

令和 4 年 6 月 13 日現在

機関番号：16301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02985

研究課題名（和文）極高压条件における内部整合圧力スケール群の構築

研究課題名（英文）Internally consistent pressure scales at ultra-high pressure condition

研究代表者

境 毅（Sakai, Takeshi）

愛媛大学・地球深部ダイナミクス研究センター・准教授

研究者番号：90451616

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 13,300,000円

研究成果の概要（和文）：トロイダル型ダイヤモンドアンビルセルを用いて、地球中心圧力を超える圧力領域でのMgO, Pt, Re, Cu, W, Au, Moといった各種圧力スケール物質の同時圧縮実験を行った。これらの物質の高圧下における体積 - 体積関係をもとに、絶対圧力スケールとして最近報告されたCuおよびAu, Ptのランプ圧縮実験にもとづく新しい圧力スケールについて、相互の整合性について検証を行った結果、400~500 GPa領域においてPtはCuスケールに対し5%程度高い圧力を示すが、一方でAuスケールは低めとなり、Cuスケールはその中間的値をとることが分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、400万気圧領域でのMgO, Pt, Re, Cu, W, Au, Moといった様々な圧力標準物質の同時圧縮実験を行い、各種圧力スケールの相互関係を明らかにすることに成功した。地球中心圧力(365万気圧)を超えるような圧力における物質科学は、地球よりも大きな惑星（巨大ガス惑星やスーパーアースなどの系外惑星）の深部の知見を与えるという地球惑星科学的側面と、400~500万気圧で起こるとされる水素の金属化に代表されるような高圧物性物理学の側面を併せ持っている。本研究成果は、それらの研究分野での実験圧力値の信頼性や整合性という根本的に重要な情報を提供する。

研究成果の概要（英文）：Various pressure scale materials (MgO, Pt, Re, Cu, W, Au, Mo) were compressed above the pressure of the center of the Earth using toroidal diamond anvil cell (t-DAC). Present compression data yield the volume-volume relation between these materials, which enables to evaluate the mutual consistency of Cu, Au and Pt pressure scales proposed as absolute scales based on the ramp compression experiment. At 400-500 GPa region, Au and Pt scales shows relatively lower/higher pressure against Cu scale, respectively. Present result indicates that the mutual consistency of absolute scales based on the ramp compression is not perfect.

研究分野：超高压物性科学

キーワード：圧力スケール 状態方程式 高压発生技術 2段式ダイヤモンドアンビルセル トロイダル型ダイヤモンドアンビルセル

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属します。

1. 研究開始当初の背景

高圧科学において圧力スケール物質は、実験の圧力値を決定するのに用いられる。具体的には X 線回折実験によりその物質の体積が高圧下でどれだけ縮んだのかを測定し、体積と圧力の関係、すなわち状態方程式から圧力値を算出する。このように圧力決定に用いられる物質の状態方程式を圧力スケールと呼んでいる。現実には物質あるいは状態方程式の選択によって算出される圧力値には差異が見られ、このことは圧力スケール問題として知られている。地球のマントルから核の圧力条件に相当する 100 ~ 200 GPa までの圧力領域では、各種圧力スケール物質の相互比較により圧力値の整合性が議論され、整合性が確認された物質は内部整合圧力スケールとして広く利用されてきた(e.g., Fei et al. 2007)。しかし 200 GPa を超える圧力領域では実験データが欠乏しており、各種圧力スケール物質間の整合性が不明であるばかりでなく、同一物質についても研究者間の結果の矛盾が大きいという問題が顕在化していた。また、高温条件 (~ 3000 K) でのデータは 100 GPa 領域でさえ報告例がほとんどなく、高温における内部整合圧力スケールの確立が切望されていた。

一方、惑星科学の分野では地球の数倍程度の質量をもつスーパーアースと呼ばれる惑星が多く発見されており、その内部圧力は地球の中心圧力(364 GPa)を大きく超え、1 TPa にも達すると推定されている(e.g., Tsuchiya and Tsuchiya, 2011)。従って、数 100 GPa から 1 TPa におよぶ「サブテラパスカル領域」における物質科学への関心が高まってきている。しかし上述の通り、このような極高圧条件における圧力スケールの整備は不十分というのが研究開始当初の背景であった。

2. 研究の目的

従来のダイヤモンドアンビルセル(DAC)を用いた静的圧縮による高圧発生は一部のチャンピオンデータでも 400 GPa 以下、ルーチンで発生できるのは 300 GPa 以下に留まっており、それ以上の圧力発生は不可能であった。これに対し、ドイツの研究グループにより 2 段式ダイヤモンドアンビルセル(double stage DAC, ds-DAC)が開発され、600 GPa の圧力発生に成功したと報告したことで注目を集めた(Dubrovinsky et al., 2012)。しかしこの研究では 2 段目アンビルには半球状のアンビルが使用されており、原理的には面ではなく点で接触することになるため、上下アンビルの位置調整(アライメント)の難しさや十分な試料容積を確保できないなどの問題があった。これに対し我々は集束イオンビーム加工機(FIB)を用いたナノオーダーでの精密加工技術を駆使して先端に一定の大きさの平らな面(culet)を持つようなマイクロアンビルを作製し、かつ FIB 装置のチャンバー内で電子顕微鏡で観察しながら上下のアンビルを正確に組み合わせることでアライメント問題を克服した上下一体型を開発した(Sakai et al. 2015)。しかしここでは発生圧力が依然 400 GPa 以下にとどまっていたことから、本研究ではさらなる高圧発生を再現性良く行えるようにすることを目的とした ds-DAC の技術開発を行った。

一方、本研究の研究期間内に Dewaele et al. (2018) がトロイダル型ダイヤモンドアンビルセル(t-DAC)による 600 GPa の高圧発生を報告したことから、従来の DAC の発生圧力限界を超える手段として ds-DAC に加え t-DAC も広く注目されるようになった(このタイプのアンビルについては、これ以前に我々が開発してきた ds-DAC の形状を発想の原点として 2018 年 1 月からアンビルの製作と実験を開始しており、当初我々はこれを凸型(Convex type)と呼称していた。Dewaele et al. (2018) の論文発表は 7 月であるが、結果的にほぼ同形状であること、同種の実験について彼女らのグループで 2015 年に国際学会で最初に発表があったことを考慮し、本稿では t-DAC として統一することとする)。本研究ではこの新技術である t-DAC による 400 GPa 超の圧力発生技術を併用して、各種圧力スケール物質について粉末 X 線回折による高温高圧下での体積同時測定を行い、数 100 GPa から 1 TPa におよぶサブテラパスカル領域に適用可能な内部整合圧力スケール群を確立することで極高圧条件下における地球惑星物質科学および物性物理学の礎を築くことを目的とした。また当初は高温領域への拡張も目的としていたが、高温での圧力スケール間の整合性に関する実験に関しては、Ye et al. (2017) によって比較的質の良いデータが報告されたため、本研究では我々の得意とする FIB 加工技術を駆使した ds-DAC および t-DAC による高圧発生技術開発と未踏の圧力での状態方程式決定に注力した。

3. 研究の方法

ds-DAC の技術開発として、10 nm 以下の極微細な結晶サイズを持つナノ多結晶ダイヤモンド(ultra-fine NPD)を 2 段目アンビルに使用した上下一体型 ds-DAC (Sakai et al., 2018) やコニカルサポート型 ds-DAC (Sakai et al., 2020) を独自に開発し圧力発生試験を行った。後者を開発した理由は、前者の上下一体型の ds-DAC では圧力値そのものは 400 GPa を超えることができたものの、得られた X 線回折線はアンビル先端部の急激な圧力勾配を反映した非常にブロードなものであり、高圧下において物質の格子体積を正確に決定するにはよりシャープな回折線を得るためには、アンビル先端部の一定の領域において均質な圧力場を作り出す必要があったためである。より広い圧力場を作るにはより広い culet サイズを用いればよいが、それは同時に発

生圧力の低下を招く。そこで我々は culet サイズを大きくしつつも発生圧力を低下させないためにコニカルサポート型の開発を行った。上下一体型 ds-DAC における culet サイズはわずか 3 μm であるが、コニカルサポート型 ds-DAC では 10 μm まで拡張されている。試料は主に Re を用いた。特に、コニカルサポート型の実験においては SPring-8 BL10XU で開発されたサブミクロン X 線ビーム(半値幅 0.7~1.0 μm)を利用することでより高い位置分解能で発生圧力を評価した。

また、t-DAC を用いた圧力スケール物質の相互の整合性を確認する実験では、試料に MgO, Pt, Re, Cu, W, Au, Mo といった様々な圧力標準物質を用いた。数 100 GPa 領域においてそれぞれの X 線回折線が重複しないように、Cu-Re, Pt-Re, Cu-W, Au-W, Mo-W, Fe-W, MgO-W という組み合わせでの同時圧縮実験を行った。これらの実験の高圧発生には t-DAC を用いた。t-DAC 実験ではアンビル先端(culet)サイズ、傾斜部(bevel)サイズ・角度、凸部高さ、凸部基部サイズ、平坦部サイズ、アンビル素材(Type Ia/Iias) サポート形状(スタンダード/コニカルサポート)などのパラメータを変化させつつ種々の実験を行った。比較的低压領域(<100 GPa)におけるデータの取得は、culet サイズが 300 μm のスタンダードアンビルでの従来の DAC を用いた別の実験として行った。試料の格子体積の測定および発生圧力の評価には SPring-8 BL10XU のサブミクロン X 線ビームおよび BL37XU の約 100 nm の半値幅を持つナノ集光 X 線を用いて X 線回折実験を行った。

4. 研究成果

(1) 上下一体型 ds-DAC (Sakai et al., 2018)

新たに開発された 2 段目マイクロアンビルの電子顕微鏡写真を図 1 に示す。上下のマイクロアンビルは ultra-fine NPD、上下をつなぐロッドは Glassy carbon、試料は Re である。アンビルの FIB 加工の際に側面からではなく上面から段階的に掘削する加工プログラムを組むことで、これまでよりも格段にスムーズな表面かつ設計通りの形状を持つアンビルを作製することに成功した。アンビル形状や素材について改良が加えられたことで、430~460 GPa の圧力発生に成功した(Sakai et al., 2018)。ここで圧力値に幅があるのは Re の状態方程式の選択による違いである。我々は Re 状態方程式について白金圧力スケールを用いた検証実験を別途行い、Dewaele et al.(2004)の白金スケールを用いた場合は Anzellini et al.(2014)の Re 状態方程式 とよく一致し、Yokoo et al.(2009)の白金スケールを用いた場合にはこれより 1 割程度高い圧力を示すことを明らかにした。一方、Dubrovinsky et al. (2012)により報告された Re 状態方程式を用いると発生圧力は 600 GPa に達するが、これは白金の圧力スケールとは矛盾が大きすぎる。この Re 状態方程式についてはその校正に ds-DAC が用いられており、ds-DAC のおける急激な圧力勾配の影響を受けるなどの問題があったのではないかとこのことを指摘した。

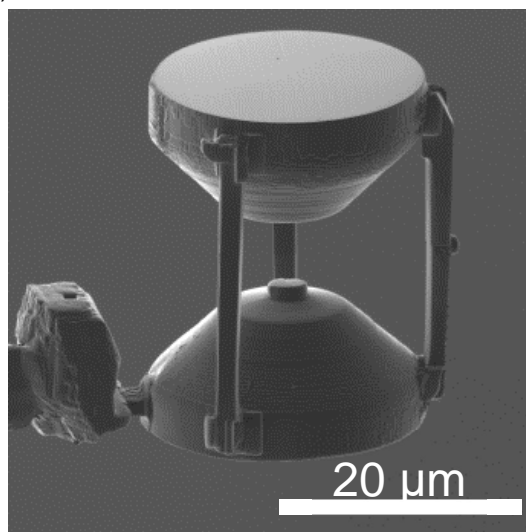


図 1. 上下一体型 ds-DAC の電子顕微鏡写真。

一方前述した通り、我々の実験においても圧力値そのものは 400 GPa を超えることができたものの、得られた X 線回折線はアンビル先端部の急激な圧力勾配を反映した非常にブロードなものであった。この問題を解決するために次に示すコニカルサポート型を開発した。

(2) コニカルサポート型 ds-DAC (Sakai et al., 2020, Kuramochi et al., 2020)

コニカルサポート型 ds-DAC のアンビルの電子顕微鏡写真を図 2 に示す。Culet サイズを 10 μm まで大きくしたこと、サブミクロン X 線ビームを利用したことにより、よりシャープな X 線回折ピークを得ることに成功するとともに、コニカルサポート型を採用したことで発生圧力についても大きく低下することなく 412 GPa までの圧力発生に成功した。アンビル先端部での急激な圧力勾配は緩和され、これまで同時に測定されていた 100 GPa 以上低い圧力下にある周囲の試料からの回折線強度は、中心部の最高圧状態にある試料からの回折線強度の半分以下に抑えることができた(Sakai et al., 2020)。この実験では、加圧過程の最終段階において 2 段目アンビルの周辺部の圧力(封圧)が不連続に降下したにもかかわらず、中心部の試料圧力は上昇する、という特異な現象が見られた。これは 1 段目アンビル側に先にクラックが入り全体の圧力が低下したものの、荷重がまだ破壊されていない 2 段目アンビルにより集中されることで、試料圧力が上昇したものと解釈される。このことからコニカルサポート面の面積、形状、1 段目と 2 段目のフィットネスを向上させるための緩衝材の利用などの工夫を加えることで、1 段目にかかる負担を減らし、より高い圧力を発生できる可能性があることを示している。2 段目アンビルの先端形状なども含め開発項目は多岐にわたるため、これらのことを踏まえさらなる装置開発を継続していく必要がある。

また、1 段階目アンビルにもナノ多結晶ダイヤモンドを使用することにより X 線吸収分光 (XAFS) 測定が可能となり、物理学の電子物性分野への応用として超高压領域における 5d 遷移金属の電子状態に関する共同研究を行った。Re の X 線吸収端近傍構造 (XANES) に関する実験結果として、 L_2 吸収端および L_3 吸収端における X 線吸収スペクトルにおいて、5d バンドの非占有状態密度に対応する white-line の強度が 300 GPa 以上までの加圧過程において徐々に減少することを明らかにした。このことから、加圧により 5d バンドの占有電子数が増加する変化が示唆された。このような超高压条件下で XAFS 測定をした例はこれまでになく、この圧力領域での電子物性研究に ds-DAC が有用なツールとなりえることを示した (Kuramochi et al., 2020)。

(3) t-DAC

それぞれの試料組み合わせの実験において、地球中心圧力を超える圧力までの圧縮実験に成功した (Fe-W の組み合わせのみ 310 ~ 330 GPa 程度まで)。特に高い圧力発生に成功したのは Cu-Re の組み合わせであり、Anzellini et al. (2014) による Re の状態方程式で 447 GPa, Yokoo et al. (2009) の白金スケールで校正された Re 状態方程式 (Sakai et al., 2018) では 478 GPa までの圧力発生に成功した。この実験で使用されたアンビルの形状について電子顕微鏡写真を図 3 に示す。

これまでに 300 GPa 領域において同時圧縮データのあった MgO-Pt や、NaCl-Pt (Sakai et al., 2011)、NaCl と Fe および Fe-Ni 合金 (Sakai et al., 2014) に関する圧縮データと本研究の結果を組み合わせることで、MgO-Pt-Re-Cu-W-Au-Mo-NaCl-Fe-(Fe-Ni) といった多くの物質についてのマルチメガバール領域での体積 - 体積相互関係 (すなわち密度 - 密度相互関係) のデータが得られたことになる。このデータは圧力スケールによらない測定値であり、今後の圧力スケール相互整合性を議論するうえで非常に有用なデータベースとなる。例えば、絶対圧力スケールとして最近報告された Cu および Au, Pt のランプ圧縮実験にもとづく新しい圧力スケール (Fratanduono et al., 2020; 2021) について、本研究でこれまで蓄積してきた各種圧力スケール物質の高圧下における体積 - 体積関係をもとにその相互の整合性について検証を行うことができる。この結果、400 ~ 500 GPa 領域において Pt は Cu スケールに対し 5% 程度高い圧力を示すが、一方で Au スケールは低めとなり、Cu スケールはその中間的値をとることが分かった。このことはランプ圧縮実験のデータ解析においてその手法に修正を求める結果であるといえる。その他各種物質との相互関係に関する詳細な解析・検証は今後さらに進めていく予定であるが、これらの議論を進めることでマルチメガバールからサブテラパスカルの圧力領域における内部整合圧力スケールを提案可能であるとともに、よりよい絶対圧力スケールの構築にも貢献できるものと考えられる。

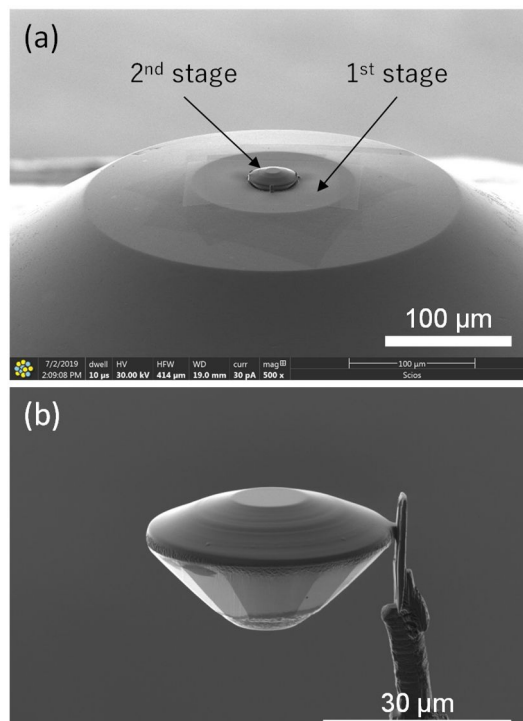


図 2 . (a) コニカルサポート型 ds-DAC の電子顕微鏡写真。(b) 2 段階目マイクロアンビル。

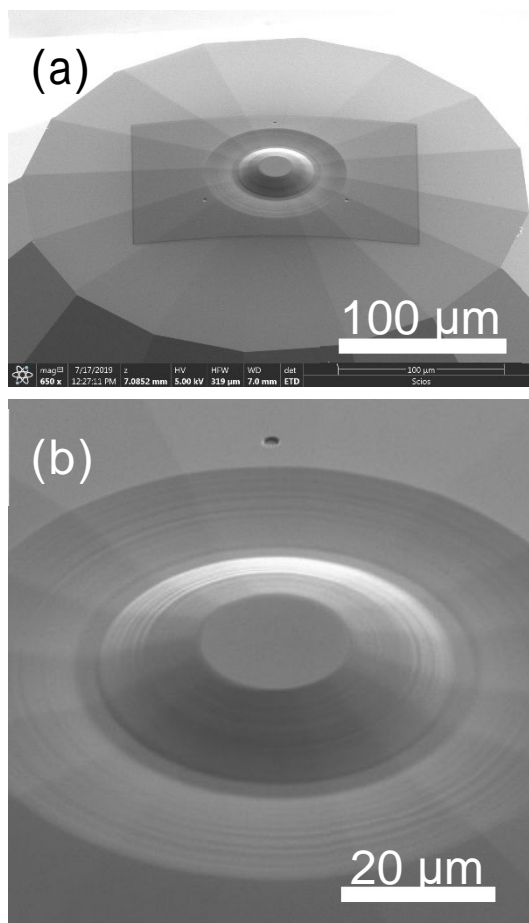


図 3 . (a) t-DAC の電子顕微鏡写真 (鳥観図)。(b) 先端部の拡大写真。単結晶ダイヤモンドアンビルの先端部を FIB 加工することで作製。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sakai Takeshi, Yagi Takehiko, Takeda Ryosuke, Hamatani Toshiki, Nakamoto Yuki, Kadobayashi Hirokazu, Mimori Hideto, I. Kawaguchi Saori, Hirao Naohisa, Kuramochi Keitaro, Ishimatsu Naoki, Kunimoto Takehiro, Ohfuji Hiroaki, Ohishi Yasuo, Irifune Tetsuo, Shimizu Katsuya	4. 巻 40
2. 論文標題 Conical support for double-stage diamond anvil apparatus	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 12~21
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2019.1691190	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 Kuramochi Keitaro, Ishimatsu Naoki, Sakai Takeshi, Kawamura Naomi, Irifune Tetsuo	4. 巻 40
2. 論文標題 An application of NPD to double-stage diamond anvil cells: XAS spectra of rhenium metal under high pressures above 300GPa	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 119~129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2019.1702174	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 Yagi Takehiko, Sakai Takeshi, Kadobayashi Hirokazu, Irifune Tetsuo	4. 巻 40
2. 論文標題 Review: high pressure generation techniques beyond the limit of conventional diamond anvils	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 148~161
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2019.1704753	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 Sakai Takeshi, Yagi Takehiko, Irifune Tetsuo, Kadobayashi Hirokazu, Hirao Naohisa, Kunimoto Takehiro, Ohfuji Hiroaki, Kawaguchi-Imada Saori, Ohishi Yasuo, Tateno Shigehiko, Hirose Kei	4. 巻 -
2. 論文標題 High pressure generation using double-stage diamond anvil technique: problems and equations of state of rhenium	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 1~13
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2018.1448082	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 境 毅	4. 巻 47
2. 論文標題 マルチメガバル領域における鉱物高压相の状態方程式	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 岩石鉱物科学	6. 最初と最後の頁 27～33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/gkk.180109	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25件 (うち招待講演 8件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 Sakai Takeshi
2. 発表標題 Inter-comparison of equations of state at multi-megabar pressure
3. 学会等名 The 27th AIRAPT International Conference on High Pressure Science and Technology (AIRAPT 27) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 境毅, 門林宏和, 三守秀門, 中本有紀, 加良勇輔, 八木健彦, 河口沙織, 平尾直久
2. 発表標題 マルチメガバルにおける圧カスケールの相互比較
3. 学会等名 第60回高压討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 三守秀門, 境毅, 門林宏和, 河口沙織, 平尾直久
2. 発表標題 Cavityつきアンビルによる高压下屈折率測定
3. 学会等名 第60回高压討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 上田千晶, 入船徹男, 國本健広, 有本岳史, 新名亨, 大藤弘明, 境毅, 門林宏和, 八木健彦, 河口沙織, 河口彰吾
2. 発表標題 グラッシーカーボンからのナノ多結晶ダイヤモンド合成と圧縮挙動
3. 学会等名 第60回高圧討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石松直樹, 倉持慶太郎, 境毅, 河村直己, 入船徹男
2. 発表標題 2 段式ダイヤモンドアンピルセルを用いたmulti-Mbar 領域での5d 遷移金属のXAFS 測定
3. 学会等名 第60回高圧討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中本有紀, 伊藤匠, 加良勇輔, 濱谷俊希, 坂田雅文, 清水克哉, 境毅, 河口沙織, 平尾直久, 大石泰生
2. 発表標題 トロイダル型DACを用いた超高压発生および電気抵抗測定への応用
3. 学会等名 第60回高圧討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 境毅
2. 発表標題 圧力スケールの違いが与える核の密度欠損への影響
3. 学会等名 日本鉱物科学会2019年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 倉持慶太郎, 石松直樹, 境毅, 河村直己, 入船徹男
2. 発表標題 2段式ダイヤモンドアンビルセルを用いたmulti-Mbar領域における Reの XAFS測定
3. 学会等名 第22回XAFS討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakai, T.
2. 発表標題 Technical development of double-stage diamond anvil cell and equations of state at multi-megabar condition
3. 学会等名 2018 Workshop of the IUCr Commission on High Pressure (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sakai, T.
2. 発表標題 Technical development of double-stage diamond anvil cell and the equation of state of rhenium
3. 学会等名 The 9th Asian Conference on High Pressure Research (ACHPR9) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 境毅, 出倉春彦
2. 発表標題 ブリッジマナイトーポストペロプスカイト相転移におけるバルク音速変化
3. 学会等名 日本鉱物科学会2018年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 境毅, 八木健彦, 門林宏和, 三守秀門, 武田良介, 濱谷俊希, 中本有紀, 河口沙織, 平尾直久, 入船徹男
2. 発表標題 コニカルサポート型2段式ダイヤモンドアンビルセルの開発
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 入船徹男, 上田千晶, 境毅, 國本健広, 有本岳史, 新名亨, 門林宏和, 大藤弘明, 八木健彦, 河口沙織, 河口彰吾
2. 発表標題 ナノ多結晶ダイヤモンドの圧縮挙動
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武田良介, 濱谷俊希, 中本有紀, 坂田雅文, 清水克哉, 境毅, 入船徹男, 八木健彦, 河口沙織, 平尾直久, 大石泰生
2. 発表標題 水素の金属化に向けた2段式ダイヤモンドアンビルセルの最適化
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 濱谷俊希, 中本有紀, 坂田雅文, 清水克哉, 境毅, 河口沙織, 平尾直久, 大石泰生
2. 発表標題 改良型トロイダル式ダイヤモンドアンビルによる圧力発生技術の開発
3. 学会等名 第59回高圧討論会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sakai, T.
2. 発表標題 Equation of state at multi-megabar pressure
3. 学会等名 Science and technology of Nano-Polycrystalline Diamond 2019 (STNPD-2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakai, T.
2. 発表標題 Pressure scales at multi-megabar pressure
3. 学会等名 Joint symposium of Misasa 2019 & Core-Mantle Coevolution (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Sakai, T., Yagi, T., Kadobayashi, H., Hirao, N., Kunimoto, T., Ohfuji, H., Ohishi, Y., Irifune, T.
2. 発表標題 Evaluation of the pressures measured in the double stage diamond anvil cell technique
3. 学会等名 JpGU-AGU joint meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sakai, T
2. 発表標題 Keane equation of state of MgO, MgSiO ₃ and the pressure scale materials
3. 学会等名 AIRAPT 26 Joint with ACHPR 8 & CHPC19 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Sakai T., T. Yagi, T. Irifune, H. Kadobayashi, N. Hirao, T. Kunimoto, H. Ohfuji, S. Kawaguchi-Imada, Y. Ohishi, S. Tateno and K. Hirose
2. 発表標題 High pressure generation using double-stage diamond anvil technique: problems and equations of state of rhenium
3. 学会等名 International Symposium FY2017 Annual General Meeting (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 境毅
2. 発表標題 マルチメガバール領域における鉱物高圧相の状態方程式の研究
3. 学会等名 日本鉱物科学会2017年会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 境毅
2. 発表標題 2段式ダイヤモンドアンビルセルの技術的問題点
3. 学会等名 第58回高圧討論会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 境毅
2. 発表標題 NPDを用いた2段式DAC
3. 学会等名 GRC 1st NPD Workshop
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Takeshi Sakai
2. 発表標題 Pressure Scale Issue and the Equation of State of Iron at Multi-Megabar Pressure
3. 学会等名 10th Asian Conference on High Pressure Research (ACHPR-10) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 境毅
2. 発表標題 2 段式ダイヤモンドアンピルセルを用いた高圧発生
3. 学会等名 高圧物質科学研究会・地球惑星科学研究会合同研究会 (招待講演)
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
研究協力者	門林 宏和 (Kadobayashi Hi rokazu)	公益財団法人高輝度光科学研究センター (84502)	
研究協力者	中本 有紀 (Nakamoto Yuki)	大阪大学 (14401)	
研究協力者	石松 直紀 (Ishimatsu Naoki)	広島大学 (15401)	

6. 研究組織（つづき）

	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	八木 健彦 (Yagi Takehiko)	東京大学 (12601)	
研究協力者	河口 沙織 (Kawaguchi Saori)	公益財団法人高輝度光科学研究センター (84502)	
研究協力者	平尾 直久 (Hirao Naohisa)	公益財団法人高輝度光科学研究センター (84502)	
研究協力者	國本 健広 (Kunimoto Takehiro)	愛媛大学 (16301)	
研究協力者	入船 徹男 (Irifune Tetsuo)	愛媛大学 (16301)	

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