

令和 6 年 6 月 14 日現在

機関番号：13901

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2020～2022

課題番号：20H02604

研究課題名(和文)自己組織化分子のスローダイナミクスが生み出す無機柔粘性結晶の開拓

研究課題名(英文)Pioneering Inorganic Soft Viscous Crystals Generated by Slow Dynamics of Self-Assembled Molecules

研究代表者

片山 尚幸 (Katayama, Naoyuki)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：50623758

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)：構成分子の重心位置に秩序を持ちながらも、配向に秩序をもたない状態は柔粘性結晶と呼ばれ、有機の分子性結晶を中心に活発に研究がなされている。本研究では、こうした柔粘性結晶に属する分子ダイナミクスを示す新しい無機材料「無機柔粘性結晶」の開発に取り組んだ。その結果、 LiVSe_2 や LiRh_2O_4 など、複数の無機柔粘性結晶候補物質の開拓に成功し、論文報告を行うことができた。また、放射光X線を用いることで、無機柔粘性結晶の揺らぎのダイナミクスらしきものを捉えることにも成功した。「無機柔粘性結晶」という新しい材料を世の中に提案するための基盤となる成果を挙げることができたと考える。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究課題で取り扱った無機柔粘性結晶とは、無機材料中において構成元素が自発的に集合して作られた分子が、配向や分布を時間依存して変化させる状態である。これは、従来の分子性材料で研究される柔粘性結晶状態とは明確に異なる状態であり、無機柔粘性結晶からは新しい電子状態や機能が創出される可能性がある。本研究では、こうした無機柔粘性結晶が普遍的に実現しうるものであることを物質開拓を通じて明らかにすることができた。

研究成果の概要(英文)：A state in which the molecules have an ordered center of gravity but not an ordered orientation is called a "soft viscous crystal," and has been actively studied mainly in the field of organic molecular crystals. In this study, we have developed a new inorganic material, "inorganic soft-viscous crystal," which exhibits molecular dynamics belonging to such soft-viscous crystals. As a result, we succeeded in developing several candidate inorganic soft-viscous crystals, such as LiVSe_2 and LiRh_2O_4 , and reported them in a paper. Using synchrotron radiation X-rays, they also succeeded in capturing what appeared to be the dynamics of fluctuations in inorganic soft-viscous crystals. We believe that we have succeeded in achieving results that will serve as the basis for proposing a new material called "inorganic soft-viscous crystals" to the world.

研究分野：固体物性

キーワード：格子ダイナミクス 放射光X線 構造解析

1. 研究開始当初の背景

結晶とは、構成分子の重心位置と、その配向方向がきちんと定まった状態のことである。結晶が融解し、重心位置と配向方向の両方が無秩序化したものを液体という。これに対して、構成分子の配向には秩序をもちながらも、重心位置に秩序がなく、流れる性質をもつものを液晶と呼び、重心位置に秩序を持ちながらも、分子の配向に秩序をもたない状態を柔粘性結晶と呼ぶ。柔粘性結晶は、回転や配向の自由度に由来する高いイオン伝導性があることから、以前より固体電解質材料として研究されてきたが、近年では回転運動のエントロピーに由来した蓄熱性や配向制御に伴う強誘電性などが注目されつつある。従来、こうした柔粘性結晶状態は有機の分子性材料が研究の中心であったが、申請者は無機の層状 LiVS_2 において、構成元素のバナジウムが自発的に分子を形成し、配向や空間分布を時間依存して変化させるダイナミクスを示すことを見出した。こうした無機柔粘性結晶状態が普遍的に現れる状態なのか？また、どのようなユニークな性質を示すのか？などの疑問に対する答えを得るためにも、物質開発を通じてこの無機材料の新しい状態の詳細が明らかにされていく必要がある。

2. 研究の目的

研究の目的は、無機柔粘性結晶状態を示す新たな候補物質の開発を行い、対象物質を充実させることである。複数の物質系を扱う過程で、柔粘性結晶となる系、ならない系の特徴が見えるはずである。この情報は、無機柔粘性結晶発現のメカニズムを考える上で重要になる。また、こうした無機柔粘性結晶状態の特徴を、放射光を用いた構造解析により詳しく調べるとともに、その特有の機能の開拓に取り組む。

3. 研究の方法

無機柔粘性結晶状態が期待される物質の特徴は、低温で構成元素が自発的に集合した量体化分子を作り、これが長距離秩序を形成することである。こうした自己組織化分子の長距離秩序状態は、いわば分子の結晶状態であり、柔粘性結晶に分類されるようなダイナミクスは示さない。これらの物質では、高温に上げると分子の結晶状態は消失し、通常のアトムの並びへと変化すると思われていたが、先行研究の LiVS_2 では、高温相の金属相においても分子が短距離秩序として生き残り、これが柔粘性結晶状態を有していることが示された。つまり、低温で分子の結晶状態を生じる系が材料開発の候補となり、分子が消失したあとの高温相において柔粘性結晶状態が観測される可能性がある。

こうした背景に基づいて、本研究では低温で分子が結晶状態を形作る複数の物質系に着目し、その高温相の構造研究に取り組んだ。分子の短距離秩序状態は、平均構造解析の強力な手法である従来の回折データのリートベルト解析では捉えることができず、二対相関分布関数(PDF)解析法を用いる必要がある。回折データのバックグラウンドに含まれる波の情報をフーリエ変換して得られる局所構造に関する情報を得るために、高エネルギーかつ広い Q 領域の高精度回折データが必要となる。そのため、SPring-8 の高エネルギー X 線回折ビームラインである BL04B2 を主戦場として実験を行った。低温で分子の結晶状態が現れる複数の候補物質に対して、PDF 解析法から短距離秩序の有無を探った。また、物性測定や従来の回折データのリートベルト解析などと組み合わせることにより、柔粘性結晶状態における構造・物性を多角的に調べた。

4. 研究成果

無機柔粘性結晶状態を示す物質の開発において大きな成果が得られた。特に代表的な成果として、 LiVSe_2 における短距離秩序状態の発見と、 LiRh_2O_4 における低温相構造の解明及び高温相における短距離秩序状態の発見の成果を下に示す。

本研究課題の出発物質となる LiVS_2 は、 LiVX_2 ($X = \text{O, S, Se}$) という物質系の一部である。類縁物質となる LiVO_2 や LiVSe_2 において、 LiVS_2 と同様の柔粘性結晶状態が現れるかを調査した。その結果、 LiVO_2 の高温では、 LiVS_2 のような柔粘性結晶状態が現れないこと、 LiVSe_2 では全温度領域で LiVS_2 の高温相のような分子の短距離秩序状態が現れること、を突き止めた。以上の成果をまとめた電子相図を図 1 に示す。 LiVSe_2 も LiVS_2 と同様の無機柔粘性結晶状態が実現しており、バナジウム分子のダイナミクスが観測される可能性

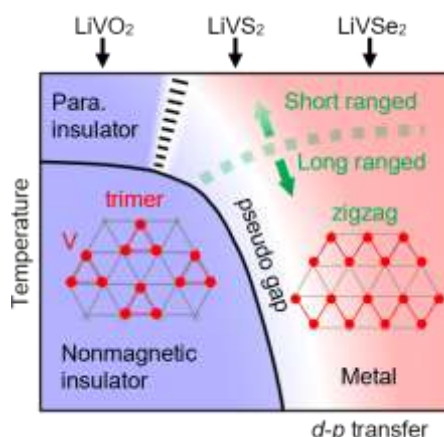


図 1 本研究で明らかになった LiVX_2 系の電子相図。

があるが、本研究課題の範囲では STEM 測定でダイナミクスを観測することはできなかった。合成法の影響が大きく、固相合成+1回の溶液反応で純良結晶を育成できる LiVS_2 とは異なり、 LiVSe_2 の合成には固相合成+2回の溶液反応が必要となる。この2回の溶液反応の際に格子定数が大きく変わることから、結晶内に無数のクラックが生じてしまい、結晶性が著しく低下することが、STEM 測定に耐えうる質の良い結晶が得られない原因である。今後は合成法の見直しから質の良い単結晶試料の育成に努め、再度の測定にチャレンジしたい。

また、スピネル格子系の LiRh_2O_4 においても、柔粘性結晶状態を期待させる Rh-Rh 二量体の短距離秩序状態を見出した。 LiRh_2O_4 はそもそも低温で現れる分子の結晶状態の構造がこれまでに明らかにされていなかったが、無機柔粘性結晶状態を探索する過程でこの低温相構造の解明にも取り組み、その秩序構造を明らかにすることにも成功した。得られた構造は図2のようになり、 Rh^{3+} と Rh^{4+} がRhのパイロクロア格子上で交互に並んでいるような構造となる。青で示した

Rh^{4+} イオン間では二量体分子が形成されている。パイロクロア格子は、四面体が頂点共有で3次元的につながったような構造を特徴とするが、 LiRh_2O_4 の低温相構造においては、すべての四面体が2個の Rh^{3+} と2個の Rh^{4+} で構成されている点が非常に重要である。これは Fe_3O_4 のフェルベイ転移における電荷秩序状態の解釈として、P. W. Andersonが提案した“Anderson条件”を満たす電荷秩序パターンそのものである。すべての四面体内の電荷数の総和が等しくなるというAnderson条件は、パイロクロア格子上における電荷秩序の最安定パターンと予想されるにもかかわらず、これまでにAnderson条件を満たす電荷秩序パターンはスピネル化合物において見いだされてはなかったが、本研究においてはじめてスピネル格子上で実現しうるものであることが明らかにされた。このことは、高温で現れる無機柔粘性結晶状態に対して直接の重要性はないものの、本研究課題から派生して得られた予想外の大きな成果として報告したい。

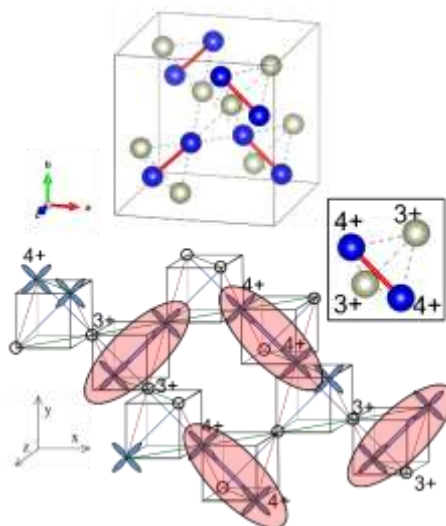


図1 LiRh_2O_4 の Anderson 条件を満たす電荷秩序-量体化パターン。

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 2件/うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Shiomi M., Kojima K., Katayama N., Maeda S., Schneeloch J. A., Yamamoto S., Sugimoto K., Ohta Y., Louca D., Okamoto Y., Sawa H.	4. 巻 105
2. 論文標題 Charge-ordered state satisfying the Anderson condition in LiRh2O4 arising from local dimer order	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L041103
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.105.L041103	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 Katayama Naoyuki, Kojima Keita, Yamaguchi Tomoki, Hattori Sosuke, Tamura Shinya, Ohara Koji, Kobayashi Shintaro, Sugimoto Koudai, Ohta Yukinori, Saitoh Koh, Sawa Hiroshi	4. 巻 6
2. 論文標題 Slow dynamics of disordered zigzag chain molecules in layered LiVS2 under electron irradiation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 npj Quantum Materials	6. 最初と最後の頁 16
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1038/s41535-021-00313-w	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 Katayama N., Takeda H., Yamaguchi T., Yamada Y., Iida K., Takigawa M., Ohta Y., Sawa H.	4. 巻 102
2. 論文標題 Robust atomic orbital in the cluster magnet LiMoO2	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 081106(R)
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.102.081106	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 Kubo T., Kojima K., Katayama N., Runcevski T., Dinnebier R. E., Gibbs A. S., Isobe M., Sawa H.	4. 巻 109
2. 論文標題 Metastable ordered states induced by low-temperature annealing of $\text{-Ag}_2/\text{3V}_2\text{O}_5$	5. 発行年 2024年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 104115
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1103/PhysRevB.109.104115	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 Kojima K., Katayama N., Sugimoto K., Hirao N., Ohta Y., Sawa H.	4. 巻 108
2. 論文標題 Zigzag chain order of LiVSe ₂ developing away from the vanadium trimer phase transition boundary	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 94107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.108.094107	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 Katayama N., Matsuda Y., Kojima K., Hara T., Kitou S., Mitsuishi N., Takahashi H., Ishiwata S., Ishizaka K., Sawa H.	4. 巻 107
2. 論文標題 Observation of local atomic displacements intrinsic to the double zigzag chain structure of 1T-MTe ₂ (M = V, Nb, Ta)	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245113
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.245113	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 Kojima K., Katayama N., Matsuda Y., Shiomi M., Ishii R., Sawa H.	4. 巻 107
2. 論文標題 Short-range order and increased transition temperature in LiVO ₂ with weakened trimer frustration	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 L020101
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.107.L020101	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33件 (うち招待講演 3件 / うち国際学会 4件)

1. 発表者名 片山尚幸
2. 発表標題 無機固体で生じる分子形成現象
3. 学会等名 第6回固体化学フォーラム (招待講演)
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 N. Katayama, Y. Matsuda, K. Kojima, H. Sawa
2. 発表標題 Observation of local atomic displacements intrinsic to the double zigzag chain structure of 1T-MTe ₂ (M = V, Nb, Ta).
3. 学会等名 MRM2023/IUMRS-ICA2023 Grand Meeting (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 片山尚幸
2. 発表標題 二重ジグザグ鎖構造を持つ1T-MTe ₂ (M = V, Nb, Ta)で生じる局所原子変位の観測
3. 学会等名 第33回日本MRS年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 久保泰星, 小島慶太, 片山尚幸, 磯部正彦, 澤博
2. 発表標題 -Ag ₂ /3V ₂ O ₅ の低温アニールによる準安定秩序状態の実現
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 江見方敏, 小島慶太, 片山尚幸, 岡健太, 門林宏和, 河口沙織, 橋本賢太, 気谷卓, 澤博
2. 発表標題 スピネル型化合物Cu ₁ r ₂ S ₄ における圧力誘起構造相転移
3. 学会等名 日本物理学会2024年春季大会
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 片山尚幸
2. 発表標題 幾何学的フラストレーション系物質における量体化と短距離秩序の発達
3. 学会等名 ISSP ワークショップ 高圧セミナー “最近の話題から” (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 K. Kojima, N. Katayama, S. Tamura, M. Shiomi, and H. Sawa
2. 発表標題 Identification of the vanadium trimers in LiV_2O_7 by synchrotron X-ray Diffraction. ~A longstanding structural mystery~
3. 学会等名 MIRAI 2.0 R&I Week 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島慶太、磯田龍也、塩見学、片山尚幸、澤博
2. 発表標題 層状 LiVSe_2 の高圧下で発達するジグザグ鎖秩序
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小島慶太、片山尚幸、田淵雅夫、澤博
2. 発表標題 動的短距離秩序を有する LiV_2O_7 の放射光X線構造研究
3. 学会等名 第10回 名古屋大学シンクロトン光研究センターシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小島慶太、磯田龍矢、塩見学、片山尚幸、澤博
2. 発表標題 層状LiVX ₂ (X = S, Se)の三量体相近傍で現れるVジグザグ鎖の発達
3. 学会等名 第5回 固体化学フォーラム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 横田陽之、小島慶太、片山尚幸、平井大悟郎、廣井善二、澤博
2. 発表標題 量体化系 RuP の高温相における局所三量体の発達
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 平井大悟郎、小島慶太、片山尚幸、河村光晶、浜根大輔、広井善二
2. 発表標題 RuP の金属絶縁体転移における直線三量体分子軌道形成
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 松田悠大、小島慶太、片山尚幸、澤博
2. 発表標題 放射光 X 線単結晶回折による直線型三量体をもつ TaTe ₂ の局所構造解析
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 塩見学、小島慶太、平尾直久、片山尚幸、澤博
2. 発表標題 超伝導スピネル化合物 CuRh ₂ S ₄ における圧力誘起構造相転移
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 江見方敏、小島慶太、塩見学、片山尚幸、河口沙織、平尾直久、澤博
2. 発表標題 スピネル型化合物CuRh ₂ Se ₄ の高圧下構造研究
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 塩見学、小島慶太、片山尚幸、前田泰、J. A. Schneeloch、D. Louca、岡本佳比古、澤博
2. 発表標題 混合原子価スピネル型酸化物LiRh ₂ O ₄ における構造物性研究
3. 学会等名 第10回 名古屋大学シンクロトロン光研究センターシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 松田悠大、小島慶太、片山尚幸、澤博
2. 発表標題 放射光X線回折による直線型三量体を持つTaTe ₂ の局所構造解析
3. 学会等名 第10回 名古屋大学シンクロトロン光研究センターシンポジウム
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 鬼頭俊介、萬條太駿、片山尚幸、獅子堂達也、有馬孝尚、田口康二郎、十倉好紀、杉本邦久、澤博
2. 発表標題 放射光X線を用いたコア差フーリエ合成法によるRTiO3における3d軌道状態の直接観測
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 鬼頭俊介、萬條太駿、片山尚幸、獅子堂達也、有馬孝尚、田口康二郎、十倉好紀、杉本邦久、澤博
2. 発表標題 放射光X線回折を用いた3d軌道状態の直接観測
3. 学会等名 第34回日本放射光学会年会・放射光科学合同シンポジウム
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Shunsuke Kitou, Taishun Manjo, Naoyuki Katayama, Tatsuya Shishidou, Taka-hisa Arima, Yasujiro Taguchi, Yoshinori Tokura, Toshikazu Nakamura, Toshihiko Yokoyama, Kuniyoshi Sugimoto, and Hiroshi Sawa
2. 発表標題 Direct determination of Ti-3d1 orbital state in YTiO3 using synchrotron X-ray diffraction
3. 学会等名 APS March Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 萬條太駿、鬼頭俊介、片山尚幸、野村悠祐、有田亮太郎、新居陽一、有馬孝尚、澤博
2. 発表標題 FeとVが軌道自由度を有するスピネル型酸化物FeV ₂ O ₄ の3d電子軌道状態の観測
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 萬條太駿、鬼頭俊介、片山尚幸、長谷川巧、石川大介、Alfred Q. R. Baron、勝藤拓郎、中村真一、澤博
2. 発表標題 放射光X線非弾性散乱を用いたFeV ₂ O ₄ の特異なフォノン分散の観測
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 原武史、鬼頭俊介、片山尚幸、吉野治一、澤博
2. 発表標題 散漫散乱周期から決定する不定組成比 型分子性導体のバンドフィリング
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 細木雄斗、鬼頭俊介、片山尚幸、中村敏和、澤博
2. 発表標題 新奇物質TMTTF - I塩における多彩な結晶構造
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 張力東、鬼頭俊介、片山尚幸、中村敏和、澤博
2. 発表標題 1/2充填バンド構造を有する(TMTTF) _x 系の結晶構造
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 小島慶太、片山尚幸、鬼頭俊介、竹田晋吾、田淵雅夫、澤博
2. 発表標題 LiVS ₂ の数百 μm級単結晶を用いた放射光X線散乱による構造物性研究
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 Keita Kojima, Naoyuki Katayama, Shinya Tamura, Manabu Shiomi, Hiroshi Sawa
2. 発表標題 Vanadium trimers randomly aligned along the c-axis direction in layered LiVO ₂
3. 学会等名 APS March Meeting 2021 (国際学会)
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 塩見学, 小島慶太, 片山尚幸, 岡本佳比古, 澤博
2. 発表標題 -パイロクロア酸化物CsW ₂ O ₆ の局所構造解析
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 江藤昂樹, 岡本佳比古, 片山尚幸, 竹中康司
2. 発表標題 4f電子系パイロクロア磁性体NaLnTe ₂ (Ln = Ce, Pr, Nd)の合成と磁氣的性質
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 岡本佳比古, 三枝一茂, 篠田祐作, 山影相, 山川洋一, 笹川崇男, 片山尚幸, 高津浩, 陰山洋, 竹中康司
2. 発表標題 元素置換したノーダルライン半金属CaAgPに現れる高移動度キャリアと超伝導
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 松井勇太, 三木克哲, 溝川貴司, 魯楊帆, 片山尚幸, 野原実, 高木英典, 森脇太郎, 池本夕佳, 岡村英一
2. 発表標題 励起子絶縁体関連物質Ta ₂ Ni (Se _{1-x} S _x) ₅ の高圧赤外分光
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 塩見学, 小島慶太, 前田泰, 片山尚幸, 岡本佳比古, 澤博
2. 発表標題 混合原子価スピネル酸化物LiRh ₂ O ₄ の低温相構造解析
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2020年～2021年

1. 発表者名 齋藤晃, 服部颯介, 野村優貴
2. 発表標題 高分解能STEM像をもちいた原子位置精密計測のための辞書学習パラメータの最適化
3. 学会等名 日本顕微鏡学会第76回学術講演会
4. 発表年 2020年～2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

層状LiVS2で現れる無秩序ジグザグ鎖のスローダイナミクス
http://www.mcr.nuap.nagoya-u.ac.jp/katayama_2021February.html
クラスター磁性体LiMoO2に生き残る原子軌道
http://www.mcr.nuap.nagoya-u.ac.jp/katayama_2020July.html

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	山内 徹 (Yamauchi Touru) (10422445)	東京大学・物性研究所・技術専門職員 (12601)	
研究分担者	齋藤 晃 (Saito Koh) (50292280)	名古屋大学・未来材料・システム研究所・教授 (13901)	
研究分担者	太田 幸則 (Ohta Yukinori) (70168954)	千葉大学・大学院理学研究院・教授 (12501)	

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