

(研究協力者海外派遣事業)

(様式6)

平成16年4月7日

海外派遣研究員 研究報告書

独立行政法人 日本学術振興会 理事長殿

海外派遣研究員 所属機関 物質・材料研究機構

職・氏名 主任研究員 森藤文雄 印

1. 派遣先国名 ウクライナ共和国
2. 研究課題 先進材料の微細組織と特性におよぼす微量不純物の影響に関する研究
3. 派遣期間(本邦出発から帰国まで)
平成 15 年 3 月 8 日 ~ 16 年 3 月 7 日(366 日間)
4. 受入研究機関及び受入研究者
ウクライナ共和国立科学アカデミー材料科学研究所 Dr. Krajnikov
5. 滞在中の日程
別紙
6. 所期の目的の遂行状況及び成果
(研究指導, 研究協力, 講演, 調査等実施の状況とその成果)
別紙
7. 派遣先国の関係学会, 学術研究機関, 調査研究費等の概要
別紙
8. 受入研究機関における待遇及び印象(附与された身分, 施設利用の便宜等)
別紙
9. 本事業に対する意見・要望等
別紙

(研究協力者海外派遣事業)

日本学術振興会研究協力者海外派遣事業海外派遣研究員研究報告書 別紙

5. 滞在中の日程

月 日	出発地	到着地	宿泊地	訪問研究機関等及び用務
平 15.3.8	つくば			本派遣事業へ出発
3.9		キエフ		ウクライナ共和国立科学アカデミー 材料科学研究所到着
7.16	キエフ	ハンブルグ	ハンブルグ	第10回 チタン国際会議参加
7.21	ハンブルグ	デュッセルドルフ	デュッセルドルフ	マックスプランク鉄鋼研究所訪問
7.22	デュッセルドルフ	キエフ		
8.13	キエフ	カチベリ	カチベリ	材料科学研究所カチベリ研究施設で ミラー炉による実験
8.22	カチベリ	キエフ		
9.6	キエフ	ディミトロフグレード	ディミトロフグレード	第7回ロシア原子炉材料科学会議参加 およびロシア国立原子炉研究所訪問と 共同研究打合わせ、討論
9.13	ディミトロフグレード	キエフ		
平 16.3.6	キエフ			ウクライナ共和国立科学アカデミー 材料科学研究所出発
3.7		つくば		本派遣事業から帰国

(研究協力者海外派遣事業)

6. 所期の目的の遂行状況及び成果

(研究指導、研究協力、講演、調査等実施の状況とその成果)

ウクライナ国立科学アカデミー材料科学研究所(Institute for Problems of Materials Science of the National Academy of Science of Ukraine、IPMS)における海外派遣研究課題は「先進材料の微細組織と機械的性質に及ぼす格子間元素の影響に関する研究」(Effect of small addition of interstitials on the microstructure and mechanical properties in advanced materials)であった。本派遣者が1989年にオーストリアで開催された第12回プランゼー国際会議において発表後、1990年にIPMSのKrajnikov博士から別刷請求の葉書が届いた。しかし、当時の交流が10数年を経て今回の派遣事業に繋がるとは全く予想だにできないことだった。とにかく、それがきっかけとなり、討論や別刷交換でお互いの研究内容に関心を持つとともに、研究手法が相補的であることもあり、手紙やE-mailによって、高融点材料への微量添加元素の効果に関して共同研究を継続してきた。1996年11月、科学技術庁の外国人研究者招聘制度により、Krajnikov博士は金属材料技術研究所に3週間滞在することができた。それまでの共同研究の成果を踏まえて詳細な検討を加え、Mo合金の溶接材の破壊挙動に及ぼすCの影響についての実験と計算結果を国際誌に発表した。一方、派遣者は1997年の第15回プランゼー国際会議において発表後、Krajnikov博士の招待によって、ウクライナのIPMSを訪問する機会に恵まれた。IPMSおよび他の大学や研究所に所属する研究者と議論を進めるとともに、よりいっそうの親交を深めることができた。その後もE-mailを利用して共同研究を進展させ、最近ではMo合金中のBの分布とその役割の解明に関する研究を継続しており、2002年11月にキエフで開催された国際会議において、最新の2件の研究成果を発表している。以上のような経緯によって、今回の海外派遣事業が実現し、以下のような成果が得られた。

(1) 先進的プロセッシングによるMo合金の特性改善に関する研究

我々はすでに加工熱処理を組み合わせることで結晶粒の微細化および相の微細析出によるMo-Re合金の機械的的特性改善効果について明らかにし、その成果を国際会議や国際誌で発表している。また、ロシアの原子炉研究所(RIAR)と共同研究を行った溶接継手を含むMo-Re合金の400K近傍における中性子照射実験の成果は、第8回(1996)および第11回(2003)核融合炉材料国際会議で発表するとともに論文発表を行った[1]。2003年9月に第7回ロシア原子炉材料科学会議の開催に併せてRIARを訪問するとともに、より高温における1100Kでの中性子照射計画を立案検討した。この実験の中で先進的プロセッシングを用いて作製したMo合金の特性評価を進めて行くことは、新しい高融点材料の開発とともに、耐中性子照射特性改善のための統一的、一般的な指針の確立を可能にすると考えられる。開発された高強度、高靱性材料をさらに中性子照射を行ってその特性を評価するような研究は、長い時間と多大な費用を必要とするためか類似の研究を行うことは極めて困難な状況にある。本計画はそれらの課題への挑戦であり、照射による延性増大の原因やメカニズムを明らかにすることができれば、先進高融点材料の実用化とともに、原子炉用鉄鋼材料などの作製のための指針を確立することができる。高融点材料、溶接性、中性子照射特性を対象とした創造的で非常に困難な研究を実行できるグループは我々以外には極めて考えにくい。他のグループの追随を許さないその独創性と今までに蓄えられた多くの知見がこの研究によっていっそう有意義なものとなり、新たな成果へと結実、発展する可能性が高い。

(2) 急冷凝固法によるAl合金およびFe合金の特性改善に関する研究

(研究協力者海外派遣事業)

IPMS で開発された急凝固 Al 合金および Fe 合金について、Krajnikov 博士の研究グループは精力的に実験を展開し、熱処理および時効特性、機械的性質、クリープや疲労特性などの検討を行っている。従来の粉末材料に比べて、急凝固 Al 合金は粒径が小さく、過飽和に固溶が可能で、新しい準安定相を形成しやすいなどの利点を持っている。また、フェライト型 Fe 合金は加工性に富み、耐食性や中性子照射特性にも優れているが、高温強度が低いことが弱点である。そのために Ti や Y による微細な酸化物で分散強化した粉末法による Fe 合金の開発に大きな関心が寄せられている。急凝固材料では、酸化物とマトリックスとの間に異相界面が形成され、特性改善に効果を発揮しているが、微量添加元素および不純物がそれらの諸特性に大きな影響を及ぼしているため、微細組織の安定性と機械的性質の特性把握には界面の状態分析が是非とも必要である。本派遣者は IPMS 滞在中に、高融点材料を中心として蓄積された専門的な見地および異なる視点からのコメントやアドバイスを心がけるとともに、これまでに行ってきた高融点材料の微細組織解析に関する共同研究の成果をさらに粉末法による Al 合金および Fe 合金の特性改善に応用して、それらの界面・粒界構造や局所量子構造の解析に貢献することができた。

(3) Mo 合金中の B 分布の PTA による状態分析に関する研究

Mo 合金の機械的性質は少量の B 添加によって改善されることを明らかにしてきた。そのメカニズムを理解するために、Mo 合金中の B の状態、B の役割について Particle-Tracking Autoradiography (PTA: 線粒子の飛跡を利用した写真解析法) を用いて研究した。熱中性子照射で発生した線粒子の飛跡をエッチングする PTA 法によって、我々が知る限りでは初めて、Mo 合金中の B 分布の可視化に成功した。材料を熱中性子で照射すると、材料中の B アイソトープ(^{10}B)の分裂反応: $^{10}\text{B} + ^1_0\text{n} \rightarrow ^4_2\text{He} + ^7_3\text{Li}$ が生じる。この反応の断面積は、材料中に存在する B のガイドとして使用することができる。PTA 法による顕微鏡写真において、黒いドットは酢酸セルロース検知フィルム中のエッチングされたエッチピットに相当し、これらのドットの密度はローカルな微細組織中の B 濃度に直接的に比例した。3つのパターンの黒いドットが観察され、第1は試料中に一様に分布したドット、第2は黒いクラスター、第3は結晶粒界に沿って明白に存在するドットであった。それぞれ、マトリックス中に固溶した B、B を含む相、粒界に偏析した B に相当した。B 量が増加するとともに、クラスターの部分は著しく増加した。さらに 0.02 ppm B 以下の Mo 中にも、いくつかのクラスターがすでに存在していることを見出した。これは Mo 中では B を含む相が非常に容易に形成され易いということを示唆している。B 量がさらに増加すると、マトリックス中に一様に分布したドットの密度は減少した。これは B 量が増加するにつれて、マトリックスに固溶した B が減少し、粒界偏析 B が増加することを示している。50 ppm B 以上を含む Mo 合金の場合、方向性を持った針状に析出した Mo の硼化物を確認した。クラスターや硼化物の精密測定、PTA 法による B 分解能の決定、定量的なデータの蓄積などを進めた。

(4) Mo 合金中の組織および特性に対する少量 B 添加の影響に関する研究

プラズマビーム、電子ビームおよびアーク溶解法によって、B の濃度が 0.02ppm 以下から 920ppm である材料を作製した。プラズマビーム溶解後電子ビーム再溶解した PE 合金では、DBTT は 30 度の曲げ延性として定義すると、Mo-2.5ppm B、Mo-1.3ppm B および純 Mo の DBTT は、それぞれ 170K、210K および 275K となった。Mo-2.5ppm B の降伏応力は、240K 以下の試験温度においてやや低めとなり、Mo-1.3ppm B はこの実験の温度範囲の中で最も高い降伏応力を示した。このように Mo 中への少量の B 添加が曲げ特性の著しい改善をもたらしたことを確認できた。Mo へ

(研究協力者海外派遣事業)

の B の固溶度は、室温で 1 ppm 未満と非常に小さく、B 量の増加につれて微細な析出物が一様にマトリックスに分散していた。それらの Mo 硼化物は、水素拡散のトラッピングサイトとして作用すると考えられた。50 ppm B 以上の場合、針状の析出物をしばしば観察したが、マトリックス中では<110>方向に成長しており、結晶粒界付近では粒界に沿って析出していた。Mo-920ppm B の場合には、析出物は粒界に集中しマトリックス中には針状のものは殆ど観察されなかった。B 添加による結晶粒界の強化作用と B を含む析出物の特徴を詳細に検討して、B 添加の功罪を明らかにした。これらの成果は、NATO Advanced Research Workshop(2003.9)で発表し、近々、Kluwer Publishing より論文集が発行される運びとなっている[2]。

7. 派遣先国の関係学会、学術研究機関、調査研究費等の概要

IPMS はウクライナ国立科学アカデミーによって、国家的な見地から物質・材料関連の研究を推進する総合研究機関として、1955年に設立された。旧ソビエト時代を通じて、さらに現在でもウクライナ共和国におけるのみならず、東ヨーロッパ圏における材料、物質研究の中心的な機関となっている。IPMS の職員は約 4000 名、そのうち研究者、研究補助者はそれぞれ 1800 人、1500 人と世界的に見ても最大級の規模を誇る研究機関であり、金属・セラミック研究所、コンポジット材料研究センター、電子材料科学センター、宇宙・航空材料開発センターなどの 10 ヶの研究ユニットから構成されている。IPMS の主なミッションは固体の物理・化学、結晶の電子状態と構造、金属および高融点材料の相変態と組織に及ぼす不純物、格子欠陥、圧力、温度の影響、非晶質材料の形成と組成および結晶化に関する基礎的研究、高融点材料とセラミックスの変形と破壊に関する実験と理論研究、無機材料の物理化学、多元系の相平衡、反応過程、熱力学、相形成に関する研究、高融点材料の状態図、合成、薄膜蒸着、接合、焼結による金属、セラミック粉末の理論と実験、先進材料科学のための解析手法と装置開発、電子顕微鏡、走査電子顕微鏡によるナノ組織解析、変形特性、クリープ、疲労に関する研究と装置開発などで広範な物質・材料関連の研究分野を包含している。さらに、材料、物質研究以外にもパイロットプラント部門など多岐に及んでいる。商業化あるいはベンチャービジネスを志向した研究開発も盛んに行われており、無欠陥単結晶、量子化多層デバイス、高温超伝導、高融点酸化物、ダイヤモンド、非晶質材料、超微細高純度粉末、先進鉄鋼材料、半導体、さらに情報とデータベースなどにおいて最新の成果を上げている。その中でも、レアアースの研究、高融点材料、航空機やミサイルの製造は特に進んだ分野のひとつである。世界で最も大きなエアークラフト (Mria、Ruslan) の開発も IPMS 関連の施設で行われた。また、1988 年からは Mria を用いたソビエト版スペースシャトル (Buran) の計画が始まったが、1991 年のウクライナ独立によってこの計画は中止された。経済の崩壊によって多くの若いウクライナの研究者は海外の研究機関に進出しているが、研究スタッフも揃っており、研究のポテンシャルは依然として高いレベルに保持されていることを実感した。

IPMS が所属するウクライナ国立科学アカデミーには研究所が約 180 ヶ所あり、職員数 4 万人と非常に大規模な研究機関である。その頂点に立つパトン総裁との会見を、2004 年 2 月に在ウクライナ日本大使館の天江大使とともに行うことができた。日本とウクライナの国旗がセットされている円卓に座り、パトン総裁がアカデミーの歴史、役割、内容の説明、日本との交流など、準備されたメモを見ながら話が続いた。85 才の高齢にも拘らず、1 時間しゃべりばなしで非常に元気な方であった。今後とも日本とウクライナ両国との科学技術交流の友好的な関係を確認して会談は無事に終了したが、このような形での国際交流・海外協力には不慣れなために、こちらはどっと疲れが出た感じであ

(研究協力者海外派遣事業)

った。

調査等は、第 10 回チタン国際会議(ハンブルグ)参加とマックスプランク鉄鋼研究所(デュッセルドルフ)訪問(2003.7)、IPMS カチベリ研究施設(クリミヤ半島)での実験(2003.8)、ディミトロフグレードでの第 7 回ロシア原子炉材料科学会議参加とロシア国立原子炉研究所(RIAR)との共同研究の打合せ(2003.9)などを行った。

8. 受入研究機関における待遇及び印象(附与された身分、施設利用の便宜等)

IPMS の材料物性部門(Department for Physics of Strength and Plasticity)、物理分析研究室の一角にデスクを与えてもらって、学術振興会による研究協力者海外派遣事業のための材料科学フロンティア研究室(Laboratory of Materials Science Frontier、略称 MSF)の研究者として活動した。派遣者の待遇は MSF の専任スタッフであり、日常的な仕事の中では IPMS 職員との差異は特になく、彼らと同様に振舞うことが可能であった。

9. 本事業に対する意見・要望等

平成 15 年度の本事業の募集が行われなかったが、現職の研究者が、国際学术交流、海外研究協力のために海外派遣事業に参加できる制度は他にはないので、ぜひ継続して行ってほしい。

派遣期間が終了しても、共同研究は引き続いて行われているので、その研究がスムーズに進展し、さらに発展するためにも、また、1 年間の派遣中に、いろいろな種を蒔き、根を育ててきた研究が大きく実るのは通常 2,3 年必要であるため、半年後から 1 年後位、また、2 年後といった時点で、お互いが交流できるようなシステムが確立されることが必要である。

IPMS の研究設備や測定装置などの老朽化が進んでいる。データ処理や測定系のソフト面では NIMS と比較して遜色ないが、ハードウェアを更新できるような研究費や設備の据付、運搬費用などが圧倒的に不足している。本事業に、そのような観点からの国際交流、研究協力が可能となるような予算的措置があればと痛感した。

現職の研究者として、日本での研究テーマを同時並行して抱えていたので、日本との研究協力・交流が絶えず必要であった。職場の評価システムが日本国内での研究活動、成果発表を重視しているため、国内における研究交流・協力、学会活動などが制限されるのは好ましくない。職場や国内での研究期間の空白がなく、ソフトランディングが容易に行われるようなバックアップがなされるならば、本派遣事業がもっと大きく発展するものと思われる。

参考文献

1. F. Morito, V.P.Chakin, Yu.D. Goncharenko, A.O. Posevin, L.A. Yevseev, Microstructure evolution during high-temperature annealing in molybdenum-rhenium welds irradiated at low temperature, J.Nuc.Mater., (2004), to be published.
2. F. Morito, N.I.Danylenko, H.Saito and A.V.Krajnikov, Boron Distribution and Microstructure in Mo-B Alloys, NATO Science Series, Kluwer Publishing, (2004), to be published.