

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 6 月 9 日現在

機関番号：15301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2021～2022

課題番号：21K18657

研究課題名（和文）核-マントル境界における熱電効果による鉄同位体分別の探索

研究課題名（英文）Fe isotope fractionation by Seebeck effect at the core-mantle boundary

研究代表者

芳野 極（Yoshino, Takashi）

岡山大学・惑星物質研究所・教授

研究者番号：30423338

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究課題によって、大容量のマルチアンビルプレスを用いた超高压下におけるマントル、核物質の熱電測定の技術開発に多くの進展が得られた。ゼーベック効果によって期待される核マントル境界における電場において酸化還元反応が起こることが確認された。高压下におけるマントル鉱物のゼーベック係数測定はこれまで報告は無かったが、本研究で上部マントル鉱物、マントル遷移層で最も豊富な鉱物であるオリビンとワズレアイトのゼーベック係数の測定に成功した。これらの進展は近い将来に地球の核マントル境界におけるゼーベック効果による鉄同位体分別の決定につながる成果である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球の核マントル境界で安定であると期待されるブリッジマナイトの直流電場における酸化還元反応の実験、ゼーベック係数の測定に至らなかったため、鉄同位体分別に関する見識を得ることはできなかったが、高温高压下の熱電測定に向けた技術は直実に進展した。このことは多くの電極を小さい高压セルに組み込む非常に難しい実験の超高压下での実現に期待を持たせる。一方で地球内部での温度差に起因したゼーベック効果の研究は皆無であるが、その効果に一石を投じることができた。高压下における熱電特性の研究の進展は、熱変換デバイスの評価、電極反応の研究の促進にも応用することで社会実装可能なデバイス開発にもつながることが期待される。

研究成果の概要（英文）：Through this research project, many advances have been made in the development of thermoelectric measurements of mantle and nuclear materials under ultra-high pressure using a large-capacity multi-anvil press. It was confirmed that the redox reaction occurs in the electric field at the nuclear-mantle boundary expected by the Seebeck effect. The Seebeck coefficients of mantle minerals under high pressure have not been reported so far, but in this study, the Seebeck coefficients of olivine and wadsleyite, which are the most abundant minerals in the upper mantle minerals and the mantle transition zone, were successfully measured. These advances will lead to the determination of iron isotope fractionation by the Seebeck effect at the Earth's core-mantle boundary in the near future.

研究分野：高圧地球惑星科学

キーワード：鉄同位体 ゼーベック係数 酸化還元反応 核マントル境界 高圧実験

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

鉄は太陽系の非揮発性元素の中でも最も豊富な元素の1つで、惑星の形成と分化過程において重要な役割を果たしていると考えられる。地球の鉄同位体比の大きな特徴は、地球のマントルの鉄同位体比( $^{57}\text{Fe}$ )が、コンドライトと同等の $^{57}\text{Fe}$ を持つ火星、小惑星ベスタに対して約0.1‰高いことが挙げられる[1]。この重い鉄同位体比の起源については、コア形成時またはその後の分化によるのかは定かではない。地球誕生初期のマグマオーシャンにおいて、ケイ酸塩と金属メルト間で同位体分別が起こることは指摘されてきたが、高圧実験においてそのような傾向は認められてこなかった。地球のマントル由来の岩石の中でも核-マントル境界(CMB)に起源を持つと考えられる海洋島玄武岩では重い鉄同位体を示すことから、核-マントル相互作用はこの問題を解く鍵となる。

核-マントル境界はマントル側に地球最大規模の温度勾配を有する熱境界層が知られており、同位体分別が起こりうる領域として考慮されてもよい。鉄の同位体分別が起こる可能性として、Leshner et al. [2]は外核の溶融鉄がマントル側に浸透することで浸透した溶融鉄の中で温度勾配によるSoret効果で同位体分別が起こることを実験的に証明した。この効果で $1^\circ\text{C}$ あたり最大0.013‰という大きな同位体分別の値を報告しており、マントルのより重い鉄同位体比が議論された。しかし、Yoshino [3]は溶融鉄合金は最下部マントルを構成するブリッジマナイトやブリッジマナイトとフェロペリクレスの混合物に対して浸透しないことを実験的に確認しており、主要な鉄同位体分別の原因として考慮することはできないことを示唆している。本研究では、核-マントル境界で鉄同位体分別が起こりうる可能性のあるゼーベック効果に着目する。熱境界層における大きな温度勾配のもとでは、ゼーベック効果によって核-マントル間で回路が形成される。実際、10年周期程度で1日の長さが変動することが観測されており、これは核とマントル間で電磁結合が起こっているためであると指摘されている。このような回路の形成がゼーベック効果によっているならば、核-マントル境界でマントル側の物質の正負を決定することが必要である。我々はマントル物質の主要な電荷を特定するためにゼーベック係数の測定技術の開発を行っており、5GPa程度の圧力までの2系統加熱によって試料両端の温度差を制御しながら測定することに成功した[4]。この技術を超高圧下へ適用すると同時に、核-マントル境界で外核の溶融鉄合金に見立てた直流電場におけるケイ酸塩と溶融鉄の間の酸化還元反応実験を行い、それらを組み合わせることで、このモデルの妥当性を検証する土台が整った。この酸化還元反応により鉄同位体分別が生じるかの研究は皆無である。

### 2. 研究の目的

本研究では、CMB上部に位置するマントル最下部は地球内部最大の熱境界層であることから、大きな温度差による熱電(ゼーベック)効果により、その境界で酸化還元反応が起こるといった仮説を提唱する。実験的に核とマントルの境界を再現して鉄の同位体分別が起きるかを調査し、核-マントル相互作用がどの程度の規模でマントルの重い鉄同位体比に寄与するのかを解明することが本研究の目的である。

### 3. 研究の方法

本研究計画では大きく分けて2つの高圧実験のアプローチから構成されており、それぞれにおいて実験手法は異なる。

#### 3.1 ゼーベック係数の測定実験

ゼーベック係数の測定は、Yoshino et al. (2020) において2系統加熱によって試料両端の温度差を制御する方法が開発された。核マントル境界で存在していると考えられるブリッジマナイトの測定のためには、少なくとも24 GPa程度の圧力が必要である。本研究ではセルサイズ的大幅なダウンサイズを試み、川井型マルチアンビルプレスでアンビルの切り欠き長を3mmとして実験を行なった。上下のシートヒーターは電氣的に絶縁されており、独立に制御される。詳細なセル図は図1に示す。本研究では、5GPaで鉄の含有量が異なるオリピンの多結晶体を測定した。さらに測定可能な圧力領域を拡張を狙って、事前に合成したワズライトの多結晶体を15GPaで測定した。

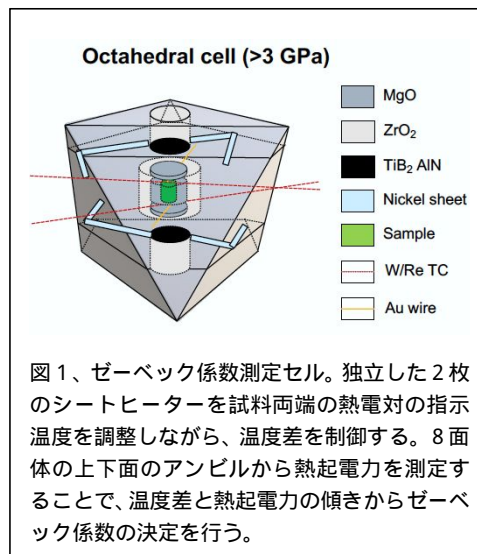


図1、ゼーベック係数測定セル。独立した2枚のシートヒーターを試料両端の熱電対の指示温度を調整しながら、温度差を制御する。8面体の上下面のアンビルから熱起電力を測定することで、温度差と熱起電力の傾きからゼーベック係数の決定を行う。

### 3.2 直流電場における酸化還元反応実験

直流電場における実験はケイ酸塩試料の片側を鉄合金としてその反対側に白金の電極を配置して、温度差によって生じる熱起電力を模して直流電場を与えた。実験は複雑な高圧セルを試すために地球より鉄同位体比が高い月を対象として5 GPa程度の圧力で電位差や温度を変数として実験を行なった。オリピン中には白金の酸素雰囲気センサーを入れることで、電位差をかけた試料を横切る酸素雰囲気のプロファイルを検出した。

## 4. 研究成果

### 4.1 ゼーベック係数

本研究で得られたゼーベック係数の測定結果は図2に示す。鉄を含むオリピンのゼーベック係数は低温では電子ホールのホッピングによって正の値を示す。より酸化条件ではゼーベック係数は大きな正の値を示す。マントルペリドタイトの典型的なFo90の組成ではIWバッファ程度では1100以上で金属サイトの空孔の移動が主体となる負の値にスイッチすることが示唆された。鉄の含有量が増えるにつれて電気伝導度が上昇することから、酸化条件では鉄の3価の濃度が増えると同時にゼーベック係数の値も増加する。また、より高温になるとゼーベック係数が減少することは、負のゼーベック係数をもつイオン伝導が高温で卓越することを示す。また、鉄の含有量が多いとホッピング伝導がより主要な伝導メカニズムとなるので、ゼーベック係数がイオン伝導の寄与によって負になるのはさらに高温になることが予想される。

ワズライトのゼーベック係数の測定は水の影響を考慮して行われた。鉄を含まない含水ワズライトのゼーベック係数は常に負の値を持つことから、ホッピング伝導に比べてプロトン伝導の効果は小さいことが示唆され

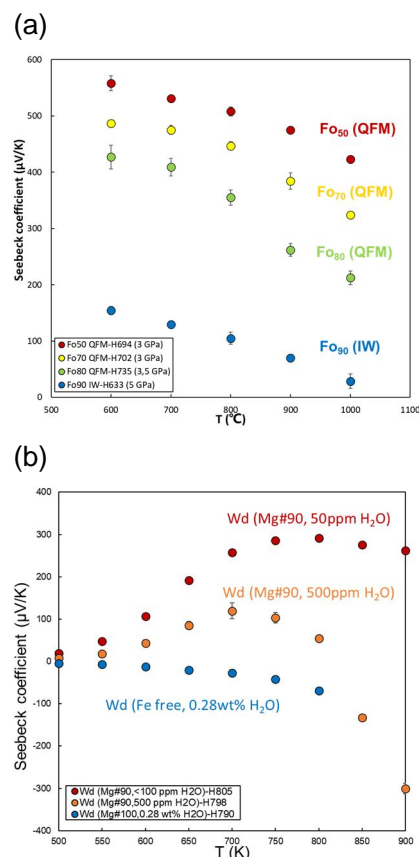


図2、ゼーベック係数の温度依存性。(a) 5GPaで測定された多様な鉄濃度のオリピン多結晶。(b) 15GPaで測定されたワズライト多結晶。

る。鉄を含む含水ワズレアイトのゼーベック係数は正の値を持つが 900K という比較的低温でゼーベック係数は急激に負となった。水の量が減るとゼーベック係数は高い値をキープすることから、水の存在に起因した電荷は鉄が存在する場合はプロトンが主要なキャリアではないことを示している。

#### 4.2 電場下の酸化還元反応

直流電場下のケイ酸塩試料中の酸化還元プロファイルを図 3 に示す。試料の電極付近では酸化還元反応が生じており、陽極では金属の酸化膜の形成に伴いケイ酸塩試料側では還元されており、陰極ではその逆で酸化的となり、試料を横切って連続的な酸化還元プロファイルが得られた。このことは直流電場下でゼーベック効果により、ケイ酸塩マントルは酸化還元反応を引き起こすことを示唆する。

#### 4.3 考察

この研究期間では本来の目的であるブリッジマナイトのゼーベック係数測定、電気分解実験には至らなかったため、鉄同位体分別の測定という当初の目的を達することはできなかったが、今後に向けて重要な知見を得ることができた。本研究結果に基づき、ゼーベック効果による CMB で起こる反応を考察する。鉄に富む MORB のような物質が CMB に存在するとゼーベック効果によってホッピング伝導が卓越することで正の値を持つことから、CMB で起こる反応は還元反応ということになる。一方で CMB により鉄にそれほど富まない領域があれば、そこではイオン伝導が優勢となり、CMB では酸化反応が起こることが想定される。このような回路が CMB で形成されると酸化還元反応により鉄同位体分別が定常的に起こることが期待できる。

#### 参考文献

- [1] Poitrasson et al. (2004) Earth Planet. Sci. Lett. 223, 253–266. [2] Lesher et al. (2020) Nat. Geosci. 13, 382–386 [3] Yoshino (2019) CR Geosci. 351, 171–181. [4] Yoshino et al. (2020) Rev. Sci. Instrum. 91, 035115.G-cube, 14, 4969.

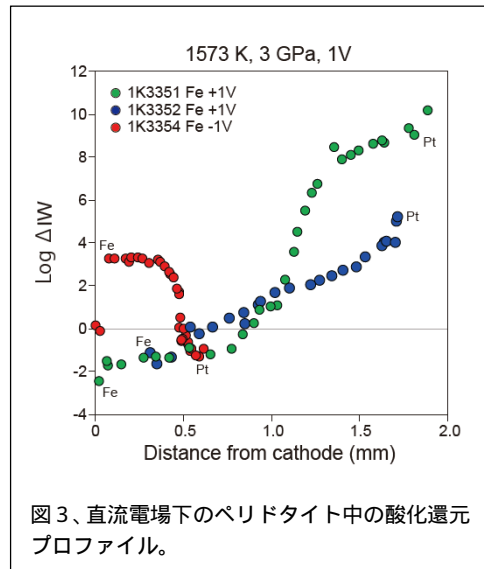


図 3、直流電場下のペリドタイト中の酸化還元プロファイル。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 11件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Kuwahara Hideharu, Nakada Ryoichi, Kadoya Shintaro, Yoshino Takashi, Irifune Tetsuo	4. 巻 16
2. 論文標題 Hadean mantle oxidation inferred from melting of peridotite under lower-mantle conditions	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nature Geoscience	6. 最初と最後の頁 461 ~ 465
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41561-023-01169-4	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 Zhang Youyue, Yoshino Takashi, Osako Masahiro	4. 巻 50
2. 論文標題 Effect of Iron Content on Thermal Conductivity of Ferropericlasite: Implications for Planetary Mantle Dynamics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	6. 最初と最後の頁 e2022GL101769
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022GL101769	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Fei Hongzhan, Zhang Baohua, Liu Jia, Yoshino Takashi	4. 巻 10
2. 論文標題 Editorial: Water in the Earth's interior	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Frontiers in Earth Science	6. 最初と最後の頁 106817
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3389/feart.2022.1030793	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する
1. 著者名 Martirosyan N.S., Shatskiy A., Litasov K.D., Sharygin I.S., Yoshino T.	4. 巻 428-429
2. 論文標題 Interaction of carbonates with peridotite containing iron metal: Implications for carbon speciation in the upper mantle	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Lithos	6. 最初と最後の頁 106817 ~ 106817
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2022.106817	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 該当する

1. 著者名 Noriyoshi Tsujino, Daisuke Yamazaki, Yu Nishihara, Takashi Yoshino, Yuji Higo, Yoshinori Tange	4. 巻 8
2. 論文標題 Viscosity of bridgmanite determined by in situ stress and strain measurements in uniaxial deformation experiments_	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 abm1821
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.abm1821	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Xinzhan Guo, Takashi Yoshino, Sibao Chen, Xiang Wu, Junfeng Zhang	4. 巻 13
2. 論文標題 Partial dehydration of brucite and its implications for water distribution in the subducting oceanic slab_	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geoscience Frontiers	6. 最初と最後の頁 101342
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gsf.2021.101342	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Chengcheng Zhao, Takashi Yoshino, Baohua Zhang	4. 巻 127
2. 論文標題 Oxidation Extent of the Upper Mantle by Subducted Slab and Possible Oxygen Budget in Deep Earth Inferred From Redox Kinetics of Olivine_	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth	6. 最初と最後の頁 e2021JB022977
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021jb022977	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 該当する

1. 著者名 Chao Liu, Takashi Yoshino, Daisuke Yamazaki, Noriyoshi Tsujino, Hitoshi Gomi, Moe Sakurai, Youyue Zhang, Ran Wang, Longli Guan, Kayan Lau, Yoshinori Tange, Yuji Higo	4. 巻 42
2. 論文標題 Exploration of the best reference material on anelastic measurement by cyclic loading under high pressure_	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 14-28
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2021.2013834	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 該当する

1. 著者名 Akihiko Nakatsuka, Hiroshi Fukui, Seiji Kamada, Naohisa Hirao, Makio Ohkawa, Kazumasa Sugiyama, Takashi Yoshino	4. 巻 11
2. 論文標題 Incorporation mechanism of Fe and Al into bridgmanite in a subducting mid-ocean ridge basalt and its crystal chemistry_	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 13834
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2021.20	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Xiang Li, Yungui Liu, Ran Wang, Takashi Yoshino, Jingui Xu, Dongzhou Zhang, Tobias Gr_tzner, Junfeng Zhang, Xiang Wu	4. 巻 323
2. 論文標題 Thermal equation of state of F-bearing superhydrous phase B (Mg10Si3O14(OH,F)4): Implications for the transportation of fluorine and water into the lower mantle_	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physics of the Earth and Planetary Interiors	6. 最初と最後の頁 106824
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2021.106824	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 該当する

1. 著者名 IC Ezenwa, T. Yoshino	4. 巻 14
2. 論文標題 Electrical Resistivity of Cu and Au at High Pressure above 5 GPa: Implications for the Constant Electrical Resistivity Theory along the Melting Curve of the Simple Metals_	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Materials_	6. 最初と最後の頁 5476
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/ma14195476	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 Ran Wang, Takashi Yoshino	4. 巻 106
2. 論文標題 Electrical conductivity of diaspore, -AlOOH and -FeOOH_	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 774-781
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2021-7605	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 該当する

1. 著者名 Wei Sun, Takashi Yoshino, Naoya Sakamoto, Hisayoshi Yurimoto	4. 巻 561
2. 論文標題 Hydrogen diffusion mechanism in the mantle deduced from H-D interdiffusion in wadsleyite_	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 116815
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2021.116815	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 該当する

1. 著者名 Bao-Hua Zhang, Xuan Guo, Takashi Yoshino, Qun-Ke Xia	4. 巻 8
2. 論文標題 Electrical conductivity of melts: Implications for conductivity anomalies in the Earth's mantle_	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 National Science Review	6. 最初と最後の頁 nwab064
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/nsr/nwab064	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

〔学会発表〕 計17件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 11件)

1. 発表者名 芳野 極, Wang Ran
2. 発表標題 410km不連続面直上の含水メルトの電気伝導度測定
3. 学会等名 第63回高圧討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森嘉久, 大矢岬輝, 芳野極
2. 発表標題 AlドーブMg <sub>2</sub> Si熱電材料における熱電性能の圧力依存性
3. 学会等名 第63回高圧討論会
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 西原遊, 丹下義範, 肥後祐司, 辻野典秀, 柿澤翔, 國本健広, 吳文天, 高市合流, 久保田哲也, 山崎大輔, 芳野極, 川添貴章, 山口和貴, 久保友明, 坪川祐美子, 本田陸人, 後藤佑太
2. 発表標題 dhcp-FeHxのレオロジー : SPring-8, BL04B1におけるD111型装置を用いた高温高压変形その場観察実験
3. 学会等名 第63回高压討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 坂本誠哉, 友村和也, 芳野極, 劉超, 岡村英一, 赤浜裕一, 野口直樹
2. 発表標題 カルコゲン元素ドーブ黒リンの高压合成と分光学的評価
3. 学会等名 第63回高压討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 T. Yoshino, R. Wang
2. 発表標題 Electrical conductivity of hydrous silicate melt atop of the 410 km seismic discontinuity
3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西原 遊, 丹下 慶範, 肥後 祐司, 辻野 典秀, 山崎 大輔, 芳野 極, 久保 友明, 坪川 祐美子, 本田 陸人, 後藤 佑太, 國本 健広, 川添 貴章, 山口 和貴
2. 発表標題 dhcp-FeHxのレオロジー : SPring-8, BL04B1におけるD111型装置を用いた高温高压変形その場観察実験
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松原 潮季, 寺崎 英紀, 芳野 極, 弓取 大輔, 浦川 啓
2. 発表標題 Wetting ability of liquid FeS in solid core during planetesimal core crystallization
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Terasaki, T. Miura, T. Kondo, T. Yoshino
2. 発表標題 Experimental study on the timescale of core segregation in planetesimals
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Y. Zhang, T. Yoshino, M. Osako
2. 発表標題 Simultaneous measurements of thermal conductivity and thermal diffusivity of bridgmanite and post-spinel: implications for planetary mantle dynamics and evolution
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2022年大会 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 友村 和也, 野口 直樹, 藤井 優輝, 斉藤 隆宏, 芳野 極, 劉 超, 岡村 英一
2. 発表標題 Al,Na ドープ黒リンの高圧合成と物性評価
3. 学会等名 第62回高圧討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 芳野極, Wang Ran
2. 発表標題 熱電効果による沈み込んだスラブの自的酸化還元_
3. 学会等名 第62回高圧討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Chao Liu, Takashi Yoshino
2. 発表標題 The effect of water on energy dispersion of olivine and its implications for the origin of the sharp contrast of seismic observation at the lithosphere-asthenosphere boundary_
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 張 友悦, 芳野 極, 大迫 正弘
2. 発表標題 Simultaneous measurements of thermal conductivity and thermal diffusivity of bridgmanite and post-spinel: implications of mantle dynamics and evolution_
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Takashi Yoshino, Ran Wang
2. 発表標題 Self-redox of subducted slab by Seebeck effect_
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Ran Wang, Takashi Yoshino
2. 発表標題 Redox kinetics of the subducted slabs indicated by Seebeck coefficient measurements_
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 弓取 大輔, 寺崎 英紀, 芳野 極, 浦川 啓
2. 発表標題 Wetting property of Fe-S melt in solid iron: Implication to core crystallization in planetesimals_
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三浦 巧, 寺崎 英紀, 近藤 忠, 大高 理, 芳野 極
2. 発表標題 Possibility of percolation of Fe-S melts in asteroidsPossibility of percolation of Fe-S melts in asteroids_
3. 学会等名 Japan Geoscience Union Meeting 2021 (国際学会)
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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------