

宇宙拡散実験計画の進捗状況と今後の予定

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,
青木拓克⁵

¹芝浦工業大学, ²宇宙航空研究開発機構・宇宙科学研究本部, ³学習院大学,
⁴大阪大学, ⁵フルウチ化学

Status Report on “Diffusion Phenomena in Melts” working group

Tadahiko Masaki¹, Toshio Itami², Masahito Watanabe³, Akitoshi Mizuno³, Shinsuke Suzuki⁴, Hirokatus Aoki⁵

¹Shibaura Institute of Technology, ²JAXA, ³Gakushuin Univ., ⁴Osaka Univ.,

⁵Furuuchi Chemical Corporation,

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

Abstract: Diffusion Phenomena Research Working Group (DPR-WG) was established for the development of 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から明らかにされてきている。また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ている。^{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などの確立や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JEM第二期利用実験テーマ募集への応募、中国の回収カプセルの使用を想定した実験提案や、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。加えて、近年のグラファ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（JAXA）、渡辺匡人（学習院）、鈴木進補（阪大）、水野章敏

（学習院）、正木匡彦（芝浦工大）、青木拓克（フルウチ化学）]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)など、宇宙環境を利用した拡散実験に関連した国際的な研究会が発足しており、宇宙拡散実験へ向けた機運が高まってきている。本年度は、カナダのProf. Dost (Univ. Victoria)を中心として、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が発足し、本研究WGからも正木と伊丹が参加することとなった。ESAの研究公募へ向けて、国際研究チームでは、実験計画の具体化や役割分担などを議論し、公募のプロポーザルを作成した。

(2) ESA-AOへの応募

上記の研究会において、ESA-AOに対して拡散実験に関するプロポーザルを提出した。これは“Liquid Phase Diffusion in Semiconductors (LIPIDIS)”と題し、シリコン-ゲルマニウム融体の拡散係数の高精度計測と単結晶の育成条件の解明を目的とした研究計画である。この研究計画は7カ国20名から構成される研究メンバーにより構成されており、宇宙実験装置の設計製作を始め、地上参照実験や拡散理論の構築に至るまで広範な研究を連携してすすめる計画が作られている。本WGでは、おもにゲルマニウムの高濃度組成における拡散の地上拡散実験を分担し、ゲルマニウムの同位体拡散やゲルマニウム中のシリコン原子の不純物拡散を実験的に明らかにすることを目指している。

(3) 地上拡散実験と次期拡散実験装置の検討

本年度は、昨年度に引き続き Ag 中の Au 原子の拡散係数に関するリファレンスデータを取得するとともに、新たな試みとして熔融 Sn 中の Cu 原子の拡散係数測定実験を開始した。

地上重力環境下における熔融 Ag 中の Au の拡散係数の測定に関して、本年度は、トレーサとして用いた Au の濃度をパラメータとして、拡散係数の濃度依存性を明らかにするための実験を行った。実験には、昨年度同様に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った。実験結果では、Au の濃度が増加するに従い、拡散係数の増加傾向が認められたが、その濃度依存性はごくわずかであり、比較的広範囲の Au 濃度であっても Ag-Au 系が拡散係数の標準物質として使用しうることが明らかになった。

本年度は新たに、熔融 Sn 中の Cu 原子の拡散について、実験的な研究を開始した。熔融 Sn 中の Cu の拡散は鉛フリーはんだなどの基礎物性として重要視されており、宇宙実験技術を応用した高精度計測により実用材料の基礎物性データベースの構築に貢献することができる。本年度は試行的にロングキャピラリ法を用いてこの系の拡散係数を測定した。Sn 系合金は一般に融点が低いため、温度変化中、特に冷却における非定常の拡散の影響が強く表れる傾向にある。そのため、今回の実験では、室温の液体ガリウムに試料を浸すことにより、急速な冷却を実現し、拡散係数の測定に成功した。来年度以降にシアーセルを用いた測定を行い、実験の高精度化を図る。

3. 微小重力拡散実験の実現へ向けた課題と対策

本年度は、国際共同研究チームが発足し、また EAS-AO へのプロポーザルなど、国際的な実験機械の獲得の機運が高まりつつある。

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、本年度の活動を継続する方向で、今後の研究会活動を進めることとした。昨年度から引き続く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、実験機会の獲得されれば、すぐに装置開発と実験の実施に取り掛かれる点が特徴である。

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).