

令和 6 年 5 月 27 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H02008

研究課題名（和文）密度・弾性波速度の複合測定による火星中心核構造の解明

研究課題名（英文）Study of Martian core structure based on density and sound velocity measurements

研究代表者

寺崎 英紀 (Terasaki, Hidenori)

岡山大学・環境生命自然科学学域・教授

研究者番号：50374898

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,900,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、火星コアのサイズと組成を明らかにすることを目指して、X線吸収法とレーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセル（DAC）を組合わせた密度測定法の開発を行い、火星コア条件におけるFe-Ni合金固体・液体の密度と状態方程式の決定を目的とした。更にGHz超音波法を用いて火星コア圧力条件での弾性波速度決定も目的とした。本研究で開発したレーザー加熱式DACを用いた密度測定の結果、26 GPa、3000 Kまでの条件において、Fe、Ni、FeSの固体・液体試料の密度を精度よく決定することに成功した。また弾性波速度測定では、Fe試料のP波速度を火星コア圧力条件の34 GPaまで決定することができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究のレーザー加熱式DACを用いたX線吸収法による密度測定の開発により、26 GPa、3000 Kまでの圧力・温度条件での高精度の密度測定が可能となった。特にX線吸収法の測定温度限界を従来の720 Kから3000 Kまで大きく拡張できた。本研究により液体の密度測定を火星コア条件で実施でき、さらに液体密度を高精度で決定可能になった点で、本研究は極めて大きな意義を持つ。加えてGHz超音波法により火星コア圧力条件までP波・S波速度測定ができ、弾性を決定可能となった点でも本研究の学術的インパクトは大きい。

研究成果の概要（英文）：To determine the density and equation of state of Fe-Ni alloy solids and liquids under Martian core condition and to constrain the size and composition of the Martian core, we developed density measurement using the X-ray absorption method combined with a laser-heated diamond anvil cell (DAC). Determination of elastic wave velocities under Martian core pressures using the GHz ultrasonic method is another target of this project. Densities of Fe, Ni and FeS solid and liquid samples were successfully determined accurately up to 26 GPa and 3000 K as a result by using newly developed density measurement setup. The P-wave velocities of Fe solid was successfully determined up to 34 GPa which corresponds to the Martian core pressure.

研究分野：高圧地球惑星科学

キーワード：コア 密度 弾性波速度 鉄合金 液体 火星 高温高圧

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

本研究の開始当初(2020年)、NASAのInSight火星探査機が、火星内部で発生した地震動を観測し始めた(Lognonné et al. 2019)。この火星地震観測データと火星コアを構成する有力候補物質である鉄-ニッケル合金(Fe-Ni-S)固体・液体の密度および圧縮挙動とを比較することにより、火星コアのサイズおよび組成を解明する事が可能となる。特にこれまでの測地観測から、火星コアは液体コアを持つと報告されており(Yoder et al. 2003)、鉄合金液体の密度情報は不可欠である。しかし、火星コアに相当する圧力・温度条件(20-40 GPa, 2000 K-)において、液体の密度測定法はまだ確立されていなかった。

X線吸収法は、試料結晶状態に依存せずに密度を測定可能で高温高压下の液体密度測定に有効であり、主に大型プレス装置で使用されてきた(e.g., Terasaki et al. 2010)。しかしプレス装置では10 GPaまでの圧力条件に制限されており、火星コア条件には届いていなかった。ダイヤモンドアンビルセル高压装置(DAC)を用いることで圧力拡張ができる。DACとX線吸収法を用いた高温下での測定は、研究代表者らグループが外熱式DACを用いて、720 Kまでの液体金属の密度測定を報告している(Takubo, Terasaki et al. 2019)。しかしこの測定温度範囲は、依然として火星コアの温度条件に大きく届かないのが現状であった。

また弾性波速度測定により、P, S波速度を共に測定できれば固体の弾性を精度良く決定できる。液体においても、密度とP波速度の測定により、弾性が求まる。弾性(体積弾性率など)は、物質の圧縮挙動・状態方程式を規定する重要な物性である。DACを用いた金属のP, S波速度測定にはGHz超音波パルス干渉法(GHz超音波法)が有効だが、本研究の共同研究者(米田博士)を含め世界でも2グループしか実施しておらず、2020年の段階では開発途上にある方法であり、火星コア圧力条件には届いていなかった。

2. 研究の目的

本研究では、火星コアのサイズと組成を明らかにすることを目指して、火星コア条件における鉄-ニッケル合金固体・液体の密度と圧縮挙動・状態方程式を決定することを目的とした。液体密度測定に有効なX線吸収法の測定温度範囲は、研究背景でも述べた通り720 Kまでに限定されていたため、まずこの温度測定限界を本研究で火星コア条件まで大きく拡張することを目指した。具体的には、X線吸収法とレーザー加熱式DACを組合わせた密度測定法の開発を行い、測定圧力・温度範囲を、火星コア条件($P > 20$ GPa, $T > 2000$ K)まで拡張することを目指した。

さらに密度と弾性波速度の複合測定により、より詳しく弾性(圧縮挙動・状態方程式)を調べることを目指した。弾性波速度測定については、GHz超音波法を用いて、DAC試料のP, S波速度測定から、状態方程式を調べる。GHz超音波法による測定は、測定圧力が15 GPa程度までであったため、開発・最適化を行いながら測定圧力を拡張し、火星コア圧力条件での測定を目標とした。

3. 研究の方法

密度測定と弾性波速度測定の各手法について、以下にそれぞれ示す。

(密度測定)密度測定は、SPring-8放射光施設のBL10XUビームラインにて実施した。試料の密度は、X線透過率と試料厚みからランベルト・ベールの式を用いて導出した。試料厚みは、試料と共にDACに封入した参照試料のX線透過率とX線回折密度から求めた。X線は30 keVの単色X線を用い、直径10 μm 以下のサイズに絞って試料に導き実験を行った。試料のX線透過率(I/I_0)は、入射X線強度(I_0)と試料からの透過X線強度(I)から求めた。X線強度はDAC上・下流に設置したイオンチャンバーまたはフォトダイオード検出器を用いて測定した。X線回折測定は、フラットパネル検出器を用いた。測定セットアップを図1に示す。液体試料については、固体試料由来のX線回折ピークが消失し、ハローパターンが出現する点を試料融解と判定した。

試料には、Fe-Ni-S系の端成分であるFe, Ni, FeSおよび中間組成である $\text{Fe}_{75}\text{S}_{25}$, $\text{Fe}_{80}\text{S}_{20}$ 組成を用いた。中間組成については、 $\text{Fe}_{75}\text{S}_{25}$ はプレス装置で予め高压合成し、 $\text{Fe}_{80}\text{S}_{20}$ は超急冷法による合成試料を業者委託して準備した。試料は参照試料(KBr, RbBr)と共にReガスキットの穴に入れ、圧媒体兼断熱材の Al_2O_3 単結晶円板またはKBrで試料を挟んだ。試料と参照試料は、2つの異なる穴に入れた構成と1つの同じ穴に入れた構成の2パターンを用いた。圧力発生には、DAC(先端サイズ:300-600 μm)を使用した。実験圧力は試料及び参照試料の格子体積から求めた。加熱はファイバーレーザーによる両面加熱を行った。X線吸収測定的光路とレーザー用ミラーとの干渉を避けるため、試料に対しレーザーを斜入射加熱を実施した。加熱試料からの輻射を用いて温度を測定した(図1)。

(弾性波速度測定)弾性波速度測定には、GHz超音波法を用いた。この方法は、GHz帯域の超音波を圧電素子から試料に導入し、試料前面と背面からの反射波の干渉から、試料中の波の伝播時間を計測する方法である。伝播時間と試料厚さ情報から弾性波速度が求まる。本研究において、GHz超音波法の帯域のアップグレードを行い、さらに岡山大学にGHz超音波法の測定システムを構築し、P波・S波速度測定用のセットアップを行った(図2)。測定システムは、GHz帯

域の信号発振器、反射波を検出する GHz 帯域対応の高解像度デジタルオシロスコープおよびオシロスコープ同期用のトリガー発信器から構成される。この測定システムを用いて DAC 試料の測定を行った。試料は Fe を用い、Re ガスケットの試料室に封入し、先端サイズ 300 μm の DAC を用いて加圧した。ZnO 圧電素子を製膜した Al_2O_3 バッファローッドを DAC に押し付け超音波を導入し測定をおこなった。試料厚みの測定は、SPring-8 において密度測定で使用した X 線吸収法を用いて求めた。またダイヤモンド間距離計を製作し、ラボで試料厚みを計測できるようにした。

4 . 研究成果

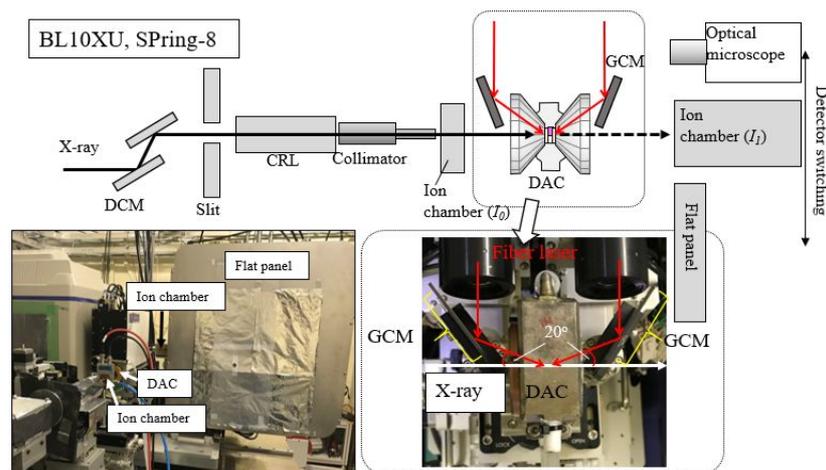


図 1 . レーザー加熱式 DAC を用いた X 線超音波法による密度測定の実験セットアップ

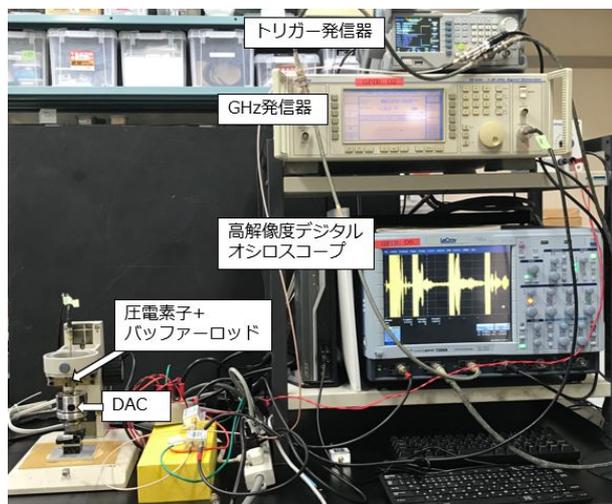


図 2 . GHz 超音波法による弾性波速度測定システム (岡山大学)

密度測定、弾性波速度測定について得られた成果をそれぞれ以下に示す。

(密度測定) 初年度(2020年度)は、まずラボにおいては、高倍率のシステム実体顕微鏡を導入し、DAC のサンプリング精度を向上させ、さらに紫外レーザー微細加工機を導入して、ガスケットや圧媒体の Al_2O_3 単結晶の高精度加工が可能となった。ビームラインにおいては、コロナ禍の影響で SPring-8 は下半期のみ放射光ビームタイムとなった。DAC を用いた X 線吸収法の精度評価のために、Fe 試料の室温下(300 K)での密度を X 線透過率測定から求め、X 線回折からの密度と比較し、測定精度の評価を行った。この結果、Fe 密度は 25 GPa までの条件で回折密度と最大 3% の差で一致した。次にレーザー加熱と X 線吸収法を併用させるため、レーザー光学系と X 線光学系が干渉しないように、レーザー斜入射のセットアップを行い(図 1)、同時に薄型イオンチャンバーを導入して検出器と設置位置について最適化をおこなった。以上のラボでの試料準備とビームラインでの測定系セットアップにより、2021 年度以降は本格的に高温下での測定を実施した。

Ni 試料では、26 GPa, 2230 K までの圧力・温度条件で密度測定をおこなった。fcc 構造を持つ Ni 固体の密度を 1800 K まで X 線吸収法で測定し、X 線回折密度と比較し、測定密度の確度と精度の評価をおこなった。この結果、X 線吸収法より得られた Ni 固体密度は、X 線回折による密

度と 0.01–2.2 % の差で一致し、誤差は 0.8–1.8 % であった。したがって、ある程度の試料厚みが確保できている場合、レーザー加熱下の DAC においても X 線吸収法により、高精度かつ高確度で密度を決定できることが確認できた。得られた密度の圧力変化 (図 3) から、状態方程式を用いてフィットした結果、Ni 固体の等温体積弾性率は $K_{T0}=173$ GPa と求まった。液体試料は、X 線回折の消失を確認し、15 GPa, 2200 K にて密度が 8.7 g/cm³ と求まった。これらの結果は、論文にまとめ現在国際学術雑誌に投稿中である。

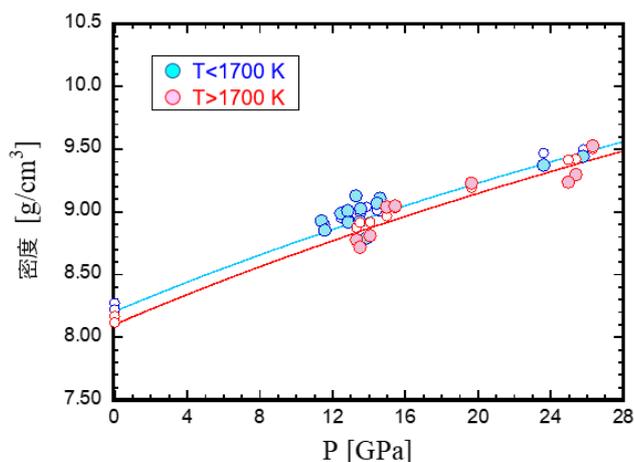


図 3. Ni 固体密度の圧力変化. X 線吸収法と X 線回折法による密度の比較 (塗りシンボル: X 線吸収法による密度、白抜き: X 線回折密度).

FeS 試料では、24 GPa, 2600 K までの圧力・温度条件で FeS 密度を測定した。FeS 固体の密度は、1970 K までの条件で測定した。このとき FeS は全て NiAs 型構造の FeS V 相であった。X 線吸収法で求めた FeS V 相の密度は、X 線回折密度と 0.1–5.0 % の差で一致した。2600 K までの条件で、FeS 由来の X 線回折ピークの消失から FeS の全溶解を確認し、FeS 液体試料の X 線透過率を測定した。試料融解に伴い X 線透過率の急激な増加がみられた。また 16–24 GPa での FeS の融点決定もおこなった。2400 K 付近で試料融解を確認し、Williams & Jeanloz (1990) の融解曲線に比較的近い結果が得られた。これらの結果は、論文にまとめ、投稿準備中である。

Fe 試料では、25 GPa, 3000 K までの圧力・温度条件で測定することができた。Fe 試料の温度変化に伴う明瞭な X 線透過率変化を確認した。Fe 試料の X 線回折ハローパターンから、液体状態を確認し、X 線透過率を測定できた。また Be ガスケットを用いて、DAC 加圧軸に対し横方向から、X 線透過率マッピングを行うことで、圧媒体の Al₂O₃ 円板により試料平行度が確保されていることを確認した。

Fe-S(S=25, 30 at%) 試料については、14 GPa, 2350 K の条件までの密度を X 線吸収法により測定した。1810 K において X 線回折の消失とハローパターン出現から試料融解を確認し、液体試料の X 線透過率を測定した。

(弾性波速度測定) 初年度は、共同研究者の米田博士により超音波発生の圧電素子および測定装置セットアップを 1.5 GHz 対応までアップグレードさせ、より高圧条件に対応させた。弾性波速度測定は、Fe 試料について 15 GPa まで測定した。試料厚み測定や試料状態確認にラボの X 線イメージングや X 線回折を用い、これらによる測定精度の評価も実施し、20 GPa までの圧力条件での測定に目途がついた。

次年度(2021 年度)以降は、測定の最適化や解析の効率化を進めつつ、Fe 試料の P 波速度測定を 34 GPa まで実施し、試料の反射波シグナルの干渉から伝播時間を求めた (図 4)。本成果は GHz 超音波法においては測定最高圧力の記録を更新した。また岡山大学にも GHz 超音波法の測定システムをセットアップし、弾性波速度測定が可能となった。この測定システムを用いて Fe 試料の伝播時間を 8–34 GPa の圧力条件で測定した。試料厚みは、SPring-8 BL10XU で X 線吸収法を用いて X 線透過率から 0.4 % の誤差で精度良く求まった。試料厚みを精度良く求めることで、P 波速度の決定精度を誤差 5.0 % 程度まで向上することができた。これらの結果、火星コアの圧力条件までの Fe 試料の bcc 相および hcp 相の P 波速度が求まった。

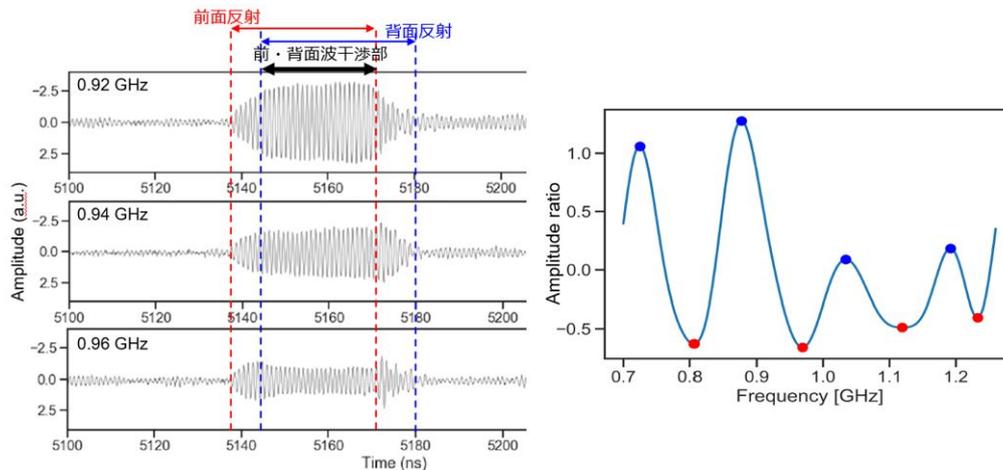


図 4. (左) 34 GPa における Fe の前・背面反射波シグナルと干渉部分
(右) 周波数変化に伴う干渉部分の振幅変動 (スムージング後、点は極値)

以上より、本研究のレーザー加熱式 DAC を用いた X 線吸収法による密度測定の開発により、26 GPa, 3000 K までの圧力・温度条件での測定が可能となった。特に X 線吸収法の測定温度限界を従来の 720 K から 3000 K まで大きく拡張できたのは、特筆すべきである。これにより火星コアの条件での測定が可能となった。Fe-Ni-S 系の特に端成分の FeS, Ni, Fe の固体および液体試料の密度を決定し、また融点も決定することができた。

また GHz 超音波法による弾性波速度測定では、測定最高圧力を拡張でき火星コア圧力での測定が可能となった。GHz 超音波法は、測定に高い熟練度が必要で、圧力拡張の目標は達成できたが時間を要したため、高温下での測定までには至らなかった。

本研究により、液体の密度測定の温度条件をコア条件まで拡張でき、液体密度が高精度で決定できるようになった点で、本研究は極めて大きな意義を持つ。加えて火星コア圧力まで GHz 超音波法で P 波・S 波速度が測定できるようになり、弾性を決定可能となった点でも本研究の学術的インパクトは大きい。今後は得られた Fe-Ni-S 各成分の密度・弾性結果から、混合モデルを用いて、密度・弾性の組成依存性を明らかにしていく。InSight 火星探査機の地震データにより、最近コアサイズも報告・更新されたため (Samuel et al. 2023)、この最新データと本研究の密度・弾性データを照合して、火星コア組成の制約が期待される。

本課題に関連して、最終年度(2023 年度)に岡山大学にて、地球型惑星や微惑星の内部構造についてに焦点を当てた国際ワークショップ (Workshop on Interiors of planetesimals and terrestrial planets) (2023/11/28、岡山市) を開催した。このワークショップでは英国・エジンバラ大をはじめ国内外の大学からの研究者が参加し、微惑星や惑星コアの形成過程や組成、物性に関して活発な議論を行うことができた。また日本地球惑星学会連合大会 (JpGU) において、本研究実施期間 (2020~2023 年) では継続して惑星中心核 (planetary cores) の国際セッションを開催しコンピナーを務めた。このセッションで地球型惑星コアの構造や物性に関し、惑星観測・高圧実験・計算シミュレーション・隕石分析など幅広い分野の国内外の研究者と活発に学术交流をおこなった。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 13件／うち国際共著 2件／うちオープンアクセス 6件）

1. 著者名 Matsubara Shiori, Terasaki Hidenori, Yoshino Takashi, Urakawa Satoru, Yumitori Daisuke	4. 巻 -
2. 論文標題 Wetting property of Fe-S melt in solid core: Implication for the core crystallization process in planetesimals	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Meteoritics and Planetary Science	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） 10.1111/maps.14149	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 Abeykoon Sumith, Howard Christopher, Dominijanni Serena, Eberhard Lisa, Kurnosov Alexander, Frost Daniel J., Ballaran Tiziana Boffa, Terasaki Hidenori, Sakamaki Tatsuya, Suzuki Akio, Ohtani Eiji, Sano Furukawa Asami, Abe Jun	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 -
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 Urakawa Satoru, Terasaki Hidenori, Kishimoto Syun-pachi, Inoue Naonori, Shimoyama Yuta, Takubo Yusaku, Machida Akihiko	4. 巻 11
2. 論文標題 Density Measurements of Fe-Ni-S Liquids at High Pressure	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 SPRING-8/SACLA Research Report	6. 最初と最後の頁 218 ~ 220
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.18957/rr.11.4.218	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 Yamada Iori, Terasaki Hidenori, Urakawa Satoru, Kondo Tadashi, Machida Akihiko, Tange Yoshinori, Higo Yuji	4. 巻 50
2. 論文標題 Sound velocity and elastic properties of Fe-Ni-S-Si liquid: the effects of pressure and multiple light elements	5. 発行年 2023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/s00269-023-01243-8	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 Tsuruoka Ryo, Terasaki Hidenori, Kamada Seiji, Maeda Fumiya, Kondo Tadashi, Hirao Naohisa, Kawaguchi Saori I., Yamada Iori, Urakawa Satoru, Machida Akihiko	4. 巻 41
2. 論文標題 Density and elastic properties of liquid gallium up to 10 GPa using X-ray absorption method combined with externally heated diamond anvil cell	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 379 ~ 391
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2021.1998478	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 Terasaki Hidenori, Sakaiya Tatsuhiro, Shigemori Keisuke, Akimoto Kosaku, Kato Hiroki, Hironaka Yoichiro, Kondo Tadashi	4. 巻 6
2. 論文標題 In situ observation of the Rayleigh-Taylor instability of liquid Fe and Fe-Si alloys under extreme conditions: Implications for planetary core formation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Matter and Radiation at Extremes	6. 最初と最後の頁 054403 ~ 054403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0029448	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 Kamiya Asaka, Terasaki Hidenori, Kondo Tadashi	4. 巻 106
2. 論文標題 Precise determination of the effect of temperature on the density of solid and liquid iron, nickel, and tin	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1077 ~ 1082
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2021-7509	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 YONEDA Akira	4. 巻 73
2. 論文標題 Macroscopic Elasticity of Porous Object: Systematic Analysis Based on Finite Element Analysis and Its Application	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Zisin (Journal of the Seismological Society of Japan. 2nd ser.)	6. 最初と最後の頁 209 ~ 223
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4294/zisin.2020-11	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 Ricard Yanick, Labrosse Stephane, Terasaki Hidenori, Bercovici David	4. 巻 311
2. 論文標題 Thermocapillary effects in two-phase medium and applications to metal-silicate separation	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 106640 ~ 106640
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pepi.2020.106640	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 TERASAKI Hidenori	4. 巻 30
2. 論文標題 Physical Properties and Composition of Cores of Terrestrial Planets	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Review of High Pressure Science and Technology	6. 最初と最後の頁 111 ~ 117
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4131/jshpreview.30.111	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 Nishida Keisuke, Shibazaki Yuki, Terasaki Hidenori, Higo Yuji, Suzuki Akio, Funamori Nobumasa, Hirose Kei	4. 巻 11
2. 論文標題 Effect of sulfur on sound velocity of liquid iron under Martian core conditions	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1954
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-15755-2	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 -

〔学会発表〕 計36件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 19件)

1. 発表者名 H. Terasaki, T. Yoshino, G. D. Bromiley, I. Butler, K. Kobayashi, S. Matsubara, T. Miura
2. 発表標題 Possibility of percolative core formation in planetesimals
3. 学会等名 Workshop on Interiors of planetesimals and terrestrial planets (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 S. Matsubara, H. Terasaki, T. Yoshino, S. Urakawa, D. Yumitori
2. 発表標題 Wetting property of Fe-S melt in solid core: Implication to core crystallization process in planetesimals
3. 学会等名 Workshop on Interiors of planetesimals and terrestrial planets (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 寺崎英紀、紙名宏幸、鶴岡棕、近藤忠、米田明、森岡康、櫻井萌、鎌田誠司、河口沙織
2. 発表標題 レーザー加熱式DACとX線吸収法を組み合わせた高温高圧下でのニッケル密度測定
3. 学会等名 日本鉱物科学会2023年年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 森岡康、寺崎英紀、紙名宏幸、鶴岡棕、近藤忠、米田明、櫻井萌、河口沙織
2. 発表標題 レーザー加熱式ダイヤモンドアンビルセルを用いたX線吸収法によるFeSの密度測定
3. 学会等名 日本鉱物科学会2023年年会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 H. Terasaki, T. Yoshino, G. D. Bromiley, I. B. Butler, T. Miura, S. Matsubara, K. Kobayashi
2. 発表標題 3D distribution of FeS melt in orthopyroxene mantle: Implication to core segregation in planetesimals
3. 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1 . 発表者名 S. Matsubara ¹ , H. Terasaki, T. Yoshino, S. Urakawa , K. Kobayashi, G. D. Bromiley, I. Butler
2 . 発表標題 Evaluation of Fe-S melt segregation in solid core during core crystallization in planetesimals
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2023 (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 K. Kobayashi, H. Terasaki, T. Yoshino, S. Matsubara, S. Urakawa, G. D. Bromiley, I. B. Butler
2 . 発表標題 The effect of porosity on FeS melt migration in orthopyroxene mantles in planetesimals
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2023 (国際学会)
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 A. Yoneda, R. Tsuruoka, T. Kato, S. Kamada, H. Terasaki, T. Kondo, D. Yamazaki
2 . 発表標題 History of technological development of the GHz-DAC ultrasonics
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2023
4 . 発表年 2023年

1 . 発表者名 S. Matsubara, H. Terasaki, T. Yoshino, D. Yumitori, S. Urakawa
2 . 発表標題 Wetting ability of liquid Fe-S in solid core during planetesimal core crystallization
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2022 (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 Japan Geoscience Union meeting 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 T. Miura, H. Terasaki, T. Yoshino, S. Matsubara, O. Ohtaka, T. Kondo
2 . 発表標題 Constraint on the condition of core melt segregation in pyroxene mantle of planetary embryo
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 R. Tsuruoka, H. Terasaki, H. Kamina, S. Kamada, T. Kondo, A. Yoneda, N. Hirao, S. Kawaguchi
2 . 発表標題 Test of density measurement using X-ray absorption method combined laser-heated diamond anvil cell
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1 . 発表者名 K. Tsuji, S. Matsubara, H. Terasaki, S. Urakawa
2 . 発表標題 Pressure change of melting relations of the system Fe-FeS-FeO
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2022 (国際学会)
4 . 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤 拓人、鶴岡 棕、寺崎 英紀、近藤 忠、山崎 大輔、米田 明
2. 発表標題 Development of GHz Ultrasonic Velocity Measurement in Diamond Anvil Cell:
3. 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 H. Terasaki, T. Miura, T. Yoshino, T. Kondo
2. 発表標題 Conditions of core melt segregation in planetesimals
3. 学会等名 Goldschmidt Conference (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 辻野典秀, 寺崎英紀, 櫻井萌
2. 発表標題 快削性ボロン添加ダイヤモンドヒーターを用いた高温高压発生
3. 学会等名 第63回高压討論会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 寺崎英紀
2. 発表標題 Fe - FeS系合金における固液共存組織の時間と圧力変化
3. 学会等名 新結晶成長学シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 寺崎英紀、鎌田誠司、紙名宏幸、鶴岡椋、近藤忠、米田明、河口沙織、平尾直久
2. 発表標題 レーザー加熱式DACを用いたX線吸収法による密度測定を試み
3. 学会等名 高压討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鶴岡椋、米田明、加藤拓斗、鎌田誠司、寺崎英紀、近藤忠、山崎大輔、平尾直久、河口沙織
2. 発表標題 GHz-DAC法による高压下での鉄の音速測定
3. 学会等名 高压討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 米田 明、鶴岡 椋、加藤拓人、鎌田誠司、寺崎 英紀、近藤 忠、山崎 大輔
2. 発表標題 GHz 音速法における技術開発統報：ダイヤモンドアンビル変形解析と測定系のインピーダンス整合
3. 学会等名 高压討論会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 D. Yumitori, H. Terasaki, T. Yoshino, S. Urakawa
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 T. Miura, H. Terasaki, T. Kondo, O. Ohtaka, T. Yoshino
2. 発表標題 Possibility 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

1. 発表者名 R. Tsuruoka, A. Yoneda, S. Kamada, H. Terasaki, T. Kondo, D. Yamazaki
2. 発表標題 GHz ultrasonic velocity measurements of iron beyond the bcc-hcp transition II: sample thickness determination using X-ray imaging method
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 米田 明、鶴岡 椋、鎌田 誠司、寺崎 英紀、近藤 忠、山崎 大輔
2. 発表標題 GHz ultrasonic velocity measurement of iron beyond bcc-hcp transition III: FEM analysis on GHz-DAC ultrasonics
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 N. Adachi, S. Urakawa, H. Terasaki
2. 発表標題 Structural study on the Ca ₂ MgAl ₂ Si ₄ O ₁₄ composition melt under pressure
3. 学会等名 Japan Geoscience Union meeting 2021
4. 発表年 2021年

1 . 発表者名	Sumith Abeykoon, Christopher. M. Howard, Serena Dominijanni, Lisa Eberhard, Daniel J. Frost, Tiziana Boffa Ballaran, Alexander Kurnosov, Hidenori Terasaki, Tatsuya Sakamaki, Akio Suzuki, Eiji Ohtani, Asami Sano-Furukawa, Jun Abe
2 . 発表標題	Deuterium content and site occupancy in iron sulphide at high pressure and high temperature: Implications for the oxidation of early Earth 's mantle
3 . 学会等名	Goldschmidt conference (国際学会)
4 . 発表年	2021年

1 . 発表者名	I. Yamada, H. Terasaki, R. Tsuruoka, A. Kamiya, T. Miura, T. Kondo, Y. Tange, Y. Higo
2 . 発表標題	Mercury core size constrained from elastic properties of Fe-Ni-S-Si liquid
3 . 学会等名	Japan Geoscience Union meeting 2020 (国際学会)
4 . 発表年	2020年

1 . 発表者名	S. Urakawa, H. Terasaki, A. Machida
2 . 発表標題	Thermodynamic analysis of density of Fe-Ni-S melts at high pressure
3 . 学会等名	Japan Geoscience Union meeting 2020 (国際学会)
4 . 発表年	2020年

1 . 発表者名	T. Miura, H. Terasaki, T. Kondo
2 . 発表標題	Possibility of percolation of Fe-S melts in asteroids
3 . 学会等名	Japan Geoscience Union meeting 2020 (国際学会)
4 . 発表年	2020年

1. 発表者名 鶴岡 椋、寺崎 英紀、鎌田 誠司、前田 郁也、近藤 忠、山田 伊織、浦川 啓、米田 明、平尾 直久、河口 沙織、町田 晃彦
2. 発表標題 Density and elastic properties of liquid gallium using externally heated diamond anvil cell
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 鎌田誠司, 前田郁也、寺崎英紀, 鶴岡椋, 田窪勇作, 河口沙織, 平尾直久, 町田晃彦
2. 発表標題 Density measurements of Fe up to 25 GPa based on X-ray absorption
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米田 明、鶴岡 椋、鎌田 誠司、寺崎 英紀
2. 発表標題 GHz ultrasonic velocity measurements of iron beyond the bcc-hcp transition
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福井 宏之、米田 明、鎌田 誠司、Baron Alfred
2. 発表標題 Single crystal elasticity of minerals under high-pressure conditions determined by inelastic x-ray scattering
3. 学会等名 日本地球惑星連合大会 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 米田 明、鶴岡 棕、鎌田 誠司、近藤 忠、寺崎 英紀、山崎 大輔
2. 発表標題 鉄の高圧弾性 : GHz -DAC 法によるP波S波速度測定
3. 学会等名 日本高圧討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 近藤 忠、大野 正和、境家 達弘、廣本健吾、寺崎 英紀、重森 啓介、弘中 陽一朗
2. 発表標題 レーザー衝撃圧縮を受けたシリカの高圧変成分布
3. 学会等名 日本高圧討論会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 福井 宏之、米田 明、鎌田 誠司、内山 裕士、平尾 直久、BARON Alfred
2. 発表標題 X線非弾性散乱によるNaClB1相の単結晶弾性定数の圧力変化
3. 学会等名 日本高圧討論会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 寺崎 英紀, 坂巻 竜也 (分担執筆)	4. 発行年 2022年
2. 出版社 朝倉書店	5. 総ページ数 480
3. 書名 高圧力の科学・技術事典 ((編)入船 徹男・舟越 賢一・近藤 忠・関根 利守・清水 克哉・長谷川 正・保科 貴亮・木村 佳文・加藤 稔・松木 均)	

〔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	米田 明 (Yoneda Akira) (10262841)	大阪大学・大学院理学研究科・招へい研究員 (14401)	
研究分担者	鎌田 誠司 (Kamada Seiji) (30611793)	東北大学・理学(系)研究科(研究院)・その他 (11301)	研究分担者期間は2020年度のみ(令和3年3月21日付で退職したため)

	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
研究協力者	近藤 忠 (Kondo Tadashi)	大阪大学・理学(系)研究科(研究院)・教授	
研究協力者	鶴岡 椋 (Tsuruoka Ryo)	大阪大学・理学(系)研究科(研究院)・大学院生	

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1件

国際研究集会 Workshop on Interiors of planetesimals and terrestrial planets	開催年 2023年～2023年
--	--------------------

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		
英国	エジンバラ大学		