

令和 3 年 2 月 1 2 日

1. 報告者

氏名（フリガナ）	大石 佑治（オオイシ ユウジ）
生年月日（年齢）	昭和 5 7 年 6 月 8 日（3 8 歳）
所属機関名	大阪大学

※年齢は令和 3 年 3 月 11 日現在

2. 研究内容

研究テーマ	炉心溶融物の熱物性評価
研究分野	廃炉推進
研究概要（要約）	
炉心溶融事故の事故進展の推測のためには、炉心溶融物の挙動を把握する必要がある。そのためには炉心溶融物の熱物性の評価が必要不可欠である。本研究では炉心溶融物の粘性や表面張力といった熱物性を明らかにすることを目的とし、ガス浮遊法や静電浮遊法といった浮遊法を用いて炉心溶融物関連物質の熱物性の評価に取り組んでいる。これまでに ZrO_2 や Zr に O が溶けた Zr-O 系溶融物の粘性や表面張力を明らかにしてきた。	
研究の背景	
溶融物の挙動は粘性等の熱物性により支配されるため、炉心溶融物の流動挙動を推測するためにはその熱物性の把握が必要不可欠である。しかし、炉心溶融物は UO_2 や Zr を含んでいるために高温かつ反応性が高く、熱物性の測定は容易ではない。このような高温溶融物の物性評価には、容器を用いず非接触で物性を評価できる浮遊法が適している。これが、静電浮遊法やガス浮遊法といった浮遊法技術を炉心溶融物へ適用するという本研究に至った経緯である。	

具体的内容

炉心溶融物の流動挙動を正確に予測するためには、溶融物の熱物性を把握する必要がある。図 1 に示す通り、 UO_2 は高温で Zr と反応して U-Zr-O からなる液相を生じる。炉心溶融物の中でも、燃料と被覆管が溶融して生じる U-Zr-O 溶融物が最も重要であると考えられる。しかしながら高温と高い反応性のために U-Zr-O 溶融物の熱物性評価は容易ではない。そこで本研究では浮遊法を適用する。

様々な浮遊法が存在するが、本研究では金属系溶融物には金属の浮遊に適した静電浮遊法を、酸化物系溶融物には雰囲気制御が容易なガス浮遊法を用いた。図 2 に、例としてガス浮遊装置の外観を示す。ガス浮遊法ではガス流によって試料を浮遊させ、静電浮遊法では静電力によって試料を浮遊させる。外力によって振動を励起し、振動の減衰挙動から粘性を導出する。

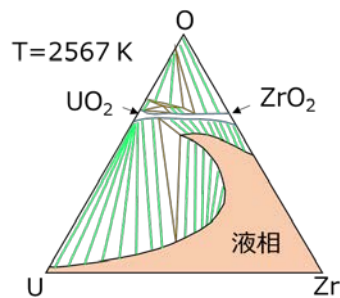


図 1 U-Zr-O 状態図

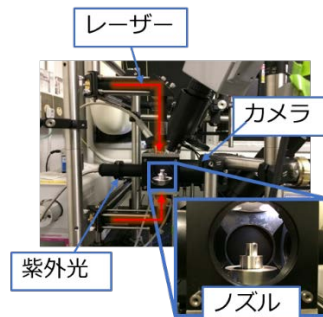


図 2 ガス浮遊装置の外観

図 3 に、ガス浮遊法で得られる溶融試料の画像と減衰振動の様子、及びガス浮遊法と静電浮遊法で得た Zr-O 溶融物の粘性の温度依存性を示す。このように、酸素組成が増加するに従って粘性が高くなることを明らかにした。

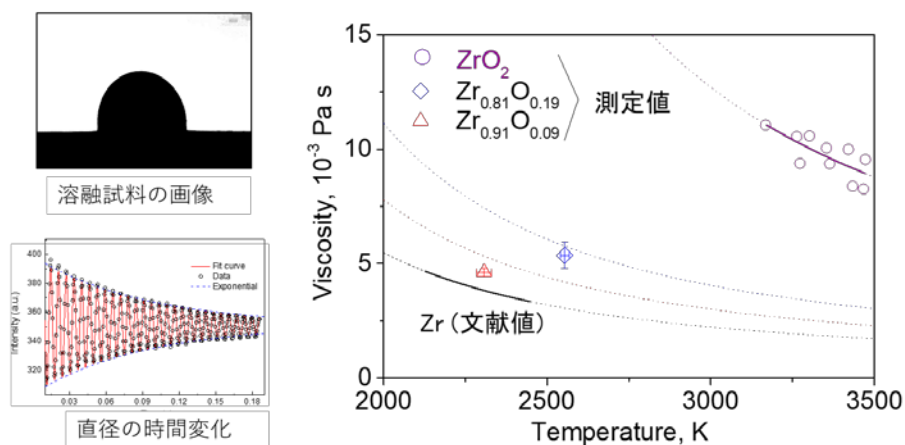


図 3 ガス浮遊した試料の画像、液滴振動する試料の直径の時間変化、及び Zr-O 溶融物の粘性の温度依存性。

期待される効果

本研究により炉心溶融物の熱物性が評価できれば、炉心溶融物の流動挙動をより正確に推測できるようになると考えられる。炉心溶融物の流動挙動を把握できれば、炉心溶融事故の事故進展の推測を高度化することができる。これは、今後の燃料デブリ取り出しやより安全な原子炉の設計のために貢献するものであると考えられる。

福島第一原子力発電所の廃炉においては燃料デブリを取り出す必要があり、そのためには燃料デブリの3次元的な分布を推測する必要がある。炉内調査により燃料デブリの表面の情報は得られるが、深さ方向の情報を得るのは容易ではない。そのため、シミュレーション等により事故進展を推測することが重要になると考えられる。シミュレーションによって信頼性の高い結果を得るためには、炉心溶融物の正確な熱物性の情報が欠かせない。すなわち、本研究は燃料デブリの分布、特に3次元的な分布推測の高度化に資することで廃炉に貢献することができると言える。

また、より安全な原子炉の実現のためには、炉心溶融事故が起きたとしてもその影響が最小化できるような設計となっている必要がある。このような設計のためには、炉心溶融事故が起きた際の事故進展を精度良く予測することが必要である。本研究により炉心溶融物の熱物性が評価できれば、炉心溶融物の流動挙動の把握を通してより安全な原子炉の設計に貢献できると考えられる。

補足資料

Y. Ohishi et al., "Thermophysical properties of molten $Zr_{1-x}O_x$ ($x=0.1, 0.2$) measured by electrostatic levitation", J. Nucl. Mater. 528, 151873, 2020.

T. Kondo, H. Muta, K. Kurosaki, F. Kargl, A. Yamaji, M. Furuya, Y. Ohishi, "Density and viscosity of liquid ZrO_2 measured by aerodynamic levitation technique", Heliyon 5, e02049, 2019.