2007 年 4 月 12 日

日本学術振興会先端研究拠点事業
「環境調和型アクティブメタルプロセスの開発」

JSPS Core to Core Program
“Development of Environmentally Sound Active Metal Processing”

コーディネーター：東京大学生産技術研究所 岡部 徹 准教授

報告書：06JSPS-09

報告内容：MIT における“The 3rd Workshop on Reactive Metal Processing”での
研究発表および研究交流

東京大学大学院工学系研究科
マテリアル工学専攻博士課程 3 年
岡部研究室所属　鄭　海燕（ゼン　ハイヤン）

はじめに

2007 年 3 月 2 日～3 日の 2 日間、米国マサチューセッツ工科大学（MIT）において行われた“The 3rd Workshop on Reactive Metal Processing”（第 3 回アクティブメタル・ワークショップ）での研究発表および研究交流について報告する。

本会議は、日本学術振興会先端研究拠点事業「環境調和型アクティブメタルプロセスの開発」の研究助成により、東京大学岡部研究室と MIT Sadoway 研究室を中核とする国際的な研究交流の一環として行われたものである。第 1 回ワークショップは 2006 年 3 月 17 日～19 日に MIT において行われ、第 2 回ワークショップは 2006 年 11 月 15 日～16 日に東京大学生産技術研究所において行われた。これまで、世界 7 カ国から、約 100 人の専門家、技術者、若手研究者が参加し、活性金属の製造プロセスに関する最前線の研究内容の講演が行われた。

今回の第 3 回ワークショップは、日本学術振興会の研究助成による最後の開催となり、世界 6 カ国から、当該分野の専門家および若手研究者約 40 名が集い、大盛況であった。第 1 回と同様に、MIT 側のオーガナイザーである Donald R. Sadoway 教授の特別な配慮により MIT の Lecture Hall、Von Hippel Room および MIT Museum が貸切られ、2 日間にわたって内容の濃い、充実した議論および交流が行われた。本ワークショップを通じて、最新の学術情報や極めて特殊な技術情報を交換し合えただけでなく、研究者同士の交友を深めるなど幅広い研究交流を推進することができた。最終日には、3 回にわたって行われたワークショップの成果を確認するとともに、2008 年 3 月に MIT で第 4 回ワークショップを開催すること、そして今後も継続的な研究協力・交流を行うことが決定された。

ワークショップ第 1 日目（講演会）

今回（第 3 回）のワークショップは、第 1 回、第 2 回と比較して講演数が倍増したため、初日の早朝より開始された。ワークショップはオーガナイザーである Sadoway 教授、岡部助教授（現 准教授）の開会の辞で幕を開け、午前 6 件、午後 6 件の講演が行われた。

はじめに、米国 Boston 大学の Uday B. Pal 教授により、固体酸化物膜を用いた活性金属の製造に関する講演が行われた。従来は燃料電池に使用される固体酸化物膜の酸化物イオン伝導性を利用して、金属酸化物の還元による活性金属の製造が可能であることを実験室規模で実証した独創的な研究であった。

豊橋科学技術大学の川上 正博教授からは、電解による溶融スラグからのシリコンの製造および溶融スラグ中における拡散係数の測定についての講演があった。Wagner の方程式および Arrhenius の方程式により電解系内部の拡散係数を決定したもので、シリコンの電解製造に対して大きな示唆を与える講演であった。

ノルウェー工科自然科学大学（NTNU）の Geir M. Haarberg 教授からは、持続的な発展が可能な電解精錬についての講演があった。その対象はアルミニウム、鉄、シリコン、チタンの広範囲にわたり、電解精錬による金属製造プロセスを開発している。そのほか、湖水を電解することで、酸素不足が深刻な琵琶湖の湖水に対して酸素供給を行うという研究発表も行われ、その学術的な価値の高さとともに新鮮な視点に対して、参加者から感動の声があがった。

京都大学宇田 哲也助教授（現 准教授）からは、室温溶融塩（TMHA-Tf_2N）中におけるチタン電極の電気化学的挙動についての講演があった。室温溶融塩中における電解は報告が少なく、新たな活性金属の製造法として注目を集めた。

ノルウェーSINTEF 社の Egil Skybakmoen 博士からは、SINTEF 社における電解技術に関する研究活動の現状が紹介された。ノルウェー工科自然科学大学と SINTEF 社に代表される、ノルウェー国内での産学連携の現状が報告され、その高い研究レベルが伺われた。

ノルウェーNorsk Titanium AS 社の Kevin Dring 博士からは、新しい電解プロセスによるチタン酸化物からのチタンおよびチタン合金製造に関する研究講演が行われ、種々の反応条件を変化させた実験結果が紹介された。酸化物を原料とするチタン製錬の研究は近年発展が目覚しく、革新的なプロセスの発展につながるブレイクスルーが予感された。

カナダ Dalhousie 大学の Georges J. Kipouros 教授からは、粉末冶金法による材料の製造から加工および応用について、マグネシウムを例として講演が行われた。幅広い分野に関する研究報告で、大変な勉強になった。

東京大学森田 一樹教授からは太陽電池級シリコンの精錬プロセスの熱力学についての講演が行われた。熱力学データの測定と解析を基に、高純度シリコン精錬の最適な精錬条件および問題点の検討が発表された。

中国の北京科技大学の朱 鴻民（Zhu Hongmin）教授からはマグネシウム、アルミニウム、シリコン、チタン、ニオブ、タンタル、ランタン、セリウム，ネオジムなどの活性金属の製錬および関連合金・ナノ材料の製造について説明が行われた。

ノルウェーSINTEF 社の Asbjorn Solheim 博士からは、アルミニウム電解における溶融相と壁面である固相との接触面の現象についての研究発表が行われた。この研究成果は、電解セルの設計に関して重要な知見であり、アルミニウム精錬をノルウェーの基幹産業としてより強固なものにするものと考えられる。

東京大学三宅 正男助手からは、ハイブリッド自動車用電池の回収プロセスの開発についての講演があり、新しい環境調和型のプロセスおよび解決すべき技術課題などが紹介され、今後の発展が期待された。

第 1 日目の最後の講演は、MIT の Donald R. Sadoway 教授から、電解法を使って月の表土から酸素を製造するプロセスに関する発表があった。その野心的なプロジェクトと研究内容については参加者から驚きの声があがった。

ワークショップ第 1 日目（ポスターセッションおよびバンケット）

講演会の後、大学院生らによるポスターセッションが開催された。11 件のポスターが Von Hippel Room 13-2137 に展示され、ワークショップに参加した研究者との活発な議論が行われた。東北大学の佐藤 修彰助教授（現 准教授）をはじめとする参加者からの鋭い質問を受け、大学院生やポスドクにとって大変よい勉強になっただけでなく、自分の研究をアピールし参加者同士の研究交流も行えたため、大変有意義であった。ポスター発表者は次のとおり。

京都大学 粟倉研究室

関本 英弘（修士課程）

今宿 晋（博士課程）、谷ノ内 勇樹（修士課程）、中川 英一（修士課程）
（上記 3 人は、ポスター掲示のみ）
東京大学 前田研究室
永井 崇（博士課程）、佐々木 秀顕（修士課程）
東京大学 岡部研究室
鄭 海燕（博士課程）、原田 正則（修士課程）、久保 淳一（修士課程）、
大井 泰史（修士課程）、堀家 千代子（修士課程）

研究交流バンケットは夕方から MIT Museum に移動して開催された。MIT Museum は、これまで MIT で行われてきた研究開発の歴史を、実物や模型を多く使って楽しくかつビジュアルに展示している優れた博物館である。今回は、Sadoway 教授の特別な配慮により、この博物館を貸切りで利用し同時にバンケット（研究交流会）を行うという幸運に恵まれた。バンケットには、本研究会の運営に協力した東京大学生産技術研究所の 3 人の事務スタッフも参加した。普段は研究者と事務スタッフが交流を持つ機会が少ないが、今回の活動を通じて多くの意見交換や交流を交わすこともでき、大変有意義であった。ワークショップの参加者が非常に多国籍であることを反映し、バンケットでは研究の話題だけではなく、様々な文化交流を行うことができたため、お互いの懇親を一層深めることができた。

ワークショップ第 2 日目（発表とキャンパスツアー）

ワークショップ第 2 日目（3 月 3 日）は大学院生・ポスドクらによる 17 件の発表が行われた。筆者にとって初めて知る分野の研究発表もあり、同じ世代の若手研究者と国境を越えて知り合うことができたのは、筆者にとって貴重な出会いであったと感謝している。以下、それぞれの発表内容を簡潔に列記する。

はじめに、東北大学竹田 修助手（現 助教、元岡部研博士課程学生）より、低級塩化物を用いたチタンの新しい製造プロセスの研究開発の一環として、溶融塩中での低級塩化物の合成プロセスに関する発表が行われた。Haarberg 研究室の Kristin Vasshaug 大学院生（博士課程）によりアルミニウム電解セル用炭素電極の消耗に関する研究発表があった。粟倉研究室の関本 英弘大学院生（修士課程）により、水素によりチタン酸化物からチタン合金を製造するプロセスの研究発表があった。岡部研究室の堀家 千代子大学院生（修士課程）からは、塩化剤によるプラチナの回収と分離に関する研究発表を行った。

Kipouros 研究室の Paul Burke 大学院生（修士課程）は、粉末冶金によるマグネシウム加工の研究発表を行い、岡部研究室の大井 泰史大学院生（修士課程）は、チタンサブハイライドの不均化反応によるチタン製造について発表を行った。同じく久保 淳一大学院生（修士課程）はニオブの微粉末化プロセスについて、原田 正則大学院生（修士課程）はスカンジウムおよび Al-Sc 合金の製造法に関する研究発表を行った。

前田研究室の佐々木 秀顕大学院生（修士課程）は金属間化合物の酸に対する溶解速度の研究発表を行った。筆者は、乾式冶金によるチタン鉱石からの鉄除去およびプリフォーム還元法によりチタン鉱石から直接金属チタンを製造するプロセスの発表を行った。前田研究室の永井 崇大学院生（博士課程）は、質量分析法を用いた Cr-P 合金とリン酸化合物の熱力学測定について研究紹介を行った。岡部研究室の安田 幸司博士研究員は、電気化学的手法による自己組織化チ

タンナノロッドの生成に関する発表を行った。午前中の最後に、Haarberg 研究室の Ole Kjos 大学院生（修士課程）は溶融塩中における酸化チタンの脱酸の研究について発表した。

第 2 日目の午後のセッションは、はじめに、武漢大学の汪 的华（Wang Dihua）教授から、溶融酸化物の電解による環境調和型製鋼プロセスの開発および月の資源の利用についての研究の説明が行われた。Sadoway 研究室の Chanaka Dealwis 博士研究員は、1800 ℃の高温実験について紹介し、溶融酸化物電解による液体チタンの製造プロセスの研究発表を行った。華東理工大学の李 冰（Li Bing）教授はニッケルの電極挙動および電解製造について説明した。Sadoway 研究室の Aislinn Sirk 博士研究員は超薄炭素フィルムの電析について研究発表を行った。以上、多くの若手研究者からの広範かつ新規な研究発表を聞き、彼らの研究の方向性や研究者としての心構えに触れることができたのは、大変貴重な経験であった。

最後に、Sadoway 教授が閉会の辞が述べ、ワークショップは幕を閉じた。

ワークショップの後、MIT のキャンパスツアーに加え、材料学科の研究室のラボツアーも行われた。MIT のキャンパス内には、MIT で生まれた成果がいたるところに展示してあり、いずれも独創的な優れた研究であって大変印象深かった。ラボツアーは、汪 的华教授、李 冰教授、Dealwis 博士研究員、Sirk 博士研究員、Mirela 博士研究員および Bradwell 大学院生、Gmitter 大学院生に引卒され、MIT での研究について熱心な説明が行われた。

終わりに

今回、筆者は東北大学佐藤研究室竹田助教、東京大学岡部研究室安田博士研究員とともにワークショップのオーガナイザーである Sadoway 教授および岡部准教授を補佐し、ワークショップの運営に携わる機会を得た。準備や運営は大変ではあったが、関係者から指導を仰ぎながら多くの貴重な経験をすることができた。また、緊張したりとまどったりすることも多くあったが、多くの優れた研究者と接する機会を得ることによって、積極的に世界に目を向けた、より高い水準の研究を目指すべく、心を新たに研究に取り組むことができるようになった。

全体を振り返り、今回のワークショップは、素材プロセスの分野において世界をリードしているアクティブな研究者を招くことで、内容の濃い充実した研究交流を持つことができ、世界的な研究拠点を形成するというワークショップの目標を達成したと考えられる。また、3 回のワークショップに引き続き来年 2008 年に第 4 回ワークショップを開催することも決定し、今後も素材プロセス分野の研究拠点として発展することとなった。ゆえに、先端研究拠点事業「環境調和型アクティブメタルプロセスの開発」が、当該分野の今後の世界的発展に関して成した貢献は非常に大きいものと考えられる。オーガナイザーとして尽力してくださった Sadoway 教授、岡部准教授をはじめ、遠路ボストンまでお越しくださった講演者・参加者の先生方、渡航およびワークショップの運営をサポートしてくださった MIT および東京大学のスタッフ、Sadoway 研究室および岡部研究室の学生全員に心から感謝申し上げたい。

最後に、先端研究拠点事業「環境調和型アクティブメタルプロセスの開発」を通じて、今回の貴重かつ有意義な機会を与えてくださった日本学術振興会の関係者の方々と支援を頂いた生産技術研究所事務部の方々に心より感謝申し上げる次第である。

以上

写真 1　会場前の Sadoway 教授と岡部准教授

写真 2　Lecture Hall 1-190 の会場風景

写真 3　Lecture Hall 1-190 にて研究討議中の川上教授

写真 4　　Lecture Hall 1-190 にて講演中の Haarberg 教授

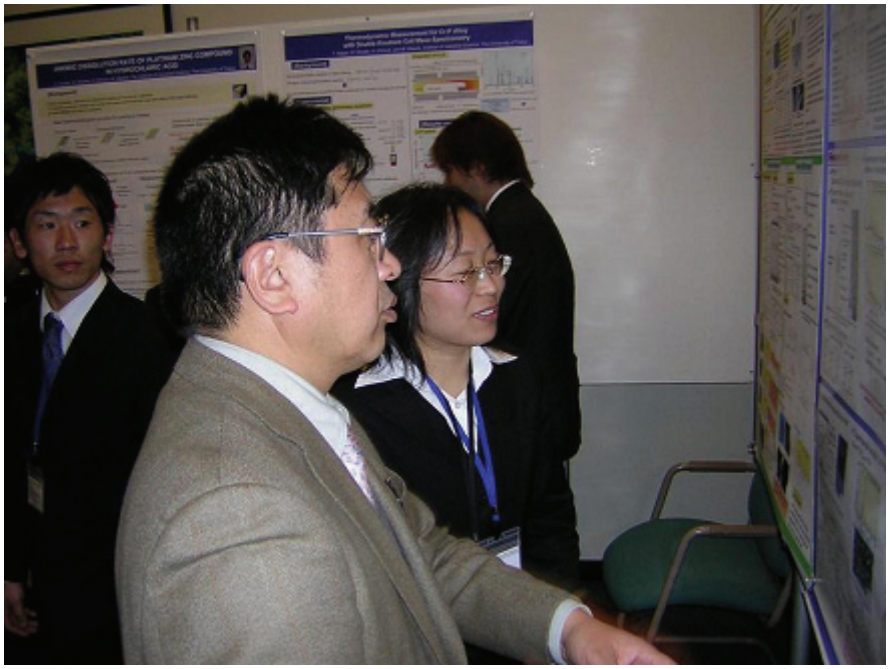

写真 5　Von Hippel Room13-2137 にてポスターを説明する筆者（右）

写真 6　参加者の一部（1 番右：筆者, 右から 3 番目：Sadoway 教授）

写真 7　MIT Museum にて開催された研究交流バンケットの様子

写真 8　MIT のラボツアーの様子