

令和 6 年 5 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2022

課題番号：20H00187

研究課題名（和文）地球核領域での絶対圧力スケールの構築

研究課題名（英文）Construction of the universal pressure scale to the Earth's core

研究代表者

大谷 栄治 (Ohtani, Eiji)

東北大学・理学研究科・客員研究者

研究者番号：60136306

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 33,900,000 円

研究成果の概要（和文）：高圧下におけるX線非弾性散乱実験および粉末X線回折実験によって、金属レニウムの縦波速度、横波速度と密度を室温において測定し、その結果を用いてレニウムの圧力と密度の関係を表す新しい絶対スケールを従来の2倍となる世界最高の圧力230GPaまで決定した。その結果、従来のスケールは、地球核の圧力領域において20%以上も圧力を過大評価していたことが明らかになった。この圧力スケールによると、内核の条件では、固体鉄の密度が地震学的に観測された密度より8%も大きく、その密度は、従来の圧力スケールで見積もられていた密度差の約2倍に相当し、核には従来の推定よりも軽い物質が多く含まれていることが明らかになった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今回決定したレニウムにもとづく絶対圧力スケールは、地球の核の構造や組成を見直す結果を示した。しかし、その影響は地球の核だけに限定されず、地球の核よりも大きな圧力の下にある太陽系の他の惑星や地球よりも巨大な太陽系外惑星の内部構造の研究にも変更を迫るものである。さらに、物性物理学、化学、そして材料科学で取り扱われるあらゆる物質の超高压下における振る舞いに対しても、再考を促す成果であり、高压科学分野全般に大きな影響を与えるものである。

研究成果の概要（英文）：We measured the compressional and shear wave velocities and density of rhenium at high pressure and determined the primary pressure scale to 230 GPa, twice the conventional one. The results revealed that the conventional scale overestimated pressures by more than 20% in the pressure region of the Earth's core. According to our pressure scale, the density of solid iron is 8% higher than the seismically observed density under inner core conditions. The density difference is about twice that estimated by the previous pressure scales suggesting that the inner core contains more light elements than that previously estimated.

研究分野：高圧地球科学

キーワード：圧力スケール 地球核 X線非弾性散乱 音速 レニウム 高圧

様式 C-19、F-19-1 (共通)

1. 研究開始当初の背景

近年、系外惑星が数多く発見され、巨大な地球型惑星（スーパーアース）の存在も示唆されている。そして、地球の中心圧力を超える超高压条件での物質のふるまいについての研究にも関心が高まっている。そのような天文学・地球惑星科学の現状において、最大の問題点の一つは、圧力のスケールが未確立なことである。

高压下での物質の密度については、異なる圧力スケールによる圧力値が、100GPa 以下では圧力・密度関係が数%以内で一致するのに対して、内核の圧力 330GPa 以上においては、圧力スケールによる圧力値の違いは 40%を超える。この圧力スケールによる違いは、地球の中心部を議論する際の大きな制約になっている。地球核の軽元素の種類と存在量は、地球の形成環境を反映している。しかしながら、圧力スケールが不確かな現状では、地球核に相当する条件での鉄・軽元素合金の密度を地球核の地震学的密度モデルと比較し、その化学組成を定量的に評価することは不可能である。地球中心部を研究するためには、この圧力領域において様々な仮定や経験則によらない絶対圧力スケール（絶対圧力目盛）を確立することが急務となっている。

2. 研究の目的

本研究は、以下に述べる世界初の試みを行うことによって、これまで地球のマントル条件に限られていた絶対圧力スケールの適用限界を、これまでよりも格段に高い圧力である地球核にまで拡大する点に特色がある。高压下において、縦波速度 (V_p)、横波速度 (V_s) および密度 (ρ) を同時に決定し、これから得られる体積弾性率 (K) と密度 (ρ) から仮定によらない絶対圧力が決定できる。しかしながら、これらの 3 つの物性値を同時に決定することが困難なために、これまで絶対圧力スケールは下部マントルの圧力に限られていた。この困難を「研究の方法」に述べる我々の独創的な手法を用いて、その限界を打破してマルチメガバール（数百万気圧）領域に適用できる絶対圧力スケールを構築することを本研究の目的とした。

3. 研究の方法

本研究では圧力スケール標準物質として、超高压でも相転移が存在せず安定な金属レニウムを用い、最適な放射光による X 線非弾性散乱法を用いて、その弾性波速度を測定した。図 1 に、実験に使用した理研ビームライン BL43LXU の X 線非弾性散乱測定装置を示す。この高压 X 線非弾性散乱法は、申請者らが数年にわたって、独自に開発し確立した方法である。また、X 線非弾性散乱法の散乱エネルギーの分解能を格段に向上させるために、研究分担者 (Baron および福井) が独自に開発し、海外では行われていないソーラースクリーンと呼ばれるスリット系を用いた。この方法によって、200GPa を超える圧力において、これまで測定が不可能であったレニウムの横波のモード (TA) を世界に先駆けて測定した。これによって、X 線非弾性散乱法によって、縦波速度、横波速度を直接測定することが可能になり、同じビームラインにおいて同時に X 線回折実験を行い、レニウムの格子定数から密度を決定することによって、三つの物性値を直接同時に決定することが可能になり、レニウムを用いて絶対圧力スケールをマルチメガバール領域に拡張することができた。

図 2 に、高压発生に使用したダイヤモンドアンビル高压装置と使用したダイヤモンドアンビルを示す。アンビルには、通常のダブルベベルタイプの形状とともに図 2 に示すような階段状形状をしたステップベベルタイプのものを新たに考案して、超高压力の発生を可能にした。この装置を用いて内核境界におよぶ 320GPa を発生し、金属鉄の縦波速度を測定することが可能になった。



図1. 理研ビームラインBL42LXU設置のX線非弾性散乱測定装置

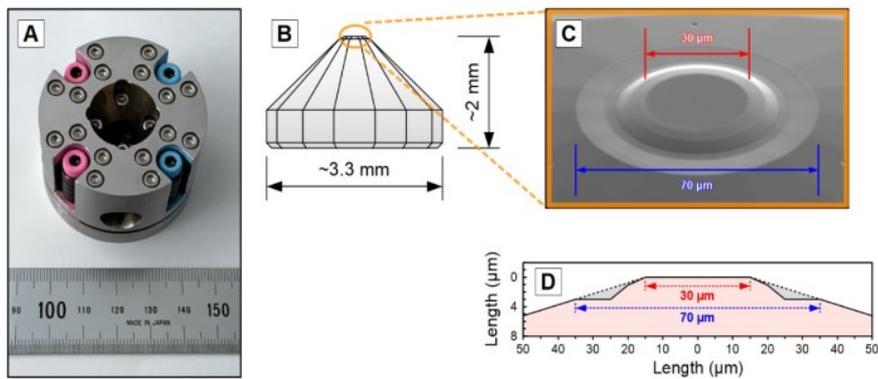


図2. A, 高圧発生用ダイヤモンドアンビルセル; B, アンビル用ダイヤモンド; C, D, ステップベベルアンビル

4. 研究成果

高圧下における X 線非弾性散乱実験および粉末 X 線回折実験によって、超高压下での hcp 構造をもつ金属レニウム、金属鉄、鉄ニッケルケイ素合金の音速と密度の測定に成功した。金属鉄の音速については、地球の内核に相当する 320GPa を超える圧力条件において測定に成功した。この測定結果を図3に示すように、縦波速度と密度が、地球核の密度を超える条件まで、線形の関係が成り立つことを明らかにした。

金属レニウムについては、室温 230 GPa までの条件で、縦波速度、横波速度、密度を決定することができた。図4に室温で 230 GPa の条件で得られたレニウムの X 線非弾性散乱の縦波モードと横波モードを示す。今回の測定の結果、レニウムの X 線非弾性散乱の横波モードは、理想的なレニウム結晶から理論的に期待されるよりも非常に大きいことが明らかになった。この強い横波モードの原因を解明するために、加圧試料を回収して走査型電子顕微鏡を用いた組織観察を行い、同時に、X 線非弾性散乱についての第一原理計算によって、変形したレニウムの横波モ

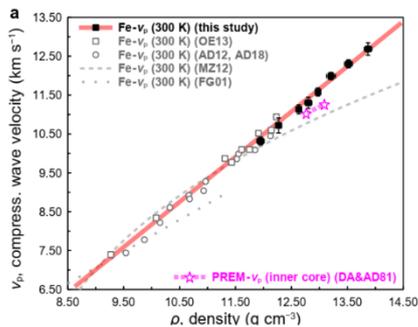


図3. 純鉄の縦波速度と密度の関係
最高圧は約320GPa

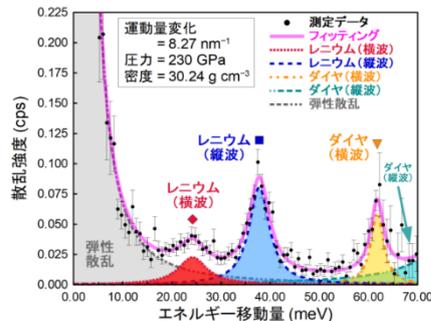


図4. レニウムの縦波モード (青), 横波モード (赤), ダイヤモンドの横波モード

ードの強度の予測をした。そして、これらを組み合わせると、レニウム金属の歪が強い横波モードの原因であることを確認した。以上の結果にもとづいて、室温におけるレニウムの圧力と密度の関係を表す新しい絶対圧力のスケールを従来の2倍となる世界最高の圧力230GPaまで決定した。その結果を図5に示す。この図に示すように従来のスケールは、地球核の圧力領域において20%以上も圧力を過大評価していたことが明らかになった。この新しいレニウムの圧力スケールによると、内核の条件では、図6に示すように、固体鉄の密度が地震学的に観測された密度より8%

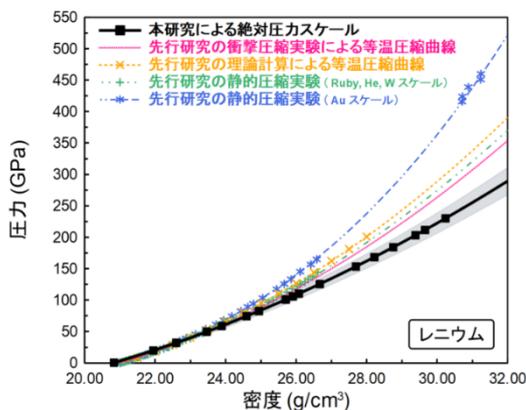


図5. レニウムの様々な圧力スケールにもとづく圧縮曲線

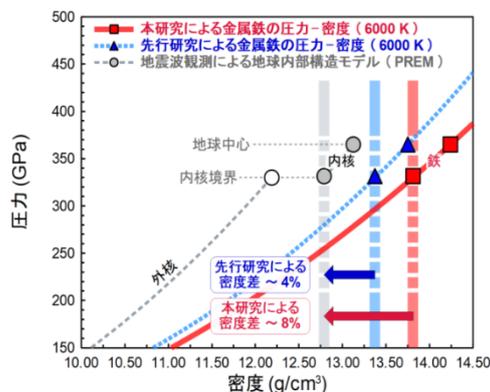


図6. PREMの内核と金属鉄の密度の比較

も大きく、その密度は、従来の圧力スケールで見積もられていた密度差の約2倍にも相当し、核には従来の予想よりも軽い物質が多く含まれていることが明らかになった。

この成果は、以下のような学術的意義、社会的意義を有している。今回決定した絶対圧力スケールは、地球の核の構造や組成を見直す結果を示した。しかしその影響は、地球の核だけに限定されず、地球の核よりも大きな圧力の下にある太陽系の他の惑星や、地球よりも巨大な太陽系外惑星の内部構造の研究にも変更を迫るものである。さらに、物性物理学、化学、そして材料科学で取り扱われるあらゆる物質の超高压下における振る舞いに対しても、再考を促す成果であり、高压科学分野全般に大きな影響を与えるものである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計36件（うち査読付論文 35件／うち国際共著 21件／うちオープンアクセス 19件）

| | |
|--|-------------------------|
| 1. 著者名 D. Ikuta, E. Ohtani, N. Hirao | 4. 巻 2 |
| 2. 論文標題 Two-phase mixture of iron-nickel-silicon alloys in the Earth's inner core | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Communications Earth & Environment | 6. 最初と最後の頁 225 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43247-021-00298-1 | 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 E. Koemets, T. Fedotenko, S. Khandarkhaeva, et al. | 4. 巻 2021 |
| 2. 論文標題 Chemical stability of FeOOH at high pressure and temperature, and oxygen recycling in early Earth history | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 European Journal of Inorganic Chemistry | 6. 最初と最後の頁 3048-3053 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/ejic.202100274 | 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 T. Ishii, E. Ohtani | 4. 巻 14 |
| 2. 論文標題 Dry metastable olivine and slab deformation in a wet subducting slab | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Nature Geoscience | 6. 最初と最後の頁 526-530 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41561-021-00756-7 | 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 I. Ohira, J. M. Jackson, W. Sturhahn, et al. | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 The influence of (Al, Fe)OOH on seismic heterogeneities in Earth's lower mantle | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Scientific Reports 11, 12036 (2021) | 6. 最初と最後の頁 12036 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-91180-9 | 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 S. Ghosh, K. Tiwari, M. Miyahara, Arno Rohrbach, Christian Vollmer, Vincenzo Stagno, Eiji Ohtani, and Dwijesh Ray | 4. 巻 118 |
| 2. 論文標題 Natural Fe-bearing aluminous bridgmanite in the Katol L6 chondrite | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences U.S.A. | 6. 最初と最後の頁 e2108736118 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2108736118 | 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 M. Yoshida, M. Miyahara, H. Suga, et al. | 4. 巻 56 |
| 2. 論文標題 Elucidation of impact event recorded in the Iherzolitic shergottite NWA 7397 | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Meteoritics and Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 1729-1743 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13735 | 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 M. Miyahara, A. Yamaguchi, E. Ohtani, et al. | 4. 巻 56 |
| 2. 論文標題 Complicated pressure-temperature path recorded in the eucrite Padvarninkai. | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Meteoritics and Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 1443-1458 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13724 | 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 M Hamada, S Kamada, E Ohtani, et al. | 4. 巻 103 |
| 2. 論文標題 Synchrotron Mossbauer spectroscopic and x-ray diffraction study of ferropericlaase in the high-pressure range of the lower mantle region | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Physical Review B | 6. 最初と最後の頁 174108 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.103.174108 | 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 E. Ohtani | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Hydration and Dehydration in Earth's Interior | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Annual Review of Earth and Planetary Sciences | 6. 最初と最後の頁 253-278 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1146/annurev-earth-080320-062509 | 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 D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, et al. | 4. 巻 2104 |
| 2. 論文標題 Large density deficit of Earth's core revealed by a multi-megabar primary pressure scale | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 arXiv | 6. 最初と最後の頁 2104.02076 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.48550/arXiv.2104.02076 | 査読の有無 無 |
| 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 T. Ishii, E. Ohtani, A. Shatskiy | 4. 巻 583 |
| 2. 論文標題 Aluminum and hydrogen partitioning between bridgmanite and high-pressure hydrous phases: Implications for water storage in the lower mantle | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters | 6. 最初と最後の頁 117441 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2022.117441 | 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 T Sakamaki, E Ohtani, 2022 | 4. 巻 87 |
| 2. 論文標題 High pressure melts | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Reviews in Mineralogy and Geochemistry | 6. 最初と最後の頁 557-574 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/rmg.2022.87.11 | 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 E Ohtani, T Sakurabayashi, K Kurosawa | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Experimental simulations of shock textures in BCC iron: implications for iron meteorites | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 24 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-022-00482-7 | 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 Wen-Pin Hsieh, Enrico Marzotto, Takayuki Ishii, Leonid Dubrovinsky, Alena A Aslandukova, Giacomo Criniti, Yi Chi Tsao, Chun Hung Lin, Jun Tsuchiya | 4. 巻 127 |
| 2. 論文標題 Low Thermal Conductivity of Hydrous Phase D Leads to a Self Preservation Effect Within a Subducting Slab | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth | 6. 最初と最後の頁 e2022JB024556 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2022JB024556 | 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 S Dominijanni, CA McCammon, E Ohtani, D Ikuta, T Sakamaki, T Ishii, G Criniti, LS Dubrovinsky, S Khandarkhaeva, T Fedotenko, K Glazyrin, H Uchiyama, H Fukui, AQR Baron, | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Sound Velocity Measurements of B2 Fe Ni Si Alloy Under High Pressure by Inelastic X Ray Scattering: Implications for the Composition of Earth's Core | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Geophysical Research Letters | 6. 最初と最後の頁 e2021GL096405 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL096405 | 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 Lu Liu, Hongsheng Yuan, Yao Yao, Ziqiang Yang, Federico Aiace Gorelli, Nico Giordano, Lixin He, Eiji Ohtani, Li Zhang | 4. 巻 49 |
| 2. 論文標題 Formation of an Al Rich Niccolite Type Silica in Subducted Oceanic Crust: Implications for Water Transport to the Deep Lower Mantle | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Geophysical Research Letters | 6. 最初と最後の頁 e2021GL097178 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL097178 | 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 N Satta, M Miyahara, S Ozawa, H Marquardt, M Nishijima, T Arai, E Ohtani | 4. 巻 107 |
| 2. 論文標題 Apollo 15 regolith breccia provides first natural evidence for olivine incongruent melting | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 American Mineralogist | 6. 最初と最後の頁 1661-1667 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2022-8121 | 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 D Ikuta, E Ohtani, H Fukui, T Sakai, D Ishikawa, AQR Baron | 4. 巻 13 |
| 2. 論文標題 Sound velocity of hexagonal close-packed iron to the Earth's inner core pressure | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Nature Communications | 6. 最初と最後の頁 7211 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-022-34789-2 | 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 A Bouvier, M Kimura, Y Lin, E Ohtani, T Sharp, 2022 | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Preface for article collection "Thermal, dynamical, and chemical processes in our early Solar System" | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 1-3 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-022-00522-2 | 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 大谷栄治 | 4. 巻 131 |
| 2. 論文標題 鉱物から探る地球内部 | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 地学雑誌 | 6. 最初と最後の頁 179-192 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5026/jgeography.131.179 | 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 E. Ohtani | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 The role of water in Earth's mantle | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 National Science Review | 6. 最初と最後の頁 224-232 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/nsr/nwz071 | 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 T Ishii, G Criniti, E Ohtani, N Purevjav, H Fei, T Katsura, H Mao, | 4. 巻 119 |
| 2. 論文標題 Superhydrous aluminous silica phases as major water hosts in high-temperature lower mantle | 5. 発行年 2022年 |
| 3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences | 6. 最初と最後の頁 e2211243119 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.2211243119 | 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 R. Tanaka, T. Sakamaki, E. Ohtani, et al. | 4. 巻 7 |
| 2. 論文標題 The sound velocity of wustite at high pressures: implications for low-velocity anomalies at the base of the lower mantle | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 23 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-020-00333-3 | 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 M. Miyahara, A. Yamaguchi, M. Saitoh, et al. | 4. 巻 55 |
| 2. 論文標題 Systematic investigations of high pressure polymorphs in shocked ordinary chondrites | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 2619-2651 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13608 | 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 D. Zedgenizov, H. Kagi, E. Ohtani, et al. | 4. 巻 370-371 |
| 2. 論文標題 Retrograde phases of former bridgmanite inclusions in superdeep diamonds | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Lithos | 6. 最初と最後の頁 105659 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.lithos.2020.105659 | 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 K. Fukimoto, M. Miyahara, T. Sakai, et al. | 4. 巻 55 |
| 2. 論文標題 Back transformation mechanisms of ringwoodite and majorite in an ordinary chondrite | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Meteoritics & Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 1749-1763 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/maps.13543 | 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 E. Marzotto, W. Hsieh, T. Ishii, et al. | 4. 巻 47 |
| 2. 論文標題 Effect of water on lattice thermal conductivity of ringwoodite and its implications for the thermal evolution of descending slabs | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Geophysical Research Letters | 6. 最初と最後の頁 e2020GL087607 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL087607 | 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 W. P. Hsieh, T. Ishii, K. H. Chao, et al. | 4. 巻 47 |
| 2. 論文標題 Spin transition of iron in $(Al, Fe)OOH$ induces thermal anomalies in Earth's lower mantle | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Geophysical Research Letters | 6. 最初と最後の頁 e2020GL087036 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL087036 | 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 N. Hirao, S. I. Kawaguchi, K. Hirose, et al. | 4. 巻 5 |
| 2. 論文標題 New developments in high-pressure X-ray diffraction beamline for diamond anvil cell at SPring-8 | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Matter and Radiation at Extremes | 6. 最初と最後の頁 18403 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5126038 | 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 E. Koemets, L. Yuan, E. Bykova, et al. | 4. 巻 10 |
| 2. 論文標題 Interaction Between FeOOH and NaCl at Extreme Conditions: Synthesis of Novel Na ₂ FeCl ₄ O ₄ Compound | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Minerals | 6. 最初と最後の頁 51 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/min10010051 | 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 M. Miyahara, N. Tomioka, L. Bindi | 4. 巻 8 |
| 2. 論文標題 Natural and experimental high-pressure, shock-produced terrestrial and extraterrestrial materials | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 59 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-021-00451-6 | 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 K. Tiwari, S. Ghosh, M. Miyahara, et al | 4. 巻 48 |
| 2. 論文標題 Shock-induced incongruent melting of olivine in Kamargaon L6 chondrite. | 5. 発行年 2021年 |
| 3. 雑誌名 Geophysical Research Letters | 6. 最初と最後の頁 e2021GL093592 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2021GL093592 | 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 Sumith Abeykoon, Christopher Howard, Serena Dominijanni, Lisa Eberhard, Alexander Kurnosov, Daniel J Frost, Tiziana Boffa Ballaran, Hidenori Terasaki, Tatsuya Sakamaki, Akio Suzuki, Eiji Ohtani, Asami Sano Furukawa, Jun Abe | 4. 巻 128 |
| 2. 論文標題 Deuterium content and site occupancy in iron sulfide at high pressure and temperature determined using in situ neutron diffraction measurements | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Solid Earth | 6. 最初と最後の頁 e2023JB026710 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023JB026710 | 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 A Nakamura, M Miyahara, H Suga, A Yamaguchi, D Wakabayashi, S Yamashita, Y Takeichi, K Kukihara, Y Takahashi, E Ohtani | 4. 巻 128 |
| 2. 論文標題 Mn-Precipitates Found in a Martian Crustal Rock | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Geophysical Research: Planets | 6. 最初と最後の頁 e2023JE007951 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2023JE007951 | 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 D Ikuta, E Ohtani, H Fukui, T Sakamaki, R Heid, D Ishikawa, AQR Baron | 4. 巻 9 |
| 2. 論文標題 Density deficit of Earth's core revealed by a multimegabar primary pressure scale | 5. 発行年 2023年 |
| 3. 雑誌名 Science advances | 6. 最初と最後の頁 eadh8706 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.adh870 | 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 T Ishii, G Criniti, N Purevjav, T Katsura, E Ohtani | 4. 巻 11 |
| 2. 論文標題 Hydrogen partitioning between stishovite and hydrous phase : implications for water cycle and distribution in the lower mantle | 5. 発行年 2024年 |
| 3. 雑誌名 Progress in Earth and Planetary Science | 6. 最初と最後の頁 1-9 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1186/s40645-024-00615-0 | 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37件(うち招待講演 9件/うち国際学会 26件)

| |
|---|
| 1. 発表者名 S. Dominijanni, C. A. McCammon, E. Ohtani, et al. |
| 2. 発表標題 Sound velocity measurements of B2-Fe-Ni-Si alloy under high pressure by inelastic x-ray scattering: Implications for the composition of Earth's core |
| 3. 学会等名 EMPG-XVII, Germany (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 E. Ohtani, D. Ikuta, S. Dominijanni, et al. |
| 2. 発表標題 Existence of the two-phase mixture of HCP and B2 phases in the inner core |
| 3. 学会等名 JpGU Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 E. Marzotto, W. P. Hsieh, T. Ishii, et al. |
| 2. 発表標題 Combining thermo-reflectance measurements (TDTR) with finite-difference (FD) numerical modelling to study the thermal evolution of the subducting slabs |
| 3. 学会等名 JpGU Meeting (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T. Ishii, E. Ohtani |
| 2. 発表標題 Water content in olivine and its polymorphs coexisting with hydrous phases under water undersaturated conditions |
| 3. 学会等名 JpGU Meeting (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 E. Ohtani |
| 2. 発表標題 High Pressure Mineral Physics of the Deep Mantle and Core (keynote) |
| 3. 学会等名 The 3rd European Mineralogical Conference, Poland (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 D. Ikuta, E. Ohtani, T. Sakamaki, et al |
| 2. 発表標題 Density deficit of Earth's core revealed by a multi-megabar primary pressure scale |
| 3. 学会等名 日本鉱物科学会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, et al. |
| 2. 発表標題 Primary pressure scale of rhenium to multi-megabar pressures by inelastic x-ray scattering |
| 3. 学会等名 第62回高圧討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 E. Ohtani, T. Ishii, A. Schatskiy, D. Ikuta. |
| 2. 発表標題 高温高圧下における含水鉱物と無水鉱物間の水分配と地球内部における水の役割 |
| 3. 学会等名 第62回高圧討論会 |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, et al. |
| 2 . 発表標題 Sound velocity of hcp-iron at extreme pressure by inelastic x-ray scattering measurement |
| 3 . 学会等名 JpGU Meeting |
| 4 . 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 E. Ohtani, T. Ishii |
| 2 . 発表標題 Role of water in subducting slabs: dry phase transformation kinetics in wet slabs |
| 3 . 学会等名 JpGU Meeting |
| 4 . 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, et al. |
| 2 . 発表標題 Determination for compressional wave velocity of hcp-iron to multi-megabar pressures by inelastic x-ray scattering |
| 3 . 学会等名 第62回高圧討論会 |
| 4 . 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, et al. |
| 2 . 発表標題 IXS measurements in extreme conditions: A multi-megabar primary pressure scale and the structure of the Earth's core (Invited) |
| 3 . 学会等名 Workshop on meV-resolved inelastic X-ray scattering, SPring-8, Japan (招待講演) (国際学会) |
| 4 . 発表年 2021年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Takayuki Ishii, Giacomo Criniti, Eiji Ohtani et al. |
| 2. 発表標題 Water solubility of aluminous post-stishovite at top lower mantle conditions: Implications for water cycle in the deep mantle. |
| 3. 学会等名 JpGU Meeting 2022 (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Eiji Ohtani, Takayuki Ishii, Anton Shatskiy |
| 2. 発表標題 Aluminum and hydrogen partitioning between bridgmanite and high-pressure hydrous phases and its application to the lower mantle dynamics |
| 3. 学会等名 JpGU Meeting 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Daijo Ikuta, Eiji Ohtani et al. |
| 2. 発表標題 Sound velocity of hcp-iron to the Earth's inner core pressure: Implication for light elements in the core |
| 3. 学会等名 JpGU Meeting 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Eiji Ohtani et al. |
| 2. 発表標題 Density deficit of the inner core revealed by a new rhenium primary pressure scale |
| 3. 学会等名 JpGU Meeting 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大谷 栄治, McDonough William, 吉崎 昂 |
| 2. 発表標題 酸素とイオウに富んだ火星の核と火星核のダイナモ |
| 3. 学会等名 JpGU Meeting 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 生田 大穰、大谷 栄治 福井 宏之、境 毅、石川 大介、パロン アルフレッド |
| 2. 発表標題 Sound velocity of hcp-iron to the inner core pressure, and light elements in the inner core |
| 3. 学会等名 日本鉱物科学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 大谷 栄治、石井 貴之 |
| 2. 発表標題 含水鉱物と共存するブリッジマナイトの水素とアルミナ枯渇と地球内部ダイナミクス |
| 3. 学会等名 日本鉱物科学会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大谷 栄治 ・ 生田 大穰 ・ 福井 宏之 ・ 坂巻 竜也 ・ 増野 いづみ ・ 境 毅 ・ 石川 大輔 ・ BARON Alfred |
| 2. 発表標題 超高压下における X 線非弾性散乱法による鉄合金およびレニウム の音速測定とその地球内部への適用 |
| 3. 学会等名 第63回高压討論会 (招待講演) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 生田 大穰・大谷 栄治・福井 宏之・境 毅・石川 大介・BARON Alfred Q. R. |
| 2. 発表標題 Sound velocity measurement of hcp-iron to the Earth's inner core pressure: Implications for light elements in the inner core |
| 3. 学会等名 第63回高压討論会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Wen-Pin Hsieh, Enrico Marzotto, Takayuki Ishii, Leonid S Dubrovinsky, Alena Aslandukova, Giacomo Criniti, Yi-Chi Tsao, Chun-Hung Lin, Jun Tsuchiya, Eiji Ohtani |
| 2. 発表標題 A self-protection mechanism by the hydration reduced thermal conductivity of hydrous minerals |
| 3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, et al. |
| 2. 発表標題 Sound velocity measurement of hcp-iron above 3 megabar with a new type diamond anvil cell |
| 3. 学会等名 JpGU Meeting 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 S. Dominijanni, C. McCammon, E. Ohtani, et al. |
| 2. 発表標題 Composition of the Earth's inner core from high pressure sound velocity measurements of Fe-Ni-Si alloys |
| 3. 学会等名 EGU General Assembly (国際学会) |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 E. Ohtani, W. P. Hsieh, T. Ishii, et al. |
| 2 . 発表標題 Effect of Spin transition of iron in physical properties of hydrous phase $-(Al,Fe)OOH$ under the lower mantle conditions |
| 3 . 学会等名 JpGU-AGU joint meeting (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 D. Ikuta, E. Ohtani, H. Fukui, et al, |
| 2 . 発表標題 Sound velocity measurement of Fe-Ni-Si alloys at high pressure and high temperature |
| 3 . 学会等名 JpGU-AGU joint meeting (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1 . 発表者名 S. Dominijanni, E. Ohtani, D. Ikuta, et al |
| 2 . 発表標題 Sound velocity of B2-FeNiSi alloy at high pressure determined with inelastic X-ray scattering: Implications for the composition of the Earth's inner core |
| 3 . 学会等名 JpGU-AGU joint meeting (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|--|
| 1 . 発表者名 A. Nakamura, M. Miyahara, H. Suga, et al . |
| 2 . 発表標題 Aqueous alteration in the nakhlites Y 000802 |
| 3 . 学会等名 JpGU-AGU joint meeting (国際学会) |
| 4 . 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 T Katsura, T Ishii, G Criniti, E Ohtani, N Purevjav, H Fei, H Mao |
| 2. 発表標題 Hydrous aluminous silicas as major water hosts in the lower mantle |
| 3. 学会等名 EGU (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大谷栄治 |
| 2. 発表標題 三宅賞レクチャー：地球内部における加水・脱水反応と地球の水素量：三宅泰雄先生の研究との接点 |
| 3. 学会等名 JPGU (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Eiji Ohtani, William F McDonough |
| 2. 発表標題 High temperature separation of the oxygen-rich big Martian core |
| 3. 学会等名 JPGU (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 大谷 栄治, Ishii Takayuki |
| 2. 発表標題 Role of water in dynamics of slabs and surrounding mantle |
| 3. 学会等名 JPGU (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 石井 貴之, 大谷 栄治 |
| 2. 発表標題 Water solubility of aluminous stishovite coexisting with hydrous phase : Implication for water cycle in the lower mantle |
| 3. 学会等名 JPGU (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 生田大穰, 大谷栄治, 福井宏之, 坂巻竜也, 増野いづみ, 石川大介, パロン アルフレッド |
| 2. 発表標題 Sound velocity measurement of B2 Fe-Ni-Si alloys at high pressure and high temperature |
| 3. 学会等名 JPGU (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 大谷 栄治、マクドノア ウイリアム |
| 2. 発表標題 高温における酸素に富む火星核の形成過程 |
| 3. 学会等名 日本鉱物科学会 |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Eiji Ohtani |
| 2. 発表標題 The role of Water in the Dynamics of Slabs and surrounding Mantle |
| 3. 学会等名 Bjorn Mysen 's retirement Symposium (招待講演) (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 Ishii T, Criniti G, Ohtani E, Fei H, Prevjav N, Mao H, Katsura T. |
| 2. 発表標題 Water solubility of aluminous silicas at lower mantle conditions and their implication for water cycle in the deep mantle |
| 3. 学会等名 AGU (国際学会) |
| 4. 発表年 2023年 |

〔図書〕 計3件

| | |
|---|-----------------|
| 1. 著者名 Yingwei Fei; Michael Walter; James Badro; Kei Hirose; Oliver Lord; Andrew Campbell; Eiji Ohtani | 4. 発行年 2022年 |
| 2. 出版社 Cambridge University Press | 5. 総ページ数 300 |
| 3. 書名 Investigation of Chemical Interaction and Melting Using Laser-Heated Diamond Anvil Cell | |

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 S. Kamada, T. Sakamaki, E. Ohtani | 4. 発行年 2022年 |
| 2. 出版社 Cambridge University Press | 5. 総ページ数 31 |
| 3. 書名 Elasticity at High Pressure with Implication for the Earth's Inner Core | |

| | |
|--|-----------------|
| 1. 著者名 S. Takahashi, E. Ohtani, T. Sakai, et al. | 4. 発行年 2020年 |
| 2. 出版社 Wiley | 5. 総ページ数 356 |
| 3. 書名 Carbon in Earth's Interior, Edited by C. E. Manning, J. F. Lin, W. L. Mao | |

〔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 | 坂巻 竜也 (Sakamaki Tatsuya) (30630769) | 東北大学・理学研究科・助教 (11301) | |
| 研究分担者 | 福井 宏之 (Fukui Hiroshi) (90397901) | 公益財団法人高輝度光科学研究センター・精密分光推進室・ テニユアトラック研究員 (84502) | |
| 研究分担者 | 宮原 正明 (Miyahara Masaaki) (90400241) | 広島大学・先進理工系科学研究科(理)・准教授 (15401) | |
| 研究分担者 | A l f r e d B a r o n (Baron Alfred) (90442920) | 国立研究開発法人理化学研究所・放射光科学研究センター・ グループディレクター (82401) | |

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 | | |
|---------|-------------------------|--------------------------------------|--|
| ドイツ | Bayerisches Geoinstitut | Karlsruhe Institute of Technology | |