で大規模な地すべりが発生するというプロセスが確認された. また一度大規模な地すべりが発生すると、周辺斜面の安定も損なわれ, 新たな地すべりが発生すると、周辺斜面の安定も損なわれ, 新たな地すべりが発生されることも明らかとなった. この成果は海底地すべり現象の解明に大きく貢献するものである.

格子ボルツマン法を用いた多相流シミュ レーションの資源開発分野への適用

格子ボルツマン法(LBM)や個別要素法(DEM)を 用いた多相流シミュレーション解析により、岩石孔隙中 の流体挙動特性及び岩盤の変形の把握を行った.

- ・多孔質媒体から H_2O 中へ液化 CO_2 を圧入した際にマイクロバブルが発生する様子を,濡れ性や表面張力を考慮した液-液-固相シミュレーションにより再現した.このとき生成されるマイクロバブルの半径はウェーバー数に比例して増加することが確認された.
- ・ポアネックにより模擬された多孔質媒体中の水油二相系に振動を与えた際の挙動を LBM により再現した.これにより周波数が低く振幅の大きな振動を与えた際に、油滴はポアネックを通過しやすいことが確認された.
- ・LBM と DEM の連成解析により、断続的な出砂の発生メカニズムやオイルサンドからのビチューメンと微粒子の分離促進について検討した。これにより、ドローダウンが出砂に与える影響および傾斜分離装置内での沈降分離速度の向上(ボイコット効果)を示すことができた。

この手法を用いた成果は、 CO_2 地中貯留などの環境分野や、石油増進回収技術のような石油工学の発展に寄与するものである。

分子動力学を用いた研究

分子動力学(MD)的手法を用いて、貯留層環境下における原油・水界面の挙動や物性の計算・解析を行った。種々の炭化水素の混合物として原油をモデル化することで、従来実験では検出が困難とされていた芳香族の油・水界面への集積現象を確認する事に成功した。さらに、この結論から予測される CO_2 炭化水素・水系における CO_2 の炭化水素・水界面への集積現象を,MD 計算によって確認した。この成果の地球温暖化抑制のための CO_2 地中貯留技術や、 CO_2 を用いた石油増進回収技術への応用が期待される。

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 地殼開発工学分野

超臨界二酸化炭素の岩盤内圧入効率の 改善と完全性確保に関する研究

二酸化炭素の排出量を削減して地球の温暖化を防止す る方法の一つとして, 二酸化炭素を地中の帯水層に貯留 する方法,二酸化炭素地中貯留が有望視されている.二 酸化炭素地中貯留においては、その温度圧力条件から二 酸化炭素は超臨界流体と呼ばれる状態にあり、液体に近 い密度を有しながら気体のように小さな粘性を有する状 態となる。二酸化炭素がこのような状態であれば、大量 の二酸化炭素を削減することが期待できる反面、対象と なる岩盤が低浸透率であった場合、粘性が小さいために 低い圧力で坑井近傍に亀裂が生じる恐れがあり、この亀 裂を介して二酸化炭素が貯留層外に漏洩してしまう危険 性も孕んでいる. また, 掘削時に発生するもしくは天然 に存在する坑井近傍の複雑な亀裂 (Tortuosity) が圧入 流体の流れを制限するバルブのように作用し、圧入圧力 の増大や複数の狭い亀裂 (Multiple-fracture) の発達 を招き、それらに起因した坑井障害により圧入効率に大 きな影響を与える可能性も考えられる. そこで本研究で は、花崗岩供試体を用いて粘性の異なる3種類の破砕流 体、すなわち超臨界二酸化炭素、水、および油による水 圧破砕実験を行った. 実験では圧力の測定とともに AE の測定を行ない、得られた結果から粘性の異なる流体に よる破砕圧力,岩石の引張強度, 亀裂の性状, AEの発 生メカニズムの違いについて検討した. その結果, 破砕 圧と引張強度(破砕圧と再開口圧との差)が破砕流体の 粘性の影響を受けることが確認された. また, AE震源 の空間分布, 亀裂の観察結果から, 破砕流体に超臨界二 酸化炭素を用いた場合には、粘性の大きい流体を破砕流 体に用いた場合と比較して、より細かい亀裂が広範囲に 進展していく傾向があることが確認された. 今後は, 実 験結果の再現性を確認するとともに、蛍光法を用いた亀 裂の観察を行ない、亀裂の特徴を明らかにしていく予定 である. また、二酸化炭素地中貯留が行われると予想さ れている堆積岩に対しても同様の実験を行っていく予定 である.

MS-P 理論を用いた貯留層岩石の残留流体 飽和率評価に関する研究

石油・天然ガスの効率的な開発とその地下貯蔵において, 貯留岩石内における流体の流動挙動を精度よく評価する必要がある. なかでも貯留層流体の残留流体飽和率は重要なパラメーターであり, 残留ガストラップ効果を

利用する炭酸ガスの地中貯留においても、貯留可能量や 圧入挙動を把握する上で,水と炭酸ガスに対して残留流 体飽和率を精度よく評価することは重要である. 一般 に、残留流体飽和率は貯留岩のコア試料を用いた流動実 験により求められるが、コアが採取される区間は限られ ており、また数多くの流動実験を行うには多大な時間と 労力を要する、そこで本研究では、十分な試料を採取で きる貯留層の坑壁コアサンプルから流動実験によらずに 残留流体飽和率を評価する方法について検討を行った。 具体的には、ベレア砂岩の空隙の形状データとその連結 構造データをマイクロフォーカス X線 CT スキャナに より取得し、複雑な空隙形状の非濡れ相の閾値圧力を推 定できる MS-P 理論を用いて、各空隙の非濡れ相の閾 値圧力ならびに任意の圧力下における残留流体飽和率を 評価した、その結果、評価精度に問題は残るものの、圧 入圧力と残留流体飽和率の関係、すなわち毛細管圧力曲 線は従来の知見と調和的であり、本手法を用いて残留流 体飽和率を評価することが可能であることが分かった.

X線 CT を用いた岩石力学試験法の高度 化に関する研究

地盤の破壊現象を三次元的に解明することを目的とし て、 密度構造や外的作用によって生じる密度変化を非破 壊で分析できる X線 CT法 (X-ray Computed Tomography Method) を用いた研究が行われており、 とくに土や砂といった変形の大きな材料に対して多く報 告されている。一方、岩石力学の分野においても変形・ 破壊機構の分析に X線 CT 法を適用する事例が増えて きているが、X線 CT 観察下で岩石の変形・破壊現象 を可視化するためのシステムが普及していないことや、 土に比べて変形が小さく,かつ密度変化が小さなせん断 破壊への適用が困難なことから X線 CT を用いた力学 試験の事例は少なく、かつ研究方法も確立していないの が現状である. そこで本研究では、X線CTを用いて 三軸圧縮応力下での岩石の変形挙動を非破壊で観察でき る実験システムを構築し、得られた画像データからひず みを算定する基礎式を提案するとともに、その有効性に ついて検討を行った. その結果, ひずみゲージや変位計 によらず、CT 画像から任意の領域のひずみを算出でき ることが分かった. また, 算出したひずみの挙動は従来 の知見と調和的であり、岩石の変形・破壊特性を定量的 に分析するうえで、X線 CT 法が有効であることが分 かった.

教 授 石田 毅准教授 村田 澄彦助 教 深堀 大介

工学研究科 社会基盤工学専攻

資源工学講座 計測評価工学分野

山岳トンネルの地震被害メカニズムに関する研究

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は理解されているとは いえない、通常行われている地震時応答解析でも、トン ネル軸に対して地震波が鉛直入射した場合が最も危険で あると考えて、トンネル軸方向を無視した2次元解析が 一般に用いられているが、そのことに関する妥当性につ いて詳しく検討したような研究は見当たらない. そこ で、トンネル軸に対して斜めに地震波が入射した場合の 山岳トンネルの地震時応答に関して、3次元動弾性論に もとづいた理論的な考察を行った. その結果、トンネル 周辺の地盤が硬い場合には、地震によって生じる応力の 最大値を評価できるという意味で、トンネル軸に垂直な 面内の2次元解析で十分であることが確認された. しか し、トンネル周辺の地盤が軟らかい場合では、地震波が トンネル軸に対して斜めに入射した場合に、トンネル壁 面に周応力よりも大きな軸方向応力が発生する可能性が あることが示された.

応力磁気効果を利用する PC ストランド 用の張力測定器の開発

吊構造物のケーブルや、プレストレスコンクリート橋 の PC ストランドなどにおいては、安全性の観点から、 その緊張力が規定どおり保持されているかどうかを定期 的あるいは常時的に監視することが重要であって、その ために利用する張力計として、環境変動に対する十分な 安定性と、長期使用に耐える優れた堅牢性を備えた装置 の開発が望まれている. 本研究室では、この目的に適合 するものとして, 応力磁気効果を利用した新しい荷重計 の開発を進めている. ケーブルの一部を永久磁石によっ て長手方向に近飽和状態に磁化し、応力によるケーブル の磁化状態の変化を,空間磁界強度の変化として捉える 方式のものであって、既設のケーブルにそのまま適用で きるという特長を有している. 本年度は、住友電工スチ ールワイヤとの協同で、PC ストランド用の実用測定器 を開発し、その基本的な性能を確認した. 現在、長期モ ニタリングへの利用を前提として, 実使用環境下での耐 久性などについて調査中である.

長尺鏡ボルトによる地山補強効果の検討

近年、脆弱地山でのトンネルや土被りの浅い都市型トンネルの施工が増加しており、切羽(鏡面)の崩壊対策が重要化している。そのため、切羽をボルトで補強することにより安定化を図る鏡止めボルト工法が多くの現場で採用されている。当研究室では、最近その施工事例が増加しつつある長尺鏡ボルト工法について、従来の経験的な手法に代わる、より合理的な設計法を確立するため、数値解析にもとづいた長尺鏡ボルトの地山補強効果に関する検討を行っている。本年度は、鉄道総合技術研究所において行われたモデル実験との対比によって、3次元有限差分法に基づくシミュレーションの妥当性についての検証を行った。とくに、かぶりの浅い土砂地山の切羽の安定性について、鏡ボルトによる崩壊抑止効果を数値シミュレーションによって定量的に評価できることが確認された。

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 質材料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. 断面内部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り、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という 特長があることから, 資源分野での内部可視化技術とし ての利用が期待されるものである. 本年度は、このキャ パシタンス CT システムを試作して、その基本的な実用 可能性について検討した. なお、リアルタイムでの内部 可視化法としては、チホノフ正則化つきの線形インバー ジョンにもとづく方法が簡便かつ有効であることが示さ れた.

教 授 朝倉 俊弘 准教授 塚田 和彦 工学研究科 都市環境工学専攻

地殼環境工学講座

岩盤空洞の気密性能評価法に関する研究

近年、新しい岩盤内エネルギー貯蔵施設として注目されている LPG 貯蔵岩盤タンクは、従来の石油貯蔵岩盤タンクで用いられてきた水封式貯蔵により建設可能と考えられている。これらの施設では周辺岩盤に高い空洞内圧が作用するため、岩盤内に亀裂が発生・進展し、貯蔵ガスが漏洩する可能性がある。また一度漏気してしまうと、その岩盤での気密性の確保は実際上ほぼ不可能となる。そのため、岩盤内エネルギー貯蔵施設の設計にあたっては、このような漏気現象が全く生じないように設計する必要があり、周辺岩盤の性能低下の程度の適正な予測・評価が不可欠な課題である。

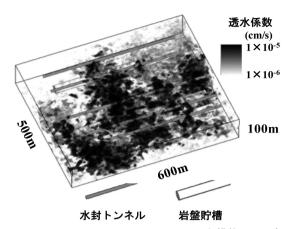
本年度は、原位置岩盤において実施された水理試験データを用いることで地球統計学手法により水理地質モデルを構築し、地質情報及び水理試験データから試験区間における気密性判定基準を算出した。気密性判定基準を組み込んだ応力-浸透流連成解析手法による数値解析を行い、解析値と実測値との比較をしたところ、数値解析によって漏気発生時点や漏気発生圧などの漏気現象を予測できることが確認され、気密性判定基準の妥当性が検証された。

3次元水理地質モデルの構築法に関する研究

地下構造物の建設にあたっては、建設プロジェクトの進行に伴って追加・統合される地質データを適時解析処理することで得られる地質モデルを基に、合理的な設計・施工を行っていくことが重要である。著者はこれまでに、現在建設中である水封式のLPG地下備蓄基地を検討サイトとして

- ■MDS イメージングによる初期岩盤水理モデルの構築
- ■多変量統計解析による岩盤水理モデルの構築
- ■地球統計手法による岩盤水理モデルの構築 を行ってきた.

本年度は、岩盤内地下水の挙動を高精度に予測できる 3次元水理地質モデル化システムの構築を目的とし、地球統計学シミュレーションを用いたモデル化手法の提案 を行った。まず対象とする領域で得られた透水特性のデータを基に定常/非定常の Sequential Indicator Simulation を用いて複数の水理地質モデルを作成した。次にそれぞれの水理地質モデルに対して3次元非定常浸透流解析を行い、一定の検証規準を満足するモデルのうち、地下水の実挙動を最も精度良く再現できるモデルを対象領域の水理地質モデルとした。この手法を原位置岩盤に適用し、従来から用いられている均質モデルやOrdinary Kriging によるモデルと比較することでモデル化システムの有効性を検証した。



Sequential Indicator Simulation により構築された水 理地質モデル

岩盤の水理地質構造評価に基づくフラクチャーシーリングシステムの合理化に関する研究

現在建設中の LPG 地下備蓄基地や、将来建設が予定されている高レベル放射性廃棄物地層処分施設などの、地下岩盤構造物の建設においては、構造物に要求される機能を満たすために、厳密な地下水制御を行うことが重要である。この地下水制御のためには、フラクチャシーリングを行い、対象岩盤を所要の透水性まで改良することが必要である。フラクチャシーリング技術としては一般にグラウチングが用いられているが、その施工においては、所要の透水性に改良できるまでチェック孔を削孔することで追加孔の要否判定が行われているのが現状である。合理的に確実かつ効率的なフラクチャシーリングを行うためには、対象岩盤の水理地質構造に応じたグラウトの充填状況について検討を行うことで、合理的なグラウト注入方法を確立することが必要である。

本年度は、亀裂交差モデルおよび結合粒状体ネットワークモデルを用いたグラウト充填状況評価手法に基づき、岩盤性状に応じてグラウト孔配置を決定するシステムを構築した.

沿岸海域における岩盤空洞周辺地下水の 長期水質挙動予測に関する研究

沿岸海域においては塩化物イオン濃度の高い地下水が 分布しているが、空洞掘削や地下水制御システムの運用 によってこの濃度に変化が生じると、地下に設置される 操業機器・配管類の機能確保に影響を与える可能性があ る。このため、操業機器の材質の設計や機能の確保にあ たっては、岩盤空洞周辺地下水の長期水質挙動を事前に 予測することが重要となる。そこで本研究においては、 地下水の移流・分散・拡散解析のスキームを構築し、現 在建設中の地下空洞において地下水水質の長期挙動の予 測を行った。

准教授 水戸 義忠

資源エネルギー学講座 資源エネルギーシステム学分野

電析法により作製された Co-Cu 合金薄膜の磁気・力学特性

ナノ結晶金属は通常の金属材料に比べ、力学・磁気特性ともに優れた特性を示すことが知られている。本研究室では磁性材料として知られている Co-Cu 合金を電析法により作製することで、ナノメートルオーダーの結晶粒径、特異な構造を導入することに成功した。そこで、この Co-Cu 合金の磁気・力学特性について実験、計算の両面から調査した。

磁気測定を行った結果、これまでに研究されている Co-Cu 合金の飽和磁化に比べて, 10% 増加しているこ とが確認された、そこで、Co-Cu 合金の構造を TEM 観察及び XRD 分析により観察したところ、Co-Cu 合 金は室温で fcc 構造を有し、さらにその格子定数は純 Coのfcc 構造の格子定数より大きいことがわかった. また、従来の Co-Cu 合金に見られていたクラスター構 造は観察されなかった、これらの結果より、Co に比べ て原子半径の大きい Cu 原子が Co の粒内に強制的に固 溶し、Co-Cu 合金の組織を変化させていると考えられ る.この考察を元に,第一原理計算を用いて,fcc 構造の Co において格子定数に変化を与えて磁気モーメントを 計算した. その結果, 格子定数を増加させた fcc 構造の Co は高い磁気モーメントを示すことがわかった. した がって、大きな飽和磁化が得られたのは、fcc 構造の存 在とその格子定数の拡大により磁気モーメントが増加し たためであるということが示唆された.

また、硬さ試験の結果、2相 Co-Cu ナノ結晶合金は 大きな速度依存性を示し、活性化体積の値は、単相の Co, Cu ナノ結晶金属と比べて小さかった。このことか ら、粒界での転位放出挙動は、粒界構造に強く影響され ることが示唆された。

以上より、電析法により作製されたナノメートルオーダーの結晶粒径、特異な構造を有する Co-Cu 合金薄膜は従来の Co-Cu 合金より優れた磁気・力学特性を有することがわかった.

気液界面に生成するメタンハイドレート 膜の結晶成長速度についての考察

近年,石油に代わる新たな資源として、メタンハイドレートが注目されている。本研究では、資源量を評価する際に重要であり、ガスハイドレートの基本物性でもある結晶成長速度に着目し、まだ明らかにされていないメタンハイドレートの生成メカニズムを解明する切り口として、実験室内でメタンハイドレート膜を生成させ、その成長挙動を観察した。

メタンハイドレート膜が成長していく様子をモデル化し、成長速度と種々のパラメータを結びつけるために、成長速度式を提案した。モデルはメタンガスで満たされた気相、純水で満たされた液相の間にメタンハイドレート膜が成長していく時のものである。膜の先端は半円状になっており、それが速度で成長していくようになっている。また、提案した式は以下の通りである。

$$v = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{5}{2}} \frac{D}{\delta} \left(\frac{\pi \rho_L}{B}\right)^{\frac{3}{2}} \left(w_b - w_i\right)^{\frac{3}{2}}$$

D:メタンの水中での拡散係数

 δ :ハイドレート膜の厚さ

ρ:溶液の密度

B:ハイドレート内のメタンの密度

w。: ハイドレート表面の界面濃度

w_i:溶液の界面濃度

成長速度式を提案するにあたって、メタンハイドレート膜の成長は物質拡散過程が律速であると仮定し、水に溶解したときの界面過剰現象に注目した。この成長速度式を実験結果とフィッティングすると、メタンハイドレート膜の膜厚は 0.8μm の時よい一致を示した。これは気液界面を平行にとらえるカメラでハイドレート膜を生成させ、膜厚を推定したときの値とよく一致した。このことから、今回のモデル化および提案した成長速度式には整合性があり、メタンハイドレートの成長過程において、メタン分子の供給は界面過剰により気液界面付近に豊富に存在するメタンからであるという仮定がおおむね正しかったと考えられる。

マイクロクラックの進展からみた花崗岩 の疲労破壊過程

近年注目されている地下空間利用として、圧縮空気貯蔵システムや超伝導磁気エネルギー貯蔵といったエネルギー関連施設があるが、このような施設では発生する繰り返し荷重を周辺の岩盤で負担することになる。そのため、これらの構造物に供される地下空洞の安定性評価のために、長期繰り返し荷重に対する岩盤の疲労特性の解明が重要となる。そのため、本研究ではこのような地下空間利用の対象となる岩石の中で有力な候補となっている花崗岩について、疲労過程の各段階でのクラックの進展状況を調べるため、荷重制御(0.5~140 MPa の三角波、周波数 0.1 Hz)で繰り返し載荷試験を行い、蛍光法による観察と画像解析を行った。

その結果、ひずみの増加率が減少する段階 I では、粒界、石英粒子内、長石粒子内でクラックが進展することがわかった。また、ひずみの増加率が一定の段階 II では、石英粒子内でクラックの顕著な増加はなく、長石粒子内では載荷方向に平行なクラックが増加することがわかった。さらに、ひずみが加速度的に増大する段階 II では、石英粒子内、長石粒子内でともにクラックの増加がみられた。長石粒子内では載荷方向に平行なクラックが顕著であったが、石英粒子内のクラックには顕著な方向性はみられなかった。また、段階 II では観察されない複数の粒子にまたがった長いクラックが多数観察された。この長いクラックがさらに成長することで段階 II に特徴的なひずみ量の加速度的な増大が起こり、最終的な破壊に至ると考えられる。

また、疲労試験と同じ載荷速度で行った単調一軸圧縮 試験の結果との比較から、段階Ⅱ後半、段階Ⅲの試料に 顕著にみられる長石粒子内の載荷方向に平行なクラック は、疲労試験でより顕著であることがわかった。

教 授 馬渕 守 准教授 浜 孝之 助 教 陳 友晴

資源エネルギー学講座 資源エネルギープロセス学分野

マグネシウム合金板の除荷時非弾性挙動

マグネシウム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、軽量化材料として期待 されている、Mg 合金は最密六方構造を有していること から、これまでの構造用金属とは変形特性が大きく異な る. その特徴的な変形特性の1つとして、除荷時の大き な非弾性挙動が挙げられる. スプリングバック量は除荷 時の弾性回復量によって決まるため、その解明が重要で ある. そこで本研究では、Mg 合金圧延板 (AZ31B) の 各種負荷経路下での除荷時非弾性挙動を実験により調査 した. 実験では、マグネシウム合金板の圧延方向に単純 引張/圧縮変形、引張変形後の圧縮変形、そして圧縮変 形後の引張変形の4つの負荷経路下における応力-ひず み関係および変形双晶の活動推移を調査した. その結 果、変形双晶があまり活動しない条件に比べて変形双晶 が大きく活動する条件の方が、除荷時非弾性ひずみが大 きいことが明らかとなり、変形双晶の活動度と除荷時非 弾性挙動には大きな相関があることが示唆された.

(越智 啓介, 現:新日本製鐵㈱)

管内上昇脈動流中の粒子挙動

液中に設置した垂直管に気体を吹き込み、その浮力に より揚液するエアリフトポンプは、小径固体粒子の輸送 にも適用されている。 粒子輸送用エアリフトポンプでは 気体注入点より下方は粒子と液体が流れる固液二相流領 域であり、上方は気体相を含む固気液三相流である。液 相速度は固液二相流領域では小さく, 固気液三相流領域 で加速される. 固体粒子は液相から抗力を受けて輸送さ れるため, 粒子輸送量は液相速度の小さい固液二相流領 域の流れ特性により決定される.しかし、管内流動は非 定常であるため粒子の輸送現象は非常に複雑で、充分な 知見が得られていない. 本研究では, 垂直管内を上昇す る脈動流中の粒子挙動を観察実験により研究した. 脈動 周波数、変動流量など脈動パターンを広範囲で変化さ せ, 粒子の3次元非定常粒子挙動を Stereo-video-photography で観察した. その結果, 粒子の輸送特性は脈 動パターンに大きく影響を受けることが明らかになっ た. さらに、粒子挙動を追跡する1次元非定常数値解析 と管内流動を予測する2次元軸対称数値解析を実施し、 脈動パターンが粒子輸送特性に影響を及ぼすメカニズム を明らかにした.

(久保 雅寛, 現:新日本製鐵㈱)

液膜衝突噴流の熱伝達特性予測

加熱平板に衝突する液膜噴流の熱伝達特性はこれまで

実験により研究されており、衝突点近傍の熱伝達係数を 与える幾つかの理論式や経験式が提案されている。しか しながら、それらの式は適用範囲が限られており、予測 精度も高くはない. とくに、衝突点から離れた点で予測 精度が大きく低下する. この理由としては、予測式導出 過程において詳細な流れ構造を解明するかわりに

。過度 に理想化した流れ場のモデルを導入していることが挙げ られる. したがって、 執伝達特性の予測精度の向上に は、流動と熱伝達特性を連成した数値解析が不可欠であ ると考える. 本研究では, 流体の連続方程式, 運動量方 程式、エネルギー方程式と加熱固体内部の熱伝導方程式 を連成して解析するコンピュータプログラムを作成し た. 解析領域内には水と空気の2種類の流体が存在する ので、その界面(自由表面)を追跡するために VOF (Volume-Of-Fluid) 法を適用した. さらに, 流体の 物性値の温度依存性、乱流や重力の影響、固液界面の熱 移動など考慮した. 数値解析結果は衝突点近傍のみなら ず、平板流領域においても実験データと良い一致を示 し, 高い予測精度が得られた.

(佐藤 雄介, 現:三菱重工業(株))

高品質電縫鋼管のロール成形プロセスの開発

近年油井管・ラインパイプの分野では地震等による突 発的な破壊を防ぐため高変形能な電縫鋼管が求められて いる. 高変形能であるためには造管中の材料の加工硬化 を抑える必要がある、本研究では汎用ソフト Marc に よる有限要素解析を行い、これを実現できる新たな造管 法の可能性を検討し提案した。本研究では最初のロール 2段に注目して、従来のロールと凹型ロールの板幅中央 部を取り除いたロール (新型ロール) の2種類を用いて 計算を行った、その結果、成形された板の曲率はエッジ 部付近を除いて両ロールでほぼ同程度であった。 一方で 加工硬化の指標である相当塑性ひずみを調べたところ、 従来ロールに比べて新型ロールを用いた方が板幅中央部 の相当塑性ひずみが小さく, またその減少量は取り除い た幅が広いほど大きかった. この違いは、凹型ロールの 板幅中央部を取り除くことで通板方向に生じる曲げ変形 が軽減されたためと考えられる。以上より、新型ロール を用いることで造管中の相当塑性ひずみが低い, すなわ ち材料の加工硬化を抑えた高変形能な電縫鋼管を成形で きる可能性が示された.

(西田 一喜, 現:三菱商事(株))

教 授 宅田 裕彦 准教授 藤本 仁 助 教 袴田 昌高

資源エネルギー学講座 ミネラルプロセンシング分野

メタンハイドレートの結晶放置時間による生成時間への変化

石油に代わるエネルギー資源としてメタンハイドレ ートが注目されている. 日本近海の深海底にもメタ ンハイドレートの存在が確認されており、2016年以 降の商業生産に向けて研究・開発が進められてい る. しかしながら、商業ベースで実用化するには技 術的課題も多く, そのため基本物性の詳細な研究が 必要とされている. そこで本研究では、結晶放置時 間による生成時間の変化を考察した。その結果、ガ スハイドレートにおいては、生成と分解を繰り返す とハイドレート生成のたびに要する過冷却度が小さ くなることが知られている. このような現象をメモ リー効果といい, ハイドレートが分解された後その 残留構造が水の中に残り、再生成の核となるため生 成しやすくなるのではないかと考えられている. 各 結晶放置時間において, 再生成の生成時間と生成頻 度と比較したところ, 結晶放置時間が長くなるにつ れ生成時間が短くなる傾向が見られた. これは結晶 放置時間が長くなるとハイドレート膜が厚くなり, 生成量が多くなったためではないかと推測された. すなわち,ハイドレートの残留構造が水中に多く残 され, 生成時間が短くなったと推測された.

ガスハイドレート技術のバイオガスへの応用

メタン発酵によって得られるバイオガスをエネルギー源として効率的に利用するには、バイオガスに含まれる CH_4 とそれ以外のガス(CO_2 , H_2S など)を分離する必要がある。本研究では、ガスハイドレートの特性を生かしたバイオガス分離の可能性を検討するため、 CH_4/CO_2 および CO_2/H_2S 混合ガスハイドレートの生成・分解挙動について観察及び考察を行った。その結果、 CH_4/CO_2 では2種のガスを内包する混合ガスハイドレートが生成し、 CO_2/H_2S ではより安定な H_2S ハイドレートのみが生成したことが、分解条件の測定より推測された。今後はさらに $CH_4/CO_2/H_2S$ の 3 種混合ガスについても実験及び考察を行い、その生成・分解機構を詳細に解明することで、ガスハイドレート技術による混合バス分離の可能性を検討する。

高温メタン発酵における NaCl の影響

近年, 化石燃料の枯渇や地球温暖化が問題となり, バイオマスエネルギーへの期待が高まっている。その中でもメタン発酵は, 食品廃棄物などの有機廃棄物を嫌気状

態で発酵させて処理し、エネルギー源として有用なバイ オガスを発生させる生物学的プロセスとして注目されて いる. 本研究では、食品廃棄物に高温メタン発酵を適用 した場合の安定性評価の基礎データとして、高温メタン 発酵における NaCl 濃度の影響を調べた、その結果、 9日間のメタンガス発生量は、高温メタン発酵の方が中 温メタン発酵より 1.7~4.5 倍程大きいことがわかった. また、投入 NaCl 濃度が 1g/l では高温・中温メタン発 酵のいずれも NaCl 無添加よりメタンガス発生量は増 加した. 本実験で用いた発酵液では NaCl 投入前の Na⁺濃度が 240 ppm 程度と低かったため基質反応が弱 く、NaCl 投入後、低 NaCl 濃度では浸透圧変化による ダメージ以上に発酵促進の効果が強く出たと考えられ る. また、高 NaCl 濃度では投入 NaCl 濃度が増加す るほどメタンガス発生量が減少した。とくに高温メタン 発酵では投入 NaCl 濃度が 30 g/l, 60 g/l の場合は NaCl 無添加と比べメタンガス発生量がそれぞれ79%、 93%と大きく減少し、中温メタン発酵より NaCl 投入 による発酵阻害の影響が大きかった. これは高 NaCl 濃度で浸透圧変化によるダメージに加え、pH が低下し ていたことが原因ではないかと推測される.酸を中和す る能力をあらわすアルカリ度が投入 NaCl 濃度 30 g/l, 60 g/l で小さいため、メタン発酵過程の中間体である揮 発性有機酸が蓄積したと考えられる.

パルスジェット乾燥による微粒子製造

近年、パルスジェット乾燥法が瞬間乾燥や低温乾燥、 高熱効率という様々な特徴を備えており、従来技術では 困難であった微粒子あるいは粉末を製造できる技術とし て注目を浴びている. パルスジェットを用いると音響等 の効果もあり、従来法のスプレードライには無い効果が 期待されている. しかしながら、パルスジェット乾燥法 には未知な所が多く, 微粒子製造法としての工学的な研 究が十分でないのが現状である. そこで当研究室では, パルスジェット乾燥法による微粒子製造において粒度分 布制御についての工学的な研究に着手した. 本年度は, 陰イオン性界面活性剤の添加による界面過剰量の増加が 粒度分布に大きな影響を及ぼすといった結果をもとに, 陽イオン性界面活性剤であるアルキルアミン系の添加が 粒度分布へ与える影響を検討した. その結果, 溶液に界 面活性剤を添加した場合, 界面物性, 特に界面過剰量の 増大が微粒子粒径と分布に密接に関与していることを明 らかにした. また, この界面活性剤の炭素数の影響につ いて検討し、用いる界面活性剤の炭素数の長さが増加し ても上述の傾向が認められることを確かめた.

准教授 楠田 啓助 教 日下 英史

材料設計工学講座材料設計工学分野

金属ナノ物質の創成

溶媒中の金属イオンの還元反応に伴うカソード電流 と、還元剤の酸化反応に伴うアノード電流が釣り合った 「混成電位 |と呼ばれる電極電位のその場測定を行い、こ れらの電極電位変化を熱力学的に計算される電位-pH 図(相図)と比較することで、液相還元反応で形成され る生成物を予測できることを発見し、さらに、この測定 で用いる電極を、石英のマイクロバランス (QCM: Quartz Micro-balance)を組み込んだ電極に置き換え ることで、混成電位のその場測定と、金属ナノ粒子の析 出速度を同時計測できることも発見した. これらの研究 の結果、目的とするナノ粒子の結晶相やナノ粒子の析出 反応速度や還元反応の終端が予測できるようになった. この手法を用いて、3d 遷移金属(Ni, Co, Ni-Co, Fe-Ni) のナノ粒子作成に成功した、また、これらのナノ 粒子を均一な磁場中で作製することで、これまでに報告 がないアスペクト比が 100 以上を示す直径約 100 nm の 金属ナノファイバーの作製に成功した. 今後, 金属ナノ 粒子から金属ナノファイバーそして金属ナノフィルター へと研究を進め、金属ナノ物質の創成とその応用研究を 展開する.

リチウムイオン蓄電池反応下での活物質 構造変化のその場観察と蓄電池特性

リチウムイオン蓄電池反応に伴い、リチウムイオンが正極と負極の活物質中に出入りを繰り返し、活物質の構造な化する。この蓄電池反応下での構造変化の詳細を、X線回折を用いて調べる研究に取り組んでいる。リチウムイオンが出入りする速度を様々に変化させ、そのときに起こる活物質中の構造の時間変化を追跡し、リチウムイオンの導入による構造緩和や相変態の時間を実験的に決定し、充放電速度やサイクル特性の劣化の原因を明らかにしようとしている。実験室では集光光学系を装備した強力 X線回折装置を用いて、蓄電池中の活物質の平均構造の時間変化の測定を行い、SPring-8ではより短時間での構造変化が進行する活物質と溶媒界面近傍の構造の時間変化の測定を行っている。

プラズマ陽極酸化による軽量高強度マグ ネシウム合金材料の表面改質

資源的に豊富なアルニミウム、カルシウム、ミッシュ メタル(セリウム族希土類元素の混合物)などを添加元 素とする新合金の組織設計技術とプラズマ陽極酸化など の表面処理技術の組合せによる耐熱特性、耐食性の大幅 向上に基づき、ダイキャスト加工技術を用いたニアシェ イプ成型によるマグネシウム部材コストの大幅な削減 と、 希土類などの資源リスクの軽減と、 良好なリサイク ル性の確保を実現するための研究を, 京都大学工学研究 科特命教授久保田耕平らと共同して行っている. 我々は とくに、プラズマ陽極酸化によって形成される酸化被膜 の構造と耐食性の関係について研究を進めている。これ までに、表面に形成される陽極酸化膜構造にはサブミク ロン厚さの内層とその上に成長した外層があり、内層の 耐食性向上が特に重要であることが分かってきた。現 在、これら内層の構造や形態と前処理の関係について研 究を進めている.

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

理化学研究所播磨研究所に近く完成するX線自由電 子レーザー (X-ray free electron laser: XFEL) は, 極めて高い強度、完全コヒーレンス、10兆分の1秒 (100フェムト秒)の超短パルスという特徴がある. 我々は、この XFEL を用いた超高速イメージング技術 の開発を目指して, 既に稼働している極紫外自由電子レ ーザー (EUVFEL) を使って、理化学研究所播磨研究 所や北海道大学と共同してイメージング技術の開発に取 り組んでいる. EUVFEL から得られるパルス幅は, XFEL とほぼ同じ約100フェムト秒の時間幅を持って いる. そのため1つのパルスを用いて十分な精度のホロ グラムを得ることができれば、フェムト秒の時間分解能 で物質の構造変化を、フーリエ逆変換を用いて実像とし て連続的に捉えることができるようになり、これまでに ない新しい物質のダイナミクスを観測できる実験手法が 実現する. 我々はこの手法のランダム系物質の構造緩和 への応用を考え研究を展開している.

教 授 松原英一郎 准教授 市坪 哲 助 教 八木 俊介

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、りん化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

燃料電池は、化学エネルギーを効率よく、電気エネル ギーに変換でき、特に、固体電解質を用いたタイプの燃 料電池は、小型化、高集積化が容易であり、その将来性 が有望視されている. 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水素利用率の向上 が期待できる. また, 同一の装置を用いて水の分解を行 えば、純度の高い水素を直接製造可能である. 本研究で は、アクセプタードープにより加湿雰囲気でプロトン伝 導性を有するバリウムジルコネートについて研究を行っ ている. これまでの研究により, 応用が期待される中温 域において、ドーパント種ならびに組織と伝導性の相関 を明らかにし、最高の伝導度を持ち、かつ CO。ガスに 対しても安定な試料を再現性よく合成できる手法を確立 している。さらに、電極についても酸を用いたポーラス 化による触媒性能の向上など独自の研究を展開してい る. 電解質、電極の基盤研究を遂行するとともに、これ らの研究をベースに、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℃)でプロトン伝導を示し、化学的に安定なランタンリン酸塩に着目して研究を進めている。プロトン伝導率の向上のためには、ドーパント濃度の増大が一つのアプローチである。これまでの固相反応法による合成ではドープ率は2%程度が限界であったが、リン酸溶液から析出させる新たな合成法により、ドープ率を10倍程度にまで飛躍的に増大させることに成功した。また、1 mm 程度の大きさの単結晶を得ることにも成功しており、これを用いた伝導度測定を試み、伝導パスの特定を行っている。今後は、さらなるドープ率向上を目指すとともに、結晶粒の粗大化、結晶配向性の制御など様々なアプローチにより、プロトン伝導率の向上に取り組む。

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, 海水中などで半永久的な抜群の耐食性を示すが、 高純度のチタ

ンを得るための製錬に手間とコストがかかり、その用途は限られている。チタンの溶融塩電解は、鋼板上へのチタンのめっき法や、チタンの新製錬法の要素技術として期待されている。これまでの研究では、チタンが珊瑚状に析出しすることが問題であり、実用化のためには、電析形態の制御がキーテクノロジーである。そこで本研究では、パルス電解や回転電極を用いて、チタンの平滑電析にチャレンジしている。また、溶融塩中のチタンイオンの平均価数の濃度依存性および錯形成挙動について、滴定法などの化学分析と分光法により調べている。両者を組み合わせることにより、電析メカニズムの解明に繋げていく。

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は、材料の多様化が求められている。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、規則不規則変態により、そのバンドギャップが $1.66\,\mathrm{eV}$ から $1.25\,\mathrm{eV}$ まで変化することが報告されている。これは、 $ZnSnP_2$ のバンドギャップを太陽電池の理想的な値である $1.4\,\mathrm{eV}$ 程度に制御できる可能性を示唆している。本研究では、これまでに作成されていない Zn-Sn-P 三元系状態図を実験的に作成し、バンドギャップを制御した結晶の作製を試みている。また、固溶体を利用した広範囲なバンドギャップの制御についても状態図の観点から検討している。

薄膜材料の作製プロセスの開発

通常,リン化物半導体薄膜を作製する場合,室温で気体であるホスフィンなどを用いるが,毒性が強く,取り扱いに注意を要する。一方,室温で安定な固体の赤リンを供給源に用いれば問題を解決できそうであるが,赤リンは分圧の制御が困難であることが知られており,供給源としては適切ではない。そこで本研究では,金属とそのリン化物の熱力学的平衡を用いることにより,リン化物気の分圧を制御し,亜鉛のリン化物半導体である Zn_3P_2 の成膜を試みている。これまでの研究により,リン化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分圧を得られることがわかった。また,これを用いて亜鉛をリン化することにより Zn_3P_2 を得ており,今後,結晶性の向上を目指すとともに他の材料への展開も考えている。

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)

デジタル録音による X 線計測

これまでの検出器では、検出器のアナログ信号を波形整形アンプとマルチチャネルアナライザ、或いは A/D コンバータとデジタルシグナルプロセッサを用いて X線のスペクトルを得た上でコンピュータに取り込んでいた. しかしながら、デジタル録音端子は高分解能 A/D コンバータを内蔵しており検出器のアナログ信号を直接デジタルデータとして取り込む事ができると考えた. そこで、取り込んだデータの処理ソフトウェアを作成し X線検出器の出力を録音する事で X線の測定を行った.

検出器はカドミウムテルライドの半導体検出器とチャージアンプを用いた。サーベイメータ校正用のラジウム線源からの X 線を測定したところラドンの Ka, $K\beta$ 線が観測された。分析用の回路を一般的なコンピュータのマイク入力端子とソフトウェアで置き換えることで非常に簡単に X 線の検出が行えることが示された(図 1).

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 法では初めに格子の形を与え、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. これに対し申請者は、仮想格子という概念を 新たに導入することで、異なる結晶構造を同時に取り扱 える新しい CE 法の開発に成功した(可変格子クラス ター展開法:VLCE法). VLCE法ではある基準となる 格子上の各格子点を占有する原子種を指定するスピン変 数と、基準の格子からの格子点の変位を指定する仮想格 子上のスピン変数を用い, ハミルトニアンが結晶構造に 依存しないという大きな利点を有する. VLCE 法を第 一原理計算と組み合わせることで、複数の結晶構造に対 する合金やセラミックスの相安定性を定量的かつ網羅的 に予測することが可能になる.

【国村伸祐氏が 2009 堀場雅夫賞特別賞受賞】

当研究室 P.D. の国村伸祐君(現 理化学研究所基礎科学特別研究員)が 2009 堀場雅夫賞特別賞を受賞しました(図 2).

教 授 河合 潤助 教 弓削 是貴技術専門職員 林 豊秀

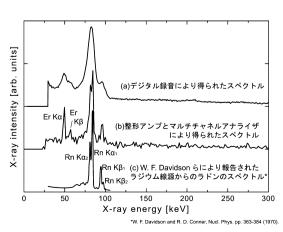


図1 デジタル録音により得られたスペクトル



図2 国村伸祐氏が2009 堀場雅夫賞特別賞を受賞

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、しかも非破壊で検出すること可能である。本研究室では、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。その結果、これまでの計測手法では見えなかった新しい要素が見えてきた。ここでは、その一例として、フェライト鋼耐熱クリープ試験材の結果について述べる。極初期のクリープ時間から破断時間に至るまで、各クリープ時間において、陽電子寿命測定を行った。

- ・平均陽電子寿命値のクリープ時間変化とひずみ速度 のクリープ時間変化は非常によく対応している。しか も、陽電子消滅は、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。クリープ 損傷の早期検出が可能であることを示している。
- ・平均陽電子寿命値とクリープ破断時間に非常によい 相関があり、平均陽電子寿命値が高いほど、クリーブ破 断時間も長いことがわかった。また、先に述べたように 平均陽電子寿命のクリーブ時間変化とひずみ速度のクリ ープ時間変化にも非常によい相関があることから、早期 での高精度余寿命評価診断への可能性があることを示し ている。

この例に示すように、陽電子寿命測定はクリープ損傷 評価に非常に有効であり、今後、クリーブ損傷機構の解 明と新しいクリープ強度予測パラメータを提示すること に活用していく.

4H-SiC 用 Ni/Al オーミック電極が低接 触抵抗となる機構の解明

SiC はバンドギャップが大きいため、ある組成比を有する Ni/Al 電極を用いると SiC 半導体の両伝導帯に同

時にオーム性を示すコンタクト材が得られる。コンタクト材と SiC 半導体との界面で電流輸送を担っているのは Ni₂Si(Al) であり,両伝導帯に同時にオーム性を示すには,低 Al 濃度と高 Al 濃度の Ni₂Si(Al) が混在した組織を形成することが重要とこれまで明らかにしてきた.低 Al 濃度の Ni₂Si(Al) はn型に,高 Al 濃度は p型にオーム性を示すが,Ni₂Si(Al) の Al 濃度が変化するとオーム性を示すが,Ni₂Si(Al) の 和 濃度が変化する機構は明らかでない.そこで本研究では,Ni₂Si(Al) の電気的特性の Al 濃度依存性を明らかにし,Ni₂Si(Al) が両伝導型 SiC にオーム性を示す伝導機構を解明することを目的とした.

Ni₂Si の抵抗率は約 6 K で約 10 μ Ωcm と低く, 温度 増加に伴い単調に増加した.一方,ホール係数は温度増 加に伴い室温付近まで増加した後単調に減少し、全温度 範囲で正の値を示した.従って、Ni。Si は単純な金属と は異なり、電子とホールをキャリアとする半金属と考え られる. Al 濃度増加に伴い Ni₂Si(Al) の抵抗率は増加 し、ホール係数は減少した. それぞれの温度依存性は同 様で、7.8 at.%Al ではホール係数は低温で負の値を示し た. 従って、Ni_oSi の Si を Al で置換していっても金属 から半導体のようなバンド構造の変化はなく、主キャリ アがホールから電子に変化していると考えられる。従っ て、Al 濃度変化によるオーム性を示す伝導型の変化 を, 主キャリアの変化で説明するのは難しい. (0001)SiC 基板上に形成した Ni₂Si(Al) は主に (013) 面に 配向しており、Ni_oSi(Al) の全方位平均の状態密度計算 などをみると、Ni_oSi(Al) のこの面におけるバンド構造 と、AI 濃度変化によるフェルミ順位の変化が伝導型の 変化と密接に関係している可能性が高い.

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 (2010年4月着任)

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) Cu(111) 炭素吸着表面の STM 観察

昨年に引き続き、貴金属上での炭素原子の挙動を調べる研究を続けている。従来、グラフェンやカーボンナノチューブ(CNT)の生成には Ni や Co といった金属が使用されてきた。これらは比較的炭素と強い結合を作る金属である。ところが、最近 Au、Ag、Cu といった炭素と強い結合を作らない金属においても CNT やグラフェンが生成することが見出された。特に Cu(111) はグラフェンとの格子の整合が良いことから注目を浴びており、最近この表面での炭素原子の振る舞いの詳細に関する理論的な研究が報告されるようになってきたが、また実験の報告例は少ない。

実験の結果、炭素蒸着時の基板の温度を上昇させていくと500K程度の比較的低い温度で室温とは異なる構造が形成されるようになることが分かった。現在それぞれの構造の持つ電子状態の計測を行っており、理論計算の結果との比較等により、この表面での炭素原子による構造形成の詳細を明らかにする予定である。

(2) SOI 基板を用いたナノギャップ作成の試み

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製を試みている。分子を架橋させた状態のナノギャップの観察に 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。しかしながら SPM 観察のためには基本的に原子レベルに近い平坦な表面が必要である。このようなことから本研究では SOI(silicon on Insulator)基板を用いて、ナノギャップを作成することを試みている。シリコンを使用することで、比較的簡単に原子レベルの近い平坦な表面を得ることができる。

研究の結果、SOI 基板端面に極薄く Ge 蒸着を行うことで、SOI 基板の BOX 層-Si 層界面上にナノギャップが形成されることを見出した。このギャップ部の形状の凹凸は 1 nm 内外、電圧降下の生じている範囲は 2 nm 程度で、これは大きめの分子であればギャップ部に架橋した状態で SPM 観察が可能なサイズである。しかしながら、現在のところなぜこのようなギャップが形成されるのか不明な点が残されている。今後はギャップ形成のメカニズム解明とともに実際にナノギャップに分子を架橋させた状態での SPM 観察を行う予定である。

原子・分子サイズ接点の研究

(1) 単原子接点の電圧パルス透過

金属単原子接点は原子・分子デバイスの配線・接点材

料として注目されているが、デバイス応用に必須となる 接点の高周波特性については、ほとんど研究が行なわれ ていない、今回我々は銅の単原子接点に RF 電圧パルス を入射してその透過波形を観測する実験を行なった. 接 点には極細同軸ケーブルの銅単芯線を利用する. 最初に 破断接点法を用いて単原子接点を作製・保持し、そこに 短形電圧パルスを印加して透過波形をオシロスコープで 観察する.パルス高さは 100 mV.パルス幅は 50-500 ns である. 透過波形は積分回路を透過した波形 でよく近似することができ、積分の時定数は銅単原子接 点の直流コンダクタンスと浮遊容量とによってほぼ説明 される. この結果は、RF 領域では銅単原子接点は純抵 抗として振舞うことを示している. 実際、接点を抵抗素 子に置き換えた時に観測される透過波形は銅単原子接点 の透過波形と良く一致しており、このことも今回の結論 を裏付けている. 銅単原子接点の量子容量から理論的に 予想されるリアクタンス成分は RF 領域では無視できる 程度に小さく、今回の実験結果は理論予想とも整合して いる.

(2) 各種金属原子サイズ接点の研究

HCP 金属の原子サイズ接点に関する従来の実験結果は、通常の金属の塑性変形の温度依存性とは逆に、極低温では接点が単原子接点にまで変形するのに対して室温では単原子接点がほとんど形成されないことを示唆している。この単原子接点形成の特異な温度依存性が HCP金属に固有のものであるかどうかを調べるために、今回Hfの単原子形成を室温と 4Kとで調べる実験を行なった。その結果やはり室温では単原子接点の形成は起こらず、4Kでは単原子接点が観測された。ただし測定回数がまだ少なく、追加実験が必要となっている。

FCC 金属では In 原子サイズ接点のコンダクタンス 測定を行い、単原子形成過程が室温でも繰り返し再現されると言う特異な現象が見出されている。またリレーを 用いた液体金属接点の研究では、液体ブリッジが破断する際のコンダクタンスを高速でモニターし、破断過程の スケール則に関する有用な知見を得ている.

(3) 分子架橋の研究

単分子スピンバルブの実現を目指して、Ni/BDT/Ni 接合の磁気抵抗測定を 4K で行なっている。高磁場下でコンダクタンスヒストグラムの測定を行い、単分子ピークの磁場によるシフトを観測する。これまでに予備的なデータがいくつか得られている。またナノ支援の装置群を利用して Si の微細加工による高安定 MCBJ 試料の作製を行なっており、試作品が得られつつある。

教授 酒井 明准教授 黒川 修

材料物性学講座 量子材料学分野

Ga₂O₃の相安定性への添加元素効果の理論 的検討

 Ga_2O_3 は透明導電体などへの応用が期待されている物質であり、 α 、 β 、 γ 、 δ 、 ϵ 05つの多形を持つことが知られている。室温大気圧下での安定相は β 相であり、純物質で他の構造が合成されることは稀である。しかし、適切な元素の添加によって他の構造が容易に合成される場合があり、これにより材料探索の幅が広がる可能性がある。本研究では、 Ga_2O_3 の相安定性への添加元素効果について、第一原理計算により検討することを目的とした。

 Ga_2O_3 - Al_2O_3 系の β 構造および ε 構造では、4配位サイトに入る Ga の割合が大きいほど形成エネルギーが低くなる傾向が見られた。 Ga_2O_3 - In_2O_3 系においても Ga は 4配位,In は 6 配位という同様の陽イオン配列と安定性の傾向が見られた。また $MgSiO_3$ に見られる high-clinoenstatite 型構造についても, β , ε 構造と同様の陽イオンのサイト選択性が見られた。このように,添加元素による多形の安定性の変化に,陽イオンのサイト選択性が大きく影響していることが示唆された。

Nb 系ペロブスカイト型リチウムイオン 伝導体の構造解析および物性評価

ペロブスカイト型酸化物 (Li, La) TiO_3 (LLT) は高い Li イオン伝導度を示すため、全固体リチウム二次電池 の電解質としての応用が期待されている。本研究では Li イオン伝導体の材料設計指針となる構造化学的な知 見を得るために,LLT の類縁化合物である $Li_{3x}La_{1/3.x}NbO_3$ (LLN) と $Li_{2.y}Sr_{1.y}La_yNb_2O_7$ (LSLN) を合成し,構造解析および電気伝導度測定を行った。

LLN については、室温では 3x = 0.10 の試料が最も電気伝導度が高く、Li 量が増加するほど活性化エネルギーが大きくなった。これは、Li 組成の増大により Li⁺ の拡散経路のボトルネックが小さくなるためと推測される。LSLN については、室温における電気伝導度は y = 0.30 において最も高く、これは非占有の Li サイト量が最も多いためと考えられる。また、LLN では電気伝導度の組成依存性が 2 次的で極大値を示すのに対し、LSLN では単調増加であることがわかった。LLN の骨格構造は Li⁺ の有無にあまり影響を受けないのに対し、LSLN の Li⁺ はその層状構造の各層を結ぶ役割をしており、周りの O^2 に強く束縛されている。そのためLSLN は LLN に比べて高い活性化エネルギーを持ち、電気伝導度も低くなると考えられる。

ゼオライトの結晶構造と陽イオン交換に 関する理論計算

ゼオライトはイオン交換材料、分離膜、触媒などへの

応用が期待されるアルミノケイ酸塩であり、そのケージ 構造の大きさや形状、さらには内包される陽イオン種を 制御することで、イオン交換能や分子吸着能が変化する ことが知られている。本研究では、ゼオライトにおける 陽イオン交換能と構造との関係を明らかにするため、第 一原理計算によるイオン交換エネルギーの評価を行っ た

Na-ZK-4型のゼオライト (Na₉Al₉Si₁₅O₄₈) について検討した結果、8員環面上の Na⁺交換時は、イオン半径の増大につれイオン交換エネルギーが低下するが、6員環面上の Na⁺交換時はイオン交換エネルギーの変化は小さいことがわかった。この傾向は、ゼオライト骨格形状・サイズとイオン半径の関係から理解できた。更にゼオライトと親和性の高い水によるイオン交換能への影響を調べた。8員環の交換サイトではイオン半径の小さなLi⁺と Ag⁺について、 H_2O の存在によりイオン交換エネルギーの低下が見られ、大きな置換イオンについてはイオン交換エネルギーが増加した。この変化は H_2O の存在に伴う置換イオンの配位構造のひずみと関係していることが分かった。この結果から、骨格構造に対する H_2O 分子および置換イオンのサイズ効果がイオン交換能を決定する重要因子となっているものと考えられる.

第一原理計算による層状チタン酸化物の 構造探索と層間結合

 ${
m TiO_2}$ を高濃度の NaOH 水溶液中で水熱処理することで、チタネートナノチューブが合成できることが知られている。そのメカニズムとしては、まず中間体として層状チタン酸化物が形成され、そこから剥離した ${
m Ti-O}$ 層のナノシートがスクロールすることでチューブを形成すると考えられている。中間体の一例として、 ${
m Na_2Ti_3O_7}$ が挙げられる。その ${
m Ti_3O_7}$ 層間には ${
m Na^+}$ と ${
m H^+}$ が存在し、 ${
m Ti_3O_7}$ 層の剥離過程に影響すると考えられる。そこで本研究では、第一原理計算を用いてイオン交換された ${
m Na_2Ti_3O_7}$ の安定相を調べた。

 $Na_{2,x}H_xTi_3O_7$ の生成エネルギーの水溶液 pH 依存性を評価した結果,広い pH 領域に亘って層間の Na^+ が半分以上 H^+ に置換した構造が安定となった。また各安定構造を比較すると, H^+ の置換量 $x \ge 1$ において Ti_3O_7 層の積層構造が $Na_2Ti_3O_7$ のそれと異なり,置換した H^+ が水素結合により Ti_3O_7 層同士を結合する構造に変わることが分かった。 Ti_3O_7 層間結合の強さを調べるため Ti_3O_7 層の剥離エネルギーを計算したところ, H^+ の置換量の増加に伴って層間結合は弱くなる傾向になることが分かった。したがって, Ti_3O_7 層間への H^+ によるイオン交換とそれに伴う層間結合の低下が,中間体からの Ti_3O_7 層シート生成に重要であるといえる.

教 授 田中 功准教授 松永 克志准教授 大場 史康

材料物性学講座 結晶物性工学分野

Co 基超合金の高温強度特性に及ぼす添加元素の影響

近年 Co-Al-W 三元系で,fcc 構造の Co 固溶体相を母相として $L1_2$ 構造の $Co_3(Al, W)$ 相が整合析出した Ni 基超合金と同様の Cuboidal 組織が形成されることが発見され,Co 基超合金は新規耐熱材料の候補として注目を集めている。本研究では Co 基超合金を実用化する上で必要な相平衡,強度などの知見を得ることを目的とした.

Brag-Williams モデルによる熱力学計算および実験によって添加元素が Cuboidal 組織に及ぼす影響を調べ、Co 基超合金の Cuboidal 組織の γ '相固溶温度の向上に有効な添加元素を探索した。その結果 γ '相生成元素として Ta、Nbが、 γ 相生成元素として Mo、Crが有効な添加元素であることが分かった。本研究で明らかになった各添加元素の影響を基に合金設計を行ったところ、Cuboidal 組織を保ったまま γ '相固溶温度を三元系の1000 $^{\circ}$ から1178 $^{\circ}$ と約180 $^{\circ}$ 上昇させることに成功した。さらに高温クリープ特性を評価した結果、Co 基超合金は初期の Ni 基超合金と同程度の高温クリープ強度を示すことが分かった。また正の格子 misfit を持つことから、Ni 基超合金と異なり、引張軸に平行な板状のラフト構造を形成することが明らかとなった。

外形拘束下における TiAl PST 結晶の変形機構

TiAl/Ti₃Al 二相層状組織を有する TiAl 基合金は、新規軽量耐熱構造材料として一部実用化されているが、更なる高性能化のためには層状組織の本質的な変形機構の理解が不可欠である。そこで層状組織を一方向に制御した TiAl PST 結晶の平面歪圧縮試験を行い、Taylor モデルによる解析および透過電子顕微鏡観察による変形モードの同定を行うことにより、外形拘束下における TiAl/Ti₃Al 二相層状組織の塑性変形機構を解明することを目的として研究を行った.

塑性変形初期段階においては、外形拘束の有無にかかわらず、各 TiAl ドメインはせん断ひずみ成分が緩和された緩和拘束の歪状態で変形するが、双晶関係にある TiAl ラメラの存在により、巨視的なせん断歪成分は相殺される. PST 結晶の非拘束一軸圧縮変形時に見られる異方的な外形変化を抑制するように外形拘束を加えて変形を行った場合、TiAl ドメイン内では非拘束変形の場合とは異なる組み合わせの変形モードの活動が観察されたが、それらは、緩和拘束状態を仮定した Taylor モデルによる解析から予測される変形モードと良い一致を示した. 以上の結果から、任意の歪状態における TiAl/Ti₃Al 二相層状組織の変形挙動は、緩和拘束状態を仮定した Taylor 解析により予測可能であることがわかった.

第三元素を添加した Mn₄Si₇チムニーラ ダー化合物の結晶構造と熱電特性

シリサイド系チムニーラダー化合物は、遷移金属元素 (M) より構成される M 副格子と Si 副格子が c 軸方 向に積み重なった結晶構造を有する. また, チムニーラ ダー化合物は金属原子あたりの価電子数 (VEC) がほ ぼ一定の値をとる電子化合物であるため、構成元素を価 電子数の異なる元素で置換することにより Si/M 比を変 化させることができ、それに伴うc軸方向の周期性の 変調と物性の変化が期待できる。本研究では、Mn,Si, 中の Mn を価電子が2つ多い Ir で置換した際の相平衡 を調査し、結晶構造変化と熱電特性の相関を明らかにす ることを目的とした. アーク溶解により作製した試料 Mn_{1.r}Ir_rSi_vの組織観察および組成分析を行った結果, Ir の固溶限はx=0.18であることがわかった。Ir 固溶量の 増加とともに Si/M 比 (y) は減少するが、VEC 値は理 想値よりも僅かに少なく、その偏差量は Ir 固溶量の増 加とともに増加した。一方向凝固するとc軸方向に優 先成長し,成長方向の輸送特性を測定した結果,ゼーベ ック係数は正の値を示し、電気抵抗率は Ir 固溶量の増 加とともに減少した. これは、理想 VEC 値からの偏差 量が増大し、キャリア濃度が増加したことに起因すると 考えられる. 無次元性能指数は x=0.1 の時に最大値 0.77(849 K) を示した.

FCC/L1₂2相耐熱超合金のクリープ組織 形態に与える整合歪と運動転位の効果

FCC/L1₂ 2相 Cuboidal 組織を有する Ni 基超合金は 耐酸化性や高温クリープ特性に優れ、ジェットエンジン やガスタービンのタービン翼の材料として用いられている。 熱効率向上のためにタービン翼材料の耐用温度向上が望まれており、Ni 基超合金の耐用温度に直結するクリープ変形機構の解明などが行われてきた. これまでに、クリープ変形初期にラフト構造と呼ばれるラメラ組織が形成することでクリープ変形が抑制されるが、次第にラメラ界面の波打ちが大きくなり変形が抑制できなくなることが知られている.

本研究では安定性の高いラフト組織を作る初期組織という観点からクリープ寿命に優れた Ni 基超合金の合金設計指針を得ることを目的とした。構成相の弾性率・体積率による析出粒子の形状の変化と弾性歪エネルギーの関係を計算によって求め、安定な粒子形状を決定した。また、Phase-field 法により 2 相組織の形成過程を模擬し、生成組織の粒子配列の整列度合いをフーリエスペクトル解析により定量評価した。その結果、弾性異方性が大きいほど、析出相の方が母相に対して弾性的に硬く析出相の体積率が大きいほど安定性の高いラフト構造が形成することが明らかになった。

教 授 乾 晴行 准教授 田中 克志 准教授 岸田 恭輔 助 教 岡本 範彦

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卒業生(4回生)5名が,下 記に示すような研究を行なった.平成22年4月に,柴田 助教が着任した.また,足立助教が本研究室で研究・教 育活動を行なうこととなった.

純アルミニウムの超強加工圧延集合組織

相当塑性ひずみ4~5以上の巨大ひずみ加工法を利用 した結晶粒微細化に関する研究が多くなされているが、 巨大ひずみ加工材の集合組織に関する知見は少ない. 本 研究では、圧延を利用した巨大ひずみ加工法の一つであ る ARB 法を用いて、純アルミニウムに最大で圧下率 99.997% に相当する加工を施し、その圧延集合組織を調 べた. 圧下率 99.6% に相当する ARB 8 サイクル (相当 ひずみ 6.4) までの加工では、従来報告されている圧延 集合組織の主方位である Copper 方位, S 方位および Brass 方位が観察された。一方、圧下率 99.9% に相当 する10サイクル (相当ひずみ8.0) 以上の超強加工を施 すと、従来報告されている FCC 金属の圧延集合組織か らのずれが明確に観察された. 超強加工材の集合組織の 主方位は、Taylor 方位と呼ばれる (4411)<11 11 8> 方位 であることが明らかとなった. Taylor 方位は, Taylor の塑性変形モデルから予測される方位であるため、 超強 加工後の材料の変形挙動が Taylor モデルに近いことが 示唆される.

超微細結晶粒 IF 鋼の二次加工特性と変 形組織の発達

平均結晶粒径 1 μm 以下の超微細粒材料は、従来材の 3~4倍に達する非常に高い強度を示すことから構造材 料への応用が期待されているが、引張延性に乏しい、ま た、超微細粒板材の実用化のためには、多軸応力下の変 形である二次加工の評価が不可欠であるが、超微細粒材 料の二次加工性に関する知見は少ない. 本研究では, 0.24 um~13 um の種々の平均結晶粒厚さを有する極低 炭素 IF 鋼を ARB 法と焼鈍により作製し、深絞り性お よび張出し性と結晶粒径の関係を調べた. r値(ランク フォード値) を測定した結果, r 値は結晶粒径が減少す るとともに低下し、二次加工性が低下した. 張出し性評 価のために行ったエリクセン試験の結果、平均粒径が減 少するにつれエリクセン値が低下し、張出し性が低下し た. しかしながら、平均結晶粒厚さが 1 μm 以下でもエ リクセン値は大きな値を保っており、一軸引張延性に乏 しい超微細粒材料であっても、張出し加工のような多軸 応力下では大きく変形し得ることが明らかとなった.

Ni における高集積 cube 方位多結晶体の 圧延変形と再結晶

FCC 金属・合金においては、しばしば Cube 方位 ((001)[100]) 再結晶集合組織が形成される. 最近、圧延材中に残存した微小 Cube 方位領域から Cube 方位再結晶集合組織が形成されることが示唆されているが、本来 Cube 方位は圧延に対して不安定な方位であり、なぜ圧延後に Cube 方位領域が残存するのか明らかとなっていない. また、Cube 方位を有する単結晶を圧延、再結晶させても、Cube 方位再結晶粒は生成しないという結果が報告されている. そこで本研究では、Cube 再

結晶集合組織の発達した純 Ni 多結晶体に種々の圧下率の圧延を施した試料を作製して、その組織観察を行い、Cube 方位残存に対する粒界の影響について検討した. Cube 方位多結晶体を圧延すると、圧下率の増大に伴って Cube 方位領域の面積割合は減少したが、圧下率90%まで圧延を行っても Cube 方位領域は明確に残存していた. Cube 方位残存領域をより詳細に観察すると、領域の一部が大角粒界に接した形で残存している傾向がみられ、Cube 方位領域の残存には粒界近傍における変形拘束が影響していることが示唆された.

中炭素鋼における超微細粒オーステナイトから生じる相変態生成物の組織形態

粒界は相変態に影響を及ぼすことから、従来の微細化 の限界である平均粒径 10 μm よりも微細な組織の母相 からの相変態においては、従来材とは異なる挙動が現れ ることが予測される、本研究では、微細粒母相からの相 変態挙動を明らかにすることを目的として、中炭素鋼を 用いて、繰り返し変態法により得られる平均結晶粒径 2.4 μm の微細粒 γ 相から相変態によって生じる変態組 織を調べた、微細粒 γ 相から生じるパーライト組織で は、セメンタイトのラメラ構造が不明瞭となり、粗大y 相(平均粒径 62 μm)から生成した通常のパーライト組 織と比べ、パーライトブロック中のコロニー数が減少し ていた. また、初析 α 粒間や初析 α とパーライト間の粒 界上にセメンタイト相の析出が観察された. 粗大粒 γ 相 (平均粒径 62 µm) から生成する通常のラスマルテンサ イト組織では、伸長した形状のブロックおよび多数のブ ロックが平行に連なって構成されたパケットが観察され た. 一方, 微細粒 y 相から得られたマルテンサイトで は、等軸状のブロックが観察された。以上の結果より、 母相の微細粒化により、典型的なパーライト組織やラス マルテンサイト組織とは異なる組織形態の相変態組織が 生成されることが明らかとなった.

超微細粒 A1 における引張変形挙動の光 学的全視野ひずみ測定法を用いた解析

多結晶金属材料の塑性変形において、結晶粒サイズ以 下の変形は本質的に不均一である。こうしたミクロな不 均一変形の積み重なりである引張試験片サイズのマクロ な変形にも,不均一性が内包されている可能性がある. そこで, 画像相関法を利用した光学的全視野ひずみ測定 法を用いて、引張試験片平行部全体の局所的なひずみ分 布を定量的に評価する測定システムを構築して、種々の 粒径分布を持つ工業用純 Al の引張試験片平行部におけ る局所ひずみ分布の解析を行なった. 種々の粒径分布を 有する純 Al の引張試験片平行部の局所ひずみを解析し たところ、組織の違いによる局所ひずみ分布の違いは見 られず、一般的に均一伸びと呼ばれるくびれ発生前まで の平行部の変形では,不均一変形を示唆する結果は得ら れなかった。また、リューダース変形およびマクロなく びれ変形などの試験片サイズで生じる不均一変形に対し て、構築した測定システムによる解析を行ったところ、 リューダース変形部と未変形部における局所ひずみ量の 相違や、くびれ部での局所ひずみ量を定量的に求めるこ とができた.

教 授 辻 伸泰 助 教 足立 大樹 助 教 寺田 大将 助 教 柴田 曉伸(2010年4月着任)

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「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。

高温酸化物超伝導テープの負荷ひずみ下での 臨界電流分布の解析モデリング

超伝導テープは作製・使用中に機械的・電磁気学的応力 を受け損傷すると、超伝導特性は低下する. 本年度は多 芯型の BSCCO 複合テープの曲げ変形下における変形 破壊と、臨界電流および超伝導から常伝導への遷移の鋭 さを表す n 値の分布について、実験・解析・モデリン グを行った. 臨界電流は損傷度が低い低曲げひずみ領域 では3パラメータワイブル分布に、損傷度が高い高曲げ ひずみ領域ではバイモーダルワイブル分布に従うことな どを明らかにした上で、損傷度合いと臨界電流の相関を 損傷ひずみパラメータと BSCCO が埋め込まれている コア部の形態を用いてモデル化した. このモデルによ り,実験結果を定量的に表現できた.また,損傷度が低 い領域では臨界電流分布が3パラメータワイブル分布に 従うのは、損傷ひずみパラメータが3パラメータワイブ ル分布に従うためであることを明らかにした. さらに, 短尺試料の臨界電流と n 値の統計分布から長尺試料の それらを予測するシミュレーション手法を開発し、この 手法で実験結果を再現できることを確認した.

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、Re(Y, Dy, Sm)BCO 超伝導層とその結晶制御のために複数層を膜状に金属基板上に形成させた多層化コーテッドコンダクターおよびフィラメントを多芯化して高熱伝導金属に埋め込みさらに高弾性金属を積層した多層フィラメントコンダクターについて、X線異常分散を利用した構成各層の力学応答の非破壊評価手法の構築を目指している。本年度は多層化コーテッドコンダクターの多岐にわたる熱履歴・応力種別(引張・曲げ)・レベルに対して、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を構築した。

金属へのコーティング層の破壊・剥落

硬質層を金属にコーティングした被覆複合型金属は, 自動車,建築,工具など多彩な分野で使用されている. また DyBCO などの超伝導物質を合金にコーティングした被覆型超伝導は高磁界発生、電力貯蔵などさまざまな分野での応用が期待されている。これらの材料では、コーティング層の破壊・剥落は機能の消失につながるため、メカニズムの解明とその抑制方法の開発が要請されている。本研究では自動車鋼板として用いられている溶融亜鉛めっき鋼板および被覆型 DyBCO 複合テーブについて、コーティング層の多重破壊・剥落現象を調査している。本年度は、界面を介した応力伝達と有限要素応力解析を組み合わせて、コーティング層のクラック間隔から、コーティング層の強度を評価する手法を開発するとともに、界面剥離プロセスを有限要素解析で再現することに成功した。

Zr 基金属ガラスのなかの構造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、全真空条件での異常小角 散乱実験と並行して時間分解小角散乱測定を試み, ZrCuPt 合金ガラスからのナノ準結晶形成の初期過程を 調べた。一次相転移の観点からの特徴、特に成長則につ いての検討とともに、組織学的に見た特徴について解析 した. ガラス転移点より高温側と予想される温度域での 小角と高角の同時解析により、明確な界面を持つと考え られるナノ準結晶の内部が準結晶構造としての構造的コ ヒーレンスを持つコア部分と、より乱れたシェル部分か ら構成されている可能性が示唆され、準結晶形成のキネ ティクスとしてみた場合に塑性分布から見た場合と準結 晶構造としてみた場合のキネティクスが異なって見える ことが示された. これらの違いがガラス構造中の構造不 均一性が相転移の核となりうるか、という問題に対する 鍵になると予想され、共鳴散乱法による詳細な解析を進 めている.

軟 X 線領域における GI-SAXS による構造解 析手法の開拓

薄膜構造中の名の斜入射 X 線小角散乱法 (GISAXS) の, 軟 X 線領域への拡張とともに, その解析モデル開発をすすめた. 比較的硬い軟 X 線領域である 2 keV 前後における共鳴 X 線散乱法の実験手法としての確立と解析モデルの検討をすすめた. Si キャップされた Geナノドットを標準試料とする Si の K 吸収端を利用したGISAXS 測定を PhotonFactory でおこなった. 共鳴 X 線散乱強度の変化が, ほぼ計算によって与えられる原子散乱因子の変化によって説明可能であり, 表面散乱とナノ構造による小角散乱が異なるエネルギー依存性を示すこと, エバルト球の曲率効果が散乱パターンに顕に影響することなどを確認できた. さらにこのエネルギー領域での共鳴散乱によるナノ構造評価が有効な手法となるソフトマター薄膜構造への展開を進めている.

教 授 落合庄治郎 准教授 奥田 浩司

材料機能学講座 材料物理学分野 (現 磁性物理学分野)

フラストレート磁性体 Mo_3Sb_7 における 元素ドープの効果

 Mo_3Sb_7 は、(i)磁性を担う Mo 副格子が八面体をユニットとしたフラストレート格子を組み、(ii)Sb 副格子が立方体をユニットとしたカゴ状構造を組む、という特徴的な結晶構造を有した興味深い物質である。本研究では、(ii)の特徴を生かし、Sb のカゴの中に B や Ni などの原子をドープすることで(i)のフラストレーションにどのような影響が出るかを調べた。その結果、特に Ni ドープによってフラストレーションの効果が抑えられる事、ゼーベック係数の測定などから、その変化は主に元素ドープによる電子状態の変化によってもたらされる事、を見いだした。

希土類化合物 ErNi₂Ge₂の異常磁性

希土類化合物 ErNi₂Ge₂は、磁化困難軸方向の多段メタ磁性や磁気秩序状態における異方的磁気散漫散乱、などの異常な振舞が観測される興味深い物質である。本研究では、これらの異常物性の起源を探るため、パルス強磁場磁化測定や中性子散乱実験を行った。その結果、多段メタ磁性は2種類の Er サイトを仮定することで説明出来る事が分かった。また、磁場中中性子散乱実験から、磁場冷却過程によって磁気秩序が壊されてしまう事が分かり、磁気散漫散乱がある種のランダム磁場効果によるものである事が分かった。

重い電子 Ce(Ru_{1-x}Rh_x)2Si₂における圧 力誘起量子相転移

金属における非磁性フェルミ液体と磁気秩序の間の量子相転移は、不確定性原理に由来する量子ゆらぎが相転移の駆動力となる量子相転移の典型例の一つとして古くから研究されている。その中で、重い電子系は、この量子相転移が圧力などによって比較的簡単に引き起こすことの出来る物質群であり、量子相転移の臨界現象などの研究が近年盛んに行われている。我々は、典型的な重い電子系 $Ce(Ru_{1.x}Rh_{x})_{2}Si_{2}$ の静水圧下での磁化測定を Rh 濃度を変えて行い、この系における反強磁性-フェルミ液体量子相転移が Rh 濃度 x=0.06 付近を境に 2 次転移から 1 次転移に変化することを見いだした。

η-カーバイド型遷移金属窒化物における 強磁性量子臨界現象

電子間相互作用が無視できない金属化合物では、極低温の物理量の振舞に、化合物によらない共通した振る舞い(フェルミ液体挙動)が観測される。しかし、磁気秩序の転移温度が絶対零度の化合物においては、磁気ゆらぎのため、この振る舞いから逸脱する非フェルミ液体的挙動が観測される。本研究では、 η -カーバイド型遷移金属窒化物 Fe_3Mo_3N において強磁性量子臨界点近傍の非フェルミ液体的振る舞いを観測した。物理圧力や、元素置換をせずに非フェルミ液体的振る舞いが観測されることは非常に珍しい。本系の鉄原子のネットワークには幾何学的フラストレーションが存在し、磁気秩序が抑制されているために臨界ゆらぎが極低温で観測されたと考えられる。

ねじり/ねじり戻し加工による Al 合金 の微細組織変化

近年、強ひずみ加工法により Al 合金の結晶粒を微細 化し、高強度化しようとする試みが盛んである. ねじり 加工は長尺の棒材、管材に適用可能な強ひずみ加工の一 つであり、長尺材の両端を逆の方向にねじることにより 材料中に大きなせん断変形を導入することが出来る手法 である. ねじり加工には断面形状が円形以外の長尺材で は外形変化が生じるなどの欠点があるが、ねじり加工後 にそれとは反対方向に同量のねじり戻し加工を施すこと によって解消することができる. 本研究ではねじり加工 やねじり戻し加工中にどのような微細組織変化が生じる かについて EBSD, TEM, XRD 測定や硬度測定を用い て調べた、その結果、ねじり加工中には Grain subdivision が生じ、ねじり角度の増加に伴い大角粒界密度 が増加した. また, 粒内には転位セル壁の密度が増加 し、硬度が増加した. その後、ねじり戻し加工を加える と大角粒界密度に変化はなかったが、ねじり戻し角度の 増加に伴い転位セル壁の密度が減少し、硬度も低下する ことが明らかとなった.

 教 授 中村 裕之

 准教授 田畑 吉計

 助 教 足立 大樹

 助 教 和氣 剛

材料機能学講座 機能構築学分野

ケルビンプローブ原子間力顕微鏡による有機 カルコゲン SAM の局所電子物性評価

自己集積化単分子膜 (SAM) は金属や半導体基板の 簡便な表面修飾法として注目されている. SAM の応用 として有機分子を素子とする有機エレクトロニクスがあ り、その開発のためには、「分子そのもの」や「分子ー 基板界面」の電子物性を精度よく評価する手法が求めら れる. 本研究では、微視的な表面物性計測手段であるケ ルビンプローブ原子間力顕微鏡法(KFM)を用い、(1) SAM の表面形状に現れない内部構造の違いがもたらす 電子物性変化, ならびに(2)金-硫黄および金-セレン 結合界面の電子物性について、それぞれ解析した.(1) では、表面形状に現れない内部構造の違いをもつ 3mercapto-N-octylpropionamide (1ATC8) & 1-dodecanethiol (DDT) からなる相分離 SAM について, KFM により内部構造の違いを表面電位差として可視化 することに成功した.(2)においては、有機セレン化合 物である didodecanediselenide (DDSe) と 1ATC8 の相分離 SAM に関して(1)と同様の表面電位差を観測 した、その結果、金-硫黄および金-セレン結合界面に おける双極子モーメントの差を反映し、DDT SAM が DDSe SAM より約 20 mV 高い表面電位をもつことを 明らかにした.

ニトロフェニル基終端化 SAM の可視光励起反応

ニトロフェニル基を末端基にもつ SAM に X 線や電子線を照射するとアミノフェニル基に還元されることが知られている。アミノ基は金ナノ粒子などの新規光学材料や DNA などの生体材料などとの親和性が高いため、光ナノデバイスやバイオデバイスへの応用が期待されている。本研究では、より簡便な可視光照射によるアミノ基還元反応を用い、金基板上のニトロフェニル基終端化SAM のパターニングを行うことを目的とした。ここでは、反応系に水素イオンが存在する場合にニトロフェニル基の還元反応が進行しアミノフェニル基を形成することが明らかになった。水素イオンの濃度等の条件を最適化してパターニングを行ったところ、可視光照射部分の表面電位が負にシフトすることを示した。

走査プローブリソグラフィによる金ナノ 構造の作製とその光学特性

近年、金属ナノ構造が示す表面プラズモンの共鳴についての研究が盛んである。金属ナノ構造体は光と強く反応し、光をナノ領域に閉じこめることが可能である。この性質を太陽電池や光メモリーなどのデバイスに利用するには、金属ナノ構造の形状および配列とその大きさを精密に制御する必要がある。本研究では、金ナノ構造体

の光学特性に着目し、走査型プローブ顕微鏡(SPM)を用いるナノリソグラフィと無電解金析出により、シリコン基板上に2次元金ナノ構造を作製し、その光学特性を評価した。SPM リソグラフィは圧力制御や大型の装置を必要とせず、大気中で容易にナノメートルオーダーのパターン作製が可能である。本研究の結果、リソグラフィ時に SPM 探針に印加する電圧と時間によって、パターンサイズを制御可能なことがわかった。また、探針の素材やリソグラフィ時の湿度が、パターンサイズに影響することもわかった。光学特性に関しては、金の同心円形状に由来する吸収スペクトルを観測したが、その解析は今後の課題として残された。

イオン液体浴還元拡散法を用いた Cu-Zn 合金形成

黄銅めっきは金色の色合いをもつことから装飾めっきに多用されている。本研究では樹脂素材表面に黄銅皮膜を形成させる新しい手法として、無電解めっき銅薄膜を、イオン液体浴(合金化浴)中での還元拡散法によりCu-Zn合金化するプロセスを開発した。イオン液体は熱的安定性が高く、これを浴に用いた中低温域でのプロセスにより、水溶液より大きな速度での合金形成が可能である。合金化は、亜鉛塩として $ZnCl_2$ 合金化浴中に浸漬した金属亜鉛を擬参照電極として用いた定電位法により行った。このとき、合金化電位に依存して γ -Cu₅Zn₈, β -CuZn, および α -Cu(Zn) の各相が形成されることを明らかにし、これは熱力学的予測ともよく一致した。また、合金化の挙動の再現性は、真空乾燥した合金化浴を用い、アルゴン置換したグローブボックス中で合金化を行うことで向上した。

フェロセン誘導体 - シリコン接合界面形成と電気化学

シリコン半導体表面に自然酸化膜を介さず有機分子が 結合した「直接結合型」の SAM は、半導体と有機分子 を電子的にリンクする技術であり、メモリーやセンシン グデバイスへの応用が期待されている. 本研究では、電 気化学的に活性なフェロセン誘導体分子であるビニルフ ェロセン (VFc), エチニルフェロセン (EFc), および フェロセンカルボキシアルデヒド (FcA) を用い,可視 光励起法を用いてシリコン直接結合型 SAM を作製し、 その形成挙動や酸化還元挙動を比較した. その結果, FcA 分子とシリコン基板の反応性は VFc および EFc 分子に比べて小さいこと, n型シリコン基板とフェロセ ン誘導体分子との反応速度はp型基板に比べて速いこ とが明らかとなった。また、光照射が酸化環元挙動にお よぼす影響も調べ、光の強度に応じた電位シフトを観測 した. さらに、シリコンとフェロセニル基の結合様式が酸 化還元電位や電子移動速度におよぼす影響を考察した.

教 授 杉村 博之准教授 邑瀬 邦明助 教 一井 崇

エネルギー科学研究科 エネルギー社会・環境科学専攻

ん 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2, タイ 1, メキシコ1名)

修士課程学生14名, (エクアドル1名)

学部学生6名

また、4月より4ヶ月間、スエーデンからの短期留学 生も在籍していた。

上記にスタッフ 4 名を加えて31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、タイ語という 5 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

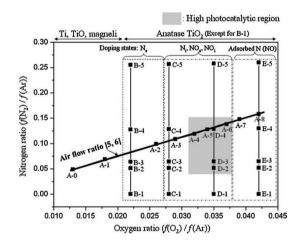
博士課程を修了した韓国人留学生 Lee Song Hong 君の研究を紹介する。本論文は、反応スパッタリングによる窒素ドープ型酸化チタン光触媒薄膜の表面ドープ特性と光触媒能を評価した研究をまとめたものである。以下にその成果をまとめる。

- (1) スパッタ時における酸素/窒素濃度比を変えることで、作製された窒素ドープ型酸化チタン薄膜中の元素濃度を調整でき、ある濃度領域で高い光触媒能を有する可視光応答型窒素ドープ型酸化チタンを作成することに成功した。(右図)
- (2) XPS を用いた分析により, 薄膜最表面における原子結合および電子結合形態が光触媒能にとって重要な要素であることが明らかになった. また, 光触媒能は格子定数, 粒径, 窒素ドープ量, 光学特性といった他の薄膜特性にも依存することが分かった.
- (3) 基板の表面荒さは薄膜の成長機構にはそれほど影響しないが、作製された薄膜の表面荒さには大き く影響し、結果として光触媒特性も変化する.

(4)酸化チタン中にドープされた窒素の形態はスパッタリング中の酸素濃度に大きく影響されることが 欠陥生成エネルギーの計算および XPS の解析結果 から分かった。

以上の結果は、現在盛んに研究されている領域である 可視光応答型窒素ドープ酸化チタン光触媒材料の開発に 対して有用な知見を与えるものであり、高い能力を有す る光触媒能の効果的な開発に活用されることが期待され る.

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



エネルギー反応学講座 量子エネルギープロセス分野

- 固体エネルギー機能材料を調べる -

当分野では、おもにレーザー等を用い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¹¹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¹²、電気化学的手法により作成された半導体薄膜¹³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金属酸化物表面でのプラズマ励起現象と表面変化

発光材料として用いられる酸化亜鉛(ZnO)は、安価かつ単純な成膜プロセスが求められている。反応活性の高い成膜用原子源への応用を期待して、本年度は ZnO焼結体に真空下でマイクロ波を照射し、Zn および O原子状プラズマを低消費電力・短時間のマイクロ波加熱装置で生成することに成功した^{II}.

本研究ではとくに、マイクロ波照射ターゲット用基板からの発光とプラズマからの発光スペクトルの時間変化に着目し、各発光バンドの強度の時間変化を記述する現象論的表式を得ることによって、マイクロ波による金属酸化物の加熱と原子状プラズマ生成のメカニズムを明らかにしている.

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.

時効による安定化ジルコニアの導電率低 下メカニズムの光学的評価法

固体酸化物型燃料電池の代表的な固体電解質である安定化ジルコニアのイオン伝導率は高温で時効に伴い低下する。その度合いはイットリア(Y_2O_3)などの添加イオン量で大きく変わるが、さらにスカンジア(Sc_2O_3)、インジア(In_2O_3)を添加することによって、劣化が抑制される条件がある。これらの酸化物の PL(photoluminescence)スペクトルはイオン伝導を引き起こす酸素空孔の状態を反映するため、添加条件ごとの PL 測定によって、劣化の抑制メカニズムを研究する。

スカンジア安定化ジルコニア(ScSZ)の PL 測定に

よる欠陥構造とその電子構造との関係のスカンジア添加量に対する変化を明らかにした。また、YSZ、ScSZの発光強度の温度依存性を調べ、実験を再現する温度・強度の式を与えるモデルを提示することにより、欠陥構造変化に対する依存性の異なる各発光サブバンドを見いだした²³.

ジルコニア、YSZ のいずれにも Sc_2O_3 添加によって 新たに $2.70\,\mathrm{eV}$ におけるサブバンドが出現する.Sc-YSZ における劣化抑制においては,この新たな発光バンドを形成する欠陥構造が,また In-YSZ における測定 結果から In 添加においては導電率の大きく変化する $4\,\mathrm{mol}\%$ における YSZ 母体の本来の欠陥構造の変化が,YSZ において既に明らかとなっている時効における欠陥複合構造のひずみの緩和を原因とするイオン伝導度低下を防いでいることが示唆された.

- T. Sonobe, T. Mitani, K. Hachiya, N. Shinohara, H.
 Ohgaki, Jpn. J. Appl. Phys. 49(8) 080219 (2010)
- [2] K. Hachiya, J. Kondoh, Trans. MRS-J. 35(1) 39 (2010)
- [3] T. Goto, K. Hachiya, R. Hagiwara, Trans. MRS-J. 35(1) 77 (2010)

助 教 蜂谷 寛

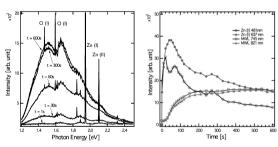


図1 マイクロ波照射後の発光スペクトル(左)とその 強度の時間変化(右)

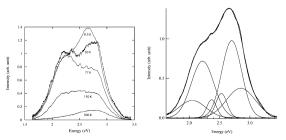


図 2 8ScSZ の PL スペクトルの測定温度依存性(左) とサブバンドへの分解(右)[□]

エネルギー応用プロセス学講座 材料プロセス科学分野

電析法による Al および Al 合金皮膜の作製

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、 $DMSO_2$)を用いる新しい Al 合金電気めっき法の開発を行っている。また、高温材料の耐酸化表面処理法として、Al 電析と熱処理による Al 合金皮膜の形成の研究に取り組んでいる。

(1) DMSO。浴からの Al 電析におよぼす添加剤の影響

DMSO₂-AlCl₃浴から電析した Al 膜には、浴由来の硫黄および塩素が不純物として含まれる。この不純物濃度の低下を目的とし、浴にアンモニウム塩である $(CH_3)_nH_{(4\cdot n)}NCl\ (n=2,3)$ を添加剤として加えると、電析膜に取り込まれる硫黄の量が低下することを見出した。不純物濃度の低下に伴い、電析 Al 膜のビッカース硬さは低下した。添加剤の添加により、定電流電析時の印加電圧が低下するため、浴分解が防がれ、めっき膜への不純物の取り込み量が減少したと考えられる。

(2) Al-Zn-Mn 合金薄膜の電析

Al-Zn 合金めっきは、Al の耐食性と Zn の犠牲防食性を併せ持つため、Zn めっきの代替として建材などに用いられている。現在、このめっきは溶融めっきによって行われているが、複雑形状への均一めっきが困難などの欠点があるため、その解決策として電析法を検討している。DMSO $_2$ 浴からの Al-Zn 合金電析では、電析物がデンドライト状になる問題があった。一方、Al-Mn合金電析では、平滑な電析膜が得られる。そこで、平滑な Zn 含有 Al 合金めっき皮膜を得るため、Mn を加え、Al-Zn-Mn 合金の電析を試みた。その結果、Zn $_2$ ~16 at.% および Mn $_2$ ~4 at.% を含有する平滑な Al-Zn-Mn 合金電析膜を得ることができた。

(3) 電析と熱処理による Al 合金皮膜形成

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。

電解法による固体高分子形燃料電池の触媒作製

固体高分子形燃料電池に用いられる炭素担持白金触媒は、主に化学的に作製されるが、本研究では電解法を利用した作製法の開発を目的としている。電解法により、担持量、担持状態および粒子径をより精密に調整できることが期待される。ペースト状にした炭素粉末上にPt粒子の電析を試みたところ、微粒子状のPtが炭素粉末上に分散した状態で生成されることを確認できた。Pt担持量は通電量により制御でき、約30 wt%のものが得られた。Ptの結晶子径は、電解浴へのエチレングリコール添加により、5~6 nmにまで微細化できることが確認された。

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、Terich なアモルファス CdTe 電析と電析物の熱処理を組み合わせることによ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 CdTe を成膜し、温度 400° において空気中で熱処理を行うことにより、粒径約 $50\,\mathrm{nm}$ 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 $\mu\mathrm{m}$ 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 Te $_2\mathrm{O}_2$ 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 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

CaO-P₂O₅-SiO₂系の熱力学

1. 緒言

溶鉄からの脱リン反応は,

 $[P]_{Fe} + 5\{FeO\}_{slag} = \{P_2O_5\}_{slag} + 5\{Fe\}$ (1) で表せる。脱リンを効率よく行うための条件は,低温,低 P_2O_5 活量,高 FeO 活量である。従来,液体スラグ中の P_2O_5 活量は SiO_2 濃度の上昇とともに上昇し,CaO-Ca $_4P_2O_9$ 共存下において最低値をとると考えられてきた。CaO- P_2O_5 -SiO $_2$ 三元系状態図の 1573 K における CaO 頂点近傍の等温断面図を Fig.~1 に示す $^{1)}$. この図より固相スラグでは上に述べた液体スラグとは異なり, P_2O_5 活量は CaO-Ca $_4P_2O_9$ 共存下の三相領域ではなくて,むしろ SiO_2 -rich 側の方が低いことがわかる。そこで,本研究では, Ca_2SiO_4 -Ca $_3SiO_5$ -(Ca_2SiO_4 -Ca $_3P_2O_8$) 固溶体三相共存領域における P_2O_5 活量を測定した。

2. 実験方法

 Ca_2SiO_4 - Ca_3SiO_5 -(Ca_2SiO_4 - $Ca_3P_2O_8$) 固溶体三相共存スラグが得られるように CaO, Ca_2SiO_4 , $Ca_3P_2O_8$ を所定の組成で混合した後, Cu 約 1g とともにアルミナルツボ内に入れ, 1573 K および 1598 K まで昇温した. H_2 - H_2O 混合ガスを反応管内下部より流し, 酸素分圧を制御した. なお, 水蒸気分圧はシュウ酸二水和物とシュウ酸無水物および水蒸気の平衡により制御した. 試料を一定時間保持した後急冷して, Cu 中の P 濃度を測定した.

3. 実験結果・考察

Fig. 2 に実験結果を示す.過去に測定された $Ca_2P_2O_7$ - $Ca_3P_2O_8$ ², $Ca_4P_2O_9$ - $Ca_3P_2O_8$ ³,CaO- $Ca_4P_2O_9$ -1-相共存領域における P_2O_5 活量を Fig. 2 に併せて示した. Ca_2SiO_4 - Ca_3SiO_5 - $(Ca_2SiO_4$ - $Ca_3P_2O_8$) 固溶体三相共存領域の P_2O_5 活量は,CaO- $Ca_4P_2O_9$ 二相共存領域よりも低く,Fig. 1 の状態図と整合することがわかる.

参考文献

 M. Matu-suye, et al., Steel Research Int., vol.78, 2007, No.6, pp465-467

- H. Hoshino, et al., High Temperature Materials and Processes, vol.23, No.5-6, 2004, pp377-382
- M. Iwase, et al., Trans. Iron. Steel. Soc., vol.11, 1990, pp31-38
- 4) H. Yamazoe, et al., Iron and Steelmaker, vol.10, 1992, pp.41-46

教 授 岩瀬 正則 准教授 長谷川将克

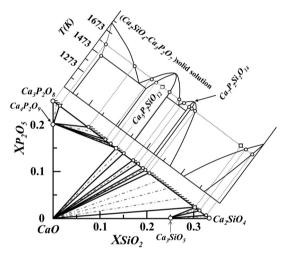


Fig. 1 Isothermal section of the phase diagram of the system Cao- P_2O_5 -SiO $_2$ at 1573K

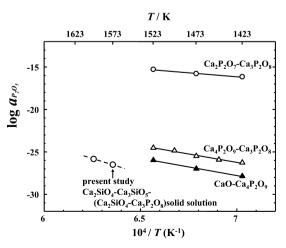


Fig. 2 Activities of P₂O₅ for the system CaO-P₂O₅-SiO₂.

428 会 報

会 報

追悼

寺田 孚 先生

京都大学名誉教授,寺田 学先生は平成20年1月3日,享年81歳にて逝去されました。ここに先生の生前のご功績を 偲び,謹んで哀悼の意を表します。



寺田 学先生の御略歴

昭和27年3月	京都大学工学部鉱山学科を卒業	平成13年4月 名城大学名誉教授
昭和28年7月	京都大学工学部助手に採用	平成22年1月 従四位,瑞寶小綬章授章
昭和42年 5 月	京都大学工学部講師に昇任	
昭和43年6月	京都大学工学部助教授に昇任	上記期間の内
昭和57年4月	京都大学工学部教授に昇任(工学部資源	昭和57年10月から平成3年10月まで日本学術会議力学研
	工学科開発工学講座を担任)	究連絡委員会委員
平成4年3月	定年により京都大学を退職	昭和59年2月から昭和61年1月,昭和62年2月から平成
平成4年4月	京都大学名誉教授	元年1月まで文部省国際局学術審議会専門委員
平成4年4月	名城大学学部新設準備室教授に着任	昭和59年6月から昭和61年5月まで日本学術振興会流動
平成7年4月	名城大学都市情報学部教授,	研究員等審査会専門委員会委員
	初代学部長、同大学評議員に就任	昭和58年3月から平成3年3月まで通商産業省立地公害
平成13年 3 月	定年により名城大学を退職	局中央鉱山保安協議会委員

お別れの辞

花 崎 紘 一

先生の訃報に接しました時, 昨年お会いしました時の お元気なお姿を思い浮かべ, 直ぐには信じることが出来 ませんでした.

先生に初めてお目に掛かりましたのは、47年前、私が4回生になってゼミに配属された時であります。ゼミでは技術者になるための教育と指導が厳しく行われると聞いておりましたので、最終学年になった喜びの中にも一抹の不安がありました。そんな中、ゼミで毎週行っている英文論文の輪読の順番が回って参りました。学術論文を目にすることすら初めてで、ましてそれを英語で読むということには戸惑いを感じざるを得ませんでした。事実、辞書で引いた単語を並べるだけでは日本語にならず、全く意味が解からない文章になってしまいました。仕方なく前日になって、その論文を輪読教材に選んで下さった寺田先生にお縋がりしましたところ、夜遅くまで懇切丁寧にお教え頂きました。本番の発表でも先生の助け船のお陰で無事発表を終えることが出来、大変嬉しかったことを今だに忘れることができません。

その後、私も大学に奉職し、先生の隣の部屋で長年過ごさせて頂きました。この間、学生の教育はもとより、数多くの研究業績を挙げられる傍ら、京都大学の評議員として大学運営にも携われ、先生の教育熱心さ、人望の厚さに敬服いたしました。

先生の研究室には昼夜を問わずに多くの学生が訪れ、卒業研究の進捗状況の報告は勿論のこと、卒業単位のこと、あるいはプライベイトな人生相談や世間話をしては帰って行きました。それでも先生は嫌な顔一つなさらず学生の身になって真面目に応対しておられる様子を幾度となく拝見いたしました。先生のこの几帳面で誠実なお人柄と、優しく穏和な人間味あふれるご人徳に、先生の研究室を誰言うとなく、寺田先生のお名前に因んで「寺子屋」と呼ぶようになりました。そこを巣立っていった多くの門下生にとって、「寺子屋」での体験は一生の思い出とともに人生の大きな糧となっています。彼らは今日では立派に成長し、それぞれの道で重要な地位を占め、明日の社会を目指して活躍しております。

しかし、常に順風満帆の時ばかりではなく、仕事や人生に躓き、途方に暮れることがあるやも知れません。万一そのようなことになりましても、もはやあの優しい先生のご指導を仰ぐことはできません。

どうか先生, 門下生の行く末を末永くお見守り下さい. 私たちも先生のお教えを守り, より一層努力することを お誓い申し上げます.

先生, どうぞ安らかにお眠りください.

(昭和38年卒 京都大学名誉教授)

寺田 学先生の思い出

佐 野 修

私は「学生」という身分のままお世話になった期間がもっとも長い卒業生の一人と思います。京都大学に学生として在籍した期間は12年と一ヶ月です。寺田先生の主たる研究テーマは岩石の切削や水の流れ解析と記憶しておりますが、私は寺田先生のメインの研究内容と少し外れたテーマを選んだため、卒業後、研究分野でご指導いただく機会はあまりありませんでした。寺田先生のご業績等については、諸先生方や諸先輩からご紹介があると思いますし、後輩のみなさんからは、在学中や卒業後、仕事上、お世話になった研究内容が紹介されると思います。私は先生のご指導をうけ、お世話になりました学生の一人としての視点で、私が学生時代を過ごした頃の先生の思い出を綴りたいと思います。

伊藤研究室にいらっしゃった諸先生方の研究には京都大学計算機センターの計算機が使用されていました。京都大学を定年退職された後、寺田先生が名城大学の都市情報学部設立に携わられた基礎がここにあったと推察しております。研究室にはヒューレットパッカード製コンピュータもおかれていましたが、これが私にとっての「パソコン」入門で、それ以後、退職するまでの研究生活を支えてくれました。今でも、計測制御プログラムや計算プログラムを C で書きますし、あるいはまた多数の自作のコンピュータを個人で所有するような「研究者」となる基礎がここにありました。私が指導した卒業生の多くもコンピュータとかかわっています。

はじめてお会いした頃にはすでに堂々たる恰幅の先生 でしたが、6号館から1号館への引越しのさいに伊藤先 生の机からでてきた昔の伊藤研究室の集合写真には、歌 舞伎役者のような美青年の寺田先生が写っていました. 美青年だったころでも同じと思いますが、寺田先生はそ の恰幅からイメージされるとおり、親身に学生の面倒を みてくださるとても優しい先生でした. 私が山口大学や 東京大学で勤務している間、学生と同室しているアカデ ミックスタッフをみたことがありません. ところが、資 源工学科が主に6号館にあった時代,寺田先生は私たち 学生を同じ部屋に引き受けてくださいました. おそらく 私を学生の部屋にほっといては将来が心配だと思われた のでしょう. 日常の勉学・研究生活だけでなく、JAPEX の掘削現場の見学にお供したときなど、今でも鮮やかに 思い出されます. 私は、その後、学位を取得し、山口大 学に就職し、 さらに東京大学で定年まで働くという幸せ な研究生活を送ることができました. これは, ひとえに 寺田先生のご指導のおかげです。私事の記述ばかりで申 し訳ありませんが、ご指導いただき、またお世話いただ いた寺田先生に、ここに追悼文を書くことのできなかっ

報

た多くの卒業生とともに、心より感謝申し上げ、ご冥福 をお祈り申し上げます.

(昭和46年 東京大学名誉教授)

寺田学先生のこと

増 田 信 行

私は昭和49年工学部資源工学科卒,51年同修士修了です。修士論文は鉱山に関係した地下水の流動解析で,寺田先生の丁寧なご指導をいただき,なんとかまとめることができました。修士を終えて,金属鉱業事業団(現在は(独)石油天然ガス・金属鉱物資源機構)に就職したのですが,紹介して下さったのは寺田先生でした。実は先生は金属鉱業事業団の鉱害防止に関連した委員を務めておられました。その関係もあったと思います。

謙虚な先生でしたのであまりご自分の業績をひけらか すこともなかったように思います. 先生のなさったお仕事 のほんの一部にすぎないとは思いますが, 鉱害防止に関 連した先生の業績について少し書かせていただきます.

日本はかつて資源国であり、鉱山の数は古い時代のものまで入れると記録に残っているだけでも6,000以上あります。昭和40年代には一般の公害に関心が集まると同時に鉱山の採掘などが原因の鉱害が大きな問題になりました。イタイイタイ病や渡良瀬川の汚染などよく知られているところですが、当時このような問題を抱えた鉱山は数多くありました。金属鉱業事業団が、大学の先生などのお知恵を拝借しながら、これを一つ一つ調べ、その対策を立てるという大変困難な仕事が昭和48年から始まっています。

記録を調べてみると、先生がそのための「鉱害防止技術指導委員会」の委員に就任されたのは昭和49年ですから、事業団がこの仕事を開始したほぼ最初からのようです。その時から平成10年まで25年間、先生は全部で47鉱山の現地調査や対策法の検討にかかわっておられます。一つの鉱山の検討が1年で終わるようなことはなく、長いものでは6~7年もかかっています。事業団として対策を検討した鉱山数は現在までに176鉱山ですが、その1/4以上に先生が関与されているということになります。おそらく先生は坑内採掘や廃さいの堆積場に関係した鉱害問題で特に技術的に困難なものを中心に扱われたものと考えられます。

また先生は鉱害対策のための技術開発の委員を昭和50年から平成5年まで務めておられます。当時、鉱害対策にはそれまでにない新しい技術が必要とされました。鉱山を開発し、操業するための技術はいろいろ研究されてきています。しかし、当時は鉱害という概念にも乏しく、それを防止するような技術を開発したり研究したりしている人はあまりおられなかったのではないでしょうか。

先生の関係された技術開発の成果が実際の現場で適用され大きな効果を上げた例は多くあります。例えば「坑道閉塞技術」は坑道をコンクリートプラグで閉塞することにより坑廃水を坑内に封じこめることで水量減少、水質改善を図る技術ですが、この成果は「坑道閉塞の手引」として基準化され、多くの鉱山に適用されました。また「中和でん物坑内還元技術」は鉱山から出る廃水を中和した際に発生する沈殿物の最終処分にかかる用地確保に対処するため、沈殿物を鉱山内の採掘跡や坑道に投入する技術です。技術開発の結果、投入計画の立案、投入方法、追跡調査方法などが「殿物坑内還元の手引」として基準化されています。この技術も大きな効果があったものの一つです。

今では先生の多大なご貢献により鉱害の多くは解決しつつあります。いまさらですが先生のなさった仕事の大きさに感心いたします。ただ、たいへん残念なことに私はこのような仕事で先生とご一緒することはありませんでした。

なにやら硬い話になってしまいました。実のところ先生は「硬い」わけではありませんでした。少し個人的なことですが先生のことを思い出しながらご紹介します。記憶が不鮮明なため不正確な部分もありますがご容赦願います。

あれは大学を出て間もないころだったと思います. 学 会か何かだったのでしょうか、先生が東京に出てこられ たこともあって、久しぶりに研究室の仲間が5~6人集 まって先生を交えて新宿でお酒を飲んだのです. その結 果はよくある失敗談につながるのですが、それはそれと して、たまたまその時、先生のお嬢様が東京に来られて いるとお聞きしました。先生に対し、不遜にも、「私は 東京育ちだからお嬢様をご案内しましょう. | と申し出 たところ、「それでは頼む」ということになったのです. 次の日、お嬢様と上野で待ち合わせるデートが成立した のです. そのころもちろん私は独身、お嬢様は大学生だ ったと思います。実はどこをどうご案内したのかなどよ く覚えていません、どうも飲みすぎて二日酔い状態だっ たため記憶がぼやけてしまったようです。その後、先生 とお会いしたときに何度かその話になりましたが決して 悪い印象は持たれていなかったご様子なのでほっとした 記憶があります.

また、先生が名城大学都市情報学部の創立に深くかかわっておられたことをご存じの方は多いかと思います。10年以上も前ですが、なにかの仕事にかこつけて岐阜県の可児市にあった学校までお伺いしたことがあります。その時、先生の若かりし頃のお話なども伺いながらフランス料理のレストランで御馳走になったこともいい思い出です。

先生のお姿を拝見するたびに鉄腕アトムの御茶の水博

士を思い出しました. 京大を退官されたあと少しお年を 召してからは特にです. 外見だけでなく御茶の水博士の アトムに接する態度や先生のお人柄などが重ね併さって そのように感じられたのかもしれません.

懐かしいことが多く、書き尽すことはできません、寺田学先生のご冥福をお祈りするとともに先生の大恩に感謝し、ここで筆をおきたいと思います。

(昭和49年卒 秋田大学)

寺田学先生を偲んで

江原昭次

2回の手術 4年ほど前と昨年に手術されたと伺っていました. 昨年の秋に昭和27年卒同窓生の青山氏から、「今年の同窓会で寺田君が「これが最後になるかもしれないな.」と言っていた」と聞いていながら、特に心配することなく、雑事にかまけてそのまま、今年正月明け、先生の訃報に接することとなりました. お嬢様に先生のお顔を見せていただきました. おやつれになられたり、苦しまれた様子もなく、何事もなくただ眠っておられるようなお顔でした. 通夜の読経の後、ご長男様が挨拶された中で、正月ご家族で淡路島の温泉にいかれて、一緒にお風呂に入られ、ご自宅に帰られて、3日の朝、様子がおかしくなられて病院にいかれ、そのまま亡くなられたとか.

ずいぶん昔,30年くらい前のことですが、岩盤工学の 領域で故ハーディ氏が来日講演されて質疑応答が終わり、寺田先生が檀上に上がられた時、ハーディ氏の表情 が緩んだことを記憶しております。恰幅のよいお二人で 何を話されたかはわかりませんが、講演の緊張が解かれ たそれ以上の安心感を得られていたように感じました。 講演の内容など全く思い出せず、ただ「ハーディさんは な...」という物静かに幼稚園児に説いて聞かせるよう な先生の独特の口調が耳に残っています。ご長男様の、 家族への心配や苦労をかけないよう、来世への旅立ちを 準備していたように亡くなられたというお話の中で、こ のことを思い出しましておりました。

水曜会誌1992年12月号での先生のご退官の会報に寄せて書かせていただいた拙文で、「親切で優しそうな教官」で「タフで根気強い先生」と紹介させていただきました。膝が悪いことなどおくびにも出さずと.... それはまだまだ表層のことでした。今になって、先生の優しさ、タフさが先生のコア、深部につながっていることが少しわかってきたような気がします.

休廃止鉱山の排水処理の研究では、浸透流解析の手法 を使われ研究をまとめられました. 浸透流解析は、鉱山 排水の問題だけでなく、ダム、トンネル、道路、橋脚な ど岩盤に手を加えた構築物の長期安全性や地熱発電の設 計, さらには最近注目されている深層崩壊への対処法を考えるための手法でもあります。岩盤の節理や亀裂, 風化の進んだ領域の中を水が長時間かけて移動するので外乱も多く, 精度良い結果を得るには, 長期間の現場測定とコンピュータシミュレーションを使った解析を繰り返し, 因果関係を説明できる適切なモデルを作る必要があります。これをもっと多くの学生を巻き込んで進められればと思っていましたが, 大部分をご自身で解析されておられました。

助教授時代の先生は、このような研究、そして講義の 傍らで、6号館から1号館への引っ越しに先だって、移 転先の研究室各部屋や廊下の必要照度の評価計算や、吉 田キャンパス本部構内での自動車規制, 駐車場の整備計 画の作成の際にも、図面に細かく計算結果を書き込んで おられたことを記憶しております。これらはご自分の時 間、研究や門下生の指導や歓談の時間を少なくするので、 少し手抜きをされてはといったかも知れません。「文部 省の役人を納得させるには、要るんだ. | とのご返事. 先生はご家族のこと、同窓生のこと、初来日の外国の先 生のこと, 受験生や学生のこと, 教室のこと, 岩盤工学 の分野で、先生が寄与すべきことをよく考えられ、ご自 分の役割を果たすという, 適応規制という一言で片づけ られない,心から望んでご自分の役割を果たされました. これが周囲に対する優しさとご自身に対する厳しさであ り、優しくてタフで根気強い先生との印象になっていた のだなと、少しわかったような気がします。

京大退官後、名城大学都市情報学部を設立され初代学部長に就任されたことも、先生が都市情報学部を作ることの必要性重要性を考えられ、膨大な事務処理に加え各界のキーマンとの調整役などの役割を、「タフで根気強い先生」として心から望んで果たされたものと思います。先生は、色々なものを残して下さいました。ご冥福をお祈りします。

(昭和52年卒 丸尾カルシウム)

恩師 寺田 孚 先生を偲んで

土田哲央

寺田先生 覚えておられるでしょうか? 私が先生に始めてお会いしたのは昭和50年3月3日の京大入試1時限目 国語の時でした。答案用紙を回収された後、寺田先生が静かに私の机まで来られて、笑顔で『君は土田君だね 答案用紙に名前を書き忘れているよ 早くここに書きたまえ』とおっしゃったことを!今の大学入試では有り得ないことですよね。しかしあの時の先生の御指摘がなければ、今の私はありません。自分の愚かさを気づかせ教えていただいた先生の優しさとあの笑顔を私は忘れません。

そして2年後,寺田先生が助教授をされていた伊藤研にはいり諸先輩(花崎先生・柳谷先生・佐野先生・金子 先生等お名前を上げればきりがありません)にも可愛がられ、楽しく充実した学生生活を送らせていただきました.

先生 覚えておられるでしょうか?ゼネコンに就職しようとしていた時に,『土田 研究は面白いぞ 大学院に来ないか』とおっしゃったことを!ちょうど伊藤先生が退官される年でした.伊藤研の4回生全員(小口・竹知・吉田)が進学することとなり,伊藤先生と寺田先生はひじょうに喜ばれ,私達4人は美し酒と肴を先生からご馳走になりましたね.その折,上述の入試の件を寺田先生に言うと,『そんな奴は他にもいっぱい居たなぁ』と豪快に笑っておられました.昨日のことのように覚えています.

先生 覚えておられるでしょうか?修士修了前,仲人をお願いしたときに『そうかぁ よかったな 土田君奥さんを大切にしてますます幸せになるのだよ』とおっしゃったことを!お正月に妻と年始のご挨拶に行くといつも奥様と温かく迎えていただき,ついつい長居をさせていただきました.

月並みな言葉ですが、寺田先生には研究はもちろんですが、人としての優しさと、人を育てるには大きな懐の深さが必要であると教えていただきました.

先生は天国でも、あのトレードマークの大きなお腹を 包むお洒落なサスペンダー付ズボンをはいて、ニコニコ と学生相手に講義をしておられるのでしょうね。

未だ追慕の念は絶えません,本当に心から有難うござ いました.

(昭和54年卒 土田建設社長)

寺田先生へのお手紙

西 山 哲

私が大学に赴任して、おおよそ10年になります。先生には大学での会合でお目にかかる機会がたびたびあり、そのたびに「元気そうで何よりやな。でも短気をおこさんように」と声を掛けていただきました。そうですね、私は何度か短気を起こして、そのたびに先生にはご迷惑をお掛けしました。きちんとお詫びしなければと思いながら、先生がいつも温和な顔で声を掛けてくださるので、お詫びを言いそびれたままでした。私が先生への追悼文を書くことになるとは思ってもいませんでしたが、追悼文の代わりに先生へのお詫びの手紙を書くことにします。せめて天国で、この私の手紙を読んでいただけましたら幸いです。

先生はいつも温和なお顔で接してくださいました. でも,何度か厳しい顔をされたことがあります. どちらかと言うと,厳しいお顔の先生の方が私にとっての先生で

す. もちろん、それは私に原因があるのですが、先生が 厳しいお顔をされた思い出の中から、ここでは二つだけ 書かせていただきます. 一つ目は私が先生の研究室に配 属になった4回生のときでした。今から考えると人生の ことを何も分かっていない生意気な考えで、研究生活が 好きになれず、研究室に顔を出さないまま4回生の後半 を過ごし、当然のことながら、卒業論文が中途半端なま ま終わりそうになった時のことです. このまま大学を辞 めて違う道を探そうと思い、卒論発表の当日に「卒業す るのを辞めます」と申し出たことがありました。先生, 覚えてますでしょうか、そのとき厳しいお顔で「あんた が、そう言うなら仕方がないな、ただ、まだ大学で何も していないのと違うか. とりあえず大学院に行って、い っぺん一生懸命勉強してみてから言う言葉やな、そこで 勉強が嫌になったら、大学を辞めるなり、研究室を替え るなりしたらエエのと違いますか | と言われました、結 局は特別に配慮していただき、大学院で勉強することに なったのですが、そのとき初めて見た先生の厳しいお顔 は今も忘れません. 二つ目は、就職の際に、先生がお考 えくださった会社を辞退させていただき, 先輩の居ない, まったく専門の異なる会社を選んだときです. 「聞いた ことの無い会社やな. でも, あんたは, 自分の好きにし ないと納得せんからな」と就職をお認め頂きました. そ のときも、そしてその後いくつか職業を変えることにな ったのですが、そのたびに先生にお会いすると、いつも 「本当に好きなことを、今しているのですか、それが (自分で)分かってますか.」と言ってくださいました. 転職する際に、慰めてもらい頑張れと声をかけていただ こうと思ってお会いしても、先生は温和なお顔をまった く見せてくださいませんでした.

大学院の学生になったときは, 先生との約束だと思い, とにかく研究に没頭することしか頭にありませんでし た. ここまで成果を挙げて約束を果たしたのだから、違 う道を探しますと先生に言って専門を変えようとの思い から、実は頑張っていたのです。でも振り返れば、その ときの研究生活が今の私の基礎になっていました. それ は先生が「どうですか. (この分野で) 頑張れそうです か」といつも声を掛けてくださったからです. 卒論発表 の日も,「この研究は、今は未完成ですが、大学院で完 成するものですから」と、私の発表の前に、先生が他の 先生に説明して下さいました. そして中途半端な内容で 終わった卒論研究にも「私はあんたのやっていることが、 今後一番進んでいくと思う」と背中を押してくださいま した. いくつかの会社を転職し、最後に大学に赴任する ことになった際も、「これで自分の好きなことができる ようになったのと違うか.」と言ってくださいました. 「(大学の教員は) 長続き出来そうか」と、たびたび声を 掛けてくださいました. そうです, これらの時は, いつ

もあの笑顔で言って下さってました. 先生, 私はその先 生の笑顔を見たくて、他の学生に向けていた温和な顔を 私にもして欲しくて, 頑張ってきたのかも知れません. 先生は、皆さんが語られている誰よりも優しい先生だっ たのですが、先生がお亡くなりになったと聞いて、お宅 に伺い、先生のお顔を見たときも、その静かなお顔の上 に、私には、あの厳しい顔をされる先生がよみがえりま した. それは他の学生は経験していない、私にだけ経験 があると秘かに自慢だった、先生の厳しい顔をもう一度 見たかったから、そして、私の性格を把握してくださっ て、頑張ったときに見せてもらえる温和な顔に、もう一 度出会いたかったからに違いありません. 先生を困らせ て、厳しいお顔を見て、それを糧に頑張って、先生に評 価してもらって、最後に温和なお顔を見る、私はそんな 困った人生を送ってきたのです. これを先生にお詫びし たかったのです。でも先生、私は、いつか先生の笑った お顔を見たいという気持ちで、頑張っていけたのだけは 確かなのです.

感謝の気持ちを伝えることなく、先生とはお別れすることになりました。先生のお墓に行って近況を報告するときには、また困らせることを言うかも知れません。でも、それでまた頑張れるので、温和なお顔で応えないでください。もう一つ、先生に言わせてもらいたい言葉で締めくくりたいと思います。長い間、本当にありがとうございました。

(昭和59年卒 京都大学)

寺田学先生の思い出

村田澄彦

私が寺田先生に始めてお会いしたのは昭和56年3月の大学入試の時でした. 試験科目は忘れてしまいましたが、寺田先生が資源工学第一講義室での試験室長として監督に来られました. 問題冊子と解答冊子が配布され, 先生の解答開始の合図と同時に解答冊子を開いた私は自分の解答冊子に乱丁があるのを発見し, 挙手して交換を求めました. 寺田先生と言えば恰幅がよく温厚で優しいというのが定番ですが, その時の寺田先生は大変無愛想で怖い感じがしました. これは, 自分が試験管監督をする立場になってわかったのですが, 入試の試験監督は決められた文言以外は言ってはならず, 誰もが無愛想になってしまうのです. このように, 寺田先生にはあまり良い印象を持つことなく入学した私ですが, 2回生になって寺田先生がご担当の「弾性学及び演習」を履修するように

なって先生に対する印象が定番どおりのものに変わってきたのです。先生の講義は決してわかりやすいものではありませんでしたが、いつも穏やかな口調で重要な内容は演習を含めて丁寧に教えて下さいました。1時限目の講義で遅刻する学生も多く、ある日私も15分ほど遅刻したことがありました。講義室に入ったときは寺田先生の他に誰もおらず先生は一人椅子に座って学生を待っておられました。注意されると少なからず反発心が起こるものですが、その時の寺田先生はにこやかに「やっと一人来たね」とおっしゃられて普段どおりに講義を始められたものですから先生に対して申し訳ない気持ちで恐縮して講義を受けた思い出が強く残っています。

4年生になって先生の開発工学講座に配属になり、大 学院に進むにしたがってより身近に先生に接する機会を 得ることができました。学生部委員をされていた頃、寮 問題でしばしば数名の学生が先生のお部屋に団体交渉に やってきては失礼極まりない態度で勝手な主張ばかりし ていたようですが、先生はいつも「今から寮生がくるね ん. 長椅子を僕の部屋に運んでおいてくれんか」とおっ しゃり、寮生にも常に穏やかに対応されていました. 奥 様からお聞きしたのですが、その当時は深夜にもかかわ らずご自宅まで寮生から電話がかかってきたそうです. その時、先生は「こういう時は怒ったりせずに話を聞か なあかんのやしとおっしゃり長時間穏やかに対応されて いたそうです. 当時学生が行う団体交渉は交渉とは名ば かりの多勢による吊し上げに等しいものだったのです が、安易に妥協することなく終始穏やかに対応された寺 田先生の芯の強さには敬服するばかりです.

寺田先生が名城大学をご退職されてからお体を悪くされ入院されたと伺ったときは本当に心配いたしました.しかし、回復されて水曜会大会に来られた時は昔のあの恰幅の良いお姿は見る影もなくすっかり痩せておいででしたが、お元気な様子を拝見して安心したものです。また、桂キャンパスで行う恒例の新年の賀詞交換会や夏の地球工学科懇親会にもお出でいただき、私の居室にもお立ちより下さいました。このように恩師にお立ちよりいただけるのは光栄の限りです。しかし、昨年夏の地球工学科懇親会でお会いしたのが最後となりました。いつまでもお元気でいらっしゃるようにと願っていただけにお亡くなりになられたのが残念でしかたがありません。最後になりましたが、先生のご冥福を心よりお祈り申し上げます。

(昭和60年卒 京都大学)

京都大学大学院工学研究科教授 青木謙治先生は定年退職されました.



青木謙治先生ご略歴

青木謙治先生は、昭和44年3月に京都大学工学部資源工学科をご卒業、昭和46年3月に京都大学大学院工学研究科修士課程を修了され、同年4月に鹿島建設株式会社に入社されました。以来同社技術研究所主席研究員、土木部長、土木技術本部部長を歴任されるとともに東京工業大学客員教授(国際開発工学専攻)を併任された後、平成11年7月に京都大学大学院工学研究科教授に任官され、平成15年4月には専攻改組により都市環境工学専攻地設環境工学講座を担当されると共に、平成18年4月からは京都大学経営管理大学院教授を兼担されました。また平成元年3月には京都大学より工学博士の学位を授与されておられます。

この間,学内においては国内外の学生の教育と研究者の指導にあたられ、多くの人材を育成されました。学外においては特に平成14年以来、外務省、文部科学省所轄によるアセアン工学系高等教育ネットワークプロジェクトの国内支援委員会委員として、アセアン10カ国主要大学の工学教育の高度化に尽力されました。特にインドネシア(ガジャマダ大学)、ベトナム(ベトナム国立大学ホーチミン校)、マレーシア(マレーシア科学技術大学)、カンボジア(ITC)、ミャンマー(ヤンゴン大学)では長期にわたり教育ならびに国際共同研究を推進し、

相手先国の多数の教員ならびに修士・博士学生を育成されました。また経済産業省所轄の電力・原子力関連の多くの委員会の委員長を歴任されると共に独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構の業務評価委員,ならびに資源備蓄専門部会長としてわが国のエネルギー資源備蓄政策の推進に尽力されました。海外においても,多くの国際会議にわが国の代表として出席され、基調講演をされると共に、欧州、米国、カナダ、南アフリカ、イラン国、アセアン10カ国、中華人民共和国、韓国など多数の国からの招請に応じて岩盤工学に関する集中講義をこれら各国の大学教員、技術者に対して実施されると共に、EUにおいては高速鉄道ネットワーク建設プロジェクトに計画時点より技術アドバイザーとして参画され多大の寄与をされています。

先生は40年にわたる岩盤工学,地殻環境工学の専門分野において,斯学の進歩に大きく貢献されました。また岩盤工学の新領域への展開においては,特にエネルギー関連施設としての揚水式地下発電所,石油・ガスの岩盤タンクなどの計画,設計,建設技術に関し多くの先端的な研究・開発に取り組んでこられました。特に研究面では,不連続体としての岩盤内における大規模空洞の構築に関連して,不均質な材料特性,作用地圧の不確定さの

もとにおける合理的な建設システムとしての"情報化設 計・施工"の思想を30年間にわたる数多くの揚水式地下 発電所建設プロジェクトを通して確立されました. これ らの成果に対しては国際岩盤力学学会、土木学会、資源 素材学会など多くの学会から論文賞、技術賞などを受賞 されておられます. 更に我が国で初めて水封岩盤タンク 方式の原油、石油ガス貯蔵施設の設計、建設技術に関す る理論面, 実用面での指導的役割を果たしてこられまし た、特に
亀裂性岩盤空洞の
気密性能評価に関し、
貯蔵ガ ス・地下水の相互作用の解明と、多くの新しい岩盤水理 試験法、粒状体個別要素法を用いた気液二相流の数値解 析法, Geoinformatics を用いた岩盤の水理地質モデル の構築法などの研究開発に多大の成果を挙げてこられま した. 先生はこれらの成果を高レベル放射性廃棄物の地 層処分技術の確立に展開されると共に現在も国家プロジ ェクトとしての世界最大の液化石油ガス岩盤タンクの建 設を主導しておられます.

(水戸義忠)

青木先生ご退官に寄せて

山本真哉

私が青木先生にご指導いただくようになったのは博士 課程からでした. 先生に対する私の第一印象は, 学内の 他の先生とはどこか異なる雰囲気を持たれている, とい うものでした. 実際に, 前職で多くの大プロジェクトに 携わられた先生から直接教わる岩盤工学は当時の私には とても新鮮であり, 迫力に満ちたものでした. そして, このことが自分を建設業界に進ませた一つのきっかけと もなりました.

さらに、先生は常日頃からグローバルな視点で物事を 見ることの大切さを説かれており、先生ご自身も海外で 精力的にご活動されていらっしゃり、研究室への留学生 の受け入れを積極的にされているのを拝見していて、そ の行動力と実現力に大変感心したことを憶えています.

研究室に関する思い出の一つとしては、先生の厳しい 指導の元でのゼミが挙げられます。今となっては懐かし く振り返ることができますが、ゼミの直前に学生たちの 間に広がっていたあの緊張感(時には悲壮感も)はただ ならぬものでした。当時を共に過ごした後輩達とは、社 会人になってからも未だに青木先生のゼミほど緊張する 会議はないと笑いながら語り合っています。

私は先生のご指導により学位を取得することができましたが、その途上では私の努力不足により学位取得が危うくなり、先生には大変ご迷惑をおかけしたこともありました。それにもかかわらず、先生は最後まで見放さず、叱咤激励していただきました。このことについては

今でも感謝の気持ちが尽きません.

また、就職後も先生とは仕事の関係でお会いする機会があり、相変わらず物わかりの悪い私は先生に呆れられながらもご助言をいただいています。

このように、先生からはここには書ききれないくらいに多くのことを教わり、そしていろいろなことを経験させていただきました。最後にこの場をお借りして深くお礼申し上げますとともに、これからの益々のご活躍を心よりお祈りいたします。

(清水建設,平成15年博)

青木先生に頂いたもの

桜 澤 俊 滋

青木先生が京大に来られたのは私が学部四回生のときでした。それから約2年半、卒論、修論を指導して頂いたのですがその中で特に印象に残っているのが「自分の頭で考える姿勢」の大切さでした。当時の私の研究テーマは、学部時代の卒論こそ岩盤内の地下浸透流解析という先生の王道テーマの一つだったものの、修論の題目は「海洋温度差発電における冷排水の拡散特性」というおよそ青木研のテーマとは思えないような研究に取り組ませて頂きました。

これは当時私が再生可能エネルギーに興味を持つ中で 就職先に選んだのが、海洋温度差発電という新たな技術 の実用化を目指している小さな会社に決まったことがそ の発端でした。内定が決まった直後に先生は、「せっか くそういう会社に行くのだったら仕事してからもつなが るテーマにしてみたらどうだ?」という今思えば大胆な 提案をして頂きました。卒業まで8ヶ月という時期であ り M1 までの内容とは全く異なるにも関わらず、私は 自由に取り組めることに大きなやりがいを感じ早速テー マ変更を致しました。

しかし、新たなスタートをしたものの実際はテーマ探しから難航し、テーマが決まってからも修論に見合った着地点と高度(有用性や新規性、難易度等)をどこに設定するかで、中々先生を納得させることはできませんでした。研究ストーリーのフロー図を書き、先生に持っていっては跳ね返されるというサイクルを1ヶ月半以上繰り返す中で、粘り強いご指導の結果、何とか方向性を絞り込むことができました。その後も、研究の個別の内容よりは考え方とロジックの妥当性について厳しく的確なコメントを頂き、何とか期限内に論文をまとめることができました。もしこのときの先生の指導の重点が個別の知識の習得や特定の専門分野にだけ通用する考え方だったとしたら今の私はなかったと思います。

一方で、その後の後輩たちの研究テーマを見るとそれ

ほど突飛なタイトルがないことからも先生の期待には十 分応えられなかったのではないかと反省もしておりま す

ただ、私自身としてはその中で論理的な考え方と諦めない姿勢の重要性を徹底的に訓練され、一生の武器になる大切な考え方を授かったものと考えております。この武器でいつか先生の期待に十分応えられるアウトプットをお見せできればと考えております。これからも新しいお立場で厳しくご指導頂ければ幸いです。青木先生、本当にありがとうございました。

(株式会社ゼネシス, 平成14年修)

青木先生のご退官によせて

黒 川 義 民

青木研究室の研究分野とは全く違う会社に、それもいわゆる文系就職した私にとっても、青木先生の研究室で過ごした3年間は、本当に意義深く、思い出に残る、そんな時間であった。

研究室で過ごした3年間で印象に残っていることといえば、鹿島建設の技術研究所に1ヶ月間通い、技術研究所の方と共同で実験をさせていただいたこと、神流川の地下水力発電所の建設現場を見学させていただいたことなど多くのことが思い出される。その中でも最も印象に残っていることは、なんといってもゼミでの青木先生からの厳しい指導である。

ゼミでは、研究の進捗を発表形式で報告することが多かったが、実験やシミュレーション結果から得られる見解について、勝手な解釈で考えをまとめて報告すると、「自分の頭で考えろ」と、自分の頭で徹底的に考えることの大切さを何度も何度も指導された。それ以外にも、報告の仕方、話し方、資料のまとめ方といったことまで、本当に細かく、厳しく指導していただいた。研究室を卒業してから10年近く経とうとしているが、青木先生から学んだことは、今でも自分の糧となっている。

また、このような濃い時間(特にゼミの前は連日、深夜まで研究室にて皆でゼミの準備を行い、そしてゼミが終わると打ち上げに飲みに行くという時間)を共有した研究室の仲間とは、今でも一体感があり、かけがえのない仲間と出会えた、そんな研究室でもあった。

楽しそうだな、色々な経験ができそうだなということ でなんとなく選んだ研究室であったが、本当にいい選択 だったと思う。青木先生から学ぶ機会を持てたことは本 当に幸せであった。ありがとうございました。

(株式会社ザイマックス, 平成15年修)

「宝の山」

三 木 隆 行

青木先生には大学の4回生から修士課程の修了までの3年間の研究生活においてご指導をいただきました。私の研究生活は、「宝の山だ」という青木先生の言葉とともにいただいた大量のデータの整理を行うことから始まりました。最初のうちは青木先生が「宝」と表現された理由もわからないまま、数値の処理に翻弄される日々を送っておりましたが、研究を進めるにつれてその意味がわかってきました。

いただいたデータは実際の岩盤空洞の掘削時の記録であり、通常は学生が入手して研究材料とできるようなものではありませんでした。実データ特有の事象を発見したり、その考察を行ったりと、単なる机上検討やシミュレーションに留まらない極めて実践に近いものであったという印象が大変強く残っています。

一方、定期的なゼミ発表の場においては、いただいたデータをもとに物事の本質を捉え、論理的に自身の考えを組み立てられているか、というコンセプチュアルな部分でも厳しい目でご指導をいただきました。大目玉をくらわないようにとゼミの前は長時間データと向き合い、頭を必死にフル回転させる毎日で、この繰り返しによりずいぶんと自身の考えを組み立てていく力を鍛えていただいたと記憶しております。

現在、私は岩盤工学とは遠い分野の職に就いてはおりますが、青木先生のご指導のもとでのこういった実践的な研究活動と物事の本質を探し出すという経験は、今でも私の思考や行動の基礎となるほど大きな影響として残っています。今振り返ってみると、これが「宝の山」に隠れていた最も貴重な宝物だったのだと確信しています。

青木先生はご退官されてもますますご活躍の場を広げていかれることかとは存じますが、この度のご退官にあたり、これまでのご指導に改めて感謝を申し上げるとともに、引き続き厳しくご指導ご鞭撻を賜りたく、よろしくお願い申し上げます.

(西日本電信電話株式会社,平成16年修)

青木謙治先生のご退職に寄せて

中 村 百合子

私が青木先生に初めてお会いしたのは、京都大学1回 生時に受講した研究室紹介の講義でした。その多くの教 授陣による講義の中でも青木先生の講義は最も印象的で した。先生の講義は、研究に関する学術的な内容は基よ り、それをどのように現場に展開し、実際にどういう形 で技術が社会に還元されていくのかといった観点に重き を置かれたものでした. 恥ずかしながら講義を集中して 受けることを苦手としていた私が, 青木先生の講義だけ は最後まで興味深く聞かせていただき, 自分でも少々驚 いたのを覚えています.

その講義がきっかけで、その後4回生での研究室配属時に青木研究室を希望し、幸運にも修士2回まで青木先生にご指導をいただけることとなりました。青木研究室は、非常に厳しい研究室だと専らの噂だったのですが、実際は予想以上でした。しかしながら、それは青木先生の多くの現場経験を踏まえた高度な学術レベルと日々の弛まぬご精進に裏付けられた極めて献身的なご指導であることを研究室の学生は十分に理解していたため、青木先生のある種のカリスマ性のもとに、皆で一致団結し、時には徹夜で議論する等、非常に濃い研究室生活を送ることができました。

ここで、青木先生からいただいた数多くのご指導のうち、最も印象に残っているものについて紹介させていただきたいと思います。『研究は、目的および成果は何とするのか、そのためのプロセスについて時間をどう配分し、いつ成果を出すのかを常に留意すること』これはシンプルですが、額面通りの忠実な実行は非常に難しく、当時の私達は、このご指導の基に何度も悩み抜いたものです。社会に出た今、このご指導が仕事をする上でもどれだけ重要であるかを改めて感じています。まだまだ本当の理解には遠く及ばず、行き詰ることばかりですが、常に心に留め、日々精進したいと思っています。

このように今の私の根幹にあるのは、青木研究室で学んだ3年間です. 私は、心より尊敬できる青木先生から直接ご指導を受けることができたことを本当に感謝しています.

最後になりましたが、青木先生の今後とも益々のご活 躍をお祈り申し上げるとともに、今後とも引き続きのご 指導をどうぞ宜しくお願い申し上げます.

> (独立行政法人石油天然ガス・金属鉱物資源機構, 平成17年修)

青木謙治先生のご退職に寄せて

山 本 健 太 私が学部4回生の時に青木研究室に配属された当時 (平成15年)は、青木研究室は優秀かつタフな学生が多いと学生の間で評判であり、その両方でもない私はこの研究室でやっていけるのかと多少の不安を感じながら、その後の3年間に亘る研究生活をスタートさせた事を覚えております。

まだ研究のけの字も知らない学部4回生のとき,青木 先生のご配慮により研究室の他の学生と共に東京電力㈱ 神流川発電所の建設現場の見学をさせていただき,青木 研究室の研究成果が実際の揚水式発電所の建設現場において即戦力となっていること,またそのスケールの壮大 さに非常に感動を覚え,その後の自身の研究を進める上 での大きなモチベーションとなりました。またこのとき の体験が,エネルギーインフラ,とりわけ発電プラント の建設に何らかのかたちで関わる仕事に就きたいという 思いを私に強く抱かせ,その後の電力会社の技術者とし ての私の道を決定付けたように思います。

3年間の研究生活の中で、企業の研究者の方々と共同研究をさせていただきましたこと、土木学会でプレゼンテーションをさせていただく機会をいただきましたこと、研究生活の中で外国人留学生達と日常的にディスカッションできる環境に身を置かせていただきましたことなどは、その後の私のキャリアを形成する上で大きな財産となりました。この場を借りて御礼申し上げます。何より先生のご体調が優れない中にも関わらず、精力的にご指導をいただきましたことには本当に感謝の念が耐えません。

現在私は、瀬戸内海に2地点目となる新規の原子力発電所建設に向け、鋭意計画を進めているところでありますが、エネルギーインフラの整備に尽くしていくことが先生へのせめてもの恩返しになると共に、私が修士課程を修了する際に青木先生から頂いたお言葉「noblesse oblige」の答えの一つであると考え、この仕事に励んで参りたいと思います。

ご退職後も引き続き国家プロジェクトであるエネルギー基盤の整備にご尽力を尽くされると聞き及んでおりますが、同じエネルギー業界に身を置くものとして、今後ともご指導・ご鞭撻の程、宜しくお願い致します.

(中国電力株式会社,平成18年修)

平成22年度水曜会大会

●日 時 平成22年6月12日(土) 11:00-16:30

●会 場 工学部6号館および京大会館

平成22年度水曜会大会は6月12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各研究室紹介のポスター展示が行われました。午後からは京大会館にて懇親会、総会、特別講演会が開催されました。当日は好天に恵まれ、午後には30℃を越す暑さの中、午前の展示にはおよそ30名の方の参加を得、懇親会には参加者約49名、総会・特別講演会には約70名の参加者がありました。

約1時間の研究室紹介のポスター展示が午前中行われた後、会場を京大会館に移し、101号室にて懇親会が開催されました。司会辻 伸泰教授のもと、村上陽太郎先生の音頭で乾杯がおこなわれ、若松貴英先生、岡田明氏(治23)から挨拶がありました。続いて新任・昇任の先生が前に並び、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、松岡俊文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210号室に移し、馬渕 守教授司会のもと落合庄治郎会長から平成21年度事業報告、朝倉俊弘会計幹事より会計報告、乾晴行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、新会長に松岡俊文教授、新副会長に白井泰治教授が選出され、新会長の挨拶がありました。その後引き続いて以下2件の特別講演が行われました。(特別講演会の内容は、大会記念講演として、本誌にご寄稿いただいているので、詳細はそちらにゆずります。) 久留島氏はエネルギー・資源・環境の問題から石炭利用、CO2管理などを熱く語られ、一方、勝山憲夫氏は日本の鉄鋼業の優位性の維持のために従来は学術ツールであった手法までを含めた技術開発力の維持が重要であることを実例を挙げながら示されました。

「低炭素社会における社会基盤、資源と材料

-CCSから石炭ルネサンス、アジアとの共生--

東洋大学 国際地域学部·大学院 久留島 守広 氏

「環境調和社会に貢献する鉄鋼素材開発の現状し

新日本製鐵株式会社 常務執行役員・名古屋製鐵所所長 勝山 憲夫 氏

最後に白井先生より、京大会館の閉鎖に伴い、来年度は6月4日(土)に京大百周年時計台記念館で開催される予定であることが報告されました。

















440 会 報













平成21年度水曜会会計報告

平成22年3月31日現在

収入		支 出	
前年度繰越金	6,307,952円	会誌印刷代(製版・封筒・郵送料込)	
会 費	3,300,000	24巻 2 号	1,824,176円
会誌広告掲載料 (製版代込)		水曜会大会経費(21年6月6日)	1,212,129
24巻 2 号	703,875	3年未納者への請求代	70,097
名 簿 売 上	30,780	編集委員会経費	70,241
会誌売上	1,610	会誌原稿料	170,000
水曜会大会懇親会費	360,000	新入生歓迎行事援助	18,150
預金利息	6,012	通信費	
寄 付 金 (友野宏)	30,000	(切手・後納郵便料・振込手数料)	34,650
		事務人件費	625,000
		封筒・文具・コピー代等	55,726
		その他の経費 (弔慰経費)	42,000
		旅費, 参加費	30,340
		事務所引越経費(資料整理アルバイト代会	でむ) 19,350
		資料修復代	189,000
収 入 合 計	10,740,229円	小 計	4,360,859円
		次年度への繰越金	6,379,370円
上記の通り会計報告致します。		内訳 銀行普通預金	1,866,392
平成22年6月12日		銀行定期預金	4,500,000
会計幹事 朝 倉 俊 弘		郵便振替預金	8,000
以上の通り相違ございません。		手 持 現 金	4,978
会計監事(監査) 乾 晴 行		支 出 合 計	10,740,229

会員消息

鉱山科卒業 50 周年同期会 報告 (1960 年卒業生)

「全員揃ってる年代は稀だ,全員集合」と福中の檄に,流石唯一の現役出の発想と,彼の幹事で1999年に京都で開催したのが最初.今回の6回目は2010年3月13日午後,京大会館で催行.各人の集合JR移動片道総距離5262km.

会は伊藤録音の往事の研究室内雑音の再生と成瀬撮影の学生証写真の全員一覧写真の回覧で開始,受験勉強の 気迫が残っている顔,すっかり抜けている顔等々を,現 在と比較し回覧が進まず.

主な論=三高寮歌を歌いたい,迷惑だ,吉田山頂か鴨川堤で唄え,吉田山頂に歌詞の碑が有った,唄ったか,音読したのみ,戦も負ける訳だ.フリーハンドで黒板にチョークで真円を描く池総に呆れ,京大力を実感,同感,同感,ノーベル賞も問題外.池田総一郎先生はズボンに寝押していた大日本帝国陸軍史上唯一の騎兵将校だ.当科発足の1898年以来の炭坑学を実践した最後唯一は伊藤,全炭坑が閉山になったから,日本史上最後の技術屋,殆ど学宝だ.学宝「今は全国の炭坑節を集めている,戦後の米軍人が編曲したのもあり百曲を越す」.そ

れでだ、常磐炭坑節の音頭は「ハー野郎ヤッタナイ」. 時計台の威光で、身分不相応な仕事をした、俺は商売で 助かった, 足向けずに寝ている. 在職中, 毎月読切の保 安訓辞を約130本創作した、勢いで捕物帖を書こうとし たが何一つ思い浮かばない. 遺言や後世への文が大事, 死者が生者を規制は僣越,列車内遺留放置品の最多は遺 骨が現実、嫁さんの内助の功は尊い、炊事・洗濯にも定 年は必要、俺は既に専業主夫、俺もだ、女房の鞄持ち専 門、嫁は野放し、日頃ダンスをしてる、カルチャーに出 てる,女性が多いのだ,女もどきが多い.今の政治を憂 う,政治家は俺達より若い,若者への苦情はシュメール 粘土板以来ある、その憂国の念は貴重だ、長く潜めてい た全学連の情熱に、止むに止まれぬ大和魂が融合してい る、故吉田松陰の喜びも如何ばかりか、東大出て NASA でロケット研究していた倅はトヨタに入った、格安宇宙 旅行券は駄目か. 断食付き玄米菜食40年弱, 腎臓系は 治ったが前立腺系には無効、それで勤まったのは良い会 社だ、それでか会社は無くなった、95才迄テニスをして いた父は今102才だ,では20年後の幹事は君,米田だ. 以上、生死に関係なく恩師・同窓生各位に報告します。

(敬称略,編・柳沢)



出席者= (写真左から),浮世から楢原・松下・梅原・米田・藤本・小泉・萩原・久賀・成瀬・灘谷・中納・柳沢. (映像無し),早退の伊藤,来世から中林・福中・小山・池見.来世の人の映像は成瀬の Hiro's Photo Gallery

中林・福中・小山・池見. 来世の人の映像は成瀬の Hiro's Photo Gallery (http://hinarus.com/) 中でも未だ実現していない. 主な欠席者 = 上村・北神・中村・西田.

「の想い出」と付く題名が辛い. 周囲は溌剌の新入生で溢れかえっている中で撮影. 彼らが開く50年後はどうなっているか, 吾らの入学時に50周年を開いた人達は今何処. 万感迫るが, 何とか取繕った顔顔.

卒業後 50 年 記念同窓会 (昭和 34 年冶金学科卆業)

ここに昭和30年春,冶金学科合格者発表の掲示板写真(一部)がある。自分の名前を見出して喜んだが、同じ欄に並ぶ同期生が如何なる友になるのか?互いに知るよしもなく、まして、それから54年後の姿など想像すら出来なかった筈である。

「もはや戦後ではない」が今で言う流行語であった時代から高度成長期を迎えて、新進(気鋭でもあったろうが)の技術者として社会に踏み出した。国全体が燃え上がり、その中でただ前を見て仕事し、青春を賭けたように思う。

そして、15年後いわゆるオイルショックを管理職として乗り切って自信を付けた。

さらに, バブル崩壊期など苦難の時代を経営サイド迎え

た. 自身のことより企業の立て直しに目処を付けること に奔走して、逐次後進に道を譲った.

誰一人大学院に進むことのない希有の学年でもあったが、仕事人としては、誠に変化の大きい時代に生き抜いた歓びを得たようにも思う.

平成21年11月,京都駅に集合した15名は先ず明る く広大な「桂キャンパス」を訪ねて,工学研究科 伊藤 紳三郎教授の丁寧な案内を受けたが,明るく広大過ぎて



滋賀県 百済寺にて (後列左から) 明田, 尾野, 濱中住職, 星野, 村上(少し前), 斉藤, 山本, 伊藤, 枝, 南浦, 田村 (前列左から) 森, 杉田, 田原, 小野, 江見

ただ驚くばかりだった. 煉瓦建て狭くて旧い研究室を懐かしく思い浮かべて一寸休心したほどである.

大学からマイクロバスは京は北山「宗蓮寺」へ. ここは観光客を寄せ付けない山寺で, 北山杉と紅葉の絶景と住職ご夫妻の暖かいもてなしに心安らぐ.

そして夜,「琵琶湖ホテル」での懇親会,ストップウオッチまで持ち出しての1人3分間スピーチでは,そこに収まる筈のない50年間の起伏を互いに語り合った.

翌日は、湖東の名刹「百済寺」へ、ここの住職 濱中 亮明さんは昭和44年院卒の水曜会会員と言う変わり種で、元技術者らしい精緻な寺歴、寺内の御案内は口うるさい先輩どもを惹きつけた。その後、「彦根城」「玄宮園」など見学して無事記念同窓会は次回を約束して終了した。

卒業して50年、この国のかたちも大いに変貌したが、 各人もそれぞれの半世紀であった。写真の屈託のない顔 の奥にそれが集約されていると観る. 初志を遂げた人, 軌道修正しながら自分の人生を創った人,予想もしなか った病で苦しんだメンバー,そして,不幸にして先立っ た人---,それぞれの想いと家族への感謝を込めて今 日を迎えた.

今,後期高齢期を余生と考えずに、新しい想い出を作りながら楽しめたら---と願う.

ただ確かに言えることは、この京都で、濃淡はあって も共に学び、遊んだ学友は互いに大きな財産となってい ることではなかろうか.

次回は??記念同窓会ではなく,色々の機会を作って集いたいものである.現在は,秋の全員歓談会,初夏のゴルフ懇親会と適時の各地方昼食会を続けている.素晴らしい仲間達である.何れにしても,また佳い想い出を作った卒後50年記念同窓会であった.

(昭和34年冶金学科卒 山本龍太郎 記)

会 員 通 信 欄

平成22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。

高嶋 宏(冶金,昭15)昭和15年冶金卒は殆ど0となり淋しい限りです。水曜会の益々発展することを祈っております。

浅田 幸吉(冶金,昭16・3)91才になりました.元気 に過しています.

玉木 正光 (採鉱,昭16・3) 本年6月に満94才になります。健康に恵まれ、高齢ですが元気に過しています。 夜間の外出や旅行は介添人が必要です。

古賀 五百里 (冶金, 昭16・12) 老人病にて療養中です. 村上 陽太郎 (冶金, 昭17) お陰で至極元気でいます. 相変わらず朝のウォーキングを続けています. 会社関係は全て止めました. NMCの「新素材・新技術」の執筆は続けています. 6月号で "245" になりました.

宮崎 勢四郎(冶金,昭17)6月一杯で神戸市を離れ千葉県に移住する予定です。年令の割には元気にしておりますが家庭の事情により娘の嫁ぎ先へ行くことになります

三宅 敏夫(冶金,昭18) そこそこの元気さを保ちつつ 毎日を過しています.学士会の俳句の会(関西草樹会) に所属して俳句を楽しんでいます.

鎌田 徳治(鉱山,昭19)90才になり遠出は困難です. 堀 八郎(鉱山,昭19)89才になっても社員550名の 会社のCEOで頑張っています.

菅沼 常生(冶金,昭19)高齢となり、退職しました。 (高槻高校)勝手乍ら、今後のご連絡は頂かなくてもよ ろしいです。御盛会を祈り上げます。

佐伯 博蔵(鉱山,昭21)年令相応には元気です.

田中 信男(鉱山,昭21)病気療養中.

竹内 一郎(鉱山, 昭21) 今年3月, 母が亡くなり. 父は2月より, 老人ホームで生活しております(次女) 末吉 敏彦(鉱山, 昭21) 高齢になりましたが, 年なりの生活をしています.

今井 一彦 (冶金, 昭21) 父は脳梗塞を発症後1年になります. 現在は介護5となり寝たきりとなってしまいました. (娘)

池田 保(冶金, 昭21) 元気に過しています. 皆様に よろしく.

山崎 豊彦(鉱山、昭22)皆様に宜しくお伝え下さい.

和邇 博(鉱山,昭22)昨年の会誌第24巻2号は琵琶湖周航の歌との関連記事,松下幸之助氏の経営・人生哲学研究の続編及び先輩・諸先生方の追悼記などいずれも私にとっては永久保存すべき重要資料が多くよい談話室で感激いたしました.

田辺 精三 (冶金, 昭22) 頭の方は日に日にボケが進行 しているようで困っておりますが足腰の方はまだ健全で 所謂スロージョギングで走り廻っています.

寺井 士郎(冶金,昭22)平成22年,卒業は昭和22年同 じ22年でも平成と昭和大きく変化した事今更の如く.元 気にしております.

三谷 文夫(鉱山,昭23)八十路も半ばになり,さすがにあちこち不自由になってきましたが、まずは元気に過しております。クラス会や同窓会にはなるべく顔を出して、旧交を暖めるのが楽しみです。

岡田 明(冶金,昭23)後期高齢者(86)才になりました.病院通いですが、水曜会は楽しいですね、なるべく出席します.冶金23年卒の金友会はまだ続いとりますがなるべく長く続けたいと思います.大会行事係りの皆様に感謝しています.会費は大会で納めます.

小田 正三 (冶金, 昭24) 2年前に, リウマチ性多発筋 痛症と云うことで体中痛くて, 朝起きられなくなりまし たが, 副腎ホルモンでよくなり, 何とか, 腰痛や前立腺 肥大症と闘い乍ら, 息子が継いで居ります工事業を手伝 って居ります. 家内も心不全で半病人ですので2人併せ てやっと1人前の生活を続けて居ります.

山本 和男 (鉱山、昭23) 何とか年令並みの元気で地域 の高齢者と何だかんだと楽しんでおります.

加藤 英一(冶金, 昭23) 三度転居後, お陰で体調良好 遠出は無理だが…….

谷口 利廣(冶金,昭23)相変わらず近所のデイハウスでお年寄りにパソコンの指導をしています.

石田 巖(鉱山, 昭24) 情けない, 唯生きているだけ と云う感じ. 目. 頭. 足すべてが×で….

橋本 忠久(鉱山, 昭24) 大病のため歩行困難.

本多 小平(鉱山,昭24)現役でウィークデイ全出勤. 神保 健二郎(鉱山,昭24)なんとか元気にしております. 昨年は、同クラスの足立亮君と北村慶次君が亡くな り、だんだんさみしくなってきました.

平野 坦(治金,昭24) 脚力低下のため,今回の出席が人生最後の出席になるように思っています。永年ご厄介になりました村上先生をはじめ、旧知の方々にご挨拶させて戴くのを楽しみにしております。

小川 昌平 (鉱山、昭26) テニスは続けていますが、視力の衰えを感じます。

木村 治(鉱山,昭26) 老衰にて病身のため欠礼. 荒川 次郎(冶金,昭26)83才で年の割りには元気に過 して居ります。写真が趣味で、愛車にて撮影に出掛けて 居ります。

石井 小太郎(冶金, 昭26) 只今 本人療養中のため暫 く失礼致します.

田中 誠一(冶金,昭26)元気に過しております.

森 嘉紀 (冶金, 昭26) H22年4月20日で満87才となりました. 血圧に問題はありますが先ずは健康で生活を楽しんでいます.

松岡 秀夫(鉱山、昭27)近くの医者と仲良くしながら、何とか息災に暮らしています。暇つぶしに俳句と書を楽しんでおります。大会のご盛会と益々の発展を祈ります。田中 晃三(冶金、昭27)今なお多段式圧延機用ロールの製造に関与し、充実した日々を送らせて戴いております。

前波 力(冶金,昭27)至極元気で地域福祉活動に奉 仕しています.

岡本 成基(鉱山, 昭28) 寝たきりになる直前状態です. 笹栗 弘喬(鉱山, 昭28) 脳梗塞治療中, 4年目, 来年は外出できるかな?

空地 公二 (鉱山,昭28) 昨年の心筋梗塞以来外に出る のが心配で家で静かに過しています.

浅井 浩実(冶金,昭28)現役を退き既に15年,傘寿を迎えたが何とか元気で頑張っています.

岩田 徳重(冶金,昭28)無事に過しております.

倉知 三夫(冶金,昭28)お陰様でそれなりに元気に過させて頂いております。当日,生憎,神岡鉱山の休廃坑植栽調査に参っておりますので、欠席致します。ご盛会と皆様の益々のご健勝ご活躍を祈り上げます。

岩橋 俊之(冶金,昭29)関東の勤務地から関西の自宅に戻って5年目になります。学会は日本塑性加工学会と成形加工学会に所属しています。

江崎 澣 (冶金, 昭29) 80才になりますが, 年相応に元気です. 教室までの距離が本当に遠くなりました. 平成22年度大会の盛会を祈念致します.

大久保 勝夫(冶金,昭29)年なりに元気に過しています。京都の旅は八十路の体にはいささか応えます。欠席するご無礼をお許しください。ご盛会をお祈り申し上げます。

川島 喜一(冶金,昭29) 冶金学科昭和29年卒の35名で結成した「にくまれ会」ですが80才前後となった今,死亡者7名,死亡率20%ということはかなり良い成績だと思います。年1回の総会と昨秋は私が世話人となり横浜で開催しましたが、この時現存者28名全員の状況が確認でき、とても嬉しく思いました。なお、東京近郊在住者は4月・12月を除く毎月29日に新日鉄代々木クラブに集まり(8名前後)ビール片手にランチ,談笑するのですが、これが生活のパターンとなり、楽しんでいます。時たま土曜日になった時は会場から透析病院へ直行です。

小島 勢一(冶金,昭29)老人ホームや,地域の集会で歌曲の伴奏をするボランティア活動を継続中.「生きている」のではなく「お陰様で生かされている」の感です. 水曜会大会の御盛会と会の発展を祈ります.

荘林 久男(冶金,昭29)年令相応に元気に暮らしています。学生時代にもっと勉強しておけばよかったナと、今頃後悔しています。新常用漢字に「冶」が入って喜んだら「銑」が抜けました。文化審議会の無知さに憤慨しています。国家の基幹材料を何と考えておるかと、血圧上がりそうです。

田中 功 (冶金, 昭29) まずは元気でおります. ご盛 会を祈ります.

松岡 英夫(冶金,昭29)異常とも云われている気象を 気にしながら元気に暮らしています.

山之内 種彦 (冶金, 昭29) 学生時代 166.6 cm の長身 が現在 160.0 cm, 腰痛と格闘中です.

清滝 昌三郎(鉱山,昭30)卒業以来55年,今年喜寿を迎えました。目下のところ元気に過しております。ゴルフ,詩吟,茶の湯,ピアノ等下手の横好きのレベルで推移しています。

栗山 隆勝(鉱山, 昭30) 傘寿が近付いていますが, 何とか元気で知的障害者支援のボランティア活動を続けています. 大会のご盛会をお祈りいたします.

若松 貴英(鉱山, 昭30) 最近は自治会の役員をし, 何とか元気でおります.

佐藤 史郎 (冶金, 昭30) 悠々自適の毎日ですが. この 4月に冶金30年卒のクラス会で大三島の"ところミュージアム"(畏友・所敦夫氏寄贈)を訪ねたことが最近の快事でした.

米津 榮次郎(鉱山,昭31)大阪府池田市「広報いけだ」 の市民レポータを委嘱され5年目になります.

荒木 泰治(冶金,昭31)ゴルフ,卓球,囲碁で元気に 過しています。

江藤 隆義(冶金,昭31)元気にしています.

武智 弘(冶金,昭31)福岡工業大学理事,評議員を 任期満了で退任しましたが日本鉄鋼協会,自動車技術会 の研究委員フォーラムに参加して自動車用材料の進歩に 微力を尽くして居ります.

野村 悦二(冶金,昭31)世界の資源産業の変革に目を 見張りながら元気に過しています。

長澤 元夫(冶金,昭31)元気に消光致しています.勝山さんのお話承りたいのですが当地での所用あり欠席致します. 御盛会であります様にとお祈りしております.

松本 善文(冶金, 昭33) 元気です. 6月宿願のシベリウスのアイノラの家を訪ねる予定です.

尾竹 嘉三(鉱山,昭34) 剣神社宮司として元気に奉仕しています.

熱田 義男(冶金,昭34)元気です.相変わらず塾をやっています.

成瀬 宏(鉱山,昭35)鉱山学科卒業50年で3月京都 (京大会館)での記念同窓会に参加しました。写真撮影, 写真展鑑賞で渦しております。

柳沢 恒雄(鉱山, 昭35) スキーを兼ねて, 北海道内の 探鉱跡巡りをしています. ポロシャツがぜい沢品の時代, カッターシャツごとキスリングを背負って夜行列車を乗 り継いで辿りついた山間の僻地の都会が, 広い国道で直 行. しかし町は静まりかえっています.

福井 大 (冶金, 昭35) 年相応に元気でやっています. 赤井 愼一 (冶金, 昭36) 変わりありません, 元気です. 小松 伸也 (冶金, 昭36) 柔道七大戦 (名古屋) 観戦のため, 欠席します.

森定 祝雄(冶金,昭36)今年2月3日,胃癌の手術を 無事終え,これから約1年間抗癌剤の治療を行う予定で す.元気に過しております.

山本 隆造(冶金,昭36)地域福祉・防犯・防災活動で 忙しい毎日です。

白井 勲(鉱山,昭37)所用のため欠席します.よろしくお願いします.

原田 省吾(鉱山,昭37)中小企業のアドバイスやおもちゃドクターで子供のおもちゃの修理をしたりボランティアとして忙しい毎日を元気に過しています.

日比野 敏(鉱山,昭37)日々是好日.幸いにも健康に 恵まれ,ソバ打ち,陶芸,畑仕事等々.時には2,3泊 の旅など.快適な日々を送っています.

宮川 登規雄(鉱山、昭38) 現在タイにて、毎日曜ごと にゴルフを楽しんでおります。

岩崎 滋 (冶金 昭38) 健康に勤務致しております. 西村 孝 (冶金 昭38) チタン材料がもっと広く多量

谷口 安孝(鉱山、昭39)元気にやっています。

に使用されるように普及活動をしています.

小松 啓七 (冶金, 昭39) 今年は, 行事と重なり欠席します.

津島 健治(冶金, 昭39) 元気にやっています.

齋藤 利明(資源、昭40)ご案内ありがとうございまし

た.

武藤 昭男(資源,昭40)国際医療技術コンサルタントとして主に台湾と国内で仕事をしております.

望月 志郎(資源,昭40)昨年6月末に退職し川崎に転居し元気に日々を楽しんでおります.水曜会大会の盛会を祈念しております.

横井 健至(冶金,昭40)卒業後はじめて出席いたします.よろしくお願い致します.

原 勝夫(資源,昭41)毎年欠席で申し訳ありません. 横山 羌泰(資源,昭41)昨年3月末にJICAのシニア 海外ボランティアとしてアフリカ・マラウイから帰国し て以来,市役所の土木課や教育委員会でアルバイトをし たりして過しています.

森光 英夫 (資源, 昭41) 退職後始めた水彩画に専心中, この1月初の, 初の個展を開催.

白井 秀明(金属,昭41)37年入学-41年卒業の金加ミナヨイ会は元気にやっています.

森 邦彦(冶金,昭41)いろいろ思いつくまま、好きなことをやって結構忙しく暮らしています.

野津 能成(資源,昭42)水曜会に一度出席と思いつつも本年も都合により出られなくなりました,元気です.加藤 雅典(冶金,昭42)本年も昭和42年冶金学科卒関東在住者の会を4月17日に神田で催しました.次回は同期の本田さんが勤めて居られる台湾へ旅行する事になりました.

野瀬 正照(冶金,昭42)平成21年3月新日鐵化学㈱顧問の職を辞し心安らかに生活して居ります.

水野 昭宏(冶金,昭42)昨年より,日本規格協会の非常勤講師の一員として,広島で教えています.近藤先生の教えの一端でも伝えることが出来ればと思っています.

岩坂 光富(金属,昭42)この3月脚金属鉱山会嘱託を退任しました。写真等の趣味の勉強中です。水曜会の益々の発展、皆様方のご健勝をお祈り致します。

嶋田 高光(金属,昭42)65才の今,東京の自宅と山中湖のリゾートマンションとを行ったり来たりの自由な生活を過しています.趣味の木管楽器(fagott)を片手に!

武田 憲司(金属,昭42)中国雲南省昆明市在住です. 古河電工の中国合弁会社に勤務し電化鉄道用電車線の製造販売に従事しています.

三宅 正一(金属, 昭42) 退職して4年, 元気でゴルフ, 旅行を楽しんでおります.

井上 修 (資源, 昭43) 34才次男の花嫁募集活動が終 わればイン居予定です.

田中 莊一(資源,昭43) ご盛会を祈念いたしております.

森田 常路(資源、昭43) 可も無し不可も無くやってお

報

ります.

吉川 正昭(資源,昭43)新神戸のマンション(29階) と高知を行き来. 黒潮 CC で golf ができなくなれば神戸に移りますが、いまのところ、まだまだ活力がみなぎり、golf の良さを満喫しています。

黒木 正純 (冶金, 昭43) 健康にも恵まれ現役を継続中. 親や周囲の方々、大学にも感謝の日々です。

中川 正義(冶金,昭43)返送が遅れて申し訳ありません。約10年前にNKK(現JFE)を早期退職しISO(9001,14001)の審査員と経営コンサルタントを行っています。審査員は定年が70才なので、まだ5年間は現役です。

大杉 与史郎(金属, 昭43)本年5月で退職となり,以後フリーとなります。

高山 新司(金属,昭43)国際化で学生に貢献しようと 頑張っています.

福田 隆(金属,昭43)昨年、㈱日本製鋼所を退職し、 現在日本高圧力技術協会に勤務しており、材料規格の制 定、改正の仕事をしています、休日は中高校生の勉強を 教えており忙しくしています。

浅井 達雄(資源,昭44)メキシコヌエボレオン州立大学,モンテレー大学との国際連携教育をリードしています。 定年まで残り2年を切りました.

島内 義風(冶金,昭44)産学連携の仕事をしています. 土田 豊(冶金,昭44)出張と重なり欠席させていただきます.

平岡 裕(冶金,昭45)相変わらず現役で過しています.

田中 厚生(冶金, 昭45) 平成21年に自宅にて, 不動産 鑑定事務所を開設致しました.

萱原 徹男 (資源, 昭46) 39年間の会社員生活を卒業しまして、念願の文筆生活を始めています。

西村 正夫(資源,昭46)宮城高専(情報デザイン学科) 退職,単身赴任終了.つくば市自宅にてのんびり風景 画・肖像画をはじめ美術を基礎から学習中の年金生活者 です.

山田 範保(資源,昭46)北海道での生活は,満5年となります。道内資源はありますが、供給密度の問題や需要先とのマッチングなどがネックです。水曜会大会のご盛会を祈ります。

中下 新吉(冶金,昭46)2008年停年を迎え,現在晴耕雨読の生活です。年をとると「読」を重ねても身につかない事痛感しております。

廣内 鐵也(冶金,昭46) 今年7月からは非常勤(調査 役)として住金精圧に週3-4日働きます.

藤本 満雄(冶金,昭46)昨年,勤務先の役員定年により退任し,顧問となりました.これからの景気を心配しています.

鈴木 和夫(金属,昭46)昨年3月に退職して悠々自適です。

出浦 昇(資源,昭47)主人は台湾で働いています. (出浦内)

郷 文明(冶金、昭47)元気にまだ働いています。

内貴 治三(冶金,昭47)最近は早稲田大学の社会人向 け講座を受講して,奈良の仏教美術について勉強してい ます.

徳永 孝雄(金属,昭47)この3月に退職しました.

朝日 格(冶金,昭48)昨年より大阪・名古屋の担当 となり、懐かしい関西滞在時間が増えました。

川嵜 一博(金属, 昭48) 今年で還暦です。最近さらに 「時が過ぎゆくのは早い」と感じます。もう少し高周波 処理技術の熟成と開発に携わっていきたいと思っていま す。趣味のオーケストラでのオーボエ演奏も周囲の足を 引っ張らないよう頑張ればと思っていますが….

朝倉 俊弘(資源,昭49)長男が結婚し,長女に2人目の孫が生まれました.すっかりお爺ちゃんになってしまいました.

柏井 善夫(資源,昭49) 2010年1月から大成基礎設計 (株国際事業部に転勤し、(株オリエンタルコンサルタンツ GC(Grobal Consultants) 事業部に出向しています.

加納 雅彦(資源,昭49)建設業界は厳しい状況が続きますが頑張っております.

井口 義朗(資源,昭50)昨年8月に石油天然ガス金属鉱物資源機構から石油開発情報センターに出向しています。定年も近いですが石油天然ガスの探査・開発業務に精を出しています。

日名 英司 (冶金, 昭50) 昨年 6 月に JFE スチール(株) を定年退職しました.

江阪 久雄(金属, 昭50) 転職して14年. 既に中堅以上ですが、やはり教えることは難しいものです. 特に研究と教育のバランスは難しいです.

藤尾 裕章 (金属, 昭50) 現在, 台北に駐在中です.

丸岡 邦明 (冶金, 昭51) 大学から高専に移って2年目 に入りました.

楠井 潤(金属, 昭51) 出向先のフランスから3年7ヶ月ぶりに帰国し, 大阪で働いています.

山本 徳和 (金属, 昭51) 照射損傷の研究をしています. 対象は核融合炉や先進原子炉の構造材料です.

増田 剛志 (資源, 昭52) 昨年は, 生産量が激減・激増 しその対応に追われ大変でした.

大寺 克昌 (冶金, 昭53) 昨年3月初めて入院を経験しました。現在はほぼ快復しました。健康第一です。

谷村 晶夫(金属,昭53)昨年7月本社・開発企画部より埼玉・知的財産部に異動し,特許関係の仕事に携わっています。昨年 盛研の関東在住の方の集いにて.卒業

以来の懐かしい再会で楽しい同窓会に2,3度参加しました。

竹士 伊知郎(冶金, 昭54) 国内の"鉄鋼業"のゆく末を見届けたいと思うこの頃です。

迫田 章人(金属, 昭54) 御苦労さまです。

藤本 良一(金属, 昭54) 元気でやっています. ちょっと太り気味です. 94 kg

矢内 雅造(金属, 昭54) 大きな時代の荒波の中, ふんばってます.

北村 公亮 (資源, 昭55) 100年のブランドを維持すること. 人を介して品質を保証することの難しさを噛みしめながらの毎日です.

須川 壮己(資源,昭55)出向先から三井物産に戻りました。次の展開への仕込みを行っています。

道本 龍彦(冶金、昭55)第1種放射線取扱主任者の資格を取得しました。とても難しい国家試験でしたが、なんとか合格できました。国家試験合格後は厳しい実習中心の講習が課せられました。50才を過ぎてからの私にはかなりつらいものがありました。

竹川 禎信(金属,昭55)最近は住宅.ビル用のエネルギーマネジメントシステムについて取り組んでいます.少しでも CO。削減出来ればと考えています.

寺西 務(金属, 昭55)平成22年11月2日寺西医院開 院しました.

森田 健一(金属, 昭55) 親父介護の為, 大阪市阿倍野 区の実家で暮らしております.

和田 典巳(金属, 昭55) 圧板部長をしています. 能率 UP. コストダウンに頑張っています.

及川 初彦(冶金,昭56)グローバル化と不況の中,原 点に戻り頑張っています.

宇都 久隆 (資源, 昭57) 海外出張 (予定) につき欠席 させて下さい.

喜多 隆介(金属, 昭57) 相変わらず酸化物超伝道薄膜 材料の研究を行っています.

熊澤 輝久(資源、昭58)現在 Thailand 勤務中に付欠 席させて頂きます.

吉留 良史(資源、昭58)昨年11月よりジャカルタの Kangean Energy Indonesia 社に赴任中です。

小山 大祐(金属,昭58)大型民間航空エンジンの生産 が本格化します。日本の役割が大きくなって行く時代に なりました。

汲川 雅一(金属, 昭58) 在米7年後に, 現在の勤務先であるフィリップスルミレッズ (LED 製造メーカー) に転職しました. 最近の省エネ, エコもあり LED 照明 関連ビジネスに忙しくしています.

竹内 正(金属, 昭58) 多くの方々へ多大なご迷惑を おかけして申し訳ございません. あと10年, クルマの信 頼性の確保に対し、微力ながら尽くして参りたいと思っています。

田中 晶 (金属, 昭58) 本年3月より東京高専に奉職 しております。

湊 万寿男(金属, 昭58) 昨年の減産がうそのように回復しておりますが、いつまで続くことやら.

北河 久和(金属, 昭59) 8年間の本社(東京) 勤務を終え, 製鐵所に戻りました。モノづくりに励んでおります。

模田 顕 (金属, 昭59) 東京の本社に転勤しました. 工藤 宗輔 (金属, 昭60) 米国駐在から帰国して1年が 過ぎましたが, 日本経済の混迷は深いと感じます. 数年 後には日本国内での求人は激減するのでは, と危惧して います.

木村 得彦(金属,昭61) この3月にやっと家を建てました。すぐに転勤ということがなければいいのですが….田中 章夫(金属,昭61) 今は参考書の校正の仕事をしています。

村上 裕道(資源,昭62) 現在名古屋大学に出向しております。20数年ぶりのキャンパス生活はやはり新鮮で,よいものですね。

鳥居 健(金属, 昭62) 福井に転勤して5年経ちました。電子部品の製品環境情報(RoHS 指令, REACH 規制等)の担当業務をしております。

古澤 光一(金属, 昭62) 4年間のシリコンバレー勤務を終えて、日本に戻って参りました。

長谷川 玉絵(資源、昭63) オーストラリア在住です. 田畑 仁(金属、昭63) 来年こそは大会に参加させていただきたいと思っております. 益々のご発展を祈念しております.

岡部 徹(金属, 昭63) 未来材料: チタン・レアメタルの研究, 頑張っています.

辻本 宏史(金属,昭63)昨年8月より阿倍野橋支店で 副支店長として勤務しております。お近くにお越しの際 には是非お立寄り下さい。

中島 俊明(金属, 昭63) 相変わらずです.

木成 寿秀 (資源,平1) インドネシア・カリマンタン 島での赴任も3年目となりました.

鈴木 薫(資源,平1) 開発途上国のエネルギー開発 の仕事をしています.

吉房 宏之(資源,平1)6年間の中国・上海での駐在 生活を終えこの3月に帰国しました.

髙浜 義行(金属, 平1) とりあえず, 生きています.

中森 英行(金属,平1)水曜会のあと同期同窓会を開いて旧交をあたためます,楽しみです.

西尾 裕司(金属,平1) 3歳からの非抜歯予防矯正に 取り組んでいます。「千里中央にしお歯科」のホームペ ージを一度御覧下さい.

宮本 敏明(金属,平1)10月から配置がえになりました

山本 健一(金属,平1)会社の近くに引越しました. 不況からの回復がなかなか進まない苦しい状況ながらも元気に頑張っております.今年から平成生まれの新人社員が入ってきます.随分年を取ったんだと実感しながらもまだまだ老けてはいられません.

辻本 雅巳(資源,平2) 大会の盛会を祈念しております.

中野 博志(資源、平2)現在は北九州の近くの苅田 (かんだ) 町で、老朽化化学兵器無害化処理業務で長期 出張中です、元気に頑張っています。

黒川 八寿男(金属,平2)最近,体力の衰えを感じ,ウォーキングをはじめました.今まで,どこに行くのも車を使っていましたが,時間のある時は極力歩くようにしています.これもある種の"エコ"でしょうか.

松井 巌(金属,平2) 今のところ,こういう行事には全く興味が持てません.「社会的立場における敗北者」としての立場の自分は、それが一番お似合いだと思います。またそれがこれからの子供達のためにもつながると思います。(「敗者は去るのみ! | の実践)

中内 啓雄(資源,平3) 桂キャンパスに移られてから は少々足が遠のいた気がします. 大会の成功をお祈り致 します.

上西 朗弘(金属,平4)日々新しい何かを創り出すために努力しています。

座間 悟(金属,平4)会社ではめっき関係の仕事を しています。

藤波 智仁(資源,平5) 転職をしました. 現在の所属は、国際石油開発帝石(INPEX)です.

神谷 岳(資源、平6)新規事業のネタを求めて国内 外の研究室の巡礼をしております.

佐藤 彰洋(金属, 平6)技術士(金属)取得しました. 矢野 尊之(金属, 平6)三洋電機を退職,FDKに転職となりました. (2010.1.12付)心機一転,新会社で頑張っていきます. 今後とも, どうぞ宜しくお願い申し上げます.

西 孝文(資源、平7)ソニー(株)から出向中の子会社で課長を任され、忙しくしております.

藤井 秀樹(資源、平7)外務省へ出向中で4月からルクセンブルグ大使館に赴任しております.

高瀬 嗣郎 (資源, 平10) もうすぐ入籍してから1年が経ちます. 秋には家族が1人増える予定(?)です. 仕事も家庭も頑張っていきたいと思っています.

松井 雅樹 (物理工, 平11) 海外出張中で出席出来ません. 案内ありがとうございました.

小崎 隆(地球工,平12)ご無沙汰しております. 現在,名門会家庭教師センターにて家庭教師紹介の仕事をしております. お子様やお知り合いの方で優秀な家庭教師をお探しでしたらご連絡下さい.

渡邉 哲平(物理工,平15)金属熱処理を担当しています. 先生方の授業を思い返す日々です.

井上 祐輔(地球工,平16)電気メーカーの営業担当として日々精進しています.

山本 健太 (地球工, 平16) 上関原子力発電所建設を目指して、日々業務に邁進しております。

若月 孝夫(地球工,平16)つくばで国際宇宙ステーションの運用管制,装置開発等を実施しています.

佐野 光 (物理工, 平16) 連絡が遅くなり申し訳ございません. 別途 e-mail にて黒川先生に出席の旨, ご連絡させていただいております. ポスドクとして論文数をかせごうと実験にいそしんでおりますが, なかなか成果が出ません. テーマは Li 電池の金属負極です.

耒 順秋 (物理工, 平17) 昨年9月に硫酸課操業担当 となりました. 昨年8月に入籍致しました.

藤本 真裕(物理工,平17)なんとか元気でやっております。

宮崎 明彦 (物理工、平17) 2009/2~転職しました。

丸本 大介(地球工,平18)卒業2年間は"地震,津波, 火山による災害を防ぐため,有益な情報を適切なタイミングでいかに国民に提供していくか"ということをテーマとする部署に従事していました.

宮川 歩夢 (地球工, 平18) 博士号取得に向けてがんばっています!

小林 正幸 (地球工, 平19) 公私ともにがんばっています!

森 健史(地球工, 平19) シャープ, ソーラーシステム事業本部に勤務.

大野 功太郎(物理工,平19)名古屋の生活にも慣れ, 鐵作りに集中しております.

小庄 孝志 (物理工, 平19) おかげさまで、社会人としての1年目を無事終えることが出来ました。今後、何かとお世話になることもあるかと思いますので、よろしくお願い致します。 会のますますの御発展をお祈り致します。

中島 信也(物理工,平19) ベネズエラ在勤です.(姉) 松長 剛(社会基盤博士,平20) 病気を患い,大学へ行く機会がめっきり減りましたが,元気になってまた顔を出せたらと考えています.

坂本 真之(物理工, 平20) 今年, 新社会人となりました.

小山 達也 (物理工, 平21) 早くも社会人 2 年生となり, 「光陰矢の如し」を痛感しております. 少しでも早く, 新人としての甘えを捨て、先人達に近付けるよう一日一 日を大事にがんばっていきたいと思います。

髙木 健(物理工, 平21) 折角なのですが都合が悪いため、欠席させていただきます。またお誘い下さい。

樺島 智大(地球工, 平22) もうすぐ研修が終わりそうです. 何とか頑張っています.

越後 拓海(物理工,平22)会社も良い人ばかりで自分の希望部署に入れ元気で頑張ってとのことです。今回は 残念ながら欠席させて頂きます。すいません。(母)

田中 範之(物理工,平22) 只今,新人研修中で,あちこち飛び回っています.本当に落ちつけるのは,海外研修が終わる年末になるでしょう.

三嶋 浩和(物理工,平22)新しい環境での学習ですが,順調です.

奥 健夫(元教官)マイペースで太陽電池をやっております。

小岩 昌宏 (元教官) 6月4日~18日の間, アメリカへ しています.

旅行しますので、水曜会大会は残念ながら欠席します. 段野 勝(元教官)旅行など楽しみ、元気にしています.

田村 剛三郎 (元教官) 水曜会ご案内をいただきありが とうございます. 今回は出席出来ませんがまた機会があればと思います.

港 種雄(元教官) セキツイキョウサク症で手術,年 とともに腰・脚の痛みで歩くのに難渋しています. ご出 席の皆様によろしくお伝え下さい.

森 英嗣(元教官)最近は高校を訪問して出前授業を 行う事も多くなりました、大学での研究の魅力を伝える 事ができ楽しくやっております.

山岡 幸男(元教官)韓国での技術指導と日本での拡販活動のため休日も Report 作りの時もあり多忙です. 欠席としました.

山口 正治 (元教官) 元気で第2の人生を大いに enjoy しています.

平 成 22 年 3 月 卒 業 者 名 簿

旧資源系

学部卒業者

氏		名	l	研究論文題目	就 職 先
ジオフィジ (現 応用地球					
今	村	尚	人	人工電流源を用いた海底熱水鉱床の電磁探査に関する研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
大	畑	朋	也	Pearson近似による不等間隔格子を用いた津波伝播シミュレーションに関する研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
岡	本	京	祐	Coda-Qと弾性体に働く応力との関係	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
尾	崎	裕	介	自然電位法を用いた地下水流動解析のための2次元数値 計算法の開発とその適用	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
地質工学分 (現 環境資源:		ム工学	分野)		
石	塚	師	也	干渉SARで検出された地表変動を用いた断層形状解析 手法の開発	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
角	野	弘	明	シリカナノパーティクルの原油の濡れ性に及ぼす影響に 関する実験的研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
増	井	玲!	夬那	熱水鉱床探査における移動式MEMS型重力計の可能性	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
<u></u> 山	邉	浩	立	二相系格子ボルツマン法による原油流動性に対する地震 波の影響の検討	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
地殼開発工	学分	野			
青	柳	和	平	真三軸圧縮試験によるボアホールブレイクアウト発生実 験	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
芦	田	彬	久	水平多層構造の高浸透率層強制閉塞による掃攻効率改善 について	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
寺	井		周	MS-P理論に基づく貯留岩の残留流体飽和率評価について	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
西	山	太	弦	X線CTを用いた三軸圧縮下における岩石破壊過程の可 視化	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
長名	谷川	佳	大	種々の岩石の吸着等温線	(株) ワコールホールディン グス
ジオメカト (現 計測評価					
梅	澤	成	之	パルスレーザー励起超音波による剥離上部の振動挙動に ついて	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
窪	田	まる	ど華	交流磁化特性に基づく鋼線材の靭性の非破壊評価	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
金	銅	敬二	二郎	物質流動可視化のためのキャパシタンスCTシステムの 開発	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
松	尾	知	明	トンネル覆工背面の空洞が覆工耐力に及ぼす影響の検討	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
地殼環境工	学講座	莝		
竹	内	心	岩盤空洞周辺地下水の移流・分散解析におけるパラメータの同定について	京都大学大学院 (修士課程進学)
宫	地	誠 聡	沿岸海域における岩盤空洞周辺地下水の長期水質挙動予 測について	京都大学大学院 (修士課程進学)
山	村	創	岩盤注入システムの合理化のための亀裂充填メカニズム について	京都大学大学院 (修士課程進学)
資源エネルギー	ーシステ	ム学分野		
北	Ш	航	H ₂ Sハイドレートの生成・分解挙動	京都大学大学院 (修士課程進学)
住	江	宏 幸	オクタノヒドロキサム酸を用いたへマタイトの浮選に関 する基礎的研究	京都大学大学院 (修士課程進学)
平	嶋	芙 美	ナノポーラスAuを基板とする電析Coの磁気特性	京都大学大学院 (修士課程進学)
山	崎	新	繰り返し圧縮応力を供したWesterly花崗岩内のクラック進展	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		
北	村	直 也	マグネシウム合金板における種々の負荷経路下での除荷 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)
土	井	良 太	高温固体面に衝突する液滴変形挙動の力学的相似性	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
師	井	直 紀	高品質電縫鋼管ロール成形プロセスの開発	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
李		泰行	加熱固体平板への衝突水膜噴流に関する数値解析	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	コセシン	ング分野		
Kw	on, Hy	ruk Joon	メタンハイドレートの結晶放置時間による生成時間への 変化	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
西	原	大 輝	マグネシウムにおけるH, Si粒界偏析の第一原理計算に よる解析	京都大学大学院エネルギー 科学研究科 (修士課程進学)
横	田	昌 志	高温メタン発酵におけるNaCl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)

修士課程修了者

氏		名		研究論 文題目	就 職 先
ジオフィジ (現 応用地球					
大	Ш	恵	理	微小セラミック球による電磁波散乱を用いた輻射熱抑制 効果の研究	パナソニック電工(株)
田	中		暁	起震機構造及び浅部地下構造の人工地震波に与える影響 の研究	(独)石油天然ガス・金属鉱 物資源機構
Щ	崎	鐘	史	JJY標準電波を用いた浅層電磁探査小型装置の開発研究	国際石油開発帝石(株)

氏		名		研 究 論 文 題 目	就 職 先
地質工学分 (現 環境資源:		ム工学	分野)		
樺	島	智	大	MPS法による水一油—鉱物界面の挙動解析	CTC 伊藤忠テクノソリュ ーションズ(株)
黒	田	佳	宏	ジオリアクターによる炭酸塩鉱物沈殿現象と透水性変化 に関する研究	国際石油開発帝石(株)
中	岡	健	_	二相系格子ボルツマン法によるCO2マイクロバブル発生 メカニズムに関する研究	国際石油開発帝石(株)
仲	田	典	弘	Virtual world in Geophysics; synthesized data by interferometry and simulation	京都大学大学院工学研究科 (博士後期課程進学)
山	下	佳	彦	逆断層活動にともなう斜面崩壊現象に関するアナログモ デル実験	石油資源開発(株)
地殼開発工	学分	野			
	谷	敏	記	CO ₂ 地中貯留における圧入CO ₂ 流動挙動のキャピラリー 数依存性に関する研究	JX 日鉱日石開発(株)
岡	島	拓	郎	岩石の弾性定数異方性の影響因子に関する研究	石油資源開発(株)
小	Ш		威	岩石の吸脱着特性の定式化と微細間隙構造の評価	丸紅(株)
佐	藤	亮	介	真三軸圧縮試験によるボアホールブレイクアウトの発生 条件の検討	(独)石油天然ガス・金属鉱 物資源機構
ジオメカト					
百	野	浩	_	レーザー励起低周波振動を利用したはく離状欠陥の評価 に関する研究	(博士課程進学)
地殼環境工	学講	座			
田	中	太	_	岩盤空洞の気密性評価に関する研究	国際石油開発帝石(株)
堀	部	修	平	亀裂性岩盤に対するフラクチャーシーリングシステムの 合理化に関する研究	日本生命保険相互(株)
前	田	侑	里	地球統計手法を用いた岩盤の水理地質モデル構築法に関する研究	石油資源開発(株)
資源エネルギー	-シス ⁻	テム学	分野		
	Л			Magnetic and mechanical properties of Co-Cu alloy films processed by electrodeposition (電析法により作製されたCo-Cu合金薄膜の磁気・力学特性)	トヨタ自動車(株)
林		健力	太郎	Microscopic observations and discussions about the growth of gas hydrate films formed at gas/liquid interface (気液界面に生成するガスハイドレート膜の成長挙動に関する考察)	(株)京都製作所
渡	邊	耕	太	Characteristics of microcrack development in granite during fatigue process (マイクロクラックの進展からみた花崗岩の疲労破壊過程)	(株) 島津製作所
資源エネルギー	-プロ ⁻	セス学	分野		
越	智	啓	介	Inelastic Deformation Characteristics during Unloading in a Magnesium Alloy Sheet	新日本製鐵(株)
久	保	雅	寛	Numerical and Experimental Study of Transport Phenomena of a Solid Particle in Periodic Pipe Flows	新日本製鐵(株)
佐	藤	雄	介	Numerical Study of Heat Transfer Characteristics of a Planar Water Jet Impinging on a Hot Substrate	三菱重工業(株)
			喜	Finite Element Analysis of Roll Forming Process to	三菱商事(株)

氏	\$	3	研究論文題目	就 職 先
ミネラルプロ	1セシング	分野		
越	後 拓	海	Interfacial phenomena in micro-granulation of starch using pulse-jet drying system (パルスジェット乾燥法によるデンプンの微粒化における界面現象)	日立造船(株)
中	西	段貝	Fundamental Studies on Formation/Dissociation Behaviors of Mixed Gas Hydrates (混合ガスハイドレートの生成・分解挙動に関する基礎研究)	電源開発(株)
古	川敏	之	Effect of Lattice Strain on the Interaction between Nanoporous Metals and Hydrogen(ナノポーラス構造により導入された格子ひずみによる金属-水素反応への影響)	電源開発(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)		
大 槻 敏	格子ボルツマン法と個別要素法を用いた固液二相ハイ ブリッドシミュレーションの資源工学分野への応用	(独)石油天然ガス・金属鉱 物資源機構(JOGMEC)
地殼開発工学分野		
清水浩之	Distinct element modeling for fundamental rock fracturing and application to hydraulic fracturing (粒状体個別要素法による岩石破壊現象の基礎的検討および水圧破砕の破壊過程に関する研究)	(独)日本原子力研究開発機 構
ジオメカトロニクス分野 (現 計測評価工学分野)		
岡 野 法 之		(財)鉄道総合技術研究所
地殼環境工学講座		
Mohd Ashraf bin Mohamad Ismail	Study on hydrogeological modeling and evaluation of groundwater behaviors in fractured rock mass	University Science of Malaysia

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 環境資源システムエ学分野)				
大 槻 敏	格子ボルツマン法と個別要素法を用いた固液二相ハイ ブリッドシミュレーションの資源工学分野への応用	松岡俊文	平成22年 3 月23日	
地殼開発工学分野				
清 水 浩 之	Distinct element modeling for fundamental rock fracturing and application to hydraulic fracturing (粒状体個別要素法による岩石破壊現象の基礎的検討および水圧破砕の破壊過程に関する研究)	石 田 毅	平成22年 3 月23日	
地殼環境工学講座				
Mohd Ashraf bin Mohamad Ismail	Study on hydrogeological modeling and evaluation of groundwater behaviors in fractured rock mass	青 木 謙 治	平成22年 3 月23日	

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					
河	П	智	也	リチウムイオン電池反応における活物質の内部構造変化 のその場観察	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
桑	原	康	輔	シリケイト浴を用いたマグネシウム陽極酸化の研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
孫		逢	乾	AgバルクとSn薄膜電極へのLi挿入・脱離に伴う電位変化	米国コロンビア大学 (修士課程進学)
高	田	佳	明	Al-Mg-Si系合金におけるCuの添加効果	京都大学大学院エネルギー 化学研究科(修士課程進学)
前	田	恭	兵	金属ナノ粒子分散ガラスの電気伝導性と熱伝導性	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			
有	澤	周	平	回転電極を用いたチタンの平滑電析	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
大	西	崇	之	バリウムジルコネートを電解質とする燃料電池の酸素極 材料の探索	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
中	島	孝	仁	りん酸溶液からの LaPO4 の合成と Sr ドープ量調査および EuPO4 の水素還元によるプロトン導入の可能性調査	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
村	田		有	Zn-Sn-Sb 系および Zn-Sn-P-Sb 系状態図の作成	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
プロセス設(現 物質情報					
岩	崎	寛	之	ウルツ鉱型炭窒化ホウ素の固溶限の理論計算	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
Л	崎	玄	勢	立方晶炭窒化ホウ素の固溶限に対する熱膨張効果	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
相	島	光フ	太郎	小型全反射蛍光X線分析装置を用いる水銀定量法の検討	京都大学大学院人間・環境 学研究科 (修士課程進学)
三	嶋	浩	和	六方晶炭窒化ホウ素の固溶限に対する圧力効果の第一原 理計算	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
日	下	宗	之	Pt-Rh合金ナノ粒子の安定性に対する格子振動効果	日本システムバリュー(株)
宮	下	裕	行	微量元素分析法の基礎研究	ベルグアース(株)
マイクロ材 (現 ナノ構)			;		
谷	П	康	晴	FCC系耐熱合金におけるクリープ損傷の陽電子消滅測定	 京都大学大学院農学研究科 (修士課程進学)
中	Ш		涉	Al過飽和合金電極を用いた相分離によるAl/ITO接触抵 抗の低減	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
浜	田	知	和	B添加9Cr耐熱鋼のクリープ強化因子の陽電子消滅法による研究	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
古	谷	真	_	マルテンサイト鋼の焼き戻し過程における格子欠陥回復 挙動	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
山	本	将	貴	Cu薄膜中のナノ双晶形成に及ぼす基板の影響	 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
先端材料物	性学	分野	,		
太	田		靖	SOI端面へのAu蒸着によるナノギャップ作製	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
桑	田	真	成	Inナノ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)
歳	森	悠	人	炭素蒸着Cu(111)面のSTM観察	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
福	田	直	樹	液体合金ナノブリッジのコンダクタンス	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
山	内	_	正	HCP金属ナノ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)
量子材料学	分野	ζ			
恵	美	雄	_	ハイドロキシアパタイト中のSiドーパントの局所構造	 京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
片	山	翔	太	PLD法による岩塩型ZnO:Mg薄膜の作製と評価	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
設	楽	_	希	Zn添加ハイドロキシアパタイトの合成および化学組成 評価	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
早	田	義	人	ZnSnP2におけるドーパントの電子状態	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
山	本	周	平	TiO2-SnO2系平衡状態図の第一原理計算	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
名	和	亮	輔	Ga2O3-Al2O3系固溶体の合成と評価	(株)アルトナー
結晶物性工	学分	野			
木	岡	現-	一郎	L12型金属間化合物Co3Tiの転位の分解様式と低温異常 強化機構	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
齌	藤	隆-	一郎	Ce添加La2Ni7水素吸蔵合金の結晶構造と水素吸蔵特性	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
永	野	伸	次	CrB2の常磁性-反強磁性相転移に伴う弾性異常	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
藤	村	和	樹	TiAlマイクロピラーの圧縮変形挙動	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
横	林	秀	幸	サーモリフレクタンス法による多相組織を有する熱電材料の異相界面熱抵抗の可視化	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
マセセ・タ	イタス・	ニャム	ワロ	ペロブスカイト型固体電解質を用いた全固体リチウム二 次電池の電極/電解質界面微細構造	京都大学大学院人間·環境 学研究科(修士課程進学)
構造物性学	分野	;			
樫	岡	大	輔	純アルミニウムの超強加工圧延集合組織	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
柴	田	航	佑	超微細結晶粒IF鋼の二次加工特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)
高	辻	賢	寛	Ni における高集積cube方位多結晶体の圧延変形と再結 晶	今治造船(株)
大	道	晶	平	中炭素鋼における超微細粒オーステナイトから生じる相 変態生成物の組織形態	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
向	原	行	洋	超微細粒Alにおける引張変形挙動の光学的全視野ひずみ 測定法を用いた解析	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)

458 会 報

氏		名		研 究 論 文 題 目	就 職 先
先端材料機	能学	分野	;		
内	山	真	明	GA鋼板コーティング層の多重破壊進展現象	日新製鋼(株)
竹	下	浩	樹	SX-GISAXSによるキャップされたGeナノドットの解析	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
財	前	直	樹	Bi2223フィラメント系超伝導テープに おける、破壊フィラメント近傍の有限要素応力解析	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
下	Ш	大	和	引張負荷ひずみ下におけるDyBCOコーテッドコンダク ターの臨界電流およびn値変化	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
山	下	喬	明	Zr-Pd金属ガラスからの準結晶晶出過程	東京大学大学院 (修士課程進学)
材料物理分		野)			
石	田	雅	俊	Fe3Mo3Nの極低温電気抵抗測定	 京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
伊	藤	祥	太	遍歴電子磁性体YMn2の体積効果	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
梅	本	康	記	ηカーバイド構造を持つ炭化物の合成と物性	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
奥	村		翔	LaMnSbOの合成とその物性	新日本工機(株)
清	水	創	太	遷移金属酸化物BixV8O16の熱電特性	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
柳		翔	吾	捩り/捩り戻し加工によるAl合金の微細組織変化	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	;			
石	井	尚	樹	ニトロフェニル基終端化シリコンの近接場光パターニン グ	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
木	下	寛	也	還元拡散法により作製したCu-Sn金属間化合物膜のリチウムイオン電池負極特性	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
東	野	孝	浩	走査プローブリソグラフィーによるITO基板上への金ナ ノ粒子アレイの作製	京都大学大学院工学研究科 (修士課程進学)
細	沼	貴	之	ケルビンプローブ原子間力顕微鏡による有機カルコゲン 単分子膜の界面電子物性評価	東京大学大学院工学系研究 科(修士課程進学)
李		炅	勲	フェロセン誘導体 – 芳香族分子二層膜の作製	東京大学大学院工学系研究 科(修士課程進学)
エネルギー	社会:	工学分	分野		
遠	藤		晋	酸化亜鉛多層膜の磁化特性とその応用に関する研究	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
栗	原	雄	太	メカニカルミリングが製鋼スラグの水中への成分溶出に 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)
砂	Щ	昴	之	メカニカルミリングを施した金属酸化物の水との反応性	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
田	村	壽	規	反応スパッタリングにより作製した酸化チタンおよび酸 化亜鉛薄膜の光学特性とNOx分解能	京都大学大学院農学研究科 (修士課程進学)
西	村	徳	真	光触媒によるセルロース分解反応に関する研究	KCCSマネジメント(KCMC) コンサルティング

氏		名	l	研究論文題目	就 職 先
材料プロセ	2ス科	学分	野		
西	尾	峻	_	有機溶媒からのAl-Zn-Mn合金電析	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
藤	森	直	子	液相還元法による金属微粒子作製に関する研究	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
松	本	尚	人	塩基性浴を用いるCd-Te電析の温度依存性	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
元	波		洸	ジメチルスルホン浴からの Al 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)
餘!	野木		葵	種々の亜鉛電解浴のサイクリックボルタンメトリー	
プロセス熱	化学	分野	5		
上	山		亮	廃アルカリ電池の還元反応	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
位		_	平	FeO-P ₂ O ₅ -Li ₂ O系の相平衡	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
小	山	祐	司	廃アルカリ電池からの金属マンガンの回収	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
寺	澤	壮	_	LiPO3-FePO4系の相平衡	京都大学大学院エネルギー 科学研究科 (修士課程進学)
長	尾	優	志	Fe-P-O系の相平衡	京都大学大学院エネルギー 科学研究科(修士課程進学)
成	子	彰	規	Li ₃ PO ₄ -Li ₄ P ₂ O ₇ -LiFePO ₄ 系の3相共存域中のFeO活量	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					
河	盛		誠	Co-Ni およびFe-Ni 2 元系における磁性ナノ粒子および ナノファイバー作製の研究	京都大学大学院工学研究科 (博士後期課程進学)
鈴	木	健	人	6000系アルミニウム合金の集合組織の形成に関する研究	JFE スチール (株)
高	嶋	章	伍	FePd/Fe磁性薄膜におけるL10規則相のc軸配向制御	住友金属工業(株)
劉			斐	フェイズフィールド法による金属ガラスのドメイン形成シミュレーション	パナソニック(株)
表面処理エ	学分	野			
奥	村	友	輔	中温型燃料電池の実現を目指したBaZrO3上への無電解めっきなどによる電極作製方法の探索	JFE スチール (株)
片	上	貴	文	水溶液ならびに高温溶融塩からのBaZrO3の析出挙動	(株)大阪真空機器製作所
田 	中	範	之	Zn-Sn-P三元系状態図の作成とZnSnP2半導体の不定比 性調査および作製方法の検討	住友金属鉱山(株)

修士課程修了者

氏	氏 名				研究論文題目	就 職 先
プロセス (現 物質			分野 分野)			
į	弘		栄	介	焦電結晶を用いた小型高エネルギーX線源の開発	住友電気工業(株)
1	松	居		悠	第一原理計算に基づくPt-Fe系合金表面の構造と相安定 性の予測	古川スカイ(株)
1	松	谷		広	ポータブル型質量分析装置	三菱重工業(株)
Ī	Щ	本	知	央	鉄鋼スラグの化学状態と海水中での挙動	住友金属工業(株)
マイクロ (現 ナノ				;		
Î	高	橋	悠	祐	焼戻しマルテンサイト鋼の強化因子の陽電子消滅法による研究	新日本製鉄(株)
i	中	井	基	継	陽電子消滅法によるフェライト系耐熱鋼のクリープ損傷 の研究	スズキ(株)
7	本	橋	雄	介	SiC半導体用Ni/Al電極での界面伝導に与えるNi ₂ Si(Al) の物性の影響	(株)日本航空
先端材料	物	性学	分野	;		
1	後	藤	真	幸	HCP金属の単原子接点の研究	 アウトルックコンサルティ ング (株)
1	憍	本	修	平	Au/アルカンジチオール/Au接合の高バイアス破断	(株)イトクロ
<u>3</u>	平	山	隆	浩	Si酸化膜上へのGeの薄膜成長を用いたナノギャップ作製の試み	DOWAホールディングス(株)
Ź	水	上	祐	輔	金属単原子接点の電圧パルス伝播特性	西日本旅客鉄道(株)
量子材料	学:	分野	;			
	幾	Щ	佳	甫	Ga2O3の相安定性への添加元素効果の理論的検討	
1	憍	本		量	Nb系ペロブスカイト型リチウムイオン伝導体の構造解 析および物性評価	新日本製鐵(株)
j	増	本	直	高	ゼオライトの結晶構造と陽イオン交換に関する理論計算	住友商事(株)
Ä	杰		正	弘	第一原理計算による層状チタン酸化物の構造探索と層間 結合	京都大学大学院工学研究科 (博士後期課程進学)
結晶物性	ŧΙ:	学分	野			
-	大	島	真	宏	Co基超合金の高温強度特性に及ぼす添加元素の影響	住友金属工業(株)
í	後	藤	健	吾	外形拘束下におけるTiAl PST結晶の変形機構	住友電気工業(株)
1	憍	本		裕	第三元素を添加したMn4Si7チムニーラダー化合物の結 晶構造と熱電特性	千住金属工業(株)
1	憍	本	和プ	太郎	FCC/L12 2相耐熱超合金のクリープ組織形態に与える整合歪と運動転位の効果	京都大学大学院工学研究科 (博士後期課程進学)

氏 名			研究論 文題目	就職先	
先端材料	幾能学	分野	i		
新	井	貴	博	DyBCOコーテッドコンダクターの引張変形挙動および その臨界電流に及ぼす影響	シャープ(株)
柏	谷	悠	介	Zr基金属ガラスからの準結晶晶出過程	(株)大阪チタニウムテクノ ロジーズ
力	藤	真	行	InAsナノドットの被覆初期の構造変化	(株)JFE スチール
成	宮	洋	輝	GA鋼板コーティング層の変形破壊プロセス	新日本製鐵(株)
材料物理:)野)			
奥	江	政	晃	希土類化合物ErNi2Ge2の磁気異方性とメタ磁性	(株)神戸製鋼
中	村	惇	志	重い電子化合物Ce(Ru _{1-x} Rh _x) ₂ Si ₂ の圧力誘起量子相転移	関西電力(株)
松	対	孝	紀	Mo ₃ Sb ₇ における元素ドープの効果	キヤノン(株)
機能構築	学分野	,			
池	袋	哲	史	ケルビンプロープ原子間力顕微鏡による有機カルコゲン SAMの局所電子物性評価	(株)シマノ
上	. 西	成	卓	ニトロフェニル基終端化SAMの可視光励起反応	本田技研工業(株)
神	I II	雅	央	走査プロープリソグラフィによる金ナノ構造の作製とそ の光学特性	三洋電機(株)
趙	Ì	明	修	フェロセン誘導体―シリコン接合界面形成と電気化学	東京大学大学院工学系研究科 応用化学専攻(博士課程進学)
槊	瀬	功	造	イオン液体浴還元拡散法を用いたCu-Zn合金形成	トヨタ自動車(株)
エネルギー	-社会	工学分	分野		
官	木		和	金属とセルロースのメカニカルミリングとその熱処理	北海道旅客鉄道
藤	村	賢	太	現代における「ハレとケ」の環境評価分析	アクセンチュア
南	埜	良	太	関与物質総量(TMR)を用いた資源リサイクル評価	ヤンマー(株)
材料プロ・	セス科	学分	·野		
	泉		浩	ポリオール法による燃料電池用触媒作製における前駆体 溶液の影響	シャープ (株)
袿	父江	智	之	アルコール還元法による Pt 高坦持触媒の作製	(株)TKX
竹	中	和	己	ジメチルスルホン浴からの Al 合金電析	住友金属鉱山(株)
渡	部	勲	平	塩基性浴からの電析と熱処理による CdTe 薄膜の作製	三菱マテリアル(株)

氏		名		研究論文題目	就 職 先
プロセス熱化学分野					
伊	藤	靖	将	材料プロセスにおける炭素および硫黄の制御に関する研究	新日本製鐵(株)
稲	垣	貴	行	各種炭材から固体炭素中への浸炭に及ぼす灰分の影響	合同製鐵(株)
柿	沼	共	宏	炭素飽和Fe-C-Si系溶融合金中の酸素ポテンシャル	日新製鋼(株)
仁	井	谷	洋	ジルコニア固体電池による炭素飽和鉄中の低酸素ポテン シャル測定	新日本製鐵(株)

博士後期課程修了者

462

氏	氏 名			研 究 論 文 題 目	就職先
材料設計	C学分	野			
谷ノ内 勇 樹			樹	High Oxide-Ion Conductivity and Phase Transition of Doped Bismuth Vanadate	三菱マテリアル(株)
プロセス記 (現 物質情	设計学 報工学				
宮	内	宏	哉	金属複合化合物のX線化学状態定量分析法に関する基礎 研究	京都府中小企業技術センタ
国	村	伸	祐	高感度小型全反射蛍光X線分析装置の開発と応用	基礎科学特別研究員 ((独)理化学研究所基幹研究 所大森素形材工学研究室)
量子材料等	学分野				
大	塚	祐	$\vec{-}$	Nano-Scale Characterization for Interconnect Integration of ULSI Devices	(株)東レリサーチセンター
熊	谷		悠	Relationship between Atomic Arrangements and Electronic Structures of Selected 3d Transition-Metal Oxides by First Principles Calculations	特定研究員 (京都大学大学院工学研究科)
林		博	之	Structure and Magnetism of Mn-Doped γ -Ga ₂ O ₃	特定研究員 (京都大学大学院工学研究科)
エネルギー社会工学分野					
李		宣	烘	Photocatalysis and surface doping states of N-doped TiOx films prepared by reactive sputtering 反応スパッタリングによる窒素ドープ型酸化チタン光触媒薄膜の表面ドープ特性と光触媒能の評	SAMSUNG SDI CO., LTD

博士学位授与者 課程博士

氏	名		研	究	論	文	題	目		Ή	Ė	査	取得年月日	備	考
材料設計工学 谷ノ内 勇		High Phase Vanad	Tra	ansi	Ion tion	Con of D	duct	ivity a l Bismı	nd uth	松	原	英一郎	平成22年 3 月23日		

氏			名	研究論文題目	É	È	査	取得年月日	備	考
	プロセス設計学分野 (現 物質情報工学分野)									
宮	内	宏	哉	金属複合化合物のX線化学状態定量分 析法に関する基礎研究	河	合	潤	平成22年 3 月23日		
国	村	伸	祐	高感度小型全反射蛍光X線分析装置の 開発と応用	河	合	潤	平成21年 9 月24日		
量	2材料	学分	野							
大	塚	祐	二	Nano-Scale Characterization for Interconnect Integration of ULSI Devices	田	中	功	平成22年 3 月23日		
熊	谷		悠	Relationship between Atomic Arrangements and Electronic Structures of Selected 3d Transition- Metal Oxides by First Principles Calculations	田	中	功	平成22年 3 月23日		
林		博	之	Structure and Magnetism of Mn- Doped γ-Ga ₂ O ₃	田	中	功	平成22年 3 月23日		
エネ	レギー社	t会工 ^等	分野							
李		宣	烘	Photocatalysis and surface doping states of N-doped TiOx films prepared by reactive sputtering 反応スパッタリングによる窒素ドープ型酸化チタン光触媒薄膜の表面ドープ特性と光触媒能の評価	石	原	慶一	平成22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.

逝 去 会 員

(委

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.

平成21年11月2日	成瀬 光芳	昭17・冶
平成21年12月19日	北村 慶次	昭24・鉱
平成21年12月13日	長坂多喜男	昭22・冶
平成21年 7 月21日	松塚 健二	昭33・冶
平成21年 7 月21日 平成21年 9 月 9 日	藤部 郁雄	昭22・資源
平成21年10月21日	吉村善次	昭12・冶
平成21年7月	本石 保夫	昭47・資源
平成21年9月24日	久野 安夫	昭29・冶
平成22年2月15日	足立	昭24・鉱
平成21年11月15日	中尾智三郎	昭17・冶
平成19年9月1日	有賀 敏彦	昭17・冶
平成22年 2 月14日	広田 実	昭17・冶
平成21年11月 4 日	秦 瑛	昭37・冶
平成21年8月1日	関根 順司	昭23・鉱
平成21年8月	宮脇 悠	平17・材料
平成21年1月	永田 正男	昭14・冶
平成22年 2 月13日	菅野 齋	昭29新・冶
平成21年11月19日	弘田 文男	昭22・鉱
平成22年2月7日	小笠原武司	昭35・冶
平成22年3月6日	福蘭 致雄	昭25・冶
平成21年4月30日	竹内 正勝	昭20年9月・鉱
平成17年7月25日	木村 誠哉	元教官
平成21年7月23日	中捨克比古	昭46・冶
平成22年1月4日	武中 俊三	昭21・鉱
平成21年12月25日	高田保	昭46・金
平成22年2月4日	南嘉一	昭25・冶
平成21年 5 月24日	星野 幸二	昭28・冶
平成21年3万24日 平成21年12月	川島与志雄	昭26・鉱
平成21年12万 平成21年11月11日	川島子心雄 藤田 敏彦	昭24・冶
平成22年4月16日	増田 正孝	昭50・金
平成21年10月10日	林 稔	昭41・冶
平成22年1月	西村隆三郎	昭25・鉱
平成21年6月15日	五島 牧雄	昭42・金
平成21年7月9日	佐々木義夫	昭22・鉱
平成22年1月3日	寺田 孚	昭27・鉱
		名誉教授
平成22年 5 月21日	清水 譲介	昭27・鉱
平成21年10月2日	伴 誠二	昭33・冶

弘之

正義

義文

国華

猛

康

昭23・鉱

昭18・冶

昭27・冶

昭18・鉱

大8・採鉱

昭28・冶旧制

片寄

久芳

前田

宮崎

新保

姚

平成22年3月14日

平成22年4月5日

平成21年1月12日

昭和44年3月17日

平成22年8月8日

平成21年8月22日

平成22年7月17日	奥村 昌洋	昭19・冶
平成22年2月1日	百瀬 寛一	昭19・鉱
平成22年 5 月18日	片岡 隆昭	昭37・鉱
平成21年12月 2 日	吉川 丞一	昭13・採鉱
平成18年5月3日	佐々木博司	平 9 ・資源
平成21年4月4日	田嶋 英二	昭41・金
平成20年10月4日	古屋仲芳男	昭33・鉱

教室報告

<旧資源系>

ジオフィジクス分野→応用地球物理学分野 ジオメカトロニクス分野→計測評価工学分野 地質工学分野→都市社会工学専攻 ジオマネジメン ト講座環境資源システム工学分野 都市環境工学地殼環境工学講座→都市社会工学専攻 地殼環境工学講座

孝之

准教授に昇任

准教授 辞職

<旧金属系>

プロセス設計学分野→物質情報工学分野 マイクロ材料学分野→ナノ構造学分野 材料物理学分野→磁性物理学分野

濱

教員人事

<旧資源系> 平成22年2月1日

平成22年3月31日 定年退職 青木 謙治 平成22年3月31日 薛 自求 准助教 辞職 平成22年4月1日 袴田 昌高 助教に採用 平成22年6月1日 潤 西藤 准教授に昇任 社会基盤工学 応用力学講座へ 平成22年9月30日 准助教 辞職 上田 晃 <旧金属系> 平成22年1月1日 長谷川将克 准教授に昇任 平成22年1月18日 藤原 弘康 准教授 逝去 平成22年4月1日 助教に採用 杉田 一樹 平成22年4月1日 柴田 曉伸 助教に採用 平成22年4月1日 三宅 正男 助教に採用

田中

お詫び

平成22年9月30日

水曜会誌第24巻第2号327頁の教室報告教員人事に おいて、「平成21年3月31日 松田和博 助教(理学 研究科)に異動」とありましたが、「平成21年4月1 日 松田和博 准教授(理学研究科)に昇任」の間違 いでした。お詫びして訂正致します。

克志

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、独創性 をもつ著者の基礎研究または応用研究の成果、 技術の開発改良などを内容とするもの。
 - b. **報告** 現場の操業報告などに類するもので、 学術的に価値があると認められるもの.
 - c. 総説 特定の問題について普遍的に広い視野から解説し、その推移を知るうえに役立つもの.
 - d. 講座 特定の問題について掘り下げて解説し、 会員の啓蒙、再教育に役立つもの.
 - e. 資料 学問的あるいは技術的に価値のある内容を含み、会員の参考資料として役立つもの.
- (4) 論文,報告には英文表題のほかに100字前後の 英文概要を添付されたい.
- (5) 原稿の長さは必要な図・表を含めて次表に示すとおりとし、これを超える場合は必要経費を負担されたい。但し依頼原稿についてはその限りではない。なお、会誌 1 頁は図表のないときには 2,400字(25字×48行×2列)であり、表題および英文概要は刷上り1/4頁~1/2頁を要することを考慮されたい。

	分	類		制限ページ数				
論			文	会誌刷上り	6 頁以内			
報			告	会誌刷上り	6 頁以内			
総			説	会誌刷上り	10頁以内			
講			座	会誌刷上り	10頁以内			
資			料	会誌刷上り	4 頁以内			
各	種	記	事	会誌刷上り	4 頁以内			

- (6) 投稿に際しては本会規定の原稿用紙を使用し、 原稿整理カードを添付されたい.
- (7) 原稿の送付先はつぎのとおりとする. 〒606-8501 京都市左京区吉田本町 京都大学工学部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合わせ、または内容の修正を求めることがある.
- (10) 編集委員会は、用語ならびに体裁統一のため編 集係によって文意を変えない程度に投稿原稿の字 句の修正をすることがある.
- (11) 初校は著者にて行ない,第2校以降は編集委員が行う.初校における原文訂正の必要のないようとくに留意されたい.
- (12) 別刷については実費を負担されたい. 著者は, 著者校正と同時に別刷必要部数を申し出るものと する.

2. 原稿の書き方

- (1) 章・節などの区分はポイント・システムによる. すなわち,章に相当する1・緒言などは中央に2 行分をとり,節に相当する1・1実験方法などは 左端に書き,つぎの行より本文を書くようにする. また,項や目に相当する(1)試料などは左端に書き, 2字分あけて本文をつづける.
- (2) 図面は鮮明なものであること.刷上り図面の大きさは横幅でもって指定するものとするが,横幅は1段(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)
 - M.R. Taylor, R. S. Fidler and R. W. Smith: Metallurgical Trans., AIME. 2, [7], 1793-1798, (1971)

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、間に合われ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 22 年度水曜会誌編集委員

委員長 馬 渕 守 幹 事 田 畑 吉 計(会誌) 宇田 哲 也(広告) 委員 奥 村 英 之 辻 伸 泰 濱 孝 之 宇津木 慎 司 清 宮 木 戸 俊 郎 西 本 武 洋 雨 司 奥 介 別 所 昌 彦 川 分 康 博 安田 秀 幸 中根微裕 之 藤 原 宍 戸 逸 朗 上. 島 良 清 人

> 平成22年10月25日 印刷 平成22年10月30日 発行 編集兼 松 俊 文 圌 発 行 者 印刷者 小 林 生 男 日本印刷出版株式会社 大阪市福島区吉野1丁目2番7号 553-0006 電 話 大阪 (6441) 6594 (代) 大阪 (6443) 5815 FAX 水 京都大学工学部 発 行 所 京都市左京区吉田本町 606-8501 京都大学工学部8号館内

振替口座 京都 01090-8-26568 水曜会

振音口座 京都 01090-8-20008 水曜云 銀行口座 みずほ銀行出町支店 普通 1242526 水曜会 October 2010 CODEN: SUIYAA Vol. XXIV, No. 3

Suiyōkwai-Shi

TRANSACTIONS OF THE MINING AND METALLURGICAL ASSOCIATION KYOTO

CONTENTS

Memorial Lecture in the Annual Meeting of Sulyokwal	
The Introduction of CCS:CO ₂ Capture and	
Geological Storage for Our Low Carbon Society ··················Morihiro KURUSHIMA ····· 33	31
Current Status of Research and Development of	
Steel Products Contributing to Environmentally Harmonized Society ····Norio KATSUYAMA ····· 34	41
Forum	
Fabrication and Plastic Deformation of Microporous	
and Nanoporous Metals······ 35	59
Characterization of Local Deformation Behavior	
of Metallic Materials Using a Micro-Sized Specimen ·······Akinobu SHIBATA ····· 36	66
Positron Annihilation Studies of Free Volume Change	
in a Zr-Based Metallic Glass ·······Kazuki SUGITA ····· 37	70
Numerical Simulation of Failure Phenomenon Using a Particle Method	
Junichi TAKEKAWA 37	74
Enhanced Oil Recovery Resort to Brute Forces Between Atoms	78
Development of a Fabrication Process for Photonic Crystals	
at University of Illinois at Urbana-Champaign ·······················Masao MIYAKE ······ 38	82
Akimitsu TAKAGI, Detective Story Writer ························Masahiro KOIWA ······ 38	87
A revisit to songs of "Lake Biwa Elegy"	
and of "Mt. Fuji entirely Covered with Snow" ························Masahiro KOIWA ······ 39	95
The Matsushita Institute of Government and Management ··········Yoshio ATSUTA ····· 40	33
Current Studies in Laboratories 40	05
Suiyokwai Information 42	28
	_ ~

Kyoto University

Japan