

令和 5 年 6 月 6 日現在

機関番号：17102

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2020～2022

課題番号：20K21091

研究課題名（和文）RPAロボットと人間の協働によるキュリー点の原子分解能観察

研究課題名（英文）Atomic-resolution observation of Curie point by cooperative work of RPA robot and human being

研究代表者

佐藤 幸生（Sato, Yukio）

九州大学・工学研究院・准教授

研究者番号：80581991

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 5,000,000円

研究成果の概要（和文）：ロボティック・プロセス・オートメーション(RPA)を導入してSTEM像中の原子位置を同定する「ロボット」を作成し、人間との協働を確立することを第1の目的とした。若干の工程変更を要したものの、工程の100%を自動化したロボットの制作に成功した。この技術を適用して、チタン酸バリウムナノ粒子やBiFeO₃-BaTiO₃ (BF-BT) セラミックスの分極構造解析を行った。粒径約100nmのチタン酸バリウムナノ粒子ナノ粒子でバルク正方晶と同等の格子定数が得られ、サイズ効果の影響を受けていないことが判明し、BF-BTセラミックスでは、Biイオンの変位に由来する極性ナノ構造の形成を明らかにした。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究で活用されたRPAテクノロジーは高度なプログラミングを要さないことが一つの大きな特徴である。これは例えば大学の研究室など、研究グループでの継続的な利用に非常に有利である。対象はSTEM像解析に限らず広く種々のデータ解析、自動操作に適用可能であるため、自然科学の研究一般において利用される可能性を秘めている。

本研究で対象とした原子分解能STEM解析は非常に強力であることが材料科学分野では知られているものの、データの解析に多くの時間と労力が浪費されることも知られており、広く用いられるには至っていない。本研究によるRPAロボットの開発はSTEM解析普及の一助となる可能性がある。

研究成果の概要（英文）：In this present research project, first purpose was to develop a robot based on robotic-process-automation (RPA) technology that cooperatively works with human being for analyzing atomic-scale scanning transmission electron microscopy (STEM) images. After adjusting some processes, an RPA robot that can fully automate the atomic-scale STEM image analysis were successfully developed. By utilizing this technology, polar structure in barium titanate (BaTiO₃) nanoparticle and bismuth ferrite (BiFeO₃)-BaTiO₃ ceramics were characterized. In a BaTiO₃ nanoparticle with a size of approximately 100 nm, lattice constants that are almost identical to that of BaTiO₃ bulk crystal was obtained. This importantly means that structure of the 100-nm size BaTiO₃ nanoparticle was not suffered by so-called "size effect". In BiFeO₃-BaTiO₃ ceramics, polar nanostructure due to shift of bismuth (Bi) ions were observed, and its size was a few nm.

研究分野：電子セラミックス

キーワード：自動化 ロボティック・プロセス・オートメーション 走査透過型電子顕微鏡

1. 研究開始当初の背景

原子分解能走査透過型電子顕微鏡 (STEM) 像から原子位置を精密に決定することができるようになってきた。よって、ナノ物質における結晶構造決定を行うことが視野に入ってきたが、STEM 像解析の際に、多くのコンピュータ上での作業を要するため、研究者の労力や時間が浪費され、かつ、研究全体を律速する過程にもなっていた。

2. 研究の目的

本計画では、ロボティック・プロセス・オートメーション (RPA) を導入して STEM 像中の原子位置を同定する「ロボット」を作成し、人間との協働で高速解析する手法を確立することを第 1 目的とした (図 1)。RPA とは人間がパーソナルコンピュータ (PC) 上で行う作業をロボットと称するワークフローに代行させる概念であり、本計画では、STEM 観察 (工程 0) を人間 (応募者) が行った後の画像解析 (工程 1 ~ 5) (図 1(a)) をロボットに代行させる (図 1(b))。

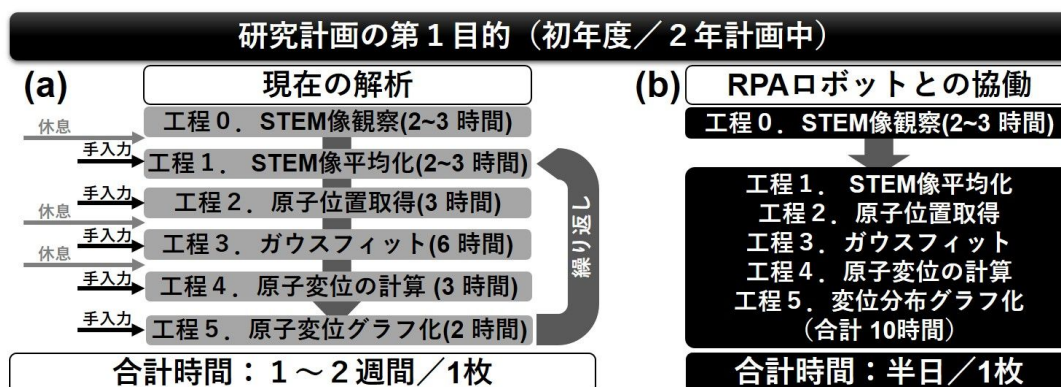


図 1. 第 1 目的の模式図。(a)現在の STEM 像解析の流れならびに(b)RPA ロボットとの協働による解析の流れをそれぞれ示す。()内に各工程に要する時間を示す。

次に、第 1 目的で構築された技術を適用して、強誘電体材料の原子分解能 STEM 解析を行った。本稿では、例として、チタン酸バリウム (BaTiO₃: BT) ナノ粒子と BiFeO₃-BaTiO₃ (BF-BT) セラミックスの解析結果について紹介する。また、RPA ロボットを適用することで、原子分解能 STEM 像シミュレーションに関する研究も自動で効率的に行うことができたため、その成果についても紹介する。

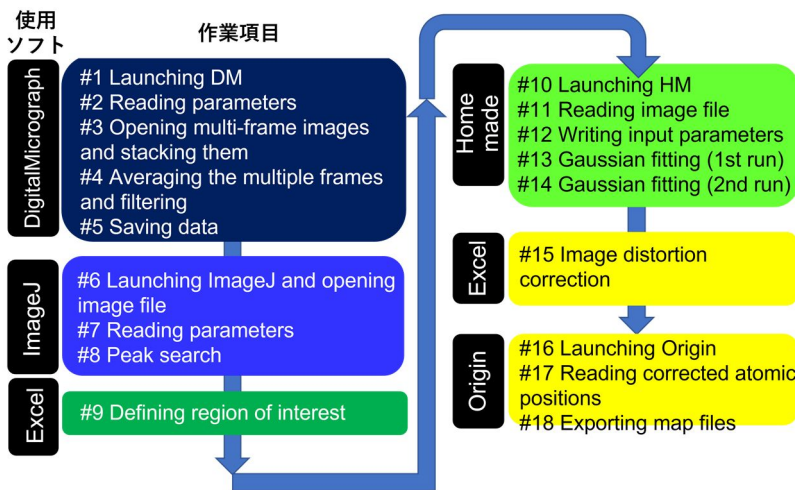


図 2. RPA ロボットを用いて工程を自動化したワークフロー。黒で私用したソフトウェアを示す。各種ソフトウェアを RPA ロボットが横断的に操作して解析を行った。

3. 研究の方法

初年度に RPA ソフト

(UiPath Studio) および高速 PC を導入し、RPA ロボットの作成、動作確認ならび改良を行った。この開発においては参照データとして SrTiO₃ の原子分解能 STEM 像、テスト用データとして PMN-PT (0.68Pb(Mg_{1/3}Nb_{2/3})O₃-0.32PbTiO₃) の原子分解能 STEM 像[1]を用いた。BT ナノ粒子は堺化学工業社製の BT01、BF-BT セラミックスは広島大学・Kim 先生より提供を受けた。STEM 観察には、収束系の球面収差補正器を搭載した JEM-ARM200F 型電子顕微鏡 (株)日本電子製) を主に加速電圧 200 kV で用いた。また、STEM 像シミュレーションには Dr. Probe[2]を用いた。

4. 研究成果

4. 1 原子分解能 STEM 像解析 RPA ロボットの開発

図2に本研究で工程の自動化を行ったSTEM像解析のワークフローを示す。一部の工程(図2の#9、#15)において、人間によるコンピュータの操作をそのまま再現することができず、修正を施したが、最終的に工程を100%自動化することに成功した。図3(a)および(b)に人間が操作を行った場合とRPAロボットが操作を行った場合の所要時間を項目毎に示す。工程の改良を行った#9および#15で大幅な時間の短縮が見られ、それ以外の項目では、人間とRPAロボットの操作は同程度の所要時間であった。

これを用いて、SrTiO₃のSTEM像7データセットとPMN-PTのSTEM像60データセットについて、人間とRPAロボットで所要時間を比較した。人間の場合は1データセットの所要時間を7倍もしくは60倍にして、休憩時間は無しとして算出した。表1に得られた所要時間を示すが、人間が休み無く行った場合と比べて、RPAロボットでは所要時間が約27%短かった。これはそれほど大きな効果ではないように思えるが、重要であるのは、そのために人間が従事する時間であり、これを両者で比較すると、RPAロボットの場合は最初の10秒程度であるのに対して、人間の場合は約50,000秒であり、その差は歴然である。加えて、人間の場合はヒューマンエラーが起こりえるのに対して、RPAロボットの場合はエラーが系統的にしか発生しないことも大きなポイントである。したがって、本研究の第1目的である原子分解能STEM像解析を行うRPAロボットの作成に成功した。

4.2 チタン酸バリウムナノ粒子の原子分解能STEM観察

強誘電体の分野で重要な知見とされるサイズ効果についての知見を得るために、粒径が100 nm程度のBTナノ粒子(図4(a))の一部から原子分解能STEM像(図4(b))を撮影した。

得られた像について、RPAロボットを用いた解析を行い、図5(a)~(c)に示す格子定数マップとTiイオンの変位マップを得た。x方向、y方向の格子定数はそれぞれ平均で399.7 pm、403.4 pmであった。x方向、y方向がそれぞれ、正方晶BaTiO₃のa軸、c軸であると考えると、バルク体で得られるc/a比(約1.01)とほぼ同等である。この結論はTiイオンの変位マップにおいて、変位方向がy方向(BaTiO₃のc軸方向)に近いことから支持される。これらの結果から、この粒径100 nm程度のナノ粒子はバルクと同様の結晶構造を有しており、いわゆるサイズ効果の影響を殆ど受けていないことが明らかとなった。

4.3 (1-x)BiFeO₃-xBaTiO₃ (BF-BT) (x = 0.2 - 0.4) セラミックスの原子分解能STEM観察[3]

Pbを用いない環境に優しい圧電体として研究が進められているBF-BTセラミックスについて、原子分解能STEM観察から極性構造の解析を行った。BF-0.2BT、BF-0.3BT、BF-0.4BTの原子分解能STEM像をそれぞれ撮影し(図5(a)~(c)) RPAロボットを用い

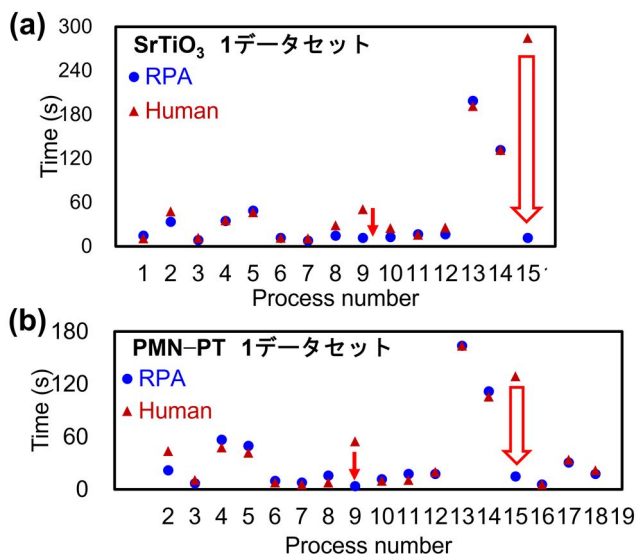


図3 .(a)SrTiO₃のSTEM像1データセットおよび(b)PMN-PTのSTEM像1データセットを解析するのに要した時間。所要時間を項目毎に示している。

表1 . SrTiO₃のSTEM像7データセットとPMN-PTのSTEM像60データセットを解析するのに要した時間と人間が従事した時間

	所要時間 (s)	人間の従事時間 (s)
RPAロボット	36,480	~ 10
人間	49,970	49,970

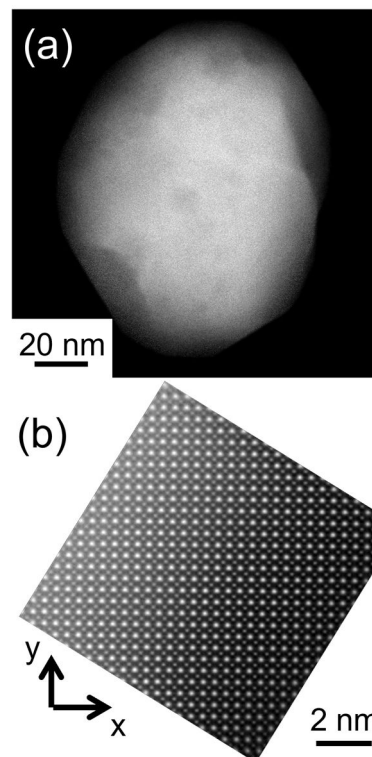


図4 . (a)BaTiO₃ナノ粒子のSTEM像および (b)原子分解能STEM像。

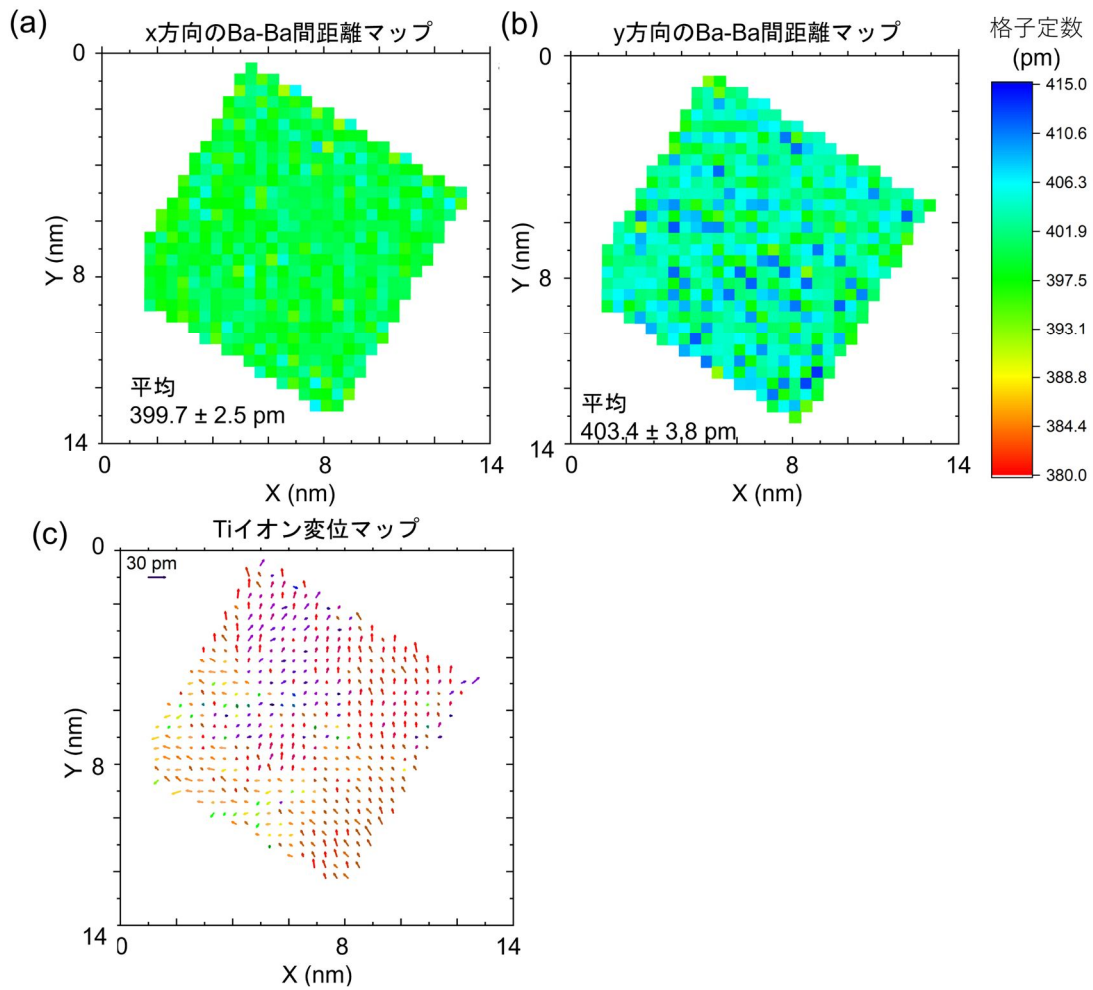


図5 . (a)x方向、(b)y方向のBa-Ba カラム間距離 (= 格子定数) のマップおよび(c)単位格子中のTiイオン変位マップ。

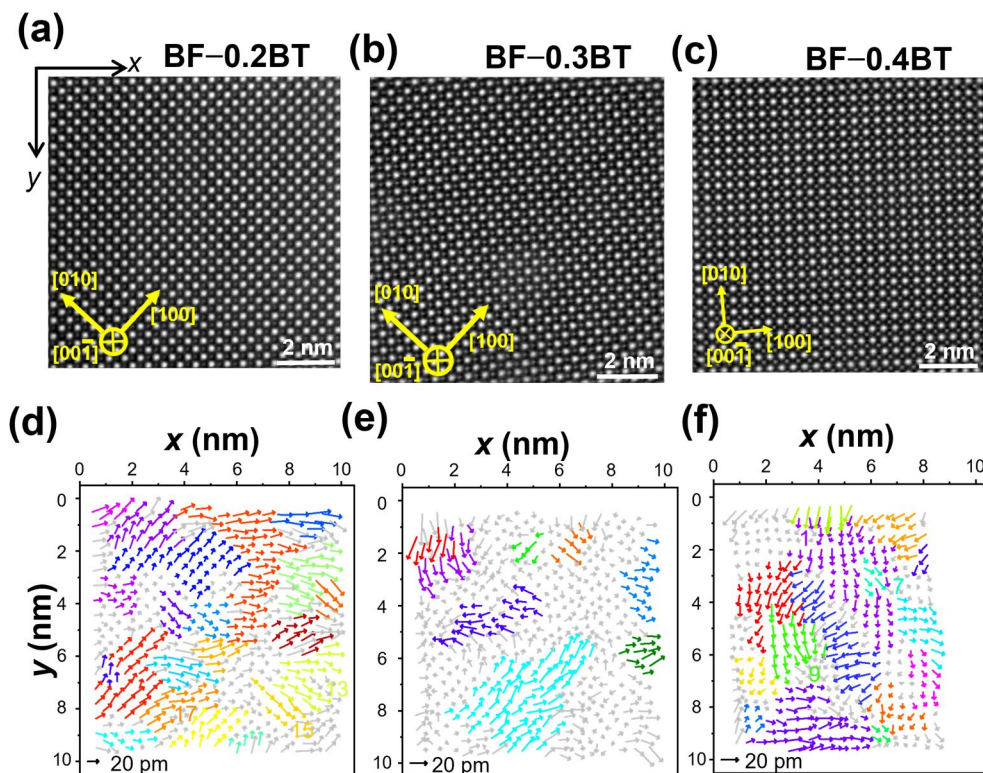


図6 . (a) BF-0.2BT、(b) BF-0.3BT、(c) BF-0.4BT のSTEM 像、ならびに(d) BF-0.2BT、(e) BF-0.3BT、(f) BF-0.4BT のBiイオン変位マップ。

て Bi イオンの変位マップ (図 5 (d)~(f)) を作成した。いずれの場合においても、大きさ数 nm 程度の領域で変位方向が揃っており、大きさ数 nm 程度の極性構造の形成が明らかとなった。暗視野 TEM 像からも大きさ数 nm の等方的な形状をした構造の存在が確認されており (図 6 (a)~(f))、Bi イオンの変位による極性ナノ構造の形成が明らかとなった。

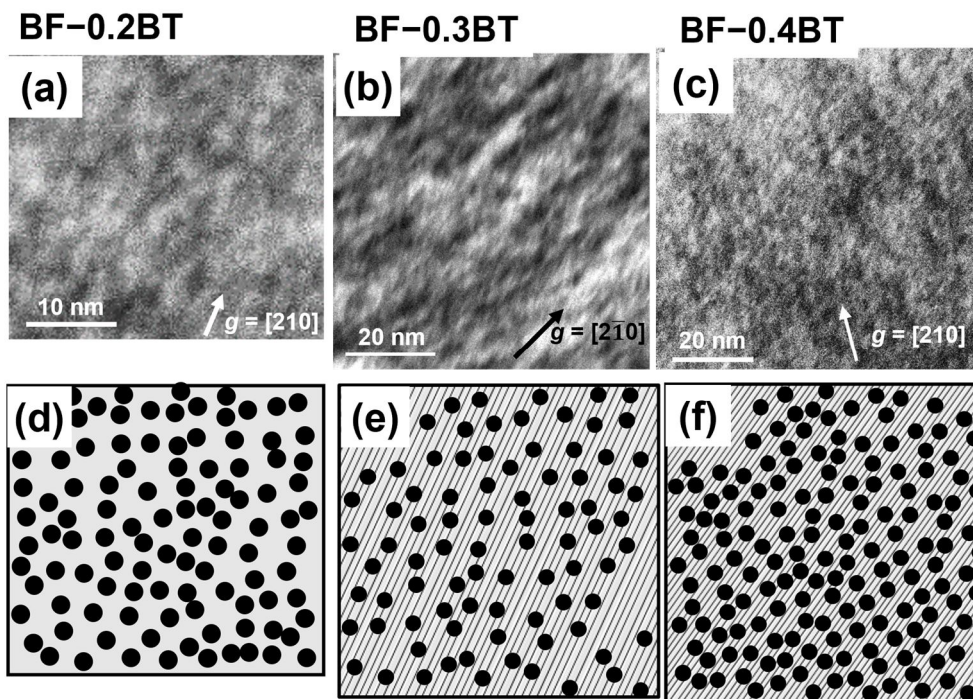


図 7 . (a) BF-0.2BT、(b) BF-0.3BT、(c) BF-0.4BT の暗視野 TEM 像、ならびに(d) BF-0.2BT、(e) BF-0.3BT、(f) BF-0.4BT の極性ナノ構造の模式図。 [3]

< 引用文献 >

- [1] Y. Sato *et al.*, *J. Mater. Sci.*, **56**, 1231 (2021).
- [2] J. Barthel, *Ultramicrosc.* **193**, 1 (2018).
- [3] S. Kim, R. Miyauchi, Y. Sato *et al.*, *Adv. Mater.*, **35**, 2208717 (2023).

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計14件（うち査読付論文 14件 / うち国際共著 4件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 Thakur Deepa, Sato Yukio, Balakrishnan Viswanath	4. 巻 15
2. 論文標題 Heteroatomic stitching of broken WS ₂ monolayer with enhanced surface potential	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Nanoscale	6. 最初と最後の頁 5274 ~ 5283
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/d2nr06288g	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 Goki, Kweon Sang-Hyo, Tanaka Kiyotaka, Sato Yukio, Kanno Isaku	4. 巻 122
2. 論文標題 Internal stress effects on the piezoelectric properties of Pb(Zr,Ti)O ₃ superlattice thin films grown on Si substrates	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 122902 ~ 122902
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0139859	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 Kim Sangwook, Miyauchi Ryuki, Sato Yukio, Nam Hyunwook, Fujii Ichiro, Ueno Shintaro, Kuroiwa Yoshihiro, Wada Satoshi	4. 巻 35
2. 論文標題 Piezoelectric Actuation Mechanism Involving Extrinsic Nanodomain Dynamics in Lead Free Piezoelectrics	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Advanced Materials	6. 最初と最後の頁 2208717 ~ 2208717
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1002/adma.202208717	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 Kim Eun-Ji, Kweon Sang-Hyo, Nahm Sahn, Sato Yukio, Tan Goon, Kanno Isaku	4. 巻 121
2. 論文標題 High output performance of piezoelectric energy harvesters using epitaxial Pb(Zr, Ti)O ₃ thin film grown on Si substrate	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 161901 ~ 161901
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0105103	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 Thakur Deepa, Sato Yukio, Sabarigresan M., Ramadurai Ranjith, Balakrishnan Viswanath	4. 巻 606
2. 論文標題 Enhanced optical emission at MoS ₂ -WS ₂ heterostructure interface with n-N junction	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Applied Surface Science	6. 最初と最後の頁 154923 ~ 154923
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.apsusc.2022.154923	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 Xie Shaoxiong, Shi Jikai, Xu Qian, Wang Qingyuan, Zhu Jianguo, Sato Yukio, Chen Qiang	4. 巻 217
2. 論文標題 In-depth understanding of {110}-type domain walls in bismuth titanate ceramics	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Scripta Materialia	6. 最初と最後の頁 114793 ~ 114793
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.scriptamat.2022.114793	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 Fujimoto Konomi, Sato Yukio, Fuchikami Yoshifumi, Teranishi Ryo, Kaneko Kenji	4. 巻 105
2. 論文標題 Orthorhombic like atomic arrangement in hafnium oxide based nanoparticles	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the American Ceramic Society	6. 最初と最後の頁 2823 ~ 2831
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1111/jace.18242	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 Muta Mitsuhiro, Nishikawa Suguru, Ichinose Ataru, Sato Yukio, Arita Makoto, Ikoma Yoshifumi, Mukaida Masashi	4. 巻 749
2. 論文標題 Growth and photo-response of (110) oriented BaBiO ₃ films on SrTiO ₃ (001) substrates	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Thin Solid Films	6. 最初と最後の頁 139167 ~ 139167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.tsf.2022.139167	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 Fujinaka Syota, Sato Yukio, Teranishi Ryo, Kaneko Kenji	4. 巻 55
2. 論文標題 Understanding of scanning-system distortions of atomic-scale scanning transmission electron microscopy images for accurate lattice parameter measurements	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 8123 ~ 8133
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-020-04602-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 Sato Yukio, Fujinaka Syota, Yamaguchi Syo, Teranishi Ryo, Kaneko Kenji, Shimizu Takao, Taniguchi Hiroki, Moriwake Hiroki	4. 巻 56
2. 論文標題 Lamellar-like nanostructure in a relaxor ferroelectrics Pb(Mg1/3Nb2/3)O3	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Materials Science	6. 最初と最後の頁 1231 ~ 1241
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10853-020-05417-5	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 Fukao Kaita, Sato Yukio, Teranishi Ryo, Kaneko Kenji	4. 巻 90
2. 論文標題 Scanning Transmission Electron Microscopy Simulation for Multi-Domain Barium Titanate	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 034803 ~ 034803
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.90.034803	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 Kuroiwa Yoshihiro, Kim Sangwook, Fujii Ichiro, Ueno Shintaro, Nakahira Yuki, Moriyoshi Chikako, Sato Yukio, Wada Satoshi	4. 巻 1
2. 論文標題 Piezoelectricity in perovskite-type pseudo-cubic ferroelectrics by partial ordering of off-centered cations	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Communications Materials	6. 最初と最後の頁 71-1 ~ 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s43246-020-00072-4	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 Moriwake Hiroki, Yokoi Rie, Taguchi Ayako, Ogawa Takafumi, Fisher Craig A. J., Kuwabara Akihide, Sato Yukio, Shimizu Takao, Hamasaki Yosuke, Takashima Hiroshi, Itoh Mitsuru	4. 巻 8
2. 論文標題 A computational search for wurtzite-structured ferroelectrics with low coercive voltages	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 APL Materials	6. 最初と最後の頁 121102 ~ 121102
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/5.0023626	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 Ogo Seiji, Ando Tatsuya, Minh Le Tu Thi, Mori Yuki, Matsumoto Takahiro, Yatabe Takeshi, Yoon Ki-Seok, Sato Yukio, Hibino Takashi, Kaneko Kenji	4. 巻 56
2. 論文標題 A NiRhS fuel cell catalyst ? lessons from hydrogenase	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Chemical Communications	6. 最初と最後の頁 11787 ~ 11790
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/D0CC04789A	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27件 (うち招待講演 9件 / うち国際学会 6件)

1. 発表者名 Yukio Sato
2. 発表標題 Atomic-scale and in-situ electron microscopy study on nanostructure in ferroelectrics
3. 学会等名 International Congress on Pure & Applied Chemistry Kota Kinabalu (ICPAC KK 2022) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤幸生
2. 発表標題 電子顕微鏡で観るセラミックスの機能と動作
3. 学会等名 低温工学・超電導学会 2022年度第3回材料研究会 / 九州・西日本支部合同研究会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukio Sato
2. 発表標題 Observation of ferroelectrics at atomic scale and under electric fields
3. 学会等名 13th Korea-Japan Conference on Ferroelectrics (KJC-FE13) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Yukio Sato
2. 発表標題 In Situ and Atomic-Scale Electron Microscopy Characterization of Relaxor Ferroelectrics
3. 学会等名 Materials Research Society Spring Meeting (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐藤幸生, 三谷海斗, 寺西亮, 金子賢治
2. 発表標題 マテリアルDXツール：原子分解能電子顕微鏡解析用RPAロボット
3. 学会等名 第31回日本MRS年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤幸生, 山口翔, 藤中翔太, 寺西亮, 金子賢治, 清水荘雄, 谷口博基, 森分博紀
2. 発表標題 リラクサー型強誘電体Pb(Mg1/3Nb2/3O3)におけるラメラ状ナノ構造の観察
3. 学会等名 第38回強誘電体会議
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukio Sato
2. 発表標題 Nanostructure in relaxor ferroelectrics studied via electron microscopy
3. 学会等名 3rd Indian Materials Conclave and 32nd Annual General Meeting of MRSI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤幸生
2. 発表標題 リラクサー型強誘電体のナノ構造
3. 学会等名 第41回電子材料討論会(招待講演)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukio Sato
2. 発表標題 Visualization of Polar Nanostructure and the Response in Ferroelectrics Studied via Electron Microscopy
3. 学会等名 IUMRS-ICA2021 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yukio Sato
2. 発表標題 Origin of function in ceramics revealed by electron microscopy
3. 学会等名 At Home with Nano webinar (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 淵上 佳史、藤元 このみ、佐藤 幸生、寺西 亮、金子 賢治
2. 発表標題 Hf0.5Zr0.5O2ナノ粒子における強誘電性の可能性について
3. 学会等名 軽金属学会・日本金属学会・日本鉄鋼協会九州支部2021年度合同学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 淵上 佳史、藤元 このみ、佐藤 幸生、寺西 亮、金子 賢治
2. 発表標題 Hf0.5Zr0.5O2ナノ粒子における直方晶相形成の可能性
3. 学会等名 日本セラミックス協会第34回秋季シンポジウム
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 豊島永都、佐藤幸生、寺西亮、金子賢治
2. 発表標題 第一原理計算を用いたHf19032ナノ粒子の強誘電性に関する検討
3. 学会等名 応用物理学会 強的秩序とその操作に関わる第13回夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三谷海斗、佐藤幸生、寺西亮、金子賢治
2. 発表標題 原子分解能STEM像解析用RPAロボットの作成
3. 学会等名 応用物理学会 強的秩序とその操作に関わる第13回夏の学校
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 三谷海斗, 佐藤幸生, 藤中翔太, 寺西亮, 金子賢治
2. 発表標題 誘電体用原子分解能STEM像解析RPAロボットの作成とその応用
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 三谷海斗, 藤中翔太, 佐藤幸生,
2. 発表標題 原子分解能STEM像解析用RPAロボットの作成
3. 学会等名 傾斜機能材料研究会 オンラインフォーラムFGMs2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 淵上 佳史、三谷海斗, 佐藤幸生
2. 発表標題 酸化ハフニウムジルコニウムナノグレインセラミックスの電気特性
3. 学会等名 応用物理学会 強制的秩序とその操作に関わる第14回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 淵上 佳史、佐藤幸生
2. 発表標題 Hf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ ナノセラミックスにおける結晶相および電気特性
3. 学会等名 日本セラミックス2022年年会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 藤元このみ、佐藤幸生、寺西亮、金子賢治
2. 発表標題 水熱合成法により作製したHf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ ナノ粒子における結晶相の合成温度依存性
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮内隆輝, 佐藤幸生, 寺西亮, 金子賢治, Kim Sangwook, 藤井一郎, 上野慎太郎, 中平夕貴, 森吉千佳子, 黒岩芳弘, 和田智志
2. 発表標題 0.8BiFeO ₃ - 0.2BaTiO ₃ のナノおよび原子スケール構造解析
3. 学会等名 日本物理学会2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤元このみ、佐藤幸生、寺西亮、金子賢治
2. 発表標題 Hf _{0.5} Zr _{0.5} O ₂ ナノ粒子における準安定相の形成
3. 学会等名 第126回日本物理学会九州支部例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深尾海太、佐藤幸生、寺西亮、金子賢治
2. 発表標題 正方晶系マルチドメインを有するチタン酸バリウムにおける走査透過型電子顕微鏡像シミュレーション
3. 学会等名 第126回日本物理学会九州支部例会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮内 隆輝、佐藤 幸生、寺西 亮、金子 賢治、Sangwook Kim、藤井 一郎、上野 慎太郎、中平 夕貴、森吉 千佳子、黒岩 芳弘、和田 智志
2. 発表標題 0.8BiFeO ₃ - 0.2BaTiO ₃ の原子分解能電子顕微鏡解析
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 藤元このみ、佐藤幸生、寺西亮、金子賢治
2. 発表標題 Hf0.5Zr0.5O ₂ ナノ粒子の合成および構造解析
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 深尾海太、佐藤幸生、寺西亮、金子賢治
2. 発表標題 マルチドメイン構造を有するチタン酸バリウムの走査透過型電子顕微鏡像シミュレーション
3. 学会等名 MRM Forum 2020
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 宮内 隆輝、佐藤 幸生、寺西 亮、金子 賢治、Sangwook Kim、藤井 一郎、上野 慎太郎、中平 夕貴、森吉 千佳子、黒岩 芳弘、和田 智志
2. 発表標題 (1-x)BiFeO ₃ - BaTiO ₃ (x = 0.2, 0.3, 0.4)におけるBiイオン変位とナノ構造の関係
3. 学会等名 強的秩序とその操作に関わる研究グループ第12回講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 佐藤幸生
2. 発表標題 電子セラミックスにおける機能の微視的起源 原子スケールからの新素材開発に向けて
3. 学会等名 日本金属学会2021年春季講演大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>The Cahn Prize 2020 - Springer https://www.springer.com/gp/materials/cahn-prize-2020 東工大ニュース—いかなる方向にもよく伸びるセラミック材料のしくみを解明 https://www.titech.ac.jp/news/2020/048122.html 九州大学プレスリリース—いかなる方向にもよく伸びるセラミック材料のしくみを解明 https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/505 九州大学プレスリリース—マテリアルズ・インフォ活用により新しいウルツ型結晶構造強誘電体新材料を発見 https://www.kyushu-u.ac.jp/ja/researches/view/536</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

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		
インド	インド工科大学マンディー校		
インド	インド工科大学カラブル校		