

令和 4 年 5 月 28 日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2021

課題番号：18H01936

研究課題名(和文) 完全な氷Icを基軸とした新たな氷の物理化学の展開

研究課題名(英文) Physics and chemistry of ice based on pure ice Ic

研究代表者

小松 一生 (Komatsu, Kazuki)

東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授

研究者番号：50541942

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)：立方晶氷(氷Ic)は、宇宙空間にも普遍的に存在する可能性の高い重要な氷の多形の一つである。しかしながら、これまで発見された氷Icには必ず積層不整が含まれ、その構造や物性には未知の部分が多く残されていた。本研究では、氷Icと同じ水分子フレームワークを持つ水素ハイドレート(C2)から水素を抜き取るという方法で、世界で初めて積層不整のない氷Icの合成に成功し、その結晶構造を決定した。また氷Icの合成に付随してC2の高圧下中性子回折パターンの測定およびその結晶構造解析にも世界で初めて成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で用いた方法によって氷Icの単一の結晶相が得られるため、これまで謎に包まれていた氷Icの基礎物性の理解が飛躍的に進むとともに、積層不整を含む氷と比較することで、積層不整が氷の物性に与える影響についての理解が進むことが期待される。積層不整した氷は、北極や南極の成層圏にある雲の中や宇宙空間、もしくは急速凍結した生体試料・冷凍食品などにも普遍的に存在しているため、本研究の成果は幅広い研究分野に重要な知見を与えるものとなる。さらに、水素ハイドレートから氷が得られたことで、その逆反応を利用して氷を水素貯蔵材料として用いる研究の展開も期待できる。

研究成果の概要(英文)：Cubic ice (ice Ic) is one of the most important ice polymorphs that is likely to exist universally in space. However, the ice Ic discovered so far always contains stacking disorder, leaving much unknown about its structure and physical properties. In this study, the world's first successful synthesis of ice Ic without stacking disorder was achieved by extracting hydrogen from hydrogen hydrate (C2), which has the same water molecule framework as ice Ic. We also succeeded for the first time in the world in measuring the neutron diffraction pattern of C2 under high pressure and analysing its crystal structure.

研究分野：氷の物理化学、高圧結晶学

キーワード：氷 積層不整 高圧 中性子回折

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

立方晶氷(氷 Ic)は、通常の氷である六方晶氷(氷 Ih)を除けば、地球圏内で唯一天然に産する氷であり、宇宙空間にも普遍的に存在する可能性の高い重要な氷の多形の一つである。例えば、氷 Ic は、180 K 以下で水蒸気が凝縮した場合や、氷になる水滴の直径が極めて小さい ($\sim 6 \mu\text{m}$ 以下) 場合、さらに極低温で凝縮したアモルファス氷や (低温下で高圧から常圧に回収した) 氷の高圧相が昇温に伴い再結晶化する場合などに、その表面エネルギーの優位さのために形成されることが知られている。しかしながら、これまでに報告された氷 Ic の X 線・中性子回折パターンには積層不整によるブロードな肩が見られており、実は、従来氷 Ic として報告されているものは、全て例外なく積層不整した氷(図 1) であり、完全な周期性をもった氷 Ic は研究開始当初では見つかっていなかった。2010 年代の中頃には、完全な周期性を持つ氷 Ic は存在しないという考えられていたのである。

また、多くの氷の多形には、Ih-XIh, III-IX, VII-VIII... など水素配置に対して無秩序—秩序の関係にある相の“ペア”が存在するが、無秩序相である氷 Ic に対する秩序相(発見されれば氷 XIc となる)は現在まで発見されていない。この理由は、氷 Ic 中にある積層不整によって水素位置の並進周期性が失われてしまい、回折法による検出が困難になるため、と考えられている(Salzman, PCCP, 2011)。したがって、積層不整のない完全な氷 Ic を作ることができれば、これを冷却することによって秩序化した氷 XIc をも得られると考えられる。

2. 研究の目的

完全な氷 Ic やそれが秩序化した氷 XIc は存在するのか、存在するとしたらどのような構造・物性を持つか、といった氷そのものに対する興味为本研究の動機である。そこで本研究では、積層不整のない完全な氷 Ic を世界で初めて合成し、この氷 Ic を基軸として新たな氷の物理化学を展開することを目的とした。

3. 研究の方法

完全な氷 Ic は、これまで数多くの研究者が挑みながら未だ合成されておらず、一部の研究者の間ではその存在すら疑われていることは先述した通りである。この状況を打破するため、本研究では「水素ハイドレートの脱水素」という従来になかった方法で氷 Ic を合成する。まず氷 Ic の水素結合ネットワークと同型の構造を持つ水素ハイドレートの高圧相 (C_2 と呼ばれる) を合成し、その後、低温下で脱圧、さらに真空中に晒し、水素ハイドレート C_2 中の水素を抜き去ることで、積層不整のない完全な氷 Ic を合成する。

まず、完全な氷 Ic の鑄型となる水素ハイドレート C_2 を合成するためには、出発物質として水と水素が必要であるが、さらに中性子回折実験において軽水素からの大きな非干渉性散乱によるバックグラウンドの上昇を抑えるため、重水 (D_2O) と重水素 (D_2) を圧力セルに封入しなければならない。本研究では、安定した組成比で重水素を封入するため、内部水素源として重水素化マグネシウム (MgD_2) を利用した。そのため MgD_2 を合成するプロセスも試行錯誤しながら検討した (詳しくは原著論文 Komatsu+, Nat. Commun. 2020 を参照)。合成した MgD_2 と D_2O を高圧セルに封入し 400 K 程度に熱すると両者は容易に反応し、重水素を放出して水酸化マグネシウム [$\text{Mg}(\text{OD})_2$] ができる。 $\text{Mg}(\text{OD})_2$ は、以降重水や重水素との反応には関与せず、かつ中性子回折パターンも比較的単純であるため、反応物とは容易に区別できる。それらを室温に戻したのちに 3 GPa 以上に加圧し、 C_2 を得た。その後、圧力を約 3 GPa に維持しながら 100 K まで冷却し、さらに 100 K で徐々に減圧しながら中性子回折測定を行った。中性子回折測定は J-PARC の高圧ビームライン PLANET で行った。低温・高圧の発生には、申請者が独自に開発した Mito system (Komatsu+, High Press. Res., 2013, 図 2) を用いた。

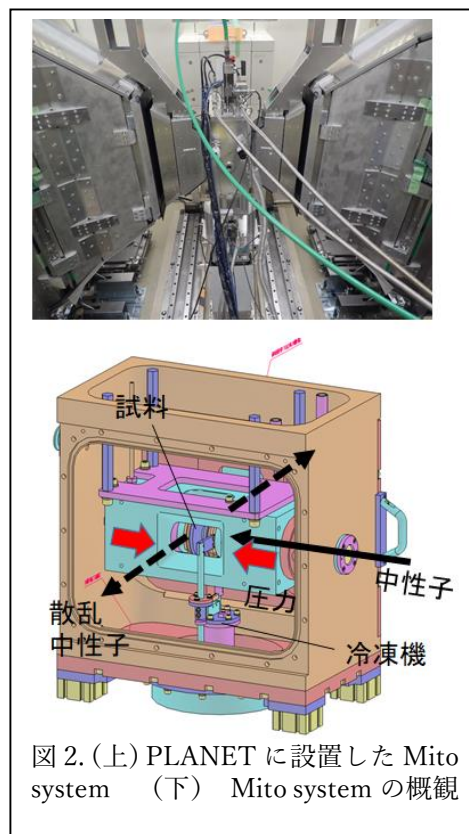
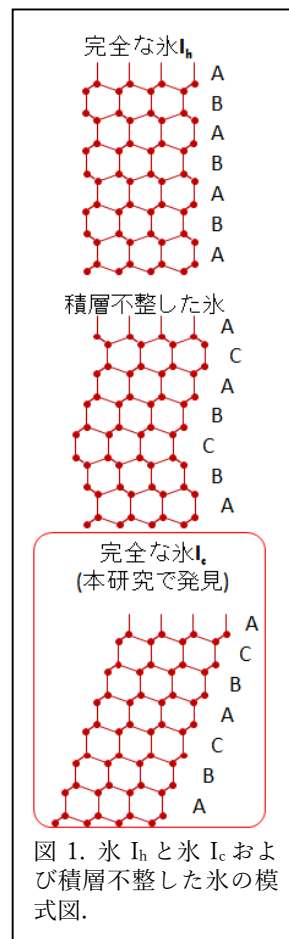


図 2. (上) PLANET に設置した Mito system (下) Mito system の概観

4. 研究成果

本研究の出発点として、水素ハイドレート C_2 を合成する必要があるが、そもそも C_2 の中性子回折による構造解析はこれまで行われていなかった。我々は、3に述べた方法で C_2 を合成し、世界で初めて C_2 の高圧その場中性子回折実験を行い、その結晶構造の解明にも成功した (図3a)。その結果、 C_2 中の水素は、ランダムに回転しているのではなく、結晶軸の方向に局在化して存在していることがはじめて明らかとなった。水素ハイドレート C_2 の構造解析は当初の研究目的ではなかったが、本研究に付随する重要な成果となった。

得られた C_2 を約 3 GPa で 100 K まで冷却し、徐々に減圧しながら中性子回折パターンを取得した (図4)。減圧の過程で、0.5 GPa までは水素ハイドレートの回折線が残っていたが、0.2 GPa まで下げたところで、驚くべきことにそれらはほぼ消失した。これは C_2 の結晶構造に乱れが生じアモルファスのような状態になっていることを意味する。さらに 0 GPa まで完全に脱圧したのちに、温度を上げていくと、氷 I_c のピークが出現してきた。観測された回折パターンには積層不整を示すようなブロードな肩もなく、純粋な氷 I_c が得られたことを示していた (図3b)。得られた氷 I_c をさらに加熱すると 250 K で氷 I_h に変化した。通常積層不整を持つ氷 I_{sd} は 200 K 以上の温度では数分のうちにより安定な氷 I_h に変化してしまうので、積層不整のない氷 I_c は氷 I_{sd} に比べてかなり高温まで安定であることがわかった。これは、積層不整のない氷 I_c 中には、氷 I_c から氷 I_h への相転移の起点となるような転位が少ないことを反映していると思われる。

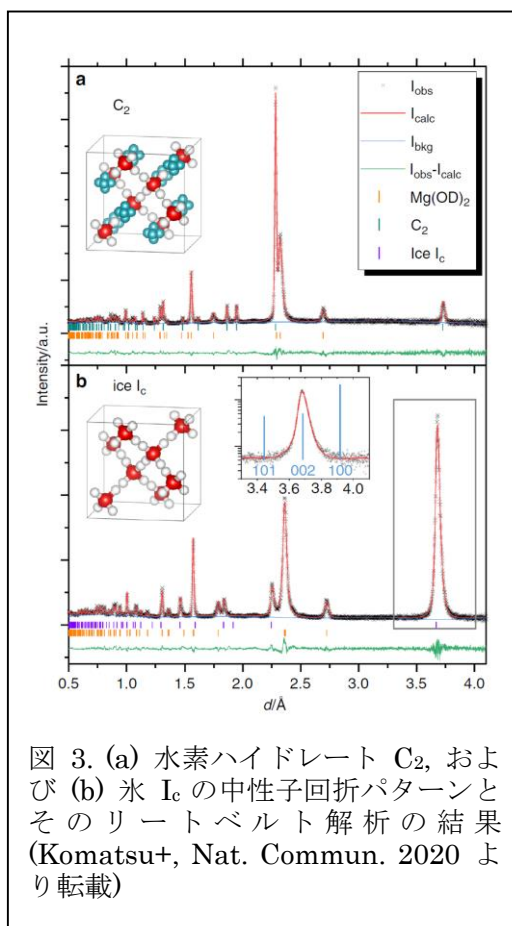


図 3. (a) 水素ハイドレート C_2 , および (b) 氷 I_c の中性子回折パターンとそのリートベルト解析の結果 (Komatsu+, Nat. Commun. 2020 より転載)

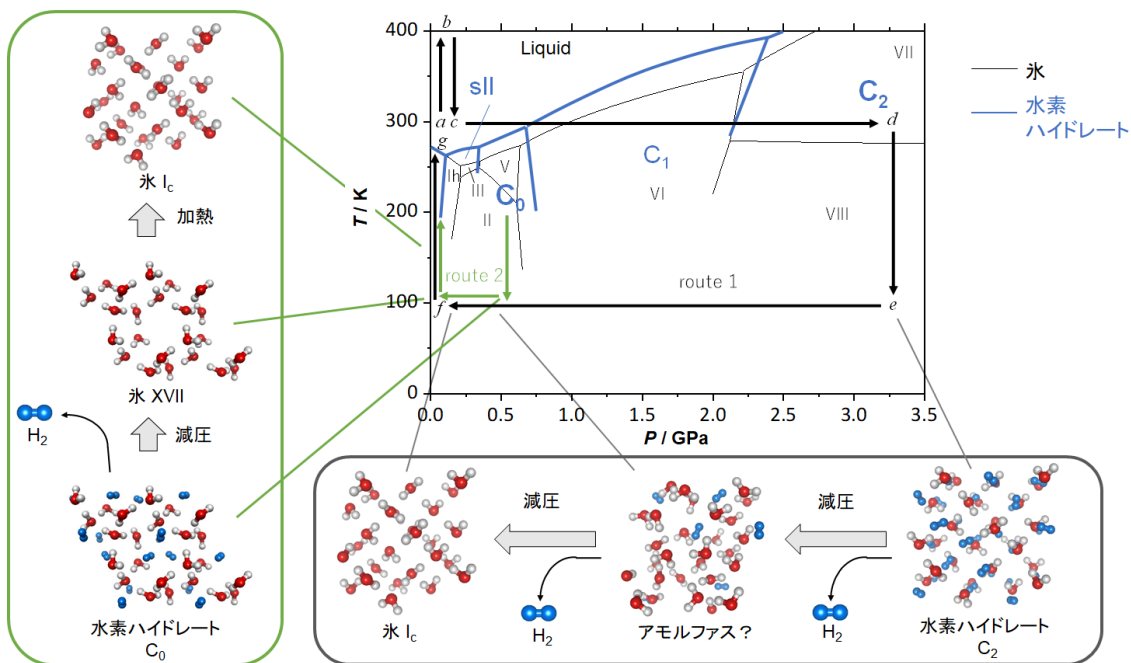


図 4. 氷および水素ハイドレートの相図。本研究で氷 I_c を合成した際の温度圧力パス (黒線) および del Rosso らによる温度圧力パス (緑線) を示した。

ちなみに我々のこの結果が Nat. Commun. 誌で公開されたのは 2020 年 2 月 3 日であるが、この発表と全く同日に、我々の方法とは別の方法で積層不整のない氷 I_c が得られることを、del Rosso らが Nat. Mater. 誌にて報告した (del Rosso+, 2020)。彼らはまず、 C_2 より低圧で生成する水素ハイドレートである C_0 を 110 K で 1 時間真空引きすることで、 C_0 から水素を抜き取り氷 XVII を作った (図 4)。その後、温度を上げていくと 150-160 K で氷 XVII が氷 I_c に変化した。このようにして得られた氷 I_c には積層不整が見られなかった、と報告している。合成法の違いにより安定性に違いがでるのか、なぜ C_2 から氷 I_c に変わるときにアモルファス様の状態を経由するのか、なぜ水素結合ネットワークの異なる氷 XVII から積層不整のない氷 I_c が生成できるのか、等々、本研究の発見によって数多くの疑問が浮かび上がっており、今後の課題として残されている。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計22件（うち査読付論文 19件 / うち国際共著 10件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Iizuka-Oku Riko, Gui Weibin, Komatsu Kazuki, Yagi Takehiko, Kagi Hiroyuki	4. 巻 283
2. 論文標題 High-pressure responses of alkali metal hydrogen carbonates, RbHCO ₃ and CsHCO ₃ : Findings of new phases and unique compressional behavior	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Solid State Chemistry	6. 最初と最後の頁 121139 ~ 121139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jssc.2019.121139	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 Klotz S., Komatsu K., Polian A., Machida S., Sano-Furukawa A., Iti? J.-P., Hattori T.	4. 巻 101
2. 論文標題 Crystal structure and magnetism of MnO under pressure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 64105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.064105	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 Komatsu Kazuki, Klotz Stefan, Machida Shinichi, Sano-Furukawa Asami, Hattori Takanori, Kagi Hiroyuki	4. 巻 117
2. 論文標題 Anomalous hydrogen dynamics of the ice VII?VIII transition revealed by high-pressure neutron diffraction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 6356 ~ 6361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1920447117	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 Komatsu Kazuki, Klotz Stefan, Nakano Satoshi, Machida Shinichi, Hattori Takanori, Sano-Furukawa Asami, Yamashita Keishiro, Irifune Tetsuo	4. 巻 40
2. 論文標題 Developments of nano-polycrystalline diamond anvil cells for neutron diffraction experiments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 184 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2020.1727465	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 Komatsu Kazuki, Machida Shinichi, Noritake Fumiya, Hattori Takanori, Sano-Furukawa Asami, Yamane Ryo, Yamashita Keishiro, Kagi Hiroyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Ice Ic without stacking disorder by evacuating hydrogen from hydrogen hydrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-14346-5	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 Keishiro, Komatsu Kazuki, Klotz Stefan, Fernandez-Diaz Maria T., Fabelo Oscar, Irifune Tetsuo, Sugiyama Kazumasa, Kawamata Tooru, Kagi Hiroyuki	4. 巻 40
2. 論文標題 A nano-polycrystalline diamond anvil cell with bulk metallic glass cylinder for single-crystal neutron diffraction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 88 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2019.1700980	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 Nakano Satoshi, Sano-Furukawa Asami, Hattori Takanori, Machida Shinichi, Komatsu Kazuki, Fujihisa Hiroshi, Yamawaki Hiroshi, Gotoh Yoshito, Kikegawa Takumi	4. 巻 60
2. 論文標題 Observation of Dihydrogen Bonds in High-Pressure Phases of Ammonia Borane by X-ray and Neutron Diffraction Measurements	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Inorganic Chemistry	6. 最初と最後の頁 3065 ~ 3073
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.inorgchem.0c03345	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 Yamane Ryo, Komatsu Kazuki, Gouchi Jun, Uwatoko Yoshiya, Machida Shinichi, Hattori Takanori, Ito Hayate, Kagi Hiroyuki	4. 巻 12
2. 論文標題 Experimental evidence for the existence of a second partially-ordered phase of ice VI	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 1129
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-021-21351-9	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 小松一生	4. 巻 62
2. 論文標題 高压中性子回折実験が氷多形の研究にもたらしたもの	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 日本結晶学会誌	6. 最初と最後の頁 190 ~ 197
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5940/jcrsj.62.190	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 小松一生	4. 巻 50
2. 論文標題 高压中性子回折実験で迫る氷多形の未解決問題	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 岩石鉱物科学	6. 最初と最後の頁 1 ~ 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/gkk.210108a	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 Klotz S., Casula M., Komatsu K., Machida S., Hattori T.	4. 巻 100
2. 論文標題 High-pressure structure and electronic properties of YbD ₂ to 34 GPa	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 20101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.020101	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 Yamane R., Komatsu K., Maynard-Casely H. E., Lee S., Booth N., Kagi H.	4. 巻 99
2. 論文標題 Search for a ferroelectrically ordered form of ice VII by neutron diffraction under high pressure and high electric field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 174201
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.174201	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 Yamashita Keishiro, Komatsu Kazuki, Hattori Takanori, Machida Shinichi, Kagi Hiroyuki	4. 巻 75
2. 論文標題 Crystal structure of a high-pressure phase of magnesium chloride hexahydrate determined by in-situ X-ray and neutron diffraction methods	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Acta Crystallographica Section C Structural Chemistry	6. 最初と最後の頁 1605 ~ 1612
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S2053229619014670	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 Iizuka-Oku Riko, Gui Weibin, Komatsu Kazuki, Yagi Takehiko, Kagi Hiroyuki	4. 巻 283
2. 論文標題 High-pressure responses of alkali metal hydrogen carbonates, RbHCO ₃ and CsHCO ₃ : Findings of new phases and unique compressional behavior	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Solid State Chemistry	6. 最初と最後の頁 121139 ~ 121139
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jssc.2019.121139	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 Klotz S., Komatsu K., Polian A., Machida S., Sano-Furukawa A., Iti? J.-P., Hattori T.	4. 巻 101
2. 論文標題 Crystal structure and magnetism of MnO under pressure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 64105
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.101.064105	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 Komatsu Kazuki, Klotz Stefan, Machida Shinichi, Sano-Furukawa Asami, Hattori Takanori, Kagi Hiroyuki	4. 巻 117
2. 論文標題 Anomalous hydrogen dynamics of the ice VII?VIII transition revealed by high-pressure neutron diffraction	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 6356 ~ 6361
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1920447117	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 Komatsu Kazuki, Klotz Stefan, Nakano Satoshi, Machida Shinichi, Hattori Takanori, Sano-Furukawa Asami, Yamashita Keishiro, Irifune Tetsuo	4. 巻 40
2. 論文標題 Developments of nano-polycrystalline diamond anvil cells for neutron diffraction experiments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 184 ~ 193
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2020.1727465	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 Komatsu Kazuki, Machida Shinichi, Noritake Fumiya, Hattori Takanori, Sano-Furukawa Asami, Yamane Ryo, Yamashita Keishiro, Kagi Hiroyuki	4. 巻 11
2. 論文標題 Ice Ic without stacking disorder by evacuating hydrogen from hydrogen hydrate	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 464
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-14346-5	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 Yamashita Keishiro, Komatsu Kazuki, Klotz Stefan, Fernandez-Diaz Maria T., Fabelo Oscar, Irifune Tetsuo, Sugiyama Kazumasa, Kawamata Tooru, Kagi Hiroyuki	4. 巻 40
2. 論文標題 A nano-polycrystalline diamond anvil cell with bulk metallic glass cylinder for single-crystal neutron diffraction	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 High Pressure Research	6. 最初と最後の頁 88 ~ 95
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/08957959.2019.1700980	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 R. Yamane, K. Komatsu, H.E. Maynard-Casely, S. Lee, N. Booth and H. Kagi	4. 巻 印刷中
2. 論文標題 Exploring for ferro-electrically ordered form of ice VII by neutron diffraction under high pressure and high electric field	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 印刷中
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 該当する

1. 著者名 Ishii Y., Komatsu K., Nakano S., Machida S., Hattori T., Sano-Furukawa A., Kagi H.	4. 巻 20
2. 論文標題 Pressure-induced stacking disorder in boehmite	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 16650 ~ 16656
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CP02565G	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 Shinozaki Ayako, Komatsu Kazuki, Kagi Hiroyuki, Fujimoto Chikako, Machida Shinichi, Sano-Furukawa Asami, Hattori Takanori	4. 巻 148
2. 論文標題 Behavior of intermolecular interactions in -glycine under high pressure	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 044507 ~ 044507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5009980	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6件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 2件)

1. 発表者名 小松一生, Stefan Klotz, 中野智志, 町田真一, 服部高典, 佐野亜沙美, 山下恵史朗, 入船徹男
2. 発表標題 中性子回折実験による氷VII-X相転移の観察に向けて
3. 学会等名 日本結晶学会2020年度年会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 小松一生, Stefan Klotz, 町田真一, 佐野亜沙美, 服部高典, 鍵裕之
2. 発表標題 Ice VII-VIII相転移速度の圧力依存性
3. 学会等名 日本結晶学会令和元年度年会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小松一生, 町田真一, 服部高典, 佐野亜沙美, 山根峻, 山下恵史朗, 鍵裕之
2. 発表標題 積層不整のないice Icの合成
3. 学会等名 第60回高圧討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Komatsu, Shinichi Machida, Takanori Hattori, Asami Sano-Furukawa, Ryo Yamane, Keishiro Yamashita and Hiroyuki Kagi
2. 発表標題 Preparation of ice Ic without stacking-disorder by emptying hydrogen hydrate
3. 学会等名 EHPRG2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kazuki Komatsu
2. 発表標題 Novel approaches for the study on hydrogen hydrate and ice polymorphs using high-pressure neutron diffraction
3. 学会等名 AOCNS2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小松一生
2. 発表標題 高圧中性子回折実験による氷および水素ハイドレート研究の新展開
3. 学会等名 日本結晶学会 2018年度年会および総会 (招待講演)
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	町田 真一 (Machida Shinichi) (30554373)	一般財団法人総合科学研究機構(総合科学研究センター(総合科学研究室)及び中性子科学センター(研究開発・中性子科学センター・研究員) (82121)	
研究分担者	則竹 史哉 (Noritake Fumiya) (50755569)	山梨大学・大学院総合研究部・助教 (13501)	

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
---------	---------