

酸素分圧制御下における高温合金融体の熱物性計測 活動報告

渡邊匡人（学習院大），小澤俊平（千葉工大），Jürgen Brillo（DLR）

Thermophysical Property Measurement of High-Temperature Liquids under Oxygen Partial Pressure Controlled Atmosphere in ISS –Activity report of OXYTHERM Project –

Masahito Watanabe¹⁾, Shumpei Ozawa²⁾, Juergen Brillo³⁾

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

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

³⁾ DLR, Köln, Germany

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

Abstract: In industrial manufacturing process of metals, it is very important understanding surface tension of liquid-metals with influence of oxygen, because welding processes are performed into the air conditions. For this requirement, we have been performed the surface tension measurements of liquid-metals under oxygen partial pressure (P_{O_2}) controlled atmosphere using electromagnetic levitation (EML). On the ground experiments, we clarified the effect of oxygen on the surface tension of pure liquid -metals from the surface tension measurements under P_{O_2} controlled atmosphere condition from 10^{-18} Pa to 10^{-3} Pa using the oxygen pump based on the ZrO₂ solid-state electrolyte. However, for the surface tension of alloys' liquid-metals it is difficult to understand the effect of oxygen on the surface tension. This is caused that the surface segregation affected by the density differences on the ground. Therefore, we organize international research project to understand the effect of oxygen on the surface tension of ally's liquid-metals. Measurements will be performed on board of the ISS providing sufficient microgravity conditions on the required time scale. It is planned to use the electromagnetic levitation device (MSL-EML) developed by DLR/ESA with the Oxygen Sensing and Control device (OSC). We report the present status of the surface tension measurements by influence of oxygen under microgravity and ground-base experiments at the symposium.

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[2]。現在のMSL-EMLでは酸素分圧制御ができないが、酸素分圧制御装置 (Oxygen Sensing and Control System,

OSC) をMSL-EMLへ搭載する計画が進み、来年度からEM制作を開始し2019年からOSCをMSL-EMLへ装着し実験開始のスケジュールが提示された。本報告では、このOSCを使用したMSL-EMLによる実験計画と現在までの準備状況について述べる。

2. OSC装置の現状と今後の計画

CO-CO₂ や H₂+H₂O などの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.1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 10^{13} Paから 10^4 Paまで変化できるようになっている。現在OSCはFig.2のような地上テスト用プロトタイプ機を作成し、DLRにおいてテスト実験として酸素分圧変えながら表面張力測定をおこなっている。この準備の成果に基づき、2016年10月にOSC開発がPhase-Bに移行することが決定した。Phase-Bでの計画は、2017年度中にISS搭載用機の製作をおこない2018年度に航空機実験を実施し、ISSへの搭載に問題がないかを検証する。その後、2019年にISSへの搭載が予定されている。2019年に予定されているBatch-#4の測定試料を用いて、ISS内のMSL-EMLを用いて酸素分圧制御下での表面張力測定をおこなう。

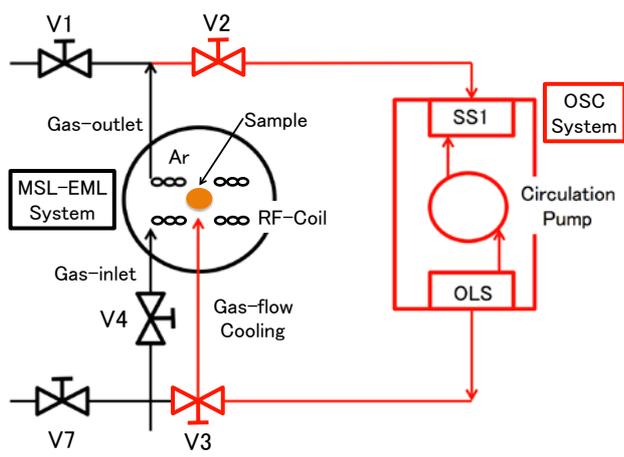


Fig. 1 Schematic diagram of P_{O_2} control system attached on MSL-EML in ISS for future.

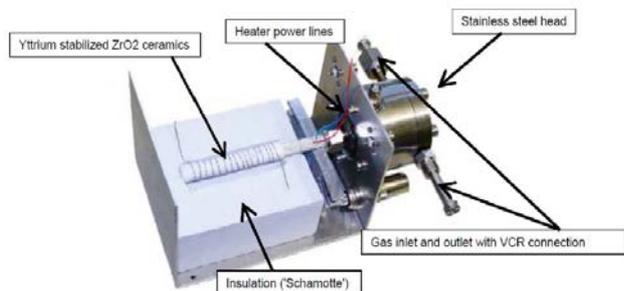


Fig.2 Photograph of prototype OSC system tested in DLR.

このOSCを用いてISSでのMSL-EMLによる酸素分圧制御下での表面張力測定をおこなうに際して、OSCで生成したガス中の P_{O_2} の校正が必要である。Fig.3は我々の電磁浮遊装置を用いおこなった航空機実験でのFe融体の表面張力測定の結果である。この実験では、OSCにより P_{O_2} を制御していないがチャンバに入力するガスとチャンバから排出されるガスの酸素活量を測定しておこなっている。ここで用いた酸素センサーは純金属固体の酸化・還元反応を用いて酸素分圧の校正をおこなっている。このため、Fig.3に示したCO-CO₂混合ガスを用いて P_{O_2} を 10^{11} Paに制御した結果とよく一致している。このため、OSCを用いた測定に際しても、酸素分圧を純金属の酸化・還元反応を用いて校正する計画である。さらに、校正したOSCを用いて純金属液体の表面張力測定も準備として必要であり、Zr, Ni, Ti, Feなどの測定をおこなう。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中の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とともに、新たな高温融体の物理化学の構築を目指す。

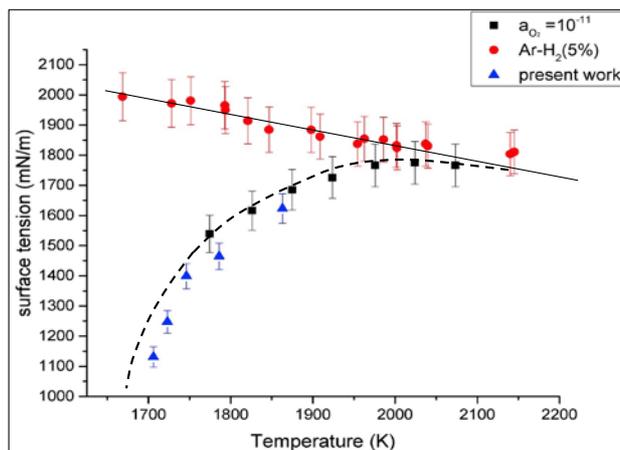


Fig.3 Temperature change of surface tension of Fe melts under microgravity conditions.

【参考文献】

- [1] S. Ozawa *et al.*, J. Appl. Phys. , 109 (2010) 014902.
- [2] D. Matson *et al.*, Int. J. Microgravity Sci. Appl., 33(2016)330206.
- [3] S. Ozawa *et al.*, Int. J. Microgravity Sci. Appl., 33(2016)330214.