

令和 5 年 6 月 14 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02009

研究課題名(和文) マントル深部由来ダイヤモンドの起源・生成場と深部流体

研究課題名(英文) Origin and formation environment of deep mantle diamonds and the role of fluid

研究代表者

大藤 弘明 (Ohfujii, Hiroaki)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：80403864

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)：天然試料中の包有物の分析の結果、深部由来ダイヤモンドの形成は流体に飽和した環境で起こる可能性が高いことが分かった。炭酸塩とCH₄に富んだ還元的な流体の共存系での高圧実験の結果、両者の反応で生じるダイヤモンドは幅広い炭素同位体組成を持つことが明らかとなった。Eタイプダイヤモンドや深部由来ダイヤモンドの一部にみられる-25～-15‰の炭素同位体組成は、沈み込んだ炭酸塩と生物源物質に起源をもつC-H-O流体の反応を通じた炭素同位体の同化作用の結果生じた可能性が考えられる。マントル深部起源ダイヤモンドの生成は、炭酸塩の分解で生じたCO₂流体と周囲のCH₄に富んだ還元的なC-H-O流体の混合が鍵となっているかもしれない。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の結果、起源・成因のよく分かっていないマントル深部起源のダイヤモンドの形成にCH₄やH₂Oなどの混合からなるC-H-O流体が密接に関与し、そのような流体と沈み込み帯から地球深部へ供給される炭酸塩との反応が深部起源ダイヤモンドの起源となり得ることが初めて明確に示された。ダイヤモンドは、地球の深部に渡る炭素の大循環の主役であり、その成因を理解することは、地球における物質循環とその時間的変動・進化を捉える上でも意義は大きい。

研究成果の概要(英文)：Analysis of nano-scale inclusions in natural samples indicates that the formation of “deep diamonds” is most likely to occur in a fluid-saturated environment. High-pressure experiments in the presence of carbonate and a CH₄-rich C-H-O fluid revealed that the diamonds produced by the reaction between them have a very wide range of carbon isotopic compositions, suggesting that similar carbon isotopic compositions (-25 to -15‰) found in some E-type diamonds and deep diamonds are likely the result of carbon isotope assimilation through the reaction of subducted carbonate and reduced C-H-O fluids derived from biogenic materials. Mixing of the CO₂ fluid produced by carbonate decomposition with the surrounding CH₄-rich reducing C-H-O fluid may be the key to the formation of “deep diamonds”.

研究分野：鉱物学

キーワード：ダイヤモンド C-H-O流体 マグネサイト 炭素同位体

1. 研究開始当初の背景

本研究は、マントル深部(遷移層~下部マントル:410~660km以深)よりもたらされるダイヤモンドの起源と生成場、形成メカニズムを明らかにすることを目的とする。マントル浅部(大陸プレート直下)由来のものと比較して、沈み込み帯深部で形成すると考えられる深部由来ダイヤモンドは研究例が少なく不明な点が多い。最近、申請者らは深部由来のダイヤモンド中に、生成時に取り込まれたナノサイズの流体包有物が普遍的に含まれることを見出した。本研究ではマントル深部由来のダイヤモンドに含まれるナノサイズの包有物に注目し、包有物内部に含まれる析出鉱物や流体の化学的特徴や量比を調べ、ダイヤ生成流体の本質を捉える。また、還元的なC-H-O流体と地殻・マントル物質の共存系で高圧実験を通して固液間相互作用とダイヤ生成における流体の役割を明らかにする。これにより、マントル深部におけるダイヤ生成場の地球化学的意義や揮発性成分の循環挙動に関する理解を深める。

2. 研究の目的

ダイヤモンド中に含まれる包有物の観察・分析と高圧実験によるアプローチを組み合わせ、未だ謎に包まれているマントル深部由来のダイヤモンドの起源と生成場、生成プロセスとそこにおける流体の役割を明らかにすることを目的とする。特に、マントルにおけるダイヤモンドの重要な生成媒体と考えられているH₂OやCH₄を主体とした還元的な流体(C-H-O流体)が周囲の地殻・マントル物質へ与える影響、およびダイヤモンドの生成メカニズムと生成条件を明らかにする。

3. 研究の方法

(1) ブラジル・Sao Luiz 漂砂鉱床中より採集されたマントル深部起源ダイヤモンド試料について、レーザー切断後、機械研磨およびArイオンビームを用いたイオン研磨によって平滑な断面を作成し、デジタルマイクロスコープおよび電界放出型走査電子顕微鏡(FE-SEM)を用いた内部包有物の観察を行った。包有物のお送りはサブミクロンサイズであるため、FE-SEM観察で絞り込んだターゲット領域から集束イオンビーム(FIB)を用いて薄膜を切り出し、それをEDS付き分析透過電子顕微鏡(ATEM)で詳細な組織観察と局所化学組成分析を行った。

(2) C-H-O流体と炭酸塩鉱物共存系におけるダイヤモンド合成実験は、マルチアンビル高圧発生装置を用いて、10~17 GPa, 800~1600 の圧力温度条件下で行った。出発物質にはあらかじめ炭素同位体比(¹³C)を測定しておいたステアリン酸(C₁₈H₃₆O₂)と天然マグネサイトを用い、Mo/MoO₃バッファーを用いたダブルカプセル法により酸素フガシティーを制御して実験を行った。回収試料は酸処理により試料外側のカプセルを溶かした後、Arイオンビームを用いたイオン研磨を行い、ラマン分光分析、微小部XRD、FE-SEM、TEMで多角的に評価を行った。また、同位体質量分析計および二次イオン質量分析計(Nano-SIMS)を用いた炭素同位体のバルク、局所分析も行った。

4. 研究成果

(1) ブラジル産マントル深部由来ダイヤモンドの包有物分析

マントル深部由来と考えられる天然ダイヤモンド試料5試料について、機械研磨およびイオン研磨断面を作成し、内部包有物の観察を行ったところ、いずれの試料においても数μmほどのFe-Ni合金やAlを含むMgケイ酸塩(メジャーライトなど)などのほか、径100-200nm以下極めて小さな包有物が多く含まれることが分かった(図1)。そのようなサブミクロンサイズ包有物の多くは(111)面に相当するファセットを有し、内部が空洞状の負晶となっており、ダイヤモンドが成長時に取り込んだ流体が包有されていたものと考えられる。それらについて、STEM-EDSによる局所化学組成分析を行い、負晶内部には含Alケイ酸塩やP, S, Clなどの塩類に由来する元素の濃集も認められた。微細な空隙やその中における同様の元素の濃集はFe-Ni合金包有物のすぐ近傍にも認められることから(図1b,c)、ダイヤモンドの成長環境が還元的な流体に飽和していたことが伺える。さらに試料の数を拡げ、包有物のバリエーションや質量分析計による微量元素分析や炭素同位

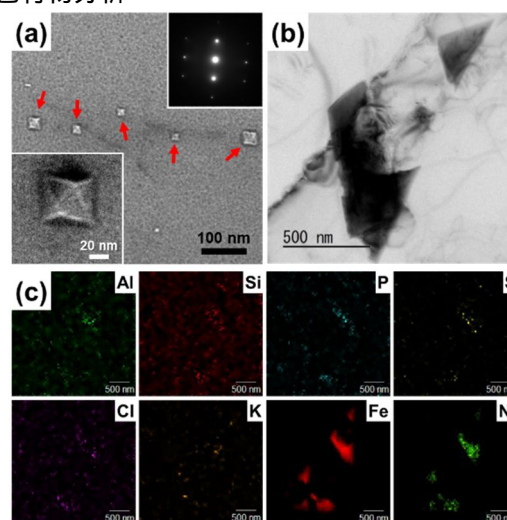


図1. ブラジル産ダイヤモンド中の(a)流体包有物(負晶)と(b) Fe-Ni 包有物のTEM像と(c)そのSTEM-EDS 元素マップ

体分析を行う計画でいたが、新型コロナウイルス感染拡大の影響で渡航や試料の選定がかなり遅れ、全体計画の変更を余技なくされた。研究期間の終了した現在でも、同位体分析に向けた試料準備を行っており、調査を継続し、成果を公表する予定である。

(2) C-H-O 流体と炭酸塩（マグネサイト）共存系におけるダイヤモンド合成

海洋プレートの沈み込みと共に地球深部へ供給される炭酸塩と包有物の観察からもダイヤモンドの生成に深く関与していると考えられる還元的な C-H-O 流体との相互作用およびダイヤモンド生成について調べるためにマントル遷移層までの幅広い温度圧力条件で高圧実験を行った。実験の結果、無水条件下では下部マントル下部まで安定であると報告されていたマグネサイトが C-H-O 流体共存下では 800 程度の比較的低温条件でも分解し、ペリクレス (MgO) / ブルーサイト (Mg(OH)₂) とダイヤモンドを生じることが分かった。分解生成物は 800 ではペリクレスがほとんどで、より高温条件ではブルーサイトの生成が顕著であった。ペリクレス/ブルーサイトは出発物質のマグネサイトを交代した組織を示し、電子線回折でも 3 者の結晶格子間に明瞭な共軸関係が認められることから (図 2)、流体と共存しているものの、マグネサイトからペリクレス/ブルーサイトへの変化は固相反応的であることが示唆された。なお、マグネサイトの分解によって生じた CO₂ は即座に還元され、分解サイト近傍では微小なダイヤモンドの形成が認められた。本実験では還元的な C-H-O 流体共存下におけるマグネサイトからのペリクレスの生成は 10 GPa でも起こることを確認しており、これは上部マントルの条件に相当する。つまり、ダイヤモンド中報告されているペリクレス包有物は、それが単体で (ブリッジマナイト相当相と共存しないで) 含まれている場合は、下部マントルの指標にはなり得ないことを示しており、従来認識を覆す重要な成果であるといえる。

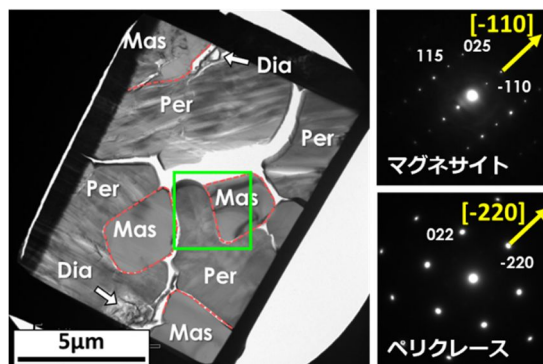


図 2. 高圧実験回収試料のマグネサイト - C-H-O 流体の反応縁から切り出した薄膜の TEM 像と電子線回折パターン (右)

(3) ステアリン酸の分解で生じる C-H-O 流体の炭素同位体組成

上述の炭酸塩と C-H-O 流体の共存系におけるダイヤモンドの生成メカニズムをさらに深く理解するために、炭素同位体をトレーサーとして用いた実験的アプローチに取り組んだ。それに先立ち、高圧実験のための流体ソース物質として用いるステアリン酸の炭素同位体と分解によって生じる C-H-O 流体の同位体組成の関係の把握を行った。高温高圧下で試料室中に生じた流体の同位体組成を直接分析することは不可能なため、回収した固体炭素のバルク同位体分析を行い、流体の炭素同位体組成を計算によって見積もった。炭素同位体のバルク分析には新潟大学設置の同位体質量分析計を用いた。実験の結果、ステアリン酸の炭素同位体組成 ($^{13}\text{C} = \sim -28\text{‰}$) がほぼそのまま C-H-O 流体に引き継がれ、温度、圧力に依存した分別もほとんど起こらないことを明らかにした (図 3)。ステアリン酸を高圧実験における流体のソースとして用いた研究例は多くあるが、その分解反応における炭素同位体の挙動を調べたのは初めてであり、国際会議での成果発表においても関連分野から高い評価を受けた。

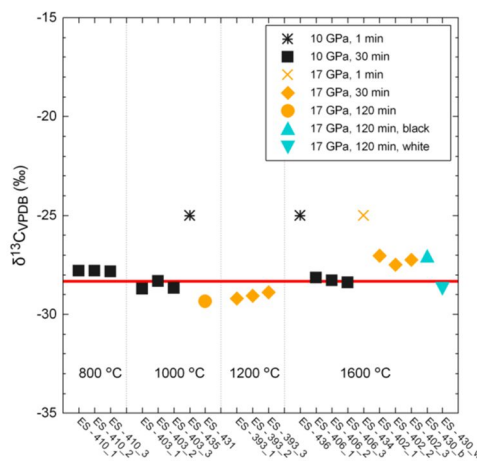


図 3. ステアリン酸の分解によって生じた C-H-O 流体の炭素同位体組成 (赤線はステアリン酸の組成)

(4) 炭酸塩 - C-H-O 流体共存系におけるダイヤモンドの炭素同位体組成

上述の (3) においてステアリン酸の分解によって生じる C-H-O 流体の炭素同位体組成 ($^{13}\text{C} = \sim -28\text{‰}$) が明らかとなったので、それとは明らかに同位体組成の異なる ($^{13}\text{C} = \sim -2\text{‰}$) 天然マグネサイトと共存系において生成したダイヤモンドの炭素同位体を調べ、原料炭素の由来とダイヤモンドの生成プロセスの検討を行った。実験から回収した試料は Ar イオンビームを用いて平滑な断面を作成し、それをインジウム中に包埋して NanoSIMS を用いた同位体分析用の試料を作成した。なお、このような高圧実験から回収される極微小試料 (しかも流体に飽和している系のため多孔質でかつダイヤモンドとその周囲での硬度差が極めて大きい) の NanoSIMS 分析試

料の作成は前例がなく、かなりの労力と時間を要したが、試行錯誤を繰り返し、分析誤差に影響しないレベルの平滑な研磨試料の作成に何とか成功した。局所同位体分析には東京大学に設置の NanoSIMS を用いた。

分析の結果、回収試料中のマグネサイトと C-H-O 流体の反応縁中に含まれるダイヤモンドの炭素同位体比 ($\delta^{13}\text{C}$) は、 $-20 \sim +4\%$ の幅広い値を示した (図 4)。これは狭い範囲において出発物質のマグネサイト ($\delta^{13}\text{C} \approx -2\%$) の影響を強く受けた炭素と、C-H-O 流体 ($\delta^{13}\text{C} \approx -28\%$) の影響を強く受けた炭素が反応縁内に不均質に共存していることを示している。Nano-SIMS の分解能的に個々の微細なダイヤモンド粒子の炭素同位体組成まで把握することはできなかったが、この事実は、炭酸塩 - C-H-O 流体共存系におけるダイヤモンドが両方の炭素ソースが同化して生じた可能性を示している。

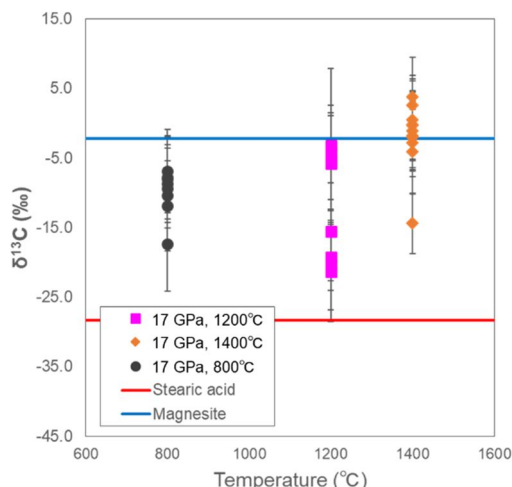


図 4 .炭酸塩 - C-H-O 流体共存系において生成したダイヤモンドの炭素同位体組成 (赤線はステアリン酸の組成)

(5) マントル深部起源ダイヤモンドの起源と成因

上述した天然のマントル深部起源ダイヤモンドの微小包有物の観察と固液共存系における高圧実験の結果を踏まえると、マントル深部に由来するダイヤモンド (sublithospheric diamond) の形成は流体に飽和した環境で生じている可能性が高い。本研究の結果、従来は下部マントル最下部の高温高圧条件まで安定であるとされていたマグネサイトが、還元的な C-H-O 流体共存下では分解してダイヤモンドを生じることが分かり、高圧実験回収試料の炭素同位体分析の結果、そのような環境で生じるダイヤモンドは、炭酸塩と C-H-O 流体の両者の炭素同位体的特徴を反映した幅広い同位体組成を有することが明らかとなった。E タイプダイヤモンドやマントル深部由来のダイヤモンドの一部にみられる $-25 \sim -15\%$ の炭素同位体組成は、沈み込んだ炭酸塩と生物源物質に起源をもつ C-H-O 流体の反応を通じた炭素同位体の同化作用の結果生じた可能性が考えられる。また、実験回収試料の微細組織の特徴と合わせて考えると、今回の固液共存系におけるダイヤモンドの生成反応は、炭酸塩の分解によって生じた CO_2 流体と周囲の CH_4 に富んだ還元的な C-H-O 流体の混合 (反応: $\text{CO}_2 + \text{CH}_4 \rightarrow 2\text{C} + 2\text{H}_2\text{O}$) の結果と捉えることができ、マントル深部起源のダイヤモンドの生成には、いわゆる redox freezing が鍵となっている可能性が示された。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 13件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 10件）

1. 著者名 K. Fujino, N. Tomioka, H. Ohfuji	4. 巻 in press
2. 論文標題 New approach to obtain the correct chemical compositions by absorption correction using analytical transmission electron microscopy	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 221017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.221017	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 K. Fukuyama, H. Kagi, T. Inoue, S. Kakizawa, T. Shinmei, Y. Sano, C. Deligny, E. Furi	4. 巻 13
2. 論文標題 Temperature dependence of nitrogen solubility in bridgmanite and evolution of nitrogen storage capacity in the lower mantle	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 3537
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-023-30556-5	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 Kadobayashi, H., Ohnishi, S., Ohfuji, H., Yamamoto, Y., Muraoka, M., Yoshida, S., Hirao, N., Kawaguchi-Imada, S., Hirai, H.	4. 巻 11
2. 論文標題 Diamond formation from methane hydrate under the internal conditions of giant icy planets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-87638-5	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 Mikailenko, D.S., Korsakov, A.V., Ohfuji, H., Rezvukhina, O.V., Pekov, I.V.	4. 巻 497
2. 論文標題 Formation of polycrystalline graphite aggregates in high-pressure metamorphic rocks from the Kokchetav Massif, Northern Kazakhstan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Doklady Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 227-231
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1134/S1028334X21030089	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 Fukuta, R., Murakami, Y., Ohfuji, H., Shinmei, T., Irifune, T., Ishikawa, F.	4. 巻 60
2. 論文標題 Sn-V centers in diamond activated by ultra high pressure and high temperature treatment	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Japanese Journal of Applied Physics	6. 最初と最後の頁 35501
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.35848/1347-4065/abdc31	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 Wang, Y., Shi, F., Gasc, J., Ohfuji, H., Wen B., Yu, T., Officer T., Nishiyama, N., Shinmei, T., Irifune, T., Dung, M.	4. 巻 15
2. 論文標題 Plastic deformation and strengthening mechanisms of nanopolycrystalline diamond	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 ACS Nano	6. 最初と最後の頁 8283-8294
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsnano.0c08737	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 D.S. Mikhailenko, A.V. Korsakov, H. Ohfuji, N.V. Sobolev	4. 巻 496
2. 論文標題 Silicate Inclusions in Metamorphic Diamonds from the Ultra-High Pressure Kokchetav Complex (Kazakhstan)	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Doklady Earth Sciences	6. 最初と最後の頁 142-145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1134/S1028334X21020112	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 H. Kadobayashi, S. Ohnishi, H. Ohfuji, Y. Yamamoto, M. Muraoka, S. Yoshida, N. Hirao, S. Kawaguchi-Imada, H. Hirai	4. 巻 11
2. 論文標題 Diamond formation from methane hydrate under the internal conditions of giant icy planets	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 8165
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-021-87638-5	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 M. Satish-Kumar, S. Kiran, M. Abe	4. 巻 36
2. 論文標題 A new inlet system for microscale carbon and oxygen stable isotope analysis using dual inlet isotope ratio mass spectrometer at Niigata University, Japan	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Science reports of Niigata University	6. 最初と最後の頁 21-42
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 H. Kadobayashi, H. Hirai, H. Ohfuji, M. Ohtake, M. Muraoka, S. Yoshida, Y. Yamamoto	4. 巻 152
2. 論文標題 Structural evolution of methane hydrate under pressures up to 134 GPa	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 194308
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0007511	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 T. Nishiyama, H. Ohfuji, K. Fukuba, M. Terauchi, U. Nishi, K. Harada, H. Unoki, Y. Moribe, A. Yoshiasa, S. Ishimaru, Y. Mori, M. Shigeno, S. Arai	4. 巻 10
2. 論文標題 Microdiamond in a low-grade metapelite from a Cretaceous subduction complex, western Kyushu, Japan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 11645
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-68599-7	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 H. Kadobayashi, H. Ohfuji, H. Hirai, M. Ohtake, Y. Yamamoto	4. 巻 1609
2. 論文標題 Stability of methane hydrate at high-pressure and high-temperature of up to 40 GPa and 573 K	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1609/1/012007	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 H. Kadobayashi, H. Hirai, K. Machita, H. Ohfuji, M. Muraoka, S. Yoshida, Y. Yamamoto	4. 巻 1609
2. 論文標題 High-pressure phase transition of methane hydrate in water-methane-ammonia system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 12006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1609/1/012006	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 H. Kawamura, H. Ohfuji	4. 巻 40
2. 論文標題 Nano-polycrystalline diamond synthesized through the decomposition of stearic acid	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 162-174
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2019.1708910	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8件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 Kawamura, H., Takahata, N., Ishida, A., Sasaki, K., Shirai, K., Ohfuji, H., Suzuki, A.
2. 発表標題 Carbon isotopic analysis of microcrystalline diamond samples recovered from MA experiments by NanoSIMS
3. 学会等名 5th International Seminar on High-Pressure Mineralogy (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 分析電顕での吸収補正による定量分析の新たな試み
2. 発表標題 藤野清志, 富岡尚敬, 大藤弘明
3. 学会等名 日本鉱物科学会2022年年会 (新潟)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ohfuji, H., Nishiyama, T
2. 発表標題 Nano-polycrystalline diamond from carbonate-rich pseudotachylyte
3. 学会等名 IMA2022, Lyon (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kawamura, H., Ohfuji, H., Suzuki, A.
2. 発表標題 Decomposition mechanism of magnesite in the presence of C-H-O fluids at high-pressure
3. 学会等名 IMA2022, Lyon (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Kawamura, H., Ohfuji, H., Satish-Kumar, M., Suzuki, A
2. 発表標題 Carbon isotope fractionation during the formation of Diamond from Stearic acid under HP-HT condition
3. 学会等名 4th International Seminar "High-Pressure Mineralogy: Theory and Experiment" (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 川村 英彰, 大藤 弘明, サティシュ クマール マドスーダン, 鈴木 昭夫
2. 発表標題 ステアリン酸からのダイヤモンド生成に伴う炭素同位体分別効果 -C-H-O流体の炭素同位体組成決定へ向けた予察的検討-
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会 (オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 分析電頭での吸収補正による定量分析の特徴と問題点
2. 発表標題 藤野清志, 富岡尚敬, 大藤弘明
3. 学会等名 日本鉱物科学会2021年年会(オンライン)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 藤野清志, 富岡尚敬, 大藤弘明
2. 発表標題 分析電頭での定量分析における吸収補正の問題点
3. 学会等名 日本鉱物科学会2020年年会(オンライン)
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	M Satish Kumar (Satish-Kumar M) (50313929)	新潟大学・自然科学系・教授 (13101)	
研究 分担者	鍵 裕之 (Kagi Hiroyuki) (70233666)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・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			
ロシア連邦	Russian Academy of Sciences			
米国	Gemological Institute of America			