

令和 6 年 6 月 8 日現在

機関番号：11301

研究種目：新学術領域研究（研究領域提案型）

研究期間：2018～2022

課題番号：18H05540

研究課題名（和文）ニュートリノはマヨラナか？ 希ガス検出器による革新的測定法の開拓

研究課題名（英文）Is the neutrino Majorana-type? Development of innovative detector using noble gas

研究代表者

市川 温子 (Ichikawa, Atsuko)

東北大学・理学研究科・教授

研究者番号：50353371

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 77,900,000円

研究成果の概要（和文）：キセノンガスによるタイムプロジェクションチェンバーを用いて、ニュートリノ有効質量領域100 meV/c²を超えてニュートリノを伴わない(無)二重ベータ崩壊を探索するための検出器技術の開発を行った。モジュール化され大型化できる電離電子検出面、信号の波形ディジタイザ、コッククロフトウオルトン回路とリング形状電極によるドリフト電場生成、ガスを純化する循環系、検出器の構成要素の低放射化などを行った。これらの技術を180リットルのガス容器に組み込み、無二重ベータ崩壊のエネルギーに近い電子について高いエネルギー分解能を得るとともに飛跡を再構成することに成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究により、無二重ベータ崩壊探索をより高感度で行うための多くの技術を確認することができた。無二重ベータ崩壊の探索は、ニュートリノの特異な軽さの起源、そして宇宙においてなぜ反物質が消えて物質だけが残ったのかという、世界=宇宙の起源を知りたいという人類の根源的な知的要求に答える上で重要な課題である。

研究成果の概要（英文）：We have developed a detector technology to search for neutrino-less double beta decay(0 $\nu\beta\beta$) beyond the neutrino effective mass region of 100 meV/c² by using a time projection chamber with xenon gas. These include an ionizing electron detection plane that can be modularized and enlarged, a signal waveform digitizer, a Cockcroft-Walton circuit and ring-shaped electrodes to generate a drift electric field, a circulation system to purify the gas, and low emission of the detector components. Incorporating these techniques into a 180-liter gas vessel, we succeeded in obtaining high energy resolution for electrons near the 0 $\nu\beta\beta$ energy as well as reconstructing the trajectory.

研究分野：素粒子実験

キーワード：二重ベータ崩壊 キセノンガス検出器 タイムプロジェクションチェンバー

1. 研究開始当初の背景

ニュートリノ振動実験の最近の進展により混合角や質量の順序など、クォークや荷電レプトンの仲間としてのニュートリノについての理解は大幅に進みつつある。しかし、ニュートリノの特異な軽さの起源、そして宇宙において反物質が消えて物質だけが残った理由がニュートリノにあるのかどうかという大問題に迫るためには、ニュートリノがクォークや荷電レプトンとは異なりマヨラナ粒子であるのか、すなわち粒子と反粒子が同一の粒子であるという性質を持つのかどうかを検証することが重要である。そのためのほぼ唯一の現実的方法が「ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊($0\nu\beta\beta$)」事象を見つけることである。これは一つの原子核内で同時に2回のベータ崩壊が起き、その際に生成される二つのニュートリノがマヨラナ粒子であるために対消滅することで起きる事象である。信号の特徴は、1 MeV 程度の二個の電子の放出であり、そのエネルギーの和が一定の値を取る。この事象は、ニュートリノの質量が小さいほど寿命が長くなるためごく稀にしか起きない。現在までに得られている下限値は寿命にして約 10^{26} 年程度、対応するニュートリノ有効質量、すなわち三種類の質量のうち $0\nu\beta\beta$ に寄与する成分で和を取ったものの上限值は約 $100\text{meV}/c^2$ である。次世代実験の目標は、1 トン程度の二重ベータ崩壊核を用いた有効質量 $10\text{meV}/c^2$ 領域(ニュートリノ質量の逆階層構造に対応)の探索である。しかしながら、最近のニュートリノ振動実験からはニュートリノ質量が順階層構造を持つことが示唆されており、ニュートリノ有効質量がさらに小さい可能性が高くなってきている。その場合には既存の実験技術では決着をつけるのが困難な状況にある。

2. 研究の目的

キセノンガス検出器により $0\nu\beta\beta$ 探索の限界を打破するような測定原理の開発に取り組む。純粋な希ガスは、シンチレーション光および電離電子を信号として用いることのできる媒体である。荷電粒子がエネルギー損失した際の電離電子生成の統計的揺らぎは小さく原理的には高いエネルギー分解能を持つことができる。ガス中で電離電子を電場で加速すると、衝突によりキセノン分子を励起し脱励起光(エレクトロルミネッセンス光, EL 光)が発生する。その発生による揺らぎも小さいため、この光量を測定することで電子雪崩増幅に比べて高い精度で電離電子数を測定することができ、実際に高いエネルギー分解能を実現できる。 $0\nu\beta\beta$ 探索や暗黒物質探索では液体キセノンが用いられてきたが、エネルギー分解能を極めるには電離電子の再結合の影響が小さい高圧ガスが有利である。我々は、AXEL(A Xenon EL)検出器として高圧ガスキセノンによる検出器の開発を進めてきた。特に EL 光の読み出しとして、高いエネルギー分解能と飛跡再構成能力を兼ね備えた ELCC(EL Collection Cell)を提唱し、これまでに小型試作機による検出器の原理検証を行い、いよいよ探索に向けて検出器を順次大型化していこうとしている。本研究では、世界記録であるニュートリノ有効質量領域 $100\text{meV}/c^2$ を超えて $0\nu\beta\beta$ を探索できる検出器技術を確立するとともに、ニュートリノ質量の順階層構造に対応する領域($10\text{meV}/c^2$ 以下)へと切り込む探索への技術的な道筋をつけることを目指す。

3. 研究の方法

図 1 に AXEL 検出器の概念図を載せる。 $0\nu\beta\beta$ などで荷電粒子がキセノン中を走行するとキセノンが励起または電離される。生成した電離電子は電場により陽極へとドリフトし ELCC にたどり着く。図 2 のように ELCC にはドリフト電場よりも強い電場がかけられており、電離電子は電気力線に沿って ELCC のセルに引き込まれる。セル内で電場により加速されることで EL 光を生成する。この EL 光は、SiPM の一種である MPPC 光センサーにより検出される。キセノンの励起状態からはシンチレーション光が発生する。このシンチレーション光も検出し、電離電子の検出時間と比較すると、電離電子のドリフトがゆっくりのため、時間差から電離電子の発生点のドリフト電場に沿った位置を決定することができる。また、どのセルで EL 光が検出されたかの情報から、ドリフト電場に垂直な面内での電離電子の発生点も決めることができる。このように電離電子の検出位置、ドリフト時間から放射線の飛跡を 3 次元空間で再構成する検出器は一般にタイムプロジェクションチェンバー(TPC)と言われるが、電離電子の検出に我々が開発した ELCC を用いることでエネルギーの測定において非常に高い精度を得ることができる。

本研究では AXEL 検出器を高い性能を持ちつつ大型化、低放射能化するために、ELCC、信号読み出し系、高電圧発生装置、波形ディジタイザ、ガス純化装置などの改良を進める。また得られた波形情報から線のエネルギーを高い分解能で決定するアルゴリズムや、飛跡のパターンから $0\nu\beta\beta$ 事象と背景事象を識別するアルゴリズムを開発する。加えて、 $0\nu\beta\beta$ 探索や暗黒物質探索に応用可能な新しい技術の開発を行う。

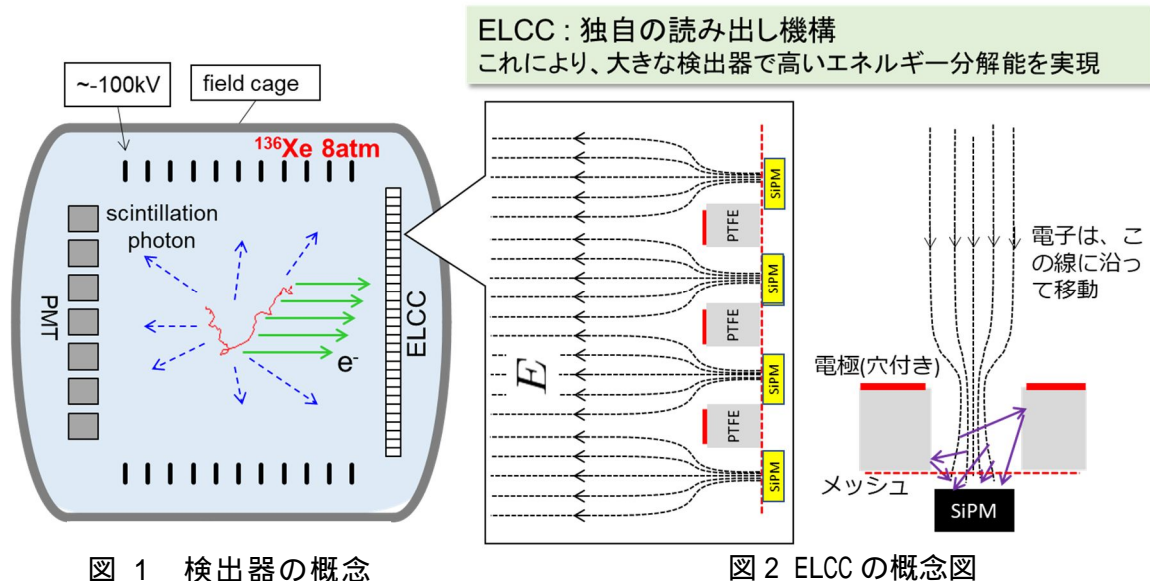


図 1 検出器の概念

図 2 ELCC の概念図

4. 研究成果

技術の改良および新規技術において以下のような成果を得た。

- (1) ELCC について、物質量を抑えつつ検出器を大型化するためにフレキシブル基板を用いた 55 セルのモジュールを開発した。このモジュールを並べていくことで ELCC 面を大型化することができる。ELCC の MPPC 光センサーからの大量の信号線を高圧のガス容器から外へ取り出し、波形ディジタイザで読み出すためには、フレキシブル基板によるケーブルを開発した。この極薄のケーブルをフランジに通してエポキシで封入することで高い信号線密度を保ちつつ高い気圧差に対応可能な気密フィードスルーを製作した。気密フィードスルーを取り付けるフランジポートは、通常の形状だと余分な容積を発生してしまう。そのため、配管を容器内側へ伸ばし、そこにフランジを取り付けられる構造を設計し、このポートを搭載したガス容器の蓋を実際に製作した。
- (2) 検出器を大型化するために波形ディジタイザの実装密度を高める開発を進めた。より多チャンネルの OP アンプ素子や薄型コネクタを選定するなどして、ボード当たり 54 チャンネルから 64 チャンネルへ増やす設計を行い、試作した。アナログ信号の処理においても、初段の増幅回路をトランスインピーダンスに変更することで、大きな信号に対して光検出素子の実効的バイアス電圧が下がる効果を軽減するなど高性能化している。また電力消費の観点で用いられている素子のを行い、電力消費量を減らしている。
- (3) ガス容器内で容器の電位を遮蔽し様な電場を発生させるリング状の電極の設計、試作、性能評価を行った。また高電場を生成するアノード電極とグラウンドメッシュ電極については、放電耐性を高めるために種々の改良を行った。これらにより要求される耐電圧性能をもつ電極および導体の接続法を確立した。
- (4) TPC のドリフト電場の生成には高電圧が必要とされる。通常、ガス容器の外で高圧電源により高電圧を生成し気密フィードスルーでガス容器内に導入するが、高電圧、かつ高気圧差に対応するフィードスルーは巨大になってしまう。そこで我々は、ガス容器内にコッククロフト・ウオルトン型高電圧発生 (CW) 回路を設置する方式の開発を進めた。余計なアウトガスを避けるためフレキシブル基板と表面実装素子を用い、限られた空間で高電圧を発生させるため、応答の速いダイオードを用いて昇電圧の効率を高めている。素子間の放電を抑止するためフレキシブルプリント基板に素子を実装した後にシリコンワニスでコーティングを行った。CW 回路の駆動電源として、市販のオーディオアンプとトランスを用いて安価で大電力の AC 電源を製作した。これらの工夫により、大型検出器に必要な 70 キロボルト以上の電圧を発生させることに成功した。さらに、CW 回路を用いて TPC としてデータを取得して入力 AC 電流からのノイズの影響を受けることなく高い性能を得られることを実証した。これは、世界発の例である。
- (5) ガスの純度を保つことが希ガス検出器の性能を担保するのに重要である。ガス循環純化系を製作し、キセノン中の水分量を 0.2 ppm 以下に保つことができるようになった。さらに大型のキセノンガス検出器においてもガスの純度を十分に保つとともに、トラブルの際に貴重なキセノンガスが漏れないよう冗長性を持たせた循環システムの設計をすすめた。
- (6) 0 探索における背景事象源の調査を進めた。検出器構成要素のうち、光センサーのセラミックスパッケージおよび PEEK 樹脂が主な背景放射線源であることが確認され、これらを低放射化することで、背景事象はほぼ容器からのガンマ線によることがわかった。

- (7) 二重ベータ崩壊では電子が2個、一方ガンマ線による背景事象では電子が1個のみ放出されるため、電子の飛行時間は二重ベータ崩壊事象の方が短く、シンチレーション光の発生時間幅に違いが生じる。レンズ系を用いてシンチレーション光が光センサーに達するまでの経路によらず一定とする、シンチレーション光による時間幅情報を用いた二重ベータ崩壊とガンマ線背景事象選別する方法を考案した。
- (8) 高電位にある光センサーの信号を読み出すために、素子の増幅機構を駆動源としてLEDを光らせて光ファイバで伝送する方式の開発を進め、試作器の製作に成功した。
- (9) キセノンガス検出器において、荷電粒子の飛跡に沿って生成する陽イオンを信号として読み出す方法の開発を進めた。陰電極に辿り着いた陽イオンは、そこで電子を受け取る際に、余剰なエネルギーにより追加の電子を放出することがある。この電子を強い電場で加速することでEL光を発生させ光センサーで検出するものである。陽イオンを検出することができれば、電離電子の場合に比べて拡散の小さいくっきりとした飛跡情報を得ることができる。我々は、陰電極にタングステンワイヤを用いて陽イオン検出の信号を観測することに成功した。しかし、効率が予測より大幅に小さかったため、電極金属の表面の汚染を加熱して取り除くためのセットアップを製作したが、その際に断熱のために加えたアルミナセラミックスからの信号への雑音の混入が大きくてうまくいかなかった。一方、電極ワイヤとして、タングステンに替えてモリブデンを使うことで信号検出効率を向上できることがわかった。
- (10) 世界で進められている希ガス検出器を用いた暗黒物質探索において、近年ミグダル効果を利用することで感度を大幅に向上している。しかし原子核反跳によるミグダル効果はこれまでに観測されたことがない。中性子による原子核反跳で生じるミグダル効果を測定し検証することを目指してテスト実験を産業技術総合研究所の中性子ビーム実験施設で行った。テストの結果、ミグダル効果の観測には、ガンマ線背景事象を削減することが必要であることがわかり、今後、測定の改良を進める。
- (11) ELCC モジュールを12個180リットルのガス容器に設置し、我々の開発したケーブル及び波形ディジタイザで信号を読み出し、図3のように0.1 MeVのエネルギーに近い電子の飛跡を再構成することに成功した。機械学習により、飛跡のパターンにより信号を27%の効率で選びつつ、背景事象を99.9996%除去するアルゴリズムを開発した。

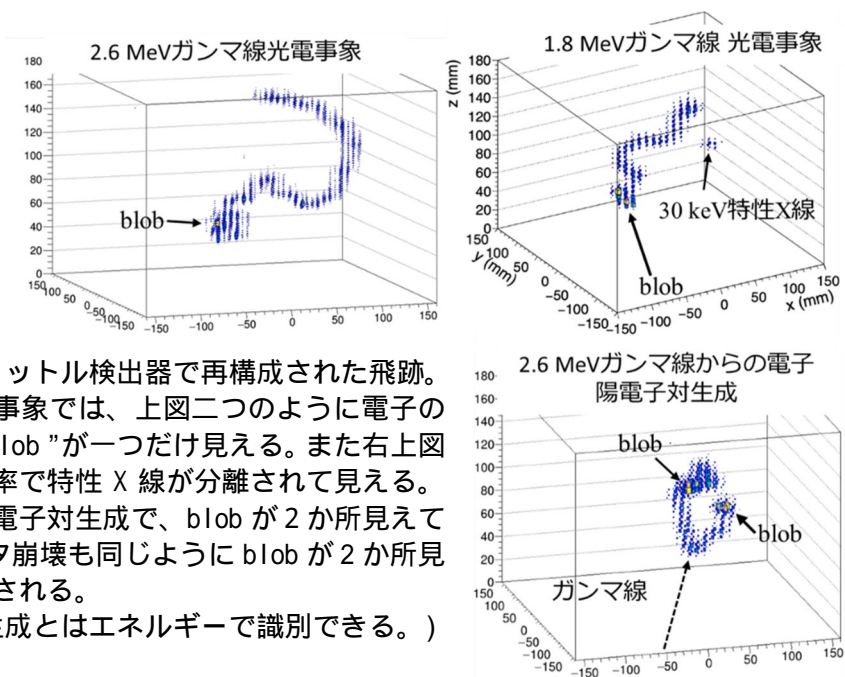


図3 AXEL180リットル検出器で再構成された飛跡。ガンマ線による事象では、上図二つのように電子の止まり際の塊“blob”が一つだけ見える。また右上図のように高い確率で特性X線が分離されて見える。下図は、電子陽電子対生成で、blobが2か所見えている。二重ベータ崩壊も同じようにblobが2か所見えることで識別される。(電子陽電子対生成とはエネルギーで識別できる。)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計5件（うち査読付論文 5件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Nakamura Kiseki D, Miuchi Kentaro, Kazama Shingo, Shoji Yutaro, Ibe Masahiro, Nakano Wakutaka	4. 巻 2021
2. 論文標題 Detection capability of the Migdal effect for argon and xenon nuclei with position-sensitive gaseous detectors	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 013C01
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptaa162	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 Nakamura K. Z., Ban S., Ichikawa A. K., Ikeno M., Nakamura K. D., Nakaya T., Obara S., Tanaka S., Uchida T., Yoshida M.	4. 巻 67
2. 論文標題 Front-End Electronics for the SiPM-Readout Gaseous TPC for Neutrinoless Double-Beta Decay Search	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Nuclear Science	6. 最初と最後の頁 1772 ~ 1776
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TNS.2020.2988716	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 Ban S, Hirose M, Ichikawa A K, Iwashita Y, Kikawa T, Minamino A, Miuchi K, Nakadaira T, Nakajima Y, Nakamura K D, Nakamura K Z, Nakaya T, Obara S, Sakashita K, Sekiya H, Sugashima B, Tanaka S, Ueshima K, Yoshida M	4. 巻 2020
2. 論文標題 Design and performance of a high-pressure xenon gas TPC as a prototype for a large-scale neutrinoless double-beta decay search	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 033H01
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1093/ptep/ptaa030	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 Yoshida M, Ban S, Hirose M, Ichikawa A K, Iwashita Y, Kikawa T, Minamino A, Miuchi K, Nakadaira T, Nakajima Y, Nakamura K D, Nakamura K Z, Nakaya T, Obara S, Sakashita K, Sekiya H, Sugashima B, Ueshima K	4. 巻 1468
2. 論文標題 Drift field generation with Cockcroft-Walton voltage multiplier in xenon gas for AXEL 0v search detector	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012151 ~ 012151
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1088/1742-6596/1468/1/012151	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 Ban Sei	4. 巻 1468
2. 論文標題 AXEL : High pressure Xe gas TPC for neutrinoless double-beta decay search	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Physics: Conference Series	6. 最初と最後の頁 012207 ~ 012207
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1742-6596/1468/1/012207	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56件 (うち招待講演 0件 / うち国際学会 9件)

1. 発表者名 中村輝石
2. 発表標題 希少事象探索にむけた高圧キセノンガスによる放射線検出器開発
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村輝石
2. 発表標題 キセノンガス検出器を用いたミグダル効果観測に向けた中性子ビーム試験結果
3. 学会等名 日本物理学会 第77回年次大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 吉田 将
2. 発表標題 Demonstration by 180 L detector
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 市川 温子
2. 発表標題 Towards neutrinoless double-beta search with 100L detector
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 菅島文悟
2. 発表標題 AXEL実験：180L検出器での 測定結果と今後の計画
3. 学会等名 MPGD & Active媒質TPC2021研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 榎野幸将
2. 発表標題 AXEL実験：光ファイバーアイソレーションによる高電位PMT信号の読み出し
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中村輝石
2. 発表標題 AXEL実験：大型試作機phase2の最新結果
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村輝石
2. 発表標題 ガス検出器によるミグダル効果観測の準備状況
3. 学会等名 日本物理学会 2021年秋季大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅島文悟
2. 発表標題 ニュートリノレス二重ベータ崩壊探索に向けたAXEL 1000LキセノンTPCのバックグラウンド評価
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」若手研究会 ポスターセッション
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村輝石
2. 発表標題 高圧キセノンガス検出器によるミグダル観測
3. 学会等名 新学術地下宇宙2021領域研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅島文悟 他AXEL collaborations
2. 発表標題 ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索実験AXELのためのバリウムイオン検出への試み
3. 学会等名 第七回極低放射能技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村和広 他AXEL collaborations
2. 発表標題 AXEL実験 0 崩壊探索のための高圧キセノンガスTPC大型試作機の開発
3. 学会等名 第七回極低放射能技術研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村和広 他AXEL collaborations
2. 発表標題 AXEL実験 ニュートリノレス二重ベータ崩壊探索のための高圧XeガスTPC大型試作機の開発状況
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 菅島文悟 他AXEL collaborations
2. 発表標題 AXEL実験: ニュートリノレス二重ベータ崩壊探索のための固体キセノンを用いたバリウムイオン検出に向けた試み
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 潘 晟 他AXEL collaborations
2. 発表標題 シミュレーションによるAXEL検出器のエネルギー分解能の理解
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 吉田 将 他AXEL collaborations
2. 発表標題 AXEL実験:1 MeV以上のガンマ線による大型試作機のエネルギー分解能の評価
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 榎野幸将 他AXEL collaborations
2. 発表標題 AXEL実験:TPCのための光ファイバーアイソレーションによる高電位PMT信号の読み出し
3. 学会等名 日本物理学会 第76回年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 潘 晟 他AXEL collaborations
2. 発表標題 高圧キセノンガス検出器を用いたニュートリノレス二重ベータ崩壊探索
3. 学会等名 令和2年度東京大学宇宙線研共同利用研究成果発表会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 中村和広 他AXEL collaborations
2. 発表標題 0 探索実験AXEL 大型試作機にまつわる苦労話エトセトラ
3. 学会等名 MPGD & Active媒質TPC2020研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 潘 晟 他AXEL collaborations
2. 発表標題 High pressure xenon gas TPC for neutrinoless double-beta decay search : AXEL
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田 将 他AXEL collaborations
2. 発表標題 Detector performance of AXEL prototype high-pressure Xe gas TPC for 0 search
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田 将 他AXEL collaborations
2. 発表標題 高圧キセノンガスTPCでミグダル効果の観測なるか?
3. 学会等名 ミグダル観測検討会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 吉田 将 他AXEL collaborations
2. 発表標題 AXEL実験: 大型試作機の662 keVガンマ線によるエネルギー分解能の評価
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 潘 晟 他AXEL collaborations
2. 発表標題 シミュレーションによるAXEL検出器の詳細な理解
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 中村和広 他AXEL collaborations
2. 発表標題 ニュートリノレス二重ベータ崩壊探索のための高圧XeガスTPC大型試作機の開発状況
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 菅島文悟 他AXEL collaborations
2. 発表標題 ニュートリノを伴わない二重ベータ崩壊探索のための固体キセノンを用いたバリウムイオン検出への取り組み
3. 学会等名 日本物理学会 2020年秋季大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 市川温子 for B0班およびAXEL collaboration
2. 発表標題 B01「ニュートリノはマヨラナか？希ガス検出器による革新測定の開拓」報告
3. 学会等名 新学術成果報告会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 K.Z. Nakamura
2. 発表標題 Front-end-Electronics for the SiPM-readout gaseous TPC for neutrino-less double beta decay search
3. 学会等名 2019 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (IEEE NSS 2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 S. Ban
2. 発表標題 AXEL experiment: High pressure Xe gas TPC for neutrinoless double-beta decay search
3. 学会等名 The 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 M. Yoshida
2. 発表標題 Drift field generation with Cockcroft-Walton voltage multiplier in xenon gas for AXEL 0νν̄ search detector
3. 学会等名 The 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 K.D. Nakamura
2. 発表標題 Columnar Recombination Study in High Pressure Xenon Gas for Direction-sensitive Dark Matter Search
3. 学会等名 Seventh workshop on directional dark matter searches (CYGNUS2019) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村輝石
2. 発表標題 ガス検出器を用いたミグダル事象の観測可能性について
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 中村和広
2. 発表標題 AXEL実験 大型試作機のための読み出し機構の開発と性能評価（にむけた準備）
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 菅島文悟
2. 発表標題 0 探求のための固体Xeを用いたBaイオン検出器の開発（AXEL）
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 潘 晟
2. 発表標題 AXEL実験：大型試作機の511keVガンマ線によるエネルギー分解能の評価
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 中村輝石
2. 発表標題 高压キセノンガス検出器を用いたニュートリノレス二重ベータ崩壊および暗黒物質探索
3. 学会等名 令和元年度東京大学宇宙線研共同利用研究成果発表会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 吉田 将
2. 発表標題 0 探索実験AXEL 実験計画と大型試作機での測定結果
3. 学会等名 マイクロバターンガス検出器(MPGD)&アクティブ媒質TPC合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村和広
2. 発表標題 0 探索実験AXEL 大型試作機開発における課題と対策
3. 学会等名 マイクロバターンガス検出器(MPGD)&アクティブ媒質TPC合同研究会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 中村輝石
2. 発表標題 高压キセノンガス検出器による原子核反跳の測定
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 小原 脩平
2. 発表標題 AXEL実験: 大型試作機による飛跡情報の評価(大気混入問題と蒸留作業の報告)
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 潘 晟
2. 発表標題 AXEL実験: 大型試作機によるエネルギー分解能の評価
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 中村和広
2. 発表標題 高圧キセノンガスTPCにおける陽イオン検出のための基礎研究と二重ベータ崩壊探索への応用
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 吉田 将
2. 発表標題 0 探索に向けた高圧キセノンガスTPC内でのコッククロフト-ウォルトン回路による高電圧生成とドリフト電場形成
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 S. Obara
2. 発表標題 Neutrinoless Double-Beta Decay and Xe Gas TPC Development
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K.Z. Nakamura
2. 発表標題 AXEL MPPC response and readout, and detection of positive ion
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Yoshida
2. 発表標題 Formation of Strong Drift Field with Cockcroft-Walton Voltage Multiplier in a High-Pressure Xenon Gas TPC
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 K.D.Nakamura
2. 発表標題 Angular dependence of columnar recombination in high pressure xenon gas using time profile of scintillation emission
3. 学会等名 The 4th International Conference on Science, Application and Technology of Xenon Radiation Detector (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Ban
2. 発表標題 Development of a high energy resolution xenon gas TPC for 0vbb decay search: AXEL
3. 学会等名 The 4th International Conference on Science, Application and Technology of Xenon Radiation Detector (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Ban
2. 発表標題 High pressure Xe gas TPC for 0 decay search : AXEL
3. 学会等名 International Workshop on "Double Beta Decay and Underground Science" DBD18 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 K.D.Nakamura
2. 発表標題 Columnar recombination study in high pressure xenon gas for direction-sensitive dark matter search
3. 学会等名 International Workshop on "Double Beta Decay and Underground Science" DBD18 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S.Obara
2. 発表標題 Basic Study of Positive Ion Detection at TPC for 0v2b search AXEL Basic Study of Positive Ion Detection at TPC for 0v2b search AXEL
3. 学会等名 15th Vienna conference on Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 市川温子
2. 発表標題 キセノンガス検出器でバックグラウンドフリーな二重ベータ崩壊探索を目指す
3. 学会等名 新学術領域「ニュートリノで拓く素粒子と宇宙」研究会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 小原脩平
2. 発表標題 高圧希ガスにおける陽イオン検出のための基礎研究と二重ベータ崩壊探索への応用
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 田中駿祐
2. 発表標題 機械学習を用いたTPC検出器の飛跡解析
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 中村輝石
2. 発表標題 ニュートリノはマヨラナか？キセノンガス検出器による観測に向けて
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 中村和広
2. 発表標題 AXEL実験 BG free化のための陽イオン飛跡検出の研究
3. 学会等名 アクティブ媒質TPC開発座談会
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

AXEL https://www-he.scphys.kyoto-u.ac.jp/research/Neutrino/AXEL/index.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	坂下 健 (Sakashita Ken) (50435616)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・素粒子原子核研究所・准教授 (82118)	
研究分担者	木河 達也 (Kikawa Tatsuya) (60823408)	京都大学・理学研究科・助教 (14301)	
研究分担者	中島 康博 (Yasuhiro Nakajima) (80792704)	東京大学・大学院理学系研究科(理学部)・准教授 (12601)	

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
---------	---------