

令和 5 年 6 月 1 日現在

機関番号：12601

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2022

課題番号：18K13535

研究課題名（和文）ハドロンコライダーでの精密測定及びエキゾチックトラックを用いた暗黒物質探査

研究課題名（英文）Search for dark matter at hadron collider with precision measurement and exotic track

研究代表者

白井 智（Shirai, Satoshi）

東京大学・カブリ数物連携宇宙研究機構・特任助教

研究者番号：10784499

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,100,000円

研究成果の概要（和文）：加速器実験での暗黒物質の発見は、素粒子物理学の最も重要な課題のひとつである。本研究ではハドロンコライダーにおける暗黒物質の発見について、1. 暗黒物質の量子効果を用いた間接的探査、2. 暗黒物質セクターの粒子に起因するエキゾチックトラックを用いた直接探査についての研究を行った。両研究において、従来の暗黒物質探査方法と異なる有力な探査手法を提案した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

暗黒物質の解明は宇宙の構造、進化の歴史、将来の姿を解明するための科学の大きな目標である。そのためには高エネルギーで粒子をぶつけて暗黒物質を生成する加速器実験が重要である。現在稼働中の大型ハドロン衝突型加速器でも暗黒物質探査は活発に行われているが、その探査は容易ではない。本研究の結果によって、加速器での暗黒物質探査能力は著しく向上する。これは多大なリソースを割いて行われている加速器実験が真価を発揮して暗黒物質探査を行うための重要な役割を果たす。

研究成果の概要（英文）：The discovery of dark matter in collider experiments is one of the most important challenges in particle physics. In this study, we investigate the discovery of dark matter at hadron colliders by 1. indirect exploration using quantum effects of dark matter, and 2. direct exploration using exotic tracks caused by particles in the dark matter sector. In both studies, we proposed novel search methods that differ from conventional dark matter search methods.

研究分野：物理学

キーワード：暗黒物質 加速器 LHC

## 様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

暗黒物質の存在は宇宙の観測によって確立しているが、いまだその正体は謎である。暗黒物質の正体の解明は、現在の素粒子物理学の最も重要なテーマのひとつである。その手段として加速器実験が大きな役割を持っている。加速器実験は暗黒物質粒子を直接生成し、検出し、その性質を研究する手段となり、暗黒物質の研究にとって極めて重要である。

しかし大きな問題としては、どのように暗黒物質の検出をするかである。仮に加速器実験で十分な数の暗黒物質の生成が可能であっても、生成された暗黒物質はその名の示す通り暗黒であり、検出器との直接の相互作用は、ほぼ行わない。そのため、暗黒物質を直接検出することは困難である。加速器物理でどのような検出法で暗黒物質を発見し、その性質を測定するかは重大な課題である。

暗黒物質の検出の最も標準的な方法は加速器イベントにおける見かけ上の運動量の保存の破れを探ることである。生成された暗黒物質それ自体は検出されないが、運動量を持ち去り検出器外に逃げていく。そのため、暗黒物質生成に伴う光子やジェット、レプトンなどの運動量を観測すると、暗黒物質が取り去った運動量が損失運動量として観測される。大型ハドロン衝突型加速器(LHC)における暗黒物質探査もその消失運動量を用いて行われている。しかし、標準模型の物理過程からのバックグラウンドが膨大であり、暗黒物質シグナルを取り出すのが困難である。そのため、消失運動だけではなく、何か別のシグナルを用いることで暗黒物質を発見することが喫緊のテーマである。

### 2. 研究の目的

暗黒物質の LHC での検出において、バックグラウンドからの峻別がよい観測手法を確立することを目的としている。具体的な暗黒物質のセットアップとしては電弱相互作用をおこなう暗黒物質を想定し、このタイプの暗黒物質の LHC 検出感度を向上させることを目指す。暗黒物質が引き起こす量子的な補正効果及び、暗黒物質セクターに属する長寿命粒子に起因するエキゾチックなシグナルを用いて LHC による発見能力の向上が可能であることを明らかにする。

### 3. 研究の方法

この研究では、量子的な補正を用いた間接的暗黒物質検出と、エキゾチックシグナルを用いた直接的検出を調べた。

#### (1) 量子効果を用いた間接探査

加速器実験において暗黒物質シグナルは暗黒物質の直接生成だけではない。暗黒物質の直接生成がなかったとしても、暗黒物質の存在は量子的な補正を標準模型過程に与える。その補正を精密測定によって明らかにすることで、暗黒物質の間接的検証が可能になる。本研究では LHC で最も精密な測定が可能な 2 つのレプトンを生成する物理過程である、ドレルーヤン反応に注目した研究を行った。このプロセスにおける暗黒物質の寄与について理論計算を行い、それを LHC 実験のデータと比べた。

#### (2) エキゾチックトラックを用いた直接探査

電弱相互作用をおこなう暗黒物質には準安定な荷電粒子のパートナーが存在する。この粒子はナノ秒単位で暗黒物質に崩壊するが、LHC の飛跡検出器を用いて観測することが可能である。この際、荷電粒子自身が飛跡検出器で検出される消失荷電トラックと、荷電粒子からの崩壊物である低エネルギーのパイ中間子の 2 種類のエキゾチックトラックが存在する。低エネルギーのパイ中間子は親粒子の荷電粒子が準安定であるため、衝突点から少し離れた位置で生成される。このような 2 つの種類のエキゾチックトラックは標準模型には存在せず、標準模型からのバックグラウンドを強く抑制できると期待される。ただし、標準模型には似たような物理過程や測定器起因の誤測定などもある。これらの標準模型からのバックグラウンドを評価する。暗黒物質のシグナルの検出効率についても理論計算を行い、このようなエキゾチックトラックを用いた暗黒物質検出感度を調べる。

#### 4. 研究成果

量子的な補正を用いた間接的暗黒物質検出と、エキゾチックシグナルを用いた直接的検出の両方について大きな進展を得ることができた。

##### (1) 量子効果を用いた間接探査

電弱相互作用する暗黒物質がドレラー-ヤン反応に与える影響を調べた。LHC における2つの荷電レプトンの生成過程における効果[1]および、1つの荷電レプトンと1つのニュートリノの生成過程における効果を調べた[2]。さらに2ループまでの摂動計算と非相対論的場の理論を用いた非摂動的効果まで取り入れた計算を行った[3]。これらの理論計算と現在観測されているLHCでのレプトンの観測量を比べることで現在の制限を得ることができた。また同時に将来観測における発見可能領域も調べた。

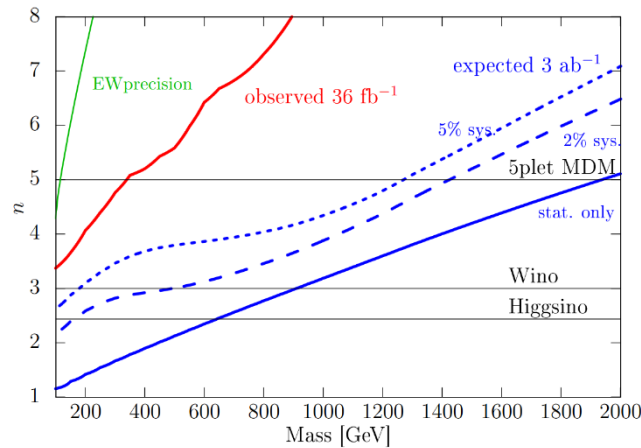


図 1 量子補正を用いた現在の LHC からの制限と将来 LHC 実験における探査可能領域。横軸は暗黒物質の質量、縦軸は電弱多重項の数を示している。線より上の領域が探査可能領域である。

図 1 には得られた結果を示している。ここでは LHC で観測されたドレラー-ヤン反応においてレプトンとニュートリノが生成される反応をデータとして用いている。横軸が暗黒物質の質量で縦軸が暗黒物質の電弱電荷である。図中の  $36 \text{ fb}^{-1}$  と  $3 \text{ ab}^{-1}$  は想定する LHC の積分ルミノシティである。それぞれの線より上の領域が探査可能である。将来探査に関しては、レプトンのエネルギー分布の標準模型の理論予言や、観測効率に関わる系統誤差にも依存する。ここではいくつかの仮定づいて、将来実験における感度推定を行っている。図中の Wino, Higgsino, 5plet MDM というのは代表的なベンチマーク模型である。

これらの一連の研究によって、量子効果を用いた暗黒物質の探査は、標準的な消失運動量を用いた暗黒物質と同程度か、それ以上に発見能力が高いことをわかった。それだけではなく、レプトンのエネルギー分布の精密測定によって暗黒物質の質量や量子数の測定も可能であることを示した。

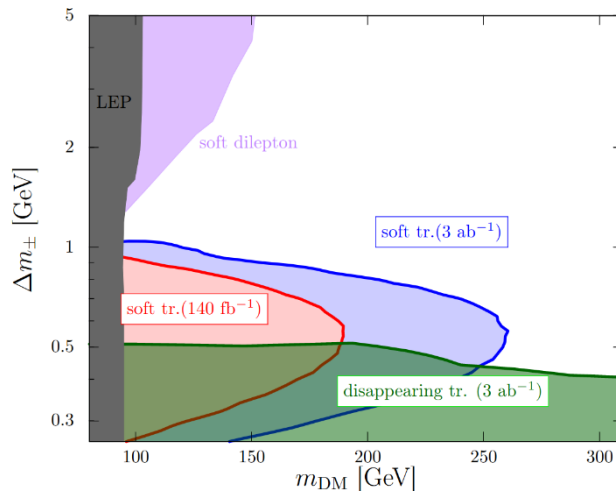
- [1] “Indirect Probe of Electroweakly Interacting Particles at the High-Luminosity Large Hadron Collider,” S. Matsumoto, S. Shirai and M. Takeuchi, JHEP 1806, 049 (2018)
- [2] “Indirect Probe of Electroweak-Interacting Particles with Mono-Lepton Signatures at Hadron Colliders,” S. Matsumoto, S. Shirai and M. Takeuchi, JHEP 1903, 076 (2019)
- [3] “Non-perturbative Effects on Electroweakly Interacting Massive Particles at Hadron Collider,” T. Katayose, S. Matsumoto and S. Shirai, Phys. Rev. D 103 (2021), 095017

##### (2) エキゾチックトラックを用いた直接探査

消失荷電トラックについて、新しい観測手法を提案した。消失荷電トラックについて、飛跡検出器で検出されたトラックの情報だけでなく、衝突点の情報を用いて、より短い寿命の荷電粒子の検出が可能であることを示した[4]。

また、荷電粒子からの崩壊物である低エネルギーのパイ中間子についての検出についても研究を行い、そのエネルギー・角度分布や衝突点からのズレであるインパクトパラメータの分布が標

準模型と異なることを示した[5]。この情報を用いることで従来は探索することができなかった暗黒物質のパラメータ領域が探索可能になった。



**図 2** エキゾチックトラックを用いた Higgsino 暗黒物質の LHC における探索可能領域。図中の soft tr.とあるのが低エネルギーパイ中間子を用いた探索で、disappearing tr.とあるのが消失荷電トラックからの探索可能領域。

図 2 はこれらのエキゾチックトラックを用いた暗黒物質の探索可能領域を示す。ここでは Higgsino と呼ばれる暗黒物質を例にしている。横軸が暗黒物質の質量で縦軸が荷電粒子と暗黒物質の質量差を示している。色のついている領域がそれぞれのシグナルで探索可能なパラメータ領域で、従来の LHC では soft dilepton と示している領域しか探索ができなかったが、本研究によって質量差が 1 GeV 以下の新しいパラメータ領域が探索可能になった。

[4] “Higgsino Dark Matter or Not: Role of Disappearing Track Searches at the LHC and Future Colliders,” H. Fukuda, N. Nagata, H. Otono and S. Shirai, Phys. Lett. B 781, 306 (2018)

[5] “Cornering Higgsinos Using Soft Displaced Tracks,” H. Fukuda, N. Nagata, H. Oide, H. Otono and S. Shirai, Phys. Rev. Lett. 124, no.10, 101801 (2020)

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計25件（うち査読付論文 25件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 25件）

1. 著者名 Katayose Taisuke, Matsumoto Shigeki, Shirai Satoshi	4. 巻 103
2. 論文標題 Nonperturbative effects on electroweakly interacting massive particles at hadron collider	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 95017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.095017	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 Ibe Masahiro, Kobayashi Shin, Nakayama Yuhei, Shirai Satoshi	4. 巻 5
2. 論文標題 On stability of fermionic superconducting current in cosmic string	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 217
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP05(2021)217	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 Ibe Masahiro, Kobayashi Shin, Nakayama Yuhei, Shirai Satoshi	4. 巻 7
2. 論文標題 Muon $g - 2$ in gauge mediation without SUSY CP problem	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 98
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2021)098	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 Katayose Taisuke, Matsumoto Shigeki, Shirai Satoshi, Watanabe Yu	4. 巻 9
2. 論文標題 Thermal real scalar triplet dark matter	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 44
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP09(2021)044	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 Eby Joshua, Shirai Satoshi, Stadnik Yevgeny V., Takhistov Volodymyr	4. 巻 825
2. 論文標題 Probing relativistic axions from transient astrophysical sources	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 136858 ~ 136858
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2021.136858	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 Ibe Masahiro, Kobayashi Shin, Nakayama Yuhei, Shirai Satoshi	4. 巻 3
2. 論文標題 Cosmological constraints on dark scalar	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 198
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2022)198	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 Saikawa Ken'ichi, Shirai Satoshi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Precise WIMP dark matter abundance and Standard Model thermodynamics	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 011 ~ 011
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2020/08/011	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 Ibe Masahiro, Kobayashi Shin, Nakayama Yuhei, Shirai Satoshi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Cosmological constraint on vector mediator of neutrino-electron interaction in light of XENON1T excess	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 4
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP12(2020)004	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 Hayashi Kohei, Ibe Masahiro, Kobayashi Shin, Nakayama Yuhei, Shirai Satoshi	4. 巻 103
2. 論文標題 Probing dark matter self-interaction with ultrafaint dwarf galaxies	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 23017
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.103.023017	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 Ghosh Dilip Kumar, Katayose Taisuke, Matsumoto Shigeki, Saha Ipsita, Shirai Satoshi, Tanabe Tomohiko	4. 巻 101
2. 論文標題 Role of future lepton colliders for fermionic Z-portal dark matter models	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 15007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.015007	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 該当する

1. 著者名 Fukuda Hajime, Luo Feng, Shirai Satoshi	4. 巻 2019
2. 論文標題 How heavy can neutralino dark matter be?	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2019)107	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 該当する

1. 著者名 Ibe Masahiro, Shirai Satoshi, Suzuki Motoo, Yanagida Tsutomu T.	4. 巻 100
2. 論文標題 Novel GUT with apparently complete SU(5) multiplets	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 55024
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.055024	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 該当する

1. 著者名 Fukuda Hajime, Nagata Natsumi, Oide Hideyuki, Otono Hidetoshi, Shirai Satoshi	4. 巻 124
2. 論文標題 Cornering Higgsinos Using Soft Displaced Tracks	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review Letters	6. 最初と最後の頁 101801
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevLett.124.101801	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 Ibe Masahiro, Kobayashi Shin, Nakayama Yuhei, Shirai Satoshi	4. 巻 2020
2. 論文標題 Cosmological constraint on dark photon from Neff	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 9
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2020)009	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 Saito Ryo, Shirai Satoshi, Yamazaki Masahito	4. 巻 101
2. 論文標題 Is the trans-Planckian censorship a swampland conjecture?	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 46022
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.046022	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 Fukuda Hajime, Nagata Natsumi, Otono Hidetoshi, Shirai Satoshi	4. 巻 781
2. 論文標題 Higgsino dark matter or not: Role of disappearing track searches at the LHC and future colliders	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 306 ~ 311
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.03.088	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 Matsumoto Shigeki、Shirai Satoshi、Takeuchi Michihisa	4. 巻 2018
2. 論文標題 Indirect probe of electroweakly interacting particles at the high-luminosity Large Hadron Collider	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 49
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP06(2018)049	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 Lu Xiaochuan、Shirai Satoshi	4. 巻 784
2. 論文標題 Low-scale gauge mediation after LHC Run 2	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 237 ~ 247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2018.07.057	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 該当する

1. 著者名 Saikawa Ken'ichi、Shirai Satoshi	4. 巻 2018
2. 論文標題 Primordial gravitational waves, precisely: the role of thermodynamics in the Standard Model	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 35
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2018/05/035	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 該当する

1. 著者名 Matsumoto Shigeki、Shirai Satoshi、Takeuchi Michihisa	4. 巻 2019
2. 論文標題 Indirect probe of electroweak-interacting particles with mono-lepton signatures at hadron colliders	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 76
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP03(2019)076	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 Fukuda Hajime, Shirai Satoshi	4. 巻 105
2. 論文標題 Detection of QCD axion dark matter by coherent scattering	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 95030
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.105.095030	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 該当する

1. 著者名 Ibe Masahiro, Shirai Satoshi, Suzuki Motoo, Watanabe Keiichi, Yanagida Tsutomu T.	4. 巻 2022
2. 論文標題 More on fake GUT	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 87
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2022)087	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 該当する

1. 著者名 Fukuda Hajime, Otono Hidetoshi, Shirai Satoshi	4. 巻 106
2. 論文標題 Searching for the QCD axion with the proposed International Linear Collider beam facility	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 55029
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.106.055029	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 該当する

1. 著者名 Ibe Masahiro, Mishima Masataka, Nakayama Yuhei, Shirai Satoshi	4. 巻 2023
2. 論文標題 Precise estimate of charged Wino decay rate	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 17
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP01(2023)017	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 Herrera Gonzalo, Ibarra Alejandro, Shirai Satoshi	4. 巻 2023
2. 論文標題 Enhanced prospects for direct detection of inelastic dark matter from a non-galactic diffuse component	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 Journal of Cosmology and Astroparticle Physics	6. 最初と最後の頁 026 ~ 026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1475-7516/2023/04/026	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 該当する

[学会発表] 計26件 (うち招待講演 20件 / うち国際学会 22件)

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Precise WIMP Dark Matter Abundance and Standard Model Thermodynamics
3. 学会等名 RIKEN iTHEMS Dark Matter Working Group (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 白井智
2. 発表標題 ILC 物理の最新動向 - 将来レプトンコライダーで解くべき問題、解けない問題 -
3. 学会等名 日本物理学会第77回年次大会 (招待講演)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Cornering Higgsino at the LHC
3. 学会等名 KEK-PH Lectures and Workshops (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Naturalness and Typicality
3. 学会等名 Summer camp on ILC accelerator, physics and detectors 2020 (招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Cornering Higgsino at the LHC
3. 学会等名 LLP workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Wino theory and future prospects
3. 学会等名 Dark matter searches in the 2020s - At the crossroads of the WIMP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Cornering Higgsino at the LHC
3. 学会等名 Asian-European-Institutes Workshop for BSM (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Collider Studies of Viable SUSY Dark Matter Models
3. 学会等名 PACIFIC 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 暗黒物質理論
3. 学会等名 ダークマターの懇談会2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Long Lived Particles in Viable SUSY Dark Matter Models
3. 学会等名 New Physics with Exotic and Long-Lived Particles: A Joint ICISE-CBPF Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Indirect Probe of Electroweak-Interacting Particles with Lepton Signatures at Hadron Colliders
3. 学会等名 SUSY2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Minimal Dark Matter at Colliders
3. 学会等名 Planck 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Minimal Dark Matter at Colliders
3. 学会等名 alcw2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 SUSY and Cosmology/Naturalness
3. 学会等名 Joint Kavli IPMU - ICEPP Workshop on New Directions for LHC: Run 2 and Beyond (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Indirect Probe of Minimal Dark Matter at Collider
3. 学会等名 SUSY2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Standard Model Thermodynamics: Effect on Gravitational Wave and Dark Matter
3. 学会等名 PACIFIC2018.9 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Phenomenological consequences of the (refined) swampland conjecture
3. 学会等名 PGU2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 How to exploit the available LHC data
3. 学会等名 Joint Kavli IPMU - ICEPP Workshop on Future Directions for HEP (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 QCD Axion Search with ILC Beam Facility
3. 学会等名 Planck 2022 (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 On the Detection of QCD Axion Dark Matter by Coherent Scattering
3. 学会等名 PASCOS 2022 ( 国際学会 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Status and Challenge of Dark Matter Search at Collider
3. 学会等名 DM3 Workshop ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Cosmic neutrino background as probe of new physics
3. 学会等名 Exploration of Particle Physics and Cosmology with Neutrino ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 On Detection of Axion Dark Matter
3. 学会等名 Asian-Europea-Institutes Workshop for BSM ( 招待講演 ) ( 国際学会 )
4. 発表年 2022年



1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 ILC Physics overview
3. 学会等名 1st general meeting of ILC-Japan Physics Working Group (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 Proton Decay as a Probe of Fundamental Physics
3. 学会等名 RCNP Workshop on Physics on Baryon number and Lepton number using Nuclei (招待講演)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Satoshi Shirai
2. 発表標題 WIMP Phenemology
3. 学会等名 B1 Heavy Flavor and Dark Matter Joint Unit Symposium (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2023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			
中国	Zhongshan University			
インド	IACS			
ドイツ	Munich, Max Planck Inst.	TUM		
米国	UC Davis	UC Berkeley		