

微小重力環境を利用した拡散実験計画の課題と今後の計画

正木匡彦¹, 伊丹俊夫², 渡辺匡人³, 水野章敏³, 鈴木進補⁴, 石川毅彦⁵

¹芝浦工業大学, ²北海道大学, ³学習院大学, ⁴早稲田大学, ⁵宇宙航空研究開発機構

Research Activities of "Diffusion Phenomena in Melts" working group in 2011

Tadahiko Masaki¹, Toshio Itami², Masahito Watanabe³, Akitoshi Mizuno³, Shinsuke Suzuki⁴, Takehiko Ishikawa⁵

¹Shibaura Institute of Technology, ²Hokkaido Univ., ³Gakushuin Univ., ⁴Waseda Univ., ⁵JAXA,

E-Mail: t_masaki@sic.shibaura-it.ac.jp

Abstract: The activities of Diffusion Phenomena Research Working Group (DPR-WG) was reported. In this research group, we developed the strategic plan toward the implementation of microgravity diffusion experiments. We report the current activity of our working group in this year.

Key words; Diffusion, Shear Cell, Microgravity

1. はじめに

高温融体内の原子輸送現象を理解するためには、正確な輸送物性の把握が不可欠である。微小重力環境における密度差対流の抑止効果を用いることにより、この輸送物性、特に拡散係数を高精度に測定することが可能であることは、過去に行われた多くの微小重力拡散実験において示されている。これまで、宇宙拡散実験に関連して、国内外でシアーセル法など拡散係数測定技術の高度化が図られ、スペースシャトルや小型ロケットを用いた微小重力実験が行われてきた。^{1,2,3}

拡散現象問題研究会は、高精度拡散係数測定法に関する情報交換や改良点などを議論することを目的として、過去に宇宙拡散実験を実施した経験のある大学・企業を中心として発足した研究会である。本研究会は、将来の微小重力拡散実験へむけた新たな実験装置の概念設計やそれらのベースモデルとなる地上実験装置の開発、それらを用いた地上拡散実験、並びに、拡散現象に関連した物理・化学的な議論を進めている。本WGは、これまでに宇宙ステーション利用に関する実験テーマ募集への応募や、国際共同研究に関わる会合への参加など、国内外の宇宙実験機会の獲得へ向けた活動を行ってきた。また、近年、グラフィイトやなど坩堝材料の高品質化や比較的安価な自動加工装置の流通などにより、複雑な構造の坩堝を自作できる環境が整いつつあることから、シアーセル法の地上研究への応用の可能性を探ってきた。以下に、本年度の本研究会の活動状況を報告する。

2. 本研究会のメンバー構成

本研究会は、代表を正木（芝浦工大）が務め、現在のところ6名のメンバー [伊丹俊夫（北大）、渡

辺匡人（学習院）、鈴木進補（早稲田大）、水野章敏（学習院）、正木匡彦（芝浦工大）、石川毅彦（JAXA）から構成されている。

3. 2009年度の研究会の概要報告

(1) 国際拡散研究チームへの参加

ATLAS(Atomic Transport in Liquids and Semiconductors)は、カナダの Prof. Dost (Univ. Victoria)を中心として発足した、半導体融体の原子輸送物性に関する国際的な研究チームである。本研究WGからも正木と伊丹が参加しており、ESAのAOへのプロポーザルの作製に協力した。

(2) 国内外の研究動向の調査

本研究会では、国内外の研究動向の調査を、メンバーで分担して行っている。本年度は、欧州において開催された ISPS(International Symposium of Physical Science in Space)および DIAMAT2011(8th International Conference of Diffusion in Materials)に参加し、これまでの研究成果の発表と最新の研究動向の調査を行った。また国内の日本金属学会や日本物理学会においても、同様な活動を行った。

(3) 地上拡散実験と次期拡散実験装置の検討

本年度は、熔融 Sn 中の金属原子の拡散について、正木（芝浦工大）および鈴木（早稲田大学）が地上実験を行った。正木はロングキャピラリ法を選択し、垂直に設置した坩堝の上下に対流を抑止するような温度差を与えて実験値の高精度化を図り、Sn 中の Cu および Ag の拡散係数を測定した。図1は Sn 中の Cu の拡散係数の温度依存性であるが、温度の上昇とともにほぼ直線的に拡散係数が増加した。この系に対して、剛体球モデルを用いた理論計算を行い、実験結果と比較したところ、融点近傍では非常に良い一致が見られた。このことから液体 Sn 中の Cu 原子の拡散メカニズムとして剛体球的な単原子の衝突

の繰り返しであることが推測される。また、Agについても同様な計算を行ったところ、実験との良い一致が見られ、トレーサー原子の質量が小さいほど拡散が早いことが実験的及び理論的に示された。

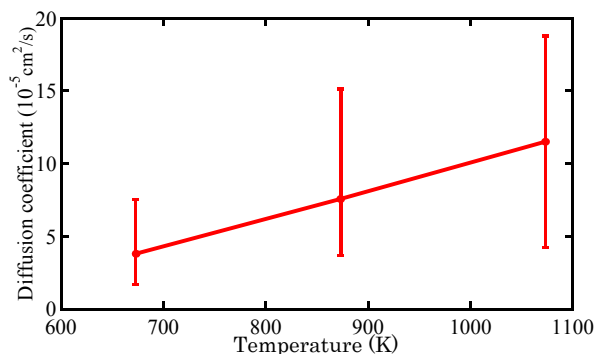


Fig.1 Diffusion coefficient of Cu in liquid Sn

鈴木らは、欧州の回収カプセル (FOTON) において使用されたシアーセルを用いて、地上重力環境において熔融 Sn 中の In 及び Sb の拡散係数を測定し、宇宙実験結果と比較や地上における誤差の定量化を行った。詳細については、次の鈴木らの報告を参照されたい。

(4) 宇宙実験テーマ公募への応募

本年度は、JAXA より国際宇宙ステーションを使用する実験テーマの公募が発出されており、本研究会からは、鈴木を代表として干渉顕微鏡 (SCOF) を用いた熱拡散係数の測定に関する実験計画を応募した。

3. 微小重力拡散実験の実現に向けた課題と対策

今後の微小重力拡散研究の方向性であるが、実験機会の獲得へ向けて、国際宇宙ステーションの実験テーマ公募などへ積極的に応募することとしている。また、地上実験についても継続的に実施し、新たな拡散モデルの構築を目指す。昨年度から引き続き研究方針を以下にあげる。

- ・ 実験装置の小型化をはかり、ISS の汎用ラックや流体実験装置の空間が使用できるような装置を検討する。
- ・ 電気抵抗法や蛍光 X 線など非回収型のその場観察的な測定方法を考案する。
- ・ 地上拡散研究の研究拠点の構築や、地上拡散実験の充実を図り、シアーセル法のブラッシュアップを目指す。

特に、装置の小型軽量化は重要な技術要素であり、次年度は、これに関連した要素技術の検討を中心に進める必要がある。

4. まとめ

微小重力環境を利用した拡散係数測定は、日欧を中心として、これまで数多くの微小重力実験が行われてきており、シアーセルなどの実験法がほぼ固まりつつあり、実験機会が獲得されれば、すぐに装置開発と実験の実施に取り掛かれる点の特徴である。その一方で、近年の電子デバイスの著しい発達により、小型の蛍光 X 線装置を用いたその場観察など、新たな実験手法への挑戦が可能となりつつある。

実験装置の小型化など実験機会の獲得へ向けた準備を進めるとともにアトラクティブな材料 (金属ガラス系や準結晶系など) や実用材料 (鉛フリーはんだなど) の拡散係数測定を地上研究として充実させ、研究会の規模を着実に大きくしていきたい。

参考文献

- 1) T. Masaki, T. Fukazawa, S. Matsumoto, T. Itami and S. Yoda, "Measurements of diffusion coefficients of metallic melt under microgravity – current status of the development of shear cell technique towards JEM on ISS", Meas. Sci. Technology, 16, 327(2005).
- 2) 深澤智晴, 正木匡彦, 伊丹俊夫, 渡邊勇基, "シアーセル法による熔融 Ag 中の Au の拡散係数測定", 熱物性, 19, 147(2005).
- 3) S. Suzuki, K.-H. Kraatz and G. Froberg, "Diffusion measurements on liquid metallic materials and development of shear cell", J. Jpn. Soc. Microgravity Appl., 22, 165(2005).