

令和 2 年 7 月 3 日現在

機関番号：12102

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K05702

研究課題名(和文) 衝撃圧縮その場時間分解X線構造解析法による構造変化ダイナミクスの解明

研究課題名(英文) Dynamics of structural changes under shock compression observed by time-resolved X-ray diffraction method

研究代表者

興野 純 (KYONO, Atsushi)

筑波大学・生命環境系・准教授

研究者番号：40375431

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：衝撃圧縮場での鉱物の結晶構造ダイナミクスを解明するため、レーザー衝撃圧縮下での放射光時間分解X線回折測定を行った。ピーク衝撃圧15 GPaの衝撃下でのバッドレイイト(ZrO₂)の結晶構造変化をナノ秒のオーダーで観察し、直方晶1への相転移が衝撃圧縮下でのみ観られ、衝撃解放とともにもとの単斜晶系に戻る事が明らかになった。相転移圧力は3.3 GPaで静的圧縮場での相転移圧力と同程度であることが分かった。変位型で原子移動が小さい相転移であることが、歪み速度に依存せず同程度の圧縮で相転移を起こす要因であると考えられる。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、これまでの実験手法では捉えることができなかった衝撃圧縮場での物質の結晶構造変化を数ナノ秒間隔で直接観察することに成功した。隕石衝突が起こす衝撃は瞬間的に高温高压状態になりその後すぐに解放される。これまでは、静的環境下での高温高压実験結果から予想されていた現象が、衝撃下でも観察された意義は大きい。本研究でバッドレイイトという鉱物の衝撃下での挙動が解明され、構造相転移と歪み速度との関係を議論するための基礎となるデータが得られた。これによって、今後はバッドレイイトを用いた過去の隕石衝突規模の推定が可能になり、天体の衝突史を正確に理解するデータを得ることができるようになると考えられる。

研究成果の概要(英文)：Laser shock experiment with time-resolved X-ray diffraction method was conducted to reveal the crystal structural dynamics of minerals under shock-loaded condition. The behavior of shock-loaded baddeleyite (ZrO₂) under peak shock pressure of 15 GPa was observed. The phase transition from monoclinic phase to orthorhombic-1 phase occurred at 3.3 GPa, which was almost same transition point of static compression. The study observed one example of time-independent compression and release behavior in displacive-type transformation.

研究分野：鉱物学

キーワード：衝撃圧縮 構造相転移 時間分解X線回折

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

小天体や隕石の衝突、それに起因する月や大気の形成、クレーター周辺での高圧鉱物の形成など、地球上で衝撃圧縮に関連する現象は少なくない。衝突によって起こる高温高压によって、地球上の物質には様々な変化が与えられ、それらは隕石衝突の痕跡として堆積物や岩石鉱物に記録されている。衝突による動的圧縮では静的圧縮とは時間スケールが異なり、圧力は瞬間的に上昇し、圧力保持時間は数十ミリ秒から数秒程度である。その間、温度は数百から数千度に上昇し、圧縮直後は、瞬間的な断熱膨張によって、高温高压状態は消滅する。この時間スケールの違いにより、起こる現象も異なる。例えば、鉄の圧縮下での相転移圧力が相転移時の歪み速度に依存し、相転移時の歪み速度が速くなるにつれて相転移点が上昇することが報告されている (Smith et al. 2013)。また、斜長石の場合は圧縮下で起こる非晶質化の圧力が、歪み速度が高くなるにつれて低くなることが報告されている (Sims et al. 2019)。これらの圧縮過程での変形への時間要素の影響を理解し、両者を統一的に扱える新たな理論の構築は、地球惑星科学の諸現象を理解する上で、極めて重要な課題である。

従来の衝撃実験は、衝撃回収実験とユゴニオ測定が主流であったため、衝撃下での結晶構造変化を観測することは不可能であった。しかし近年、放射光施設、自由電子レーザー施設において衝撃下での結晶構造過程を X 線でとらえることが可能になってきている。このシステムでは衝撃発生源として高強度レーザーによるレーザー衝撃圧縮法や衝撃銃を用い、検出光として高輝度 X 線を用いることで、従来の実験では見ることができなかった衝撃圧縮により高歪み速度で圧縮を受けている瞬間を原子レベルで連続写真として捉えることが出来る。レーザー衝撃下での時間分解 X 線測定は、例えば、高エネルギー加速器研究機構 (KEK) の放射光施設 Photon Factory Advanced Ring (PF-AR) では、2000 年代に入ってから高輝度 X 線パルスを用いた実験が行われている (Ichiyanagi et al. 2007, Hu et al. 2012, Ichiyanagi et al. 2012, Hu et al. 2013, Niwa et al. 2016)。本研究課題開始時には、PF-AR では衝撃波発生用レーザーのアップグレードが行われており、これによって数 10 GPa の衝撃圧の発生が可能となる予定であった。本研究ではこの実験システムを利用して隕石衝突規模の動的圧縮場を再現し、これまで直接観察できなかった高い歪み速度下での現象をその場観察から解明することを目的として実施した。

衝撃圧縮場での結晶構造変化はこれまで直接観察はされてこなかったため、高温高压実験から得られる静的圧縮場での相図をもとにその挙動が外挿されてきた。しかし、前述の通り異なる時間スケールでは起こる現象が異なるため、衝撃圧縮場での現象を直接観察することが必要がある。例えば、ジルコニア鉱物のバツドレイアイト (ZrO_2) は、相図では常温常圧で単斜晶系、高温では正方晶系、立方晶系、高压では直方晶系の多形を持つが (Ohtaka et al. 2001)、衝撃回収実験では、直方晶系が安定な領域である 57 GPa に相当する衝撃を受けても回収される試料は単斜晶系である (Niihara et al. 2012)。直方晶系相には直方晶 I、直方晶 II、直方晶 III とあるが、直方晶 I 相への相転移は静的圧縮場では可逆的で脱圧とともに単斜晶系に戻ることが知られている。衝撃圧縮場での挙動は観察することが不可能であったため、相転移の有無は不明であった。このような鉱物一つ一つの挙動の理解には、動的圧縮場での構造変化ダイナミクスをその場観察によって明らかにする必要がある。

2. 研究の目的

そこで本研究では、PF-AR の衝撃用レーザーシステムアップグレードし、このレーザーを用いて鉱物の動的圧縮過程をナノ秒の時間スケールでその場観察することで、衝撃圧縮場での構造変化ダイナミクスを解明することを目的とした。

3. 研究の方法

レーザー衝撃圧縮下での時間分解 X 線回折実験は PF-AR の NW14A ビームラインで実施した。衝撃波発生源には新たに整備された高強度 Nd:ガラスレーザーを用いた。レーザー整備後のテスト試料には Al 箔を用い、鉱物試料としてはバツドレイアイトの多結晶焼結体を用いた。X 線回折像を衝撃圧縮開始から数ナノ秒間隔で超高速撮影することで、結晶構造が連続的に変化していく過程を観察した。X 線回折像は Fit2d ソフトウェア (Hammersley 2016) により 1 次元化し、GSAS ソフトウェア (Larson and Von Dreele 2000, Toby 2001) によりリートベルト法での結晶構造解析を行った。

衝撃波の状態は、同ビームラインに整備されたレーザー速度干渉計 (VISAR) により測定し、ピーク衝撃圧力の決定を行った。

4. 研究成果

(1) 実験システム構築

今回整備したレーザーは、レーザーの照射によって発生が見込まれる圧力が数 10 GPa である。したがって、この圧力範囲では高圧相に相転移せず単調に圧縮されることが知られている Al をテスト試料に用いた (Akahama et al. 2006)。テスト試料の Al 箔は多結晶集合体で、X 線回折法により求められた空間群は $Fm\bar{3}m$ 、格子定数は $a = 4.051(4) \text{ \AA}$ であった。TEM 観察により平均粒径は約 30 μm の結晶粒子の集合体であることを確認した。照射した X 線の試料表面でのビーム径は、数 100 μm のサイズであったため、イメージングプレート上に観測される Al の X 線回折像はスポット状であった。

衝撃下での X 線回折像の変化から、Al の 111, 200, 220, 311 の各結晶面が衝撃により圧縮され、その後約 10 ナノ秒後には解放される様子が観察された。結晶格子面の収縮から衝撃圧力は 17 GPa でその際の歪み速度は $4.6 \times 10^7 \text{ s}^{-1}$ であることが確認された。衝撃圧縮と同時に回折 X 線は回折角軸方向と同心円状に広がり、結晶粒の微細化がおきたことが確認された。また、衝撃前の状態から結晶粒が選択配向していたが、微細化がおきても選択配向は変わらず結晶粒が配向は変化させずに微細化を起こしていることが明らかになった。この成果は、国際結晶学連合の機関誌である *Journal of Synchrotron Radiation* に掲載されている (Takagi et al. 2020)。

(2) バッデレイアイトの衝撃下での構造変化

衝撃圧縮前のバッデレイアイトは単斜晶系であり、空間群は $P2_1/c$ 、格子定数は $a = 5.156(2) \text{ \AA}$ 、 $b = 5.199(2) \text{ \AA}$ 、 $c = 5.310(2) \text{ \AA}$ 、 $\beta = 99.23(3)^\circ$ 、 $V = 140.54(6) \text{ \AA}^3$ であった。

衝撃圧縮直後から 32.0 ns までと ~1000 ns の X 線回折像を取得した。6.5 ns から直方晶 I の 111 の回折ピークが出現し、12.4 ns までその回折ピークの強度が増加した。しかし、その後直方晶 I の強度は低下し 32.0 ns では単斜晶系の回折パターンに戻った (図 1)。そして、その後 (~1000 ns) は単斜晶系を維持した。このことから、バッデレイアイトは衝撃圧縮下の数 10 ns 間だけ直方晶 I が出現し、衝撃圧縮解放後にはただちに単斜晶系に戻る相転移挙動をとることが明らかになった。

バッデレイアイトの構造中を衝撃圧縮波が伝播しているときの状態を、未圧縮相、衝撃圧縮相、直方晶 I 相の 3 つの相が混在していると仮定し、リートベルト法により結晶構造の精密化を行った。その結果、6.5 ns では、単斜晶相の圧縮部分の単位格子体積は 137.5 \AA^3 であることが分かった。本研究での衝撃圧縮領域での温度上昇は 100 以下であることが推定される (Mashimo et al. 1983)。また、バッデレイアイトのユゴニオ弾性限界のデータはこれまで得られていない。そのため、相転移付近ではバッデレイアイトは等方圧縮されていると仮定し、等温圧縮曲線の状態方程式を用いて、この単位格子体積での圧力を見積もった。その結果、6.5 ns での圧力は 3.3 GPa と算出された。また、6.5 ns での直方晶 I の単位格子体積は $128.7(2) \text{ \AA}^3$ であり、先行研究の Al-Khatatbeh et al. (2010) の V_0 の値 $134.6(2) \text{ \AA}^3$ を用いて求めた圧力は $14.0(2.4) \text{ GPa}$ であった。この結果は、VISAR 測定から求められたピーク衝撃圧の 15.0 GPa と極めて整合的であった。

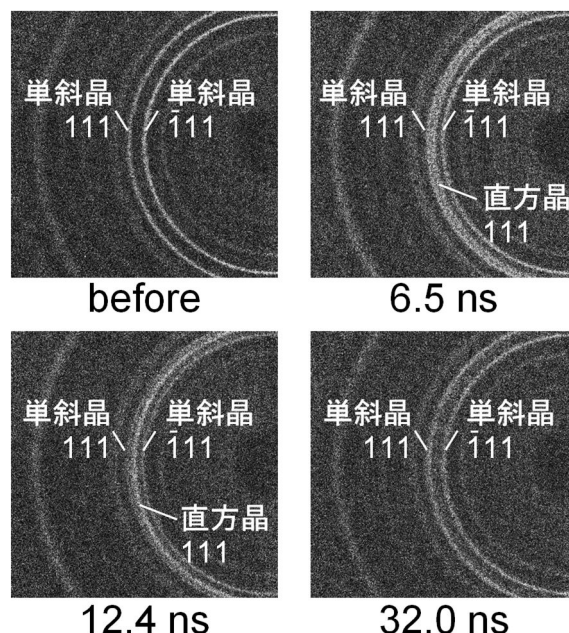


図 1. 衝撃下でのバッデレイアイトの X 線回折像の変化。

(3) 考察

本研究の結果から、直方晶 I への相転移は、静的圧縮場と同様に可逆的であることが判明した。常温での静的圧縮による直方晶 I への相転移圧力は 3.5 から 5.7 GPa まで間で起きることが報告されている (Arashi and Ishigame 1982, Fujimoto et al. 2018)。本研究で観察された衝撃下での相転移圧力は 3.3 GPa と静的圧縮よりやや低い値であるが、バッデレイアイトは歪み速度に依存せず同程度の圧縮で相転移を起こすことが分かった。この相転移は、「変位型」として知られる原子の移動が小さい相転移のタイプであり、変位型の相転移であることが、静的圧縮場と同様な挙動を示す要因であると考えられる。

直方晶 II は常温の静的圧縮場では 16.6 GPa 以上の圧力で出現し (Block et al. 1985), 600 °C では 12.5 GPa で出現する (Ohtaka et al. 2005)。本研究では、ピーク衝撃圧が 15.0 GPa と見積もられていることから、衝撃圧縮下では直方晶 II に相転移していないと考えられる。したがって、今後さらに高い衝撃圧での実験により直方晶 II への相転移挙動を解明していく必要がある。

バッデレイアイトは、隕石衝突年代や衝突規模の推定に利用される (Moser et al. 2013)。カナダのクレーターから報告されたバッデレイアイトは、単斜晶系の集合体であり、結晶粒子は特定の方向に配向性を示している (White et al. 2018)。本研究の結果からも、単斜晶系と直方晶 I 間の相転移は可逆的であり、結晶粒子の配向を伴うことが示されており、カナダのクレーターに観られる鉱物組織と良い一致をしている。

本研究では、衝撃下での単斜晶系から直方晶 I への相転移メカニズムを明らかにすることができた。この結果は、歪み速度の相転移への影響を解明するための一つの重要なデータとなる。今後、さらに高圧の直方晶 II への相転移メカニズムを解明していくことで、歪み速度と相転移メカニズムとの関係がより鮮明になる。そして、過去の隕石衝突イベントについてより詳細に明らかになることで天体の衝突史のより正確な理解に貢献していくことが期待できる。

参考文献

- Akahama, Y., Nishimura, M., Kinoshita, K., Kawamura, H. and Ohishi, Y. (2006) *Physical Review Letters*, 96, 045505.
- Al-Khatatbeh, Y., Lee, K.K.M. and Kiefer, B. (2010) *Physical Review B*, 81, 214102.
- Arashi, H. and Ishigame, M. (1982) *Physica Status Solidi a-Applications and Materials Science*, 71, 313.
- Block, S., Da Jornada, J.A.H. and Piermarini, G.J. (1985) *Journal of the American Ceramic Society*, 68, 497.
- Fujimoto, M., Akahama, Y., Fukui, H., Hirao, N. and Ohishi, Y. (2018) *AIP Advances*, 8, 015310.
- Hammersley, A.P. (2016) *Journal of Applied Crystallography*, 49, 646.
- Hu, J., Ichianagi, K., Doki, T., Goto, A., Eda, T., Norimatsu, K., Harada, S., Horiuchi, D., Kabasawa, Y., Hayashi, S., Uozumi, S.-i., Kawai, N., Nozawa, S., Sato, T., Adachi, S.-i. and Nakamura, K.G. (2013) *Applied Physics Letters*, 103, 161904.
- Hu, J.B., Ichianagi, K., Takahashi, H., Koguchi, H., Akasaka, T., Kawai, N., Nozawa, S., Sato, T., Sasaki, Y.C., Adachi, S. and Nakamura, K.G. (2012) *Journal of Applied Physics*, 111, 053526.
- Ichianagi, K., Adachi, S.I., Nozawa, S., Hironaka, Y., Nakamura, K.G., Sato, T., Tomita, A. and Koshihara, S.Y. (2007) *Applied Physics Letters*, 91, 231918.
- Ichianagi, K., Kawai, N., Nozawa, S., Sato, T., Tomita, A., Hoshino, M., Nakamura, K.G., Adachi, S. and Sasaki, Y.C. (2012) *Applied Physics Letters*, 101, 181901.
- Larson, A.C. and Von Dreele, R.B. (2000) *Los Alamos National Laboratory Report LAUR*, 86-748.
- Mashimo, T., Nagayama, K. and Sawaoka, A. (1983) *Physics and Chemistry of Minerals*, 9,

- Moser, D.E., Chamberlain, K.R., Tait, K.T., Schmitt, A.K., Darling, J.R., Barker, I.R. and Hyde, B.C. (2013) *Nature*, 499, 454.
- Niihara, T., Kaiden, H., Misawa, K., Sekine, T. and Mikouchi, T. (2012) *Earth and Planetary Science Letters*, 341-344, 195.
- Niwa, Y., Sato, T., Ichiyanagi, K., Takahashi, K. and Kimura, M. (2016) *High Pressure Research*, 36, 471.
- Ohtaka, O., Andraut, D., Bouvier, P., Schultz, E. and Mezouar, M. (2005) *Journal of Applied Crystallography*, 38, 727-733.
- Ohtaka, O., Fukui, H., Kunisada, T., Fujisawa, T., Funakoshi, K., Utsumi, W., Irifune, T., Kuroda, K. and Kikegawa, T. (2001) *Physical Review B*, 63, 174108.
- Sims, M., Jaret, S.J., Carl, E.-R., Rhymer, B., Schrodt, N., Mohrholtz, V., Smith, J., Konopkova, Z., Liermann, H.-P., Glotch, T.D. and Ehm, L. (2019) *Earth and Planetary Science Letters*, 507, 166.
- Smith, R.F., Eggert, J.H., Swift, D.C., Wang, J., Duffy, T.S., Braun, D.G., Rudd, R.E., Reisman, D.B., Davis, J.P., Knudson, M.D. and Collins, G.W. (2013) *Journal of Applied Physics*, 114, 223507.
- Takagi, S., Ichiyanagi, K., Kyono, A., Nozawa, S., Kawai, N., Fukaya, R., Funamori, N. and Adachi, S.-i. (2020) *Journal of Synchrotron Radiation*, 27, 371.
- Toby, B.H. (2001) *Journal of Applied Crystallography*, 34, 210.
- White, L.F., Darling, J.R., Moser, D.E., Cayron, C., Barker, I., Dunlop, J. and Tait, K.T. (2018) *Geology*, 46, 719.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計9件（うち査読付論文 7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 KATO Masato, KYONO Atsushi	4. 巻 114
2. 論文標題 An in situ Raman study on katoite Ca ₃ Al ₂ (O ₄ H ₄) ₃ at high pressure	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 18 ~ 25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2465/jmps.180530	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 Kyono Atsushi, Kato Masato, Sano-Furukawa Asami, Machida Shin-Ichi, Hattori Takanori	4. 巻 46
2. 論文標題 Crystal structure change of katoite, Ca ₃ Al ₂ (O ₄ D ₄) ₃ , with temperature at high pressure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics and Chemistry of Minerals	6. 最初と最後の頁 1-11
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s00269-018-1016-4	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 -
1. 著者名 TAMURA Tomoya, SUGAYA Ryo, KYONO Atsushi	4. 巻 113
2. 論文標題 Formation of Fe(III)-oxides on the magnetite surfaces in the low-temperature hydrothermal reaction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 310 ~ 315
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.2465/jmps.180717a	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 Atsushi Kyono	4. 巻 45
2. 論文標題 A reply to comment on "An experimental study of symmetry lowering of analcime"	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics and Chemistry of Minerals	6. 最初と最後の頁 395-396
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s00269-018-0952-3	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 Sugano Neo, Kyono Atsushi	4. 巻 45
2. 論文標題 An experimental study of symmetry lowering of analcime	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics and Chemistry of Minerals	6. 最初と最後の頁 381 ~ 390
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1007/s00269-017-0922-1	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 KYONO Atsushi	4. 巻 60
2. 論文標題 High-pressure Single-crystal X-ray Diffraction Study on Minerals Related to the Earth's Mantle:	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nihon Kessho Gakkaishi	6. 最初と最後の頁 32 ~ 39
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.5940/jcrsj.60.32	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 一柳 光平, 高木 壮大	4. 巻 27
2. 論文標題 放射光X線パルスを用いた時間分解X線回折法による衝撃圧縮下の構造ダイナミクス	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 高圧力の科学と技術	6. 最初と最後の頁 119-128
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.4131/jshpreview.27.119	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 Saki MITANI, Atsushi KYONO	4. 巻 112
2. 論文標題 Carbon substitution for oxygen in -cristobalite	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 52-56
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.161020	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 Atsushi KYONO, Miho YOKOOJI, Takashi CHIBA, Tomoya TAMURA, Akihiro TUJI	4. 巻 112
2. 論文標題 Pressure-induced crystallization of biogenic hydrous amorphous silica	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 324-335
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.170330a	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 -

〔学会発表〕 計27件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 8件)

1. 発表者名 興野 純、Arora Shubhi
2. 発表標題 The effect of silicon incorporation on the crystal structure of katoite $\text{Ca}_3\text{Al}_2(\text{OH})_3$
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村 知也、菅谷 峻、興野 純
2. 発表標題 熱水反応による磁鉄鉱表面での水素発生メカニズム
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本 弦一郎、興野 純、田村 知也、高木 壮大
2. 発表標題 温度、圧力によるhydromagnesite $\text{Mg}_5(\text{CO}_3)_4(\text{OH})_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$ の構造変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 佐野 喜成、興野 純、田村 知也、高木 壮大
2. 発表標題 硫化鉄ナノ粒子の成長に伴う結晶構造変化
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田村 知也、興野 純、癸生川 陽子、高木 壮大
2. 発表標題 ナノスケール解析による地衣成分-玄武岩反応プロセスの解明
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 高木 壮大、一柳 光平、深谷 亮、野澤 俊介、川合 伸明、興野 純、船守 展正、足立 伸一
2. 発表標題 ナノ秒時間分解XRDを用いたレーザー衝撃圧縮下での結晶構造変化の観察
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Sota Takagi, Kouhei Ichiyonagi, Nobuaki Kawai, Shunsuke Nozawa, Atsushi Kyono
2. 発表標題 Experimental study on the formation of Al-Cu-Fe natural quasicrystal under meteorite collision condition
3. 学会等名 European Geosciences Union General Assembly 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本弦一郎、興野純、米田安宏、佐野喜成
2. 発表標題 PDF解析によるhydromagnesite, $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ の熱分解過程の評価
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 KYONO Atsushi、KATO Masato
2. 発表標題 An in situ Raman study on katoite $Ca_3Al_2(O_4H_4)_3$ at high pressure
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 Takagi Sota、Ichiyanagi Kouhei、Inukai Koji、Kawai Nobuaki、Nozawa Shunsuke、Fukaya Ryo、Kyono Atsushi、Funamori Nobumasa、Adachi Shin-ichi
2. 発表標題 High-pressure behaviors of the yttria-doped tetragonal zirconia under static and dynamic compression
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 佐野喜成、興野純、高木壮大
2. 発表標題 硫化鉄ナノ粒子から黄鉄鉱への結晶構造変化
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 Yoshinari Sano, Atsushi Kyono, Sota Takagi
2. 発表標題 Structural evolution from mackinawite to pyrite
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall meeting 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山本弦一郎、興野純、阿部淳、服部高典、松下能孝
2. 発表標題 Hydromagnesiteに及ぼす温度圧力効果The effects of Temperature and Pressure on Hydromagnesite
3. 学会等名 量子ビームサイエンスファスタ2018
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桑村理沙、高木壮大、興野純
2. 発表標題 酸素欠陥ペロブスカイトBrownmirellite $\text{Ca}_2\text{Fe}_2\text{O}_5$ の高圧相変化
3. 学会等名 量子ビームサイエンスファスタ2018
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐野喜成、興野純、高木壮大
2. 発表標題 硫化鉄ナノ粒子から黄鉄鉱への結晶構造変化
3. 学会等名 量子ビームサイエンスファスタ2018
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 杵淵伊吹、佐野喜成、興野純
2. 発表標題 XAFSによるmagnetite-maghemite-hematite相転移の研究
3. 学会等名 量子ビームサイエンスファスタ2018
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 高木壮大、一柳光平、川合伸明、深谷亮、野澤俊介、興野純、船守展正、足立伸一
2. 発表標題 時間分解XRD・DXAFSを用いたAlCuFe準結晶形成メカニズムの解明
3. 学会等名 量子ビームサイエンスファスタ2018
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 山本 弦一郎, 興野 純
2. 発表標題 Artinite, Mg ₂ CO ₃ (OH) ₂ ·3H ₂ O のH ₂ O/CO ₃ の秩序配列の再検討
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 菅野 音和, 興野 純
2. 発表標題 Symmetry reduction of analcime with Al/Si ordering
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村 知也, 興野 純, 癸生川 陽子, 伊藤 元雄, 西宮 ゆき
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡 (TEM) と走査型透過X線顕微鏡 (STXM) による地衣類 - 溶岩界面の観察
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 興野 純, 横大路 美帆, 千葉 崇, 田村 知也, 辻 彰洋
2. 発表標題 Crystallization of biogenic hydrous amorphous silica
3. 学会等名 日本鉱物科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田村 知也, 興野 純, 癸生川 陽子, 伊藤 元雄, 西宮 ゆき
2. 発表標題 透過型電子顕微鏡 (TEM) と走査型透過X線顕微鏡 (STXM) による地衣類 - 溶岩界面の観察
3. 学会等名 日本鉱物科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 山本 弦一郎, 興野 純, 田村 知也
2. 発表標題 Hydromagnesite, $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ の熱分解による相変化
3. 学会等名 日本鉱物科学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Atsushi Kyono, Miho Yokooji, Takashi Chiba, Tomoya Tamura, Akihiro Tuji
2. 発表標題 Crystallization of biogenic hydrous amorphous silica
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomoya Tamura, Atsushi Kyono, Yoko Kebukawa, Sota Takagi
2. 発表標題 Nano-scale observations of interface between lichen and basaltic rock: Pseudomorphic growth of amorphous silica on augite
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Gen-ichiro Yamamoto, Atsushi Kyono, Tomoya Tamura
2. 発表標題 Phase change of hydromagnesite, $Mg_5(CO_3)_4(OH)_2 \cdot 4H_2O$ by thermal decomposition
3. 学会等名 American Geophysical Union Fall Meeting 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 高木壮大、一柳光平、深谷亮、野澤俊介、川合伸明、興野純、船守展正、足立伸一
2. 発表標題 衝撃実験から迫るAlCuFe準結晶鉱物の形成起源
3. 学会等名 量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2018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	一柳 光平 (Ichiyonagi Kouhei) (70435618)	自治医科大学・医学部・ポスト・ドクター (32202)	