

令和 3 年 6 月 11 日現在

機関番号：10101

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05731

研究課題名（和文）核生成

研究課題名（英文）Nucleation

研究代表者

木村 勇気 (Kimura, Yuki)

北海道大学・低温科学研究所・准教授

研究者番号：50449542

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 134,100,000円

研究成果の概要（和文）：我々は、独自の実験装置群を構築して結晶化の初期過程に多角的に迫ることで、気相からの核生成を支配する鍵因子はナノ粒子の融点降下と付着確率（タイマーの形成）にあることを示した。また、溶液からの核生成過程をその場観察できる透過型電子顕微鏡法を確立し、タンパク質の結晶化における水和層の役割を解明した。気相と溶液の両方を扱うことで、初めて核生成と前駆体のかかわりをナノ領域に現れる特異性の観点から直接的に示した。さらに、核生成の理解には、臨界核の形成に留まらず、ナノ領域を超えて安定なバルク結晶に成長するまでを考える必要があることを明確にした。さらに、ナノ領域の物性を考慮した核生成モデルの提案まで行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

これまで理論的に説明のできなかった核生成過程の一端が明らかとなり、核生成のモデル構築ができるようになったことで、原子や分子から材料を作るボトムアップによるナノ粒子の生成過程をデザインできる可能性が広がった。また、水溶液中のナノ領域現象が透過型電子顕微鏡で観察できることを示したことで、脱水和が関わるタンパク質の結晶化過程の理解や、その構造解析の進展と創薬への展開、バイオミネラリゼーションやセメント、コンクリートの固化過程にナノレベルで迫れる点で、他分野への広がりが期待される。

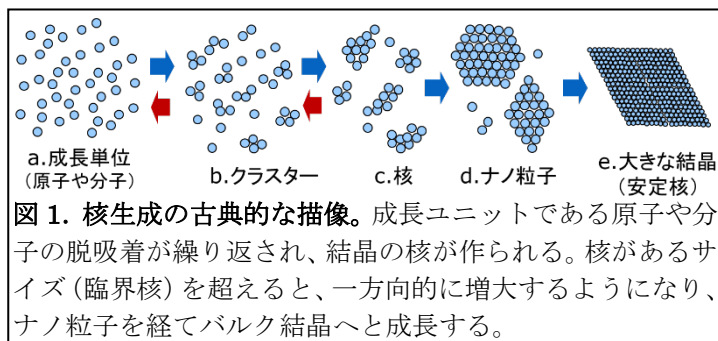
研究成果の概要（英文）：We established an original experimental system to approach the initial process of crystallization. As a result, we found that the key factors controlling the nucleation from the gas phase are decreasing the melting point and the sticking probability of nanoparticles. We also established a transmission electron microscopy for in-situ observation of the nucleation processes from a solution in nanoscale. Then, we elucidated the role of the hydration layer in protein crystallization. For the first time, we have succeeded in directly demonstrating the relationship between nucleation and precursors in terms of the specificity that appears in the nanoscale by handling both vapor and solution phases. Furthermore, we clarified that the understanding of nucleation requires not only the formation of critical nuclei but also the growth beyond the nano-region to stable bulk crystals. Furthermore, we proposed a nucleation model that takes into account the physical properties of the nano-region.

研究分野：自然科学

キーワード：ナノ粒子 透過電子顕微鏡 結晶成長 その場観察 宇宙ダスト

1. 研究開始当初の背景

核生成”は原子や分子などの成長単位が集合して粒子を形成するプロセスで(図1)、生成粒子のサイズや数密度、晶癖(形)、結晶構造などを決めるため、そのメカニズムの理解は物質形成において決定的に重要である。しかし、19世紀に Gibbs (1876)が熱力学的考察を元に古典的モデルを提唱



した後、21世紀の今も核生成の物理、化学過程に関する詳細は理解されていない。核生成理論も未熟で、例えば生成粒子数(核生成率)の理論予測は、実験やモンテカルロ、分子動力学(MD)計算と桁で合わない。最近では実験を元に、様々な前駆体クラスターや、非晶質相からの相転移、液-液分離経路などの新しい核生成モデルが提案され始め、より複雑化している。

その過程を直接捉えるべく、光学顕微鏡や原子間力顕微鏡(AFM)が使われるが、光学顕微鏡では理論的にサブミクロンが分解能の限界であり、AFMでは空間中で起こる3次元的な核生成を観察できない。光散乱や吸収スペクトルなどの間接的な測定では、結晶核のその場での相同定は難しく、析出相は不明で、得られる物理定数や物性値も対応する相が分からない。

これに対して最近、液体セルを用いて核生成過程を透過型電子顕微鏡(TEM)観察する研究が始まり、“微結晶が方位をそろえて接合する成長過程”(oriented attachment; Li *et al. Science* 2012)や炭酸カルシウムで非晶質からの結晶相の出現が示された(Nielsen *et al. Science* 2014)。従来の、原子、分子が一つずつ着脱する古典的モデルに対し、前駆体経由の非古典的核生成過程が提案され始め、核生成と前駆体のかかわりは、世界的にホットな領域になった。

この流れの中で、代表者は水に代えてイオン液体を溶媒に用いることで、TEM中で過飽和度を制御して核生成と溶解過程の“その場”観察に世界で初めて成功した(挑戦的萌芽 H25-26の成果; Kimura *et al. JACS*, 2014; 図1)。水和層フリーのイオン液体中での核生成実験において、微結晶の生成が前駆体を經由せずに容易に起こる現象を観察した経験から、脱水和の難しさが前駆体(特に非晶質)経由の核生成を引起す原因であると考えた。さらに、気相中での核生成実験を行い、核生成理論と合わせて、Mnの原子7個から30nmまでの**ナノ領域での表面自由エネルギーや付着確率の決定に成功**した(若手研究(A)H24-26)。また、その時の臨界核サイズは原子数個であるために単位格子中の原子数より少なく、核生成初期には結晶多形は未決定なことや、非晶質相が核生成した後に結晶相に転移することなど、核生成の描像の一端を解明した(Kimura *et al. Crystal Growth & Design* 2012)。従来の核生成モデルには、このような**ナノ領域の物性や水和層の影響**は織り込めていないことから、本課題は**核生成過程の描像を確立できる画期的な研究になると着想するに至った**。

2. 研究の目的

気相からの核生成実験とMD計算でナノ粒子の物理定数(表面自由エネルギーと付着確率)を決定する。溶液セルを用いたTEM観察手法で、溶液からの核生成過程をナノスケールで“その場”観察することで、最終的な結晶と前駆体とのかかわりを直接的に示す。気相、イオン液体溶液、水溶液からの核生成を比較することで、水和層の役割を解明して、ナノ領域の物性と水和層を考慮した核生成モデルの構築を目指す。

3. 研究の方法

本研究課題は、A. 気相からの核生成実験、B. 大規模MD計算や反応経路自動探索による計算機科学、C. 溶液セルを用いた水溶液とイオン液体溶液からの核生成のTEM観察の三つのアプローチで取り組んだ。

A. 気相から核生成を経てナノ粒子に至る際の温度場と濃度場の計測を二波長レーザー干渉計で、結晶構造を赤外スペクトル“その場”測定法で決め、ナノ粒子の物理量(表面自由エネルギーと付着確率)や核生成の経路を解明した。代表の木村と博士学生(石塚紳之介; 現学振PD)が中心となり、装置作りや結晶成長分野の第一人者である香内、古川が連携研究者として参画することで、実験装置の立ち上げからTEM観察まで十分な体制がとれた。また、観測ロケットを用いた微小重力下での気相からの核生成実験は、ナノ粒子の物理定数を精密に決定するのに極めて有効で、稲富(連携)の協力の元を実施した。

B. 大規模MD計算に自動探索は川野(分担)が実施し、核生成理論の構築と安定なクラス

ター構造の導出から、素過程の理解を進めており、実験結果と合わせて核生成モデルの構築に取り組んだ。

C. TEMを用いた核生成実験では、メゾ領域の核生成過程の可視化に非常に強力な溶液セルを用いた“その場”観察の手法を用い、個々のナノ粒子を相同定まで含めて直接観察した。木村のサポートの下、博士研究員（山崎智也；現特任助教）が実施することで研究を推進した。右に組織図を示す。

4. 研究成果

本研究の**第一の目的は、核生成における前駆体のかかわりを直接的に示すこと、第二の目的はナノ領域の物性と水和層を考慮した核生成モデルの構築**にある。我々は、TEM中で溶液からの核生成を“その場”観察し、結晶成長速度と結晶に起因する回折コントラストの出現、電子回折パターン

のリアルタイム分析から核生成と前駆体のかかわりを直接示すことができる実験手法を確立した。これを、タンパク質や光触媒粒子、セメント固化などの核生成過程に適用して、個々の粒子が核生成し、成長していく初期過程の“その場”観察を進め、7報の査読付き論文を報告した。特に、タンパク質の結晶化においては、その最大の障壁である脱水和の前に、タンパク質分子が凝集して *dense liquid* と呼ばれる濃度の高い粒子を形成し、その後の脱水和過程に伴って結晶化が進むという、タンパク質の新たな結晶化過程をTEMで視覚的に示した [Yamazaki, **Kimura et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, 114 (2017) 2154 ; 図 2]。この成果は、*PNAS (Proc. Natl. Acad. Sci. USA)* のハイライト論文に選ばれるとともに、本研究課題の目的である、**核生成と前駆体のかかわりを直接的に示す成果となった**。本研究は社会的にも注目され、新聞に掲載されると共に [日経産業新聞、2017年2月15日]、材料解析テクノフォーラム(2017)における企業の研究者を中心に延べ500名程度に対する講演依頼や、技術機関誌の執筆依頼 [B & I バイオサイエンスとインダストリー 75 (2017) 418, *HITACHI SI NEWS* 61 (2018) 5325 など] を受けた。また、企業との5件の共同研究にも繋がり、研究成果を一般社会へも波及させることができた。さらに、スロベニアの研究者 (S. Šturm, ヨーゼフステファン研究所) との二国間交流が進んだり (H27-29年度：フルイド反応透過電子顕微鏡を用いた微粒子合成と光触媒活性の溶液中その場観察研究)、米国の研究者 (H. Teng, ジョージワシントン大学) を学振の外国人招へい研究者 (長期) として10ヶ月間受け入れられたり (H28.9-H29.7: 3成分系の結晶成長：炭酸カルシウム成長に及ぼすマグネシウムの影響についての新解釈)、北海道大学の外国人招へい教員としてフランスから研究者を招へいしたりと (A. E. S. Van Driessche, ドゥラテール科学研究所、フランス国立科学研究センター；有機分子による鉱物化作用の制御機構の解明)、国際的な共同研究の展開にもつながった。

気相成長実験においては、二波長マッハツェンダー型レーザー干渉計を改良し、赤外スペクトル“その場”測定装置を新規に作製することで、核生成環境や結晶化の全体像を捉えることに成功し、10報の査読付き論文を報告した。一連の実験により、実験室の時間スケールにおいては、均質核生成には超高過飽和が必要で、臨界核が原子や分子数個になって初めて核生成することが分かった [Kimura et al. *Int. J. of Microgravity Sci. Appl.*, 35 (2018) 350305]。さらに、ナノ粒子の表面自由エネルギーはバルクよりも数割大きくなり、付着確率は1%以下 (鉄では0.002%) であることを示した。特に鉄の実験結果では、宇宙における鉄の主要な存在形態は金属ではないことを示す成果が得られ、天文学に新たな問題を提起することにつながった。また、結晶成長の視点からは、原子や分子から材料を作るボトムアップによるナノ粒子の生成過程をデザインできる可能性を広げるもので、*Science Advances* に報告した [Kimura, **Tanaka et al. Sci. Adv.**, 3 (2017) e1601992]。

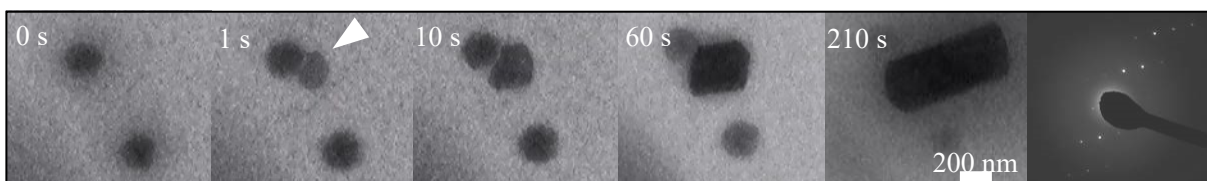
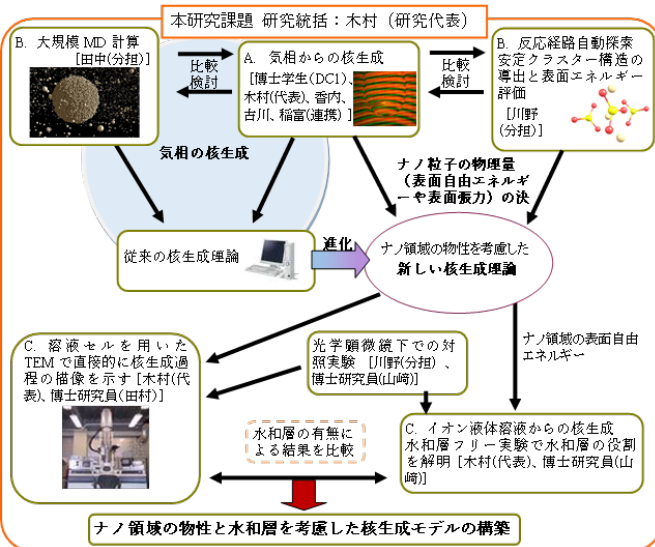


図 2. タンパク質(リゾチーム)の結晶化 “その場”観察 TEM 像。バルク結晶より二桁大きな成長速度で前駆体が現れ(矢印)、10 s 付近で結晶に起因するコントラストと面が見られるようになる。さらに、ラウエ斑点が確認できるようになった。前駆体経由の核生成が初めて直接確認できた[Yamazaki, **Kimura et al. Proc. Natl. Acad. Sci. USA**, 114 (2017) 2154]。

また、近年、溶液からの核生成で話題となっている非晶質を経由する核生成過程が、気相からナノ粒子が生成する場合においても同様に起こることを明確に示した[Ishizuka, [Kimura et al. Nat. Commun.](#), 9 (2018) 3820; Ishizuka, [Kimura et al. Chem. Mater.](#), 28 (2016) 8732; Ishizuka, [Kimura et al. J. Cryst. Growth](#), 450 (2016) 168; Ishizuka, [Kimura et al. Astrophys. J.](#), 803 (2015) 88]。さらに、初めに生成したクラスターが分子の代わりに成長ユニットとなり、接合成長することで結晶を形成するという、多段階の核生成過程も捉えられた[Ishizuka, [Kimura et al. Nanoscale](#), 9 (2017) 10109]。いずれの成果も高インパクトファクターのジャーナルで公表するとともに、新聞などの報道で社会・国民に発信できている[日刊工業新聞、2018年10月10日など]。ナノ領域の物質科学を基に展開した革新的な研究成果は国内外で注目され、観測ロケットを用いた微小重力実験が NASA やドイツ航空宇宙センターとの協力で始まるなど、当該分野の新しい研究の流れへ発展している[日経産業新聞 2019年10月23日；日刊工業新聞、2019年10月9日など]。

これまで MD 計算による気相から液相への相変化の均質核生成過程の研究は多数あるが、気相から固相までの一連の相変化の再現は難しかった。我々は、実験で可能な低い核生成率で進行する水凝縮核生成を世界で初めて実現し、室内実験と MD 計算の間に存在した大きな隔たりを取り払うことができた[Angéilil, Diemand, [Tanaka et al. J. Chem. Phys.](#), 143 (2015) 0640507]。本成果は、*J. Chem. Phys.* の 2015 Editor's Choice に選出されている。さらに、計算モデルを検証することで、核生成の待ち時間の長い計算が可能になり、気相から過冷却液滴への核生成に加え、液滴からの結晶化という、多段階核生成過程の再現に成功した[[Tanaka et al. Physical Review E](#), 96 (2017) 022804]。これは、気相からの核生成実験で得られた成果と整合的であり、実験と MD 計算の結果が初めて直接比較可能になると共に、本研究課題の目的である、**核生成と前駆体のかかわりを直接的に示す成果の一つとなった**。さらに、酸化物の場合など、化学反応を伴う核生成における初期構造の変化を理解するために、近年開発が進む量子化学計算に基づく反応経路自動探索法を、気相からの核生成に適用する試みをスタートさせた。テトラマーまでの酸化アルミニウムクラスターの安定構造が効率よく探索できることを確認するとともに、これまで困難であったそれ以上の粒子を含むクラスターの安定構造探索に適用できることを示した[Ishizuka, [Kimura, Kawano et al. J. Phys. Chem. C](#), 122 (2018) 25092]。核生成過程において、量子化学計算により、初期クラスターの形成にともなう自由エネルギー曲面を明らかにできるようになったことは、化学反応・電荷移動を伴う核生成まで適用できることを意味しており、その波及効果は非常に大きい。その結果、結晶形成を扱うさまざまな分野で注目され、*American Chemical Society* の年会や、*Goldschmidt Conference* といった主要な国際会議において、招待講演を行っている。

以上の成果を統合することで、以下の四角内に示すように気相からの核生成の描像とキープファクターを明確にした。そして、核生成の理解には、従来の範囲である臨界核（バルクエネルギーの利得が表面エネルギー不利を上回るサイズ）の形成（図 1a-c）を超えて、ナノ粒子が安定な結晶【ここでは安定核と呼ぶ（図 1e）】へと成長するまでを考える必要があることを明確にした。

- ・広い過飽和度条件で 30 桁にも及ぶ核生成率(単位体積、時間あたりに生成する核の個数)を説明できるスケーリング則を発見 [[Tanaka et al. Phys. Rev. E](#), 92 (2015), 022401; 同 94 (2016) 026802]
- ・核生成には臨界核が分子数個にもなる超高過飽和が必要で最大の障壁はダイマーの生成 [[Kimura, Tanaka et al. Sci. Adv.](#), 3 (2017) e1601992]
- ・ナノスケールの核の表面自由エネルギーはバルクよりも数割大きな値となり、原子や分子同士の付着確率は通説よりも数桁小さな値を取る[[Kimura et al. Int. J. of Microgravity Sci. Appl.](#), 35 (2018) 350305; [Kimura, Tanaka et al. Sci. Adv.](#), 3 (2017) e1601992]
- ・クラスターが分子に代わって成長ユニットとなる多段階の核生成過程が存在する [Ishizuka, [Kimura et al. Nanoscale](#), 9 (2017) 10109]
- ・前駆体（過冷却液滴や非晶質、準安定結晶）を経由する核生成ルートの存在 [Ishizuka, [Kimura et al. Nat. Commun.](#), 9 (2018) 3820; Ishizuka, [Kimura et al. Chem. Mater.](#), 28 (2016) 8732; Ishizuka, [Kimura et al. J. Cryst. Growth](#), 450 (2016) 168; Ishizuka, [Kimura et al. Astrophys. J.](#), 803 (2015) 88]
- ・前駆体の粒子サイズと冷却速度に依存した新しい結晶化モデルを提唱 [[Tanaka, Kimura, Phys. Chem. Chem. Phys.](#), 21 (2019) 2410]

⇒気相からの核生成を支配するキープファクターはナノ粒子の融点降下と付着確率（ダイマーの形成）

このように、ナノ領域の物性を考慮することで、核生成実験と MD 計算の結果は**半現象論的核生成モデルと良く一致することが確認でき、簡単なスケーリング則も見出した**。このスケーリング則により、さまざまな温度・圧力環境における水の核生成率を予言できる。ここにナノ領域の物性を取り入れた核生成モデルを構築した結果、前駆体の過冷却液滴のサイズと冷却速度が最終的な生成物の結晶性を決めることを示した[[Tanaka, Kimura, Phys. Chem. Chem. Phys.](#), 21 (2019) 2410]。本成果を査読付き論文として報告したことで、**第二の目的である核生成のモデル構築まで達成した**。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計45件（うち査読付論文 41件 / うち国際共著 13件 / うちオープンアクセス 8件）

1. 著者名 Yamazaki Tomoya, Van Driessche Alexander E. S., Kimura Yuki	4. 巻 16
2. 論文標題 High mobility of lattice molecules and defects during the early stage of protein crystallization	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 1955 ~ 1960
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C9SM02382H	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 Niinomi Hiromasa, Yamazaki Tomoya, Nada Hiroki, Hama Tetsuya, Kouchi Akira, Okada Junpei T., Nozawa Jun, Uda Satoshi, Kimura Yuki	4. 巻 11
2. 論文標題 High-Density Liquid Water at a Water-Ice Interface	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 6779 ~ 6784
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c01907	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 Nakajima Kichitaro, Yamazaki Tomoya, Kimura Yuki, So Masatomo, Goto Yuji, Ogi Hirotsugu	4. 巻 11
2. 論文標題 Time-Resolved Observation of Evolution of Amyloid- Oligomer with Temporary Salt Crystals	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry Letters	6. 最初と最後の頁 6176 ~ 6184
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcllett.0c01487	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 Kawano Jun, Toyofuku Takashi, Nishimura Kaede, Ueda Akiyuki, Nagai Yukiko, Kawada Sachiko, Teng Henry, Nagai Takaya	4. 巻 19
2. 論文標題 Direct Two-Dimensional Time Series Observation of pH Distribution around Dissolving Calcium Carbonate Crystals in Aqueous Solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 4212 ~ 4217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.9b00045	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 TANAKA Junya, KAWANO Jun, NAGAI Takaya, TENG Henry	4. 巻 114
2. 論文標題 Transformation process of amorphous magnesium carbonate in aqueous solution	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Mineralogical and Petrological Sciences	6. 最初と最後の頁 105 ~ 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2465/jmps.181119b	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 Tanaka Kyoko K., Kimura Yuki	4. 巻 21
2. 論文標題 Theoretical analysis of crystallization by homogeneous nucleation of water droplets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 2410 ~ 2418
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C8CP06650G	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 Ishizuka Shinnosuke, Kimura Yuki, Kawano Jun, Escibano Rafael, Yamazaki Tomoya, Hama Tetsuya, Sato Rikako	4. 巻 122
2. 論文標題 Immiscibility of Nucleating Aluminum Oxide Nanoparticles in Vapor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 The Journal of Physical Chemistry C	6. 最初と最後の頁 25092 ~ 25101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.jpcc.8b08355	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 Ishizuka Shinnosuke, Kimura Yuki, Sakon Itsuki, Kimura Hiroshi, Yamazaki Tomoya, Takeuchi Shinsuke, Inatomi Yuko	4. 巻 9
2. 論文標題 Sounding-rocket microgravity experiments on alumina dust	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 3820 (6p)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-018-06359-y	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 Yuki Kimura, Shinnosuke Ishizuka, Saso; Sturm, Kyoko K. Tanaka, Tomoya Yamazaki, Fumiaki Saito, Yosuke Satoh, Katsuo Tsukamoto, Yuko Inatomi	4. 巻 35
2. 論文標題 Nucleation Processes of Cosmic Dust Investigated by Microgravity Experiments using an Airplane	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 International Journal of Microgravity Science and Application	6. 最初と最後の頁 350305 (7p)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.15011//jasma.35.350305	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 Ishizuka Shinnosuke, Kimura Yuki, Yokoi Satoki, Yamazaki Tomoya, Sato Rikako, Hama Tetsuya	4. 巻 9
2. 論文標題 Self-assembly of MoO ₃ needles in gas current for cubic formation pathway	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 10109 ~ 10116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/c7nr02613g	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 Satoh Hisao, Kimura Yuki, Furukawa Erika	4. 巻 57
2. 論文標題 Direct Transmission Electron Microscopy Visualization of the Cement Reaction by Colloidal Aggregation of Fumed Silica	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Industrial & Engineering Chemistry Research	6. 最初と最後の頁 79 ~ 83
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.iecr.7b04137	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 Yokoyama Kaori, Kimura Yuki, Kaito Chihiro	4. 巻 1
2. 論文標題 Experiments on Condensation of Calcium Sulfide Grains To Demarcate Environments for the Formation of Enstatite Chondrites	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 ACS Earth and Space Chemistry	6. 最初と最後の頁 601 ~ 607
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acsearthspacechem.7b00076	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 Tanaka K. K., Diemand J., Tanaka H., Angelil R.	4. 巻 96
2. 論文標題 Analyzing multistep homogeneous nucleation in vapor-to-solid transitions using molecular dynamics simulations	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 022804(9pp)
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.96.022804	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 Yamazaki Tomoya, Kimura Yuki, Vekilov Peter G., Furukawa Erika, Shirai Manabu, Matsumoto Hiroaki, Van Driessche Alexander E. S., Tsukamoto Katsuo	4. 巻 114
2. 論文標題 Two types of amorphous protein particles facilitate crystal nucleation	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of the National Academy of Sciences	6. 最初と最後の頁 2154 ~ 2159
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1073/pnas.1606948114	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 Kimura Yuki, Tanaka Kyoko K., Nozawa Takaya, Takeuchi Shinsuke, Inatomi Yuko	4. 巻 3
2. 論文標題 Pure iron grains are rare in the universe	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Science Advances	6. 最初と最後の頁 e1601992
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1126/sciadv.1601992	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 Ishizuka Shinnosuke, Kimura Yuki, Yamazaki Tomoya, Hama Tetsuya, Watanabe Naoki, Kouchi Akira	4. 巻 28
2. 論文標題 Two-Step Process in Homogeneous Nucleation of Alumina in Supersaturated Vapor	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Chemistry of Materials	6. 最初と最後の頁 8732 ~ 8741
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.chemmater.6b04061	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 Ishizuka Shinnosuke, Kimura Yuki, Yamazaki Tomoya	4. 巻 450
2. 論文標題 In situ FT-IR study on the homogeneous nucleation of nanoparticles of titanium oxides from highly supersaturated vapor	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Journal of Crystal Growth	6. 最初と最後の頁 168 ~ 173
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.jcrysgro.2016.06.036	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 Kimura Yuki, Murayama Kenta, Yamazaki Tomoya, Maki Takao	4. 巻 62
2. 論文標題 Assembling interferometers and in-situ observation of ambient environments and solid-liquid interfaces	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Progress in Crystal Growth and Characterization of Materials	6. 最初と最後の頁 400 ~ 403
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.pcrysgrow.2016.04.022	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 Angelil R., Diemand J., Tanaka K. K., Tanaka H.	4. 巻 143
2. 論文標題 Homogeneous SPC/E water nucleation in large molecular dynamics simulations	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Journal of Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 064507 ~ 064507
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4928055	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 Tanaka Kyoko K., Tanaka Hidekazu, Angelil Raymond, Diemand J?rg	4. 巻 92
2. 論文標題 Simple improvements to classical bubble nucleation models	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Physical Review E	6. 最初と最後の頁 22804
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevE.92.022401	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 Sakon Itsuki, Sako Shigeyuki, Onaka Takashi, Nozawa Takaya, Kimura Yuki, Fujiyoshi Takuya, Shimonishi Takashi, Usui Fumihiko, Takahashi Hidenori, Ohsawa Ryou, Arai Akira, Uemura Makoto, Nagayama Takahiro, Koo Bon-Chul, Kozasa Takashi	4. 巻 817
2. 論文標題 CONCURRENT FORMATION OF CARBON AND SILICATE DUST IN NOVA V1280 SCO	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 145 ~ 145
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3847/0004-637X/817/2/145	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 Kawano Jun, Maeda Satoshi, Nagai Takaya	4. 巻 18
2. 論文標題 The effect of Mg ²⁺ incorporation on the structure of calcium carbonate clusters: investigation by the anharmonic downward distortion following method	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physical Chemistry Chemical Physics	6. 最初と最後の頁 2690 ~ 2698
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C5CP05139H	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 Ishizuka Shinnosuke, Kimura Yuki, Sakon Itsuki	4. 巻 803
2. 論文標題 IN SITU INFRARED MEASUREMENTS OF FREE-FLYING SILICATE DURING CONDENSATION IN THE LABORATORY	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 The Astrophysical Journal	6. 最初と最後の頁 88 ~ 88
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/0004-637X/803/2/88	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 KAWANO Jun, OKUYAMA Muneyuki, MIYATA Takeshi	4. 巻 14
2. 論文標題 Molecular Dynamics Simulation of the Behavior of Beryllium Diffusion in Corundum	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 Journal of Computer Chemistry, Japan	6. 最初と最後の頁 111 ~ 116
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.2477/jccj.2015-0016	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131件（うち招待講演 28件 / うち国際学会 43件）

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 Nucleation processes of cosmic dust by experiments in space
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村勇氣
2. 発表標題 均質核生成実験による宇宙塵の生成過程の解明
3. 学会等名 第48回結晶成長国内会議 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tomoya Yamazaki, Yuki Kimura
2. 発表標題 In situ observation of crystallization of a salt using an antisolvent by transmission electron microscopy
3. 学会等名 The 19th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中今日子、木村勇氣
2. 発表標題 水滴の結晶化理論モデル
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 Sounding rocket; a tool for understanding DUST formation under microgravity environment
3. 学会等名 Cosmic Lab (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 Application of liquid TEM to various crystallization
3. 学会等名 International Symposium & School on Crystal Growth Fundamentals (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 Nanoscale behavior of prenucleation clusters observed by in-situ liquid TEM
3. 学会等名 第47回結晶成長国内会議 (JCCG-47) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村勇気
2. 発表標題 セメント硬化過程における結晶化の透過型電子顕微鏡“その場”観察
3. 学会等名 第47回結晶成長国内会議 (JCCG-47) (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 勇気
2. 発表標題 その場観察から迫るセラミックスナノ粒子の核生成過程
3. 学会等名 公益社団法人日本セラミックス協会 第31回秋季シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 Low-temperature formation of silicate and oxide nano-dust
3. 学会等名 IAU Focus Meeting FM10: Nano Dust in Space and Astrophysics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 木村 勇気
2. 発表標題 液中TEMによる結晶化初期過程の“その場”観察
3. 学会等名 日本表面真空学会 関西支部 合同セミナー2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 川野 潤
2. 発表標題 無機環境下における炭酸カルシウムの結晶成長をバイオミネラリゼーションにどのように結びつけるか？
3. 学会等名 第13回バイオミネラリゼーションワークショップ/東京大学大気海洋研究所シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K. K. Tanaka, Y. Kimura, J. Diemand, H. Tanaka, and R. Angelil
2. 発表標題 Dust Foramtioin from Vapor through Multistep Nuceation in Astrophysical Environments
3. 学会等名 International Astronomical Union 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Kimura
2. 発表標題 Direct TEM observation of nucleation processes in a solution
3. 学会等名 Mathematical Aspects of Surface and Interface Dynamics 14 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kimura, T. Yamazaki
2. 発表標題 In-situ observation of nucleation processes in solution by TEM
3. 学会等名 13th Multinational Congress on Microscopy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 木村勇氣
2. 発表標題 結晶の核生成ルートはどのように決まるのか？
3. 学会等名 第40回 結晶成長討論会 (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kimura
2. 発表標題 What determines a nucleation pathway?
3. 学会等名 The 21st American Conference on Crystal Growth and Epitaxy (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 K. K. Tanaka
2. 発表標題 Nucleation processes revealed by large-scale molecular dynamics simulations, Plenary speaker
3. 学会等名 The 20th International Conference on Nucleation and Atmospheric Aerosols (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Y. Kimura
2. 発表標題 Sample recovery of microgravity experiments using sounding rockets opens up new sciences
3. 学会等名 JpGU-AGU Joint Meeting 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Ishizuka, Y. Kimura
2. 発表標題 Time and spatial resolved IR spectroscopy for refractory nanoparticle formation in vapor
3. 学会等名 Meeting on DIPPS (Dust and Ice Particles Spectroscopy and Scattering) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Kimura
2 . 発表標題 Early stages of grain formation studied by microgravity experiments
3 . 学会等名 24th Congress and General Assembly of the International Union of Crystallography (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Kimura
2 . 発表標題 Formation processes of nano-minerals via nucleation in vapor
3 . 学会等名 Goldschmidt 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Kimura, S. Ishizuka, I. Sakon, T. Yamazaki, K. K. Tanaka, S. Takeuchi, Y. Inatomi
2 . 発表標題 Microgravity Experiments to Understand Cosmic Dust Formation in the Gas Outflow from Oxygen-Rich Stars
3 . 学会等名 31st International Symposium on Space Technology and Science (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1 . 発表者名 Y. Kimura, T. Yamazaki, T. Maki, Y. Furukawa
2 . 発表標題 In-situ observations of sublimation processes of snow crystals
3 . 学会等名 Japan Geoscience Union - American Geophysical Union Joint Meeting 2017 (国際学会)
4 . 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yamazaki, Y. Kimura
2. 発表標題 Dynamical study of initial stage of lysozyme protein crystallization by liquid-cell transmission electron microscopy
3. 学会等名 Japan Geoscience Union - American Geophysical Union Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Sato, Y. Kimura, T. Yamazaki, E. Furukawa
2. 発表標題 Direct TEM observation of pozzolanic reaction of silica fume in Ca(OH) ₂ solution
3. 学会等名 Japan Geoscience Union - American Geophysical Union Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 S. Ishizuka, Y. Kimura, E. Sato, T. Yamazaki, T. Hama
2. 発表標題 rystallographically Favored Attachment of Just-Nucleated MoO ₃ Nanoparticles in Gas Current
3. 学会等名 Japan Geoscience Union - American Geophysical Union Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 川野潤、西村楓、豊福高志、長井裕季子、河田佐知子、Henry Teng、永井隆哉
2. 発表標題 溶解する炭酸カルシウム近傍におけるpH変化の2次元イメージング
3. 学会等名 Japan Geoscience Union - American Geophysical Union Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Teng, J. Kawano
2. 発表標題 Cellular Dissolution at Hypha- and Spore-Mineral Interface during Fungal Weathering
3. 学会等名 Japan Geoscience Union - American Geophysical Union Joint Meeting 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中今日子
2. 発表標題 核生成過程の大規模分子動力学シミュレーション
3. 学会等名 「自然科学における階層と全体」シンポジウム (招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 田中今日子
2. 発表標題 大規模分子動力学シミュレーションによる古典核生成理論の検証と改良
3. 学会等名 計算機センター特別研究プロジェクト 『結晶成長の数理』第11回研究会 核生成再考 ~ 古典核生成理論を越えて ~ (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 木村勇氣
2. 発表標題 核生成の理解に向けた結晶化初期過程の"その場"観察実験
3. 学会等名 計算機センター特別研究プロジェクト 『結晶成長の数理』第11回研究会 核生成再考 ~ 古典核生成理論を越えて ~ (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 田中今日子, 田中秀和, Juerg Diemand, Raymond Angelil
2. 発表標題 大規模分子動力学シミュレーションによる気泡の核生成過程および古典的理論の改良
3. 学会等名 プラズマシミュレーションポジウム2016 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kimura, Tomoya Yamazaki
2. 発表標題 In-situ TEM Observation Reveals Early Stages of Crystallization Governed by Singular Phenomena of Nanoparticles
3. 学会等名 The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 S. Ishizuka, Y. Kimura, T. Yamazaki, I. Sakon, Y. Inatomi
2. 発表標題 In-situ IR measurement of homogeneous nucleation of alumina from supersaturated vapor on ground and under uG
3. 学会等名 The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 J. Kawano, S. Maeda, T. Nagai
2. 発表標題 Computational Investigation of the Onset of Nucleation by Anharmonic Downward Distortion Following Method
3. 学会等名 The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 T. Yamazaki, K. Tsukamoto, I. Yoshizaki, S. Fukuyama, H. Miura, T. Shimaoka, T. Maki, K. Oshi, Y. Kimura
2. 発表標題 In-situ Observation Techniques for Studying the Protein Crystal Growth in Space
3. 学会等名 The 18th International Conference on Crystal Growth and Epitaxy (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 In-situ observation studies of nucleation and dissolution processes
3. 学会等名 The 16th International Summer School on Crystal Growth (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 Advanced TEM studies give us new perspectives in water-mineral reactions
3. 学会等名 International Workshop on Water-mineral Interactions (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K. K. Tanaka, H. Tanaka, J. Diemand, R. Angelil
2. 発表標題 Droplet Nucleation and Crystallization in Large-Scale Molecular Dynamics Simulation
3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 J. Kawano, S. Maeda, T. Nagai
2. 発表標題 Investigation of the effect of Mg ²⁺ incorporation on the structure of CaCO ₃ clusters by the anharmonic downward distortion following method
3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kimura, Tomoya Yamazaki
2. 発表標題 Elucidating the early stages of protein crystallization by TEM
3. 学会等名 Goldschmidt Conference 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 Nucleation of interstellar dust
3. 学会等名 International School of Crystallography for Space Sciences (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 K. K. Tanaka, M. Nagasawa, H. Tanaka, T. Nakamoto, H. Nomura, H. Miura, and T. Yamamoto
2. 発表標題 Shock heating of dusts and icy planetesimals and recondensation of icy grains
3. 学会等名 Goldschmidt 2015 (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Nomura, D. Ishimoto, M. Nagasawa, K. K. Tanaka, H. Miura, T. Nakamoto, H. Tanaka, & T. Yamamoto
2. 発表標題 Diagnosing evaporation of icy planetesimals in protoplanetary disks
3. 学会等名 IAU General Assembly (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 H. Tanaka, K. K. Tanaka, R. Angelil, J. Diemand
2. 発表標題 Homogeneous SPC/E Water Nucleation in Large Molecular Dynamics Simulations
3. 学会等名 ILTS International Symposium on Low Temperature Science (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 木村 勇気
2. 発表標題 透過電子顕微鏡を用いた溶液からの核生成の“その場”観察
3. 学会等名 日本物理学会 第71回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 Nucleation experiment to understand formation of cosmic dust
3. 学会等名 Astrophysical Ices in the Lab (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Yuki Kimura, Kyoko K. Tanaka, Kouchi Akira, Naoki Watanabe, Shunichi Nakatsubo, Shinnosuke Ishizuka, Yuko Inatomi
2. 発表標題 Nucleation from a supersaturated vapor
3. 学会等名 ILTS International Symposium on Low Temperature Science (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 木村勇気
2. 発表標題 均質核生成実験で探る宇宙ダストの形成過程
3. 学会等名 第45回結晶成長国内会議 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 木村勇気
2. 発表標題 透過電子顕微鏡による“その場”観察実験から探る核生成
3. 学会等名 第39回結晶成長討論会 (招待講演)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Yuki Kimura
2. 発表標題 Gravity Effects on the Formation of Ultrafine Particles by the Gas Evaporation Method
3. 学会等名 The Joint Conference of 6th International Symposium on Physical Science in Space (ISPS-6) and 10th International Conference on Two-Phase Systems for Space and Ground Applications (ITTW2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Shinnosuke Ishizuka, Yuki Kimura
2. 発表標題 In-Situ IR Measurement of Oxide Nanoparticles Condensation Experiment for the Investigation of Astronomical Dust formation
3. 学会等名 The Joint Conference of 6th International Symposium on Physical Science in Space (ISPS-6) and 10th International Conference on Two-Phase Systems for Space and Ground Applications (ITTW2015) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 T. Yamazaki, M. Shirai, H. Matsumoto, Y. Kimura
2. 発表標題 Transmission Electron Microscopy of Crystallization of Lysozyme in a Solution
3. 学会等名 Microscopy & Microanalysis (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kawano, J.
2. 発表標題 Consideration on the controlling factor of the metastable formation of CaCO ₃ polymorphs
3. 学会等名 American Chemical Society the 251st National Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kawano, J., Motai, S., Miyake, A. and Nagai, T.
2. 発表標題 TEM observation of inorganic and biologically formed calcium carbonate crystals
3. 学会等名 Japan-Slovenia Bilateral Symposium of Transmission Electron Microscopy (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 Kawano, J.
2. 発表標題 Formation Process of Calcium Carbonate Polymorphs from Aqueous Solution
3. 学会等名 Japan-Slovenia Bilateral Meeting (国際学会)
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 Y. Kimura, K. Tsukamoto	4. 発行年 2017年
2. 出版社 Springer	5. 総ページ数 13
3. 書名 New perspectives on mineral nucleation and growth: From solution precursors to solid materials	

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>水の凝縮核生成過程の映像化 https://www.youtube.com/watch?v=QI4TRR-bntI 本基盤研究(S)の研究内容を紹介したwebsiteを公開 http://www.lowtem.hokudai.ac.jp/astro/ykimura/projects.html PNASのハイライト論文として紹介 http://www.pnas.org/content/pnas/114/9/2091.full.pdf 北海道大学 プレスリリース タンパク質結晶ができる瞬間をナノスケールで観察 http://www.hokudai.ac.jp/news/170214_pr.pdf 微小重力環境を利用した星の"かけら"の再現実験 鉄の存在形態の通説を否定, 鉄はどこに!? http://www.hokudai.ac.jp/news/170119_pr.pdf 北海道大学 プレスリリース 水の凝縮核生成の大規模分子動力学シミュレーション http://www.hokudai.ac.jp/news/150819_lowtem_pr.pdf 核生成- from water vapor to droplet-(日本語) https://www.youtube.com/watch?v=QI4TRR-bntI&nohtml5=False Nucleation -from water vapor to droplet -(English) https://www.youtube.com/watch?v=jq8pCThPljo&nohtml5=False 北海道大学 プレスリリース 観測ロケット S-520-30 号機打ち上げ成功 http://www.hokudai.ac.jp/news/150914_lowtem_pr.pdf 川野研究室ホームページ http://www.kawano-lab.com/</p>
--

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	川野 潤 (Kawano Jun) (40378550)	北海道大学・理学研究院・准教授 (10101)	

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	田中 今日子 (Tanaka Kyoko) (70377993)	東北大学・理学研究科・客員研究者 (11301)	

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			
フランス	ドゥラテール科学研究所	フランス国立科学研究センター		
ドイツ	地球物理・地球外物理研究所			
スペイン	Instituto de Estructura de la Materia			
アメリカ	NASA Goddard Space Flight Center	Catholic University of America	The George Washington University	
スロベニア	ヨーゼフステファン研究所			
ベルギー	Vrije Universiteit Brussel			