

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2017～2020

課題番号：17K05130

研究課題名(和文) 軌道角運動量を持つX線ビーム生成と物性研究利用への展開

研究課題名(英文) Production of vortex beam carrying orbital angular momentum and application in materials science

研究代表者

中尾 裕則 (Nakao, Hironori)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・准教授

研究者番号：70321536

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,700,000円

研究成果の概要(和文)：光の等位相面をらせん状に制御した「光渦」と呼ばれるX線ビームは、軌道角運動量を持つなど新たな光として注目されている。本研究では、複数の方法で軟X線領域での光渦ビームの生成を試みるとともに、生成した光渦ビームの強度・位相分布の観測に成功した。また、この光の位相の評価技術を発展させることで、磁性体中のトポロジカル欠陥構造の新たな観測方法となることを提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

「光渦」ビームは、光ピンセット、ナノ加工、量子情報分野での量子ビットへの利用など、様々な可能性を秘めている。本研究では、光渦ビームを複数の方法で生成を試み、その利用に向けた評価を進めた。この生成した光渦ビームの評価を通じて、磁性体中のトポロジカル欠陥構造の新たな観測法を見出した。このように新たな光渦ビームの生成・利用の技術の進展により、当初考えもなかった研究展開が、今後も期待される。

研究成果の概要(英文)：Vortex beam carrying orbital angular momentum is noted to have a helical wavefront and a doughnut-shaped beam intensity distribution due to a phase singularity at the center of the beam. In this study, we have tried to generate the vortex beam by several methods in soft x-ray energy region, and succeeded in detecting a helical phase distribution of the vortex beam utilizing the inline-holography technique. We also elucidated that this technique becomes an effective probe for the characterization of topological defects in spin-textures.

研究分野：共鳴X線散乱を利用した構造物性研究

キーワード：光渦 放射光 軌道角運動量 共鳴X線散乱 コヒーレンス

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

第三世代の放射光源では、光の位相が揃ったコヒーレント X 線の利用が進められてきた。この光の等位相面を、らせん状に制御した「光渦」(図 1(a)) と呼ばれる X 線ビームは、光軸の中心が位相特異点であり、中心が暗点となるドーナツ状の光強度分布 (図 1(b)) を持つとともに、X 線の偏光状態の空間分布から生ずる軌道角運動量を持つ新たな光として注目されていた[1]。

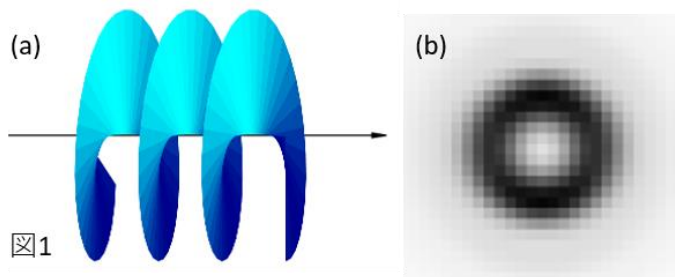


図1

一方本課題責任者らは、強相関電子系の多彩な物性の背後に存在する電荷・軌道・スピンの秩序状態を調べる手法として、共鳴 X 線散乱(RXS)を用いた研究を発展させてきた[2]。この手法は、原子の吸収端を利用するため、観測したい元素・電子軌道が決まると、実験に利用する X 線エネルギーが決まってしまう。例えば、多彩な物性を発現し盛んに研究が行われている $3d$ 遷移金属酸化物の物性を担う $3d$ 電子状態を直接的に観測するためには、軟 X 線領域にある $L_{2,3}$ 吸収端 ($2p \rightarrow 3d$ 遷移)での実験が必須である。このような背景のもと、必要となる X 線エネルギーに制約されず、幅広く RXS 手法による観測を推進するために、硬 X 線領域に加え、軟 X 線領域での RXS 実験装置の開発・立ち上げを推進してきた[3]。しかしながら、軟 X 線領域の光の波長は長く、観測可能な電子秩序状態は長周期構造をもつものに制約されていた。

そこで注目したのが、軌道角運動量を持った X 線 (光渦) を利用する X 線吸収の遷移選択則の制御である。具体的には、 $3d$ 遷移金属の K 吸収端では、 $1s \rightarrow 4p$ 遷移が双極子遷移として観測され、通常 $1s \rightarrow 3d$ 遷移は双極子遷移では禁制遷移である。しかしながら、光渦を利用することで、双極子遷移として $1s \rightarrow 3d$ 遷移が観測されることが理論的に提唱された[4]。つまり、これまでの波長による実験上の制限が大幅に緩和され、硬 X 線領域での任意の電子秩序状態の観測、極限環境下での観測などへの展開が期待される。ただし、光渦を利用した光学遷移の選択則の実験は、ビーム生成の難しさもあり報告されていなかった。

この軌道角運動量を持った量子ビームは、位相がそろった波 (物質波、コヒーレント光) を、フォーク型回折格子やスパイラルゾーンプレートなどで、波の等位相面をらせん状に制御することで生成される[5]。従って軌道角運動量 L を持った X 線の生成には、コヒーレント X 線の利用が必須とされていた。ところが、放射光の発生に使う挿入光源を利用することで、 L の値が一意に決まった軌道角運動量を持つ光を生成できることが報告された[6]。さらに、この挿入光源を利用した光生成方法では、作られた 1 つ 1 つの光子が軌道角運動量を持つことが理論的に証明されている[7]。つまり、第 2.5 世代と呼ばれる放射光研究施設 [Photon Factory (PF)] のような、エミッタンスが大きく、コヒーレント X 線の利用が難しい場合でも、挿入光源を利用することで L の値が一意に決まった軌道角運動量を持つ光を生成できると期待された。

2. 研究の目的

- (1) 回折限界光源ではない放射光施設: PF において、挿入光源を利用した軌道角運動量を持つ光の生成を試みるとともに、生成された X 線が軌道角運動量を持つことを評価する。
- (2) PF のようなエミッタンスの大きな光源での光渦ビーム生成の報告がこれまでになかったこと、光渦と物質の相互作用と光渦ビームのサイズの関係の重要性の指摘があったことより、スパイラルゾーンプレートを利用した集光した光渦ビーム生成実験も並行して行う。
- (3) 生成した軌道角運動量を持った X 線: 光渦ビームを吸収・回折実験に用い、光学遷移の選択則が制御できることを実証する。ただし、光渦ビームを利用した新たな光学遷移過程の観測は報告がないことや、光ピンセット、ナノ加工、量子情報分野での量子ビットへの利用など、光渦ビームは様々な可能性を秘めている。そこで、光渦ビームの新たな利用方法の可能性など、新たな研究展開も模索する。

3. 研究の方法

- (1) 挿入光源による光渦生成の計算機シミュレーションを行うとともに、計算結果に基づいた光渦ビーム生成実験を進める。また、生成した X 線の軌道角運動量の評価を、ピンホールを用いた回折実験にて行う。
- (2) スパイラルゾーンプレートを作製し、光渦の生成・評価実験を行う。

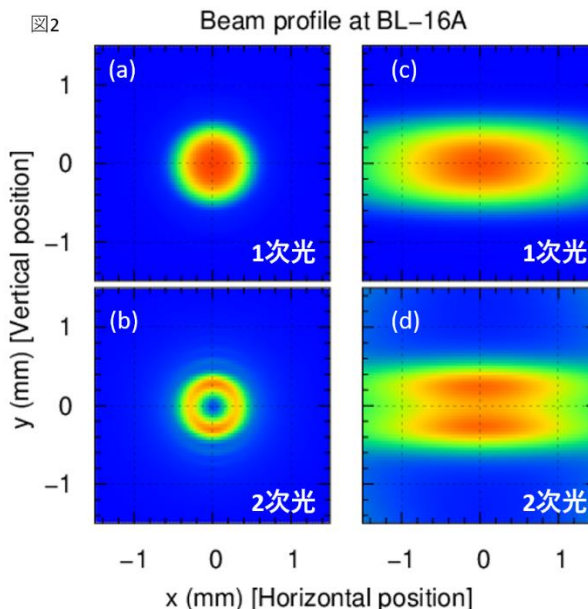
(3) $3d$ 遷移金属の L_I 吸収端 ($2s \rightarrow 4p$ 遷移) での吸収・回折実験から、光渦ビームを利用することで新たに出現すると期待される $2s \rightarrow 3d$ 遷移の信号を探索する。これにより、光学遷移の選択測が制御できることを実証する。

(4) スパイラルゾーンプレートを利用した光渦の生成・評価実験中に見出した、新たなマルチスケール軟 X 線回折顕微鏡を用いた光渦の生成・評価実験を行うとともに、磁性体中のトポロジカル欠陥構造の新たな観測方法を提案する。

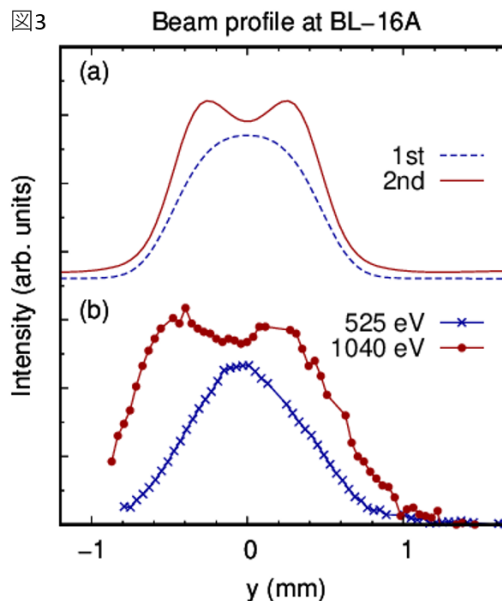
4. 研究成果

(1) 回折限界光源ではない PF で APPLE-II 型の挿入光源を利用して光渦ビームの生成が可能なのか、SPECTRA[5]を用いたビームプロファイル計算により検討した。まず、PF が回折限界光源であ

った場合に、既存の BL-16A の APPLE-II 型挿入光源で作られるビームプロファイルを計算した。図 2 に 円偏光を取り出す挿入光源の条件での (a) 1 次光 (525 eV) と (b) 2 次光 (1050 eV) の強度分布 (光源から 15m 地点) の計算結果を示す。図 2(b) の 2 次光が、特徴的なドーナツ状の強度分布を示し、光の等位相面がらせん状になり、光軸の中心が位相特異点となって暗点となる軌道角運動量を持った光渦ビームが、これまでの報告通り計算できていることがわかる。続いて、現在の PF の光源パラメータを用いた計算結果を図 2(c), (d) に示す。回折限界光源と比較して PF では水平面方向 (x) のエミッタンスが大きく、ビームが横に広がっていることがわかる。結果 2 次光は、ドーナツ状の強度分布ではなく、水平面上の強度が弱く、上下にずれた位置にピークを持つ強度分布となることが分かった。



(2) BL-16A の APPLE-II 型挿入光源 を 1 台使い、光渦ビームの生成を試みた。挿入光源からのビームプロファイルは、光源から 15m 地点のマスクを垂直方向 (y) に移動させるナイフエッジスキャンを行うことで測定した。(実験条件の詳細は、文献[8]を参照のこと) まず挿入光源を円偏光条件で固定し、1 次光と 2 次光のエネルギー近傍で、ビームプロファイルのエネルギー依存性を測定した。ビームプロファイルが一番シャープになるエネルギー 525eV, 1040 eV を、それぞれ 1 次光、2 次光と決定した。1 次光と 2 次光のビームプロファイルを図 3(b) に示す。比較のために、計算結果を図 3(a) に示しているが、大まかに実験と計算が合っていることがわかり、光渦ビームが生成されていることが期待される。



次に、生成した X 線ビームが軌道角運動量を持っているのか検証するために、生成した X 線を用いピンホールの回折パターンを測定した。しかしながら、軌道角運動量を持つことを反映した回折パターンは観測されなかった。計算により検証したところ、回折限界光源でない PF で得られる X 線ビームは、位相特異点が空間的に広く分布しているため、ピンホールからの回折では軌道角運動量を持っているのか検証できないことが分かった。

これら(1)(2)の研究成果は、文献[8]として出版した。

(3) 本研究課題提案時に多くの研究者に注目されていた光学遷移の選択則の制御は、理論の枠組みの範囲では原理的に可能だが、その遷移確率は通常の双極子遷移として観測される信号と比較して非常に弱いことが分かり始めた。一方、スパイラルゾーンプレートを利用した光渦の生成・評価実験中に新たな顕微鏡の可能性を見出した。この顕微鏡は、フレネルゾーンプレート(FZP)を利用することで、(a)低空間分解能だが広い視野の実空間イメージが解析なしで取得できる。(b) FZPの焦点・試料位置をパラメータとして視野・拡大率が可変となること。(c)実空間イメージには回折の寄与があるものの解析によりコヒーレント回折イメージング並の空間分解能が得られるといった特徴を持っている。特に、簡単に実空間情報が取得でき、注目箇所を拡大し撮像できるメリットは特筆すべき点であり、「マルチスケール軟 X 線回折顕微鏡」と名付け、建設・立ち上げ実験を進めた。その結果、試料走査なしに1回の撮像で磁気ドメインの実空間イメージが取得できること、簡単に拡大率を変えられることの実証に成功した(図4)。本顕微鏡は、様々な空間スケールの構造を簡単に観測でき、外場に対する系の応答であるダイナミクス・カインティクス観測を通じて、物性の起源となるメソスコピックな構造を解明する手法として発展することが期待される。

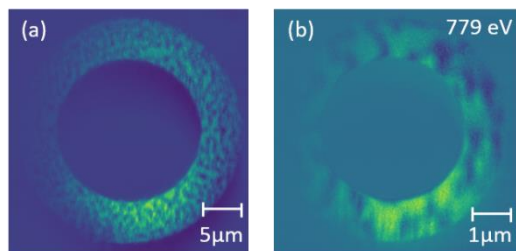
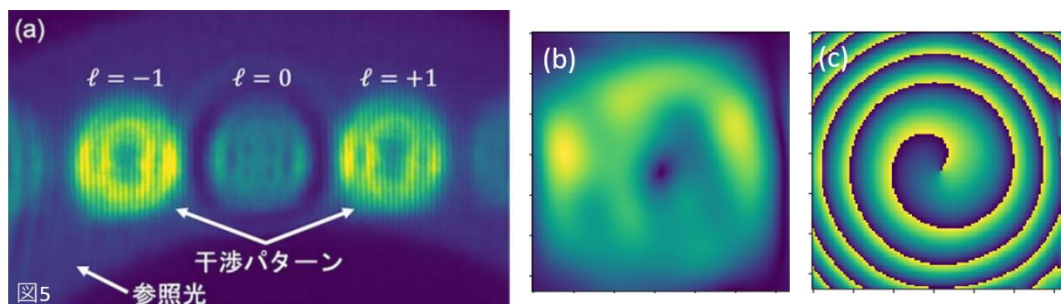


図4：2種類の視野で観測した磁性薄膜の磁気ドメイン。

(4) 通常の X 線測定では、その強度測定は簡単だが、位相測定は難しく、生成された光渦はドーナツ状の光強度分布を観測することで評価されてきた。ここでは、新たに開発してきたマルチスケール軟 X 線回折顕微鏡でフォーク型回折格子を観測することで、光渦の生成・評価実験を行った。このフォーク型回折格子は、中心周りに位相が回転するトポロジカルな欠陥構造をもち、この欠陥構造に光を入射することで、その回折方向に光渦ビームを生成するものである。さらに、本顕微鏡では FZP 集光による発散した光(参照光)と、この回折光が干渉する(図5(a))。これは、インラインホログラフィと呼ばれる手法に相当し、参照光との干渉により明瞭な縦縞模様を観測されている。得られた結果から、周波数フィルタリングにより参照光の位相部分を取り除き、回折波である光渦ビームの強度分布(図5(b))と位相分布(図5(c))を抽出することに成功した。これは光渦ビームの本質である光の等位相面がらせん状になっていることの実証となった。



また、この結果は本顕微鏡が、磁性体中に存在するトポロジカルな欠陥構造の新たな計測方法になることを示しており、論文発表[9]に至った。このように、本研究課題を推進する中で見出した顕微鏡は、磁気テクスチャの観測の様々な可能性を秘めている。

<引用文献>

[1] L. Allen et al., Phys. Rev. A **45** (1992) 8185.
 [2] T. Matsumura et al., J. Phys. Soc. Jpn. **82** (2013) 021007.
 [3] H. Nakao et al., JPS Conf. Proc. **25** (2019) 011020; 中尾裕則 et al, 放射光 **34** (2021) 55; <https://research.kek.jp/people/hironori/beamlines/rsxs/>
 [4] M.v. Veenendaal et al., Phys. Rev. Lett. **98** (2007) 157401.
 [5] N.R. Heckenberg et al., Opt. Lett. **17** (1992) 221; K. Saitoh et al., Phys. Rev. Lett. **111** (2013) 074801.
 [6] J. Bahrtdt et al., Phys. Rev. Lett. **111** (2013) 034801.
 [7] S. Sasaki et al., Phys. Rev. Lett. **100** (2008) 124801.
 [8] H. Nakao et al., AIP Conf. Proc. **2054** (2019) 060035.
 [9] Y. Ishii et al., Phys. Rev. Applied **14** (2020) 064069.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計29件（うち査読付論文 28件／うち国際共著 1件／うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ishii Yuta, Yamamoto Kohei, Yokoyama Yuichi, Mizumaki Masaichiro, Nakao Hironori, Arima Takahisa, Yamasaki Yuichi	4. 巻 14
2. 論文標題 Soft-X-Ray Vortex Beam Detected by Inline Holography	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Applied	6. 最初と最後の頁 064069:1-9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevApplied.14.064069	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 Nakao Hironori, Yamasaki Yuichi, Mizumaki Masaichiro, Tabata Chihiro, Sakamaki Masako, Amemiya Kenta	4. 巻 2054
2. 論文標題 Attempt to generate x-ray beam carrying orbital angular momentum in photon factory	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 AIP Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 60035:1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.5084666	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 Tabata Chihiro, Yamasaki Yuichi, Yokoyama Yuichi, Takagi Rina, Honda Takashi, Kousaka Yusuke, Akimitsu Jun, Nakao Hironori	4. 巻 30
2. 論文標題 Observation of Chiral Magnetic Soliton Lattice State in CrNb3S6 by Coherent Soft X-ray Diffraction Imaging	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 011194:1~6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.30.011194	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 Ukleev V., Yamasaki Y., Morikawa D., Karube K., Shibata K., Tokunaga Y., Okamura Y., Amemiya K., Valvidares M., Nakao H., Taguchi Y., Tokura Y., Arima T.	4. 巻 99
2. 論文標題 Element-specific soft x-ray spectroscopy, scattering, and imaging studies of the skyrmion-hosting compound Co8Zn8Mn4	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 144408
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.99.144408	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 Y. Okamura, Y. Yamasaki, D. Morikawa, T. Honda, V. Ukleev, H. Nakao, Y. Murakami, K. Shibata, F. Kagawa, S. Seki, T. Arima, and Y. Tokura	4. 巻 95
2. 論文標題 Directional electric-field induced transformation from skyrmion lattice to distinct helices in multiferroic Cu20Se03	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 184411:1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.95.184411	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 Y. Okamura, Y. Yamasaki, D. Morikawa, T. Honda, V. Ukleev, H. Nakao, Y. Murakami, K. Shibata, F. Kagawa, S. Seki, T. Arima, and Y. Tokura	4. 巻 96
2. 論文標題 Emergence and magnetic-field variation of chiral-soliton lattice and skyrmion lattice in the strained helimagnet Cu20Se03	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. B	6. 最初と最後の頁 174417:1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.96.174417	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 V. Ukleev, Y. Yamasaki, D. Morikawa, N. Kanazawa, Y. Okamura, H. Nakao, Y. Tokura, and T. Arima	4. 巻 2
2. 論文標題 Coherent Resonant Soft X-ray Scattering Study of Magnetic Textures in FeGe	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Quantum Beam Sci.	6. 最初と最後の頁 3:1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.3390/qubs2010003	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 Honda T., Yamasaki Y., Nakao H., Murakami Y., Ogura T., Kousaka Y., Akimitsu J.	4. 巻 10
2. 論文標題 Topological metastability supported by thermal fluctuation upon formation of chiral soliton lattice in CrNb3S6	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 18596:1-12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-020-74945-6	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 Takagi R., Yamasaki Y., Yokouchi T., Ukleev V., Yokoyama Y., Nakao H., Arima T., Tokura Y., Seki S.	4. 巻 11
2. 論文標題 Particle-size dependent structural transformation of skyrmion lattice	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 5685:1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-020-19480-8	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 Yamasaki Yuichi, Nakao Hironori, Arima Taka-hisa	4. 巻 89
2. 論文標題 Augmented Magnetic Octupole in Kagome 120-degree Antiferromagnets Detectable via X-ray Magnetic Circular Dichroism	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 083703 ~ 083703
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.89.083703	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 Ukleev Victor, Yamasaki Yuichi, Utesov Oleg, Shibata Kiyou, Kanazawa Naoya, Jaouen Nicolas, Nakao Hironori, Tokura Yoshinori, Arima Taka-hisa	4. 巻 102
2. 論文標題 Metastable solitonic states in the strained itinerant helimagnet FeGe	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 014416:1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.102.014416	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 Nakao Hironori, Tabata Chihiro, Murakami Youichi, Yamasaki Yuichi, Yamada Hiroyuki, Ishihara Sumio, Kawasaki Masashi	4. 巻 98
2. 論文標題 Charge disproportionation of Mn 3d and O 2p electronic states depending on strength of p-d hybridization in (LaMnO ₃) ₂ (SrMnO ₃) ₂ superlattices	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 245146
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.98.245146	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 Tabata Chihiro, Matsumura Takeshi, Nakao Hironori, Michimura Shinji, Kakihana Masashi, Inami Toshiya, Kaneko Koji, Hedo Masato, Nakama Takao, Onuki Yoshichika	4. 巻 88
2. 論文標題 Magnetic Field Induced Triple-q Magnetic Order in Trillium Lattice Antiferromagnet EuPtSi Studied by Resonant X-ray Scattering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Physical Society of Japan	6. 最初と最後の頁 093704 ~ 093704
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSJ.88.093704	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 Ishii Y., Murakoshi Y., Sato N., Noda Y., Honda T., Nakao H., Murakami Y., Kimura H.	4. 巻 100
2. 論文標題 Isotropic magnetoelectric effect in Tb1-xGdxMn2O5 studied by resonant x-ray scattering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review B	6. 最初と最後の頁 104416:1 ~ 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevB.100.104416	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 Nakao Hironori, Yamasaki Yuichi	4. 巻 25
2. 論文標題 Electronic Ordering States in Strongly Correlated Electron System Studied by Resonant X-ray Scattering	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 11020
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.25.011020	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 中尾裕則、石井祐太、田端千紘、山崎裕一	4. 巻 34
2. 論文標題 共鳴X線散乱による軌道混成状態の観測	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 放射光	6. 最初と最後の頁 55-63
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21件（うち招待講演 2件 / うち国際学会 9件）

1. 発表者名 石井祐太, 若林裕助, 山本航平, 横山優一, 水牧仁一郎, 中尾裕則, 有馬孝尚, 山崎裕一
2. 発表標題 In-line Holographyによる軟X線渦波の観測
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中尾裕則, 石井祐太, 小塚裕介, 山崎裕一
2. 発表標題 マルチスケール軟 X 線回折顕微鏡による磁気ドメインの観測
3. 学会等名 2020年度量子ビームサイエンスフェスタ
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 石井祐太, 若林裕助, 山本航平, 横山優一, 水牧仁一郎, 中尾裕則, 有馬孝尚, 山崎裕一
2. 発表標題 In-line Holography を用いた軟 X 線光洞の観測
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 2021年

1. 発表者名 石井祐太, 山崎裕一, 小塚裕介, 中尾裕則
2. 発表標題 マルチスケール軟X線顕微鏡の開発
3. 学会等名 日本物理学会 第75回年次大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 C. Tabata, Y. Yamasaki, Y. Yokoyama, R. Takagi, T. Honda, Y. Kousaka, J. Akimitsu and H. Nakao
2. 発表標題 Observation of Chiral Magnetic Soliton Lattice State in CrNb ₃ S ₆ by Coherent Diffraction Imaging
3. 学会等名 International Conference on Strongly Correlated Electron Systems 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 H. Nakao, C. Tabata, Y. Yamasaki
2. 発表標題 Observation of Skyrmion and Chiral Soliton Lattice States by Coherent Soft X-ray Diffraction Imaging
3. 学会等名 J-Physics 2019, International Conference (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中尾裕則
2. 発表標題 PFにおけるコヒーレント軟X線回折イメージングの現状とその可能性
3. 学会等名 PF研究会「XAFS・X線顕微鏡分光分析分野でのIMSS, PF戦略的利用に関する研究会」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中尾裕則
2. 発表標題 放射光X線回折・散乱実験のための低温・磁場環境
3. 学会等名 第23回 CROSSroads Workshop「量子ビーム実験施設における試料環境」(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 石井祐太、山崎裕一、小塚裕介、中尾裕則
2. 発表標題 マルチスケール軟 X 線回折顕微鏡を用いた磁気ドメイン観測
3. 学会等名 第33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

1. 発表者名 H. Nakao, Y. Yamasaki, M. Mizumaki, C. Tabata, M. Sakamaki, K. Amemiya
2. 発表標題 Generation of x-ray beam carrying orbital angular momentum in Photon Factory
3. 学会等名 The 13th International Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 H. Nakao, C. Tabata, K. Iwasa
2. 発表標題 Resonant x-ray scattering study on electronic hybridization in unconventional ordered phase of PrRu4P12
3. 学会等名 28th International Conference on Low Temperature Physics, Gothenburg (Sweden) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 H. Nakao, C. Tabata, K. Iwasa and H. Amitsuka
2. 発表標題 Resonant x-ray scattering study on hybridized orbital states in f-electron system
3. 学会等名 International Workshop on Multipole Physics and Related Phenomena, Hachimantai Royal Hotel (Iwate) (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
--	---------------------------	-----------------------	----

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