様　式　C－19、F－19－1、Z－19　（共通）

科研費
KAKENHI

科学研究費助成事業　　研究成果報告書

令和　6 年　5 月 30 日現在

機関番号：１２６０１
研究種目：基盤研究(B)（一般）
研究期間：2021～2023
課題番号：２１Ｈ０１１４３

研究課題名（和文）清浄鉱物表面への水素原子の化学吸着と水素分子生成：低密度雲から分子雲への進化の鍵

研究課題名（英文）The formation of hydrogen molecules by chemisorption of hydrogen atoms on crystalline silicate surface

研究代表者
羽馬　哲也（Hama, Tetsuya）

東京大学・大学院総合文化研究科・准教授

研究者番号：２０５７９１７２

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費）　13,600,000円

研究成果の概要（和文）：　ケイ酸塩鉱物は星間塵の主成分の1つであり，その表面に水素原子や水素分子などが化学吸着（鉱物と化学結合を作ることによる吸着）をおこすことで，さまざまな反応が進むと考えられているが，実験による検証は清浄な鉱物表面を準備する困難さから進んでこなかった．本研究では，超高真空環境で単結晶ケイ酸塩鉱物試料を1000 Kまで加熱することで表面の清浄化を行った後，星間空間の温度環境である70 Kにまで試料を冷却できる鉱物表面反応実験装置を開発した．この実験装置によって，ケイ酸塩鉱物表面における化学吸着を調べることが可能となり，星間空間における水素分子生成について理解が深まることが期待できる．

研究成果の学術的意義や社会的意義
　水素分子は星間空間で最も豊富に存在し，恒星や惑星の材料物質となる重要な分子である．星間空間において水素分子は，水素原子が星間塵（鉱物でできた微粒子）の表面に吸着し，化学反応をおこすことで生成すると考えられているが，鉱物表面でどのような化学反応がおきているかについてはほとんどわかっていない．本研究では，真空環境で鉱物試料を1000 Kまで加熱することで表面の汚染物質（大気中の有機物など）を除去し，さらに星間空間の温度環境である70 Kまで鉱物試料を冷却し表面反応を調べることができる実験装置を開発した．この装置により鉱物の星間塵における水素分子の生成過程について理解が進むことが期待される．

研究成果の概要（英文）：Molecular hydrogen (H2) is the most abundant molecule in interstellar clouds. In cold interstellar regions below 20 K, H2 is predominantly formed through recombination of two physisorbed hydrogen (H) atoms on dust grains. In warm interstellar regions with dust temperatures higher than 20 K, the importance of chemisorbed H atoms on dust is increased in the H2 formation because physisorbed H atoms no longer exist on the dust grain surfaces. However, our understanding of the H2 formation in warm interstellar regions is still at an early stage, where chemisorption can play a role. In this study, we developed a novel experimental setup to study the chemisorption of H atoms and H2 molecule on silicate, a representative model material for interstellar dust grains, at 70-1000 K.

研究分野：星間化学

キーワード：星間塵　ケイ酸塩鉱物　水素原子　水素分子　化学吸着

※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
水素分子（H_2）は星間空間で最も豊富に存在し，恒星の材料物質となる分子である．星間空間における H_2 の生成過程を理解することは，低密度雲（20-100 K, H_2 の数密度 10-10^2 cm^{-3}）から分子雲（10-20 K, H_2 の数密度 10^3-10^5 cm^{-3}）への進化や，星・惑星系の形成を議論するうえで需要である．
低温な分子雲では，H 原子が星間塵（0.1 μm 程のアモルファス氷やケイ酸塩鉱物でできた微粒子）の表面に物理吸着（ファンデルワールス力により弱く吸着）し再結合することで生成していることが知られている（$H + H \rightarrow H_2$）．しかし温度が 100 K ほどの低密度雲では，H 原子は星間塵に物理吸着できないため，H 原子の再結合反応による H_2 生成は効率よく進まない．そのため「低密度雲で H 原子からどのようにして H_2 が生成し，分子雲へと進化したのか？」は，天体の進化を理解するうえで根源的であるにもかかわらず未解決問題となっている．

２．研究の目的
この問題を解決するために，「星間塵を構成するケイ酸塩鉱物の表面に H 原子が化学吸着（鉱物と化学結合を作ることによる吸着）することで高温な環境でも H_2 が生成する」という仮説が有力視されている．この仮説に関連する先行研究として，1990 年代に天然の多結晶オリビン（Fe_2SiO_4 と Mg_2SiO_4 の混合物）表面に H 原子を照射する実験がわずかに行われているが，H 原子が化学吸着したという実験的証拠は得られていない．しかし先行研究では，実験前に真空加熱による鉱物表面の清浄化が行われておらず，表面の化学吸着サイトがコンタミネーション（大気中のガスや有機物）によってすでに埋められている可能性が高いという大きな問題がある．
そこで本研究では，低密度雲から分子雲への進化を議論するうえで重要なケイ酸塩鉱物表面における H 原子の化学吸着による H_2 生成効率を明らかにするために，「（１）真空加熱による単結晶ケイ酸塩鉱物表面の清浄化が可能な実験装置」を新たに開発した．また，鉱物表面のその場分析法を検討するうえで「赤外多角入射分解分光法」を用いたアモルファス氷のその場分析をおこなったところ，非常に興味深い成果が得られたので，以下に「（２）赤外多角入射分解分光法によるアモルファス氷表面の光吸収効率の定量」として，ここに報告する．

３．研究の方法
（１）真空加熱による単結晶ケイ酸塩鉱物表面の清浄化が可能な実験装置の開発
清浄な鉱物表面を用いた実験研究を行うには，
(a) 鉱物試料を 1000 K 程度に加熱して表面を清浄化．
(b) 加熱後，鉱物試料を低密度雲の温度環境である 100 K 以下に冷却．
と「加熱」と「冷却」の両方を超高真空環境で達成する必要がある．本研究では，単結晶鉱物試料について，100-1000 K という幅広い温度領域にわたり温度制御をしつつ，表面反応実験を行うことができる試料ホルダーの設計・開発を行った（図 1）．
鉱物試料(10×10×1 mm)は宇宙に普遍的に存在するフォルステライト(Mg_2SiO_4)の(010)面（へき開面）を用いた．耐熱セラミック接着剤で鉱物試料とタングステン板（厚さ 2 mm）とを接着し，面加熱／冷却を可能にした．タングステン板の側面にはφ0.5 mm の貫通穴があり，φ0.25 mm のタングステン線を通して，無酸素銅とサファイアで作製した試料ホルダーに固定する．この試料ホルダーをヘリウム冷凍機に接続することで鉱物試料を冷却する．鉱物試料の加熱はタングステン線の通電加熱で行う．

（２）赤外多角入射分解分光法によるアモルファス氷表面の光吸収効率の定量
「赤外多角入射分解分光法（Infrared MultipleAngle Incidence Resolution Spectrometry，以降は IR-MAIRS とする）」とは，赤外分光法と多変量解析とを組み合わせることで，試料分子の面内振動と面外振動の赤外吸収スペクトルを定量的に得ることができる現状唯一の手法である．IR-MAIRS では，まず赤外光の入射角 θ を 45°に固定し，赤外光の偏光角 ϕ を 0°（s 偏光）から 90°（p 偏光）まで 15°ずつ変えて測定することで合計 7 つの赤外スペクトルを測定する．s 偏光($\phi = 0°$)の電場の向きは入射角に依らず基板に対して平行であるため，面内振動のみが選択的に赤外吸収スペクトルに現れる．いっぽう，p 偏光($\phi = 90°$)を含むそのほかの偏光角で測定した場合，電場の向きは面内成分と面外成分両方を含み，両者の寄与は偏光角に依って異なる．つまり赤外光の入射角 θ や偏光角 ϕ を工夫して測定しただけでは純粋な面内振動あるいは面外振動スペクトルを得ることはできない．そこで IR-MAIRS では，7 本のスペクトルに対して多変量解析を行い，純粋な面内振動スペクトルと面外振動スペクトルを最小二乗解として計算する．IR-MAIRS は本来，有機太陽電池などの有機薄膜の分子配向を解析するために開発された手法であるが，研究代表者は氷星間塵の実験研究のために応用すべく超高真空・極低温環境で実行できる実験装置を開発し，アモルファス氷についても IR-MAIRS による分析を可能とした[Nagasawa et al., The Astrophysical Journal Letters 923 (1), L3, (2021)., Nagasawa et al., Journal of Raman Spectroscopy 53 (10), 1748-1772, (2022)., 羽馬ら，天文月報, 115 (6), 371-383, (2022).].

４．研究成果

（１）真空加熱による単結晶ケイ酸塩鉱物表面の清浄化が可能な実験装置の開発

フォルステライト試料を固定するための試料ホルダー（無酸素銅とサファイア製）を組み上げ，10 K ヘリウム冷凍機（冷凍能力 5 W 以上@10 K）に接続した．そして試料ホルダーが接続された 10 K ヘリウム冷凍機を，ICF356 サイズの真空チャンバーに組み込んだ．10 K ヘリウム冷凍機を運転させるためには，水冷式のヘリウム圧縮機（発熱量最大 7.2 kW）を動作させる必要があるが，真空チャンバーを設置した部屋には水冷用の循環水設備が備わっていないため，冷却水循環装置（冷却能力 8.7 kW 以上）を設置することで水冷式ヘリウム圧縮機を動作させた．さらに水素分子や重水素分子(D_2)を真空チャンバーに導入するためのガス導入系を作製し，化学吸着を調べるための昇温脱離質量分析法を行う際に使用する四重極質量分析計の立ち上げを行った．

以上の作業を完了させたのち，真空チャンバーの真空排気試験を行ったところ，1 週間以内の排気（ベーキング無し）で 2×10^{-7} Pa の超高真空環境にまで到達したことを確認した．さらに 10 K ヘリウム冷凍機を作動させたところ，試料ホルダーの末端部分（鉱物試料と接触する部分）は最低 18 K まで冷却され，フォルステライト試料は 70 K まで冷却されていることを確認した．試料ホルダー(18 K)とフィルステライト試料(70 K)との温度差は，タングステン板とフォルステライト試料とを接着している耐熱セラミック接着剤の熱伝導が良くないためであると考えられる．結果として，フォルステライト試料の温度は試料ホルダーの温度よりは高くなってしまったものの，目標である低密度雲の温度環境である 100 K 以下の冷却を達成することができた．

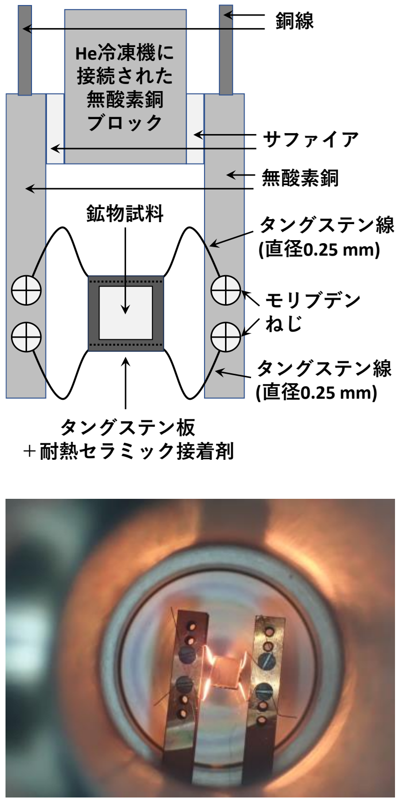

図 1: （上図）試料ホルダーの概念図．（下図）作製した試料ホルダーを用いて 1000 K まで加熱されているフォルステライト試料の写真．

またタングステン線の通電によって単結晶フォルステライト試料を加熱したところ，10 A ほどの電流で，1000 K にまで加熱できることを確認した．また 1000 K に加熱した際の試料ホルダーの温度上昇は 10 K（温度にして 30 K 以下）ほどであった．そのため，昇温脱離質量分析法による実験の際に，試料ホルダーの加熱による脱ガスに由来するノイズ信号の影響は低減されると考えられる．

以上より，本研究で達成を目指していた「真空加熱による単結晶ケイ酸塩鉱物表面の清浄化が可能な実験装置」の開発を実現できた．今後はこの装置を用いて，実際に水素原子や水素分子の化学吸着についての研究を本格的に推進する．

（２）赤外多角入射分解分光法によるアモルファス氷表面の光吸収効率の定量

アモルファス氷の赤外吸収スペクトルは，およそ 3600-3000 cm^{-1} あたりに氷内で 4 配位の水素合ネットワークを形成した H_2O に由来する吸収ピークが観測される．加えて，3696 cm^{-1} あたりにも「ダングリング OH(氷の表面に存在する水素結合ネットワークが不十分な 3 配位の H_2O の自由 OH 基)」に由来する非常に弱い吸収ピークが観測される（図 2）．ダングリング OH は氷の表面構造や物性（空孔率や比表面積）を反映し，さらに氷表面でおきる化学反応において触媒効果をもたらす（吸着サイトとして働く）ことが知られている．そのため氷星間塵表面でおきる化学反応を議論するうえでも重要視されている．しかしダングリング OH の吸収断面積については，1991 年にダングリング OH の吸収ピークが実験的に発見されてから 30 年以上経つにも関わらず未だに不明であり，ダングリング OH の吸収ピークからその存在量を定量することはこれまで不可能であった．

そこで開発した超高真空・極低温環境 IR-MAIRS 装置を用いて，アモルファス氷のダングリング OH の吸収断面積を定量する実験を行った．90 K のシリコン基板に作製したアモルファス氷について分析を行ったところ，ダングリング OH は強く面外振動していることが明らかになった（図 2）．この結果は，ダングリング OH が氷表面に存在することと整合的である．いっぽう，従来の測定方法（垂直透過法）では面外振動は観測できないため，ダングリング OH は検出することができず，あたかもダングリング OH が存在しないかのようなスペクトルが得られた．この結果は，従来の垂直透過法ではダングリング OH の吸光度と存在量とのあいだに比例関係が成立していない（ランベルトーベール則が成立していない）ことを意味しており，垂直透過法ではダングリング OH の吸収断面積を正確に得ることができないことを示している．

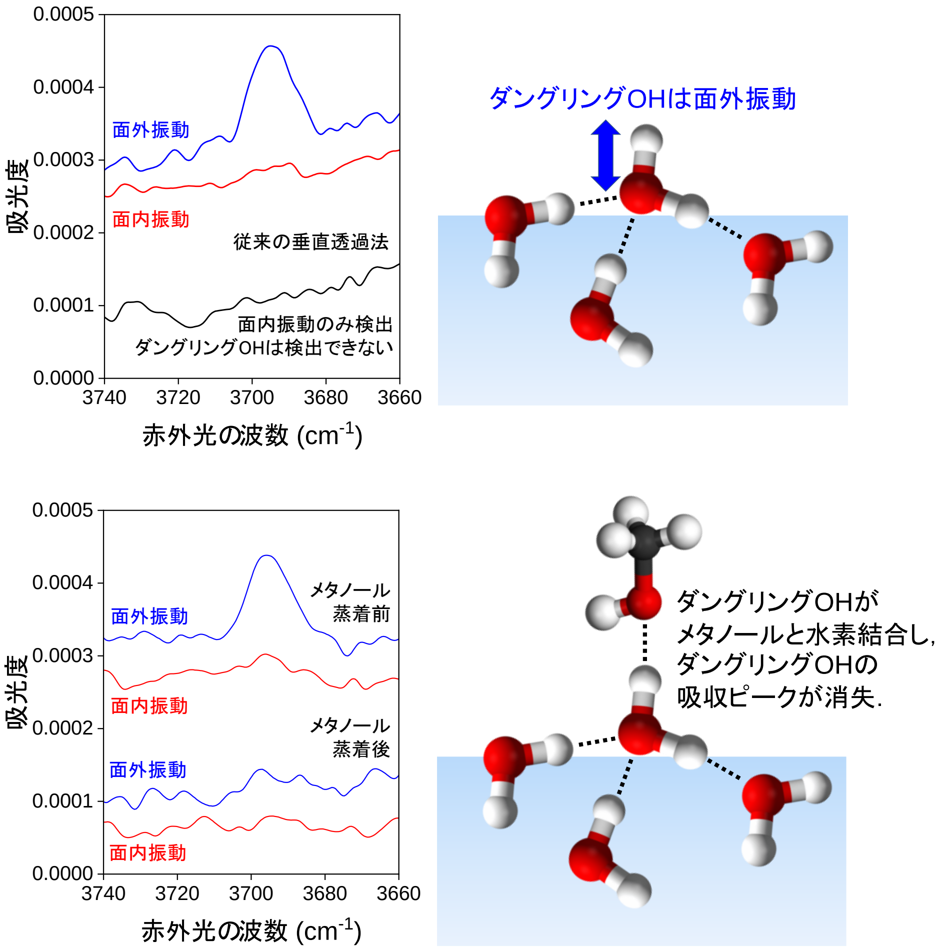

図 2: （上図）IR-MAIRS と垂直透過法で測定した 90 K のアモルファス氷のダングリング OH の赤外吸収スペクトル．（下図）ダングリング OH の存在量を定量するためのメタノール蒸着実験．メタノールがダングリング OH と水素結合することでピークが消失する．メタノールの蒸着量からダングリング OH の存在量を定量できる．

いっぽう，IR-MAIRS ではダングリング OH の面内・面外振動両方の吸光度を定量的に得ることができるため，ダングリング OH の存在量が定量できれば吸収断面積を求めることが可能となる．そこで本研究ではメタノール(CH_3OH)を蒸着してダングリング OH と水素結合させ，ダングリング OH のピークが消えるメタノール蒸着量からダングリング OH の存在量を計算し，ダングリング OH の吸収断面積を定量した（図 2）．結果として，吸収ピークの波数(3696 cm^{-1})における吸収断面積は $1.0 \pm 0.2 \times 10^{-18}$ cm^2 であることを明らかにした．また 3710–3680 cm^{-1} における積分吸収断面積は $1.4 \pm 0.3 \times 10^{-17}$ cm $molecule^{-1}$ であることも明らかにした．

本研究で明らかにした氷表面のダングリング OH の吸収断面積によって，これまで困難であったダングリング OH についてより定量的な研究が可能となる．たとえば，室内実験で生成したアモルファス氷表面のダングリング OH の吸収ピークや赤外天文観測で得られたアモルファス氷星間塵のダングリング OH の吸収ピークから，その存在量を定量することで，アモルファス氷の表面構造や物性がより詳細に明らかになることが期待できる．

５．主な発表論文等

〔雑誌論文〕　計21件（うち査読付論文　21件／うち国際共著　4件／うちオープンアクセス　8件）

1．著者名	4．巻
Uyama Makoto、Okabe Shinya、Kurashima Takumi、Kurinobu Rie、Takechi Miwa、Yoshiba Ryo、Miyoshi Rina、Noda Seigi、Kaneko Mio、Ikemoto Yuka、Takahara Atsushi、Higaki Yuji、Hama Tetsuya	45
2．論文標題	5．発行年
Promotion of glyoxylic acid penetration into human hair by glycolic acid	2023年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
International Journal of Cosmetic Science	246～254
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1111/ics.12838	有
オープンアクセス	国際共著
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	－

1．著者名	4．巻
Numadate Naoki、Saito Shota、Nojima Yuki、Ishibashi Taka-aki、Enami Shinichi、Hama Tetsuya	13
2．論文標題	5．発行年
Direct Observation and Quantitative Measurement of OH Radical Desorption During the Ultraviolet Photolysis of Liquid Nonanoic Acid	2022年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
The Journal of Physical Chemistry Letters	8290～8297
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1021/acs.jpclett.2c02199	有
オープンアクセス	国際共著
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	－

1．著者名	4．巻
Kouchi Akira、Shimonishi Takashi、Yamazaki Tomoya、Tsuge Masashi、Nakatani Naoki、Furuya Kenji、Niinomi Hiromasa、Oba Yasuhiro、Hama Tetsuya、Katsuno Hiroyasu、Watanabe Naoki、Kimura Yuki	-
2．論文標題	5．発行年
Chiral Ice Crystals in Space	2022年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
Chirality - New Insights	20pp
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.5772/intechopen.106708	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている（また、その予定である）	－

1．著者名	4．巻
Vastel et al. （著者66人中，羽馬は31番目）	664
2．論文標題	5．発行年
FAUST V. Hot methanol in the [BHB2007] 11 protobinary system; hot corino versus shock origin	2022年
3．雑誌名	6．最初と最後の頁
Astronomy & Astrophysics	A171(17pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1051/0004-6361/202243414	有
オープンアクセス	国際共著
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	該当する

1．著者名 Furuya Kenji、Hama Tetsuya、Oba Yasuhiro、Kouchi Akira、Watanabe Naoki、Aikawa Yuri	4．巻 933
2．論文標題 Diffusion Activation Energy and Desorption Activation Energy for Astrochemically Relevant Species on Water Ice Show No Clear Relation	5．発行年 2022年
3．雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6．最初と最後の頁 L16(13pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/2041-8213/ac78e9	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 Imai et al. （著者72人中，羽馬は32番目）	4．巻 934
2．論文標題 Chemical and Physical Characterization of the Isolated Protostellar Source CB68: FAUST IV	5．発行年 2022年
3．雑誌名 The Astrophysical Journal	6．最初と最後の頁 70(18pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/ac77e7	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 Nagasawa Takumi、Numadate Naoki、Hama Tetsuya	4．巻 53
2．論文標題 Infrared multiple‐angle incidence resolution spectrometry for vapor‐deposited amorphous water	5．発行年 2022年
3．雑誌名 Journal of Raman Spectroscopy	6．最初と最後の頁 1748～1772
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1002/jrs.6377	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 Niinomi Hiromasa、Kouch Akira、Hama Tetsuya、Nada Hiroki、Yamazaki Tomoya、Kimura Yuki	4．巻 13
2．論文標題 Low- and High-Density Unknown Waters at Ice?Water Interfaces	5．発行年 2022年
3．雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6．最初と最後の頁 4251～4256
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpclett.2c00660	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 Kouchi Akira、Tsuge Masashi、Hama Tetsuya、Niinomi Hiromasa、Nakatani Naoki、Shimonishi Takashi、Oba Yasuhiro、Kimura Yuki、Sirono Sin-iti、Okuzumi Satoshi、Momose Munetake、Furuya Kenji、Watanabe Naoki	4．巻 505
2．論文標題 Formation of chiral CO polyhedral crystals on icy interstellar grains	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	6．最初と最後の頁 1530～1542
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/mnras/stab1173	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 Kouchi Akira、Tsuge Masashi、Hama Tetsuya、Oba Yasuhiro、Okuzumi Satoshi、Sirono Sin-iti、Momose Munetake、Nakatani Naoki、Furuya Kenji、Shimonishi Takashi、Yamazaki Tomoya、Hidaka Hiroshi、Kimura Yuki、Murata Ken-ichiro、Fujita Kazuyuki、Nakatsubo Shunichi、Tachibana Shogo、Watanabe Naoki	4．巻 918
2．論文標題 Transmission Electron Microscopy Study of the Morphology of Ices Composed of H2O, CO2, and CO on Refractory Grains	5．発行年 2021年
3．雑誌名 The Astrophysical Journal	6．最初と最後の頁 45(20pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/1538-4357/ac0ae6	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 Nagasawa Takumi、Sato Reo、Hasegawa Takeshi、Numadate Naoki、Shioya Nobutaka、Shimoaka Takafumi、Hasegawa Takeshi、Hama Tetsuya	4．巻 923
2．論文標題 Absolute Absorption Cross Section and Orientation of Dangling OH Bonds in Water Ice	5．発行年 2021年
3．雑誌名 The Astrophysical Journal Letters	6．最初と最後の頁 L3(8pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3847/2041-8213/ac3a0e	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 Kouchi Akira、Kimura Yuki、Kitajima Kensei、Katsuno Hiroyasu、Hidaka Hiroshi、Oba Yasuhiro、Tsuge Masashi、Yamazaki Tomoya、Fujita Kazuyuki、Hama Tetsuya、Takahashi Yukihiro、Nakatsubo Shunichi、Watanabe Naoki	4．巻 9
2．論文標題 UV-Induced Formation of Ice XI Observed Using an Ultra-High Vacuum Cryogenic Transmission Electron Microscope and its Implications for Planetary Science	5．発行年 2021年
3．雑誌名 Frontiers in Chemistry	6．最初と最後の頁 799851(13pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3389/fchem.2021.799851	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	４．巻
Codella C.、Ceccarelli C.、Chandler C.、Sakai N.、Yamamoto S.、The FAUST Team	8
２．論文標題	５．発行年
Enlightening the Chemistry of Infalling Envelopes and Accretion Disks Around Sun-Like Protostars: The ALMA FAUST Project	2021年
３．雑誌名	６．最初と最後の頁
Frontiers in Astronomy and Space Sciences	782006(9pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.3389/fspas.2021.782006	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている（また、その予定である）	該当する

１．著者名	４．巻
Ohashi et al.（著者72人中，羽馬は33番目）	927
２．論文標題	５．発行年
Misaligned Rotations of the Envelope, Outflow, and Disks in the Multiple Protostellar System of VLA 1623?2417: FAUST. III	2022年
３．雑誌名	６．最初と最後の頁
The Astrophysical Journal	54(22pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.3847/1538-4357/ac4cae	有
オープンアクセス	国際共著
オープンアクセスとしている（また、その予定である）	該当する

１．著者名	４．巻
Sato Reo、Taniguchi So、Numadate Naoki、Hama Tetsuya	158
２．論文標題	５．発行年
Structure of crystalline water ice formed through neon matrix sublimation under cryogenic and vacuum conditions	2023年
３．雑誌名	６．最初と最後の頁
The Journal of Chemical Physics	211101(7pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1063/5.0150927	有
オープンアクセス	国際共著
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	－

１．著者名	４．巻
Kouchi Akira、Yamazaki Tomoya、Katsuno Hiroyasu、Nada Hiroki、Hama Tetsuya、Kimura Yuki	572
２．論文標題	５．発行年
Observation of hydrogen-ordered cubic ice thin films on the surface of ice Ic nanocrystals upon coarsening	2023年
３．雑誌名	６．最初と最後の頁
Chemical Physics	111966(15pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子）	査読の有無
10.1016/j.chemphys.2023.111966	有
オープンアクセス	国際共著
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	－

１．著者名 Saito Shota、Numadate Naoki、Teraoka Hidemasa、Enami Shinichi、Kobayashi Hirokazu、Hama Tetsuya	４．巻 9
２．論文標題 Impurity contribution to ultraviolet absorption of saturated fatty acids	５．発行年 2023年
３．雑誌名 Science Advances	６．最初と最後の頁 eadj6438(7pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1126/sciadv.adj6438	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 Niinomi Hiromasa、Yamazaki Tomoya、Nada Hiroki、Hama Tetsuya、Kouchi Akira、Oshikiri Tomoya、Nakagawa Masaru、Kimura Yuki	４．巻 13
２．論文標題 Anisotropy in spinodal-like dynamics of unknown water at ice V?water interface	５．発行年 2023年
３．雑誌名 Scientific Reports	６．最初と最後の頁 16227(9pp)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41598-023-43295-4	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 Yamazaki Tomoya、Kouchi Akira、Murata Ken-ichiro、Katsuno Hiroyasu、Nada Hiroki、Hama Tetsuya、Kimura Yuki	４．巻 527
２．論文標題 <i>In situ</i> cryogenic transmission electron microscopy observation on the formation of hydrogen-ordered hexagonal ices and its astrophysical implications	５．発行年 2023年
３．雑誌名 Monthly Notices of the Royal Astronomical Society	６．最初と最後の頁 2858～2868
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/mnras/stad3401	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 Niinomi Hiromasa、Yamazaki Tomoya、Nada Hiroki、Hama Tetsuya、Kouchi Akira、Oshikiri Tomoya、Nakagawa Masaru、Kimura Yuki	４．巻 15
２．論文標題 Chiral Spinodal-like Ordering of Homoimmiscible Water at Interface between Water and Chiral Ice III	５．発行年 2024年
３．雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	６．最初と最後の頁 659～664
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1021/acs.jpclett.3c03006	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 Tan Shuya、Sekine Yasuhito、Kikuchi Takashi、Suematsu Hisayuki、Hama Tetsuya、Takahashi Yoshio	４．巻 410
２．論文標題 Comparing the radiolytic oxidation of sulfur and chloride within ice on Europa and Mars	５．発行年 2024年
３．雑誌名 Icarus	６．最初と最後の頁 115873(11pp)

掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1016/j.icarus.2023.115873	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66件（うち招待講演　13件／うち国際学会　36件）

１．発表者名 羽馬哲也
２．発表標題 極低温赤外多角入射分解分光法による分子性固体の構造と物性解析
３．学会等名 第70回応用物理学会春季学術講演会シンポジウム：T22 極性分子薄膜における分極の自発配向制御とその応用（招待講演）
４．発表年 2023年

１．発表者名 Tetsuya Hama
２．発表標題 Interstellar dust chemistry: an interdisciplinary science covering quantum chemistry and astronomy
３．学会等名 第2回日加先端科学(JCFoS)シンポジウム 2023年（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 羽馬哲也
２．発表標題 星間塵と地球大気エアロゾルの表面科学：二分子、一分子、二分の一分子が果たす役割
３．学会等名 2022年度「一分子の科学」 研究報告会（招待講演）
４．発表年 2023年

１．発表者名
羽馬哲也

２．発表標題
新規計測法で明らかにする宇宙と地球の化学：星間塵から海洋表面マイクロ層まで

３．学会等名
第2回マテリアル・計測ハイブリッド研究センター若手フォーラム（招待講演）

４．発表年
2022年

１．発表者名
羽馬哲也

２．発表標題
分光で探る宇宙と地球の物質科学

３．学会等名
2022年日本分光学会年次講演会 分光イノベーション研究会 「分光学夢シンポジウム」（招待講演）

４．発表年
2022年

１．発表者名
羽馬哲也

２．発表標題
地球宇宙化学における原子衝突的視点の重要性

３．学会等名
原子衝突学会第47回年会（招待講演）

４．発表年
2022年

１．発表者名
羽馬哲也

２．発表標題
アモルファス氷表面の3配位ダングリングOH基の赤外吸収断面積測定実験

３．学会等名
第16回分子科学討論会

４．発表年
2022年

１．発表者名
　佐藤玲央，谷口創，沼舘直樹，羽馬哲也

２．発表標題
　Neマトリックス界面における極低温での結晶氷の生成

３．学会等名
　第51回結晶成長国内会議（JCCG-51）

４．発表年
　2022年

１．発表者名
　新家寛正，山崎智也，灘浩樹，羽馬哲也，香内晃，押切友也，中川勝，木村勇気

２．発表標題
　高圧下で成長する氷 V 水界面に生成する未知の水のダイナミクス

３．学会等名
　第51回結晶成長国内会議（JCCG-51）

４．発表年
　2022年

１．発表者名
　長澤 拓海，長谷川 健，沼舘直樹，羽馬哲也

２．発表標題
　IR-MAIRSによるアモルファス氷の構造解析と結晶化現象

３．学会等名
　第16回分子科学討論会

４．発表年
　2022年

１．発表者名
　佐藤 玲央，谷口 創，沼舘 直樹，羽馬 哲也

２．発表標題
　H2O/Ne-マトリックス昇華法により極低温で生成した氷の結晶構造の決定

３．学会等名
　第16回分子科学討論会

４．発表年
　2022年

１．発表者名
沼舘直樹，齊藤翔太，野嶋優妃，石橋孝章，江波進一，羽馬哲也

２．発表標題
液体ノナン酸の光反応におけるOHラジカル生成の定量

３．学会等名
第16回分子科学討論会

４．発表年
2022年

１．発表者名
SATO, Reo, TANIGUCHI, So, NUMADATE, Naoki, HAMA, Tetsuya

２．発表標題
Reflection High-Energy Electron Diffraction study of cristalline ice formed in cryogenic environments

３．学会等名
37th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
NAGASAWA, Takumi, HASEGAWA, Takeshi, NUMADATE, Naoki, HAMA, Tetsuya

２．発表標題
Structural characterization of vapor-deposited amorphous water by decoupled-OD stretching mode

３．学会等名
37th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
SAITO, Shota, NUMADATE, Naoki, HAMA, Tetsuya

２．発表標題
cross section, fluorescence, and photodissociation of liquid carboxylic acids at 213 and 266 nm

３．学会等名
37th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名 HASEGAWA, Takeshi, NAGASAWA, Takumi, NUMADATE, Naoki, HAMA, Tetsuya
２．発表標題 Infrared multiple-angle incidence resolution spectrometry for measurement of the absorption cross section of dangling-OH bonds in water ice
３．学会等名 37th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）
４．発表年 2022年

１．発表者名 Hiromasa Niinomi, Akira Kouchi, Tetsuya Hama, Hiroki Nada, Tomoya Yamazaki, Yuki Kimura
２．発表標題 Low- and High Density Unknown Waters at Ice/Water Interfaces under High Pressure
３．学会等名 JpGU Meeting 2022
４．発表年 2022年

１．発表者名 Takeshi Hasegawa, Takumi Nagasawa, Naoki Numadate, Tetsuya Hama
２．発表標題 Infrared multiple-angle resolution spectroscopy of interstellar ice analog in cryogenic environment
３．学会等名 The 6th Asian Workshop on Molecular Spectroscopy（国際学会）
４．発表年 2022年

１．発表者名 S. Saito, N. Numadate, Y. Nojima, T. Ishibashi, S. Enami, T. Hama
２．発表標題 Direct detection of OH radicals in the photolysis of liquid nonanoic acid using laser-induced fluorescence
３．学会等名 The 6th Asian Workshop on Molecular Spectroscopy（国際学会）
４．発表年 2022年

１．発表者名
Tetsuya Hama

２．発表標題
Absolute band strength and orientation of dangling OH bonds in amorphous water

３．学会等名
Symposium on Next Generation Astrochemistry（国際学会）

４．発表年
2022年

１．発表者名
長谷川 健，柳澤 広登，長澤 拓海，羽馬 哲也

２．発表標題
アモルファス氷表面におけるダングリングOHの吸収断面積と存在比

３．学会等名
次世代アストロケミストリー第3回領域全体集会

４．発表年
2023年

１．発表者名
Numadate Naoki、Hama Tetsuya

２．発表標題
Desorption of OH radicals in the ultraviolet photolysis of liquid nonanoic acid using laser induced fluorescence

３．学会等名
36th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Nagasawa Takumi、Numadate Naoki、Hama Tetsuya

２．発表標題
An infrared spectroscopic approach towards understanding the orientation of dangling OH bonds on amorphous solid water (ASW)

３．学会等名
36th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名 柘植　雅士、宮﨑　彩音、W.M.C. Sameera 、中井　陽一、羽馬　哲也、日高　宏、香内　晃、渡部　直樹
２．発表標題 低温H2O氷表面からのOHラジカルの可視光脱離過程
３．学会等名 第15回分子科学討論会
４．発表年 2021年

１．発表者名 沼舘　直樹、羽馬　哲也
２．発表標題 レーザー誘起蛍光法を用いた液体界面の光化学反応による OHラジカル生成の検証
３．学会等名 第15回分子科学討論会
４．発表年 2021年

１．発表者名 羽馬　哲也、石橋　篤季、香内　晃、渡部　直樹、塩谷　暢貴、下赤　卓史、長谷川　健
２．発表標題 赤外多角入射分解分光法によるアモルファス分子性固体の構造解析
３．学会等名 第15回分子科学討論会
４．発表年 2021年

１．発表者名 Sato Reo、Taniguchi So、Numadate Naoki、Hama Tetsuya
２．発表標題 Development of the RHEED apparatus for in situ structural analysis of water ices in low-temperature and ultrahigh vacuum conditions
３．学会等名 Workshop on Interstellar matter 2021（国際学会）
４．発表年 2021年

1．発表者名
Numadate Naoki、Saito Shota、Hama Tetsuya

2．発表標題
First direct detection of OH radicals photodesorbed from liquid organic surface by using laser-induced fluorescence technique

3．学会等名
Workshop on Interstellar matter 2021（国際学会）

4．発表年
2021年

1．発表者名
Nagasawa Takumi、Hasegawa Takeshi、Numadate Naoki、Hama Tetsuya

2．発表標題
An infrared spectroscopic approach towards understanding the orientation of dangling OH bonds on amorphous solid water

3．学会等名
Workshop on Interstellar matter 2021（国際学会）

4．発表年
2021年

1．発表者名
Hama Tetsuya、Nagasawa Takumi、Hasegawa Takeshi、Numadate Naoki

2．発表標題
Experimental measurement of the absorption cross section of dangling OH bonds in water ice

3．学会等名
Workshop on Interstellar matter 2021（国際学会）

4．発表年
2021年

1．発表者名
Tetsuya Hama

2．発表標題
Low-temperature ultrahigh-vacuum MAIRS for the study of interstellar ice analogues

3．学会等名
The International Chemical Congress of Pacific Basin Societies 2021（招待講演）（国際学会）

4．発表年
2021年

１．発表者名
Tetsuya Hama

２．発表標題
OH radical formation following photodissociation of liquid organic surfactant

３．学会等名
The 6th International Workshop on Heterogeneous Kinetics Related to Atmospheric Aerosols（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Tetsuya Hama

２．発表標題
Release of hydroxyl radicals from photodissociation of liquid hydrophobic organics

３．学会等名
7th Global Plasma Forum（招待講演）（国際学会）

４．発表年
2021年

１．発表者名
羽馬　哲也

２．発表標題
分光学的手法を用いた宇宙における物質進化の実験的解明

３．学会等名
2021年度日本分光学会年次講演会（招待講演）

４．発表年
2021年

１．発表者名
羽馬　哲也

２．発表標題
真空蒸着薄膜のその場構造解析のための赤外多角入射分解分光法装置の開発

３．学会等名
FT-IR・ラマン バーチャル・ユーザーズフォーラム 2021（招待講演）

４．発表年
2021年

１．発表者名
羽馬　哲也

２．発表標題
MAIRS2による極低温の真空蒸着薄膜のその場構造解析

３．学会等名
第5回MAIRSワークショップ―MAIRSで進める薄膜工学―（招待講演）

４．発表年
2021年

１．発表者名
Reo Sato, So Taniguchi, Naoki Numadate, Tetsuya Hama

２．発表標題
Formation of Local Cage Structures relevant to Methane Clathrate Hydrate under Interstellar Conditions

３．学会等名
JpGU Meeting 2023

４．発表年
2023年

１．発表者名
新家寛正，山崎智也，灘浩樹，羽馬哲也，香内晃，押切友也，中川勝，木村勇気

２．発表標題
氷V/水界面に生成する未知の水のスピノーダル分解様ダイナミクス

３．学会等名
日本地球惑星科学連合2023年大会

４．発表年
2023年

１．発表者名
HASEGAWA, Takeshi, YANAGISAWA, Hiroto, NAGASAWA, Takumi, NUMADATE, Naoki, HAMA, Tetsuya

２．発表標題
Infrared measurement for the column density of dangling-OH bonds in amorphous ice at 20 K

３．学会等名
38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）

４．発表年
2023年

1．発表者名
SATO, Reo, TANIGUCHI, So, NUMADATE, Naoki, HAMA, Tetsuya

2．発表標題
The formation of water-cage structure relevant to methane hydrate in cryogenic and ultrahigh vacuum conditions

3．学会等名
38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）

4．発表年
2023年

1．発表者名
SAITO, Shota, TERAOKA, Hidemasa, NUMADATE, Naoki, HAMA, Tetsuya

2．発表標題
Purification of liquid carboxylic acids by recrystallization method and measurement of absorption spectra in near UV wavelength

3．学会等名
38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）

4．発表年
2023年

1．発表者名
HAMA, Tetsuya

2．発表標題
Physics and chemistry of interstellar ice: A laboratory perspective

3．学会等名
38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（招待講演）（国際学会）

4．発表年
2023年

1．発表者名
TERAOKA, Hidemasa, SAITO, Shota, NUMADATE, Naoki, OSHIMA, Yoshimi, HAMA, Tetsuya

2．発表標題
In situ surface analysis of plant cuticle using microscopic attenuated-total-reflection infrared spectroscopy

3．学会等名
38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）

4．発表年
2023年

１．発表者名 NAGASAWA, Takumi, HASEGAWA, Takeshi, YANAGISAWA, Hiroto, NUMADATE, Naoki, HAMA, Tetsuya
２．発表標題 Spectroscopic analysis of the correlation between surface and hydrogen bond network in vapor-deposited amorphous water
３．学会等名 38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 KOIZUMI, Kensei, SAITO, Shota, NUMADATE, Naoki, HAMA, Tetsuya
２．発表標題 Dynamics study on ultraviolet photodissociation of liquid oleic acid using laser-induced fluorescence
３．学会等名 38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 NUMADATE, Naoki, SAITO, Shota, NOJIMA, Yuki, ISHIBASHI, Taka-aki, ENAMI, Shinichi, HAMA, Tetsuya
２．発表標題 Absolute cross section for OH radical desorption during the 213 nm photolysis of liquid nonanoic acid
３．学会等名 38th Symposium on Chemical Kinetics and Dynamics（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 Tetsuya Hama
２．発表標題 Experimental approaches towards understanding the surface physics and chemistry of interstellar dust and atmospheric aerosols
３．学会等名 XXXIII International Conference on Photonic, Electronic and Atomic Collisions (ICPEAC 2023)（招待講演）（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 Hiromasa Niinomi, Tomoya yamazaki, Hiroki Nada, Tetsuya Hama, Akira Kouchi, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa, Jun Nozawa, Junpei T. Okada, Satoshi Uda, Yuki Kimura
２．発表標題 Low- and High-Density Unknown Waters at Interfaces between Water and Ices Grown/Melted by Pressure
３．学会等名 The International Conference on Crystal Growth and Epitaxy-ICCGE-20（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 Reo Sato, So Taniguchi, Naoki Numadate, Tetsuya Hama
２．発表標題 Rapid Crystallization at the Surface of Vapor-Deposited Amorphous Water through Hydrates Formation and Dissociation at 120 K
３．学会等名 The 9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems (9 IDMRCS)（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 Takumi Nagasawa, Takeshi Hasegawa, Naoki Numadate, Tetsuya Hama
２．発表標題 Correlation between surface and bulk hydrogen-bond networks in amorphous water studied by IR-MAIRS
３．学会等名 The 9th International Discussion Meeting on Relaxations in Complex Systems (9 IDMRCS)（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名 Tetsuya Hama
２．発表標題 Infrared multiple-angle incidence resolution spectrometry for laboratory analogs of interstellar ices
３．学会等名 The 8th Asian Spectroscopy Conference (ASC2023)（国際学会）
４．発表年 2023年

１．発表者名
Tomoya Yamazaki, Akira Kouchi, Ken-ichiro Murata, Hiroyasu Katsuno, Hiroki Nada, Tetsuya Hama, Yuki Kimura

２．発表標題
Ultra-High Vacuum Cryogenic Transmission Electron Microscopy of Ices Indicates the Possible Formation of Hydrogen-Ordered Ices

３．学会等名
The 15th International Conference on the Physics and Chemistry of Ice (PCI-2023)（国際学会）

４．発表年
2023年

１．発表者名
Masashi Tsuge, Ayane Miyazaki, Ni-En Sie, W.M.C. Sameera, Yoichi Nakai, Tetsuya Hama, Hiroshi Hidaka, Akira Kouchi, Naoki Watanabe

２．発表標題
Visible Light Induced Photodesorption of Hydroxyl Radicals from Amorphous Solid Water

３．学会等名
The 15th International Conference on the Physics and Chemistry of Ice (PCI-2023)（国際学会）

４．発表年
2023年

１．発表者名
Hiromasa Niinomi, Tomoya Yamazaki, Hiroki Nada, Tetsuya Hama, Akira Kouchi, Tomoya Oshikiri, Masaru Nakagawa, Jun Nozawa, Junpei T. Okada, Satoshi Uda, Yuki Kimura

２．発表標題
In-Situ Observations of Low- and High-Density Unknown Waters at Interfaces between Water and Ices Grown/Melted by Pressure

３．学会等名
The 15th International Conference on the Physics and Chemistry of Ice (PCI-2023)（国際学会）

４．発表年
2023年

１．発表者名
長谷川 健，柳澤 広登，長澤 拓海，沼舘 直樹，羽馬 哲也

２．発表標題
赤外多角入射分解分光法による極低温アモルファス氷の表面構造解析

３．学会等名
第17回分子科学討論会2023

４．発表年
2023年

１．発表者名
齊藤 翔大，沼舘 直樹，寺岡 秀将，小林 広和，江波 進一，羽馬 哲也

２．発表標題
液体脂肪酸試薬中に含まれる微量不純物が紫外吸収スペクトルに与える影響

３．学会等名
第17回分子科学討論会2023

４．発表年
2023年

１．発表者名
妹尾梨子，左近樹，吉井丈晴，羽馬哲也，清水俊介，川口遼，尾中敬

２．発表標題
高温真空昇温脱離法(TPD)を用いた模擬星間有機物ダストの化学構造の分析

３．学会等名
日本天文学会2023年秋季年会

４．発表年
2023年

１．発表者名
新家 寛正，山崎 智也，灘 浩樹，羽馬 哲也，香内 晃，押切 友也，中川 勝，木村 勇気

２．発表標題
異方スピノーダル様脱濡れが示唆する水/氷V界面における未知の水の液晶性

３．学会等名
第72回高分子討論会

４．発表年
2023年

１．発表者名
T. Hama, S. Saito, N. Numadate, H. Teraoka, S. Enami, H. Kobayashi

２．発表標題
Impurity contribution to photoabsorption of saturated fatty acids and its implications to tropospheric chemistry

３．学会等名
Workshop on Interstellar Matter 2023 (ISM2023)（国際学会）

４．発表年
2023年

1．発表者名
T. Hasegawa, H. Yanagisawa, T. Nagasawa, N. Numadate, T. Hama

2．発表標題
Experimental measurement for absorption cross section of two-coordinated dangling OH bonds on the surface of amorphous ice at 20 K

3．学会等名
Workshop on Interstellar Matter 2023 (ISM2023)（国際学会）

4．発表年
2023年

1．発表者名
R. Sato, S. Taniguchi, N. Numadate, T. Hama

2．発表標題
In situ electron diffraction analysis of stacking sequences in ice I under interstellar conditions

3．学会等名
Workshop on Interstellar Matter 2023 (ISM2023)（国際学会）

4．発表年
2023年

1．発表者名
齊藤翔大，沼舘直樹，寺岡秀将，小林広和，江波進一，羽馬哲也

2．発表標題
液体脂肪酸の光吸収断面積と対流圏での光分解速度

3．学会等名
第28回大気化学討論会(2023)

4．発表年
2023年

1．発表者名
羽馬 哲也，齊藤 翔大，沼舘 直樹，寺岡 秀将，小林 広和，江波 進一

2．発表標題
不純物を除去した液相脂肪酸の紫外吸収スペクトルと吸収断面積

3．学会等名
原子衝突学会 第48回年会

4．発表年
2023年

１．発表者名 沼舘 直樹，小泉 憲生，齊藤 翔大，羽馬 哲也
２．発表標題 液体有機物界面の光分解ダイナミクス研究への挑戦
３．学会等名 原子衝突学会 第48回年会
４．発表年 2023年

１．発表者名 新家寛正，山崎智也，灘浩樹，羽馬哲也，香内晃，麻川明俊，押切友也，中川勝，木村勇気
２．発表標題 氷V/水界面の未知の水のスピノーダル様脱濡れにおける異方性
３．学会等名 第52回結晶成長国内会議（JCCG-52）
４．発表年 2023年

１．発表者名 新家寛正，山崎智也，灘浩樹，羽馬哲也，香内晃，押切友也，中川勝，木村勇気
２．発表標題 キラル氷 III/水界面で水から分離する同素不混和水のスピノーダル様キラル秩序
３．学会等名 令和５年度日本表面真空学会東北・北海道支部学術講演会
４．発表年 2024年

〔図書〕　計2件

１．著者名 羽馬 哲也	４．発行年 2023年
２．出版社 岩波書店	５．総ページ数 116
３．書名 宇宙の化学	

１．著者名 羽馬 哲也 ，関 功介	４．発行年 2023年
２．出版社 文一総合出版	５．総ページ数 344
３．書名 植物の超階層生物学: ゲノミクス×フェノミクス×生態学でひもとく多様性　第7章 赤外分光法によるヤセイカンランのクチクラの構造解析 -物理化学者による非破壊計測の試み	

〔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

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