

令和 2 年 6 月 12 日現在

機関番号：14501

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2016～2019

課題番号：16H02189

研究課題名（和文）陰イオンガス検出器による暗黒物質直接探索実験

研究課題名（英文）Dark matter direct search with a negative-ion time-projection-chamber

研究代表者

身内 賢太郎（Miuchi, Kentaro）

神戸大学・理学研究科・准教授

研究者番号：80362440

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 35,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究は、宇宙の組成の1/4を占める未発見の素粒子「暗黒物質」の発見及び性質解明を究極の目標として研究を進めた。暗黒物質の発見および性質解明に重要となる方向に感度を持つ手法の感度を向上させるために、新しい技術の検出器「陰イオンガスTPC」の開発を行った。また、地下実験による方向に感度を持つ暗黒物質探索を行った。本研究によって方向に感度をもつ暗黒物質探索の感度を約1桁が向上させることに成功、暗黒物質の発見が示唆されるDAMA領域の探索が目前に迫った。今後のさらなる低バックグラウンド化、大型化によって暗黒物質発見の決定的な証拠、さらに正体解明も期待できる、大きく前進した研究となった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は、宇宙の組成の1/4を占める未発見の素粒子「暗黒物質」の発見及び性質解明を究極の目標として研究を進めた。暗黒物質の発見および性質解明に重要となる方向に感度を持つ手法の感度を向上させるために、新しい技術の検出器「陰イオンガスTPC」の開発を行った。また、地下実験による方向に感度を持つ暗黒物質探索を行った。これらの結果は、宇宙の大きな謎である暗黒物質の正体解明に対する大きな一歩となった。

研究成果の概要（英文）：The ultimate goal of this work is to detect and reveal the nature of the unknown material in the universe, the dark matter. The dark matter is known to contribute one fourth of the total energy in the universe. We developed a novel detector named negative-ion gaseous time projection chamber. This device should be a breakthrough technology towards the discovery of the dark matter. We also performed a direction-sensitive dark matter search in Kamioka underground laboratory and improved the limit to the dark matter interaction by one order of magnitude. This result was close to the region where the dark matter detection was indicated. Development of a low background and large volume detector would enable us to start the investigation of the indicated region.

研究分野：宇宙素粒子物理学

キーワード：暗黒物質 地下実験 低放射能技術 粒子検出器 宇宙線実験 素粒子実験

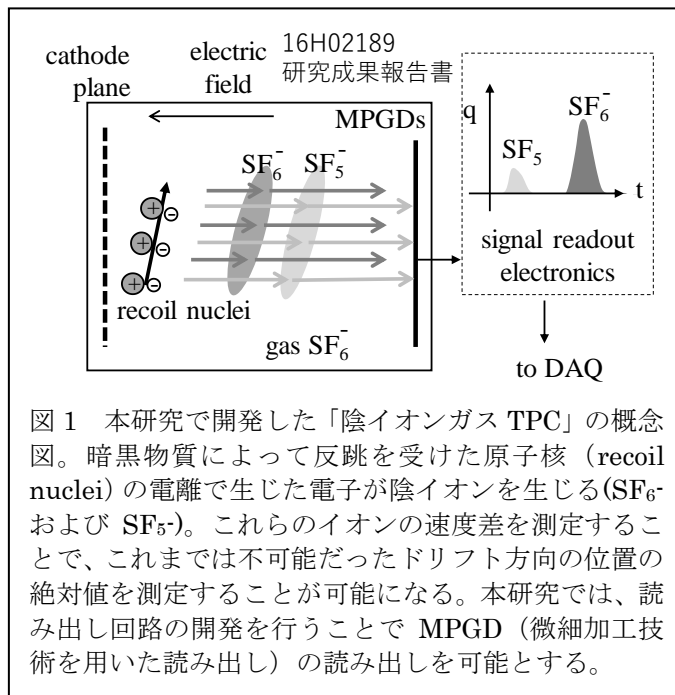
様式 C-19、F-19-1、Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

宇宙のエネルギー密度の約 1/4 は、未知の素粒子「暗黒物質」で構成されている。暗黒物質の正体を解明するために、世界中で多くの研究がなされている。その中でも暗黒物質と原子核との弾性散乱による反跳原子核を検出する手法は「直接探索」と呼ばれ、大質量検出器による制限が大きく進んでいる。一方で、14 サイクルの季節変動を報告しているイタリアの DAMA 実験の結果も依然として残っている。本研究で感度を向上させた到来方向に感度を持つ手法など、確度の高い手法による DAMA 領域やその先の探索は急務であった。到来方向に感度を持つ手法は、確度の高い信号が期待され、暗黒物質検出後にはその性質を解明するために有用であると期待される一方で、検出器由来の放射線による背景事象によって感度が制限されていた。

2. 研究の目的

本研究開始の直前に、米国の研究グループによって「陰イオンガス TPC」という新しい概念の検出器によって、背景事象の強力な排除が可能となる原理実証が示された (図 1)。本研究では、独自の検出器開発技術によって「陰イオンガス TPC」を製作することを第一の目的とした。さらに、地下実験室で方向に感度を持つ暗黒物質探索実験を行い、既存の感度を一桁以上上回る感度での暗黒物質探索を行うこと第二の目的とした。また、同時に理論的研究を進め、暗黒物質の正体解明に向けた道筋を得ることも目的の一つとした。



3. 研究の方法

DAMA 領域やその先の探索を可能とするような大型陰イオンガス TPC を製作するために、本研究は以下の方法で行った。

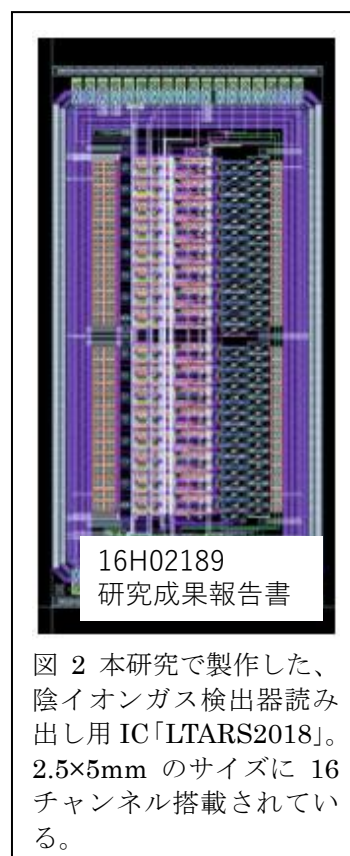
- (1) 陰イオンガス TPC のための回路開発
- (2) 陰イオンガス TPC の開発
- (3) 地下実験
- (4) 理論的研究

以下、4. ではこれらの内容に分類して成果をまとめる。

4. 研究成果

- (1) 陰イオンガス TPC のための回路開発

三次元飛跡を検出する TPC 検出器は非常に多チャンネルの読み出しを持つ。30cm 角の検出器では約 1500 チャンネルが必要であるため、IC を使用する必要がある。陰イオンガスの読み出し回路は通常的气体 TPC よりも時定数が 100 倍遅く、既存の IC で使用可能なものはなかった。本研究では、液体アルゴン用に開発されていた IC を元にして 2 度の IC 製作を行い、2018 年度に IC 「LTARS2018」を製作 (図 2)、要求値を満たす性能をしめすことを確認した。さらに、システム化を見据えて LTARS2 チップを搭載した基板を製作した (図 3)。こうした回路開発は陰イオンガス TPC の原理実証を行った米国グループでも行われておらず、陰イオンガス TPC の三次元飛跡を検出するための IC 製



作という面で世界をリードする成果となった。

(2) 陰イオンガス TPC の開発
研究開始時点で、米国の研究グループでは陰イオンガス TPC としてドリフト距離の測定を実証したが、方向に感度を持つ暗黒物質実験として重要な要素である飛跡検出は行えていなかった。先述のとおり、三次元飛跡検出のためには IC が必要である。我々は MPGD と IC を組み合わせて陰イオンガス TPC を開発、性能評価を行った。ガスゲイン、位置分解能の測定などとともに、ドリフト方向の位置再構成の測定を行い、正しく検出可能であることを示した(図 4)。さらに、世界初となるドリ

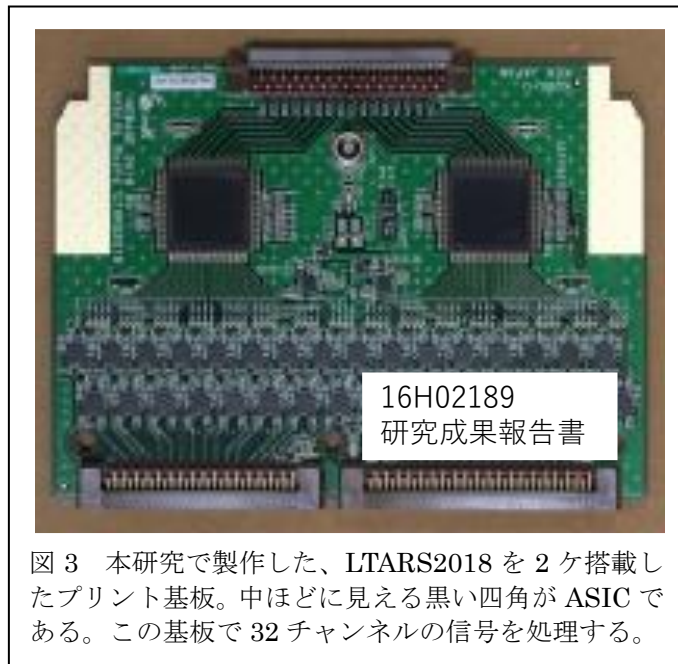


図 3 本研究で製作した、LTARS2018 を 2 枚搭載したプリント基板。中ほどに見える黒い四角が ASIC である。この基板で 32 チャンネルの信号を処理する。

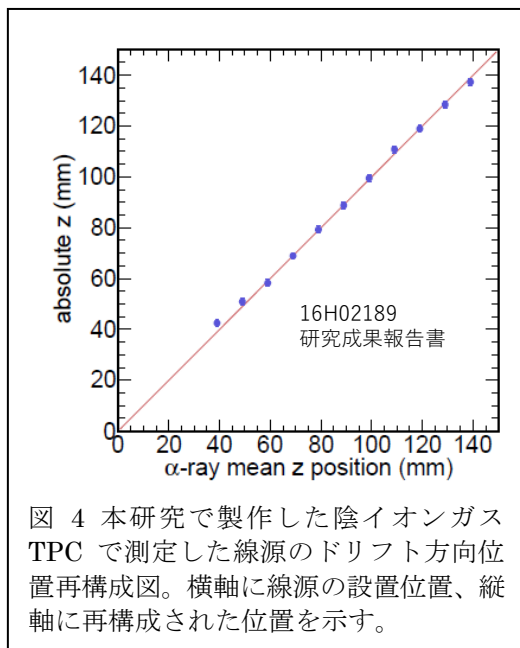


図 4 本研究で製作した陰イオンガス TPC で測定した線源のドリフト方向位置再構成図。横軸に線源の設置位置、縦軸に再構成された位置を示す。

フト方向の絶対位置測定と三次元飛跡検出の同時検出を行った(図 5)。

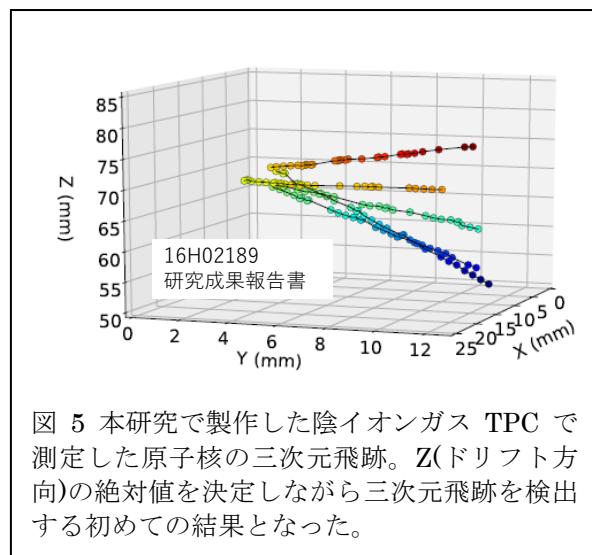


図 5 本研究で製作した陰イオンガス TPC で測定した原子核の三次元飛跡。Z(ドリフト方向)の絶対値を決定しながら三次元飛跡を検出する初めての結果となった。

(3) 地下実験

我々は三次元飛跡検出器を用いて方向に感度を持つ暗黒物質実験を地下実験室で行い、当該手法による暗黒物質探索で世界をリードしてきた。研究開始時点では検出器表面からの放射線が深刻なバックグラウンドとなっており、この低減が喫緊の課題であった。検出器表面からのバックグラウンド対策を行い、神岡地下実験室で方向に感度のある暗黒物質探索実験を行った。図 6 のエネルギースペクトルに示す通り、研究開始前に比べて計数率が 1 桁以上低減した。このエネルギースペクトルで表される低計数率のデータの、方向に感度を持つ解析により、方向に感度を持つ暗黒物質に対する制限を約 1 桁更新した(図 7)。

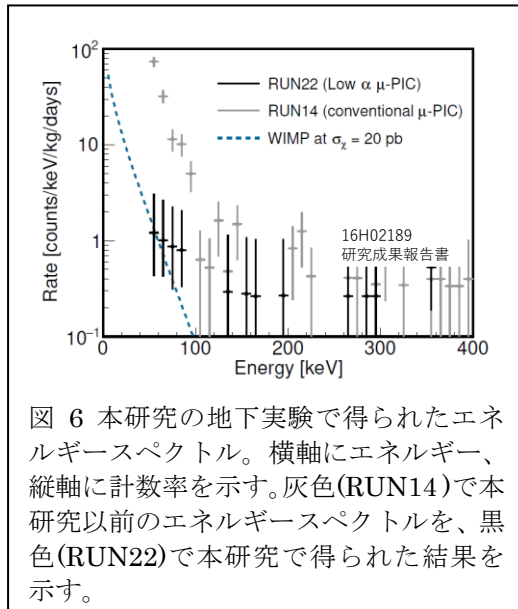


図 6 本研究の地下実験で得られたエネルギースペクトル。横軸にエネルギー、縦軸に計数率を示す。灰色(RUN14)で本研究以前のエネルギースペクトルを、黒色(RUN22)で本研究で得られた結果を示す。

(4) 理論的研究

方向に感度を持つ検出器による暗黒物質の性質や、銀河内での運動に対する感度の評価を進め、論文として発表した。暗黒物質候補として、アクシオンなどに関する理論的研究、また、標準模型を超える新しい物理の理論的探求に、暗黒物質やニュートリノの極微質量などを手がかりとして取り組んだ。特に、大統一理論との関連に新しい発見が得られた。

(5) 今後の展望

本研究によって方向に感度をもつ暗黒物質探索の感度が向上、図 7 に示す通り DAMA 領域の探索が目前に迫った。今後のさらなる低バックグラウンド化、大型化によって DAMA 領域の探索が可能となる。暗黒物質発見の決定的な証拠、さらに正体解明に向けて大きく前進した研究となった。

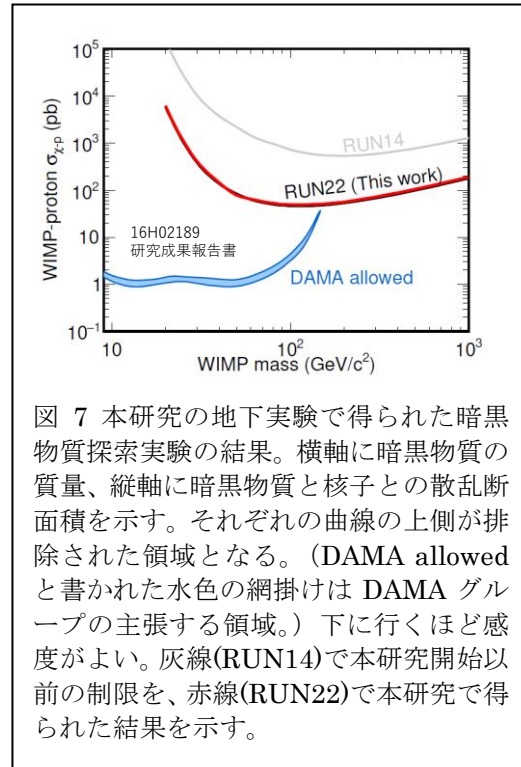


図 7 本研究の地下実験で得られた暗黒物質探索実験の結果。横軸に暗黒物質の質量、縦軸に暗黒物質と核子との散乱断面積を示す。それぞれの曲線の上側が排除された領域となる。(DAMA allowed と書かれた水色の網掛けは DAMA グループの主張する領域。) 下に行くほど感度がよい。灰線(RUN14)で本研究開始以前の制限を、赤線(RUN22)で本研究で得られた結果を示す。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計31件（うち査読付論文 27件／うち国際共著 4件／うちオープンアクセス 21件）

1. 著者名 Keita Mizukoshi, Ryosuke Taishaku, Keishi Hosokawa, Kazuyoshi Kobayashi, Kentaro Miuchi, Tatsuhiro Naka, Atsushi Takeda, Masashi Tanaka, Yoshiki Wada, Kohei Yorita, Sei Yoshida	4. 巻 12
2. 論文標題 Measurement of ambient neutrons in an underground laboratory at Kamioka Observatory	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 123C01 ~ 123C01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1093/ptep/pty133	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 Nakazawa M., Kishishita T., Shoji M., Sakashita K., Ikeda T., Ishiura H., Battat J.B.R., Nicoloff C., Tanaka M.M., Hasegawa T., Miuchi K.	4. 巻 14
2. 論文標題 Prototype analog front-end for negative-ion gas and dual-phase liquid-Ar TPCs	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 T01008 ~ T01008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) DOI: 10.1088/1748-0221/14/01/T01008	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 Kentaro Miuchi, Tomonori Ikeda, Hirohisa Ishiura, Kiseki D. Nakamura, Atsushi Takada, Yasuhiro Homma, Ko Abe, Koichi Ichimura, Hiroshi Ito, Kazuyoshi Kobayashi Takuma Nakamura, Ryuichi Ueno, Takuya Shimada, Takashi Hashimoto, Ryota Yakabe, Atsuhiko Ochi	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of a time projection chamber with a sheet-resistor field cage	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1~12
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptz048	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 Ema Yohei, Hagihara Daisuke, Hamaguchi Koichi, Moroi Takeo, Nakayama Kazunori	4. 巻 2018
2. 論文標題 Supersymmetric fluxion	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 094~094
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP04(2018)094	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 Haba Naoyuki, Takahashi Tomo, Yamada Toshifumi	4. 巻 2018
2. 論文標題 Sneutrinos as mixed inflaton and curvaton	5. 発行年 2018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) 10.1088/1475-7516/2018/06/011	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 Ikeda Tomonori, Miuch Kentaro, Ochi Atsuhiko, Yakabe Ryota, Hashimoto Takashi, Taishaku Ryosuke, Snowden-Ifft Daniel P., Gauvreau Jean-Luc, Tanimori Toru, Takada Atsushi, Nakamura Kiseki	4. 巻 174
2. 論文標題 Study of Negative-Ion TPC Using μ -PIC for Directional Dark Matter Search	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 EPJ Web of Conferences	6. 最初と最後の頁 02006 ~ 02006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1051/epjconf/201817402006	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 Haba Naoyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 95
2. 論文標題 Strong dynamics in a classically scale invariant extension of the standard model with a flat potential	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1103/PhysRevD.95.115016	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 -

1. 著者名 Haba Naoyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 95
2. 論文標題 Multiple-point principle realized with strong dynamics	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1103/PhysRevD.95.115015	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 -

1. 著者名 Hamaguchi Koichi, Nakayama Kazunori, Tang Yong	4. 巻 772
2. 論文標題 Gravitino/axino as decaying dark matter and cosmological tensions	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 415 ~ 419
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1016/j.physletb.2017.06.071	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 -

1. 著者名 Endo Motoi, Hamaguchi Koichi, Iwamoto Sho, Yanagi Keisuke	4. 巻 2017
2. 論文標題 Probing minimal SUSY scenarios in the light of muon $g-2$ and dark matter	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-16
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) doi:10.1007/JHEP06(2017)031	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 -

1. 著者名 Kentaro Miuchi	4. 巻 11
2. 論文標題 Radiation Detectors for Direct Dark Matter Search	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 040001 1-7
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.11.040001	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 Ryota Yakabe, Yushiro Yamaguchi, Kentaro Miuchi, Kiseki Nakamura, Shota Nakaura, Takashi Hashimoto, Tomonori Ikeda, Ryosuke Taishaku	4. 巻 11
2. 論文標題 Direction-Sensitive Dark Matter Search Using Micro Time-Projection-Chamber	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc	6. 最初と最後の頁 040002 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7566/JPSCP.11.040002	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 J.B.R. Battat, I.G. Irastorza, ... K. Miuchi(57番目) 全93名	4. 巻 662
2. 論文標題 Readout technologies for directional WIMP Dark Matter detection	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Physics Reports	6. 最初と最後の頁 1-46
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physrep.2016.10.001	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 中村輝石、身内 賢太郎	4. 巻 71
2. 論文標題 NEWAGE : 方向に感度を持つダークマター直接探索実験	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 日本物理学会誌	6. 最初と最後の頁 469
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 -

1. 著者名 Koichi Hamaguchi, Seng Pei Liew	4. 巻 94
2. 論文標題 Models of a 750 GeV quarkonium and the LHC excesses	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys.Rev. D	6. 最初と最後の頁 35012
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.94.035012	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 Kyu Jung Bae, Chuan-Ren Chen, Koichi Hamaguchi, Ian Low	4. 巻 94
2. 論文標題 From the 750 GeV diphoton resonance to multilepton excesses	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Phys.Rev. D	6. 最初と最後の頁 15035
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.94.015035. 94 (2016) .	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 N. Haba, H. Ishida, N. Okada and Y. Yamaguchi	4. 巻 76
2. 論文標題 Vacuum stability and naturalness in type-II seesaw	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 Eur. Phys. J. C	6. 最初と最後の頁 333-1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-016-4180-z	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 N. Haba, H. Ishida and Y. Yamaguchi	4. 巻 1611
2. 論文標題 Naturalness and lepton number/flavor violation in inverse seesaw models	5. 発行年 2016年
3. 雑誌名 JHEP	6. 最初と最後の頁 003-1-19
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP11(2016)003	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 Ikeda T., Miuchi K., Hashimoto T., Ishiura H., Nakamura T., Shimada T., Nakamura K.	4. 巻 1468
2. 論文標題 Results of a directional dark matter search from the NEWAGE experiment	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012042 ~ 012042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012042	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 Miuchi Kentaro, Baracchini Elisabetta, Lane Gregory, Spooner Neil J. C., Vahsen S. E.	4. 巻 1468
2. 論文標題 CYGNUS	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012044 ~ 012044
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012044	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 Ito Asuka, Ikeda Tomonori, Miuchi Kentaro, Soda Jiro	4. 巻 80
2. 論文標題 Probing GHz gravitational waves with graviton?magnon resonance	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 The European Physical Journal C	6. 最初と最後の頁 1-5
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1140/epjc/s10052-020-7735-y	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 Ito Hiroshi, Miuchi Kentaro, Kobayashi Kazuyoshi, Takeuchi Yasuo, Nakamura Kiseki D., Ikeda Tomonori, Ishiura Hirohisa	4. 巻 1468
2. 論文標題 Alpha-ray imaging chamber based on a micro-TPC in a low radioactivity structure	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012233 ~ 012233
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012233	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 Mizukoshi Keita, Taishaku Ryosuke, Hosokawa Keishi, Kobayashi Kazuyoshi, Miuchi Kentaro, Naka Tatsuhiro, Takeda Atsushi, Tanaka Masashi, Wada Yoshiki, Yorita Kohei, Yoshida Sei	4. 巻 1468
2. 論文標題 Measurement of ambient neutrons in an underground laboratory at Kamioka Observatory and future plan	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012247 ~ 012247
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012247	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 Nagao Keiko I., Ikeda Tomonori, Yakabe Ryota, Naka Tatsuhiro, Miuchi Kentaro	4. 巻 27
2. 論文標題 Discrimination of anisotropy in dark matter velocity distribution with directional detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physics of the Dark Universe	6. 最初と最後の頁 100426 ~ 100426
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.dark.2019.100426	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 Ito H., Hashimoto T., Miuchi K., Kobayashi K., Takeuchi Y., Nakamura K.D., Ikeda T., Ishiura H.	4. 巻 953
2. 論文標題 Development of an alpha-particle imaging detector based on a low radioactivity micro-time-projection chamber	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment	6. 最初と最後の頁 163050 ~ 163050
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.163050	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 Haba Naoyuki, Mimura Yukihiro, Yamada Toshifumi	4. 巻 99
2. 論文標題 Proton lifetime upper bound in non-SUSY SU(5) GUT	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-10
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.99.075018	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 Haba Naoyuki, Mimura Yukihiro, Yamada Toshifumi	4. 巻 2019
2. 論文標題 Detectable dimension-6 proton decay in SUSY S0(10) GUT at Hyper-Kamiokande	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of High Energy Physics	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/JHEP07(2019)155	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 Haba Naoyuki, Yamada Toshifumi	4. 巻 101
2. 論文標題 Gravitational waves from phase transition in minimal SUSY U(1)B?L model	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-14
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.075027	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 Haba Naoyuki, Mimura Yukihiro, Yamada Toshifumi	4. 巻 101
2. 論文標題 23 octant measurement in 3+1 neutrino oscillations in T2HKK	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 1-15
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.101.075034	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 Hamaguchi Koichi, Nagata Natsumi, Yanagi Keisuke	4. 巻 795
2. 論文標題 Dark matter heating vs. rotochemical heating in old neutron stars	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 484 ~ 489
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.06.060	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. Ikeda, T. Shimada, H. Ishiura, K. D. Nakamura, T. Nakamura, K. Miuchi	4. 巻 accepted
2. 論文標題 Development of a Negative Ion Micro TPC Detector with SF6 Gas for the Directional Dark Matter Search	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 accepted
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 オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計81件 (うち招待講演 28件 / うち国際学会 38件)

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 Direct Dark Matter Detection Review
3. 学会等名 The 29th Workshop on General Relativity and Gravitation in Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 Topics from "Tokyo workshop Dark matter searches in the 2020s At the crossroads of the WIMP"
3. 学会等名 Magnificent CEvNS 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 CYGNUS
3. 学会等名 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics(TAUP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 CYGNUS / NEWAGE(invited)
3. 学会等名 KUBEC International Workshop on Dark Matter Searches 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 MPGD and negative-ion gas(invited)
3. 学会等名 KUBEC International Workshop on Dark Matter Searches 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 CYGNUS negative ion gas study
3. 学会等名 CYGNUS 2019 seventh workshop on directional dark matter searches (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 Status of NEWAGE/CYGNUS-KM
3. 学会等名 CYGNUS 2019 seventh workshop on directional dark matter searches (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 Direction-sensitive dark matter detection with gaseous tracking detectors
3. 学会等名 2019 Joint Workshop of FKPL and TYL/FJPPL (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 身内賢太朗
2. 発表標題 方向感度のあるDM直接探索
3. 学会等名 2019年度 第1回 CRC将来計画タウンミーティング
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 暗黒物質探索実験と量子エレクトロニクス
3. 学会等名 応用物理学会・量子エレクトロニクス研究会「宇宙量子エレクトロニクス」 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 方向に感度をもった暗黒物質直接探索
3. 学会等名 新学術領域「地下から解き明かす宇宙の歴史と物質の進化」領域研究会 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiko Nagao
2. 発表標題 Discrimination of Dark Matter Mass and Velocity Distribution by Directional Detection
3. 学会等名 International Conference on Neutrinos and Dark Matter (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keiko Nagao
2. 発表標題 Anisotropy of dark matter velocity distribution and directional detection
3. 学会等名 NCTS Dark Physics Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Keiko Nagao
2. 発表標題 Discriminating WIMP Mass and Anisotropy with Directional Detector
3. 学会等名 NCTS Annual Theory Meeting 2019: Particles, Cosmology and Strings (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Keiko Nagao
2. 発表標題 Discrimination of Dark Matter Mass and Velocity Distribution by Directional Detection
3. 学会等名 16th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics(TAUP2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 長尾 桂子
2. 発表標題 方向感度をもつ暗黒物質の直接検出実験による軽い暗黒物質の検証
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 Koichi Hamaguchi
2. 発表標題 A Limit on Axion from the Cooling Neutron Star in Cassiopeia A
3. 学会等名 22nd International Conference From the Planck Scale to the Electroweak Scale (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Hamaguchi
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 Koichi Hamaguchi
2. 発表標題 Discussion: Astrophysical signatures of / bounds on axions
3. 学会等名 Axions in the Lab and in the Cosmos (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Hamaguchi
2. 発表標題 Dark Matter Heating vs. Rotochemical Heating in Old Neutron Stars
3. 学会等名 Summer Institute 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 濱口幸一
2. 発表標題 物質の起源を解明する新たな素粒子模型と初期宇宙進化の理論研究
3. 学会等名 新学術「地下宇宙研究会」(招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Koichi Hamaguchi
2. 発表標題 Dark Matter Heating vs. Rotochemical Heating in Old Neutron Stars
3. 学会等名 IBS-Busan Workshop 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 NEWAGE
3. 学会等名 Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 Low BG TPC for direction-sensitive dark matter search
3. 学会等名 9th symposium on Large TPCs for low-energy rare event detection (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 NEWAGE
3. 学会等名 Identification of Dark Matter 2018(IDM 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 Review on Direction-Sensitive Direct Dark Matter Search with gaseous detectors
3. 学会等名 Identification of Dark Matter 2018(IDM 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石浦宏尚
2. 発表標題 NEWAGE実験53: ガス検出器シミュレーションを用いた陰イオンガス μ -TPCのための陰イオンガス中MPGD特性研究」
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 石浦 宏尚
2. 発表標題 陰イオンTPCシミュレーション
3. 学会等名 アクティブ媒質TPC開発座談会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田智法
2. 発表標題 方向に感度を持った暗黒物質直接探索のためのガスTPC
3. 学会等名 アクティブ媒質TPC開発座談会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村拓馬
2. 発表標題 方向に感度を持つ暗黒物質探索実験のための読み出し回路の開発
3. 学会等名 第25回ICEPPシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 石浦宏尚
2. 発表標題 陰イオンガス中におけるMPGDの特性理解
3. 学会等名 第25回ICEPPシンポジウム
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 池田智法
2. 発表標題 MPGDの暗黒物質探索への応用
3. 学会等名 第15回Micro-Pattern Gas Detector研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田智法
2. 発表標題 NEWAGE実験52：2018年地下測定結果
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 身内賢太郎
2. 発表標題 抵抗シートを用いたTPC開発
3. 学会等名 アクティブ媒質TPC開発座談会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 電場形成に高抵抗シートを用いたTPCの開発
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 身内賢太郎
2. 発表標題 ガス飛跡検出器による暗黒物質探索実験
3. 学会等名 平成30年度宇宙線研究所共同利用研究成果発表研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 いま、探すべきDM質量領域
3. 学会等名 2018年度年度 早稲田大学素粒子物理実験研究会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田智法
2. 発表標題 マグノン検出器を用いたアクシオン探索実験
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田智法
2. 発表標題 方向感度を持った暗黒物質探索のためのR&D
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石浦宏尚
2. 発表標題 陰イオンガス μ -TPCに用いるMPGDの陰イオンガス中特性研究
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本隆
2. 発表標題 NEWAGE実験50: 低アルファ μ -PICを用いた地下実験経過報告
3. 学会等名 日本物理学会2018年秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiko Nagao
2. 発表標題 Discrimination of Anisotropy in Dark Matter Velocity Distribution with Directional Detector
3. 学会等名 NCTS workshop on Dark Matter, Particles and Cosmos, (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 Direction-Sensitive Direct Dark Matter Search
3. 学会等名 Topical Workshop on Dark Matter (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 NEWAGE
3. 学会等名 The Rencontres du Vietnam on Exploring the Dark Universe (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Koichi Hamaguchi
2. 発表標題 Flaxion: a minimal extension to solve puzzles in the standard model
3. 学会等名 PACIFIC2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Keiko Nagao
2. 発表標題 Anisotropy of dark matter velocity distribution
3. 学会等名 PPAP2018 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Keiko Nagao
2. 発表標題 Anisotropy of dark matter velocity distribution measured with directional detection
3. 学会等名 ICNFP2017:6th International Conference on New Frontiers in Physics (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 CYGNUS GAS WG report
3. 学会等名 CYGNUS 2017 Sixth International Workshop on Directional Detection of Dark Matter (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Ryota Yakabe
2. 発表標題 Direction-sensitive dark matter search with three-dimensional gaseous tracking detector
3. 学会等名 15th International Conference on Topics in Astroparticle and Underground Physics (TAUP2017) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Takashi Hashimoto
2. 発表標題 Development of a low alpha emitting μ -PIC for NEWAGE direction-sensitive dark matter search
3. 学会等名 Low Radioactivity Techniques 2017 (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Tomonori Ikeda
2. 発表標題 Current status of NEWAGE
3. 学会等名 CYGNUS 2017 Sixth International Workshop on Directional Detection of Dark Matter (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 「低BG実験のための陰イオンガスTPC」
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会 シンポジウム「素粒子・宇宙線・原子核・応用研究のためのユニークなTPC開発」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 「暗黒物質直接探索実験の現状」
3. 学会等名 日本物理学会 2017年秋季大会 シンポジウム「地下実験による宇宙・素粒子・原子核研究」(招待講演)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長尾桂子
2. 発表標題 方向感度をもつ暗黒物質直接検出実験を用いた速度分布の非等方性測定について
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 橋本隆
2. 発表標題 「大面積低アルファ μ -PICの製作・性能評価」
3. 学会等名 日本物理学会 2017年7月3回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 市来浩雅
2. 発表標題 「超微粒子原子核乾板の荷電粒子による蛍光発光に関する研究」
3. 学会等名 画像関連学会連合会第4回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 「NEWAGE実験48：地下実験報告」
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 「低放射能 μ -PICの開発」
3. 学会等名 「極低放射能技術」研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 「フッ素を用いた大質量暗黒物質探索」
3. 学会等名 2017年度第二回CRC将来計画タウンミーティング
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 「ガス飛跡検出器による暗黒物質探索実験」
3. 学会等名 平成26年度宇宙線研究所共同利用研究成果発表研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 低バックグラウンドなTPCの開発
3. 学会等名 第14回MPGD研究会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 「方向に感度を持った暗黒物質探索実験」
3. 学会等名 研究会「宇宙観測と地上実験から探るダークマター研究の現状と展望」
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 「NEWAGE」
3. 学会等名 2017年度CRC将来計画タウンミーティング
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 身内賢太郎
2. 発表標題 「DM 探索 陰イオン TPC (NEWAGE)」
3. 学会等名 アクティブ媒質TPC開発座談会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 石浦宏尚
2. 発表標題 「陰イオンガス中におけるMPGDの理解」
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 石浦宏尚
2. 発表標題 「陰イオンガスにおけるMPGDの性能評価」
3. 学会等名 日本物理学会 2017年7月3回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 池田智法
2. 発表標題 「NEWAGE実験49: 小型の陰イオンuTPCを用いた3次元飛跡検出とZの位置決定」
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 池田智法
2. 発表標題 「NEWAGE実験47: 陰イオンuTPCにおけるマイノリティキャリアの性質解明」
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 中澤美季
2. 発表標題 「陰イオンガス μ TPC/液体アルゴンTPC用ASIC (LTARS2016K01) の性能評価」
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 中澤美季
2. 発表標題 「陰イオンガス μ TPC/液体アルゴンTPC用ASIC (LTARS2016K01) の性能評価」
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 矢ヶ部遼太
2. 発表標題 「NEWAGE実験46:前後判定手法を用いた暗黒物質直接探索」
3. 学会等名 日本物理学会 2017年第73回秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 NEWAGE
3. 学会等名 caastro-coepp joint workshop (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 Review of direction-sensitive dark matter search
3. 学会等名 Physics in LHC and early universe (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 XMASS/NEWAGE Dark Matter Search
3. 学会等名 Kick Off Symposium for Honolulu Office of Kobe University (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 NEWAGE
3. 学会等名 ICHEP 2016 (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 NEWAGE
3. 学会等名 IDM 2016 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Kentaro Miuchi
2. 発表標題 NEWAGE
3. 学会等名 International Symposium on "Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2016" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 KEIKO NAGAO
2. 発表標題 Measuring Velocity Distribution of Dark Matter by Directional Detection
3. 学会等名 PASCOS 2016: 22nd International Symposium on Particles, Strings and Cosmology at ICISE (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長尾桂子
2. 発表標題 方向感度をもつ暗黒物質直接検出実験における速度分布の測定について
3. 学会等名 四国セミナー
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 Keiko Nagao
2. 発表標題 Can directional detection be a clue to velocity distribution of dark matter?
3. 学会等名 4th International Workshop on Dark Matter, Dark Energy and Matter-Antimatter Asymmetry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長尾桂子
2. 発表標題 暗黒物質の直接検出実験を利用した速度分布非等方性の測定について
3. 学会等名 日本物理学会年次大会
4. 発表年 2017年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

NEWAGE http://ppwww.phys.sci.kobe-u.ac.jp/~newage/newage_j.html

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	波場 直之 (Haba Naoyuki) (00293803)	島根大学・学術研究院理工学系・教授 (15201)	
研究分担者	濱口 幸一 (Hamaguchi Koichi) (80431899)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授 (12601)	
研究分担者	高田 淳史 (Takada Atsushi) (90531468)	京都大学・理学研究科・助教 (14301)	
研究分担者	長尾 桂子 (Nagao Keiko) (90707986)	岡山理科大学・理学部・講師 (35302)	