



ミュオン加速技術による究極の素粒子像の探求

素粒子、原子核、宇宙物理学
およびその関連分野



研究者所属・職名 : 加速器研究施設・助教

ふりがな おおたに まさし

氏名 : 大谷 将士

主な採択課題 :

- [基盤研究\(A\)「ミュオン異常磁気能率の精密測定にむけたミュオン線型加速器低速部の実現」\(2018-2020\)](#)
- [基盤研究\(B\)「素粒子物理の新時代を切り拓くミュオン線型加速器の開発」\(2015-2017\)](#)

分野 : 素粒子、原子核、宇宙線および宇宙物理に
関連する実験、量子ビーム科学関連

キーワード : ミュオン、加速、異常磁気能率、g-2

課題

●なぜこの研究をおこなったのか？(研究の背景・目的)

なぜ宇宙から反物質が消え去り物質だけが生き残ったのか?暗黒物質の正体は何なのか?これらの未解決問題を解く鍵が電子の200倍の質量を持つ素粒子ミュオンの異常磁気能率($g-2$)である。2021年4月に発表された米国フェルミ研究所の $g-2$ 測定値は暗黒物質などの兆候を強く示唆しているが(図1)、これまでと同じ測定方法であるため実験手法による不定性を排除できない。そこでミュオン加速で得られるこれまでにないミュオンビームで全く異なる手法の $g-2$ 測定を目指す。

●研究するにあたっての苦労や工夫(研究の手法)

世界のどこにもないミュオン加速器を設計するために、これまで電子や陽子の加速器を設計・製作してきた国内外の研究者との共同研究で多角的に検討を行い、ミュオン専用の新しい設計フレームワークを開発、試作機の製作・試験によって設計手法の妥当性を検証した。さらに新しいミュオンの冷却手法まで開発し、ミュオンの加速を世界で初めてのミュオン加速に挑戦した。

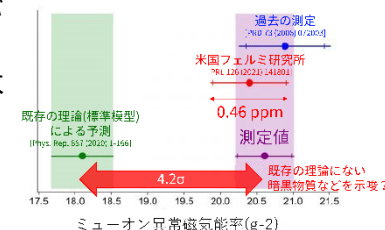


図1 ミュオン異常磁気能率における理論と測定値のズレ



ミュオン加速技術による究極の素粒子像の探求

素粒子、原子核、宇宙物理学
およびその関連分野

研究成果

●どんな成果がでたか？どんな発見があったか？

これまで前例のないミュオン加速器を設計、試作機の製作・試験によって手法を確立した。ミュオンは2マイクロ秒で崩壊するため、高効率で短距離加速を実現する必要がある。コンパクト性というミュオン加速器と共通の課題を有する医療用加速器の研究者や世界の加速器施設でスタンダードとなっているシミュレーションを開発してきたロスアラモス研究所の研究者と共同で研究を進め、ミュオンをほぼ静止した状態からほぼ光速度まで加速する加速器の設計、試作機を製作して試験結果から設計の妥当性を実証した。

世界で初めてミュオンの加速に成功した。ミュオンの加速は素粒子物理学の将来計画にむけて度々議論され世界各地で検討されてきたが実現には至っていなかった。最大の問題点は、その生成過程において2次粒子であるパイ中間子の崩壊を経るため、位相空間上で大きく広がってしまうことである。本研究では、これをミュオニウム負イオン（正電荷を持つミュオン1個と電子2個の束縛状態）を形成することで冷却する手法を確立し、加速器プロトタイプを用いて世界で初めてミュオン加速に成功し、ミュオンの高周波加速スキームを実証した（図2）。

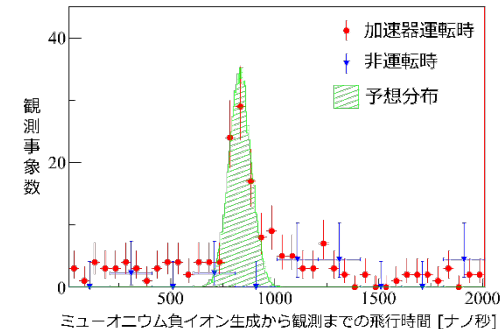


図2 ミュオン加速の実証試験結果。加速器運転時(赤色)に飛行時間890ナノ秒で事象数の超過が確認でき、予想される飛行時間分布(緑色)と無矛盾。加速器非運転時(青色)は事象数の超過は確認できない。

今後の展望

●今後の展望・期待される効果

これまでの研究で確立したミュオンの高周波加速技術に立脚してミュオンをほぼ光速度まで加速するミュオン加速器の実現に着手しており、これまでにない指向性を持つミュオンビームを用いたg-2測定によって未知の粒子の存在に決着をつけ、究極の素粒子像を解明する。また、宇宙線ミュオンを用いたピラミッドなどの透過イメージングではエネルギーの不確かさが分解能・測定時間の律速となっている。ミュオン加速で得られるエネルギー的に単色なビームはイメージング用のミュオン源として最適であり、加速技術の更なる発展によって、地中上のあらゆる物体を透視するイメージング技術が確立する。