OUKA
The University of Osaka
Institutional Knowledge Archive

Title	Development of Thermophysical Properties Measurement Methods for High-Temperature Liquids with Aerodynamic Levitation
Author(s)	孫, 一帆
Citation	大阪大学, 2022, 博士論文
Version Type	VoR
URL	https://doi.org/10.18910/88066
rights	
Note	

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

https://ir.library.osaka-u.ac.jp/

The University of Osaka

Form 3

Abstract of Thesis

Name (SUN YIFAN)	
Title	Development of Thermophysical Properties Measurement Methods for High-Temperature Liquids with Aerodynamic Levitation (ガス浮遊法を用いた高温液体の熱物性測定技術の開発)

Abstract of Thesis

Chapter 1 provides the research background, the motivation, and the purpose of this study. During the 1F accident, power loss led to core meltdown, forming molten core materials such as uranium oxides, zirconium oxides, and various metal alloys. The major components of the molten core materials, uranium and zirconium oxides, have melting points approaching 3000 K, which is difficult to handle during measurements. Levitation techniques such as aerodynamic levitation (ADL) can potentially be used to provide a container-less measurement environment for these molten oxides. However, very few reliable thermophysical properties measurement methods work well with ADL. Therefore, the purpose of this work is to develop measurement methods that can reliably evaluate the density, heat capacity, and surface tension of molten oxides for ADL.

Chapter 2 summarizes the available levitation techniques and the measurement methods used during sample levitation. The applicability of electrostatic levitation in the study of molten oxides is discussed.

Chapter 3 discusses the fiber laser and the CO_2 laser ADL setups used in this study. Specifications of the levitation chambers, nozzles, lasers, laser optics, and imaging systems are provided. Temperature calibration and image analysis methods used in later chapters are also mentioned.

Chapter 4 discusses the 'multiple-gas cooling' method for heat capacity measurements. The sample's heat loss model is first constructed based on Newton-Stefan's law. The heat transfer coefficient of the convective heat loss term is expressed using a modified Ranz-Marshall correlation. Using two types of levitation gas to cool the same sample, I can obtain the sample's emissivity and heat capacity from the cooling curves. With the 'multiple-gas cooling' method, I have reported the heat capacity of various liquid transition metals.

Chapter 5 introduces the 'drop-bounce' method for surface tension measurements. The splittable nozzle is used with a boron nitride platform to initiate sample oscillations. The sample oscillates during free-fall without the influence of the levitation gas, which means Rayleigh's equation can be directly used for surface tension calculations. The surface tension of liquid gold obtained in this work is in excellent agreement with data taken in space, proving the reliability of the 'drop-bounce' method.

Chapter 6 focuses on the development of the 'ADL-drop' method for density measurements. Using the splittable nozzle, I have an unobstructed view of the sample during measurements. The density of liquid platinum obtained with the 'ADL-drop' method is in accord with literature values.

Chapter 7 summarizes how these new measurement techniques show significant improvements from previous studies and allow thermophysical properties of molten oxides to be measured with greater reliability. This information allows one to perform more precise computational fluid dynamics simulations and contributes to the design of safer nuclear reactors. Finally, foreseeable challenges when handling molten core materials with levitation techniques are discussed.

様式 7

論文審査の結果の要旨及び担当者

氏　名　（　SUN YIFAN　）		
論文審査担当者	（職）	氏　名
	主 査　准教授	大石　佑治
	副 査　教授	村田　勲
	副 査　教授	中川　貴
	副 査　教授	黒﨑　健（京都大学複合原子力科学研究所）

論文審査の結果の要旨

福島第一原子力発電所（1F）事故では電源を喪失したことにより炉心が損傷し、UO_2 や ZrO_2 といった酸化物及び金属からなる炉心溶融物が発生したと考えられている。炉心溶融物の物性を把握することは、その拡がり挙動などの予測のためには必要不可欠である。重要な炉心溶融物である UO_2 や ZrO_2 の融点は 3000K に近く、通常の容器を用いる物性測定方法では試料と容器が反応してしまうことにより物性測定が困難である。容器との反応に関する問題はガス浮遊法（ADL）のような浮遊法によって解決できる。浮遊法の中でも ADL は酸化物と金属の両方を容易に浮遊できる手法であるが、ADL を用いた物性評価手法は極めて限られているのが現状である。そこで本論文では、炉心溶融物の挙動評価において重要な物性である密度、比熱、表面張力について、ADL を用いた新たな物性評価方法を開発することを目的としている。本論文の構成は以下の通りである。

1 章では様々な浮遊法について概説し、浮遊法の中でも物性評価において豊富な実績がある静電浮遊法が酸化物に適用できるかについて検討している。

2 章では、本研究で用いたファイバーレーザーを試料加熱に用いる ADL 装置及び CO_2 レーザーを試料加熱に用いる ADL 装置の構成について述べている。チャンバーやノズル、レーザー、光学系、画像記録システムの詳細が説明されている。また、試料温度測定及び測定した温度を校正する方法、記録した画像の解析方法が述べられている。

3 章では密度測定のために新たに開発した ADL-落下法について述べられている。分割可能なノズルを用いて溶融試料を落下させ、落下中の試料の画像をハイスピードカメラにより記録する。試料画像から体積を算出し、密度を評価する。本手法を用いた白金の密度測定結果が文献値と良く一致していることから、本測定手法が妥当であることを示している。

4 章では複数のガスを浮遊に用いることで比熱を評価する手法について述べられている。試料の熱損失モデルを Newton-Stefan’s law を元に構築し、伝熱熱損失は Ranz-Marshall の式を用いて表している。2 種類のガスを浮遊ガスとして用いることで伝熱熱損失を変化させた上で試料の冷却曲線を測定し、比熱と放射率を決定する。この手法を用い、様々な遷移金属の比熱を評価し、文献値と良く一致することを示すことにより本手法により比熱評価が可能であると結論付けている。

5 章では表面張力測定のために新たに開発した液滴反跳法について述べられている。分割可能なノズルを用いて溶融試料を落下させ、窒化ホウ素製のプレートに衝突させる。液滴は衝突後に振動しながら反跳するので、これにより液滴振動を励起できる。このとき試料は浮遊ガスの影響を受けないため、Rayleigh の式を用いて表面張力を評価することができる。この手法により評価した金の表面張力が微小重力下で測定された文献値と良く一致していることから、本手法により表面張力の測定が可能であることが示されている。

最後の章では、本研究で開発した手法がいかに炉心溶融物の物性解明に貢献するのかについて述べられている。また、本研究で開発した手法をUO_2のような炉心溶融物に対して適用する際の課題について議論されている。

以上のように、本論文は金属及び酸化物高温融体の物性解明を可能とするような新たな物性測定手法を提示しており、環境・エネルギー工学の発展に大きく寄与するものである。

よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。