

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 14 日現在

機関番号：15401

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2017～2020

課題番号：17H02897

研究課題名（和文）真空内四光波混合によるsub-eV暗黒場の高感度探索

研究課題名（英文）High-sensitivity search for sub-eV dark fields via four-wave mixing in vacuum

研究代表者

本間 謙輔（Homma, Kensuke）

広島大学・先進理工系科学研究科（理）・助教

研究者番号：40304399

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 14,900,000円

研究成果の概要（和文）：グローバル対称性の自発的破れにより、擬南部ゴールドストーンボゾン(pNGB)は自然界に現れ得る。その物質との結合が十分に弱い場合、質量が1eV未満のpNGBは、宇宙暗黒成分の自然な候補となり得る。2色のパルスレーザーの準真空下での集光により、真空内四光波混合を介して、pNGBの共鳴状態を探索した。背景信号光量を制御できるレーザー強度範囲において、真空内四光波混合光は観測されなかった。この結果から、pNGB質量と光子との結合の関係に95%の統計信頼度で制限をかけることに成功した。この探索結果の出版に加えて、全く異なる波長を持つ光子ビームを組み合わせたpNGB探索のためのアイデアを出版した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

暗黒エネルギー(DE)、暗黒物質(DM)は現代物理学の最大級の謎である。特にDMの起源は弱結合する素粒子群である可能性が高い。南部・ゴールドストーンらは自発的対称性の破れ(SSB)に伴う零質量のボゾン(NGB)の存在を予見した。故に重いDMの探索と、その対極にある質量が零に近いNGBの一般的探索は、探索の両輪となる資格がある。本探索手法は、高強度の光を用いた地上でのNGBの直接生成および誘導崩壊に基づいており、DMの宇宙論的仮定に依存しない特徴を持つ。本研究の成果を通じて、更なる弱結合領域へと感度を拡張する上での課題、および、新しい光技術と組み合わせた探索への将来展望が得られた。

研究成果の概要（英文）：A pseudo Nambu-Goldstone boson (pNGB) may appear in the realm of nature whenever a global symmetry is spontaneously broken. If the coupling to matter is weak enough, sub-eV pNGBs can be natural candidates for the dark component of the Universe. By focusing two-color pulsed lasers into a quasi-vacuum state, we have searched for resonance states of pNGBs via four-wave mixing in vacuum. Within the laser intensity ranges we could manage to control the background level, no significant four-wave mixing signal was observed and we then succeeded to constrain the coupling-mass relation for pNGBs at a 95% confidence level. In addition to publishing the search result, we also published extended ideas to probe pNGBs by combining photon beams with totally different wavelengths.

研究分野：素粒子・原子核・レーザー実験

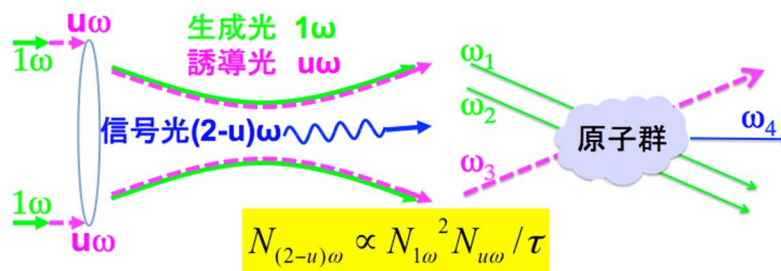
キーワード：暗黒物質 アクシオン ディラトン 真空内四光波混合

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

暗黒エネルギー (DE)、暗黒物質 (DM) は現代物理学の最大級の謎である。特に DM の起源は弱結合する素粒子群である可能性が高い。南部・ゴールドストーンらは自発的対称性の破れ (SSB) に伴う零質量のボゾン (NGB) の存在を予見した。ヒッグス機構は、SSB を拡張した模型であり、同機構が検証されつつある現在、SSB の主導原理を多様な対称性に適用することは正統な潮流である。故に重い DM の探索と、その対極にある質量が零に近い NGB の一般的探索は、探索の両輪となる資格がある。DM が衝突型加速器実験や地下宇宙線実験で探索される場合、実験手法の観点からも重い質量の DM が想定される。一方、NGB が DM となる場合、その質量は原理的には零に近づく。元来、NGB であるが故に中間子が軽いことを説明するために、SSB 原理はカイラル対称性に適用された。NGB は様々な力学要因により、実世界では厳密に零質量とはならない。このことを擬 NGB (pNGB) 化と称する。NGB が pNGB 化する背後には複雑な過程が含まれるため、その具体的な質量を理論的に予言することは容易ではない。それ故、重い DM の探索と相補的に、SSB 原理に基づく非常に軽い pNGB を広い質量域で一般的に探索することは極めて重要である。

研究代表者は、本研究開始以前に以下に説明する真空内四光波混合という探索手法を考案していた。真空内四光波混合 (下図 左) とは、エネルギー 1 の光子を含むレーザー場同士の準平行系散乱において、軽い場の介在により、 u を $0 < u < 1$ として、 $1 + 1$ 共鳴 $u + (2-u)$ という散乱過程を指す。準平行系では低質量場交換の共鳴条件を満たせるため、第一に散乱確率が増大する。この過程は、原子群に集光した 3 色の光が原子を介して混合し、4 つ目の光が生まれる量子光学的過程 (図 1 右) と運動学的に酷似している。真空内ではレーザー場 1 (2 色が縮退している生成光) で生成した長寿命の DM の崩壊を u (3 色目の誘導光) により誘導する。これらの特性を利用し $(2-u)$ 光子が探索すべき信号となる。四光波混合の反応率は、レーザー光子数の 3 乗に比例し、レーザー時間幅に反比例するため、近未来のレーザーの高強度化 (強度: $J/sec/m^2$) かつ高繰り返し化により感度が飛躍的に向上する。



真空内四光波混合 (左) と原子起因四光波混合 (右)。

本手法が探索の対象とする pNGB は、強固な理論的背景を持つアクシオン (擬スカラー場) およびディラトン (スカラー場) である。ディラトン場は、有限到達距離の重力源とも捉えられる。スケール変換に対して不変であったラグランジアンが、重力定数という次元を持った状態、すなわちスケール変換対称性の自発的破れに伴う pNGB であり、その自己相互作用により微小な質量を持った pNGB である。neV 以上のディラトンが量子アノマリー結合のみを通じて重力程度の強さで物質と相互作用できると、宇宙年齢 (10^{60} プランク単位) の 2 乗に反比例して減衰する宇宙項 (10^{-120} プランク単位) が自然に導出でき、観測値を無理なく説明できる。アクシオン場は Peccei-Quinn 対称性の自発的破れに伴う pNGB であり、中

間子と同様に、QCD 非摂動真空起因の pNGB 化に伴い実質量を得る。QCD 真空の非摂動的構造の理解は、宇宙論的にも重要課題となる。この転移で獲得する質量が meV- μ eV の場合、アクシオンが DM の有力な候補になり得るためである。ディラトンが DE の候補となるためには、その物質場との結合は重力程度に弱い必要がある。究極的に本手法の感度が重力結合へ至るのならば、それよりも強い結合領域に予言される軽い DM の候補は、必然的に観測網にかかる。重力結合への感度に至るには、現在開発途上にある高強度かつ高繰り返し回数のレーザーが必要となり、このような最先端レーザーを基礎物理学実験に利用する展望は開けている。しかし、超高強度場を用いて探索する予備的段階として、QCD アクシオン場の探索は、比較的低強度のレーザーでも可能となる見通しがある。

2．研究の目的

そこで2色の極短パルスレーザー光を真空中で集光し、軽い暗黒物質となり得る sub-eV 質量域の中性共鳴場の生成・誘導崩壊事象(真空内四光波混合過程)を、国内で利用可能なレーザー強度範囲にて、既出版した探索結果よりも、より弱結合域へと探索を拡張することを目的とした。

3．研究の方法

具体的なレーザーとして、本研究では京都大学化学研究所の研究分担者が運用していた最高出力 10TW のチタンサファイアレーザーを利用した。このレーザーを pNGB 生成用光源として、2色の短パルスレーザー光を真空中で集光し、真空起因の四光波混合過程の観測により、軽い暗黒物質となり得る sub-eV 質量域の中性共鳴場を、これまで公表した探索結果と比べて、結合定数に対して高感度な状態の探索を実施することを計画した。その方法は、第一に、原子起因の背景光を抑制するために、探索用真空容器内の真空度を桁違いに上げられる装置群の導入を行い、第2に、高強度生成用レーザー光を分岐して増幅用光源として利用し、非線形結晶を用いた誘導用レーザー光の高強度化を行うことであった。これらのアップグレードを段階的に進め、レーザー強度を上げつつ背景光が十分に抑制可能なレーザー強度において、探索を複数回実施した。

4．研究成果

原子起因の背景光量を、十分に抑制できるレーザー出力範囲にて探索を実施し、真空内四光波混合光が統計的に有意に観測されない結果を得た。スカラー型および擬スカラー型の pNGB の交換を想定した共鳴散乱における pNGB 質量と光子との結合のパラメータ関係に対して、棄却領域をより弱結合域へと拡張することに成功し、その結果を出版した[主要論文 1]。研究代表者は、並行してレーザー出力 0.1-10PW までの段階的なアップグレードを計画し、欧州連合が正式認可した Extreme Light Infrastructure の原子核部門(ELI-NP)に対して実験提案書を提出しており、本研究の結果を踏まえて ELI-NP 内にある探索系の設計・製作を現地の研究者らと共に進めた。本研究で用いた国内レーザーシステムでの探索は、同型のより高強度のレーザー系による探索に含まれる技術要素を含む原型となっているため、本研究で開発した探索系に含まれる詳細が、ELI-NP 内の探索系の設計に逐一反映された。ELI-NP の研究者らとは、本助成期間中に国際会議を共同主催し、本研究活動を公表した[国際会議主催 1]。加えて、全く異なる波長を持つ光子ビームを組み合わせた pNGB 探索のためのアイデアが本研究を通じて派生し、これらの拡張されたアイデアについても出版

した[主要論文 2,3,4]。

主要論文：

- [1] **“Extended search for sub-eV axion-like resonances via four-wave mixing with a quasi-parallel laser collider in a high-quality vacuum system”**,
Akihide Nobuhiro, Yusuke Hirahara , Kensuke Homma*, Yuri Kirita, Takaya Ozaki, Yoshihide Nakamiya, Masaki Hashida, Sunsuke Inoue, Shuji Sakabe, Prog. Theor. Exp. Phys. **2020**, 073C01.
- [2] **“Probing vacuum birefringence under a high-intensity laser field with gamma-ray polarimetry at the GeV scale”**,
Yoshihide Nakamiya and Kensuke Homma*, Phys. Rev. D96 (2017) no.5, 053002.
- [3] **“Exploring pseudo-Nambu–Goldstone bosons by stimulated photon colliders in the mass range 0.1 eV to 10 keV”**,
Kensuke Homma* and Yuichi Toyota, Prog. Theor. Exp. Phys. 2017 (2017) no.6, 063C01 .
- [4] **“Stimulated radar collider for probing gravitationally weak coupling pseudo Nambu-Goldstone bosons”**,
Kensuke Homma* and Yuri Kirita, Journal of High Energy Physics volume 2020,
Article number: 95 (2020).

国際会議主催：

- [1] **Report on OPIC Light Driven Nuclear-Particle physics and Cosmology (LNPC'17)**
Kensuke Homma*, レーザー学会誌レーザー研究 2017年10月 第45巻第10号 662-663.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 Nobuhiro Akihide, Hirahara Yusuke, Homma Kensuke, Kirita Yuri, Ozaki Takaya, Nakamiya Yoshihide, Hashida Masaki, Inoue Shunsuke, Sakabe Shuji	4. 巻 2020
2. 論文標題 Extended search for sub-eV axion-like resonances via four-wave mixing with a quasi-parallel laser collider in a high-quality vacuum system	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1-19
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptaa075	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 Homma Kensuke, Kirita Yuri	4. 巻 2020
2. 論文標題 Stimulated radar collider for probing gravitationally weak coupling pseudo Nambu-Goldstone bosons	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-25
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1007/JHEP09(2020)095	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 Kensuke Homma	4. 巻 1
2. 論文標題 Exploring pseudo-Nambu-Goldstone bosons in the sub-eV to 10 keV mass range with stimulated photon collider	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the PHOTON-2017 Conference	6. 最初と最後の頁 263-267
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.23727/CERN-Proceedings-2018-001.263	査読の有無 無
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 Kensuke Homma	4. 巻 28-3
2. 論文標題 Searches for pseudo Nambu-Goldstone Bosons by stimulated resonant photon-photon scatterings with high-intensity laser fields	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Soryushiron Kenkyu	6. 最初と最後の頁 30-34
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 無
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 本間謙輔	4. 巻 28-1
2. 論文標題 高強度レーザー場を用いた真空構造への多角的アプローチ	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 素粒子論研究・電子版	6. 最初と最後の頁 1-4
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 無
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 Kensuke Homma and Yuichi Toyota	4. 巻 6
2. 論文標題 Exploring pseudo-Nambu-Goldstone bosons by stimulated photon colliders in the mass range 0.1 eV to 10 keV	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Prog. Theor. Exp. Phys.. Theor. Exp. Phys.	6. 最初と最後の頁 063C01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptx069	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 Yoshihide Nakamiya and Kensuke Homma	4. 巻 96
2. 論文標題 Probing vacuum birefringence under a high-intensity laser field with gamma-ray polarimetry at the GeV scale	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Phys. Rev. D	6. 最初と最後の頁 53002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.96.053002	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 本間謙輔	4. 巻 45
2. 論文標題 Report on OPIC Light Driven Nuclear-Particle physics and Cosmology (LNPC '17)	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 レーザー学会誌レーザー研究	6. 最初と最後の頁 662-663
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 無
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28件(うち招待講演 16件/うち国際学会 13件)

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Perspective to search for dark components in the Universe with coherent photon collisions
3. 学会等名 3rd Johns Hopkins Workshop, Kavli IPMU, Kashiwa, Tokyo, Japan (2019.6.5) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Stimulated Radar Collider Toward a Laboratory Search for a Dark Energy Candidate
3. 学会等名 28th ANNUAL INTERNATIONAL LASER PHYSICS WORKSHOP, Gyeongju, Korea (2019.7.11) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Probing Quantum Vacuum at E4: Search for dark components in the sub-eV - 10 eV mass range
3. 学会等名 1st ELI-NP User Workshop, Magurele-Bucharest, Romania (2019.10.08) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Perspective of searching for axion-like particles in the mass range 10^{-7} - 10^3 eV with stimulated photon-photon collider
3. 学会等名 Zimanyi School 2019, Wigner Research Center for Physics, Budapest, Hungary (2019.12.02) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 尾崎堯弥, 桐田勇利, 平原祐輔, 信廣晃秀, 柴田早由里, 本間謙輔
2. 発表標題 3つの同色レーザーを用いた誘導共鳴散乱によるAxion的粒子の初探索
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会(素核宇)、山形大学小白川キャンパス (2019.9.18)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 柴田早由里, 本間謙輔
2. 発表標題 極低質量の宇宙暗黒成分探索へ向けたジョセフソン接合素子によるGHz帯光子計数法の考察
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会(素核宇)、山形大学小白川キャンパス (2019.9.17)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 桐田 勇利、信廣 晃秀、平原 祐輔、尾崎 堯弥、本間 謙輔、井上 峻介、橋田 昌樹、阪部 周二、中宮 義英
2. 発表標題 準平行光子誘導共鳴散乱を介したフェムト秒-ナノ秒パルスレーザーを用いたsub-eV領域共鳴場探索の現状
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会第40回年次大会、仙台国際センター (2020.1.22)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 桐田 勇利、信廣 晃秀、平原 祐輔、尾崎 堯弥、本間 謙輔、井上 峻介、橋田 昌樹、阪部 周二、中宮 義英
2. 発表標題 直線偏光パルスレーザーと円偏光パルスレーザーを用いた 真空四光波混合によるsub-eV質量領域の共鳴場の探索
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 Kensuke Homma
2. 発表標題 Laboratory searches for pseudo Nambu-Goldstone bosons with stimulated photon-photon colliders
3. 学会等名 Cosmic Acceleration, 17-19 February 2020 Kavli IPMU, Kashiwa, Japan (2020.2.19) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 本間謙輔
2. 発表標題 高強度場科学が切り拓く世界
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会 チャープパルス増幅法(CPA)の恩恵 (ビーム物理領域シンポジウム) (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Perspective of searching for dark components of the Universe with multi-high-intensity lasers
3. 学会等名 International Conference on Atomic & Nuclear Physics 2018, Osaka, Japan (2018.7.24) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Testing vacuum birefringence under a high-intensity laser field with GeV photons
3. 学会等名 International Conference on Atomic & Nuclear Physics 2018, Osaka, Japan (2018.7.24) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Probing Dark Components in the Universe in a Wide Mass Range from 10 ⁻⁷ eV to 104 eV with Multi-Wavelength Lasers
3. 学会等名 27th ANNUAL INTERNATIONAL LASER PHYSICS WORKSHOP, Nottingham, UK (2018.7.20) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Probing the quantum vacuum with high-intensity laser systems
3. 学会等名 The 8th Asian Summer (Momiji) School & Symposium on Laser Plasma Acceleration and Radiation (ASSS-8) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本間謙輔, 桐田勇利
2. 発表標題 GHz帯誘導共鳴レーザーコライダーによる暗黒エネルギー源ディラトン探索の構想
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 桐田勇利, 本間謙輔
2. 発表標題 準平行系光子光子散乱における非対称衝突を含む誘導共鳴散乱確率の定式化
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 信廣晃秀, 平原祐輔, 尾崎堯弥, 本間謙輔, 井上俊介, 橋田昌樹, 阪部周二, Y. Nakamiya
2. 発表標題 フェムト秒-ナノ秒パルスレーザーによる真空内四光波混合を用いたsub-eV共鳴場の高度化探索
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 平原祐輔, 尾崎堯弥, 信廣晃秀, 本間謙輔, 井上峻介, 橋田昌樹, 阪部周二, Y. Nakamiya, L. NeaguB, O. Tesileanu
2. 発表標題 光パラメトリック増幅によるフェムト秒誘導光を用いたsub-eV領域共鳴場探索の拡張
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 尾崎堯弥, 平原祐輔, 信廣晃秀, 本間謙輔
2. 発表標題 同色レーザーを用いた誘導共鳴散乱によるAxionの初期探索実験
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 信廣晃秀, 尾崎堯弥, 平原祐輔, 本間謙輔, 井上峻介, 橋田昌樹, 阪部周二, 中宮義英
2. 発表標題 準平行光子光子衝突による真空内四光波混合を用いたsub-eV 領域共鳴場探索へ向けた基礎研究
3. 学会等名 一般社団法人レーザー学会学術講演会 第39回年次大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Search for new physics using high-intensity laser fields
3. 学会等名 Workshop at Aspen Center for Physics: Developing New Tools for Dark Matter Searches, Aspen, USA (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Exploring pseudo-Nambu-Goldstone bosons in the sub-eV to 10 keV mass range with stimulated photon collider
3. 学会等名 Photon 2017, CERN Geneva, France (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Search for Axion-like Particles via optical Parametric effects with High-Intensity lasers in Empty Space (SAPPHIRES) in a wide mass range
3. 学会等名 Light driven Nuclear-Particle physics and Cosmology 2017, Yokohama, Japan (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本間謙輔
2. 発表標題 レーザーが拓く素粒子・宇宙論の科学
3. 学会等名 レーザー学会学術講演会第38回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 本間謙輔
2. 発表標題 高強度レーザー場を用いた真空構造への多角的アプローチ
3. 学会等名 第7回 日大理工・益川塾連携 素粒子物理学シンポジウム（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本間謙輔
2. 発表標題 高強度レーザー場衝突を用いた誘導共鳴散乱による暗黒場探索
3. 学会等名 金沢ダークマター研究会（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 本間謙輔
2. 発表標題 ELI-NPでの実験計画
3. 学会等名 光子科学合同シンポジウム，大阪大学（招待講演）
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kensuke Homma
2. 発表標題 Searches for pseudo Nambu-Goldstone Bosons by stimulated resonant photon-photon scatterings with high-intensity laser fields
3. 学会等名 1st workshop on Phenomenology for Particle and Anti-Particle 2018 (PPAP2018)（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

SAPPHIRES https://www.spphrs.hiroshima-u.ac.jp LNPC'17 https://www.lnpc17.hiroshima-u.ac.jp
--

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	阪部 周二 (Sakabe Shuji) (50153903)	京都大学・化学研究所・教授 (14301)	

	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
連携研究者	橋田 昌樹 (Hashida Masaki) (50291034)	京都大学・化学研究所・准教授 (14301)	

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1件

国際研究集会 Light driven Nuclear-Particle physics and Cosmology 2017 (LNPC'17)	開催年 2017年～2017年
--	--------------------

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		
ルーマニア	IFIN-HH研究所(ELI-NP)		