

酸素分圧制御酸素分圧制御下における高温合金融体の熱物性計測

渡邊匡人（学習院大），小澤俊平（千葉工大），日比谷孟俊（慶應大）

Measurement of Surface Tension of High Temperature Liquid under Oxygen Partial Pressure Controlled Ambient in International Space Station

Masahito Watanabe¹⁾, Shumpei Ozawa²⁾, Taketoshi Hibiya³⁾

¹⁾ Department of Physics, Gakushuin University, Mejiro, Tokyo 171-8588

²⁾ Chiba Institute of Technology, Tsudanuma, Narashino 275-8588

³⁾ Keio University, Hiyoshi, Yokohama 223-8526

E-Mail: masahito.watanabe@gakushuin.ac.jp

Abstract: Microgravity conditions have advantages of measurement of surface tension of metallic liquids by the oscillating drop method with an electromagnetic levitation (EML) device. Recently, it has been identified that dependence of surface tension on oxygen partial pressure (P_{O_2}) must be considered for industrial application of surface tension values. Therefore, surface tension of metallic liquids must be measured in the controlled P_{O_2} atmospheric conditions. Using the parabolic flight levitation experimental facilities (PFLEX), we clarified the effects of P_{O_2} on surface oscillation of levitated liquid droplets are systematically investigated for the precise measurements of surface tension and viscosity of high temperature liquids. On the basis of activity of our working group and European WG, we are planning new research project to develop the P_{O_2} control system for MSL-EML and to clarify the effect of P_{O_2} on the surface tension of high-temperature alloy's liquids from the on-orbital experiments in ISS.

Key words; Surface Tension, Oxygen Partial Pressure, Viscosity, Electromagnetic Levitator

1. はじめに

高温融体の表面張力およびその温度係数は、酸素やイオウなどの界面活性物質に敏感であり、高温材料プロセス、特に溶接プロセス、ではこの表面張力の酸素分圧依存性に関する情報の要求が非常に高い。このため、これまでに宇宙環境利用委員会の下で研究班ワーキンググループ (WG) 活動を実施し、高温融体の表面張力測定を微小重力環境下において雰囲気酸素分圧を制御した環境下で測定する技術および解析方法の開発を進めてきた[1]。この成果を基に、欧州および米国の熱物性 WG と共同で国際宇宙ステーション (ISS) における高温融体熱物性計測の準備を進めてきた[2]。2015年7月にATV-5で電磁浮遊装置 MSL-EML (Material Science Laboratory Electromagnetic Levitator) がISSに輸送され、2015年10月からMSL-EMLがISSにおいて稼働を始めた。このため我々のWG活動も軌道上実験の準備研究として位置付けから起動実験をおこなうフェーズに移行する必要があった。そこで、2015年2月に公募された宇宙科学研究所小規模プロジェクトに応募した。本稿では、この小規模プロジェクトにおいて本研究グループが目指す研究について述べる。

2. 酸素分圧制御下での表面張力測定

WG活動においてこれまでに航空機の放物飛行による短時間微小重力環境での酸素分圧制御下での測定技術を改良し、ISS実験に備えた準備を進めてきた[3]。この研究の過程において、ISSの微小重力環境では、浮遊した液滴周りのガス対流がなくなることから、酸素分圧の値が液滴表面と離れた場所で大きく異なってしまうことが明らかとなってきた。現在進んでいるISSでの酸素分圧制御下での表面張力測定は、高純度Arガス中で試料を浮遊融解し、ここに酸素ポンプで酸素分圧を規定したガスを吹き付けておこなう計画となっている。この方法では、試料に吹き付けるガスの流速、流量、吹き付ける方向などの条件によって試料表面での酸素分圧が変化してしまう。このため、表面張力測定にとって重要な融体表面での酸素分圧を知るために、実験条件によらない酸素分圧の値を予め知っておく必要がある。そこで、酸素を含んだ混合ガスと融体表面での平衡酸素分圧を利用し、酸素ポンプで生成したガスを吹き付けた場合の試料表面での酸素分圧を校正することを現在進めている。混合ガスと融体表面での平衡酸素分圧を利用した表面張力測定をNi融体について地上で実験をおこなった。混合ガスとしてAr-H₂OとAr-H₂を用

いて Ni 試料を電磁浮遊して He ガスで試料温度を調整しながら測定をおこなった. Ar-H₂O ガスは H₂O の量を調整しながら気化器を通して Ar ガスと混合し, 融体試料表面温度において 2H₂O→2H₂+O₂ の反応で分解した O₂ が融体表面に吸着するが, Ar-H₂ ガスを混合していることで分解した O₂ のうち試料表面温度で平衡に吸着する O₂ 以外は H₂ と O₂+2H₂→2H₂O に従い気化する. このため試料表面温度での平衡酸素分圧条件で表面張力の測定がおこなえる. この方法で酸素分圧条件を変化させて測定した Ni 融体の表面張力の温度変化を Fig.1 に示す.

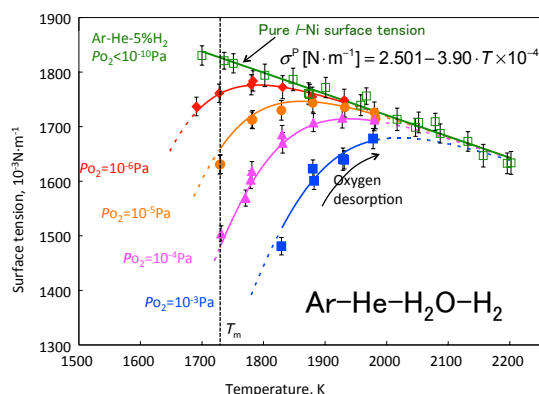


Fig.1 Temperature dependence of surface tension of Ni melts under various P_{O_2} conditions.

このように, 混合ガスと融体表面での平衡酸素分圧を利用することで融体表面での酸素分圧に対する表面張力を求めることができる. しかし, ISS 内では H₂ ガスを利用できないため, 酸素ポンプで生成した酸素分圧を規定したガスを試料周りに導入して表面張力を測定するが, 前述したように酸素ポンプで規定した酸素分圧と融体試料表面での酸素分圧は異なってしまう. このため, 本プロジェクトではまず上記の混合ガスの手法で測定した表面張力と温度, 酸素分圧の値を基準にして酸素ポンプを使って測定した値を比較し, 酸素ポンプでの酸素分圧を校正することを目指す. MSL-EML での酸素分圧制御は, Fig.2 に示すような方法でおこなう計画である. ISS ではガスの使用に制限があるため, 浮遊溶解チャンバを通したガスを純化して再使用するシステムとなっている. Fig.2 中の OSL で酸素分圧を制御したガスをチャンバに送りこみ, チャンバを通して排気されたガスの酸素分圧を SS1 で測定した後, フィルターを通して純化し OSL に再度送りこみ酸素分圧を設定値にする. 仕様上では, 酸素分圧をまで変化できるようになっている. 現在, DLR においてこの地上テスト装置を用いて酸素分圧変えながら表面張力測定をおこなっているが, 今後我々のプロジェクトでの混合ガスによる方法と比較しながら酸素ポンプの校正をお

こなっていく必要がある. 現在 OSC はプロトタイプ機の開発が終わり ISS 搭載用機の開発フェーズに移行し 3 年間で開発を終了し, 2018 年に ISS への搭載が予定されている. OSC の ISS への搭載が完了すれば, 酸素分圧制御下での表面張力測定がおこなえるが, ISS で測定した表面張力値を校正するために純金属での表面張力測定が必要であり, Zr または Ni の測定をおこなう. この際, 試料中に含有されている酸素が融解後に雰囲気中に拡散する影響についても本プロジェクトで予め予測できるように準備実験をおこなっていく. 最終的に, OSC により酸素分圧制御した雰囲気の MSL-EML を用いて, Fe 系合金, Ni 系合金融体の表面張力の酸素分圧依存性の測定をおこない, 高温融体熱物性のデータベースの拡充をはかる. さらに新たな高温融体の物理化学の構築を目指す.

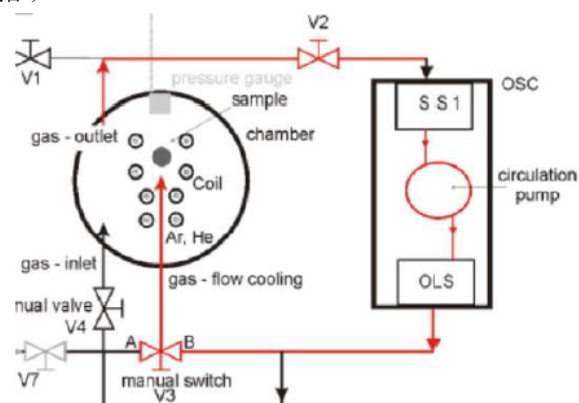


Fig.2 P_{O_2} control system attached on MSL-EML in ISS.

【参考文献】

- [1] S. Ozawa *et al.*, J. Appl. Phys., 109 (2010) 014902.
- [2] 渡邊匡人ら, 日本マイクロ重力応用学会誌 27(2010)143.
- [3] S. Ozawa *et al.*, Int. J. Microgravity Sci. Appl., 31 (2014) 11–16.