

令和 4 年 6 月 2 日現在

機関番号：32689

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2018～2020

課題番号：18H01234

研究課題名(和文)高性能液体アルゴン検出器を用いた低質量暗黒物質探索

研究課題名(英文) Low Mass Dark Matter Search using High Performance Liquid Argon Detector

研究代表者

田中 雅士 (Tanaka, Masashi)

早稲田大学・理工学術院・准教授(任期付)

研究者番号：30545497

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 13,600,000円

研究成果の概要(和文)：宇宙には「暗黒物質」と呼ばれる物質が通常物質(銀河等)の「約5倍」存在することが天文学的な観測から示唆されているが、その正体は全くの謎である。この暗黒物質を直接検出することは現在の素粒子・宇宙物理学の最大の課題のひとつである。通常物質とほとんど反応しない暗黒物質を捉えるには最先端技術を用いた高感度検出器の開発が必要となる。本研究では液体アルゴン検出器の基礎特性を理解し、性能を向上させるための開発を進めたうえで、暗黒物質の探索実験を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

暗黒物質の直接検出は素粒子物理学における重要課題のひとつであるが、予想される信号は非常に微弱なため、高性能の検出器開発がカギとなる。優れた粒子識別能力を持つ液体アルゴン検出器は、近年素粒子宇宙物理学実験分野において開発が著しく進んでいる。本研究では暗黒物質直接探索のためにこの液体アルゴン検出器の性能をさらに向上させるための開発を行った。

研究成果の概要(英文)：Astronomical observations suggest that there are about five times more substances called "dark matter" in the universe than ordinary matter (galaxies, etc.), but their identity is a complete mystery. Direct detection of this dark matter is one of the greatest challenges of current particle physics and astrophysics. In this study, we searched for the dark matter using a liquid argon detector.

研究分野：素粒子実験

キーワード：暗黒物質 液体アルゴン検出器 地下実験 極低バックグラウンド技術

### 1. 研究開始当初の背景

近年の宇宙観測や理論の発展により、宇宙には未知の物質(暗黒物質: Dark Matter (DM))が存在することは確実視されている。DMは通常物質(銀河等)の「約5倍」存在するにも関わらず、その正体は全くの謎である。一方、素粒子の標準模型には、DMの候補になる粒子が存在しないため「暗黒物質の解明」は現代の宇宙・素粒子物理学の最も重要かつ根源的な研究課題である。図1は世界のDM探索結果の現状である。DAMA実験(NaI)やCoGeNT実験(Ge)等、比較的軽い原子を標的にした実験は、質量=10GeV/c<sup>2</sup>、 $\sigma = 10^{-40}$ cm<sup>2</sup>付近でWIMPの存在を主張しているが(図中の島領域)、重いキセノン(Xe)を標的とした実験(XENON1T)は、その領域を有意に棄却している(図中点線の上側領域)。実験的・理論的にも様々な議論がなされているものの、この“混沌としている領域”の抜本的理解はまだまだ成されていない。その意味でも、アルゴン(Ar)のような原子番号が比較的小さい原子を標的核種とし、主に存在を棄却している液化希ガス検出器技術(DAMA/CoGeNT実験とは異なる手法)を用いてこの領域を相互検証することは極めて重要な研究課題である。

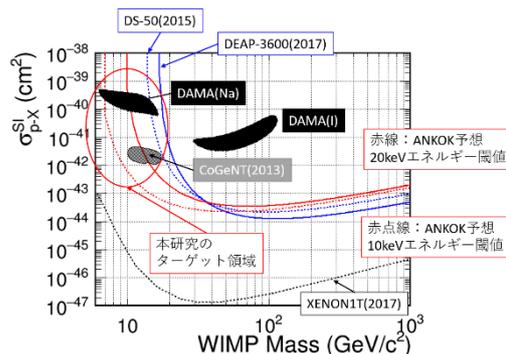


図1:WIMP探索結果の抜粋、ANKOK実験感度予測

### 2. 研究の目的

2017年10月現在、Arを用いて物理結果を出した実験に、2015年のDarkside(DS-50)実験(伊:37kg×71日)、と2017年のDEAP(DEAP3600)実験(カナダ:3.6トン×4.4日)があげられる。本来ArはXeに比べて軽い原子核であり反跳エネルギーが大きいため軽いWIMP探索に向いているにもかかわらず、図1にあるようにこれらの実験はこのターゲット領域の探索感度が低い。これは主に2つの原因が考えられる。1つ目の原因はAr中の放射性同位体(<sup>39</sup>Ar:1Bq/kg)やγ線起因などの主要な背景事象を分離する性能が悪くエネルギー閾値が低く設定できない(40keV程度)ため、低質量領域の探索感度がなくなっている。2つ目は、より重い質量(>100GeV/c<sup>2</sup>)かつ低断面積(<10<sup>-45</sup>cm<sup>2</sup>)領域の探索に開発焦点(大型化や<sup>39</sup>Ar希釈技術等)を当てているため、低質量(~10GeV/c<sup>2</sup>)領域に対する高感度化が困難になっている点にある。このような背景を踏まえ、本研究は「小型で高感度の液体Ar検出器」を構築し、Ar媒質で世界初の10GeV/c<sup>2</sup> WIMPの存在検証実験を遂行することを主題としている(≡ANKOK実験)。具体的に図1に20keV(赤線)および10keV(赤点線)のエネルギー閾値を達成した場合のANKOK実験(30kgx30日)の感度予想を示す。

### 3. 研究の方法

Ar検出器内でWIMPがAr原子核と反応すると、シンチレーション光と電離電子の2種類の信号が生成される。本研究は以下に述べる4つの課題に着目して進めた。

- ① シンチレーション光の検出効率を改善するにより暗黒物質探索感度の向上が期待される。Arシンチレーション光は波長が128nmの真空紫外光と短く、しかも極低温(87K)の液体アルゴン中で動作が必要のために、検出に工夫が必要となる。そのため本研究では128nm光を有機系波長返還剤(TPB)で可視光(420nm)に変換してから可視光に感度のある光電素子で読み出す手法を採用し、変換手法の最適化を行った。また光電素子については、従来の光電子増倍管(30%)よりも検出効率の高いMPPC(60%)を採用した。
- ② 信号となるシンチレーション光と電離電子の生成過程は十分に理解されておらず、暗黒物質発見感度を高めるためには、精密な測定データが必要である。そのための基礎データ取得を行った。
- ③ 電離電子については検出器内に印可した電場により上方にドリフトさせ、液面から気相に取り出すことにより検出する(気液2相型検出器)。電離電子がガスアルゴンと散乱する際にシンチレーション光を発生(エレクトロルミネッセンス)することが知られているが、その特性は不明な点が多く発生機構の解明を通じて、暗黒物質探索感度の向上を狙った。
- ④ これらの研究結果をもとに、最終年度に早稲田大学構内で暗黒物質探索実験を行った。

#### 4. 研究成果

- ① 波長変換剤 TPB は真空蒸着により検出器壁面に一様に塗布する。最適な蒸着を再現性をもって行える装置の開発に取り組み、高いシンチレーション光検出効率を安定して達成することに成功した。光電子増倍管(量子効率 30%)を用いた検出器では約 12 光電子/keV、MPPC(効率 60%)では約 20 光電子/keV という、世界最大の検出効率を誇る液体アルゴン検出器を実現した(文献[1])。
- ② WIMP による Ar 原子核反跳を中性子線源を用いて再現することにより、シンチレーション光と電離電子の特性を測定した。その際、液体アルゴンに印加する電場について印加方法や放電対策を工夫することにより 3 kV/cm というまだ測定されていない高い領域でのデータ取得に成功した(文献[2])。
- ③ ガスアルゴン中のエレクトロルミネッセンス測定は一般に難易度が高いが、シンプルな常温ガスアルゴンを用いて評価する手法を開発し、印加電場や波長の依存性を精密に測定した。それにより、アルゴン中に不純物として窒素が混入した場合の発光特性、および近年注目を集める中性子制動放射過程(NBRs)についての理解が深まった(文献[3])。
- ④ 早稲田大学地上実験室において小型の液体アルゴン検出器を製作し、銅、鉛、およびポリエチレンの遮蔽体で宇宙線起因の背景事象を減少させることにより、暗黒物質探索のためのデータ取得を行った(図 2)。地上実験室では宇宙線起因の中性子が信号と類似した事象となり探索感度に限界があるが、宇宙線の少ない大深度地下において同様の検出器を用いて測定を行えば、当初目的の達成が可能であることが示された(図 3、文献[4])。



図 2: 遮蔽体に囲まれた検出器

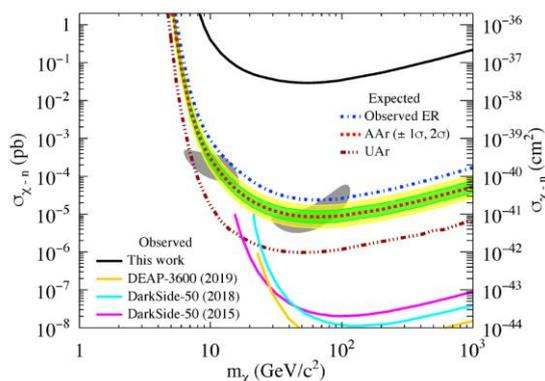


図 3: WIMP 探索結果および地下実験室での探索感度

#### <文献>

- [1] M. Tanaka et. al, “Development of a liquid argon detector with high light collection efficiency using tetraphenyl butadiene and silicon photomultiplier array” Progress of Theoretical and Experimental Physics, Volume 2022, Issue 4, April 2022, 043H01, <https://doi.org/10.1093/ptep/ptac064>
- [2] M. Tanaka et. al, “Measurement of the scintillation efficiency for nuclear recoils in liquid argon under electric fields up to 3 kV/cm” Phys. Rev. D 100, 032002 - Published 1 August 2019 <https://doi.org/10.1103/PhysRevD.100.032002>
- [3] M. Tanaka et. al, “Measurement of emission spectrum for gaseous argon electroluminescence in visible light region from 300 to 600 nm” Nucl. Instrum. Meth. A 1025 (2022), 166107 <https://doi.org/10.1016/j.nima.2021.166107>
- [4] Masato Kimura, “Measurement of Liquid Argon Response and Direct Dark Matter Search at Surface with A Liquid Argon Scintillation Detector” Waseda University Ph.D thesis, March 2021 <http://hdl.handle.net/2065/00081590>

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計15件（うち査読付論文 15件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 15件）

1. 著者名 Kimura M., Aoyama K., Tanaka M., Yorita K.	4. 巻 102
2. 論文標題 Liquid argon scintillation response to electronic recoils between 2.8?1275?keV in a high light yield single-phase detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 92008
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.102.092008	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 Aoyama Kazutaka, Kimura Masato, Morohoshi Hiroyuki, Takeda Tomomasa, Tanaka Masashi, Yorita Kohei	4. 巻 1025
2. 論文標題 Measurement of emission spectrum for gaseous argon electroluminescence in visible light region from 300 to 600 nm	5. 発行年 2022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 166107 ~ 166107
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2021.166107	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 Aoyama Kazutaka, Tanaka Masashi, Kimura Masato, Yorita Kohei	4. 巻 4
2. 論文標題 Development of a liquid argon detector with high light collection efficiency using tetraphenyl butadiene and a silicon photomultiplier array	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 043H01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/ptac064	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 Masato Kimura	4. 巻 1
2. 論文標題 Measurement of Liquid Argon Response and Direct Dark Matter Search at Surface with A Liquid Argon Scintillation Detector	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 早稲田大学 博士論文	6. 最初と最後の頁 1
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 -

1. 著者名 M.Kimura, M.Tanaka, T.Washimi, and K.Yorita	4. 巻 100
2. 論文標題 Measurement of the scintillation efficiency for nuclear recoils in liquid argon under electric fields up to 3 kV/cm	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 32002
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevD.100.032002	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 M.Kimura, M.Tanaka, and K.Yorita	4. 巻 1342
2. 論文標題 Status and prospect of the ANKOK project: Low mass WIMP dark matter search using double phase argon detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J.Phys.Conf.Ser.	6. 最初と最後の頁 12069
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1342/1/012069	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 M.Kimura, M.Tanaka, T.Washimi, and K.Yorita	4. 巻 1468
2. 論文標題 Measurement of the scintillation efficiency for low energy nuclear- and electronic-recoils in liquid argon detector for WIMP search	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J.Phys.Conf.Ser.	6. 最初と最後の頁 12055
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012055	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 M.Kimura, M.Tanaka, T.Washimi, and K.Yorita	4. 巻 15
2. 論文標題 Measurement of liquid argon scintillation and ionization response on nuclear recoils under electric fields up to 3 kV/cm	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C03042
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/03/C03042	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. Takeda, M. Tanaka and K. Yorita	4. 巻 15
2. 論文標題 Study of luminescence mechanism by neutral bremsstrahlung in gaseous argon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C03007
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/03/C03007	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 Takeda T, Tanaka M, Yorita K	4. 巻 1468
2. 論文標題 Study of luminescence mechanism by neutral bremsstrahlung in gaseous argon	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012053 ~ 012053
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012053	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 Aoyama Kazutaka	4. 巻 1468
2. 論文標題 Increasing light collection efficiency of liquid argon detector for low mass WIMP search	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012034 ~ 012034
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012034	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 Masashi Tanaka, Kazutaka Aoyama, Masato Kimura, Tomomasa Takeda and Kohei Yorita	4. 巻 1468
2. 論文標題 Studies on liquid argon S1 and S2 properties for low mass WIMP search experiments	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 J. Phys.: Conf. Ser.	6. 最初と最後の頁 12052
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012052	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. Washimi, T. Kikuchi, M. Kimura, M. Tanaka and K. Yorita	4. 巻 13
2. 論文標題 Study of the low-energy ER/NR discrimination and its electric-field dependence with liquid argon	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Jornal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 C02026
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/13/02/C02026	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.Washimi, M.Kimura, M.Tanaka, K.Yorita	4. 巻 910
2. 論文標題 Scintillation and ionization ratio of liquid argon for electronic and nuclear recoils at drift-fields up to 3 kV/cm	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Nucl. Instrum. Meth. A	6. 最初と最後の頁 22-25
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.09.019	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 Keita Mizukoshi, Ryosuke Taishaku, Keishi Hosokawa, Kazuyoshi Kobayashi, Kentaro Miuchi, Tatsuhiro Naka, Atsushi Takeda, Masashi Tanaka, Yoshiaki Wada, Kohei Yorita, Sei Yoshida	4. 巻 12
2. 論文標題 Measurement of ambient neutrons in an underground laboratory at the 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
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 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 -

〔学会発表〕 計33件(うち招待講演 16件/うち国際学会 8件)

1. 発表者名 木村真人
2. 発表標題 液体アルゴンによるNon-WIMP暗黒物質探索に関する考察
3. 学会等名 ダークマターの懇談会2020(招待講演)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村真人
2. 発表標題 低質量暗黒物質直接探索のための低エネルギー電子反跳背景事象の理解
3. 学会等名 新学術「地下宇宙」領域研究会（招待講演）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 青山一天
2. 発表標題 (企画)液体Ar光検出器の高感度化: TPB 蒸着技術の最適化と TSV-MPPC Array の実装
3. 学会等名 JPS2021年秋季大会（招待講演）（国際学会）
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻井真由
2. 発表標題 液体アルゴン実験等に使用されるPMT(R11065)の特性
3. 学会等名 日本物理学会大76回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小津龍吉
2. 発表標題 宇宙線と鉛の反応による中性子生成
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 諸星博之
2. 発表標題 純度コントロールされたガスアルゴンを用いた中性制動放射成分の測定
3. 学会等名 日本物理学会第76回年次大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩澤広大
2. 発表標題 液体シンチレータを用いた神岡地下環境における中性子フラックス測定
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 岩澤広大
2. 発表標題 神岡地下における液体シンチレータを用いた環境中性子測定
3. 学会等名 第2回新学術「地下宇宙」若手研究会（招待講演）
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Masashi Tanaka
2. 発表標題 Studies on liquid argon S1 and S2 properties for low mass WIMP search experiments
3. 学会等名 TAUP2019（国際学会）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 田中雅士
2. 発表標題 ANKOK実験(低質量暗黒物質探索)シンチレーターとしての液体アルゴン
3. 学会等名 SMART2019 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 Measurement of liquid argon scintillation and ionization response on nuclear recoils under electric fields up to 3 kV/cm
3. 学会等名 LIDINE2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masato Kimura
2. 発表標題 Measurements of argon-scintillation and -electroluminescence properties for low mass WIMP dark matter search
3. 学会等名 INSTR2020 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tomomasa Takeda
2. 発表標題 Study of luminescence mechanism by neutral bremsstrahlung in gaseous argon.
3. 学会等名 LIDINE2019 (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 木村真人
2. 発表標題 ANKOK実験33: 37Ar事象等を利用した低エネルギー電子反跳事象の発光特性
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村真人
2. 発表標題 気液2相型アルゴン光検出器の研究開発
3. 学会等名 MPGD&TPC合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 小津龍吉
2. 発表標題 地下環境中性子測定のための6Li添加プラスチックシンチレータの特性評価
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田知将
2. 発表標題 ガスアルゴン中の中性制動放射による新たな発光成分
3. 学会等名 日本物理学会2019年秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 武田知将
2. 発表標題 ガスアルゴン中の中性制動放射の詳細特性
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 Tatsuki Washimi
2. 発表標題 Study of pulse shape discrimination and scintillation/ionization ratio in two-phase argon detector
3. 学会等名 XeSAT2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tomomasa Takeda
2. 発表標題 Study of a secondary scintillation light in a two-phase argon detector "
3. 学会等名 XeSAT2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Kohei Yorita
2. 発表標題 Review on Liq Ar detectors
3. 学会等名 Revealing the history of the universe with underground particle and nuclear research 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村真人
2. 発表標題 液体アルゴンによる軽い宇宙暗黒物質探索
3. 学会等名 SMART2018 (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中雅士
2. 発表標題 ANKOK実験29: 気液2相型Ar光検出器を用いた低質量暗黒物質探索
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 鷲見貴生
2. 発表標題 ANKOK実験30: ER/NR分離能力の評価と電場最適化
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 武田知将
2. 発表標題 ANKOK実験31: 電離信号(電子比例蛍光; S2)の基礎特性と利用可能性」
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青山一天
2. 発表標題 Ar検出器の大光量化に向けた開発
3. 学会等名 日本物理学会 秋季大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 田中雅士
2. 発表標題 Double Phase Ar Detector
3. 学会等名 アクティブ媒質TPC開発座談会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青山一天
2. 発表標題 光量最大化とMPPC study
3. 学会等名 アクティブ媒質TPC開発座談会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 木村真人
2. 発表標題 高電圧印加と電場中でのAr応答
3. 学会等名 アクティブ媒質TPC開発座談会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 青山一天
2. 発表標題 Ar検出器の大光量化に向けた開発2
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 武田知将
2. 発表標題 ガスアルゴン中の電子比例蛍光の波形と発光機構
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 木村真人
2. 発表標題 ANKOK実験32：低エネルギー領域の電離電子信号の特性評価
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 田中雅士
2. 発表標題 中性子測定コンソーシアム
3. 学会等名 第五回極低放射能技術研究会（招待講演）
4. 発表年 2019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
---------	---------