

令和 2 年 6 月 22 日現在

機関番号：15501

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2017～2019

課題番号：17K14112

研究課題名(和文)水熱環境での結晶成長をステップレベルで直接見る

研究課題名(英文) Direct observation of crystal growth under hydrothermal condition at the step level

研究代表者

麻川 明俊 (Asakawa, Harutoshi)

山口大学・大学院創成科学研究科・助教

研究者番号：90757337

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)：本研究では新圧電材料のノルセサイトを用水熱合成の結晶成長機構の確立を目指す。まず水熱合成その場観察チャンバーを作製した。大気圧下でのノルセサイトの溶解では二段階でpH変化することを発見した。ノルセサイトはウィゼライトから見かけ上溶液媒介相転移により生成するが、ノルセサイトはウィゼライトより熱力学的に不安定で、本質的に共沈により生成することがわかった。一方、水熱条件ではノルセサイトはウィゼライトよりも安定で、その場観察より水熱条件でノルセサイトが溶液媒介相転移より生成することを明らかにした。更に、ノルセサイトの育成に水熱条件での溶液媒介相転移の利用や硝酸アンモニウムの添加が有用と分かった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

水熱合成は多様な材料の合成や鉱床の形成機構と密接に関連があり、結晶成長学、材料化学、無機化学、セラミクス、地球科学など多岐の分野で用いられている。そのため、確立された成長機構は学術的に大きな寄与をもたらす。本成果を応用すれば育成条件の最適化時間を大幅に短縮できるため、本成果は学理の観点だけでなく工業的にも有用である。従来、圧電結晶は融液法により育成されてきたが、本成果により水熱合成が更に普及すれば、1000℃以上低い温度で材料を育成でき、省エネにも貢献する。更に、本成果は二酸化炭素の固定にも有効で、効率よく二酸化炭素を低減でき、温暖化問題にも貢献する。

研究成果の概要(英文)：We attempted to establish the crystal growth mechanism of the hydrothermal treatment, using the norsethite of new piezoelectric material. We produced the chamber for the in-situ observation of the hydrothermal treatment. We found the two-step changes in pH during the dissolution of the norsethite at atmospheric pressure. Also, norsethite crystals were, apparently, formed by the solution-mediated transformation. However, we revealed that the norsethite exhibits the thermodynamic stability lower than the witherite, and intrinsically appears by the co-precipitation. In contrast, under hydrothermal conditions the norsethite is more stable than the witherite, and we succeeded in directly observing the solution-mediated transformation of norethite crystals under hydrothermal conditions. We demonstrated that, for the growth of norethite crystals, the utilization of the solution-mediated transformation under hydrothermal conditions and the addition of the ammonium nitrate are efficient.

研究分野：結晶成長学

キーワード：水熱合成 その場観察 ノルセサイト 溶液媒介相転移 結晶成長 圧電材料

様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

高温・高圧水(水熱)下で有用結晶材料を合成する水熱合成法を用いると、難溶性結晶でさえも劇的に溶解させることができ、結晶化も加速できると言われている。更に、融液からの結晶成長法や焼結法と比べ、省エネルギーの育成法である。水熱合成はオートクレーブと呼ばれる密閉容器を用いるため、オートクレーブ内部の直接観察は耐圧・耐熱を目的とした装置の構造上容易ではない。実際に、高温・高圧下(100℃程度、~25 気圧)でのその場観察の研究例は僅か 3 例程度と少なく(Ohmoto *et al.* Nature 1991/1993、佐藤 高圧力の科学と技術 2011)、これらの観察条件も制限されている。そのため、水熱条件下での結晶成長はブラックボックス化しており、材料を合成する上で、最適な条件を求めるには長時間を要する状況であり、これが水熱合成の研究の障害になっていた。

本研究では水熱合成時にその場観察を行い、水熱条件下での結晶成長をステップレベルで理解することで、流体含有物の生成や転晶化をその場制御できると発想した。研究代表者はこれまで、レーザー共焦点微分干渉顕微鏡(北大低温研保有)を用い、水蒸気から成長する氷結晶の結晶成長を解明するため、氷表面上のステップのその場観察を行った(2012-2014)。更に、その場観察装置を水熱に応用し、高圧部品メーカーと共同で検討してきた(2015)。これらの経験より、本提案ではノルセサイト結晶 $\text{BaMg}(\text{CO}_3)_2$ を用い、ステップレベルでのその場観察に挑戦し、水熱合成の結晶成長の解明をめざす。

ノルセサイトは高い圧電性を持つ新材料として期待されるため、確立されるその場育成法により大型の圧電単結晶を育成できれば、光学用途に使用でき、音響素子(AO 素子)または遅延線素子等への応用が可能となる。本提案では、水熱合成のその場制御によりノルセサイト結晶の育成にも取り組む。

2. 研究の目的

本提案では1)水熱合成のその場観察システムの確立、2)新圧電材料のノルセサイト $\text{BaMg}(\text{CO}_3)_2$ の大型化、3)マイクロから一分子高さ(ステップ)レベルでの水熱条件下での結晶成長の解明に挑戦した。

3. 研究の方法

(1) 水熱合成その場観察チャンバーの作製: ポンプを用いた循環型の水熱条件下でその場観察できるチャンバーを作製する。また、数種類の窓材を水熱炉の中に浸水させ、水熱条件下での圧力耐性、耐アルカリ性を検討した。実際にレーザー共焦点微分干渉顕微鏡を用い、実際の結晶の表面観察より窓材の有用性を検討した。

(2) 反射型/透過型干渉計-微分干渉顕微鏡の開発: 北大への出張実験だけでなく、実験室においても効率よく水熱条件下での結晶成長を調べる必要がある。そこで、ナノメートル高さレベルでのその場観察するべく、反射型/透過型干渉計と微分干渉計を同時に利用できる顕微鏡の開発を試みた。かさ高いチャンバー内を観察するため長作動化、高倍化が開発の鍵となる。

(3) 大気圧下でのノルセサイトの溶解度計測: 予め作製した粉末のノルセサイトを各温度の純水に溶解し、飽和溶液を作製した。溶解平衡の確認は pH の経時変化より行った。得られた飽和溶液中の Ba^{2+} と Mg^{2+} 濃度を ICP 発光分光分析により測定し、 CO_3^{2-} の濃度は IR 測定を応用した全有機炭素測定より計測した。

(4) 大気圧下でのノルセサイトの生成機構: 様々な濃度の塩化バリウム、塩化マグネシウム、炭酸水素ナトリウム水溶液を順番に混ぜた時に生成する沈殿物の経時変化を *ex-situ* で光学顕微鏡観察と XRD 測定した。ノルセサイト $\text{BaMg}(\text{CO}_3)_2$ と混合後に生成するウイゼライト BaCO_3 の誘導期を計測し、Gutzow と Toshev の理論(Gutzow and Toshev, Kristall und Technik 3, 485 (1968))を用い、ノルセサイトの結晶化の特徴を調べた。

(5) 水熱条件下でのノルセサイトの溶解度計測: ポンプによりチャンバー内から溶出した液が一定の pH になるまで待ち、水熱条件下でのノルセサイトとウイゼライト BaCO_3 の得られた飽和溶液の各イオン濃度を ICP 発光分光測定と全有機炭素測定より *ex-situ* で計測した。飽和溶液中の Ba^{2+} 、 Mg^{2+} 、 CO_3^{2-} 濃度を計測より水熱条件下でのノルセサイトとウイゼライト BaCO_3 の溶解度積を求めた。パラメータの温度依存性を考慮した van't Hoff プロットより、ノルセサイトとウイゼライト BaCO_3 の水熱条件下での熱力学的安定性について調べた。

(6) 水熱条件下でのノルセサイトの結晶成長のその場観察: ウイゼライトの微結晶や市販の単結晶をチャンバー内に静置し、過飽和条件下でノルセサイトの生成を偏光顕微鏡でその場観察した。

(7) 硝酸アンモニウムを用いたノルセサイトの育成: 硝酸アンモニウムの添加によりノルセサイトの溶解度を改善し、ノルセサイトの大型化を検討した。

(8) 水熱条件下でのステップレベルのその場観察: レーザー共焦点微分干渉顕微鏡を用い、水熱条件下でのノルセサイトのステップ観察に挑戦した。

4. 研究成果

(1) 水熱合成その場観察チャンバーの作製: 3MPa で生成した塩化マグネシウムを用い、レーザー共焦点微分干渉計顕微鏡によりステップの前進の観察に成功した。また、微量イオン溶液の解析のための装置の洗浄法も確立した。

(2) 反射型/透過型干渉計-微分干渉顕微鏡の開発: 本研究では顕微鏡の土台からレンズやカメラ等の光学系まで抜本的に見直した。4 つの民間財団の支援より作動距離が 15mm 以上であるが高倍率(20 倍~50 倍)で観察できる反射型/透過型干渉計と微分干渉顕微鏡を組み合わせた顕微鏡を完成させた。

(3) 大気圧下でのノルセサイトの溶解度計測：ノルセサイトは溶解すると、pH が増加し、5～20 分後にノルセサイトの溶解平衡に達した。上澄みの飽和溶液から平衡時のノルセサイトの溶解度積を計測した。20 分後、pH が緩やかに減少し、その際 XRD 測定によりウィゼライトが生成することが分かった。このように、ノルセサイトの溶解では二段階で pH 変化を伴った (図 1)。通常、溶液媒介相転移によりウィゼライトからノルセサイトが生成するため、熱力学的に矛盾のない説明が困難である。このように我々はノルセサイトの新たな複雑さを発見した。

(4) 大気圧下でのノルセサイトの生成機構：速度論の観点からノルセサイトは見かけ上ウィゼライトから溶液媒介相転移により生成することが明らかになった。速度論と熱力学の間に生じる不一致を理解するため、今後 $\text{Ba}^{2+}/\text{Mg}^{2+}$ の組成比の経時変化がノルセサイトの生成に及ぼす影響 (相図) を調べる。

(5) 水熱条件下でのノルセサイトの溶解度計測：水熱条件下でのノルセサイトとウィゼライトの溶解度積は大気圧下に比べ 5 乗も低く、水熱条件下の方が結晶化しやすいということが明らかになった。求めた溶解エンタルピー ΔH と溶解エントロピー ΔS の正負を反転させ、理想溶液中に 1mol の各イオンが結晶化した時の駆動力を計算した (図 2)。その結果、大気圧下ではウィゼライトがノルセサイトよりも安定で、ノルセサイトは共沈より生成するとわかった。一方、水熱条件下ではノルセサイトとウィゼライトのエンタルピーが逆転し、ノルセサイトは熱力学的に安定になった。このように、我々はノルセサイトの結晶化において圧力は熱力学的な安定性を支配するというところを見出した。

(6) 水熱条件下でのノルセサイトの結晶成長のその場観察：我々は水熱条件下ではノルセサイトがウィゼライトから溶液媒介相転移する様子を直接明らかにした (図 3)。更に、単結晶のウィゼライト上でノルセサイトはエピタキシャル成長しながら溶液媒介相転移することも見出した。水熱条件での面成長速度 (均一核生成：15nm/min；不均一核生成：60nm/min) は大気圧下 70°C (0.4nm/min) に比べ 10～100 倍速かった。一方、ノルセサイトの溶液成長の面成長速度は 2nm/min と極めて小さかった。これらよりノルセサイトの効率よい大型化のためには、水熱条件下での溶液媒介相転移の利用が必須ということを見出した。

(7) 硝酸アンモニウムを用いたノルセサイトの育成：大気圧下では硝酸アンモニウム 1mol 添加より室温の溶解度が 30 倍向上し、90°C では溶解度は逆に 10 分の 1 倍小さくなった。そして、1 か月間硝酸アンモニウム入りの過飽和溶液を 90°C で育成すると 100 μm のノルセサイトを簡単に合成できた。更に、3MPa 150°C の水熱条件では、添加無の大気圧下に比べ、面成長速度が 50～100 倍大きくなり (50 nm/min)、数日程度で 100 μm の結晶を合成できるとわかった。

(8) 水熱条件下でのステップレベルのその場観察：ノルセサイトの結晶化機構は当初の想定以上に複雑で制御困難であるため、観察に必要な 100 μm の観察結晶を期間内に十分な時間を残して用意できなかった。そこで、市販されている数 cm のカルサイト CaCO_3 (同じ炭酸塩) を用い、ステップレベルで水熱条件下での溶解過程のその場観察に挑戦した。その結果、8MPa、180°C の水熱条件下で 1.7 $\mu\text{m}/\text{min}$ でステップが後退する様子を観察することに成功した。炭酸塩のステップレベルでのその場観察について引き続き取り組む。

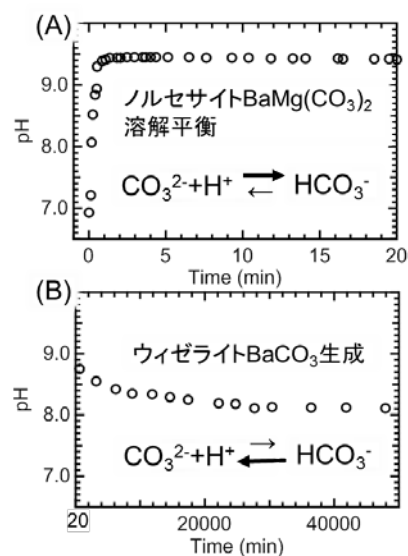


図 1 ノルセサイトの溶解時の pH の 2 段階変化 (1 例として 70°C)

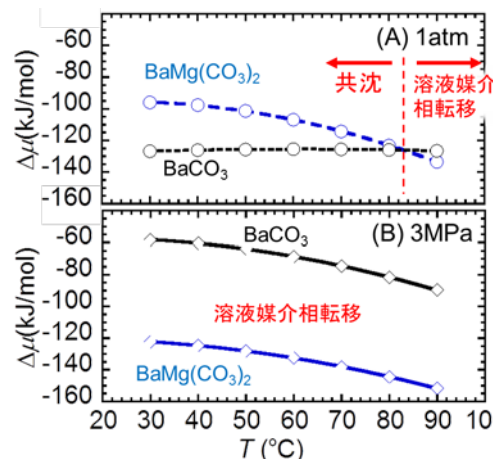


図 2 大気下(A)と水熱下(B)でのノルセサイトとウィゼライトの熱力学的安定性

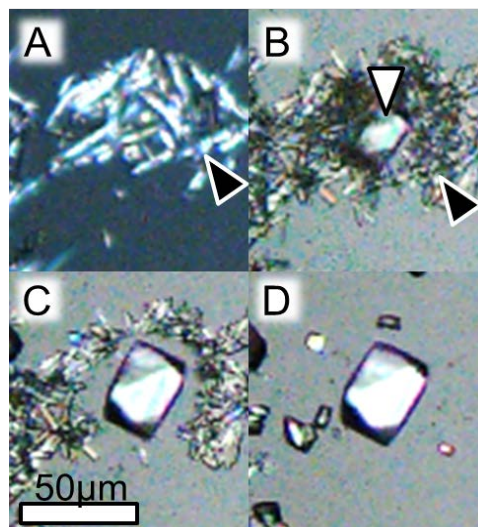


図 3 水熱条件下 (3MPa) でのノルセサイトの結晶成長のその場観察 (偏光顕微鏡). (A): 室温; (B): 145°C; (C): 150°C; (D): 150°C (5°C/min で昇温、150°C に達して 10 分後). 白矢印頭: ノルセサイト、黒矢印頭: ウィゼライト.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計7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 麻川 明俊*, 佐崎 元, 長嶋 剣, 中坪 俊一, 古川 義純	4. 巻 26
2. 論文標題 高分解能光学顕微鏡を駆使して氷の表面融解の本質に迫る	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan : セッコウ・石灰・セメント・地球環境の科学	6. 最初と最後の頁 99-104
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 -
1. 著者名 Inomata Masahiro, Murata Ken-ichiro, Asakawa Harutoshi, Nagashima Ken, Nakatsubo Shunichi, Furukawa Yoshinori, Sazaki Gen	4. 巻 18
2. 論文標題 Temperature Dependence of the Growth Kinetics of Elementary Spiral Steps on Ice Basal Faces Grown from Water Vapor	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 786 - 793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.7b01251	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 町田貴明*, 稲葉祥, 麻川明俊, 小松隆一	4. 巻 25
2. 論文標題 マイクロ引き下げ法を用いた透明ファイバー状四ホウ酸ストロンチウム結晶の育成 Growth of Transparent Fiber-Shaped Strontium Tetraborate Crystal by Micro-Pulling-Down Method	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Society of Inorganic Materials, Japan : セッコウ・石灰・セメント・地球環境の科学	6. 最初と最後の頁 4-9
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 -
1. 著者名 Sho Inaba, Takaaki Machida, Harutoshi Asakawa*, Ryuichi Komatsu	4. 巻 42
2. 論文標題 Effects of temperature gradient on growth of SrB4O7 crystals by the micro-pulling-down method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 123-126
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 -

1. 著者名 Yoshinori Furukawa, Ken Nagashima, Shun-ichi Nakatsubo, Izumi Yoshizaki, Haruka Tamaru, Taro Shimaoka, Takehiko Sone, Etsuro Yokoyama, Salvador Zepeda, Takanori Terasawa, Harutoshi Asakawa, Ken-ichiro Murata, Gen Sazaki	4. 巻 7
2. 論文標題 Oscillations and accelerations of ice crystal growth rates in microgravity in presence of antifreeze glycoprotein impurity in supercooled water	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific reports	6. 最初と最後の頁 43157
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/srep43157 (2017).	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 Harutoshi Asakawa*, Takaaki Machida, Sho Inaba, Kazuki Yamamoto, Arashi Kitakaze, Hiroshi Uneda, Ryuichi Komatsu	4. 巻 19
2. 論文標題 Growth of SrB407 crystal fibers with near stoichiometric composition by the micro-pulling-down method	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Crystal Growth & Design	6. 最初と最後の頁 6258-6265
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1021/acs.cgd.9b00732	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 Takaaki Machida*, Sho Inaba, Maki Ueda, Harutoshi Asakawa, Ryuichi Komatsu	4. 巻 42
2. 論文標題 Growth of transparent SrB407 crystal fiber by the micro-pulling-down method	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Transactions of the Materials Research Society of Japan	6. 最初と最後の頁 65-68
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 -

〔学会発表〕 計24件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 濱田悠生, 石橋良太, 麻川明俊, 小松隆一
2. 発表標題 擬似位相整合の作製を目指した μ -PD法によるSrB407ファイバー結晶の育成
3. 学会等名 2019年度日本セラミックス協会九州支部 秋季研究発表会・九州環境セラミックス討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 麻川明俊, 磯部馨, 畝田廣志, 越後至, 小松隆一
2. 発表標題 ノルセサイトの溶液媒介相転移機構の特徴
3. 学会等名 第48回結晶成長国内会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 麻川明俊, 町田貴明, 稲葉祥, 畝田廣志, 北風嵐, 小松隆一
2. 発表標題 マイクロ引き下げ法を用いたストロンチウムテトラボレートの化学量論組成近傍での育成
3. 学会等名 第48回結晶成長国内会議
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 磯部馨, 麻川明俊*, 畝田廣志, 越後至, 小松隆一
2. 発表標題 ノルセサイトBaMg(CO ₃) ₂ の核生成と溶解の温度依存性
3. 学会等名 第42回結晶成長討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越後至, 麻川明俊*, 畝田廣志, 磯部馨, 小松隆一
2. 発表標題 硝酸アンモニウム添加によるノルセサイトBaMg(CO ₃) ₂ の溶解度の改善
3. 学会等名 第42回結晶成長討論会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 麻川明俊, 畝田廣志, 越後至, 小松隆一
2. 発表標題 ノルセサイトの 溶液媒介相転移キネティクス
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越後 至, 麻川 明俊*, 畝田 廣志, 小松 隆一
2. 発表標題 ノルセサイトBaMg(CO3)2の結晶化における硝酸アンモニウム添加の効果
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2019年
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Harutoshi Asakawa, Gen Sazaki, Ken-ichiro Murata, Ken Nagashima, Shunichi Nakatsubo, Yoshinori Furukawa
2. 発表標題 New Insight of Surface Melting of Ice Crystals Revealed by High-Resolution Optical Microscopy
3. 学会等名 The 8th Annual Congress of Advanced Materials Japan 2019 (WCAM-19) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 越後至, 麻川明俊*, 畝田廣志, 小松隆一
2. 発表標題 ノルセサイトBaMg(CO3)2の結晶化に及ぼす硝酸アンモニウム添加の影響
3. 学会等名 第20回MRS-J山口大学支部研究発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 麻川明俊, 畝田廣志, 越後至, 小松隆一
2. 発表標題 ノルセサイトの溶液媒介相転移
3. 学会等名 第13回結晶成長の数理
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 麻川明俊, 畝田廣志, 越後至, 小松隆一
2. 発表標題 ルセサイトの溶液媒介相転移キネティクス
3. 学会等名 27th Annual Meeting of MRS-Japan
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畝田廣志, 麻川明俊*, 小松隆一
2. 発表標題 溶液からのノルセサイトBaMg(CO ₃) ₂ の結晶化
3. 学会等名 27th Annual Meeting of MRS-Japan
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 畝田廣志, 麻川明俊*, 越後至, 小松隆一
2. 発表標題 ノルセサイトBaMg(CO ₃) ₂ の溶解度の温度依存性
3. 学会等名 日本セラミクス協会九州支部秋季大会研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Asakawa, H. Uneda, I. Echigo, R. Komatsu
2. 発表標題 Solution-mediated transformation of norsethite crystals
3. 学会等名 ISSCGF2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 麻川明俊, 畝田廣志, 越後至, 小松隆一
2. 発表標題 エナジーダイアグラムから見るノルセサイトの溶液媒介相転移
3. 学会等名 第47回結晶成長国内会議
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 麻川明俊, 畝田廣志, 越後至, 小松隆一
2. 発表標題 ノルセサイトの水溶液成長の温度依存性
3. 学会等名 第73回日本物理学会年次大会秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Harutoshi Asakawa, Hiroshi Uneda, Itaru Echigo, Ryuichi Komatsu
2. 発表標題 Aqueous Solution Growth of Norsethite Crystals BaMg(CO ₃) ₂
3. 学会等名 日本地球惑星科学連合2018年大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Harutoshi Asakawa , Hiroshi Uneda, Ryuichi Komatsu, Arashi Kitakaze
2. 発表標題 Growth of Norsethite Crystals BaMg(CO ₃) ₂ under Atmospheric Pressure and Hydrothermal Condition
3. 学会等名 The 15th international conference on advanced materials (IUMRS-ICAM2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 麻川明俊、畝田広志、小松隆一
2. 発表標題 BaCl ₂ - MgCl ₂ - NaHCO ₃ 混合水溶液中でのノルセサイトBaMg(CO ₃) ₂ の水溶液成長
3. 学会等名 第12回結晶成長の数理
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 畝田廣志、麻川明俊*、小松隆一
2. 発表標題 水溶液から成長するノルセサイトBaMg(CO ₃) ₂ の結晶化メカニズム
3. 学会等名 第19回MRS-J山口大学支部研究発表会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 麻川明俊、畝田廣志、小松隆一
2. 発表標題 水溶液からのノルセサイトBaMg(CO ₃) ₂ の結晶化
3. 学会等名 結晶表面・界面での成長素過程のその場観察と理論
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 麻川明俊, 畝田廣志, 小松隆一
2. 発表標題 炭酸塩を用いた新規圧電結晶BaMg(CO ₃) ₂ の水溶液からの合成
3. 学会等名 圧電材料・デバイスシンポジウム2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 麻川明俊, 畝田廣志, 小松隆一
2. 発表標題 BaCl ₂ -MgCl ₂ -NaHCO ₃ 混合水溶液中でのノルセサイトBaMg(CO ₃) ₂ の溶液成長
3. 学会等名 第73回日本物理学会年次大会春季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Harutoshi Asakawa, Gen Sazaki, Ken-ichiro Murata, Ken Nagashima, Shunichi Nakatsubo, Yoshinori Furukawa
2. 発表標題 Surface Melting of Ice Crystals revealed by High-resolution Optical Microscopy
3. 学会等名 The 15th International Conference on Advanced Materials (IUMRS-ICAM2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017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
研究協力者	小松 隆一 (Komatsu Ryuichi) (20314817)	山口大学・工学部・応用化学科 (15501)	

6. 研究組織（つづき）

	氏名 (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究 協力 者	佐崎 元 (Sazaki Gen) (60261509)	北海道大学・低温科学研究所 (10101)	