

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：32682

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2022

課題番号：19H01989

研究課題名(和文) 高圧実験と地球化学の複合アプローチから地球深部酸化還元状態進化を探る

研究課題名(英文) Exploring the evolution of deep Earth's redox state through a combined approach of high-pressure experiments and geochemistry

研究代表者

新名 良介 (Sinmyo, Ryosuke)

明治大学・理工学部・専任准教授

研究者番号：00769812

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,700,000円

研究成果の概要(和文)：地球深部酸化還元状態を理解するために、温度安定性の高い高温高圧力発生装置を改良した。改良した装置を用い、地球深くに沈み込む高酸素雰囲気物質がどのような化学反応を起こし、どのような物理的性質を示すかを明らかにした。近年発見された高圧力下で安定な酸化鉄相の安定性、結晶構造、電気伝導度を初めて決定した。実験の結果から、下部マントルは高酸素雰囲気物質の沈み込みを妨げる障壁の役割をすることが示された。地球規模の揮発性元素大循環の理解につながる知見を得ることができた。また、海外研究者との共同研究で、高圧酸化鉄相の一つと同じ結晶構造を持つ未知の高圧シリケート相を隕石衝撃脈中に発見した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

他の惑星と比べ、地球の表面は揮発性元素(酸素や水素など)に富むが、地球規模で揮発性元素がどのように循環しているかは未だ完全には理解されていない。地球深部には、沈み込み活動を通して高酸素雰囲気物質(酸素が多く含まれる物質)が持ち去られていると考えられている。酸素に富む物質が地球深部でどのような振る舞いをし、その後どうなるかを理解するため、実験的研究を推進した。得られた結果から、酸素に富む物質の地球深部条件における物理・化学的な性質が明らかになった。実験から、酸素に富む物質は深さ660 km以深には沈み込みにくいことが明らかになった。地球規模の酸素大循環を理解する上で重要な知見を得ることができた。

研究成果の概要(英文)：We have improved the high-pressure and -temperature apparatus with high stability for understanding the deep Earth's redox state. Using the developed apparatus, we explored the physical and chemical properties of the materials with high oxygen fugacity, which is subducting into the deep Earth. We determined the stability, crystal structure, and electrical conductivity of the newly found high-pressure iron oxides for the first time. Based on the experimental results, the lower mantle plays as a barrier for the materials with high oxygen fugacity against further subduction. We obtain new knowledge for understanding the global cycle of the Earth's volatile elements. We also discovered a new high-pressure silicate phase having the same crystal structure as the iron oxide in the shock vein of the meteorite in collaboration with foreign researchers.

研究分野：地球惑星物質科学

キーワード：地球マントル 酸化還元状態 高温高圧力 結晶構造 鉱物

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

地球深部における物質の物理・化学的性質は地球の進化を支配する重要な情報である。そのため地球深部に相当する高温高圧力状態を実験室において再現する実験が盛んに行われている。近年の研究から、地球深部において酸化還元状態に大きなバリエーションが存在する可能性が指摘されている。例えば、地球深部から地表に運ばれてきたダイヤモンド包有物中に、水素、メタン、金属鉄といった還元的な物質から、通常よりも酸化数の大きい酸化鉄まで、幅広い酸化還元状態を示唆する物質が発見されている。しかしその起源や発生機構は未だに謎に包まれている。高温高圧力実験においても酸化還元状態をコントロールするためには、安定性・均一性の高い加熱や、外界との反応を抑制する技術が必要であり、大容量の試料室が確保できる大型装置を用いた比較的低压での研究にとどまっていた。また、高圧力下において、未知の価数混合比と結晶構造をもつ酸化鉄が次々と発見されていったが、その安定性や物理的性質は未解明であった。そのため、それらの相が地球深部において存在するのかどうかは全く不明であった。

2. 研究の目的

本研究では、(1) 広く用いられているダイヤモンドアンビルセル装置において、安定性と均一性に優れた比較的新しい加熱方法を改良すること、(2) 高温高圧力実験と地球化学的測定や、分光学的測定を組み合わせることで地球深部における酸化還元状態を解明することを目的に研究を推進した。(1) では、ダイヤモンドアンビル周囲を抵抗加熱する、外部抵抗加熱式ダイヤモンドアンビルセルを改良し、従来よりも高い温度圧力条件下で分光測定を可能とするシステムの構築を開発し、放射光施設での実験も行うことを目的とした。(2) では、地球化学的手法と、分光学的測定を用いることで酸化還元反応と同位体分別係数の決定を目指した。当初計画をしていた手法に挑戦をしながら、計画の大目標である酸化還元状態の理解を見据えて研究を推進した。

3. 研究の方法

目的(1)のために、外部抵抗加熱式ダイヤモンドアンビルセルの開発をし、従来よりも高温高圧力発生を目指した。加熱用ヒーターとして、円筒型グラファイトヒーターを新たに設計し、ダイヤモンドアンビルセルに組み込んだ。また、断熱の向上とヒーター・アンビル保護のため、ダイヤモンドアンビルセルを内包する小型真空チャンバーを新たに設計し、真空下で高温高圧実験を行った。放射光施設における運用を視野に入れ、真空チャンバーは小型に設計し、取り回しをよくする一方、水冷機能と、高電流に耐える導入電極を備えたものを設計し、作成をした。また、真空下においては放射による熱輸送が卓越するため、宇宙航空分野で利用されている反射材を用いた熱の封じ込め法を取り入れた設計と作成を行った。その場ラマン散乱測定を可能とするため、高温対応測定システムを構築した。周辺からの輻射光を大幅に低減する二重空間フィルターをレーザーラマン分光測定装置に取り付け、高温測定に付きまとう輻射光背景を低減することができた。その結果、1000 ケルビンを超える温度でその場ラマン散乱測定を行うことに成功した。未だに安定相に議論のある炭化ケイ素を、まだ測定されたことのない高温高圧力条件下で測定することに成功した。

目的(2)のために、マントルにおいて存在が示唆されている新しい化学組成・結晶構造を持つ酸化鉄に対し、高温高圧力下その場放射光 X 線回折測定を行い、安定相関係を決定した。また、高圧力下その場電気伝導度測定を行った。その他物性測定や、単結晶 X 線回折測定を行うことで、結晶構造の精密決定に成功し、結晶構造と物理的性質の関連に関して議論を進展させた。特に単結晶 X 線回折測定の最適化を行い、従来の測定装置では難しい微小な試料を用いての測定と解析に成功をした。高圧力下でのその場測定にも挑戦をしており、未だ数 GPa 程度にとどまっているが、高圧力下その場単結晶 X 線回折測定に成功をした。また、海外研究者との共同研究で、隕石衝撃脈中に新しい高圧力ケイ酸塩相を発見し、その結晶構造が高圧酸化鉄 Fe_2O_3 と同じであることを示した。

4. 研究成果

改良を行った外部抵抗加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いることで、およそ 70 GPa 領域で 1000 ケルビンを超える温度の発生と、その温度圧力におけるその場ラマン散乱測定に成功をした。地球深部の酸化還元反応を知るうえで重要な鉱物である炭化ケイ素の、高温高圧力下その場測定に成功し、振動モードの温度圧力依存性から、その結晶構造の安定性を議論した。得られた結果は現在投稿済みである。測定のルーチン化にも成功したため、地球深部の酸化還元状態を理解する上で重要な炭酸塩鉱物などへの更なる応用が期待される。また、地球深部酸化還元状態の解明に向け、様々な価数組み合わせを持つ鉱物に対し高圧力下結晶構造決定を推進した。得られ

た結果から、新しく発見された様々な混合価数をもつ酸化鉄相は下部マントル上部から中部程度までしか安定ではなく、マントル下部では分解することが明らかになった。また、電気伝導度測定を行った結果から、高圧酸化鉄相は周囲の鉱物と比べて非常に高い電気伝導度を示すことが明らかになった。今後沈み込むスラブ周辺で高い空間分解能をもって電気伝導度測定が行われることで、沈み込む高酸素雰囲気物質がどのような運命をたどるのが理解されると期待される。高温高圧実験の結果から、 Fe^{3+} に富む酸化物質が地球深部に沈み込んだ場合の化学反応や物理的性質の理解が進展した。高酸素雰囲気物質が下部マントル上部まで沈み込むと、新しい高圧酸化鉄が安定になるため、共融点温度が大きく下がることが明らかになった。下部マントルは高酸素雰囲気物質の更なる沈み込みを妨げる障壁として振る舞うと考えられ、地球規模の酸素大循環を議論する上で重要な知見を得ることができた。

その他にも、マントル鉱物の物理的性質に鉄が与える影響や、地球核の化学組成を決定する研究に関しても実験的な研究を推進し、成果を得ることができた。国際学術書籍に地球核の化学組成を決定する実験的研究のレビュー記事を執筆し、期間中に受理された。

また、単結晶 X 線回折測定を行い、様々な高圧鉱物の結晶構造精密決定にも取り組んだ。隕石衝突脈中に今まで知られていない化学組成を持つ高圧ケイ酸塩鉱物エルゴレイジアイトを発見した。このケイ酸塩鉱物は周囲に存在する鉱物からおよそ 20 GPa、2000 ケルビンを超える温度圧力状態で結晶化したと考えられる。興味深いことに、以前実験で報告された、高圧下で安定な酸化鉄相の一つ Fe_7O_9 と同じ結晶構造を持っていることが明らかになった。類推をすると、同様の温度圧力条件で、他の化学組成を持つケイ酸塩が結晶化する可能性がある。この高圧ケイ酸塩相が安定相なのか、準安定相なのかは未だ明らかでないため、今後更なる研究が必要であることが示された。

期間中、所属大学にも単結晶 X 線回折測定装置を整備し、微小試料測定と高圧力下その場測定の最適化を行うことで、30 マイクロメートル程度の微小単結晶試料の結晶構造解析に成功をした。解析には先験的なデータをほとんど用いず、先行研究と総合的な結果を得ることができた。微小試料単結晶測定は、高圧力実験との親和性が高く、今後更なる研究の進展が期待される。

期間中に 11 報の国際査読付き雑誌、1 件の国際学術書籍、2 件の招待講演と 1 件の国際招待講演を含む 9 件の学会発表を研究成果として発表した。

受理論文 (国際査読付き学術誌)

Maitani S., [Sinmyo R.](#), Ishii T., Kawaguchi S.I., Hirao N. (2022) The electrical conductivity of Fe_4O_5 , Fe_5O_6 , and Fe_7O_9 up to 60 GPa. *Phys. Chem. Miner.* 49, 11, <https://doi.org/10.1007/s00269-022-01188-4>

Bindi L., [Sinmyo R.](#), Bykova E., Ovsyannikov S.V., McCammon C., Kuppenko I., Ismailova L., Dubrovinsky L., Xie X. (2021) Discovery of elgoresyite, $(\text{Mg,Fe})_5\text{Si}_2\text{O}_9$: Implications for novel iron-magnesium silicates in rocky planetary interiors. *ACS Earth Space Chem.* <https://doi.org/10.1021/acsearthspacechem.1c00157>

Okuda Y., Ohta K., [Sinmyo R.](#), Hirose K., Ohishi Y. (2020) Anomalous compressibility in (Fe,Al)-bearing bridgmanite: implications for the spin state of iron. *Phys. Chem. Miner.* 47, 40, <https://doi.org/10.1007/s00269-020-01109-3>

Nakajima Y., Kawaguchi S.I., Hirose K., Tateno S., Kuwayama Y., [Sinmyo R.](#), Ozawa H., Tsutsui S., Uchiyama H., Baron A.Q.R. (2020) Silicon-depleted present-day Earth's outer core revealed by sound velocity measurements of liquid Fe-Si alloy. *J. Geophys. Res.*, 125, e2020JB019399, <https://doi.org/10.1029/2020JB019399>

Ishii T., Miyajima N., [Sinmyo R.](#), Boffa Ballaran T., Kojitani H., Mori D., Inaguma Y., Akaogi M. (2020) Discovery of new-structured post-spinel MgFe_2O_4 : Crystal structure and high-pressure phase relations. *Geophys. Res. Lett.*, 47, e2020GL087490, <https://doi.org/10.1029/2020GL087490>

Spiekermann G., Kuppenko I., Petitgirard S., Harder M., Nyrow A., Weis C., Albers C., Biedermann N., Libon L., Sahle C., Cerantola V., Glazyrin K., [Sinmyo R.](#), Konôpková Z., Morgenroth W., Sergueev I., Yavaş H., Dubrovinsky L., Tolan M., Sternemann C., Wilke M. (2020) A portable on-axis laser heating system for near-90° X-ray spectroscopy: Application to ferropericlase and iron silicide. *J. Synchrotron Radiat.*, 27, 414-424

[Sinmyo R.](#), Nakajima Y., McCammon C.A., Miyajima N., Petitgirard S., Myhill R., Dubrovinsky L., Frost D.J. (2019) Effect of Fe^{3+} on the phase relations under lower mantle: implications for redox melting in the stagnant slabs. *J. Geophys. Res.* DOI:10.1029/2019JB017704

Hikosaka K., [Sinmyo R.](#), Hirose K., Ishii T., Ohishi Y. (2019) The stability of Fe_5O_6 and Fe_4O_5 at high pressure and temperature. *Am. Mineral. (Letter)* 104, 1356-1359

Okuda Y., Ohta K., [Sinmyo R.](#), Hirose K., Yagi T., Ohishi Y. (2019) Effect of spin transition of iron on the thermal conductivity of (Fe, Al)-bearing bridgmanite. *Earth Planet. Sci. Lett.* 520, 188-198

Hirose K., Tagawa S., [Sinmyo R.](#), Morard G., Ohishi Y., Genda H. (2019) Hydrogen Limits

Carbon in Liquid Iron. *Geophys. Res. Lett.* 46, 5190-5197

受理論文 (国際学術書籍)

Sinmyo R., Nakajima Y., Kuwayama Y. (2023) Recent progress in the high-pressure experiments on the composition of the core. In *Core-Mantle Coevolution: A Multidisciplinary approach, Geophysical Monograph Series, AGU books*. American Geophysical Union, Washington, D.C. pp. 191-218.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計11件（うち査読付論文 10件 / うち国際共著 7件 / うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Bindi Luca, Sinmyo Ryosuke, Bykova Elena, Ovsyannikov Sergey V., McCammon Catherine, Kuppenko Ilya, Ismailova Leyla, Dubrovinsky Leonid, Xie Xiande	4. 巻 5
2. 論文標題 Discovery of Elgoresyite, (Mg,Fe) ₅ Si ₂ O ₉ : Implications for Novel Iron-Magnesium Silicates in Rocky Planetary Interiors	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 2124 ~ 2130
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.1c00157	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 Maitani Shuhou, Sinmyo Ryosuke, Ishii Takayuki, Kawaguchi Saori I., Hirao Naohisa	4. 巻 49
2. 論文標題 The electrical conductivity of Fe405, Fe506, and Fe709 up to 60 GPa	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physics and Chemistry of Minerals	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) 10.1007/s00269-022-01188-4	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 該当する
1. 著者名 Nakajima Y., Kawaguchi S.I., Hirose K., Tateno S., Kuwayama Y., Sinmyo R., Ozawa H., Tsutsui S., Uchiyama H., Baron A.Q.R.	4. 巻 125
2. 論文標題 Silicon-depleted present-day Earth's outer core revealed by sound velocity measurements of liquid Fe-Si alloy	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Geophys. Res.	6. 最初と最後の頁 e2020JB019399
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020JB019399	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 Okuda Y., Ohta K., Sinmyo R., Hirose K., Ohishi Y.	4. 巻 47
2. 論文標題 Anomalous compressibility in (Fe,Al)-bearing bridgmanite: implications for the spin state of iron	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Phys. Chem. Miner.	6. 最初と最後の頁 40
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s00269-020-01109-3	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 Sinmyo R., Hirose K., Ohishi Y.	4. 巻 2019
2. 論文標題 Earth's cooler core inferred from new resistance-heated diamond-anvil-cell experiments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 SPRING-8/SACLA Research Frontiers	6. 最初と最後の頁 78-79
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 Hirose K., Tagawa S., Sinmyo R., Morard G., Ohishi Y., Genda H.	4. 巻 46
2. 論文標題 Hydrogen Limits Carbon in Liquid Iron	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Geophys. Res. Lett.	6. 最初と最後の頁 5190-5197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019GL082591	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 Okuda Y., Ohta K., Sinmyo R., Hirose K., Yagi T., Ohishi Y.	4. 巻 520
2. 論文標題 Effect of spin transition of iron on the thermal conductivity of (Fe, Al)-bearing bridgmanite.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Earth Planet. Sci. Lett.	6. 最初と最後の頁 188-198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2019.05.042	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 Hikosaka K., Sinmyo R., Hirose K., Ishii T., Ohishi Y.	4. 巻 104
2. 論文標題 The stability of Fe506 and Fe405 at high pressure and temperature	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Am. Mineral. (Letter)	6. 最初と最後の頁 1356-1359
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2019-7097	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 Sinmyo R., Nakajima Y., McCammon CA., Miyajima N., Petitgirard S., Myhill R., Dubrovinsky L., Frost DJ.	4. 巻 124
2. 論文標題 Effect of Fe ³⁺ on the phase relations under lower mantle: implications for redox melting in the stagnant slabs.	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 J. Geophys. Res.	6. 最初と最後の頁 12484-12497
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2019JB017704	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 Spiekermann G., Kuppenko I., Petitgirard S., Harder M., Nyrow A., Weis C., Albers C., Biedermann N., Libon L., Sahle C., Cerantola V., Glazyrin K., Sinmyo R., Kon?pkov? Z., Morgenroth W., Sergueev I., Yava? H., Dubrovinsky L., Tolan M., Sternemann C., Wilke M.	4. 巻 27
2. 論文標題 A portable on-axis laser heating system for near-90° X-ray spectroscopy: Application to ferropericlasite and iron silicide	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Synchrotron Radiat.	6. 最初と最後の頁 414-424
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S1600577519017041	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 Ishii T., Miyajima N., Sinmyo R., Boffa Ballaran T., Kojitani H., Mori D., Inaguma Y., Akaogi M.	4. 巻 47
2. 論文標題 Discovery of new-structured post-spinel MgFe ₂ O ₄ : Crystal structure and high-pressure phase relations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Geophys. Res. Lett.	6. 最初と最後の頁 e2020GL087490
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1029/2020GL087490	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

〔学会発表〕 計9件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 S Maitani, R Sinmyo, T Ishii, N Hirao, SI Kawaguchi
2. 発表標題 The electrical conductivity of (FeO) _m (Fe ₂ O ₃) _n iron oxides at high pressure
3. 学会等名 AGU Fall Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 川合 雄登 ・ 新名 良介 ・ 河口 沙織 ・ 鈴木 大輝 ・ 癸生川 陽子 ・ 小林 憲正
2. 発表標題 衝突過程により地球に供給される生命関連化合物の制約
3. 学会等名 第62回高圧討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 新名良介、川合雄登、河口沙織、鈴木大輝、 癸生川陽子、小林憲正
2. 発表標題 高速X線回折測定を用いた小天体衝突過程再現実験の試み
3. 学会等名 SPRUC高圧物質科学研究会と地球惑星科学研究会の合同研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Sinmyo R., Hirose K., Ohishi Y.
2. 発表標題 Melting curve of iron to 290 GPa determined in a resistance-heated diamond-anvil cell
3. 学会等名 The 17th Symposium of SEDI（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 彦坂晃太郎，新名良介，廣瀬敬，石井貴之，大石泰生
2. 発表標題 高温高圧下におけるFe506 とFe405 の安定性
3. 学会等名 日本鉱物科学会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kei Hirose, Shoh Tagawa, Yasuhiro Kuwayama, Ryosuke Sinmyo and Guillaume Morard
2. 発表標題 Hydrogen Limits Carbon in Liquid Iron
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 George R Helffrich, Maxim Ballmer, Guillaume Morard, Koichiro Umemoto, Ryuichi Nomura, Ryosuke Sinmyo, Anat Shahar, Stephane Labrosse, John W Hernlund and Kei Hirose
2. 発表標題 Transfer of SiO ₂ from the core to the mantle and its fate in the Earth in early and present times
3. 学会等名 AGU Fall Meeting (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Helffrich G, Hirose K, Nomura R & Sinmyo R
2. 発表標題 Core-Mantle Interaction Through Liquid Magnesium Silicate Release from the Earth's Core
3. 学会等名 Goldschmidt 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuya Komabayashi, Giacomo Pesce, Ryosuke Sinmyo, Takaaki Kawazoe, Helene Breton, Yuta Shimoyama, Glazyrin Konstantin, Zuzana Kon?pkov?, and Mohamed Mezouar
2. 発表標題 Phase relations in the system Fe-Ni-Si to 200 GPa and 3900 K and implications for Earth's core
3. 学会等名 EGU2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Sinmyo R., Nakajima Y., Kuwayama Y.	4. 発行年 2022年
2. 出版社 American Geophysical Union	5. 総ページ数 -
3. 書名 Core-Mantle Coevolution: A Multidisciplinary approach	

〔産業財産権〕

〔その他〕

Researchmap https://researchmap.jp/ryosuke_sinmyo Publons https://publons.com/researcher/2904306/ryosuke-sinmyo/ ORCID https://orcid.org/0000-0001-5799-3400
--

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	飯塚 毅 (Iizuka Tsuyoshi) (70614569)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授 (12601)	

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