

令和 6 年 6 月 21 日現在

機関番号：14301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2020～2023

課題番号：20H00198

研究課題名（和文）電子線を用いた水素の高圧その場観察：地球深部の水循環の解明

研究課題名（英文）High pressure in situ observation of hydrogen in mineral using electron microscope

研究代表者

三宅 亮（Miyake, Akira）

京都大学・理学研究科・准教授

研究者番号：10324609

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,300,000円

研究成果の概要（和文）：透過型電子顕微鏡内（TEM）で高圧力を発生させるため高圧力発生装置の開発を行った。また、そのための集束イオンビーム装置（FIB）を用いた試料加工手順を確立した。加工した試料及び高圧発生機構と新たに購入したピコインデントホルダーを組み合わせ、TEM内でその場圧縮実験を行った。その結果、Feの実験では、圧縮方向に約14 GPaの応力がかかっていると推定でき、アルファ相からイプシロン相へ相転移している可能性が得られた。また、ダイヤモンドを用いた実験では、圧縮方向に200GPaを超える応力がかかっていると推定できた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

地球深部条件下を電子顕微鏡内に再現すべく、研究を実施した。そのために、透過型電子顕微鏡内で高圧力を発生させるための試料および高圧力発生機構の加工を、集束イオンビーム装置（FIB）を用いておこなった。こうして得たFIBを用いた微細加工技術を、たとえばはやぶさ2プロジェクトなど幅広い分野へ生かし、大きく貢献した。また、透過型電子顕微鏡内でその場圧縮実験を荷重制御により、1軸圧縮の圧縮方向にはあるが100GPaを超える応力を発生させることに成功した。この結果は、透過型電子顕微鏡内に地球深部条件を再現する端緒となり、今後ますます発展することが期待できる。

研究成果の概要（英文）：In-situ compression experiments of pillar-shaped sample were performed in a transmission electron microscope under controlled loads. The pillar-shaped sample preparation conditions by focused ion beam (FIB) were determined. In the experiment on a pillar-sample of Fe, a stress of about 14 GPa in the compressive direction was estimated, indicating a possible phase transition from alpha to epsilon phase. Moreover, experiments on diamond pillar-shaped specimens showed that stresses in excess of 200 GPa were estimated to be applied in the compressive direction.

研究分野：鉱物学

キーワード：電子顕微鏡 その場観察

## 様式 C - 19、F - 19 - 1 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

地球深部の構造理解のため、実験・理論によって地球深部の高圧高温環境を再現し、地球を構成している様々な物質の物理的・化学的特性を調べる研究が盛んに行われている。特に実験研究では、放射光施設による高輝度 X 線や大強度陽子加速器施設による中性子線を利用した研究が中心である。一方で、沈み込むプレートに含まれる含水鉱物(FeOOH)が、下部マントルで FeO<sub>2</sub> と H<sub>2</sub> として分解して水(水素)を放出するのか、それとも核-マントル境界まで安定に存在し金属鉄からなる核に水素を供給するのかについて、大きな論争になっていた。FeOOH と FeO<sub>2</sub> は、地球深部条件下での基本構造が同じで水素の有無のみに違いがあり、決着をつけるためには水素の有無を識別する必要がある。しかしながら X 線の場合、水素の低い原子散乱能により水素原子の有無とその位置を決定することは難しく、また中性子回折においては、試料が数 10 mg もの量が必要であり、数 10 GPa という高圧その場下での構造解析は困難である。このためこの論争に決着をつけることができずにいた。

一方、電子線が水素に対して原子散乱能が高いことから、電子線回折により FeOOH の分解反応が起きたかどうか、すなわち FeOOH と FeO<sub>2</sub> が判別しうることに着想を得た。水素を観察可能な中性子線では、多量の試料が必要なため下部マントル圧力下の高圧実験は困難だったが、電子線で必要な試料の量は、その 10 桁以上少ない約 10<sup>-9</sup> mg でよく高圧実験に適用しうる。さらに電子線は、X 線・中性子線に比べて 1~2 桁高い空間分解能を有し原子の直接観察が可能である。

しかし、地球深部に対応する超高圧実験では、先端が尖った一対のダイヤモンドを対向させて押し込み、超高圧力を発生させるダイヤモンドアンビル装置が広く利用されている。この既存のダイヤモンドアンビル高圧発生装置はダイヤモンドの厚みが数ミリメートルもあり、電子線は透過しない。そのため電子線を用いた高圧その場観察は、その実験の困難さから研究が行われてこなかった。

### 2. 研究の目的

本研究の当初の研究目的として、

- (1) 水素が観察可能な高圧高温その場電子顕微鏡法を完成する  
電子線が透過可能な極薄ダイヤモンドを利用した高圧発生装置の開発する  
高圧下で-1500 °C までの加熱技術の開発する
- (2) 電子線を用いた FeOOH と FeO<sub>2</sub> の識別と構造中の水素の有無の決定法の確立する
- (3) (1), (2) が完成した後に、FeOOH の分解反応が起きたかどうかを解決することとした。

### 3. 研究の方法

研究目的に対して、以下の実験を行った。

電子線が透過可能な極薄ダイヤモンドを利用した高圧発生装置を開発するために、いくつかの課題について実験を行った。

- ・本研究で購入したピコインデントホルダー(Bruker 社製 Hysitron PI95 TEM PicoIndenter)を用いて、荷重制御(10~1000 μN)によるその場圧縮実験を行い、高圧が発生しているかどうか、発生した場合どれくらいの圧力まで出ているのかについて確認
- ・圧力発生時の応力推定方法およびそのイメージング(マッピング)法の開発
- ・高圧実験ピラー形状試料およびダイヤモンド圧子などの加工手順の確立

などを行った。試料は、シリコン(Si)、ダイヤモンド(C)、鉄(Fe)を用いて行い、集束イオンビーム加工装置(Thermo Fisher Scientific 社製 Helios NanoLab G3 CX)を用いて試料作製を行ない、電界放射型透過型電子顕微鏡(JEOL 社製 JEM-2100F)を用いて行った。

試料加熱のために、電子顕微鏡内にレーザー光を導入し試料に照射し、加熱する実験を行った。使用した透過型電子顕微鏡は、レーザー照射システム(Luminary Micro Compact Specimen Photoexcitation System)を搭載した JEM-ARM300F2 (JEOL)を用いてその場観察実験を行った。用いたレーザー光の波長は 577 nm、最大出力 3 W である。試料として、相転移温度がわかっている天然石英(SiO<sub>2</sub>, P<sub>31</sub>21/P<sub>32</sub>21)と合成した単斜エンスタタイト(MgSiO<sub>3</sub>, P<sub>21</sub>/c)を用い、比較のため熱伝導率の高いダイヤモンドも用いた。すべて集束イオンビーム装置(Helios Nanolab G3CX, Thermo Fisher Scientific)を用いて Mo または Cu のグリッドにつけた。約 100 mW 刻みで、段階的にレーザーの出力をあげ、各出力で制限視野電子回折図形を取得した。そこから熱膨張率を計測し、過去の文献値を用いて温度を推定した。

(2) コンピューター計算により、高圧下での基本構造は同じで水素の有無にのみ違いがある FeO<sub>2</sub> と FeOOH との間に、電子回折点の強度の違いによる識別を行った。

#### 4. 研究成果

実際に荷重をかけた実験で、圧力がかかるかの実験を行った。ダイヤモンドピラーを用いた実験において、荷重 1000  $\mu\text{N}$  の圧縮実験では顕著な応力集中が発生し、ロッド先端の約 20 nm 径の領域で圧縮方向に約 17%もの格子の縮みが見られた。そこから約 200 GPa 以上の圧縮応力が局所的にかかっていることがわかった。一方、圧縮方向と垂直な方向には、ほとんど変化しないことがわかった (図 1)。

Fe は、室温で約 14 GPa で、 $\alpha$ 相 から  $\epsilon$ 相へ相転移することが知られている。Fe ( $\alpha$ 相)をダイヤモンドの穴の中で圧縮する実験では、荷重 200  $\mu\text{N}$  での圧縮の結果、Fe の圧縮率から平均応力 (最大応力) 約 14 GPa の結果を得た。このとき、得られた電子回折図形を解析したところ、ダイヤモンドおよび Fe の  $\alpha$ 相では指数が見つからない反射が出現しており、これは Fe の  $\epsilon$ 相で矛盾がない反射であった (図 2)。つまり、局所的に  $\epsilon$ 相へ相転移したと考えられる。

一方課題として、ダイヤモンド圧子を取り付けているホルダーの押し込み機構のクリープに伴い、測定中に試料から圧子がずれる、あるいは試料が壊れるなどが起きてしまうことが、多くおきた。この解決を試みたが、完全になくすことはできず実験が非常に困難なものとなり、電子顕微鏡内での安定的に高圧実験を行う上での大きな課題として残った。

石英 ( $\text{SiO}_2$ ) は低温相 ( $P3_121 / P3_221$ ) と高温相 ( $P6_221 / P6_421$ ) との相転移温度が 573.15  $^\circ\text{C}$  であり、高温相から低温相への相転移のさいにはドフィーネ双晶が形成することがよく知られている。レーザー加熱その場観察の結果、レーザーの出力が 1000 mW で照射したのちの急冷した実験では、相転移に伴うドフィーネ双晶は観察できなかった。一方で、1200 mW 以上のレーザー照射下からの冷却では相転移に伴うドフィーネ双晶が観察できた (図 3)。そのため、1100~1200 mW が、573.15  $^\circ\text{C}$  であることがわかった。

単斜エンスタタイト ( $\text{MgSiO}_3$ ,  $P2_1/c$ ) は、文献値によって異なるが 1000 - 1100  $^\circ\text{C}$  で高温型の単斜エンスタタイト ( $C2/c$ ) またはプロトエンスタタイト ( $Pbcn$ ) に相転移することが知られている。単斜エンスタタイトのその場観察の結果では、レーザーの出力が 2300 mW で、特定の回折スポットが消滅し、高温型の単斜エンスタタイト ( $C2/c$ ) へ相転移した (図 4)。相転移前のレーザー出力 2200 mW における試料温度は、得られた電子回折図形と熱膨張率から見積もったところ、約 1000  $^\circ\text{C}$  であることから、相転移温度は過去の相転移温度と大きくずれていないことがわかった。

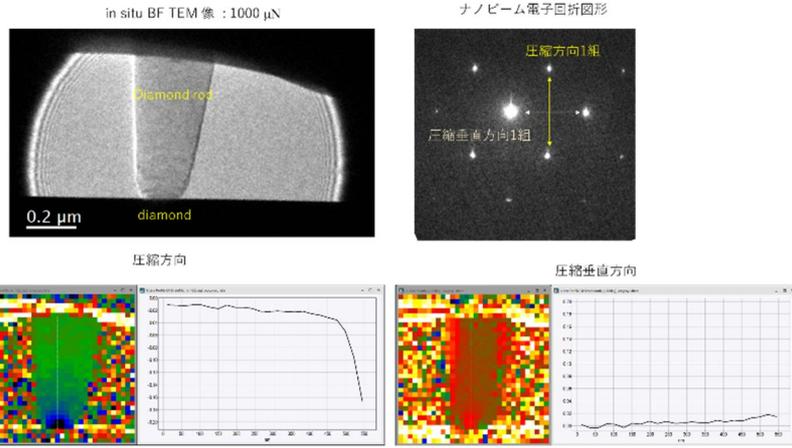


図 1: ダイヤモンドピラーを用いた圧縮実験 (左上)。ナノビーム電子回折 (右上) の二次元マッピングを取得し、そこから圧縮方向及び圧縮方向に垂直な方向での、圧縮率を求めた (左下: 圧縮方向、右下: 圧縮垂直方向)。

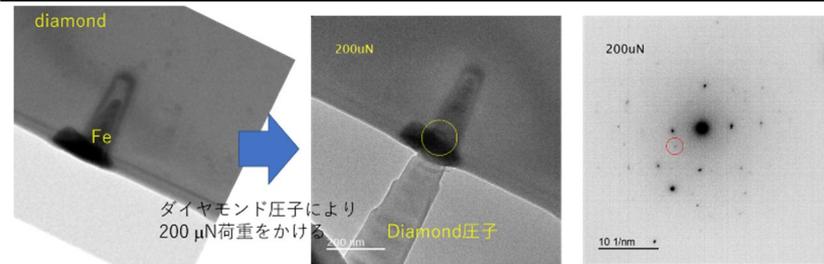


図 2: Fe をダイヤモンドに掘った約 100 nm $\phi$ の穴に埋め (左)、その後、ダイヤモンド圧子によって圧縮実験を行った (中)。その結果、右図中の赤丸で示した反射が出現した。これは、ダイヤモンドおよび Fe の  $\alpha$ 相では説明がつかない反射であり、Fe の  $\epsilon$ 相で矛盾がない反射であった。

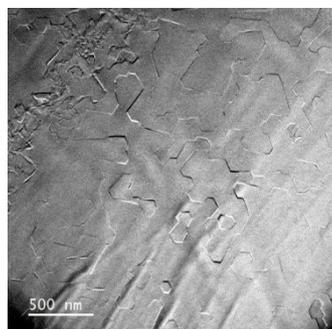


図 3: 石英のレーザー加熱実験において、1200 mW 以上からの冷却で形成したドフィーネ双晶。573.15  $^\circ\text{C}$  以上に加熱されていたことを示す。

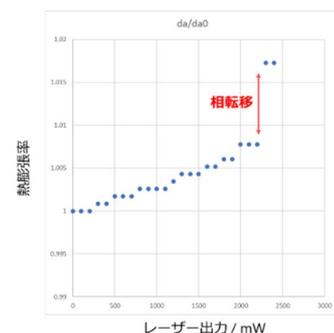


図 4: 単斜エンスタタイトのレーザー加熱実験結果。レーザーの出力 2300 mW で、回折図形から見積もった熱膨張率に飛びが見られる。これは高温相へ相転移していることを示している。

これらの結果から、珪酸塩鉱物でも波長 577 nm のレーザーにより加熱できることがわかり、今回用いたレーザーの最大出力 3 W で、1500 °C くらいまで加熱できることがわかった。また試料を取り付けた、約 15 μm 離れた Mo または Cu のグリッドには、レーザーによる影響が確認できなかったことから、1000 °C を超えているビーム径は約 7 μm だと推定できた。

一方、ダイヤモンドでは、用いたレーザー照射システムの最大出力 3000 mW まで照射したが、熱膨張しなかった、すなわち温度上昇が計測できなかった。これは、ダイヤモンドは熱伝導率が、上述のケイ酸塩鉱物に比べて、2 桁大きいためであると考えられる。

(2) pyrite 構造の FeO<sub>2</sub> と FeOOH の電子線および X 線の回折強度について、コンピューター計算を行った。この結果、X 線回折では両者に顕著な違いが見られないが、電子回折では、明確な違いがある反射があることがわかった(図 5)。また、X 線、電子線による水素と酸素の原子散乱能の比を図 6 に示すが、電子線のほうが H の寄与が大きいことがわかる。この効果が pyrite 構造の FeO<sub>2</sub> と FeOOH の違いに反映すると考えられる。

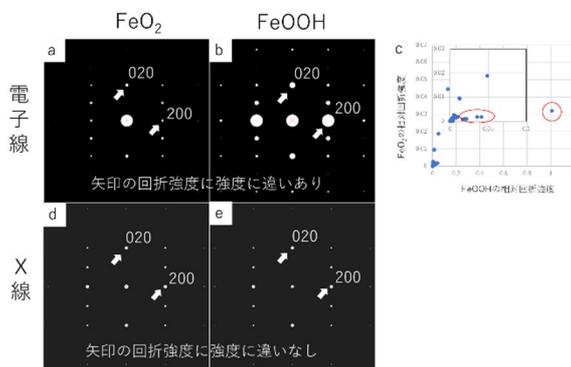


図 5: pyrite 構造の FeO<sub>2</sub> と FeOOH についてコンピューター計算を行った結果、電子回折では明確な違いがある反射があることがわかった(a, b, c)。一方、X 線回折では両者に顕著な違いが見られないことがわかった (d, e)

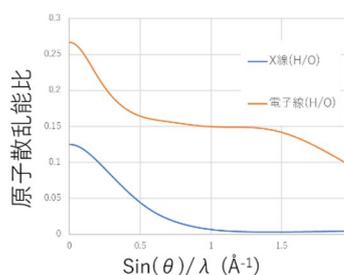


図 6: X 線、電子線による水素と酸素の原子散乱能の比。電子線のほうが H の寄与が大きいことがわかる。

(2)の小目的それぞれにおいて、上述した通り電子顕微鏡内での高圧力の発生および高温の達成に成功し、FeO<sub>2</sub> と FeOOH について電子顕微鏡にて違いを得られることまでは確認できた。しかし、本研究では、上述の通り高圧条件を安定に発生することが困難だったことや予算の関係もあり、とを組み合わせた高圧かつ高温その場実験までにはいたらなかった。その一方で本課題を通して行ってきた、ピラー形状の試料加工やダメージの軽減など試料微細加工技術や電子顕微鏡内でナノ電子プローブを走査することにより電子回折図形の 2 次元分布(4D-STEM)を得る手法の開発は、本研究のみならず、はやぶさ 2 プロジェクトなど幅広い分野へ生かす、多くの成果を上げた。

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計16件（うち査読付論文 16件 / うち国際共著 2件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Noguchi Takaaki, Matsumoto Toru, Miyake Akira, Igami Yohei, Haruta Mitsutaka, Saito Hikaru, Hata Satoshi, Seto Yusuke, Miyahara Masaaki, Tomioka Naotaka, et al.	4. 巻 7
2. 論文標題 A dehydrated space-weathered skin cloaking the hydrated interior of Ryugu	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Nature Astronomy	6. 最初と最後の頁 170 ~ 181
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41550-022-01841-6	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 OKUMURA Shota H., OKUMURA Satoshi, MIYAKE Akira	4. 巻 117
2. 論文標題 Tracht change of groundmass pyroxene crystals in decompression experiments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	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) 10.2465/jmps.211219	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 Okumura Shota H., Mujin Mayumi, Tsuchiyama Akira, Miyake Akira	4. 巻 107
2. 論文標題 3D crystal size distributions of pyroxene nanolites from nano X-ray computed tomography: Improved correction of crystal size distributions from CSDCorrections for magma ascent dynamics in conduits	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 American Mineralogist	6. 最初と最後の頁 1766 ~ 1778
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2138/am-2022-8039	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 Matsumoto Megumi, Tsuchiyama Akira, Miyake Akira, Ito Motoo, Matsuno Junya, Uesugi Kentaro, Takeuchi Akihisa, Kodama Yu, Yasutake Masahiro, Vaccaro Epifanio	4. 巻 323
2. 論文標題 Three-dimensional microstructure and mineralogy of a cosmic symplectite in the Acfer 094 carbonaceous chondrite: Implication for its origin	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 220 ~ 241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2022.02.024	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 Park Yohan, Azuma Shintaro, Okazaki Keishi, Uesugi Kentaro, Yasutake Masahiro, Nishihara Yu, Nomura Ryuichi	4. 巻 49
2. 論文標題 Development of Lattice Preferred Orientations of MgO Periclase From Strain Rate Controlled Shear Deformation Experiments Under Pressure up to 120GPa	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Geophysical Research Letters	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) 10.1029/2022GL100178	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 Haruta Mitsutaka, Kikkawa Jun, Kimoto Koji, Kurata Hiroki	4. 巻 240
2. 論文標題 Comparison of detection limits of direct-counting CMOS and CCD cameras in EELS experiments	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Ultramicroscopy	6. 最初と最後の頁 113577 ~ 113577
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.ultramic.2022.113577	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 Tsuchiyama Akira, Miyake Akira, Okuzumi Satoshi, Kitayama Akira, Kawano Jun, Uesugi Kentaro, Takeuchi Akihisa, Nakano Tsukasa, Zolensky Michael	4. 巻 7
2. 論文標題 Discovery of primitive CO <sub>2</sub> -bearing fluid in an aqueously altered carbonaceous chondrite	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science Advances	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) 10.1126/sciadv.abg9707	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 Akizawa Norikatsu, Miyake Akira, Igami Yohei, Tsuchiyama Akira, Asanuma Hisashi, Kogiso Tetsu, Wakaki Shigeyuki, Ishikawa Tsuyoshi, Arai Shoji, Eom Jiwon, Kawahata Hodaka, Aze Takahiro, Yokoyama Yusuke	4. 巻 30
2. 論文標題 Crustal anorthosite formation by deep seated hydrothermal circulation beneath fast spreading axis: Constraints from chronological approach, Sr isotope, and fluid?chromite inclusion investigation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Island Arc	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/iar.12423	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 Noguchi Takaaki, Yasutake Masahiro, Tsuchiyama Akira, Miyake Akira, Kimura Makoto, Yamaguchi Akira, Imae Naoya, Uesugi Kentaro, Takeuchi Akihisa	4. 巻 29
2. 論文標題 Mineralogy of fine-grained matrix, fine-grained rim, chondrule rim, and altered mesostasis of a chondrule in Asuka 12169, one of the least altered CM chondrites	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Polar Science	6. 最初と最後の頁 100727 ~ 100727
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.polar.2021.100727	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 Igami Yohei, Muto Shunsuke, Takigawa Aki, Ohtsuka Masahiro, Miyake Akira, Suzuki Kohtaku, Yasuda Keisuke, Tsuchiyama Akira	4. 巻 315
2. 論文標題 Structural and chemical modifications of oxides and OH generation by space weathering: Electron microscopic/spectroscopic study of hydrogen-ion-irradiated Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Geochimica et Cosmochimica Acta	6. 最初と最後の頁 61 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.gca.2021.09.031	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 Shota Okumura, Mayumi Mujin, Akira Tsuchiyama, and Akira Miyake	4. 巻 -
2. 論文標題 3D crystal size distributions of pyroxene nanolites from nano X-ray computed tomography: Improved correction of crystal size distributions from CSDCorrections for magma ascent dynamics in conduits	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 American Mineralogist	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) 10.2138/am-2022-8039	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 Haruta Mitsutaka, Nemoto Takashi, Kurata Hiroki	4. 巻 119
2. 論文標題 Sub-picometer sensitivity and effect of anisotropic atomic vibrations on Ti $L_{2,3}$ -edge spectrum of SrTiO <sub>3</sub>	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 232901 ~ 232901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0068861	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 治田充貴, 倉田博基	4. 巻 56
2. 論文標題 モノクロメータ搭載STEM-EELSによる局所電子状態分析	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 顕微鏡	6. 最初と最後の頁 73-80
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 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 Haruta Mitsutaka, Nii Aoi, Hosaka Yoshiteru, Ichikawa Noriya, Saito Takashi, Shimakawa Yuichi, Kurata Hiroki	4. 巻 117
2. 論文標題 Extraction of the local coordination and electronic structures of FeO <sub>6</sub> octahedra using crystal field multiplet calculations combined with STEM-EELS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 132902 ~ 132902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0020629	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 Taguchi Tomoki, Kouketsu Yui, Igami Yohei, Kobayashi Tomoyuki, Miyake Akira	4. 巻 558
2. 論文標題 Hidden intact coesite in deeply subducted rocks	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Earth and Planetary Science Letters	6. 最初と最後の頁 116763 ~ 116763
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.epsl.2021.116763	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 Yamashita Shuji, Miyake Akira, Hirata Takafumi	4. 巻 35
2. 論文標題 Size analysis of large-sized gold nanoparticles using single particle ICP-mass spectrometry	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Analytical Atomic Spectrometry	6. 最初と最後の頁 2834 ~ 2839
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0JA00298D	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27件（うち招待講演 8件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 石岡 北斗, 伊神 洋平, 三宅 亮
2. 発表標題 STEM-EDS元素マップに対する吸収補正法の改良
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第79回学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三宅 亮、伊神 洋平、野村 龍一
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡内その場圧縮観察による応力測定と高圧相転移の可能性
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 伊神 洋平、三宅 亮
2. 発表標題 地球惑星物質の局所変形評価に向けた電子回折イメージング
3. 学会等名 JpGU 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoshi Ohmura
2. 発表標題 Molecular dynamics study of Fe-Light-Element mixtures under high pressure using DFT and neural network interatomic potential
3. 学会等名 CCP2023 - 34th IUPAP Conference on Computational Physics (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三津川 到、小木曾 哲、秋澤 紀克、田口 知樹、上杉 健太郎、竹内 晃久、安武 正展、土山 明、松本 恵、松野 淳也、奥村 翔太、伊神 洋平、三宅 亮
2. 発表標題 ヒチ島産マントルカンラン岩中の白金族鉱物を含むメルト包有物
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三津川 到、三宅 亮、伊神 洋平、小木曾 哲、秋澤 紀克、土山 明、松本 恵、松野 淳也、上杉 健太郎、安武 正展、竹内 晃久、奥村 翔太
2. 発表標題 3D analysis of melt inclusions containing platinum group elements in Tahitian harzburgite xenolith with X-ray nanotomography
3. 学会等名 JpGU 2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三宅 亮、鈴木 祐希、伊神 洋平、野村 龍一、治田 充貴、大西 市朗、橋口 裕樹
2. 発表標題 レーザー照射システムを用いた珪酸塩鉱物のその場加熱観察
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第78回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊神 洋平、若林 凌、三宅 亮
2. 発表標題 ALCHEMIによるオリビン中微量元素のサイト選択性検討
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第78回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 S. Okumura, S. Okumura and A. Miyake
2. 発表標題 Investigation of magma ascent paths in the conduit during the Sakurajima 1914 eruption based on groundmass pyroxene crystals with various combinations of crystallographic faces
3. 学会等名 2022 Goldschmidt conference (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 三宅 亮、鈴木 祐希、伊神 洋平、野村 龍一、治田 充貴、大西 市朗、橋口 裕樹
2. 発表標題 レーザー照射システムを用いた鉱物の高温その場透過電子顕微鏡観察
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 伊神 洋平、三宅 亮、野村 龍一
2. 発表標題 電子回折イメージングによる鉱物の局所歪計測と応力下その場観察への応用.
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 治田 充貴, 吉川 純, 木本 浩司, 倉田 博基
2. 発表標題 EELS計測におけるCCDと電子直接検出CMOSカメラの検出限界の比較
3. 学会等名 日本顕微鏡学会 第78回学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mitsutaka Haruta, I-Ching Lin, Takashi Nemoto, Hiroki Kurata
2. 発表標題 Effects of Thermal Vibration Factors in Core-Loss Fine Structure
3. 学会等名 The 40th International Conference of the Microscopy Society of Thailand (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Mitsutaka Haruta, Jun Kikkawa, Koji Kimoto, Hiroki Kurata
2. 発表標題 Detection limits of direct-counting CMOS and CCD cameras in EELS experiments
3. 学会等名 Microscopy Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 三宅 亮、轟 聡子、伊神 洋平、野村 龍一
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡内その場圧縮観察による応力の計測
3. 学会等名 JpGU 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊神 洋平、三宅 亮
2. 発表標題 ナノ電子プローブによる鉱物の局所歪み計測
3. 学会等名 JpGU 2021 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 伊神 洋平, 麩 聡子, 三宅 亮, 野村 龍一
2. 発表標題 電子回折イメージングによる鉱物試料の歪計測と押し込み実験への応用
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第77回学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三宅 亮, 伊神 洋平, 松本 徹, 麩 聡子, 野村 龍一
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡内その場圧縮観察による応力測定
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 兒玉 優, 三宅 亮, 富岡 尚敬, 伊藤 元雄
2. 発表標題 FIB-SEMによる地球惑星物質の3D-EDSおよびEBSD分析の応用例と課題
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第77回学術講演会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 治田充貴
2. 発表標題 STEM-EELS法によるマッピング - 元素・状態・軌道 -
3. 学会等名 第36回分析電子顕微鏡討論会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 治田充貴
2. 発表標題 High spatial resolution electronic state analysis of transition metal oxides using STEM-EELS
3. 学会等名 ナノ学会 ナノ構造・物性 - ナノ機能・応用部会合同シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 治田充貴
2. 発表標題 High spatical resolution electronic structure analysis by scanning transmission electron microscopy and electron energy loss spectroscopy
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2021年大会 (招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 治田 充貴
2. 発表標題 STEM-EELS法による高分解能電子状態解析
3. 学会等名 日本セラミックス協会 第33回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 M. Haruta, Y. Fujiyoshi, T. Nemoto, A. Ishizuka, K. Ishizuka, H. Kurata
2. 発表標題 Low Count Detection for EELS Spectrum by Reducing CCD Read-out Noise
3. 学会等名 Microscopy & Microanalysis 2020 Meeting (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三宅 亮, 奥村 翔太
2. 発表標題 火山ガラスからの鉱物の晶出過程その場観察実験
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 三宅 亮, 奥村 翔太
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡を用いた火山ガラスからの鉱物の晶出過程その場観察実験
3. 学会等名 日本鉱物科学会2020年年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Ryuichi Nomura
2. 発表標題 Torsional deformation experiments at Mbar pressures toward understanding deep Earth rheology
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合 2020年度連合大会 (招待講演)
4. 発表年 2020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 分担者	治田 充貴  (Haruta Mitsutaka)  (00711574)	京都大学・化学研究所・准教授    (14301)	

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
研究分担者	野村 龍一  (Nomura Ryuichi)  (40734570)	京都大学・白眉センター・特定准教授    (14301)	
研究分担者	大村 訓史  (Ohmura Satoshi)  (90729352)	広島工業大学・工学部・准教授    (35403)	

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