

## WG活動 微小重力下での酸素分圧制御による金属性融体の表面張力測定

首都大システムデザイン 日比谷孟俊, 首都大システムデザイン 小澤俊平, D A S 景山大郎,  
 東北大多元研 小島秀和, 阪府大工 塚田隆夫, 東北大多元研 福山博之,  
 阪大マテリアル 安田秀幸, 学習院理 渡辺匡人

### Measurement of Oxygen Partial Pressure Dependence of Surface Tension for High Temperature Melts under Microgravity

Taketoshi Hibiya<sup>1</sup>, Shumpei Ozawa<sup>1</sup>, Dairo Kageyama<sup>2</sup>, Hidekazu Kobatake<sup>3</sup>, Takao Tsukada<sup>4</sup>,  
 Hiroyuki Fukuyama<sup>3</sup>, Hideyuki Yasuda<sup>5</sup> and Masahito Watanabe<sup>6</sup>

<sup>1</sup>Tokyo Metropolitan University, 6-6, Aasahigaoka,

<sup>2</sup>DAS, <sup>3</sup>Tohoku University, <sup>4</sup>Osaka Prefectural University,

<sup>5</sup>Osaka University, <sup>6</sup>Gakushuin University

E-Mail: Getsumen.Hoshitaro@jaxa.jp

Abstract: A proposal is given, so as to measure surface tension of molten metal using the PFLEX (Parabolic Flight Levitation Experiment Facility) under microgravity on board an aircraft.

Methods for controlling oxygen partial pressure and improving frequency analysis are discussed.

Not only Japanese scientists but also ESA researchers can be invited to perform measurements.

*Key words*; Surface tension, Molten metal, Oxygen partial pressure, Parabolic Flight

#### 1. はじめに

宇宙環境の利用により、無容器浮遊技術に大きな発展が見られた。特に、電磁浮遊技術と静電浮遊技術である。かつては、微小重力環境に固有の現象と看做されていた無容器浮遊は、宇宙環境を利用しなくとも地上において実現可能であり、これを技術として利用することが可能となった。高温融体の熱物性計測、ならびに、過冷却急冷凝固を組み合わせることによる準安定相生成の研究が可能となり、「過冷却融体の科学」という新しい科学技術の領域が開けつつある。

金属性高温融体の熱物性計測は、宇宙環境利用技術の輝かしい spin-off の一つである。対象となる熱物性として、密度、熱膨張率、粘性、表面張力とその温度係数、電気伝導度、比熱、放射率、および熱伝導率を挙げることができる。特に、強い静磁場と電磁浮遊技術を組み合わせることにより、高温融体の熱伝導率の測定が可能となったことは、特筆に値する[1]。一連の研究活動の結果、拡散定数を除き、金属性高温融体については、過冷却状態を含む測定を行うことが常識となりつつある。

本稿においては、当ワーキンググループが提唱している「微小重力下での酸素分圧制御による金属性融体の表面張力測定」について紹介する。

#### 2. 微小重力下での表面張力の酸素分圧依存性の意義

金属性高温融体の熱物性において特筆すべきことは、表面張力とその温度係数の雰囲気酸素分圧依存性である。半導体シリコンの結晶成長や溶接プー

ルにおけるマランゴニ対流の解析からは、表面張力温度係数の雰囲気酸素分圧依存性を反映した現象が報告されている。しかしながら、高温融体の表面張力を雰囲気酸素分圧の関数として測定した報告は少なく、この分野におけるデータの充実が、応用の見地から求められている。

金属性高温融体の表面張力測定において要求される、雰囲気酸素分圧の制御性を考慮すると、現状では静電浮遊炉の利用は現実的でない。なぜならば、アルゴンやヘリウムなどの不活性ガスを主成分とし、これに微量の酸素を混入したような系においては、浮遊のための高圧電極間で放電をおこすからである。これは、より高圧が要求される地上での場合に著しい[2]。この結果、過冷却域の測定を制御された雰囲気酸素分圧のもとで実施するための技術は、現状では電磁浮遊しかないことになる。

#### 3. 国際宇宙ステーション搭載 MS-EML の問題点と PFLEX

電磁浮遊法を用いた測定の場合には、地上においては液滴が重力加速度、および、強い浮揚力を付与するためのコイルからの電磁力によって真球から変形する。この結果、 $l=2$  モードが5つに分裂し、振動周波数を解析する際に、その補正が必要となる[3]。このために、ベンチマークテストとして、補正の必要のない微小重力環境下での測定実施が必要となる。

電磁浮遊による表面張力測定については、国際宇宙ステーション上での、MS-EML による測定が計画されている。しかしながら、同装置においては、



Fig. 1 Electromagnetic levitator (PFLEX) for use in surface tension measurement in an ambient atmosphere with various oxygen partial pressures during a parabolic flight of a jet plane.

雰囲気酸素分圧を制御し計測する手段、特に制御に関しては、技術的問題と費用の面で実現性が困難視されている。一方、JAXA が公募地上研究のために開発し、日本宇宙フォーラムが所管する航空機搭載用電磁浮遊装置 PFLEX においては、雰囲気制御が可能ないように設計されている。そこで、本 PFLEX を航空機に搭載し、雰囲気酸素分圧を制御して金属性高温融体の表面張力測定を実施することを、次期公募地上研究に提案してゆきたい。平成 17 年度の研究班活動として、本 PFLEX を、JSF から首都大学が借用し、地上準備実験のための整備を行っている。航空機の放物線飛行によるシリコン融液の浮遊は、1994 年に KC-135 を用いて、筆者らによる DLR, MIT, NASA との国際共同研究として実施されたのが最初である[4]。

#### 4. 酸素分圧制御の方法と測定技術の向上

雰囲気酸素分圧の制御は、溶融金属の種類により異なる。制御しなければならないのは、試料表面の酸素分圧である。溶融シリコンの場合には、揮発性の酸化物 SiO が生成するので、所望の溶融シリコン表面の酸素分圧より高い酸素分圧を有する雰囲気

気ガスを導入することにより実現する[5]。また、Fe や SUS のような材料では CO/CO<sub>2</sub>、あるいは、H<sub>2</sub>/H<sub>2</sub>O 混合ガスにより融体表面での酸素分圧を制御することが必要となる。

表面張力の測定では、試料振動を高速度カメラで撮影し、試料径および面積の時間変化を抽出する。これを高速フーリエ変換することにより振動周波数を求める。しかしながら、振動の激しい試料の場合には、ノイズが多くなる。そこで、高速フーリエ変換に代わって、最大エントロピー法の導入を試みている。これにより、ノイズの減少が認められ、振動周波数の同定が容易になる。このほか、コイル形状の最適化も、ノイズの低減に有効である。

電磁浮遊に静磁場を重畳させることにより、周波数解析におけるノイズの低減が可能であることが報告されつつある。しかしながら、地上での振動に固有の  $m=0$  および  $m=\pm 1$  の振動ピークが減衰し、 $m=\pm 2$  の周波数が低周波側にシフトするとされている[6]。静磁場重畳法と微小重力状態利用との異動を、丁寧に議論してゆく必要がある。

#### 5. ESA 研究者への呼びかけ

PFLEX の航空機搭載により、微小重力下において雰囲気制御のもと、表面張力測定を試みる。向井らによって、雰囲気酸素分圧の関数としてシリコン融体の表面張力測定が報告されて以来[7]、表面張力測定には雰囲気制御が必須のものとして理解されている。ESA 研究者の間には、航空機への PFLEX 搭載に期待する声も大きい。

#### 参考文献

- 1) 小島秀和, 福山博之, 湊出, 中村崇, 淡路智: 第26回日本熱物性シンポジウム 論文番号 C309, 筑波, 2005.11.11.
- 2) 石川 毅彦, パラディ ポールフランソワ, 正木 匡彦, 第 22 回宇宙利用シンポジウム, 2006.1.19.
- 3) Cummings, D. and Blackburn, D.: J. Fluid Mech. **224**, 395 (1991).
- 4) Hibiya, T. and Nakamura, S: Int. J. Thermophys. **17**, 1191 (1996).
- 5) Hibiya, T., Hokama, S., Koike, Y., Rinno, M., Kawamura, H., Fukuyama, H., Higuchi, K., and Watanabe, M.: Scripta Materialia, **54**, 695 (2006).
- 6) Yasuda, H., Ohnaka, I., Ninomiya, Y., Ishii, R., Fujita, R., and Kishio, K.: J. Crystal Growth **260**, 475 (2004).
- 7) Mukai, K., Yuan, Z., Nogi, K. and Hibiya, T.: ISIJ International, **40**, S148 (2000).