

令和 2 年 6 月 3 日現在

機関番号：63903

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01075

研究課題名(和文) 渦放射光発生技術の高度化と利用への展開

研究課題名(英文) Developments and Applications of Vortex Synchrotron Radiation

研究代表者

加藤 政博 (Kato, Masahiro)

分子科学研究所・極端紫外光研究施設・特任教授

研究者番号：30185871

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 21,900,000円

研究成果の概要(和文)：紫外線からX線にかけての分析用の光源として幅広く使われている放射光に新しい機能を付与する技術の開発とその応用の開拓を進めた。アンジュレータと呼ばれる光源装置を用いて、光ビームの断面上で光の特性が一定の規則に従って変化する、光渦やベクトルビームといった空間構造を持つ光ビームを放射光の技術で生成する手法を確立した。また、それらを利用した先導的な実験を行った。この研究の中で派生的に、放射光の時間構造の制御方法とそれを利用した先導的な実験に成功し、次の展開の手掛かりを得た。

研究成果の学術的意義や社会的意義

今日、放射光はレーザーと並んで、分析用の光源として基礎学術から産業利用まで幅広い分野で利用されている。現在利用されている放射光は、偏光や強度、あるいは位相構造(光の波としての特性)が空間的にほぼ均一である。これに対し、本研究では、光の特性が空間的にある規則に従って変化するような放射光を発生する技術の開発を進め、その応用の開拓を進めた。将来的には、極めて高分解能の顕微鏡の実現や、光を使った化学反応の高度な制御などへの応用が期待される。

研究成果の概要(英文)：We have developed a technology to add a new function to synchrotron radiation, which is widely used in various research areas as a light source in the ultraviolet to X-rays, and have developed its applications. Using a light source device called an undulator, we established a method of generating a light beam with a spatial structure such as an optical vortex or a vector beam in which the properties of light change on the cross section of the light beam. In addition, we conducted leading experiments using it. During this research, we have found a method to control the time structure of synchrotron radiation and have applied it to a leading experiment, which gave us and a clue for the next development.

研究分野：量子ビーム科学

キーワード：量子ビーム 放射光 加速器

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

円偏光の光はスピン角運動量を運ぶ。これに対して、自由空間中を伝搬する電磁波のモードの一つであるラゲルガウシアンモードは、スピン角運動量とは別に、軌道角運動量を運ぶ。この電磁波は光の進行方向の軸の周りの方位角に応じて位相が変化し、その等位相面(波面)が螺旋状となることから光渦と呼ばれる。1990年代の先駆的な理論研究の後、レーザー光を特殊なフィルターや波長板を通すことで光渦は実験室で容易に生成できるようになり、情報通信や顕微鏡、ナノサイエンスにおける物質操作などへの応用を目指して、活発に研究が行われている。これらレーザーによる光渦研究に対して、放射光施設で広く用いられている円偏光アンジュレータの高次光が光渦である可能性が理論的に示され、これはその後、放射光施設 BESSY (独) 及び UVSOR (分子研) において実証された。研究代表者らは、UVSOR においてこの実証実験を進め、ダブルスリットによる回折実験で光渦性を実証するなど、世界を先導する成果をあげることができた。一方で、高エネルギー自由電子がこのような特異な光を放出することに着目し、その起源について理論的な考察を進めた結果、渦状位相構造が円軌道放射に付随する極めて基本的な性質であることを突き止め、その軌道角運動量の理論的定量化に世界に先駆けて成功した。円偏光に対応するスピン角運動量以外に軌道角運動量を運ぶ光が荷電粒子から自然放射されるということ自体大変に興味深く自然科学への展開の可能性も見えてきた。

我々は光渦と呼ばれる特異な光が放射光の技術により紫外・真空紫外領域で発生できることを実証し、またそのメカニズムを世界に先駆けて解明した。従来のレーザーベースの光渦による研究では、光渦と物質系の相互作用に関しては、液体中の微粒子などの微小物体の捕獲や回転操作、高分子フィルムや金属表面上の螺旋状構造の形成などが実証されているが、紫外・真空紫外領域での実験例はほとんどない。さらに、この波長域で重要となる原子分子レベルでの相互作用に関しては、理論的な研究は数多くなされているものの、実験的な研究の報告は皆無であった。本研究では紫外・真空紫外領域での渦放射光を用いて、この未踏の領域に挑戦することとした。

2. 研究の目的

円偏光に対応するスピン角運動量以外に軌道角運動量を運ぶ光が存在する。我々は光渦と呼ばれるこの特異な光が放射光の技術により紫外・真空紫外領域で発生できることを実証し、またそのメカニズムを世界に先駆けて解明した。本研究では、渦放射光ビーム同士の合成によるベクトル放射光ビームの発生など、広い意味での渦放射光ビームの発生技術の高度化とその特性評価を世界に先駆けて進めることを目的とした。並行して、その利用へ向けて、集光・分光など未開拓の渦放射光ビーム輸送技術の開発を進め、これらの技術を用いて、幅広い分野の研究者と協力し、紫外・真空紫外光領域の渦放射光ビームと物質系との相互作用という未踏の研究領域の開拓に挑戦することを目指した。

3. 研究の方法

渦放射光の研究で世界的にも抜きんできた競争力を有する分子科学研究所のシンクロトロン光源 UVSOR と光源開発専用ビームライン BL1U を活用し、渦放射光発生技術の高度化、渦放射光の詳細な特性評価、渦放射光の特性を損なわない輸送技術の確立、渦放射光利用法の探索、の4つの課題に取り組むこととした。本研究に必要な大型装置は基本的に全て整備されており、利用可能な状態にあった。研究の進展に合わせて、これらの改良を重ねながら実験研究に取り組むこととした。実験では特殊な運転状態が必要であったため、UVSOR の通常の放射光利用とは別に、光源開発専用のビームタイムを活用して行うこととした。本研究では、複数の大学の研究者と連携し、新たに雇用する博士研究員や大学院生も参加し、本研究分野の若手研究者育成にも資する計画とした。

本研究では、利用への展開を目指して、渦放射光発生技術の高度化、渦放射光の詳細な特性評価、渦放射光の特性を損なわない輸送技術の確立、渦放射光の利用法の探索、の4つの課題に取り組むこととした。まず、渦放射光発生技術の高度化においては、レーザーを用いた光渦研究で光渦同士を合成しベクトルビームの一種である偏光渦を生成できることが示されていることに着想を得て、クロスアンジュレータと呼ばれる放射光の技術でベクトルビームの生成を目指すこととした。クロスアンジュレータとは、2台のアンジュレータを直列に配置し、一台のアンジュレータから水平直線偏光、もう一台から垂直直線偏光を放射し、これらの光を分光器に通すことで波束を伸ばし任意の偏光の光を合成する手法である。この技術を応用することで、2台のアンジュレータから放射される光渦を合成し偏光渦を作り出せるはずであると考えた。幸い UVSOR の BL1U には可変偏光アンジュレータ2台が直列に設置されており、この実験に最適といえる環境が整っていた。我々は予備的な実験により、偏光が空間的に分布した光が取り出せることを確認しており、このような高度な渦放射光の発生技術の開発を世界に先駆けて進めることを最優先で進めることとした。

渦放射光の詳細な特性評価では、我々はこれまでの研究で基本的な渦放射光の性質を世界に先駆けて理論的・実験的に示すことができていたが、利用への展開を図る上で、電子ビームのエミッタンス、アンジュレータの有限な周期数、アンジュレータ光波長の放射角依存性など、渦レーザーにない特有の問題について理論・実験の両面から十分に理解する必要があると考えた。我々が行った光渦の位相構造を調べるためのダブルスリットを用いた干渉実験では、一次の渦までは理想的な計算通りの干渉パターンが得られるのに対し、高次の渦ではきれいな干渉パタ

ーンが未だ得られず、渦構造が理想的な場合からずれている可能性を示唆する実験結果を得ていた。計算機シミュレーションの結果などから、実験に用いたアンジュレータの周期数が小さいことがその原因ではないかと推測している。この例にみられるような渦放射光の特性を詳細に調べるには、各種の光学素子が利用可能な紫外域の渦放射光を用いて大気中で実験が行える環境が必須である。これに最適と言える UVSOR BL1U の環境を活かして、この分野の先導的な研究を進めることとした。

渦放射光の特性を損なわないビーム輸送技術の開発は、渦放射光の利用においてその位相構造を損なうことなく試料まで輸送する必要があることからこれに取り組むこととした。従来の放射光とは異なり、波面の空間的な構造がその特性を生み出すことから、各種ミラー、レンズ、回折格子、ゾーンプレート、アパーチャやピンホール、光学窓など、放射光分野で一般に利用されている光学素子類がその特性にどのような影響を及ぼすのか、慎重に調査する必要があると考えた。ビームライン技術者の協力を得て、渦放射光輸送の基礎技術を世界に先駆けて確立することを目指した。

光渦の物質系との相互作用に関しては、渦レーザーを用いた流体中を浮遊する微小粒子の捕獲や回転運動の誘起、高分子フィルム表面の渦状変形、金属表面での螺旋状針構造の生成などの研究例が知られている。こういったことが渦放射光でも起きるのだろうか。渦放射光の利用法の探索において、渦放射光は時間的なコヒーレンス無く、渦レーザーと同じ作用が起きるかどうかは自明ではないと考え、その一方、渦放射光は渦レーザーに比べてエネルギー密度では劣るが、物質との相互作用の強い紫外・真空紫外域で生成可能であり、可視・赤外域では見られない現象を引き起こす可能性があると考えた。この点で、原子分子系と光渦の相互作用は極めて重要なテーマであり、幅広い分野の専門家と協力しつつ、世界に先駆けて研究を進めることとした。

4. 研究成果

最優先で取り組んだ渦放射光発生技術の高度化においては、分子科学研究所、広島大学などのチームが中心となり、放射光の技術によりベクトルビームを生成することに世界で初めて成功する

という成果をあげることができた。UVSOR の BL1U ビームラインの直列に設置された 2 台の可変偏光アンジュレータから左右逆回りの光渦ビームを生成し、これらをクロスアンジュレータの手法を用いて合成した結果、図 1 に示すような、直線偏光でありながら偏光方向が光の断面上で規則的に変化する特異な構造を持つベクトルビームが生成されることを世界で初めて実証した[1]。本成果に基づき、広島大学松葉俊哉助教が日本物理学会若手奨励賞を受賞(2019年3月)するなど、若手人材の育成にも貢献

することができた。この成果は、国内外の研究集会で発表し、応用展開の可能性を探っているところである。これまで空間的に均一なビームとしてのみ利用されてきた放射光の応用に全く新しい展開をもたらす可能性があると考えている。

渦放射光の基礎となる物理的機構として円軌道を描く荷電粒子の放射が渦性を有し軌道角運動量を運ぶことを理論的に示し、これをもとに円偏光アンジュレータからの渦放射の理論を確立、さらに UVSOR において放射光の位相構造が螺旋状であり中心に位相特異点を持つことなどを実証した実験結果について論文発表を行い[2, 3]、プレスリリースも行った。紫外線領域で大気中で通常の光学素子を用いて実験ができるという世界的にも唯一といってよい UVSOR-BL1U の特長を最大限活用した研究であり、世界を先導する成果が得られた。研究をさらに進める中で、ダブルスリットなどの干渉を用いた手法により、放射光の位相構造の詳細観測を進め、位相特異点の構造の理論的予測との食い違いなど、いくつかの興味深い結果を得た。アンジュレータ磁場精度の影響や端部磁場の影響などについて、実験と理論計算の詳細な比較が進めており、論文投稿へ向けて、解析と追加実験を続けている段階であ

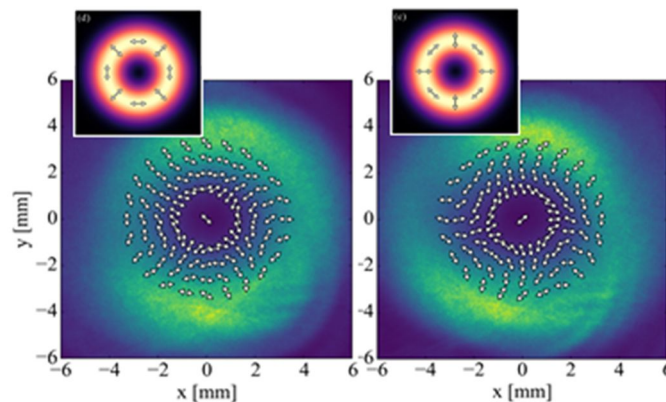


図 1 . UVSOR-BL1U で生成された放射光ベクトルビーム [1]

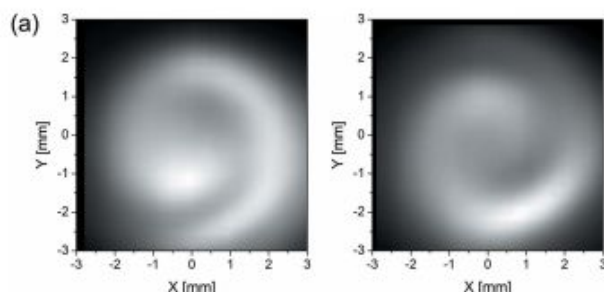


図 2 . 真空紫外線領域で渦放射光発生[4]

る。これら渦放射光の詳細な特性評価は紫外線領域の渦放射光を大気中に取り出せるという UVSOR-BL1U の特性を活かしたものであったが、我々はさらに実験領域を真空紫外線領域へ移し、図 2 に示す通り、真空紫外線領域での放射光による光渦の生成も実証した[4]。その結果、短波長域においては良好な光渦特性を得るには、電子ビームの指向性の高さ(エミッタンス)が極めて重要であることがわかった[4]。放射光渦を真空紫外線や X 線領域で本格的に利用するには高性能電子ビームを供給できるいわゆる回折限界放射光源が必要であるという重要な知見を得ることができた。放射光分野の光源装置の将来の目指すべき方向の一つを示せたと考えている。また、真空紫外線領域での光渦を用いた実験を行う過程では放射光ビームラインのミラーや回折格子を通して光渦ビームの移送特性の評価も行った。放射光の渦構造は損なわれないことを示すデータを得ているが、真空紫外域で用いる放射光用光学系は放射光照射による汚損や損傷を受けやすいことから定量的評価のためにはさらなる研究が必要である。

渦放射光の利用については、光渦の運ぶ軌道角運動量が原子系へ移行されるのか、という点が興味深く、原子分子物理学研究者の協力を得て、最優先で取り組んだ。真空紫外線領域で渦放射光を生成し、孤立原子の励起において光の運ぶ軌道角運動量の影響がみられるのか、世界に先駆けた実験検証に挑んだが、本研究の期間内には肯定的な結果は得られなかった[5]。近赤外線のレーザーを用いた実験では肯定的な結果も報告されているが、渦放射光の特定の位置に標的原子を置く必要があると考えられることから、極めて高度な実験系を準備する必要があるとの結論に至った。一方、一連の実験の過程で、派生的に直列アンジュレータを用いた極めて興味深い実験結果が得られたことから、急遽、そちらを優先的に進めることとした。

1 台のアンジュレータからの放射場はアンジュレータの磁場周期と正確に同じ数だけ振動する時間構造を有しているはずである。このことを考えると、直列に配置された 2 つのアンジュレータからの放射光は 2 つのパルスが続けてやってくるダブルパルス様の時間構造を有しているはずである。このような光パルスはレーザー分野ではいわゆる量子状態制御に広く用いられていることが知られている。レーザーではすべての光子が同位相である(時間的にコヒーレントである)のに対し、放射光では個々の光子はダブルパルス様の時間構造を有していても、光子間の位相は無秩序であるという点が決定的に異なる。このような時間的にコヒーレントでない放射光を用いても量子状態制御ができるのであろうか。驚くべきことに、無秩序な自然放射の光ビームを用いても、レーザーと同様に孤立原子の量子状態が制御できた。

実験は UVSOR の BL1U を用いて行われた。2 台のアンジュレータを同一波長且つ直線偏光に設定した。2 台のアンジュレータの間には位相子と呼ばれる電磁石があり、これを制御することで電子を放射場に対して遅延させることができる。これによりダブルパルス間の時間差を制御できる。このような光を He 原子に照射したところ、上記の時間差に応じて He 原子を選択的に励起できることが実験的に示された[6]。その後、2 台のアンジュレータから左右向きの異なる円偏光からなるダブルパルス構造光を He 原子に照射し、その励起状態の空間的な方向を制御することにも成功した[7]。これらの成果はプレスリリースを行うとともに、国内外での研究集会でも発表し、情報発信に努めた。このような放射光を用いた量子状態制御は世界でも初めてであり、放射光利用の新しい展開をもたらす重要な発見であると考えている。

本研究では、位相や偏光、強度などの特性が空間的な構造を持つ放射光の発生とその利用に関する研究の取り組み、世界を先導するいくつかの成果をあげることに成功した。さらに派生的に放射光の時間構造の利用の可能性を見出すことに世界に先駆けて成功した。これら放射光の時間構造の制御と利用に関する成果は今後の放射光利用に全く新しい展開をもたらす可能性があり、放射光施設の将来像などの議論にも大きな影響を与えるものと考えている。

引用文献

- [1] S. Matsuba et al., Appl. Phys. Lett. 113, 021106 (2018)
- [2] M. Katoh et al., Phys. Rev. Lett. 118 094801 (2017)
- [3] M. Katoh et al., Sci. Rep. 7, 6130 (2017)
- [4] T. Kaneyasu et al., J. Synchrotron Rad. 24, 1 (2017)
- [5] T. Kaneyasu et al., Phys. Rev. A 95, 023407 (2017)
- [6] Y. Hikosaka et al., Nat. Commun. 10, 4988 (2019)
- [7] T. Kaneyasu et al., Phys. Rev. Lett. 123 233401 (2019)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 8件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Matsuba Shunya, Kawase Keigo, Miyamoto Atsushi, Sasaki Shigemi, Fujimoto Masaki, Konomi Taro, Yamamoto Naoto, Hosaka Masahito, Katoh Masahiro	4. 巻 113
2. 論文標題 Generation of vector beam with tandem helical undulators	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Applied Physics Letters	6. 最初と最後の頁 021106 ~ 021106
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1063/1.5037621	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 T. Kaneyasu, Y. Hikosaka, M. Fujimoto, T. Konomi, M. Katoh, H. Iwayama, E. Shigemasa	4. 巻 95
2. 論文標題 Limitations in photoionization of helium by an extreme ultraviolet optical vortex	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review A	6. 最初と最後の頁 023413-1, 7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevA.95.023413	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 M. Katoh, M. Fujimoto, H. Kawaguchi, K. Tsuchiya, K. Ohmi, T. Kaneyasu, Y. Taira, M. Hosaka, A. Mochihashi, Y. Takashima	4. 巻 118
2. 論文標題 Angular Momentum of Twisted Radiation from an Electron in Spiral Motion	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review Letters.	6. 最初と最後の頁 094801-1, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.118.094801	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 Katoh M., Fujimoto M., Mirian N. S., Konomi T., Taira Y., Kaneyasu T., Hosaka M., Yamamoto N., Mochihashi A., Takashima Y., Kuroda K., Miyamoto A., Miyamoto K., Sasaki S.	4. 巻 7
2. 論文標題 Helical Phase Structure of Radiation from an Electron in Circular Motion	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Scientific Reports	6. 最初と最後の頁 6130-1, 8
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41598-017-06442-2	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 T. Kaneyasu, Y. Hikosaka, M. Fujimoto, H. Iwayama, M. Hosaka, E. Shigemasa, M. Katoh	4. 巻 24
2. 論文標題 Observation of an optical vortex beam from a helical undulator in the XUV region	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of Synchrotron Radiation	6. 最初と最後の頁 934-938
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1107/S1600577517009626	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 Kawaguchi H, Katoh M	4. 巻 2019
2. 論文標題 Orbital angular momentum of Lienard Wiechert fields	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 083A02-1, 18
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz059	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 Hikosaka Y., Kaneyasu T., Fujimoto M., Iwayama H., Katoh M.	4. 巻 10
2. 論文標題 Coherent control in the extreme ultraviolet and attosecond regime by synchrotron radiation	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Nature Communications	6. 最初と最後の頁 4988-1, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1038/s41467-019-12978-w	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 Kaneyasu T., Hikosaka Y., Fujimoto M., Iwayama H., Katoh M.	4. 巻 123
2. 論文標題 Controlling the Orbital Alignment in Atoms Using Cross-Circularly Polarized Extreme Ultraviolet Wave Packets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 233401-1, 5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.123.233401	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19件（うち招待講演 4件 / うち国際学会 7件）

1. 発表者名 松永幸大、保坂将人、真野篤志、高嶋圭史、藤本将輝、加藤政博
2. 発表標題 UVSOR-IIIにおける短波長コヒーレント光渦発生の研究
3. 学会等名 第32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 2019年

1. 発表者名 金安達夫、彦坂泰正、藤本将輝、岩山洋士、加藤政博
2. 発表標題 極短紫外ベクトルビームによるヘリウム原子のゼーマン量子ビート
3. 学会等名 第32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 2019年

1. 発表者名 藤本将輝、松葉俊哉、保坂将人、加藤政博
2. 発表標題 タンデムアンジュレータを用いたラジアル偏光ビームの発生
3. 学会等名 第32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 2019年

1. 発表者名 松葉俊哉、川瀬啓悟、宮本篤、佐々木茂美、藤本将輝、許斐太郎、山本尚人、保坂将人、加藤政博
2. 発表標題 タンデムヘリカルアンジュレータによるベクトルビームの生成
3. 学会等名 第32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 2019年

1. 発表者名 藤本將輝、松葉俊哉、保坂将人、加藤政博
2. 発表標題 2台の直線偏光アンジュレータを用いたトポロジカル光発生
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 金安達夫、彦坂泰正、藤本將輝、岩山洋士、加藤政博
2. 発表標題 極短紫外ベクトルビームによるヘリウム原子のゼーマン量子ビート
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 松葉俊哉、川瀬啓悟、宮本篤、佐々木茂美、藤本將輝、許斐太郎、山本尚人、保坂将人、加藤政博
2. 発表標題 タンデムアンジュレータによるベクトルビーム発生
3. 学会等名 第15回日本加速器学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 保坂将人、藤本將輝、加藤政博
2. 発表標題 アンジュレータからの高次光の波面構造
3. 学会等名 第15回日本加速器学会年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro KATOH
2. 発表標題 Optical Vortex Beam from Helical Undulator
3. 学会等名 Conference on Laser and Synchrotron Radiation Combination Experiment 2019, Optics & Photonics International Congress 2018 (招待講演)(国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro KATOH
2. 発表標題 Twisted Radiation From Free Electrons in Circular Motion
3. 学会等名 8th International Particle Accelerator Conference (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Masahiro KATOH
2. 発表標題 Optical vortex Beam from helical Undulators
3. 学会等名 The 8th International Symposium of Advanced Energy Science (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 加藤政博
2. 発表標題 荷電粒子からの軌道角運動量を運ぶ電磁波の放射
3. 学会等名 「弱値・弱測定、エンタングルメント、量子コヒーレンスの新地平」研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 加藤政博
2. 発表標題 荷電粒子による渦電磁波の放射
3. 学会等名 日本物理学会第73回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 金安達夫
2. 発表標題 極端紫外光渦の原子分子物理への展開
3. 学会等名 日本物理学会第73回年会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masahiro KATOH
2. 発表標題 Optical vortex emitted from free electrons in nature
3. 学会等名 Light in Nature VII: SPIE Optics + Photonics 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro KATOH
2. 発表標題 Structured light beams from synchrotron
3. 学会等名 ICMaSS2019 International Conference on Materials and Systems for Sustainability (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro KATOH
2. 発表標題 Spatial Structure of Radiation from Relativistic Electrons
3. 学会等名 JSST2019 The 38th JSST Annual International Conference on Simulation Technology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masahiro KATOH
2. 発表標題 Structured Light from Synchrotrons
3. 学会等名 The 23rd Hiroshima International Symposium on Synchrotron Radiation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 野津庄平、松葉俊哉、川瀬啓吾、加藤政博
2. 発表標題 二光子相関による放射光パルス長の計測
3. 学会等名 第33回日本放射光学会年会
4. 発表年 2020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 分担者	保坂 将人 (Hosaka Masahito) (60290897)	名古屋大学・シンクロトロン光研究センター・特任准教授 (13901)	

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	金安 達夫 (Kaneyasu Tatsuo)		
研究協力者	彦坂 泰正 (Hikosaka Yasumasa)		
研究協力者	藤本 将輝 (Fujimoto Masaki)		
研究協力者	サレヒ エルハム (Salehi Elham)		
研究協力者	野津 庄平 (Notsu Shohei)		