

## 科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 3 年 6 月 1 日現在

機関番号：14401

研究種目：基盤研究(A) (一般)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H01128

研究課題名(和文)革新的な実験手法を用いたミュオン・電子転換過程探索の進展

研究課題名(英文)Advance in a Search for Muon-Electron Conversion in a Nuclear Field with an Innovative Experimental Method

研究代表者

青木 正治 (Aoki, Masaharu)

大阪大学・理学研究科・教授

研究者番号：80290849

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 34,300,000円

研究成果の概要(和文)：ミュオン粒子・電子転換( $\mu$ -e転換)過程は素粒子の標準理論(SM)では禁止されているが、SMを超えた新しい枠組みの多くでその存在が指摘されており、その実験的な研究の重要性と緊急性は非常に高い。 $\mu$ -e転換過程の探索を目指した本研究では、J-PARC RCSからの大強度高品質パルス陽子ビームの特長を生かした革新的な実験手法を開発した。タイムリーな物理測定開始を目指して、高バースト耐性放射線検出器の高度化やビームライン調整に向けたパルスビーム用ビームプロファイルモニターの開発などを行なった。ビームラインが完成すれば、速やかに物理測定を開始できるところまで実験準備を整えることができた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

我々は、 $\mu$ -e転換過程探索実験の重要性と、物理測定の早期実現やそれに続く段階的な物理感度の向上を強く訴え、実験の実現に向けて具体的に行動してきた。近年国内外のミュオン粒子基礎実験分野が大きく活性化されており、我々の活動が与えた影響は非常に大きいと考える。

本研究を通して、博士号2件、修士号5件を輩出した。博士号取得者は $\mu$ -e転換過程探索実験の分野で国際的に活躍しており、ミュオン粒子研究分野の国際的な発展と若手人材の育成に大きく寄与した。

研究成果の概要(英文)：A muon to electron conversion ( $\mu$ -e conversion) is heavily suppressed in the Standard Model of particle physics (SM), but in many new frameworks with physics beyond the SM the existence of the process with sizable branching ratio is expected. The experimental research for the  $\mu$ -e conversion is very important and urgent. We aimed to search for the  $\mu$ -e conversion, and developed a novel experimental technique using a high-purity high-intensity pulsed proton beam from J-PARC RCS. In order to realize a physics measurement as early as possible, the improvements of a high-burst tolerance radiation detector and the development of a new beam-profile monitor specially designed for the pulsed beam were performed. We have prepared for the physics data taking once the beam line becomes available.

研究分野：素粒子実験

キーワード：荷電レプトン・フレーバ非保存 ミュオン粒子 稀崩壊

### 1. 研究開始当初の背景

(1) LHC 第 1 期ではヒッグスを発見して素粒子の標準理論を完成させることに大成功したものの、超対称性粒子などの新粒子の発見はできなかった。その一方、物質優勢宇宙の謎や暗黒物質の素性、軽すぎるニュートリノ質量やミューオン  $g-2$  異常など、標準理論だけでは説明できない現象も数多く見つかっていた。標準理論を超えた何らかの枠組みは存在するはずであり、様々な実験によってそこへ至る突破口を見つけ出すことが素粒子物理学の発展のために必要な緊急課題であった。ミュー粒子・電子転換過程( $\mu$ -e 転換)は、TeV を遥かに超えるエネルギースケールに関連した新しい物理を探る有力な方法の一つである。最新の  $\mu$ -e 転換測定値は上限値  $4 \times 10^{-12}$ (Ti)[1]や  $7 \times 10^{-13}$ (Au)[2]であり、本実験における信号の発見が期待された。この状況は 2021 年現在でも変わっていない。

(2) さてこのような理論的背景にあつて、スイス PSI では  $\mu^+ \rightarrow e^+\gamma$  を探索する実験(MEG[3])のアップグレード計画(MEG II[4])が進行中であつた。また、 $\mu^+ \rightarrow e^+e^+e^-$  を探索する実験の開発も進んでいた[5]。米国 Fermilab では、 $10^{-17}$  の感度で  $\mu$ -e 転換を探索する実験(Mu2e)が提案されており[6]、2021 年以降の実験開始をうたっていた。本邦においては、Mu2e に類似した実験手法で  $\mu$ -e 転換を探索する実験(COMET)が J-PARC で提案されていた[7]。COMET は実験を 2 段階に分割し、COMET Phase-I で  $3 \times 10^{-15}$ (2018 年実験開始予定であつた)、COMET Phase-II で  $3 \times 10^{-17}$ (計画中)までの探索を目指していた。LHC での  $h \rightarrow \tau\mu$  崩壊の可能性を仄めかす実験結果 [8]や Belle II で間も無く開始される  $\tau \rightarrow \mu h$  探索測定もあり、2020 年までに関連研究分野が大きく転換する可能性があつた。標準理論を超えたより根源的な物理の研究を遅滞なく推進するためには、 $\mu$ -e 転換探索実験をタイムリーに実現し、成果を創出させながら発展させていくことが重要であつた。

(3) なお、上記に述べた背景や国内外の研究動向は 2021 年現在も基本的には変わっていない。LHC での直接探索では、標準理論を超えた新しい粒子は発見されていない。前述した標準理論だけでは説明できない現象は厳然として存在し続けている。ミューオン  $g-2$  に関しては 2021 年に Fermilab が最新の実験結果を発表[9]し、理論値との不一致の確実性はますます高くなっている。LHC や Belle II における荷電レプトン非保存過程の探索やレプトン普遍性の検証研究は大きく発展し、いくつかのチャンネルで標準理論とのズレが示唆されてはいるものの、決定的な確証を得るには至っていない[10]。MEG II や Mu3e の物理測定はまだ始まっていない。COMET Phase-I や Mu2e の実験準備も遅れており、物理測定開始はそれぞれ 2023 年度、2025 年以降にずれ込んでいる。タイムリーにミュー粒子・電子転換過程を探索する実験の重要性と緊急性は、本研究を開始した 2017 年度当初よりもさらに高くなっている。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、ミュー粒子・電子転換過程を従来の 10 倍の感度で探索することにあつた。世界に先駆けた事象の発見を目指して、革新的な手法で実験を遂行し、物理解析を行う計画であつた。またこのような研究を通して、ミュー粒子物理学の将来を牽引する有能な若手人材の育成に貢献することを目指した。

### 3. 研究の方法

(1)  $10^{-13}$  の感度で  $\mu$ -e 探索実験を行うため、J-PARC RCS からの大強度高純度パルス陽子ビームを活用する。パルス陽子ビームをグラフアイト標的に照射して当該標的に大量のミュー粒子炭素原子を生成する。標的から放出される  $\mu$ -e 転換電子を大立体角ビームライン(Hライン)で実験室に取り出す。Hライン出口に高バースト耐性電子スペクトロメータを設置して、電子の運動量を精密に測定する。

#### (2) 大強度高純度パルス陽子ビーム

J-PARC RCS からの 3 GeV 大強度高品質パルス陽子ビームを活用する。先行研究において、取出タイミングを外れた陽子の割合が  $10^{-18}$  よりも小さいことを実験的に確認しており、予想されるバックグラウンド事象は 0.05 よりも十分小さい。J-PARC RCS からのパルス陽子ビームは、強度・品質ともに  $\mu$ -e 転換過程の探索に最適であり、本研究はその特色を最大限に活かしたものである。

#### (3) 大立体角ビームライン (Hライン)

陽子標的に発生する大量の低エネルギー電子( $E_e < 52.5$  MeV/c)や高速中性子、陽子などから検出器を保護するため、

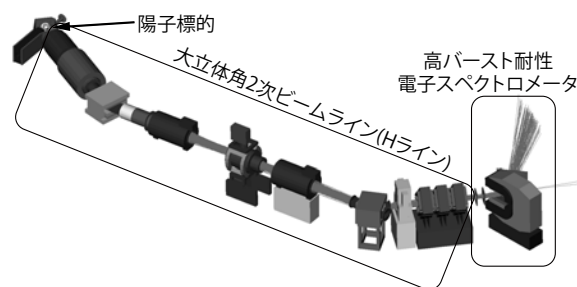


図 1 H ラインおよび高バースト耐性電子スペクトロメータ。

$\mu$ -e 転換によって放出される電子の運動量である 105 MeV/c 近傍だけを選択的に輸送するビームラインを利用する。H ラインは、大口径キャプチャソレノイドと収束ソレノイドレンズを用いることによって大立体角 110 msr を達成している。

(4) 高バースト耐性電子スペクトロメータ

原子軌道上の  $\mu^-$  が崩壊することによって発生する電子(DIO 電子)の運動量は連続分布をする。最大運動量は  $\mu$ -e 転換の信号電子と同じだが、高い運動量ほど発生頻度は急激に低下する。本研究では、 $p = 105 \text{ MeV}/c$  の電子に対して  $\Delta p = 1.0 \text{ MeV}/c$  (FWHM) の分解能を達成すれば十分である。また、陽子パルスに同期して飛来する荷電粒子(プロンプトバースト)がパルス毎に  $2 \times 10^8 / 200\text{-nsec}$  あると予想される。本実験で使用する飛跡検出器は、この高レート入射に耐えた後で遅延飛来する信号電子を正確に検出しなければならない。これらの要求を満たすため、我々は先行研究において高バースト耐性電子スペクトロメータを開発した。本スペクトロメータは TRIUMF 研究所から無償貸与を受けている双極子電磁石を使用し、磁場で偏向される電子軌道を高バースト耐性放射線検出器で精密に測定する。

(5) 物理解析と予想されるバックグラウンド

本研究の手法では、グラフィック標的を用いた 1 年間のビームタイム ( $2 \times 10^7 \text{ sec}$ ) で  $1 \times 10^{-13}$  の単一事象感度を達成できる。バックグラウンドは、実際に取得する物理データを用いて評価する。観測される電子運動量分布の低運動量部分からは DIO の量やミュオン原子の収量を、高運動量部分からはビームバックグラウンドを実測できる。また、パルスビームが存在しない RCS サイクルの時間帯を使用して、宇宙線起源のバックグラウンドを評価する。

4. 研究成果

(1) 2017 年度に、先行研究で開発した飛跡検出器と読出回路一式からなるシステムの総合動作試験を J-PARC MLF D2 エリアにおいて実施した。電磁石以外の装置(飛跡検出器、読出し回路、データ収集装置、磁石電源など)は全て  $\mu$ -e 転換電子測定用に開発調達したものを使用した。システムは全く問題なく動作し、中間運動量領域 (50 ~ 70 MeV/c) における Decay-in-Orbit (DIO) のスペクトルを C, Si, SiC の標的に対して収集した。収集された飛跡検出器からの信号波形データに対して、雑音低減処理を行ってから電子の位置を再構成する解析プログラムを開発した。さらにこれらの電子位置から運動量を再構成するプログラムを開発した。

(2) 前述した総合試験において、飛跡検出器の検出効率に時間依存性があることが判明したため、読出し回路の改造とガス構成の最適化を行ない、時間依存性のないフラットな検出効率 (98%) を達成した。

(3) 2018 年度には、改善された検出器を用いた 3 回目の DIO 測定を実施した。図 2 に実験の様子を示す。図 3 に、解析の結果得られた中間運動量領域における DIO スペクトル (暫定結果) を、2 種類の異なるモデル計算予想とともに示す。低運動量側でデータとモデル計算の間に系統的な差異が観測されており、2021 年 5 月現在も継続的に解析作業を続けている。本データの徹底的な理解を通して解析手法の高度化をはかることが、 $\mu$ -e 物理データの精密解析に向けて重要である。

(4) 高バースト耐性飛跡検出器は、細い金属ワイヤーを狭間隔で配置する特殊な構造をしている。高速でガスゲインのダイナミックな調整を実現するため、ワイヤーの晒される力学的な環境は大変に厳しい。2018 年度に、保管中の温度変化によってワイヤーが破断する事象を確認したため、ワイヤーの張力を下げるなどの対策・改造を行った。

(5) ミュー粒子・電子転換過程探索測定では、電子スペクトロメータの運動量を正確に校正する必要がある。そこで、H ライン中間部に校正用試料ホルダーを設置し、正ミュオンやパイオンが発生する運動量のがかった陽電子を用いて電子スペクトロメータの校正を行う方法を開発した。2018 年度と 2019 年度には、H ラインに実装するための校正用試料ホルダーを製造した。

(6) 高バースト耐性飛跡検出器において、バースト後に発生する遅延疑似ヒット信号を抑える

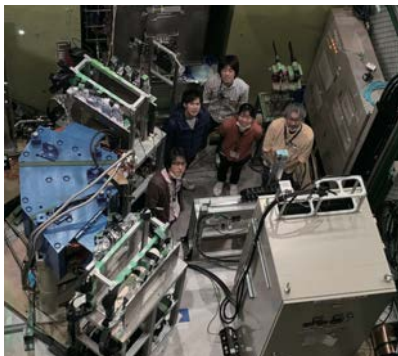


図 2 電子スペクトロメータシステム総合試験の様子 (J-PARC MLF D2 エリア)。

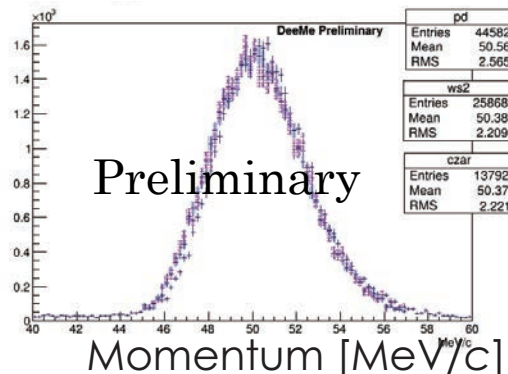


図 3 ミューオン炭素原子からの DIO スペクトル。黒十字：データ、色付きマーク：理論計算。

ための高度化開発を推し進めた。イオンの荷電交換を促進するクエンチャーガス（メチラール蒸気）を高い精度の混合比で制御できる特殊なガス制御装置を開発し、適切な混合比を使用することによって遅延疑似ヒットを大幅に低減した。

(7) Hラインが完成した後で実施するビームラインコミッショニングに備えて、パルスビームラインに最適化したビーム形状モニターを開発した。本装置では、一度に大量の粒子が飛来するパルスビームでも正確な二次元イメージでビーム分布を測定できるようにするため、約2 cm四方の荷電粒子検出器を産業用ロボットで格子状に走査する。J-PARC MLF D2 エリアにおける試作機によるビーム形状測定で良好な結果を得た。また、105 MeV/cの電子のみに感度を持つチェレンコフ検出部を開発し、京都大学複合原子力科学研究所の線形加速器で試験を行い、良好な成績を得た。

(8) Hライン下流部の建設作業を行なった。ビームラインの建設は施設側の所掌であるが、建設準備や建設作業の一部に大学研究者や学生も参加をして貢献した。2020年度末の時点でHラインは電磁石が全て配置され、真空ダクトも接続されている。2021年度中に電磁石冷却水や電源配線が完了すれば、ビームラインとして使用可能となる。ただし初年度は最上流部の収束電磁石に流せる電流に制限があり、当初設計した強度のビームを得ることはできない。

(9) このようにして、タイムリーに物理測定を開始できるように装置の高度化を含む実験準備を推し進めた。Hラインが完成し次第、我々が開発したモニターを使用して効率的にビーム調整を行い、すみやかに物理測定に移行したい。

#### <引用文献>

1. S. Ahmad, G. Azuelos et al., Phys. Rev. Lett. 59 (1987) 970.; SINDRUM II Collaboration, C. Dohmen, K.-D. Groth et al., Phys. Lett. B 317 (1993) 631.
2. W. Bertl, R. Engfer et al., Eur. Phys. J. C 47 (2006) 337.
3. A.M. Baldini, Y. Bao et al., Eur. Phys. J. C 76 (2016) 434.
4. MEG II Collaboration, A. M. Baldini, E. Baracchini et al., Eur. Phys. J. C 78 (2018) 380.
5. A. Wasili, PoS ICHEP2020 (2021) 898.
6. The Mu2e Collaboration, Mu2e Proposal (2008).
7. The COMET Collaboration, KEK Report 2009-10 (2009).
8. CMS Collaboration, Phys. Lett. B 749 (2015) 337.
9. B. Abi et al., Phys. Rev. Lett. 126 (2021) 141801.
10. LHCb collaboration, arXiv:2103.11769 (2021); HFLAV averages (2019);

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計13件（うち査読付論文 8件 / うち国際共著 9件 / うちオープンアクセス 7件）

1. 著者名 N. Teshima, M. Aoki, Y. Higashino, H. Ikeuchi, K. Komukai, D. Nagao, Y. Nakatsugawa, H. Natori, Y. Seiya, N.M. Truong, K. Yamamoto	4. 巻 999
2. 論文標題 Development of a multiwire proportional chamber with good tolerance to burst hits	5. 発行年 2021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 165228 ~ 165228
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2021.165228	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 A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki, M. Blecher, D.I. Britton, D. vom Bruch, D.A. Bryman et al.	4. 巻 103
2. 論文標題 Search for three body pion decays $+ I + X$	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 52006
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevd.103.052006	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 A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki, M. Blecher, D.I. Britton, D. vom Bruch, D.A. Bryman et al.	4. 巻 102
2. 論文標題 Search for the rare decays $+ \mu + \mu$ and $+ e + e$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 12001
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevd.102.012001	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 A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki, M. Blecher, D.I. Britton, D. vom Bruch, A.A. Bryman et al.	4. 巻 101
2. 論文標題 Improved search for two body muon decay $\mu + e + XH$	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Physical Review D	6. 最初と最後の頁 52014
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/physrevd.101.052014	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 Natsuki Teshima	4. 巻 369
2. 論文標題 Status of the DeeMe Experiment, an Experimental Search for mu-e Conversion at J-PARC MLF	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings, 21st International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFact19) : Daegu, Korea, August 26-31, 2019	6. 最初と最後の頁 82
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.369.0082	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 Natsuki Teshima	4. 巻 1
2. 論文標題 Development of the detectors for the DeeMe experiment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 SciPost Physics Proceedings	6. 最初と最後の頁 51
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.21468/SciPostPhysProc.1.051	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 Aguilar-Arevalo A., Aoki M., Blecher M., Britton D.I., vom Bruch D., Bryman D.A., Chen S., Comfort J., Doria L., Cuen-Rochin S., Gumplinger P., Hussein A., Igarashi Y., Ito S., Kettell S.H., Kurchaninov L., Littenberg L.S., Malbrunot C., Mischke R.E., Numao T., Protopopescu D., Sher A., Sullivan T., Vavilov D.	4. 巻 798
2. 論文標題 Search for heavy neutrinos in $\mu$ decay	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Physics Letters B	6. 最初と最後の頁 134980 ~ 134980
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.physletb.2019.134980	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 Natsuki Teshima, DeeMe Collaboration	4. 巻 295
2. 論文標題 DeeMe experiment to search for muon to electron conversion at J-PARC MLF	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings, 2017 International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFact17) : Uppsala University Main Building, Uppsala, Sweden, September 25-30, 2017	6. 最初と最後の頁 109
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.295.0109	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 該当する

1. 著者名 Naritoshi Kawamura, Masaharu Aoki, Jacob Doornbos, Tsutomu Mibe, Yasuhiro Miyake, Fumiaki Morimoto, Yohei Nakatsugawa, Masashi Otani, Naohito Saito, Yoshihiro Seiya, Koichiro Shimomura, Akihisa Toyoda, and Takayuki Yamazaki	4. 巻 2018
2. 論文標題 New concept for a large-acceptance general-purpose muon beamline	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 113G01
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1093/ptep/pty116	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 R.E. Mischke, A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki, M. Blecher, D.I. Britton, D. vom Bruch, D.A. Bryman, S. Chen, J. Comfort, S. Cuen-Rochin, L. Doria, P. Gumplinger, A. Hussein, Y. Igarashi, S. Ito, S. Kettell, L. Kurchaninov, L.S. Littenberg, C. Malbrunot, T. Numao, D. Protopopescu, A. Sher, T. Sullivan, D. Vavilov	4. 巻 CIPANP2018
2. 論文標題 Improved Search for Heavy Neutrinos and a Test of Lepton Universality in the Decay $\mu \rightarrow e \gamma$	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 A proceedings of CIPANP2018	6. 最初と最後の頁 1809.10314
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 該当する

1. 著者名 S. Ito, A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki, M. Blecher, D. I. Britton, D. A. Bryman, D. vom Bruch, S. Chen, J. Comfort, S. Cuen-Rochin, L. Doria, P. Gumplinger, A. Husseina, Y. Igarashi, S. Kettell, L. Kurchaninov, L. Littenberg, C. Malbrunot, R. E. Mischke, T. Numao, D. Protopopescu, A. Sher, T. Sullivan, D. Vavilov	4. 巻 294
2. 論文標題 Precision Measurement of the $\mu \rightarrow e \gamma$ Branching Ratio in the PIENU Experiment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Proceedings of Science	6. 最初と最後の頁 34
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.22323/1.294.0034	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 T. Sullivan, A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki, M. Blecher, D. I. Britton, D. A. Bryman, D. vom Bruch, S. Chen, J. Comfort, S. Cuen-Rochin, L. Doria, P. Gumplinger, A. Hussein, Y. Igarashi, S. Ito, S. H. Kettell, L. Kurchaninov, L. S. Littenberg, C. Malbrunot, R. E. Mischke, T. Numao, D. Protopopescu, A. Sher, D. Vavilov	4. 巻 238
2. 論文標題 Initial results from the PIENU experiment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Hyperfine Interactions	6. 最初と最後の頁 3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1007/s10751-016-1367-5	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 S. Ito, A. Aguilar-Arevalo, M. Aoki, M. Blecher, D. I. Britton, D. A. Bryman, D. vom Bruch, S. Chen, J. Comfort, S. Cuen-Rochin, L. Doria, P. Gumpinger, A. Hussein, Y. Igarashi, S. Kettell, L. Kurchaninov, L. Littenberg, C. Malbrunot, R. E. Mischke, T. Numao, D. Protopopescu, A. Sher, T. Sullivan, D. Vavilov	4. 巻 238
2. 論文標題 Search for massive neutrinos in $\tau \rightarrow e + e + e$ decay	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Hyperfine Interactions	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) 10.1007/s10751-016-1375-5	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47件 (うち招待講演 10件 / うち国際学会 10件)

1. 発表者名 M. Aoki on behalf of DeeMe Collaboration
2. 発表標題 DeeMe Search for muon-electron conversion utilizing pulsed proton beam from J-PARC RCS
3. 学会等名 CLFV2019; The 3rd International Conference on Charged Lepton Flavor Violation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Natsuki Teshima
2. 発表標題 Status of the DeeMe Experiment, an Experimental Search for $\mu$ -e Conversion at J-PARC MLF
3. 学会等名 The 21st International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NUFACT2019) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 M. Aoki and The PIENU Collaboration
2. 発表標題 Results and Prospects from the PIENU Experiment
3. 学会等名 KAON 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年



1. 発表者名 M. Aoki on behalf of DeeMe Collaboration
2. 発表標題 An Experimental Search for Muon-Electron Conversion in Nuclear Field with Muonic Atoms Produced in a Primary Proton Target - -- DeeMe ---
3. 学会等名 40th International Conference on High Energy Physics (ICHEP 2020) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 山本和弘、青木正治、Douglas Bryman 他34名
2. 発表標題 ミュオン電子転換過程探索実験--DeeMe-- : 準備状況(12)
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 高橋拓也、青木正治、阿部尚也、清矢良浩、手島菜月、高橋俊晴、Nguyen Minh Truong、長尾大樹、中津川洋平、名取寛顕、西口創、三原智、山本和弘、他DeeMeコラボレーション
2. 発表標題 $\mu$ -e転換過程探索実験DeeMeに用いられる高レート耐性MWPCの充てんガス最適化
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 長尾大樹、青木正治、中津川洋平、清矢良浩 他19名
2. 発表標題 DeeMe実験におけるD10運動量測定解析
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 青木正治, Douglas Bryman, 東野祐太, 池内響輝 他34名
2. 発表標題 ミュオン電子転換過程探索実験--DeeMe-- : 準備状況(13)
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 小向倅平, 青木正治, 河村成肇, 手島菜月, 三原智, 三宅康博, 長尾大樹, 名取寛顕, 西口創, 清矢良浩, 下村浩一郎, Patrick Strasser, 高橋拓也, 山本和弘, 山崎高幸
2. 発表標題 パルスビームラインのためのビームプロファイルスキャン装置の開発
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 手島菜月, 青木正治, 東野祐太, 池内響輝, 河村成肇, 小向倅平, 三原智, 三宅康博, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 清矢良浩, 下村浩一郎, Patrick Strasser, 高橋拓也, Nguyen Minh Truong, 山本和弘, 山科晴太, 山崎高幸
2. 発表標題 J-PARC MLF D2エリアにおけるミュオン軌道上崩壊の運動量スペクトル測定
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 高橋拓也, 青木正治, 阿部尚也, 池内響輝, 小向倅平, 清矢良浩, 手島菜月, 高橋俊晴, Nguyen Minh Truong, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 東野祐太, 三原智, 山科晴太, 山本和弘, 他DeeMeコラボレーション
2. 発表標題 $\mu$ -e転換過程探索実験DeeMeに用いられる高レート耐性MWPCの充てんガス最適化
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 東野祐太, 青木正治, 阿部尚也, 池内響輝, 小向倅平, 三原智, 清矢良浩, 高橋拓也, 高橋俊晴, 山本和弘, 山崎高幸
2. 発表標題 MWPCガスへのメチラール蒸気混合による遅延ヒットの抑制
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 清矢良浩, 青木正治, Bryman Douglas, 東野祐太 他35名
2. 発表標題 ミュオン電子転換過程探索実験 --DeeMe-- : 準備状況(14)
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 手島菜月, 青木正治, 東野祐太 他18名
2. 発表標題 J-PARC MLF D2エリアにおけるミュオン軌道上崩壊の運動量スペクトルの解析
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 池内響輝, 青木正治, 東野祐太, 河村成肇 他16名
2. 発表標題 J-PARC MLFビーム標的中に生成されるミュオン炭素原子数の評価
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 小向倭平, 青木正治, 東野祐太 他14名
2. 発表標題 パルスビームラインのためのビームプロファイルスキャン装置の開発
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 山本和弘, 青木正治, Douglas Bryman 他35名
2. 発表標題 ミュオン電子転換過程探索実験--DeeMe-- : 準備状況(15)
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 植松泰智, 阿部尚也, 青木正治, 東野祐太, 池内響輝, 小向倭平, 清矢良浩, 杉田和正, 手島菜月, 高橋俊晴, 山本和弘
2. 発表標題 MPPC 読み出しプラスチックシンチレーティングファイバー系の大強度ビームに対する応答の測定
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 杉田和正, 名取寛顕, 青木正治, 手島菜月, 植松泰智, 清矢良浩, 山本和弘
2. 発表標題 HVスイッチングMWPCの改良
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 手島菜月, 青木正治, 東野祐太 他18名
2. 発表標題 J-PARC MLF D2エリアにおけるミュオン軌道上崩壊の運動量スペクトルの解析
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 Daiki Nagao on behalf of DeeMe Collaboration
2. 発表標題 Status of the DeeMe Experiment
3. 学会等名 20th Workshop on Neutrinos from Accelerators (NuFact2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 青木正治, Douglas Bryman, 河村成肇, 金正倫計, 牧村俊助, 明午伸一郎, 三部勉, 三原智, 三宅康博, 森本史明, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 沼尾登志男, Pranab Saha, 清矢良浩, 下村浩一郎, Patrick Strasser, 高橋拓也, 手島菜月, Nguyen Minh Truong, 山本風海, 山本和弘, 山崎高幸, 吉中晴香, 他12名
2. 発表標題 ミュオン電子転換過程探索実験--DeeMe-- : 準備状況(10)
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 長尾大樹, 青木正治, 中津川洋平, 清矢良浩, 古谷優子, 吉中晴香, 名取寛顕, 山本和弘, 手島菜月, 森本史明, Nguyen Duy Thong, Nguyen Minh Truong, 河村成肇, 下村浩一郎, 西口創, 三原智, Patrick Strasser, 吉田学立, 元石尊寛, 新郷裕太, 齊藤直人, 三宅康博, 五十嵐洋一
2. 発表標題 DeeMe実験におけるD10スペクトル解析結果
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	吉中晴香, 青木正治, 清矢良浩, Nguyen Minh Truong, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 三原智, 手島菜月, 森本史明, 高橋拓也, 山本和弘, 吉田学立, 元石尊寛, 斎藤直人, 三宅康博, 下村浩一郎, 河村成肇, Patrick Strasser, 五十嵐洋一, 新郷裕太
2. 発表標題	J-PARC MLF ミューオンビームによる標的照射データを用いた $\mu$ -e電子転換過程探索実験 DeeMe の読み出しエレクトロニクス of 較正とMWPC のヒットデータ解析
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	手島菜月, 青木正治, 阿部尚也, 清矢良浩, 高橋拓也, 高橋俊晴, Nguyen Minh Truong, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 三原智, 山本和弘, 吉中晴香, 他DeeMeコラボレーション
2. 発表標題	$\mu$ -e電子転換過程探索実験DeeMeに用いられる高レート耐性MWPCの性能評価と充てんガス最適化
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	新郷裕太, 志垣賢太, 山本風海, 青木正治, 長尾大樹
2. 発表標題	ミュオン粒子・電子転換過程探索実験DeeMeにおける背景事象評価
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	手島菜月, 青木正治, Douglas Bryman, 河村成肇, 金正倫計, 牧村俊助, 明午伸一郎, 三部勉, 三原智, 三宅康博, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 沼尾登志男, Pranab Saha, 齋藤直人, 清矢良浩, 志垣賢太, 下村浩一郎, 新郷裕太, Patrick Strasser, 高橋拓也, Nguyen Minh Truong, 山本風海, 山本和弘, 山崎高幸, 吉中晴香, 他9名
2. 発表標題	ミュオン電子転換過程探索実験--DeeMe-- : 準備状況(11)
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 M. Aoki, D. Nagao, on behalf of DeeMe Collaboration
2. 発表標題 DeeMe Experiment
3. 学会等名 Symposium for Muon and Neutrino Physics 2018 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Teshima Natsuki
2. 発表標題 mu-e conversion experiments in J-PARC
3. 学会等名 The 15th International Workshop on Tau Lepton Physics (TAU2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Masaharu Aoki
2. 発表標題 ミュオン電子転換過程探索実験 主にDeeMe
3. 学会等名 Muon科学と加速器研究 (招待講演)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Masaharu Aoki on behalf of DeeMe Collaboration
2. 発表標題 DeeMe -- Yet another experiment to search for muon to electron conversion
3. 学会等名 The 2017 Tamura Symposium -- Lepton and Baryon Symmetry (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名	Hiroaki Natori, M. Aoki, Y. Seiya, K. Yamamoto, Y. Nakatsugawa, D. Nagao, N. Teshima, F. Morimoto, Y. Furuya
2. 発表標題	DeeMe, an experiment searching for mu-e conversion using fast extracted proton beam at J-PARC
3. 学会等名	Korean Physical Society 2017 Spring Meeting (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	Natsuki Teshima for the DeeMe Collaboration
2. 発表標題	DeeMe Experiment Search for Muon to Electron Conversion at J-PARC MLF
3. 学会等名	The 19th International Workshop on Neutrinos from Accelerators (NUFACT2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	長尾大樹, 青木正治, 中津川洋平, 清矢良浩, 名取寛顕, 山本和弘, 手島菜月, 森本史明, Nguyen Minh Truong, 吉中晴香, 河村成肇, 下村浩一郎, 西口創, 三原智, Patrick Strasser, 他DeeMeコラボレーション
2. 発表標題	DeeMe実験におけるD10スペクトル測定の解析
3. 学会等名	日本物理学会 21017年秋季大会
4. 発表年	2017年

1. 発表者名	手島菜月, 青木正治, 阿部尚也, 清矢良浩, 高橋俊晴, Nguyen Minh Truong, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 三原智, 森本史明, 山本和弘, 吉中晴香, 他DeeMeコラボレーション
2. 発表標題	$\mu$ -e転換過程探索実験DeeMeに用いられる検出器の準備とD10スペクトル測定について
3. 学会等名	日本物理学会 21017年秋季大会
4. 発表年	2017年



1. 発表者名 森本史明, 青木正治, 清矢良浩, 長尾大樹, Nguyen Minh Truong, 中津川洋平, 名取寛顕, 手島菜月, 吉中晴香, 山本和弘, 他DeeMeコラボレーション
2. 発表標題 $\mu$ -e転換過程探索実験 DeeMe における実験領域を満たす He ガスによる飛跡再構成への影響について
3. 学会等名 日本物理学会 21017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 青木正治, Bryman Douglas, 古谷優子, 河村成肇, 金正倫計, 名取寛顕, 牧村俊助, 明午伸一郎, 三部勉, 三原智, 三宅康博, 森本史明, 長尾大樹, 中津川洋平, 西口創, 沼尾登志男, Pranab Saha, 清矢良浩, 下村浩一郎, Strasser Patrick, 手島菜月, Nguyen Duy Thong, Nguyen Minh Truong, 山本風海, 山本和弘, 吉中晴香 他8名
2. 発表標題 ミュオン電子転換過程探索実験 DeeMe : 準備状況(8)
3. 学会等名 日本物理学会 21017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 長尾大樹
2. 発表標題 $\mu$ -e転換過程探索実験DeeMe
3. 学会等名 Flavor Physics Workshop 2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 M. Aoki on behalf of DeeMe Collaboration
2. 発表標題 DeeMe $\mu$ -e Conversion Experiment at J-PARC MLF
3. 学会等名 Muon科学と加速器研究 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Daiki Nagao on behalf of DeeMe experiment
2. 発表標題 Performance test of the DeeMe spectrometer system and DIO measurements
3. 学会等名 Muon科学と加速器研究 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 N. Teshima on behalf of the DeeMe Collaboration
2. 発表標題 Detectors for the DeeMe Experiment
3. 学会等名 Muon科学と加速器研究 2018
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 清矢良浩, 青木正治, 河村成肇, 金正倫計, 牧村俊助, 明午伸一郎, 三原智, 三宅康博, 森本史明, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 沼尾登志男, Pranab Saha, 志垣賢太, 下村浩一郎, 新郷裕太, Patrick Strasser, 手島菜月, Nguyen Duy Thong, Nguyen Minh Truong, 山本風海, 山本和弘, 山崎高幸, 吉中晴香 他11名
2. 発表標題 ミュオン電子転換過程探索実験 DeeMe : 準備状況(9)
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 吉中晴香, 青木正治, 清矢良浩, Nguyen Minh Truong, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 三原智, 手島菜月, 森本史明, 山本和弘, 吉田学立, 元石尊寛, 斎藤直人, 三宅康博, 下村浩一郎, 河村成肇, Patrick Strasser, 五十嵐洋一, 古谷優子, 新郷裕太
2. 発表標題 DeeMe実験で用いられる読み出しエレクトロニクスとの較正
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 森本史明, 青木正治, 清矢良浩, 長尾大樹, Nguyen Minh Truong, 中津川洋平, 名取寛顕, 手島菜月, 吉中晴香, 山本和弘, 他DeeMeコラボレーション
2. 発表標題 $\mu$ -e転換過程探索実験 DeeMe における D10 バックグラウンドの評価
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 長尾大樹, 青木正治, 中津川洋平, 清矢良浩, 古谷優子, 吉中晴香, 名取寛顕, 山本和弘, 手島菜月, 森本史明, Nguyen Duy Thong, Nguyen Minh Truong, 河村成肇, 下村浩一郎, 西口創, 三原智, Patrick Strasser, 吉田学立, 元石尊寛, 新郷裕太, 齊藤直人, 三宅康博, 五十嵐洋一
2. 発表標題 DeeMe実験におけるD10測定の解析
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 名取寛顕, 三原智, 青木正治, 東城順次, 清矢良浩, 山本和弘, MyeongJae Lee, 三宅康弘, 河村成肇, 上野一樹, 中澤遊, 長尾大樹, 手島菜月, 森本史明, 吉中晴香, Beomki Yeo, Truong Minh Nguen
2. 発表標題 ミュオン原子核の新しい物理反応の探索について
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 手島菜月, 青木正治, 阿部尚也, 清矢良浩, 高橋俊晴, Nguyen Minh Truong, 長尾大樹, 中津川洋平, 名取寛顕, 西口創, 三原智, 森本史明, 山本和弘, 吉中晴香, 他DeeMeコラボレーション
2. 発表標題 $\mu$ -e転換過程探索実験DeeMeに用いられる高レート耐性MWPCの改良と性能評価
3. 学会等名 日本物理学会 第73回年次大会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

DeeMe web page: <http://deeme.phys.sci.osaka-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	三宅 康博  (Miyake Yasuhiro)  (80209882)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・教授   (82118)	
研究分担者	清矢 良浩  (Seiya Yoshihiro)  (80251031)	大阪市立大学・大学院理学研究科・教授   (24402)	

	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
研究協力者	ダグラス ブライマン  (Douglas A. Bryman)	カナダ国プリティッシュコロンビア大学およびトライアンフ研究所・Professor	
連携研究者	山本 風海  (Yamamoto Kazami)  (60354750)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・原子力科学研究部門 J- PARCセンター・主任研究員   (82110)	

## 6. 研究組織 (つづき)

	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	三原 智  (Mihara Satoshi)  (80292837)	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・教授    (82118)	
連携研究者	金正 倫計  (Kinsho Michikazu)  (10354747)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター・研究主席    (82110)	
連携研究者	山本 和弘  (Yamamoto Kazuhiro)  (80303808)	大阪市立大学・大学院理学研究科・准教授    (24402)	
連携研究者	河村 成肇  (Kawamura Naritoshi)  (60311338)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・准教授    (82118)	
連携研究者	下村 浩一郎  (Shimomura Koichiro)  (60242103)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・准教授    (82118)	
連携研究者	パトリック ストラッサー  (Patrick Strasser)  (20342834)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構造科学研究所・講師    (82118)	
連携研究者	サハ プラナブ  (Saha Pranab)  (10391335)	国立研究開発法人日本原子力研究開発機構・J-PARCセンター・主任研究員    (82110)	
連携研究者	牧村 俊助  (Makimura Shunsuke)  (10391715)	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・技師    (82118)	

6. 研究組織（つづき）

	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	西口 創  (Nishiguchi Hajime)  (10534810)	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)	
連携研究者	山崎 高幸  (Yamazaki Takayuki)  (40632360)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構 造科学研究所・助教   (82118)	
連携研究者	名取 寛顕  (Natori Hiroaki)  (40716495)	大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・物質構 造科学研究所・特任助教   (82118)	

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		
カナダ	TRIUMF	UBC	