

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：34310

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02490

研究課題名（和文）完全非接触粘性計測による高温金属融体合金粘性モデルの構築

研究課題名（英文）Non-contact viscosity measurement for the development of viscosity model for high-temperature metallic alloy

研究代表者

小畠 秀和（Kobatake, Hidekazu）

同志社大学・研究開発推進機構・教授

研究者番号：10400425

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,160,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、ガスジェット浮遊装置での液滴振動法による熔融金属の粘性測定と放射率に依存しない温度計測を行った。熔融Feおよび熔融Niに対してガスジェット浮遊法による粘性測定を行ったところ、文献値よりも高く粘性が測定された。このことは、ガスジェット浮遊法で測定した粘性には液滴内の流れを考慮した補正式が必要であることが示唆される。

非接触での放射率に依存しない2波長反射率比法による温度計測を試みた。本手法を融点で保持した熔融Ni、Cuに対して適用し温度計測を行ったところ、2波長反射率比法で熔融金属の非接触温度計測が可能であり、放射率が未知の合金に対しても非接触での温度計測ができることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我が国を牽引する製造業の核心を占める技術が、鑄造や溶接など融体を経由する材料プロセスである。これらのプロセスのメカニズムの理解と、さらなる革新的技術開発のためには、物質移動を支配する正確な高温融体の粘性データが広い温度範囲で必須である。しかし高温の金属は反応性が高いため、それらの物性値を測定することは困難であった。

そこで本研究では放射率に依存しない非接触温度測定と、液滴振動法による粘性測定を組み合わせ、この問題の克服に挑戦した。粘性測定では測定値を補正する必要性が判明した。一方、2波長反射率比法を用いることで、高温金属融体の温度を放射率のデータがなくとも測定できる技術が実現できた。

研究成果の概要（英文）：In this study, viscosity measurement for liquid metals and and emissivity-independent temperature measurement were carried using levitation technique. The viscosities of molten Fe and molten Ni measured using the aero dynamic levitation shows higher value than the literature values. This results suggests that the viscosity measured by the aerodynamic levitation requires a correction formula with considering the flow inside the droplet. Meanwhile, non-contact temperature measurement using the Dual-wavelength reflectance-ratio method (DWR), which does not depend on the emissivity was also applied for levitated liquid metals. It was turned out that the DWR was applicable for metallic sample at high temperature without emissivity data.

研究分野：金属材料

キーワード：浮遊法 非接触 粘性測定 温度測定

## 1. 研究開始当初の背景

我が国の重要な製造業を支え、牽引しているのが、鋳造・溶接技術や、近年目覚ましく発展している3D積層造形等のレーザー加工技術である。これらのプロセスでは高温の熔融状態を経て材料・素材が製造される。このような融体を経由する材料プロセスを理解・制御し、さらなる革新的な技術開発を通じて国際的な競争力を高めていくためには、プロセス中の物質移動現象を支配する高温融体の熱物性値のデータが必須である。これらのプロセスでは、融解・凝固に伴い合金の温度や組成が刻々と変化するだけでなく温度勾配が出現する。これら凝固過程における溶融合金の複雑な挙動が、製造される材料の性能に重要な役割を果たす。このようなプロセスを正確にシミュレートするためには、融点近傍の純金属の融体の粘性だけでなく、組成や広い温度範囲に応じて融体の粘性がどのように変化するかを予測できる系統的なモデルの構築が不可欠である。また、このような粘性モデルの構築は、先述の材料プロセスへの応用だけでなく、高温の金属融体中の原子の構造や挙動の理論的解明にとっても重要である。しかし、高温の金属融体は非常に活性であるため、純金属に対しても正確な粘性を測定することが難しい。これまで溶融合金の粘性に対しては、構成する純金属の粘性と混合のエンタルピーで記載しようとする試みがなされているが、未だ溶融合金の粘性を予測できる統一的なモデルは提案されていない。

## 2. 研究の目的

一般に熔融金属および合金の粘性  $\eta$  は融点近傍で大きく変化するアレニウス型の温度依存性;  $\eta = \eta_0 \cdot \exp(E_A/RT)$  を示すことが知られている。ここで  $\eta_0$  は高温での粘性の漸近値、 $E_A$  は活性化エネルギーである。しかし、金属融体の粘性については報告値に20%以上のばらつきがある[4]。これは高温で熔融状態にある金属や合金は非常に化学活性で容器と反応するため正確な計測が難しいためである。さらに、純金属のデータが取得できたとしても従来の方法では、融点以上の限られた温度範囲でしか粘性を測定できないという問題がある。溶融合金は組成によって純金属と融点が大きく異なるため、粘性の測定温度範囲が一致せず、モデルの検証が行えない。このような問題を解決するためには、(1) 試料と容器との反応を防いだ熔融金属の粘性測定、(2) 超高温および過冷却状態を含む広い温度範囲での正確な粘性測定に基づく活性化エネルギーと高温での粘性の漸近値の決定が必要である。この問題を解決するため、本研究では雰囲気制御型ガスジェット法を用いた粘性測定である。本研究では申請者が行ってきた浮遊法による液滴振動法による粘性測定と、2波長反射率比法による温度測定を組み合わせた完全非接触での粘性測定を試みた。

## 3. 研究の方法

### 3-1) 粘性測定

本研究では、液滴振動法による熔融金属の粘性測定および表面張力測定を試みた。微小重力環境下や静電浮遊法によって小さな液滴を浮遊できる場合、液滴はその表面張力により真球の形状を保つことができる。この時、表面振動モードは縮退して表面振動周波数は一つのピークを持つ。このような条件下で液滴の表面振動を励起させた時、液滴は外力が加わらない場合、液滴の振動は減衰するが、この緩和時間  $\tau$  を用いて液滴の粘性  $\eta$  は、

$$\eta = \frac{3\pi}{20} \cdot \frac{M}{r\tau} \quad (1)$$

と表される[1]。ここで  $r$  は液滴の半径を示す。

### 3-2) 温度計測 [2, 3, 4]

温度  $T$  において試料から表面から放射される波長  $\lambda_1$ ,  $\lambda_2$  の光の輝度  $L_{\lambda_1, \text{off}}(T)$ ,  $L_{\lambda_2, \text{off}}(T)$  は、それぞれの波長での試料の放射率  $\epsilon_\lambda$  と黒体放射輝度  $L_{\lambda, \text{BB}}(T)$  を用いて、

$$L_{\lambda_1, \text{off}}(T) = \epsilon_{\lambda_1} \cdot L_{\lambda_1, \text{BB}}(T) \quad (2)$$

$$L_{\lambda_2, \text{off}}(T) = \epsilon_{\lambda_2} \cdot L_{\lambda_2, \text{BB}}(T) \quad (3)$$

と表される。この時、試料に対して補助光源を照射すると、試料表面の輝度  $L_{\lambda, \text{on}}(T)$  は試料からの放射輝度と補助光源の輝度の和として、

$$L_{\lambda_1, \text{on}}(T) = \epsilon_{\lambda_1} \cdot L_{\lambda_1, \text{BB}}(T) + \rho_{\lambda_1} \cdot L_{\lambda_1, \text{LS}} \quad (4)$$

$$L_{\lambda_2, \text{on}}(T) = \epsilon_{\lambda_2} \cdot L_{\lambda_2, \text{BB}}(T) + \rho_{\lambda_2} \cdot L_{\lambda_2, \text{LS}} \quad (5)$$

と表される。ここで、 $\rho_{\lambda_1}$ ,  $\rho_{\lambda_2}$  及び  $L_{\lambda_1, \text{LS}}$ ,  $L_{\lambda_2, \text{LS}}$  はそれぞれの波長における試料の反射率及び補助光源の輝度である。これら、補助光源の照射がある場合とない場合の2波長での輝度および補助光源の輝度比  $R_{\text{LS}}$ , ( $R_{\text{LS}} = L_{\lambda_1, \text{LS}}(T)/L_{\lambda_2, \text{LS}}(T)$ ), を用いKirchhoffの熱放射に関する法則 ( $\epsilon_\lambda + \rho_\lambda = 1$ ) を仮定することで2波長それぞれの黒体放射輝度を実測可能な輝度データを用いて以下のように表すことができる。

$$L_{\lambda_1, \text{BB}}(T) = \frac{L_{\lambda_1, \text{off}}(T) - \alpha(T) \cdot R\rho \cdot L_{\lambda_2, \text{off}}(T)}{1 - R\rho} \quad (6)$$

$$L_{\lambda 2, BB}(T) = \frac{\frac{1}{\alpha(T)} \cdot L_{\lambda 1, off}(T) - R\rho \cdot L_{\lambda 2, off}(T)}{1 - R\rho} \quad (7)$$

この黒体放射輝度から試料の放射率を使わずにプランクの法則を用いて温度を計算できる。

#### 4. 研究成果

##### 4-(1) 液滴振動法による粘性測定

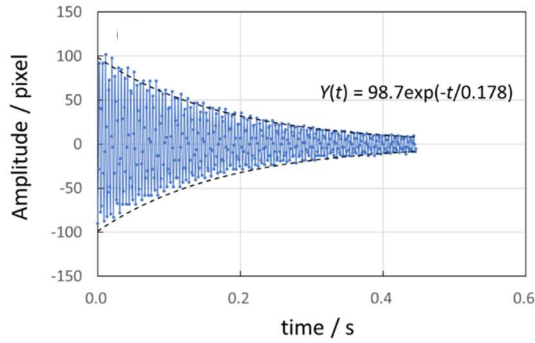


図 1. (a)液滴の表面振動の振幅の時間変化

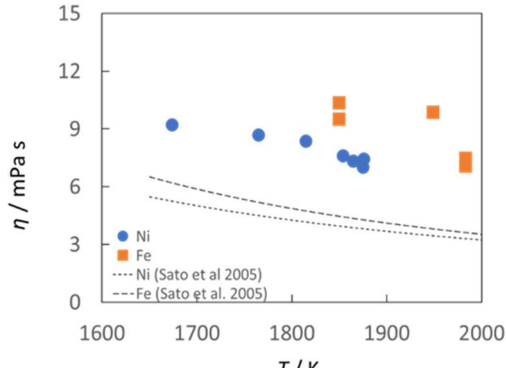


図 2. 本研究で測定した溶融 Ni および Fe の粘性の温度依存性。

粘性は  $1 \times 10^{-3} \text{ m}^2 \text{ s}^{-1}$ 、密度を  $1000 \text{ kg m}^{-3}$ 、表面張力  $\sigma$  は  $0.07 \text{ N m}^{-1}$  とし、液滴の初期アスペクト比  $b/a$  は 1.2 とした。

$$\rho \left( \frac{\partial V}{\partial t} + (V \cdot \nabla) V \right) = -\nabla P + \mu \nabla^2 V + F_\sigma + \rho g \quad (8)$$

$$\frac{\partial \alpha}{\partial t} + \nabla \cdot (\alpha V) = 0 \quad (9)$$

図 3 に VOF 法による無重力下での液滴振動の様子を示す。この条件では本研究によって得られた解析結果と Lamb の解析解による理論値がほぼ一致していることから、Lamb の解析解を用いて粘性を決定できる。一方、ガスジェット浮遊を再現する条件で行ったシミュレーションでは本解析結果から求めた粘性は  $2.725 \times 10^{-3} \text{ Pa} \cdot \text{s}$  であり、約 2.7 倍の値となることが分かった。このことから、ガスジェット浮遊法による粘性測定には、ガス流に起因する減衰要因を補正する項を考慮する必要があると考えられる。

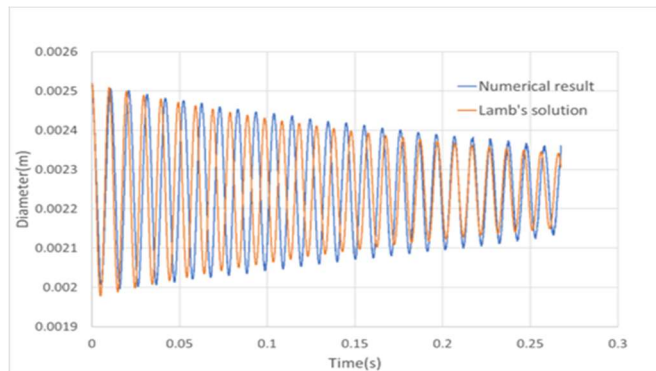


図 3 液滴振動法の数値シミュレーション結果の一例

##### 4-(2) 2 波長反射率比法による溶融 Ni に対する温度計測

この項目は 2023 年の High Temperatures-High Pressures に掲載された論文[5]からの引用である。電磁浮遊させた溶融 Ni の下面の温度を、融点で放射率を校正した単色放射温度計を用いて測

画像解析の結果得られた液滴振動の振幅の時間変化の一例を図 1(a)に示す。液滴の表面振動の振幅は指数関数的に単調に減少しており、0.4 秒程度時間が経過するとほぼ振動は停止していることが分かる。この振動の時間減衰曲線の振幅の極大値に指数関数をフィッティングして減衰の緩和時間を決定した。

本研究によって得られた溶融 Fe および Ni の粘性の温度依存性を図 2 に示す。回転振動法によって測定された溶融 Fe および Ni の文献値の値[5]も示す。本研究で測定された粘性は溶融 Fe および Ni とともに温度上昇に伴い低下していることが分かる。しかし、本研究で測定された値は文献値に比べ高い値を示すことが分かった。

流れが液滴振動法による粘性計測に与える影響を調べるためにオープンソース CFD ツールボックスの OpenFOAM®用いて VOF 法の計算を行った。混相流の計算が可能なソルバである interFoam を使用し、支配方程式は表面張力と浮力を考慮した Navier-Stokes 方程式(式(8))と流体率の移流方程式(式(9))である。ここで、 $V$  は速度、 $P$  は圧力、 $\mu$  は粘性係数、 $\rho$  は密度、 $g$  は重力加速度である。水と空気の物性値を用い、空気中の水滴について計算した。液滴表面振動を確認するために無重力下での液滴表面振動の様子を解析した。平衡半径を 1 mm、体積一定を条件として楕円状に変形させた水滴を無重力下で空気中に設置し表面振動させた。水の

定した。測定では、熔融 Ni の温度がほぼ融点となるように試料に吹き付ける He のガス量を調整した。そのためもし熔融 Ni の放射率が温度依存性を持っていたとしても、実際の温度と融点で放射率を校正した放射温度計の表示温度の差は小さくなる。単色放射温度計で測定した温度を  $T_{ref}$  とし、この温度と放射率を使わずに決定できる DWR で測定した温度  $T_{DWR}$  との差を調べた。

単色放射温度計で測定した温度 ( $T_{ref}$ ) と DWR で決定した測定温度の結果を表 1 に示す。温度計算に用いた補助光源の  $R_{LS}$  値は、直接光 ( $R_{LS, Direct}$ )、標準拡散反射板からの反射光 ( $R_{LS, Reflector}$ )、固体 Ni 球からの反射光 ( $R_{LS, Sphere}$ ) から決定したそれぞれの値を用いている。固体 Ni 球からの反射光を用いて決定した  $R_{LS, Sphere}$  を用いた場合、非球面レンズおよび反射型コリメータを用いて DWR により決定した温度と、融点で放射率を校正した放射温度計を用いて決定した温度との差はそれぞれ 43 K と 23 K であり、 $R_{LS, Reflector}$ ,  $R_{LS, Direct}$  を用いて測定するよりも精度が上がっていることが分かる。このことから、光学系の最適化と試料形状を考慮した補助光源の輝度比の決定が重要であることが分かった。

表 1. DWR による測定温度と参照温度との差

補助光源の輝度比	非球面レンズ ( $T_{ref} = 1730$ K)		反射型コリメータ r ( $T_{ref} = 1728$ K)	
	$R_{LS}$	$T_{ref} - T_{DWR}$	$R_{LS}$	$T_{ref} - T_{DWR}$
$R_{LS, Direct}$	0.95	n.a.	1.15	n.a.
$R_{LS, Reflector}$	1.25	86 K	1.23	n.a.
$R_{LS, Sphere}$	1.15	43 K	1.32	23 K

\*DWR による温度測定には  $\lambda_1 = 780$  nm and  $\lambda_2 = 880$  nm を用いた

DWR による温度測定の再現性を評価するために、電磁浮遊させた熔融 Ni を 1729 K で保持し、繰り返しの温度計測を行った。補助光源には反射型コリメータを用いて、温度計算時には補助光源の輝度比として  $R_{LS, Sphere}$  を用いた。5 秒ごとに補助光源の照射を 5 回繰り返し、補助光源が無い時の試料の放射輝度と、補助光源の反射光を含む輝度のデータを取得した。その結果を表 2 に示す。5 回の照射実験を行い DWR で決定した温度  $T_{DWR}$  は  $T_{ref}$  に比べ平均 12 K 低くなっていることが分かった。本測定では、DWR による温度測定は試料の上面、放射温度計による  $T_{ref}$  の温度測定は試料の下面に対して行っていた。Tsukada et al [20] による静磁場中で浮遊させた熔融 Si の温度分布に関する数値シミュレーションでは、地上での電磁浮遊法による実験では不均質に誘導加熱が起こるため、浮遊液滴上面の温度は下面の温度に比べ 10 K 程度低くなることが指摘されている。よって、今回確認された  $T_{DWR}$  と  $T_{ref}$  の差は測定位置の違いによって生じたものであると考えられる。DWR による温度測定のばらつきは温度測定値の標準偏差を採用して 25 K ( $n = 5$ ) となる。この研究を通じて、DWR を用いることで放射率に依存しない熔融金属の温度計測が可能であることが示された。

表 2. DWR による温度測定の再現性 ( $T_{ref} = 1729$  K)

No.	$R_{LS, Cal}$	$T_{DWR}$	$T_{ref} - T_{DWR}$
(1)	1.25	1679	51
(2)	1.30	1716	13
(3)	1.29	1712	17
(4)	1.31	1732	-3
(5)	1.32	1745	-16
Average	1.29	1717	12
Standard deviation	0.03	25	25

\*DWR による温度測定には  $\lambda_1 = 780$  nm and  $\lambda_2 = 880$  nm を用いた

#### 参考文献

- [1] H. Lamb, Hydrodynamics, 6th ed., Cambridge University Press, (1932). [2] Y. Yamada, J Ishii, SICE Annual Conference 2014 September 9-12, Hokkaido University, Sapporo, Japan (2014) [3] H. Kobatake, Y. Kurokawa, M. Iwabuchi, M. Adachi, M. Ohotsuka, H. Fukuyama, Y. Yamaguchi, Y. Yamada, N. Sasajima, Meas. Sci. Technol. 34 015010 (2023) [4] H. Kobatake, M. Iwabuchi, Y. Kurokawa, M. Ohtsuka, M. Adachi, H. Fukuyama, N. Sasajima, Y. Yamada, High Temp.-High Press. Accepted (2023) [5] Y. Sato, K. Sugisawa, D. Aoki, T. Yamamura, Meas. Sci. Technol. 16 363 (2005)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7件（うち査読付論文 6件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Juergen Brillo, Johanna Wessing, Hidekazu Kobatake, Hiroyuki Fukuyama	4. 巻 51
2. 論文標題 Molar heat capacity of liquid Ti, Al <sub>20</sub> Ti <sub>80</sub> and Al <sub>50</sub> Ti <sub>50</sub> measured in electromagnetic levitation	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 High Temperatures-High Pressures	6. 最初と最後の頁 145-164
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Hidekazu Kobatake, Akira Akahira, Seiichiro Ioka, Shinji Kirihara	4. 巻 34
2. 論文標題 Thermal decomposition kinetics of synthesized calcite and fishery wastes such as shell of bivalves, and spines of a sea urchin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Eco-Engineering	6. 最初と最後の頁 27-35
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Masayoshi Adachi, Keigo Fujiwara, Ryuta Sekiya, Hidekazu Kobatake, Makoto Ohtsuka, Hiroyuki Fukuyama	4. 巻 142
2. 論文標題 In situ observations of the dissolution of an AlN film into liquid Al using a high-temperature microscope	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Science in Semiconductor Processing	6. 最初と最後の頁 106469-106469
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Zaka Ruhma, Masayoshi Adachi, Hidekazu Kobatake, Hiroyuki Fukuyama	4. 巻 281
2. 論文標題 Phase relation in Ga-Al-N <sub>2</sub> systems and nitrogen solubilities in Ga-Al melts equilibrated with aluminum nitride	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Materials Science and Engineering	6. 最初と最後の頁 115747-115747
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 小島 秀和, 小澤 俊平, 清宮優作, 富田脩斗, 渡邊 匡人, 石川 毅彦, Xiao Xiao, Brillo Juergen	4. 巻 35
2. 論文標題 白金融体を用いた浮遊法での表面張力に対するラウンドロビン測定	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of The Thirty-fifth Space Utilization Symposium	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 K. Sugioka, Y. Tsutsui, H. Kobatake	4. 巻 39
2. 論文標題 Numerical Investigation for Measuring Interfacial Tension of Undercooled CuFe Alloy by an Oscillating Droplet Method in the International Space Station	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 International Journal of Microgravity Science and Application	6. 最初と最後の頁 390401
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15011/jasma.39.390401	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 H. Kobatake, Y. Kurokawa, M. Iwabuchi, M. Adachi, M. Ohotsuka, H. Fukuyama, Y. Yamaguchi, Y. Yamada, N. Sasajima	4. 巻 34
2. 論文標題 Emissivity-free radiation thermometry for high-temperature metals using the dual-wavelength reflectance-ratio method	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Measurement Science and Technology	6. 最初と最後の頁 15010
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1361-6501/ac8ca3	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計13件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 小島秀和、小澤俊平、清宮優作、殿岡和己、伊藤輝、杉岡健一、白鳥英、下西里奈、小山千尋、織田裕久、石川毅彦
2. 発表標題 熱エネルギー貯蔵開発に向けたきぼう実験棟での非平衡溶融合金の熱物性計測
3. 学会等名 日本マイクログラビティ応用学会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Kobatake, M. Iwabuchi, Y. Kurokawa, M. Ohtsuka, M. Adachi, H. Fukuyama, N. Sasajima, Y. Yamada
2. 発表標題 Emissivity-free temperature measurement for electromagnetically levitated liquid metals using dual-wavelength reflectance-ratio method
3. 学会等名 13th Asian Thermophysical Properties Conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島秀和、隼瀬俊輔、後藤琢也、小澤俊平、白鳥英、杉岡健一、正木匡彦
2. 発表標題 準安定2液相分離合金を利用した熱エネルギー貯蔵材料の作製
3. 学会等名 日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 小島秀和、小澤俊平、杉岡健一、白鳥英、織田裕久、猿渡英樹、小山千尋、石川毅彦
2. 発表標題 「きぼう」での静電浮遊炉を利用した熱エネルギー貯蔵材料開発に向けて
3. 学会等名 JpGu
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島秀和、石川正道、後藤琢也
2. 発表標題 宇宙惑星居住実現に向けた熱エネルギー貯蔵
3. 学会等名 JASMAC
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島秀和
2. 発表標題 熱エネルギー貯蔵材料開発に向けた無容器での非平衡溶融合金の熱物性計測
3. 学会等名 蓄熱発電と高温蓄熱・太陽熱利用の技術開発動向セミナー
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島秀和、安達正芳、大塚誠、福山博之
2. 発表標題 放射率に依存しない高速2次元温度分布計測に向けて
3. 学会等名 日本熱物性シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島秀和
2. 発表標題 エネルギー貯蔵と温度計測
3. 学会等名 産業計測第36委員会 温度計測分科会 第82回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島秀和、小澤俊平、清宮優作、殿岡和己、伊藤輝、杉岡健一、白鳥英、下西里奈、小山千尋、織田裕久、石川毅彦
2. 発表標題 「きぼう」での静電浮遊炉を利用した非平衡溶融合金の熱物性計測に向けて
3. 学会等名 宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 小島秀和、杉岡健一、安達正芳、福山博之
2. 発表標題 密閉型ガスジェット浮遊装置を用いた液滴振動法による熔融金属の粘性測定
3. 学会等名 第183回日本鉄鋼協会春季講演大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島 秀和, 木村 勇気
2. 発表標題 カルサイト熱分解の前駆現象
3. 学会等名 JpGU
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島秀和, 小澤俊平, 清宮優作, 富田脩斗, 渡邊匡人, 石川毅彦, Xiao Xiao, Juergen Brillo
2. 発表標題 浮遊法による白金融体の表面張力についてのラウンドロビン測定
3. 学会等名 第41回熱物性シンポジウム
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小島 秀和, 小澤 俊平, 清宮優作, 富田 脩斗, 渡邊 匡人, 石川 毅彦, Xiao Xiao, Brillo Juergen
2. 発表標題 白金融体を用いた浮遊法での表面張力に対するラウンドロビン測定
3. 学会等名 宇宙環境利用シンポジウム
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 分担者	笹嶋 尚彦  (Sasajima Naohiko)  (70357127)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・計量標準総合センター・主任研究員   (82626)	
研究 分担者	杉岡 健一  (Sugioka Ken-ichi)  (80438233)	富山県立大学・工学部・准教授   (23201)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------