

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 2 年 6 月 30 日現在

機関番号：82118

研究種目：基盤研究(S)

研究期間：2015～2019

課題番号：15H05742

研究課題名(和文) ミュオン異常磁気能率の精密測定による新物理法則の探索

研究課題名(英文) Sensitive Search for New Physics Law with Precision Measurement of Muon Anomalous Magnetic Moment

研究代表者

齊藤 直人 (Saito, Naohito)

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構・その他部局等・センター長

研究者番号：20321763

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 155,700,000円

研究成果の概要(和文)：ミュオン異常磁気能率($g-2$)の精密測定による新物理法則の探索を行うための陽電子飛跡検出器の開発を行った。その中心要素である検出器モジュールを完成させ、これに陽電子ビームを照射してその応答を調べ、想定されるS/Nで信号が読み出せることが確認できた。さらに、ミュオンビームを用いた試験ではミュオン崩壊で生じる陽電子の計測を行い、想定通りの動作をすることを確かめた。これを用いてミュオニウム超微細構造の精密測定を行い、データ取得し、ゼロ磁場において世界最高精度で測定結果を得た。また、ミュオン加速の実証として世界で初めて負ミュオニウムのRF加速に成功した。これらに基づき実験技術設計報告書を完成させた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ミュオン $g-2$ を素粒子標準理論の予測精度と同程度で測定した実験は、米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)で行われた実験のみであり、フェルミ国立研究所に場所を移した継続実験が始まっている現時点でもこの状況は変わっていない。我々は新しい実験手法を用いることで、ミュオン $g-2$ に素粒子標準理論を超える新しい物理現象が見えているか、真に独立な検証を行う。本課題で開発した陽電子飛跡検出器は、広い用途で利用可能な測定器である。関連分野への波及効果を示す例として、陽子半径測定実験(東北大学)やミュオンを用いた物質生命科学研究(J-PARC・カナダTRIUMF)で利用する準備を進めている。

研究成果の概要(英文)：We developed a positron tracking detector and a low-energy muon accelerator for the precise measurement of anomalous magnetic moment ($g-2$) of muon towards searching for new law of physics beyond the standard model of particle physics. The central module of the positron detector was built. It was evaluated with a positron beam as well as positrons from muon decay. These evaluations showed expected performance such as S/N ratio. By using this module, the muonium hyperfine splitting was measured with the unprecedented precision under zero-field condition. The RF acceleration of muon was demonstrated for the first time with negative muonium ions. Based on these achievements, a technical design report was published.

研究分野：素粒子・原子核物理学

キーワード：素粒子実験 基礎物理学実験 精密測定 対称性

様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

ミュオンは、素粒子標準理論を超えた物理法則(Beyond the Standard Model, BSM)の存在を示唆する実験結果が報告されている数少ない粒子の一つである。その異常磁気能率($g-2$)は、米国ブルックヘブン国立研究所(BNL)で0.54ppmの精度で測定され、標準理論の予言より3標準偏差以上大きな値が報告されている。この差を説明しうるのが超対称性理論などのBSMである。一方で、実験で直接測定されたのは、実は $g-2$ と電気双極子能率(EDM)の効果の合算であり、実験値と標準模型予言値の差の、少なくとも一部を有限なEDMに依るものと考えられる。静磁場(B)におけるスピンの歳差周波数ベクトル($\vec{\omega}$)は以下の式で表される。

$$\vec{\omega} = -\frac{e}{m} \left[\left(\frac{g_{\mu} - 2}{2} \right) \vec{B} + \left(\frac{\mu \text{EDM}}{2} \right) \vec{\beta} \times \vec{B} \right] = \vec{\omega}_{g-2} + \vec{\omega}_{\text{EDM}} \quad (1)$$

つまり、ミュオンを静磁場による周回軌道に導入すると、 $g-2$ は軌道平面内のスピン歳差運動を生み、EDMは面内から立ち上がろうとする歳差運動を生み出す。BNLの実験では全体が測定され、EDMの効果を見捨てることとして $g-2$ を抽出し、それが標準理論からずれていると主張している。我々は、 $g-2$ とEDMを同時測定する新手法を提案し、この実験で実現するものである。

2. 研究の目的

本研究の最終目的は、新手法を用いて $g-2$ およびEDMの測定を行うことである。ミュオンビームを冷却・加速し、3Tのミュオン蓄積磁石(右図)に入射、スピン歳差運動を測る。その第一段階として、 $g-2$ /EDM測定に用いる陽電子飛跡検出器を開発し、それを用いて正ミュオンと電子の束縛状態であるミュオニウム(Mu, μ^+e^-)の超微細分裂(HFS)を測定する。 $g-2$ を求めるには、 $g-2$ とNMRの周波数 ρ から、 $R = \frac{g-2}{\rho}$ を求め、更に μ_{μ} / μ_p を援用し、次の式を用いる。

$$g_{\mu} - 2 = \frac{2R}{\lambda - R} \quad (2)$$

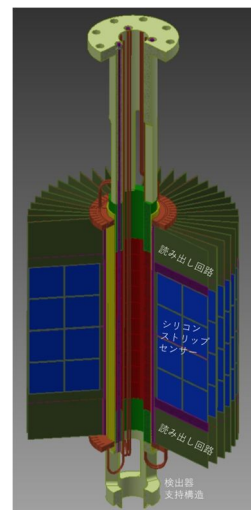
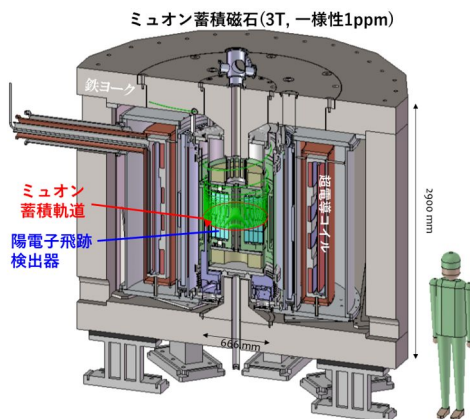
これは、磁場強度が核磁気共鳴周波数として得られることに基づく高精度の導出法である。磁気能率比 λ は、MuのHFSから決定される。従来の実験を上回る統計で λ を決定し、それによって $g-2$ 値の更新を狙う。

3. 研究の方法

ミュオン $g-2$ およびEDMの精密測定を行うための陽電子飛跡検出器の開発を行う。ミュオン蓄積磁石内に入射・蓄積されたミュオンビームは $6.6\mu\text{s}$ の寿命で蓄積中に崩壊する。崩壊で生じた陽電子飛跡を測定することで、ミュオン崩壊時刻とその時のスピンの向きを決定する。崩壊陽電子は、ミュオンよりも低い運動量を持ち、その軌道は3Tの磁場にしがたって螺旋軌道を描く。これをミュオン蓄積軌道内部に設置した陽電子飛跡検出器で測定する。高精度で $g-2$ とEDMを測定するためには、飛跡が重なりパイルアップする影響をできるだけ少なくする必要がある。それを実現するため、ATLASやBelle II実験など、粒子-粒子衝突型実験の衝突点付近の高多重度環境で用いられるシリコンストリップセンサーを用いる。ミュオン崩壊点は、ミュオン蓄積軌道の円周上に分布するため、そこで生じる陽電子を効率よく検出するため、検出器面(ベーン)を放射線状に配置する。(右図)

陽電子飛跡検出器はシリコンストリップセンサーとその信号を読み出す電子回路群、検出器支持構造体で構成される。本研究では、検出器部材の試作や性能評価試験を行い、設計を完了する。これに基づき、量産・組立・動作確認を実施し、検出器として組み上げる。平行して陽電子飛跡の解析アルゴリズムの開発を行う。特に、飛跡再構成の効率は、磁場分布やミュオンの崩壊点分布などの実際に想定される分布を用いて、現実を詳細に反映した数値計算を行う。検出器モジュールができた段階で、J-PARCミュオン実験施設において、ミュオニウムの超微細構造分離の精密測定に適用し、ビームのパルス構造を生かした共鳴状態の時間発展を測定する方法を実証し、データを収集する。これより、Mu超微細構造分離を決定する。最終的には、J-PARCミュオン実験施設の新規専用ビームラインに設置し、ミュオン $g-2$ /EDMの精密測定実験を行う。

4. 研究成果

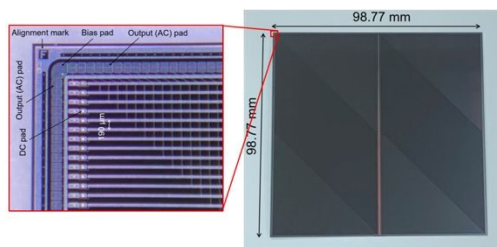


A. 陽電子飛跡検出器の開発

陽電子飛跡検出器は検出器モジュールを放射線状に配置することで構成する。本研究では検出器構成要素の開発をゼロから行い、モジュールの製作、性能評価を行なった。

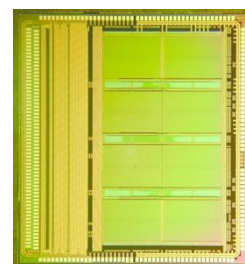
(1) センサー[吉岡、山中(研究員)]

シリコンストリップセンサーの設計、試作センサーの製作・評価を行い、最終的なセンサーでは1種類のセンサーに2層配線する方式を用いることで2方向から読み出しが可能な設計とした。右図にその写真を示す。最終仕様のセンサーの試作・評価を完了し、第1次の量産(約30%)を終えた。並行して、センサーの品質を検査するシステムを構築し、センサーの全ストリップ(センサーあたり1024本)の特性の自動測定を行い、想定通りの良好な性能を有することを確かめた。



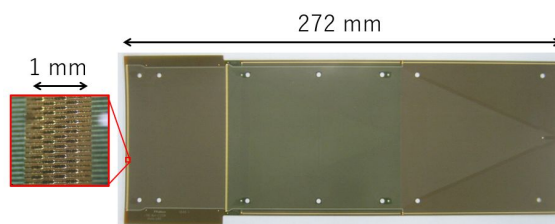
(2) フロントエンド集積電子回路(ASIC)[佐藤(研究員)、三部]

検出器は検出時間に対して高い安定性が求められている。また、大強度パルスビームに対応するため、ヒット情報を一時的に保存するための大容量のバッファメモリを搭載する必要がある。そのため、センサーからの信号を処理するための専用読み出し集積回路を開発した(右図)。当初の設計ではタイムウォークの性能を改善する必要があることが分かった。そのため、波形整形回路の後段に微分回路を追加することにした。その結果、試作した読み出し集積回路のタイムウォークの性能は微分回路を使用しない場合と比べて1桁以上改善し、要求される1 ns以下のタイムウォークを達成した。加えてダイナミックレンジ(16 fC以上)・ノイズレベル(1,600 e⁻以下)・パルス幅(100ns以下)、消費電力(0.64W以下)、全ての性能を満たしていることを確認した。現在、最終結果を纏めた論文をIEEEへ投稿した。

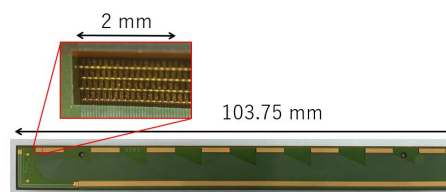


(3) フレキシブル基板[山中]

上記(1)のセンサーと(2)のフロントエンド集積電子回路を接続するため、フレキシブルプリント回路基板(FPC)を製作した。ポリイミドなどの樹脂で作られた基板上に微細な回路パターンを構成し、センサーからの信号を200 mm程度の長距離配線するための基板(センサーFPC、下左図)と、この基板からフロントエンド電子回路の入力端子に合わせて信号を分配するための基板(ピッチアダプター、下右図)を開発した。それぞれ長距離配線での断線・混線、狭ピッチ配線(L/S=35μm/35μm)の回路形成での製作歩留まりなど、一般的なFPC製作技術の限界を超える仕様が求められた。これらを達成するため、製造会社との打ち合わせと試作を重ね、試作品による電気的性能測定、組み立て試験を実施して実用性を確認し、要求を満たす回路の量産に成功した。



センサーFPC



ピッチアダプター

(4) 組み立て[佐藤、山中、吉岡、三部]

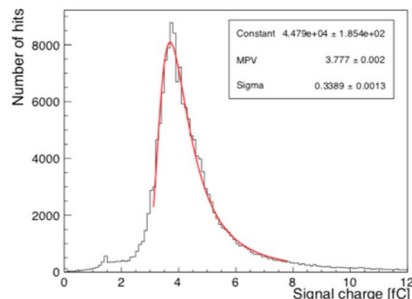
シリコンストリップセンサーと読み出し集積回路を合わせた試験用検出器モジュールを製作した。試験用検出器モジュールは1枚の実機シリコンストリップセンサーを8枚の試作読み出し集積回路で読み出す形になっており、検出器モジュールの1/4縮小版に相当する。検出器モジュールの組立工程を模して、3次元測定器と専用の位置調整治具を使用して、センサーの設置位置を制御しながら、組み立てた。また、組み立て直前にシリコンストリップセンサーと読み出し集積回路の健全性を確認する品質検査システムを導入した。不良がない健全なモジュールを計4台製作することに成功した(右図)。



次の段階として、4枚のセンサーと32個の読み出し集積回路を含む検出器モジュールの組み立て方法の開発を行った。センサーの設置位置が磁場に対して傾いていると、EDM測定に系統誤差が生じるため、センサーの傾きを10 μrad 以下に抑える必要がある。そこで、3次元測定器と専用の位置調整治具を用いることで、センサーの位置を把握・調整して、接着する。センサー平面内での位置調整は要求精度で行えることを実証した。センサー平面に対して垂直方向に関する位置調整は治具に改良を加えることで調整可能であることを確認した。ASIC・フレキシブルプリント回路基板、冷却板などの他のパーツに関しても、組み立て用治具を試作して、使用する接着剤の選定や組立工程を確立し、検出器モジュールを完成させ、量産準備を終えた。

(5) 性能評価 [佐藤、山中、吉岡、三部]

東北大学電子光理学研究センター(ELPH)の陽電子ビームを製作した試験用検出器モジュールに照射して、検出器の1粒子に対する応答を評価した。右図に示すように予想(4 fC)どおりの電荷分布が得られ、良好なノイズ性能(720e⁻, RMS)、時間分解能(3.1 ns,)、検出効率(99.8%以上)があることを確認した。これらの結果をまとめた論文を出版した。



B. ミュオン g-2/EDM の精密測定 [総括：齊藤]

(6) ミュオン加速の実証試験 [大谷(研究員)、三部]

ミュオンビームは陽子ビームで生成したパイオンの崩壊で得られる3次ビームであり、エミッタンスが大きく通常の加速空洞で加速できない。本研究では、エミッタンスを1/1,000に減少(冷却)してから加速することで、エミッタンスが小さいミュオンビーム(極冷ミュオンビーム)を開発した。その第一段階として、RF加速空洞を用いてほぼ静止した負ミュオニウムイオン(μe^-)を90keVまで加速する試験に成功した。これを冷却したミュオンビームに適用すれば、極冷ミュオンビームが実現する。

(7) データ解析手法の確立と系統誤差の見積り [山中、佐藤]

ミュオンの生成から冷却・加速・入射・検出にわたる全ての過程を含む、end-to-endシミュレーションを行った。これを用いて、陽電子検出器の信号から飛跡を再構成するデータ解析手法を開発し、ミュオンg-2とEDMを得る手法を確立した。最高頻度の陽電子発生環境下に置いても、80%以上の再構成効率を達成していることを確かめた。2年間のデータ収集で、g-2を440 ppbの統計誤差で測定可能と見積もった(先行実験：460 ppb)。ミュオンg-2測定の主要系統誤差を検出器信号のパイルアップによるものと同定し、(5)で実測した検出器応答を用いて見積もり、系統誤差が70 ppb以下であることを示した(先行実験：280 ppb)。EDM測定では、センサーの設置位置のずれが主要系統誤差の要因であり、各センサーの設置位置のずれのシミュレーション解析により、系統誤差を従来の100分の1のレベルに抑制できることを示した。センサーの姿勢を監視するシステムを開発しサブ μm の精度が得られることを示した。

本研究期間中にビームラインや建屋等の基盤設備の整備が間に合わなかったため、当初の最終目標であったミュオンg-2/EDMの測定を実施することはできなかったが、基盤設備の整備完了後、遅延なく測定を開始する準備を整えた。これらの技術設計を総括した論文を2019年5月に出版した。

C. ミュオニウム超微細構造定数の測定 [吉岡、山中、佐藤、三部、齊藤]

前研究項目Aで製作した検出器モジュールをミュオニウムの超微細構造測定実験に適用し、測定を行なった。J-PARCのミュオンビームを用いてクリプトンガス中にミュオニウム生成し、その崩壊で生じる陽電子を測定した。パルスミュオンビームを用いた初めての測定であったため、予備実験としてプラスチックシンチレータアレイのみを用いた測定を行い、実験原理を検証した。次に4台の検出器モジュールを用いた本実験を行い、これまで行われていなかった時間情報を用いた超微細構造定数の測定を世界で初めて実現した。ミュオニウム超微細構造準位間遷移による崩壊陽電子数の時間変化をこの検出器モジュールを用いて測定した。理論式をこの時間変化にフィットすることで超微細構造準位の共鳴周波数を求めることができる。これによりゼロ磁場において世界最高精度でミュオニウムの超微細構造(ν)を決定することができた。現状の精度ではミュオンg-2の決定精度を更新するに至っていないが、今後磁場中での測定に移行すれば、一桁の精度改善が見込まれ、式(2)の精度を120ppbから一桁改善できる見込みである。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計12件（うち査読付論文 11件/うち国際共著 2件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Aoyagi T., Honda Y., Ikeda H., Ikeno M., Kawagoe K., Kohriki T., Kume T., Mibe T., Namba K., Nishimura S., Saito N., Sasaki O., Sato N., Sato Y., Sendai H., Shimomura K., Shirabe S., Shoji M., Suda T., Suehara T., Takatomi T., Tanaka M., Tojo J., Tsukada K., Uchida T., Ushizawa T., Wauke H., Yamanaka T., Yoshioka T.	4. 巻 15
2. 論文標題 Performance evaluation of a silicon strip detector for positrons/electrons from a pulsed muon beam	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Instrumentation	6. 最初と最後の頁 P04027 ~ P04027
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1088/1748-0221/15/04/P04027	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. Yamanaka, T. Mibe, N. Saito, T. Yoshioka, et al.	4. 巻 958
2. 論文標題 Positron tracking detector for J-PARC muon g-2/EDM experiment	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 162786 ~ 162786
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2019.162786	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 Otani M., Sue Y., Futatsukawa K., Iijima T., Iinuma H., Kawamura N., Kitamura R., Kondo Y., Morishita T., Nakazawa Y., Yasuda H., Yotsuzuka M., Saito N., Yamazaki T.	4. 巻 946
2. 論文標題 Compact buncher cavity for muons accelerated by a radio-frequency quadrupole	5. 発行年 2019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 162693 ~ 162693
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.162693	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 Nakazawa Y., Bae S., Choi H., Choi S., Iijima T., Iinuma H., Kawamura N., Kitamura R., Kim B., Ko H.S., Kondo Y., Mibe T., Otani M., Razuvaev G.P., Saito N., Sue Y., Won E., Yamazaki T., Yasuda H.	4. 巻 937
2. 論文標題 Beam commissioning of muon beamline using negative hydrogen ions generated by ultraviolet light	5. 発行年 2019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 164 ~ 167
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1016/j.nima.2019.05.043	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 M. Abe, T. Mibe, N. Saito, T. Yoshioka, et al.	4. 巻 2019
2. 論文標題 A new approach for measuring the muon anomalous magnetic moment and electric dipole moment	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Progress of Theoretical and Experimental Physics	6. 最初と最後の頁 1-22
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1093/ptep/ptz030	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 Kim Bongho, Bae Sunghan, Choi Hyunsuk, Choi Seonho, Kawamura Naritoshi, Kitamura Ryo, Ko Ho San, Kondo Yasuhiro, Mibe Tsutomu, Otani Masashi, Razuvaev Georgiy P., Won Eunil	4. 巻 899
2. 論文標題 Development of a microchannel plate based beam profile monitor for a re-accelerated muon beam	5. 発行年 2018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 22 ~ 27
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.05.014	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 Bae S., Choi H., Choi S., Fukao Y., Futatsukawa K., Hasegawa K., Iijima T., Iinuma H., Ishida K., Kawamura N., Kim B., Kitamura R., Ko H.?S., Kondo Y., Li S., Mibe T., Miyake Y., Morishita T., Nakazawa Y., Otani M., Razuvaev G.?P., Saito N., Shimomura K., Sue Y., Won E., Yamazaki T.	4. 巻 21 (050101)
2. 論文標題 First muon acceleration using a radio-frequency accelerator	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Physical Review Accelerators and Beams	6. 最初と最後の頁 1-6
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1103/PhysRevAccelBeams.21.050101	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 Sato Y., Ikeda H., Ikeno M., Ito T., Kawagoe K., Kishishita T., Kohriki T., Kume T., Matama M., Mibe T., Murakami T., Nagasawa T., Nishimura S., Saito N., Sasaki O., Shirabe S., Shoji M., Suehara T., Tanaka M., Tojo J., Uchida T., Ueno K., Yasuda H., Yoshioka T.	4. 巻 2017
2. 論文標題 Performance of Front-end ASIC and its evaluation with Silicon Strip Sensor for J-PARC Muon g-2/EDM Experiment	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 2017 IEEE Nuclear Science Symposium and Medical Imaging Conference (NSS/MIC)	6. 最初と最後の頁 1~3
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/NSSMIC.2017.8532754	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 Abe M., Murata Y., Iinuma H., Ogitsu T., Saito N., Sasaki K., Mibe T., Nakayama H.	4. 巻 890
2. 論文標題 Magnetic design and method of a superconducting magnet for muon g-2/EDM precise measurements in a cylindrical volume with homogeneous magnetic field	5. 発行年 2018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 51 ~ 63
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1016/j.nima.2018.01.026	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 三部 勉	4. 巻 61
2. 論文標題 J-PARCにおけるミュオンg-2/EDMの精密測定	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 原子核研究	6. 最初と最後の頁 99-111
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 三部 勉	4. 巻 45
2. 論文標題 ミュオンg-2/EDM実験	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 めそん (日本中間子科学会誌)	6. 最初と最後の頁 50-56
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 Shoichiro Nishimura, Hirokazu Ikeda, Masahiro Ikeno, Takashi Kohriki, Shinji Koura, Tsutomu Mibe, Naohito Saito, Osamu Sasaki, Shohei Shirabe, Manobu Tanaka, Junji Tojo, Kazuki Ueno, Tomohisa Uchida, Tamaki Yoshioka	4. 巻 8
2. 論文標題 Design of the Positron Tracking Detector for the Muon g-2/EDM Experiment at J-PARC	5. 発行年 2015年
3. 雑誌名 JPS Conf. Proc.	6. 最初と最後の頁 25015
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90件（うち招待講演 39件 / うち国際学会 44件）

1. 発表者名 山中隆志
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：崩壊陽電子再構成アルゴリズムを用いた測定精度の見積もり
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 藤田陽一
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM 実験：シリコンストリップ検出器用読み出し ASIC の開発 II
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 佐藤優太郎
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験シリコンストリップ検出器の実機製作に向けた開発状況
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 牛澤昂大
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器の実機製作に向けたASIC冷却システムの開発
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 来見田将大
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器の高位置精度の組み立て方法の開発
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 竹内佑甫
2. 発表標題 J-PARC E34 実験：ミュオン線形加速器中速部用DAW 空洞の開発
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 Yutaro Sato
2. 発表標題 Development of Front-end ASIC for Silicon-strip Detector of J-PARC Muon g-2/EDM Experiment
3. 学会等名 12th International "Hiroshima" Symposium on the Development and Application of Semiconductor Tracking Detectors (HSTD12) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tamaki Yoshioka
2. 発表標題 Positron Tracking Detector for Muon g-2/EDM Experiment at J-PARC
3. 学会等名 J-PARC Symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yutaro Sato
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM experiment
3. 学会等名 J-PARC Symposium 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takahiro Ushizawa
2. 発表標題 Test of heat transportation on readout board for positron detector in J-PARC muon g-2/EDM experiment
3. 学会等名 J-PARC Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Yusuke Takeuchi
2. 発表標題 Error Studies for Muon Linac in the Muon g-2/EDM Experiment at J-PARC
3. 学会等名 J-PARC Symposium 2019 (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 藤田陽一
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM 実験：シリコンストリップ検出器用読み出し ASIC の開発
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤優太郎
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器の試験モジュールの運用と実機製作に向けた開発
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 牛澤昂大
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM 実験：シリコンストリップ検出器における読み出し部冷却性能評価
3. 学会等名 日本物理学会秋季大会
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Takashi Yamanaka
2. 発表標題 Development of Silicon Strip Detector for J-PARC Muon g-2/EDM Experiment
3. 学会等名 3rd International Conference on Charged Lepton Flavor Violation (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsutomu Mibe
2. 発表標題 Muon g-2 experiments
3. 学会等名 KEK-PH 2019 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 Tsutomu Mibe
2. 発表標題 Status of muon EDM experiment at J-PARC
3. 学会等名 Kick-off workshop for the search of a muon EDM using the frozen spin technique at PSI (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsutomu Mibe
2. 発表標題 Muon g-2/EDM measurement at J-PARC
3. 学会等名 2nd IBS Conference on Dark World (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsutomu Mibe
2. 発表標題 Experiment update J-PARC
3. 学会等名 INT Workshop INT-19-74W, Hadronic contributions to $(g-2)_\mu$ (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tsutomu Mibe
2. 発表標題 Muon dipole moments
3. 学会等名 International school on charged lepton flavor violation (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 佐藤優太郎
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM 実験:シリコンストリップ検出器の試験モジュールの製作・性能評価および実機製作に向けた展望
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 岸下徹一
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM 実験 : シリコンストリップ検出器用読出しASICの性能評価
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 山中隆志
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験: 崩壊陽電子飛跡の再構成アルゴリズムの開発
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 須江祐貴
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM 実験: 崩壊陽電子飛跡を用いたミュオンビーム分布の測定手法の開発
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 西村昇一郎
2. 発表標題 ミュオニウム超微細構造精密測定実験の進展
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 山口_博史_
2. 発表標題 ミュオニウム超微細構造精密測定実験及びミュオン異常磁気能率・電気双極子能率精密測定実験の磁場測定装置開発
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 堤裕樹
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM 実験：シリコンストリップ検出器用読み出しASICの設計と性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山口_博史_
2. 発表標題 ミュオニウム超微細構造精密測定実験(MuSEUM)及びミュオン異常磁気能率・電気双極子能率精密測定実験(J-PARC muon g-2/EDM)の磁場測定装置開発
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 牛澤昂大
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器における冷却システムの開発
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中隆志
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器の試験モジュールの製作と実機製作に向けた開発
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 吉岡瑞樹
2. 発表標題 J-PARCにおける新しい手法によるミュオン粒子双極子能率精密測定実験
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 三部勉
2. 発表標題 新しい低エミッタンス・大強度ミュオン粒子源の開発
3. 学会等名 日本物理学会第74回年次大会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 堤裕樹
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM 実験 :シリコンストリップ検出器用読 み出し ASIC の性能評価
3. 学会等名 第 124 回日本物理学会九州支部例会
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中隆志
2. 発表標題 Muon g-2/EDM experiment at J-PARC
3. 学会等名 RCNP研究会「中性子と原子で探る基礎物理」(招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mibe
2. 発表標題 Muon g-2/EDM measurement at J-PARC
3. 学会等名 Hadronic Light-by-Light Working Group Workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Sato
2. 発表標題 Silicon Strip Detector for J-PARC Muon g-2/EDM Experiment
3. 学会等名 ICHEP 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Z. Omarov
2. 発表標題 High precision tracking for J-PARC (g-2)/EDM experiment
3. 学会等名 ICHEP 2018 (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mibe
2. 発表標題 Muon g-2/EDM measurement at J-PARC
3. 学会等名 g-2 theory initiative workshop (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 M. Otani
2. 発表標題 J-PARC E34 g-2/EDM experiment
3. 学会等名 The XIV International Conference on Heavy Quarks and Leptons (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mibe
2. 発表標題 Muon (g-2)/EDM at J-PARC
3. 学会等名 School on muon dipole moments and hadronic effects (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mibe
2. 発表標題 Muon g-2/EDM measurement at J-PARC
3. 学会等名 The 15th International Workshop on Tau Lepton Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 S. Choi
2. 発表標題 Muon g-2/EDM measurement at J-PARC
3. 学会等名 5th Joint Meeting of the APS Division of Nuclear Physics and the Physical Society of Japan (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mibe
2. 発表標題 Muon g-2/EDM measurement at J-PARC
3. 学会等名 SchwingerFest2018: g-2 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mibe
2. 発表標題 Measurement of muon's g-2 and EDM with a reaccelerated thermal muon beam
3. 学会等名 Workshop on muonium and related physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yamazaki
2. 発表標題 Muon g-2/EDM measurement at J-PARC
3. 学会等名 International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Yamanaka
2. 発表標題 Positron Tracking Detector for J-PARC Muon g-2/EDM Experiment
3. 学会等名 15th Vienna Conference on Instrumentation (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Y. Tsutsumi
2. 発表標題 Prototype Front-end ASIC for Silicon-strip Detectors of J-PARC Muon g-2/EDM Experiment_
3. 学会等名 Topical Workshop on Electronics for Particle Physics (TWEPP 2018) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 山中隆志
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器の実機製作に向けた開発状況
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 伊藤拓実
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップセンサーの性能評価および品質保証システムの開発
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 堤裕樹
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器用読み出しASIC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 須江祐貴
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM 実験：崩壊陽電子飛跡を用いたミュオンビーム分布の測定手法の開発
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 伊藤拓実
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験に用いる陽電子飛跡検出器の開発
3. 学会等名 計測システム研究会2017
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 伊藤拓実
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップセンサーの性能評価および品質保証システムの開発
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 堤裕樹
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：Si i T2016TEGの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会2017年秋季大会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Yamanaka
2. 発表標題 Muon g-2/EDM measurement at J-PARC
3. 学会等名 10th International Workshop on Fundamental Physics Using Atoms (FPUA 2018) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 T. Mibe
2. 発表標題 muon g-2/EDM experiment at J-PARC
3. 学会等名 18th Lomonosov Conference on Elementary Particle Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Mibe
2. 発表標題 muon g-2/EDM experiment at J-PARC
3. 学会等名 International Workshop on e+e- collisions from Phi to Psi 2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 J. Tojo
2. 発表標題 g-2/EDM at JPARC
3. 学会等名 The 26th International Workshop on Weak Interactions and Neutrinos(WIN2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Mibe
2. 発表標題 muon g-2/EDM experiment at J-PARC
3. 学会等名 First Workshop of the Muon g-2 Theory Initiative (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 T. Suehara
2. 発表標題 Silicon Tracker for the J-PARC muon g-2/EDM experiment
3. 学会等名 TIPP2017 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 三部 勉
2. 発表標題 g-2/EDM overview
3. 学会等名 Workshop "Towards high precision muon g-2/EDM measurement at J-PARC" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤 優太郎
2. 発表標題 Storage and detection
3. 学会等名 Workshop "Towards high precision muon g-2/EDM measurement at J-PARC" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 大谷 将士
2. 発表標題 Muon beam
3. 学会等名 Workshop "Towards high precision muon g-2/EDM measurement at J-PARC" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤 優太郎
2. 発表標題 muon g-2/EDM experiment at J-PARC
3. 学会等名 The 3rd International Symposium on "Quest for the Origin of Particles and the Universe (KMI2017) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 吉岡 瑞樹
2. 発表標題 Measurement of muon g-2/EDM at J-PARC
3. 学会等名 Workshop "Fundamental Physics using Atoms" (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西村 昇一郎
2. 発表標題 Development of the Silicon strip detector for muon g-2/EDM measurement at J-PARC
3. 学会等名 The international workshop on future potential of high intensity accelerators for particle and nuclear physics (HINT2016)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤 優太郎
2. 発表標題 muon g-2/EDM experiment at J-PARC
3. 学会等名 the 6th KIAS Workshop on Particle Physics and Cosmology (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三部 勉
2. 発表標題 Measurement of muon g-2 and EDM with ultra-cold muon beam at J-PARC
3. 学会等名 22nd International SPIN Symposium (SPIN 2016) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 佐藤 優太郎
2. 発表標題 The muon g-2 experiment at J-PARC
3. 学会等名 The 14th International Workshop on Tau Lepton Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 伊藤拓実
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップセンサー量産にむけた性能評価および品質検査手法開発
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 佐藤 優太郎
2. 発表標題 muon g-2/EDM 用シリコンストリップ検出器のJ-PARC での汎用利用に向けて
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西村昇一郎
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器の性能評価試験
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2017年

1. 発表者名 西村昇一郎
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップセンサー実機の基礎特性評価
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 真玉将豊
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器用読み出しASICの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三部 勉
2. 発表標題 極冷ミュオンビームを用いたミュオン g-2/EDM 精密測定
3. 学会等名 素粒子物理学の進展 2016 (招待講演)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三部 勉
2. 発表標題 極冷ミュオンビームによるg-2/EDMの精密測定
3. 学会等名 超低速ミュオンが拓く科学シンポジウム (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 東城 順治
2. 発表標題 Muon g-2/EDM Measurement with a Ultra-Cold Muon Beam
3. 学会等名 CPAD Instrumentation Frontier 2016 : New Technologies for Discovery II (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三部 勉
2. 発表標題 New measurement of muon g-2/EDM with ultra-cold muon beam
3. 学会等名 Interplay between LHC and Flavor Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三部 勉
2. 発表標題 Measurement of muon g-2/EDM with ultra-cold muon beam at J-PARC
3. 学会等名 12th International Conference on Low Energy Antiproton Physics (LEAP) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 三部 勉
2. 発表標題 Measurement of muon g-2/EDM with ultra-cold muon beam
3. 学会等名 Fundamental Physics Using Atoms (FPUA2015) (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 三部 勉
2. 発表標題 Measurement of muon g-2/EDM with ultra-cold muon beam
3. 学会等名 The 10th Circum Pan-pacific Spin Simposium on High Energy Spin Physics (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 西村 昇一郎
2. 発表標題 J-PARC ミューオンg-2/EDM精密測定実験:陽電子飛跡検出器の研究開発
3. 学会等名 Flavor Physics Workshop
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 西村 昇一郎
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験:陽電子飛跡検出器の構造設計
3. 学会等名 日本物理学会第71回年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 真玉 将豊
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験:シリコンストリップ検出器用読み出しASICのTEG性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第71回年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長澤 翼
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器用読み出しASIC・SI iT128Aの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会第71回年次大会
4. 発表年 2016年

1. 発表者名 長澤 翼
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器用読み出しASICのTEG性能評価
3. 学会等名 第121回日本物理学会九州支部例会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 末原 大幹
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器用読み出しASIC・SI iT128Aの性能評価
3. 学会等名 日本物理学会2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 真玉 将豊
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM実験：シリコンストリップ検出器用読み出しASIC・TEG性能評価
3. 学会等名 日本物理学会2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 庄子正剛
2. 発表標題 J-PARC muon g-2/EDM精密測定実験に用いるシリコンストリップ検出器用読み出しASICのTEG評価基板開発
3. 学会等名 日本物理学会2015年秋季大会
4. 発表年 2015年

1. 発表者名 東城 順治
2. 発表標題 J-PARC ミューオン g-2/EDM 実験におけるシリコントラッカーの開発
3. 学会等名 計測システム研究会（招待講演）
4. 発表年 2015年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>Webページ・広報記事 J-PARC g-2/EDM実験の紹介 http://g-2.kek.jp/portal/index.html 九州大学ホームページでの紹介 http://epp.phys.kyushu-u.ac.jp/index.php?g-2 KEK素核研ニュース「日本初！エレクトロニクスシステムグループとミュオンg-2/EDM実験グループが純国産シリコンストリップ検出器用集積回路の開発に成功」https://www2.kek.jp/ipns/ja/post/2020/03/20200309/（2020年3月9日） KEK素核研ニュース「【特集】ミュオンでまだ見ぬ宇宙の謎を解け！ ミューオン g-2/EDM実験グループの挑戦」 https://www2.kek.jp/ipns/ja/post/2019/06/20190610/（2019年6月10日）</p> <p>アウトリーチ活動 つくばエキスポセンター「ミニ企画展：ミュオンでまだ見ぬ宇宙の謎を解け！」，2019/7/6-9/1，三部 勉，佐藤 優太郎，他 KEKサイエンスカフェ「みゅーおんって、なにもん？」2019/6/21，佐藤 優太郎 KEK公開講座「ミュオンに表れた矛盾とそれを解明する実験」，2018/11/17，三部 勉 サイエンスカフェ、ハローサイエンス「今年もJ-PARCは大強度で勝負」，2018/1/26，齊藤 直人、東海村アイヴィル、参加者約30名 サイエンスカフェ@ふくおか、2015/5/15～2019/12/17，72回開催、各回参加者約40名，吉岡 瑞樹</p>

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	吉岡 瑞樹 (Yoshioka Tamaki) (20401317)	九州大学・先端素粒子物理研究センター・准教授 (17102)	

6. 研究組織 (つづき)

	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	三部 勉 (Mibe Tsutomu) (80536938)	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)	
研究協力者	川越 清以 (Kawagoe Kiyotomo)		
研究協力者	東城 順治 (Tojo Junji)		
研究協力者	末原 大幹 (Suehara Taikan)		
研究協力者	田中 真伸 (Tanaka Manobu)		
研究協力者	佐々木 治 (Sasaki Osamu)		
研究協力者	内田 智久 (Uchida Tomohisa)		
研究協力者	岸下 徹一 (Kishishita Tetsuichi)		

6. 研究組織（つづき）

	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	久米 達哉 (Kume Tatsuya)		
研究協力者	大谷 将士 (Otani Masashi)		
研究協力者	下村 浩一郎 (Shimomura Koichiro)		
研究協力者	池田 博一 (Ikeda Hirokazu)		