

ミューオニウムの 真空への引き出し

P2

青柳 昂生
竹山 拓見
田中 智也

目的

- $\text{Mu} \rightarrow \overline{\text{Mu}}$ は標準模型では禁止されているが、標準模型を超えた理論では起こると言われている
- この現象は物質の作る外場中では抑制されるため、**ミューオニウムを真空中に引き出す**ことが実験上重要となる
- 本実験ではJ-PARC MLFのミューオンビームを用いてミューオニウムが真空中に引き出されていることを確認することを目的とした

2018 P2実験の概要

2018年度では、以下の2つの実験を行った

- ミューオニウムの生成率の測定

真空槽の両側面から出てくる e^+ を観測し、左右の検出数の差からミューオニウムの生成率を測定した

- ミューオニウムの真空への引き出し

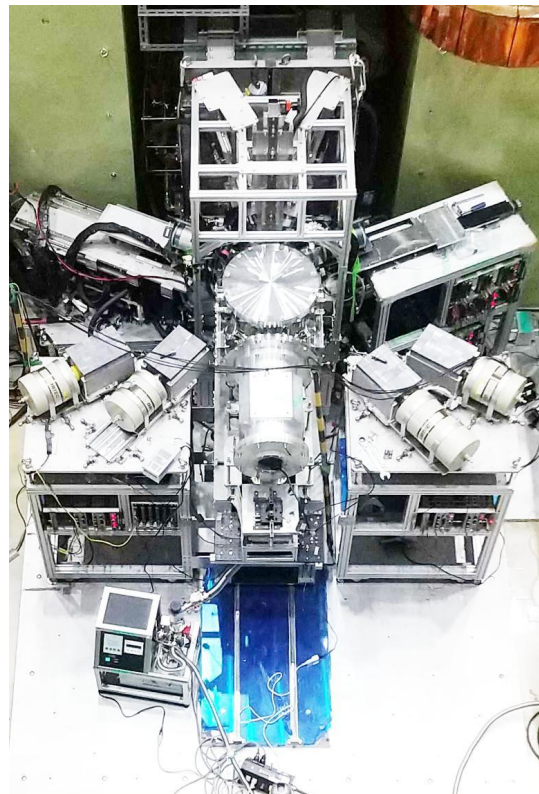
ミューオニウムの崩壊点を e^+ の飛跡を再構成することで、ターゲットの後方で崩壊したことを確認しようと試みた

イベント数の不足 とトラッキングがうまくできなかった ため
確認できなかった

MLF D2 ミューオンビームライン

- 表面 μ^+ ビーム
- エネルギー: 4.1 MeV
- レート: 25 Hz $\times$ 2バンチ
- 強度: $5.0 \times 10^6 \mu^+/\text{s}$

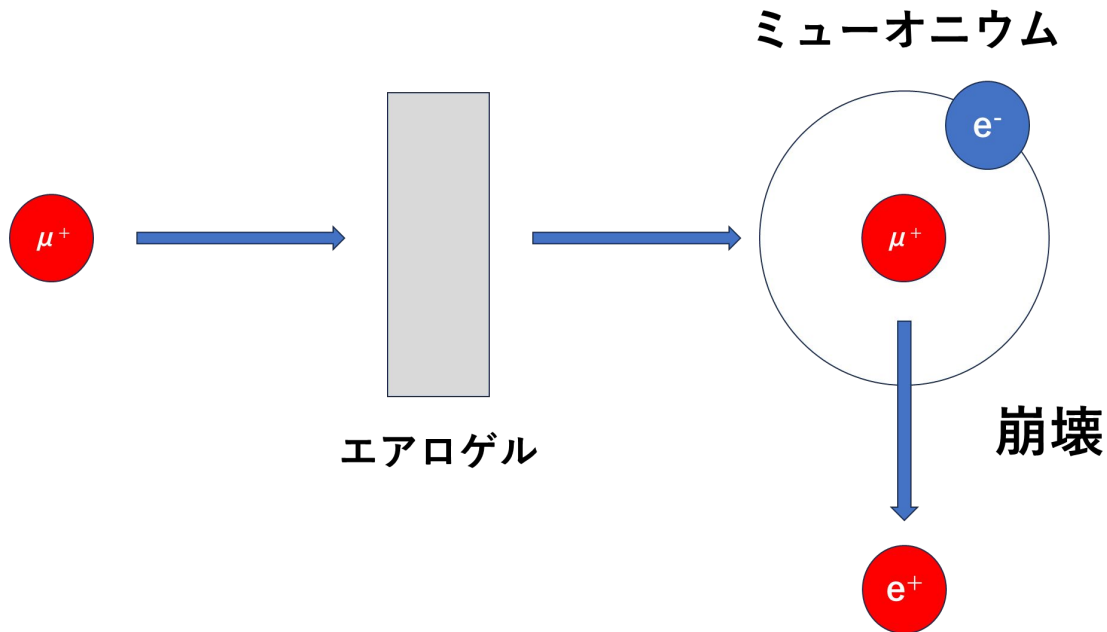
(出典: <https://mlfinfo.jp/ja/d2/>)



ミュオニウムの生成

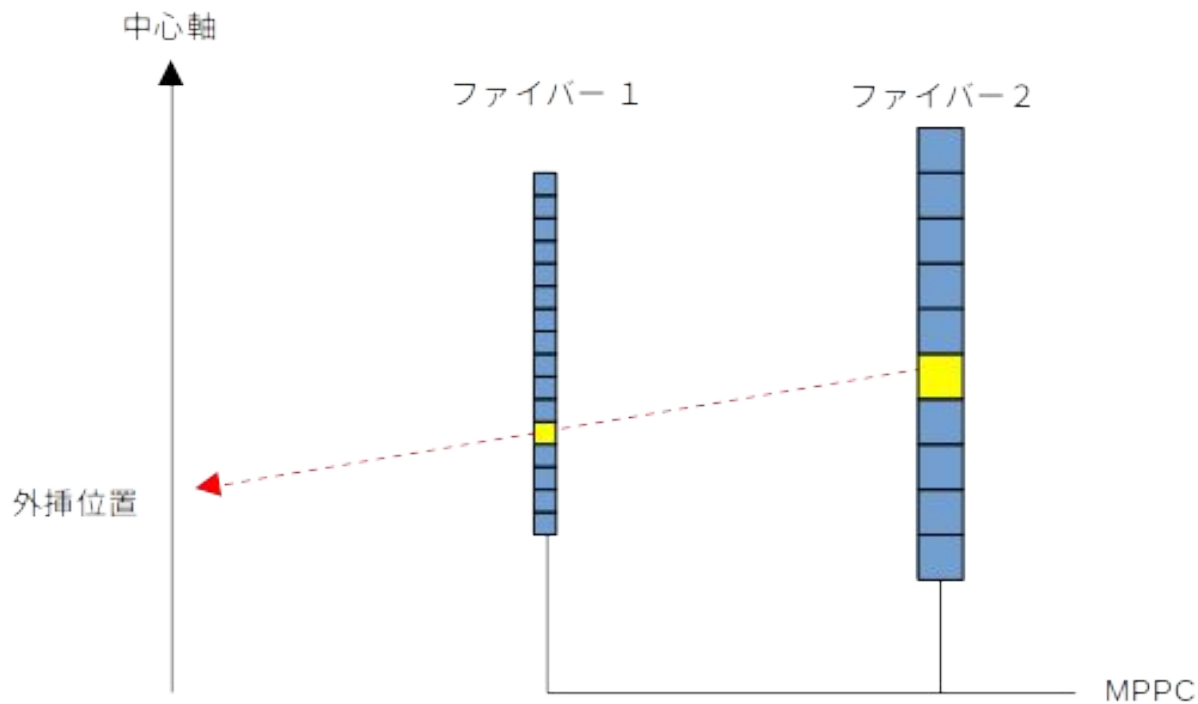
反ミュオンがターゲット(SiO₂エアロゲル)内で電子を捕獲し、ミュオニウムが生成される。

その後、ミュオニウムは標的内を移動し、一部は標的外に放出され崩壊する。



陽電子のトラッキング

MPPCで読み出して光ったファイバーを特定、外挿して崩壊点を割り出す



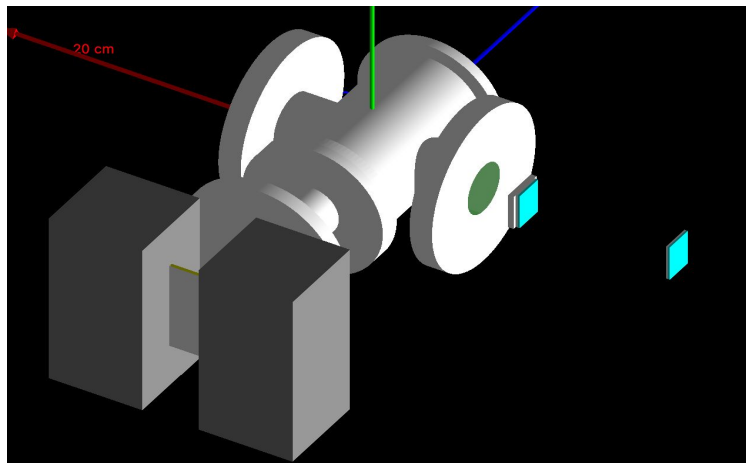
2018年度からの改善案

- 真空槽の形状を円筒から直方体に変更し、ビームラインからトラッカーまでの距離を短縮
- 一層目のファイバーを薄くして、厚さを最適化
- ディグレーダーを容易に入れ替えられるように設計

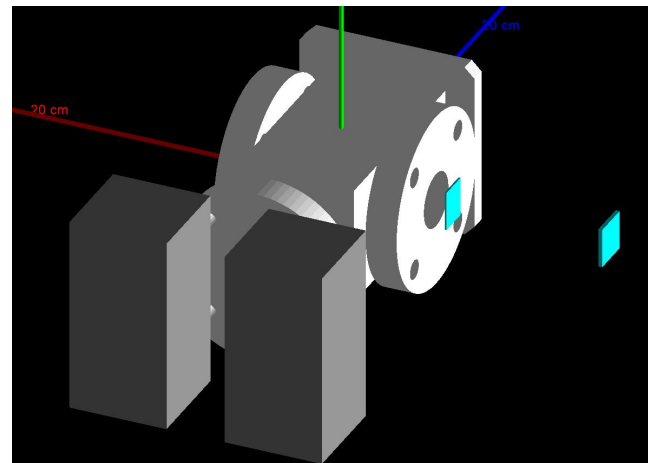


シミュレーション① ミューオンの崩壊の検出

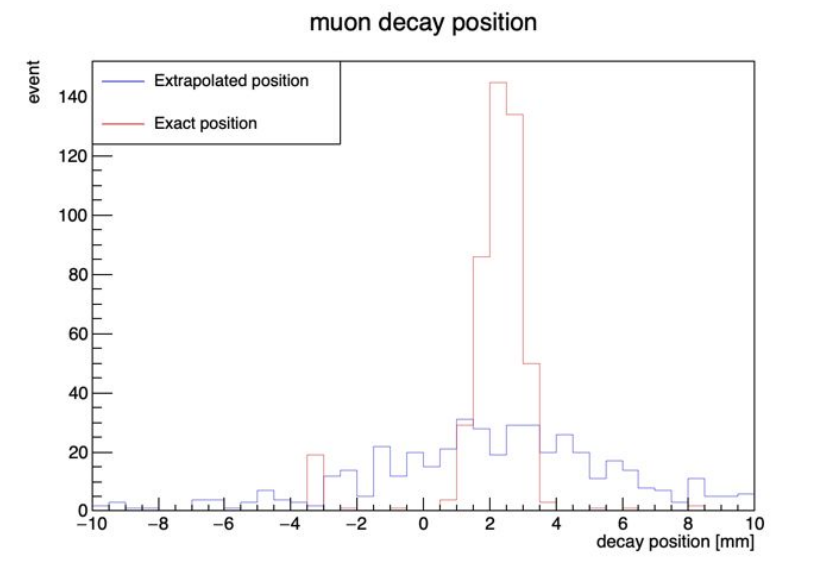
2018年度のセットアップ



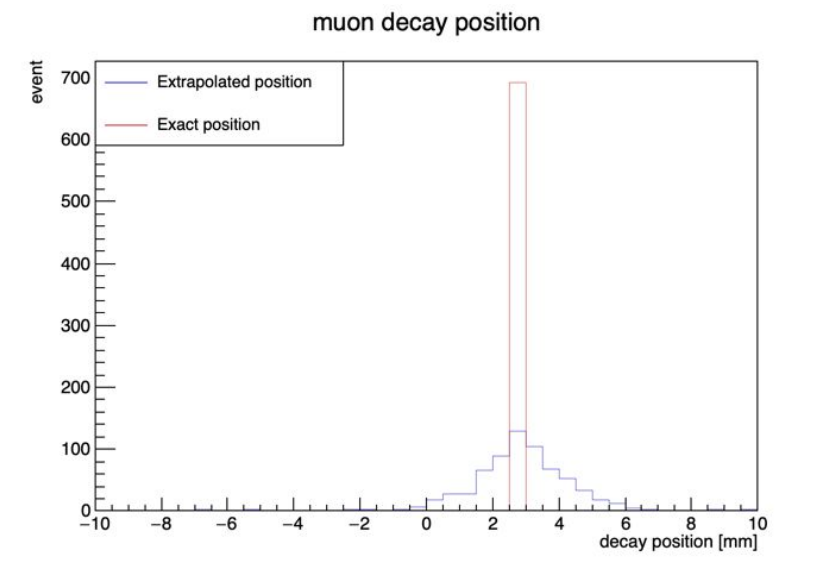
今回のセットアップ



シミュレーション① ミューオンの崩壊の検出



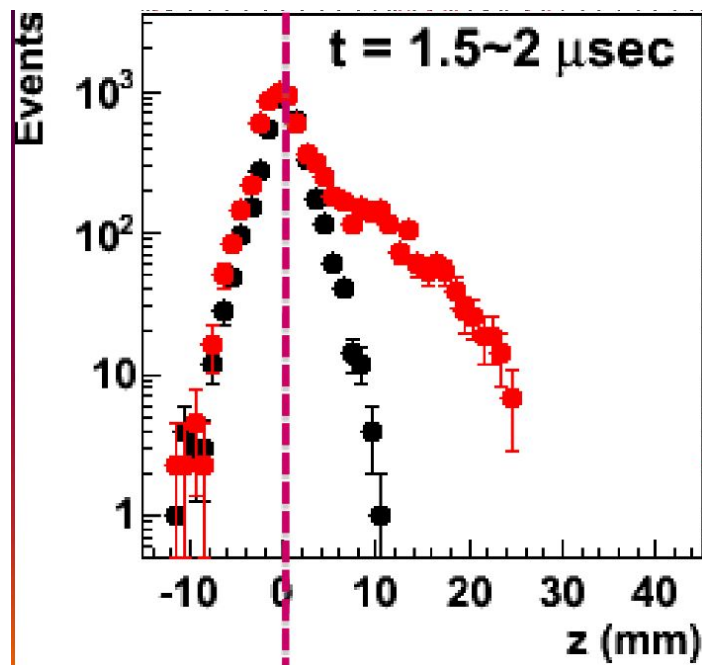
前回のセットアップ486イ
ベント



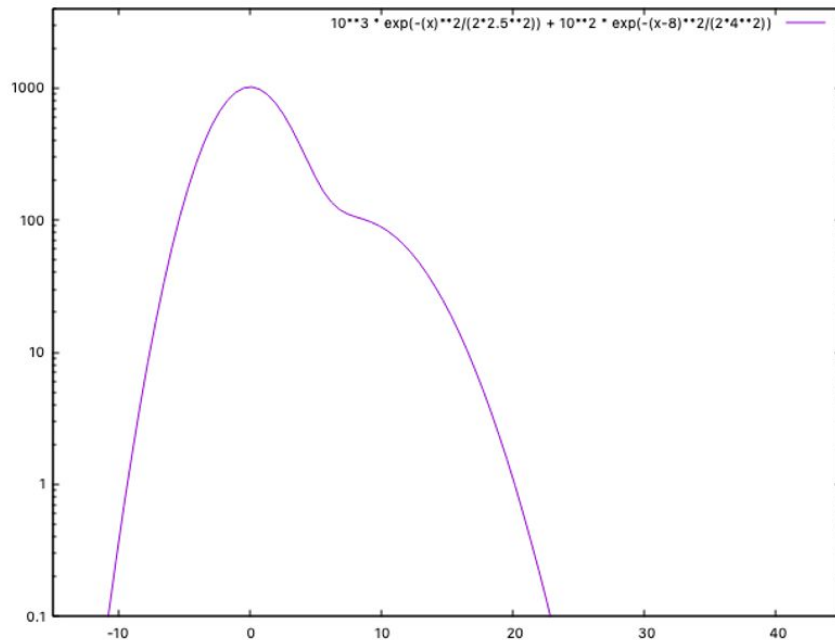
今回のセットアップ697イ
ベント

それぞれ4.1MeVのミューオンを1,500万発照射

シミュレーション② 引き出されたミューオニウム の判別

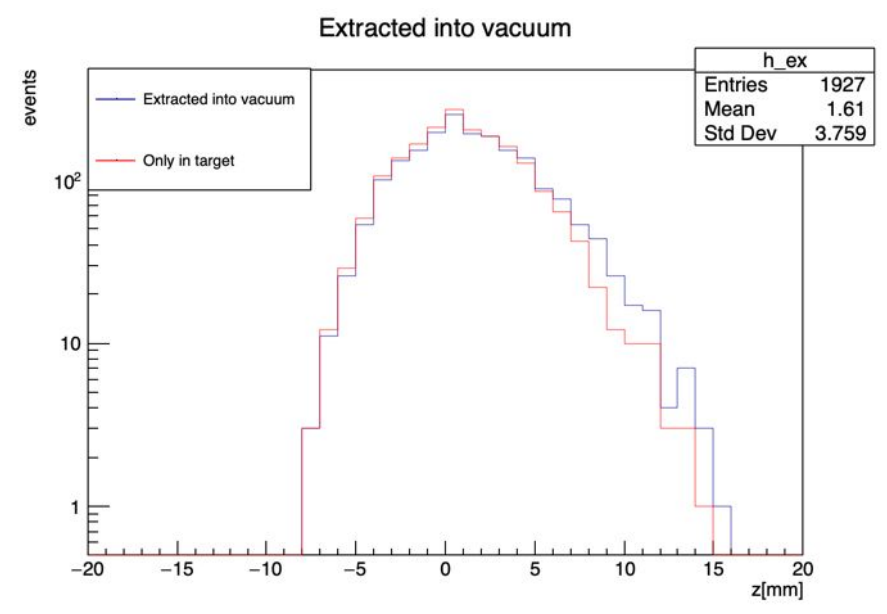


(出典: J-PARCにおけるミュー粒子g-2/EDM精密測定の見込み
+ 極冷ミュー粒子源開発の現状)

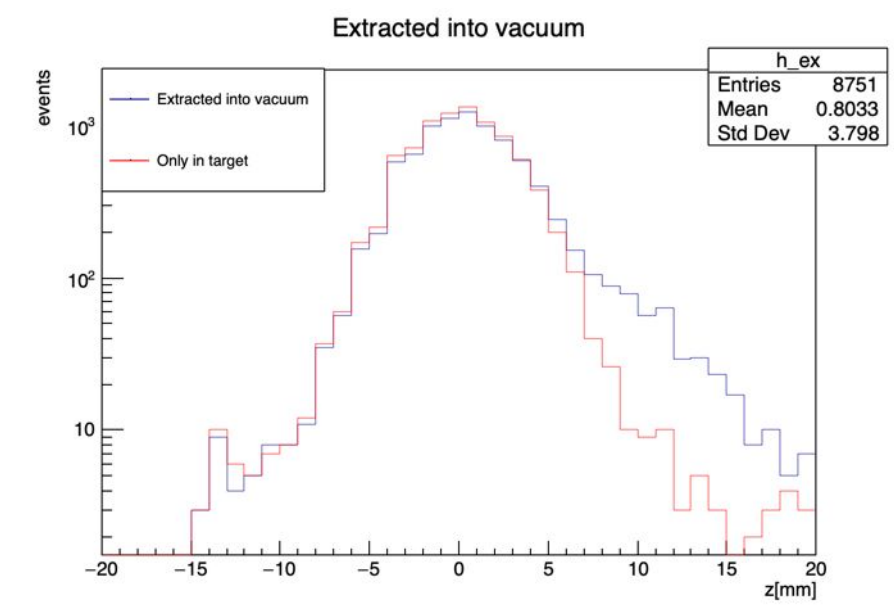


分布をGaussian 2つで再現し、
この分布に従ってe+を入射する

シミュレーション② 引き出されたミュオニウム の判別



2018年度のセットアップ



今回のセットアップ

50MeVの陽電子ビームを使用

MLFの運転停止

2025.02.06



MLF 2024B利用運転のキャンセルについて

MLFユーザー各位

今夏のMLFメンテナンス作業において行った水銀循環ポンプ*の交換作業後、水銀循環システムが所定の性能に達しない不備が発生しました。早期の復旧を目指しておりましたが、根本的な対策作業のため、2024Bの利用運転はキャンセルする必要があるとの判断に至りました。2024B採択課題の取り扱いについては、後日、改めて採択課題実験代表者にお知らせします。多大なご迷惑をおかけしますことを心よりお詫び申し上げます。

J-PARCセンター長 小林 隆

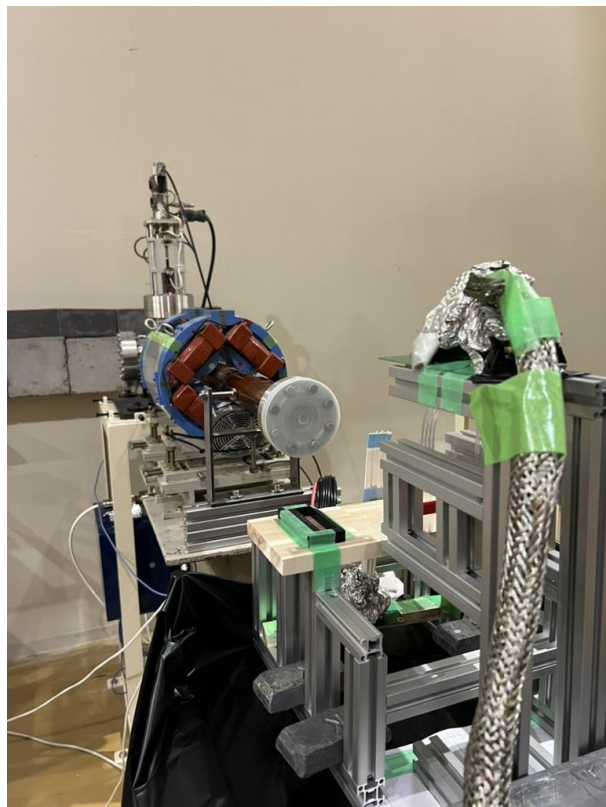
* MLFでは中性子源として水銀を使用しています。

(出典: J-PARCホームページ (<https://j-parc.jp/c/information/2025/02/06001459.html>))

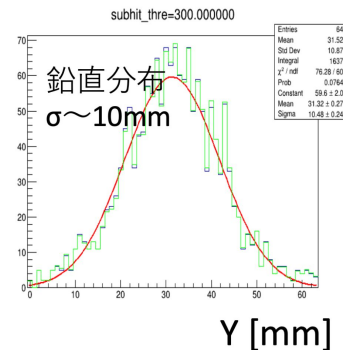
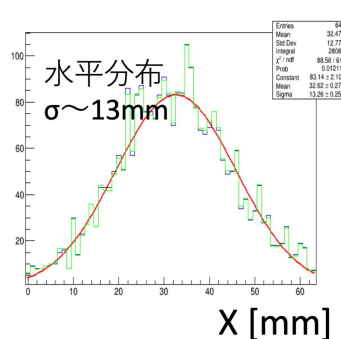
宇治キャンパスにあるKEL電子ビームラインを用いた
ファイバートラッカーの性能評価 をすることにした

KEL単電子ビームラインを用いた ファイバートラッカーの性能測定

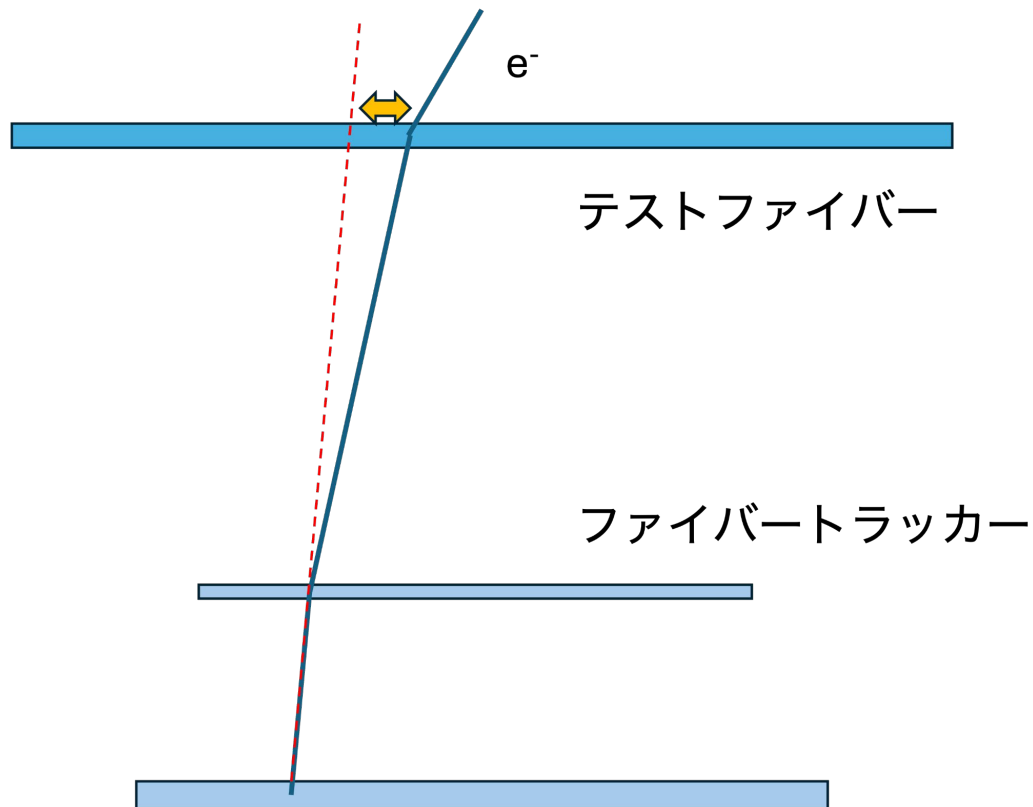
セットアップ



- KEL単電子ビームラインを使用
→ミューオンの崩壊による電子の最大運動エネルギーである50 MeVで検証できる
- ビームには広がりがあるが、ファイバートラッカーに加えてテストファイバーをもう1層加えることによって、再構成した軌跡の誤差を測ることができる



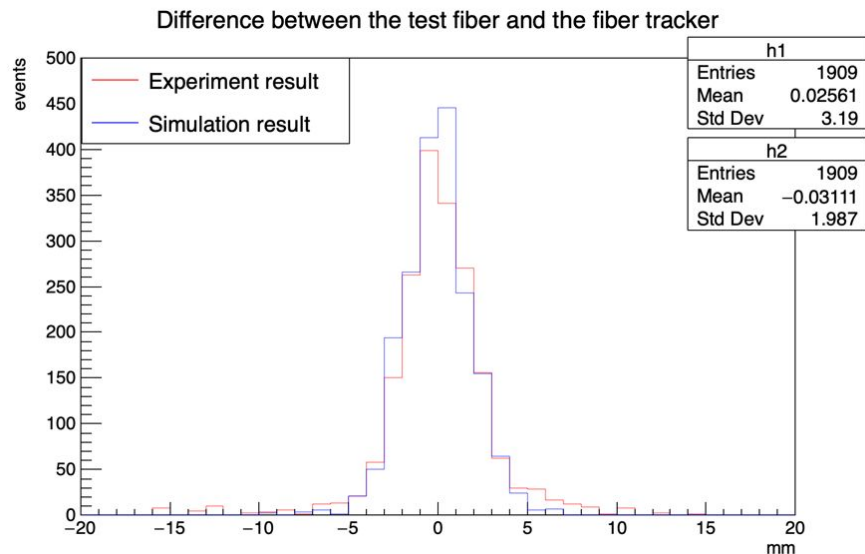
直進方向の場合の誤差(真空槽なし)



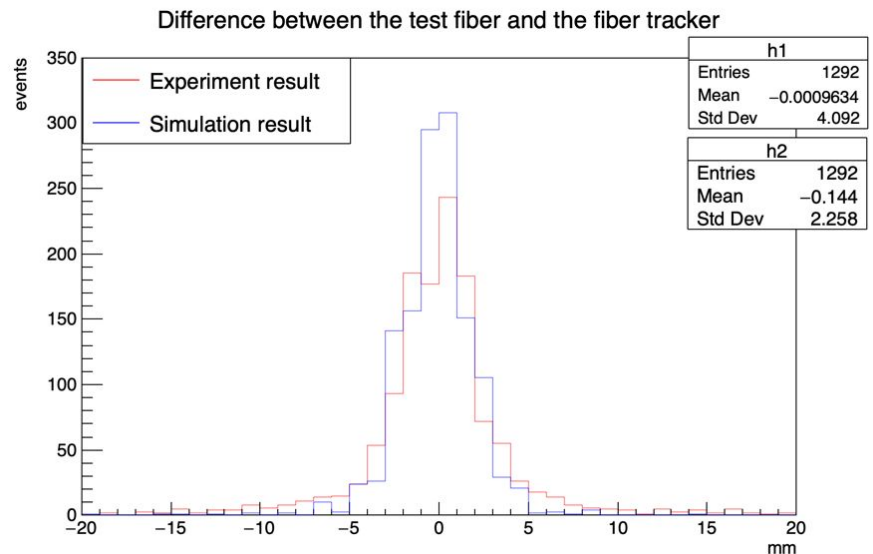
テストファイバーで得られた位置とファイバートラッカーで外挿して得られた位置の誤差をヒストグラムにした。

同様のセットアップをGeant4でシミュレーションし、比較した。

直進方向の場合の誤差

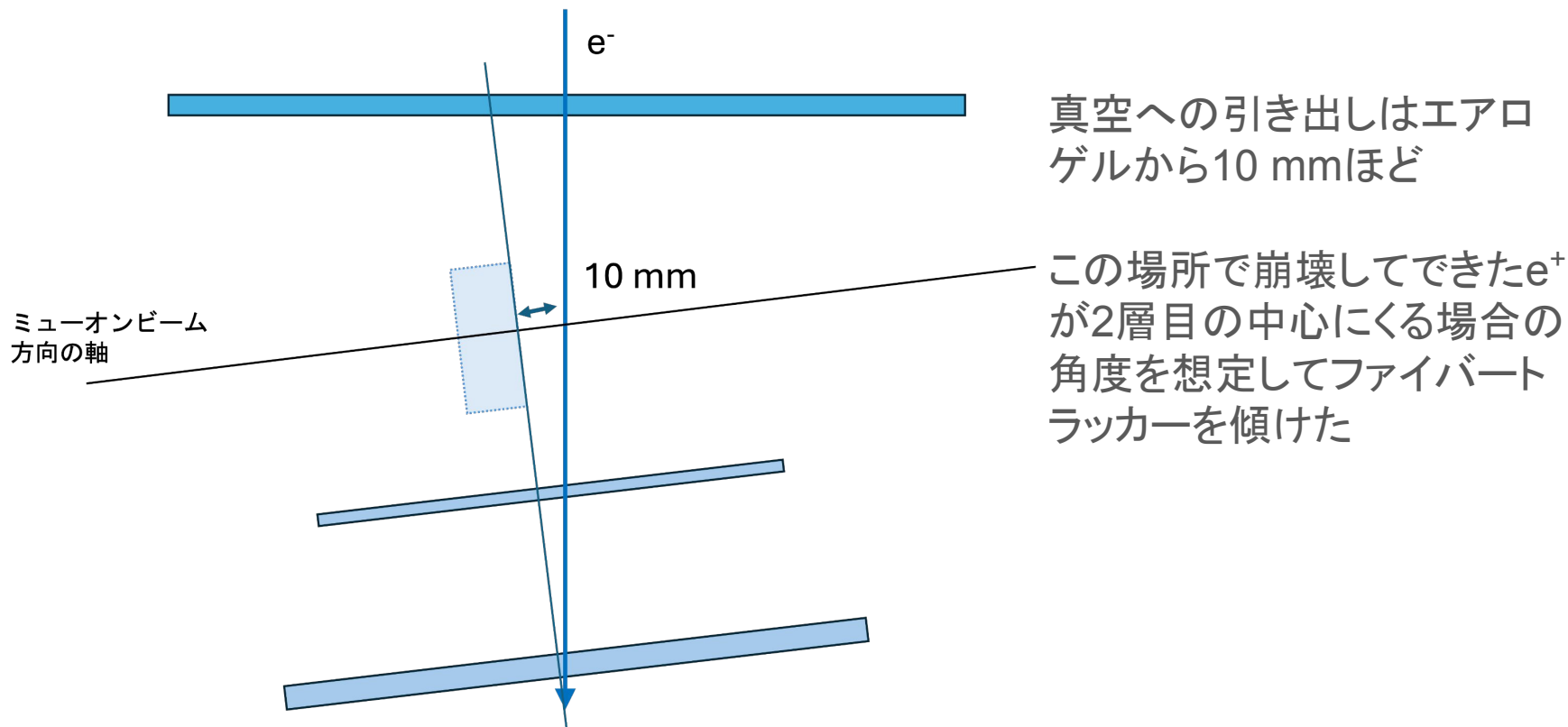


真空槽なし

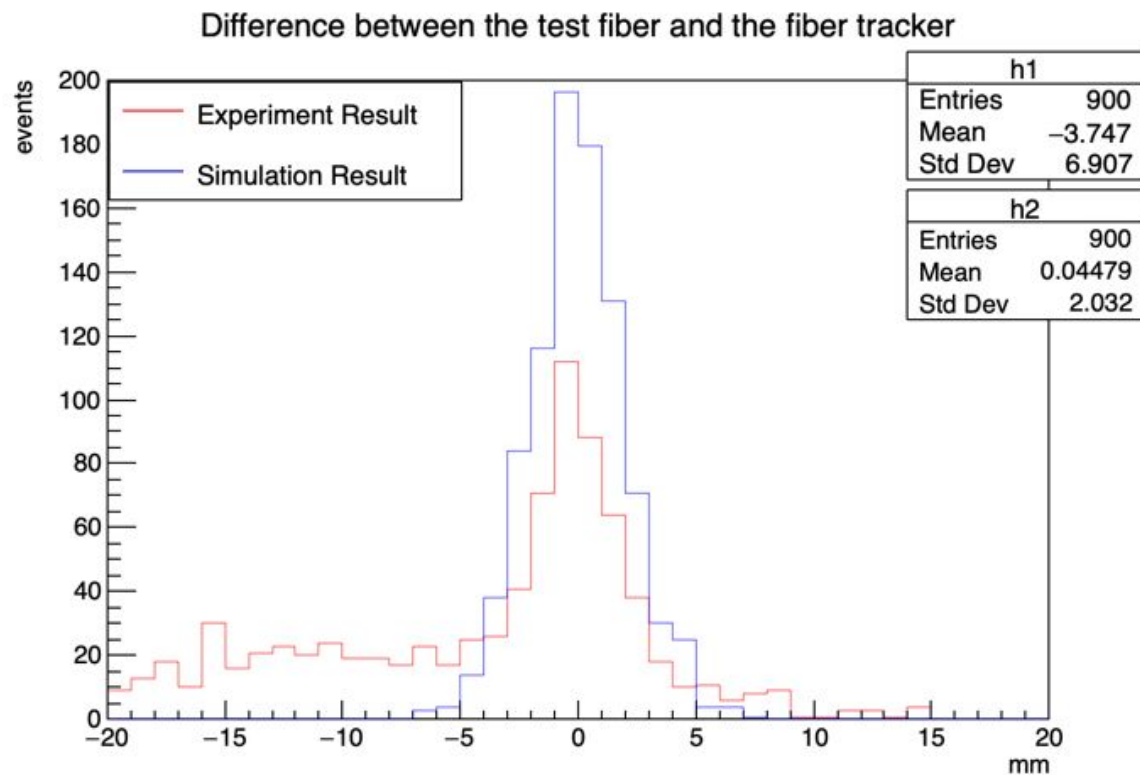


真空槽あり

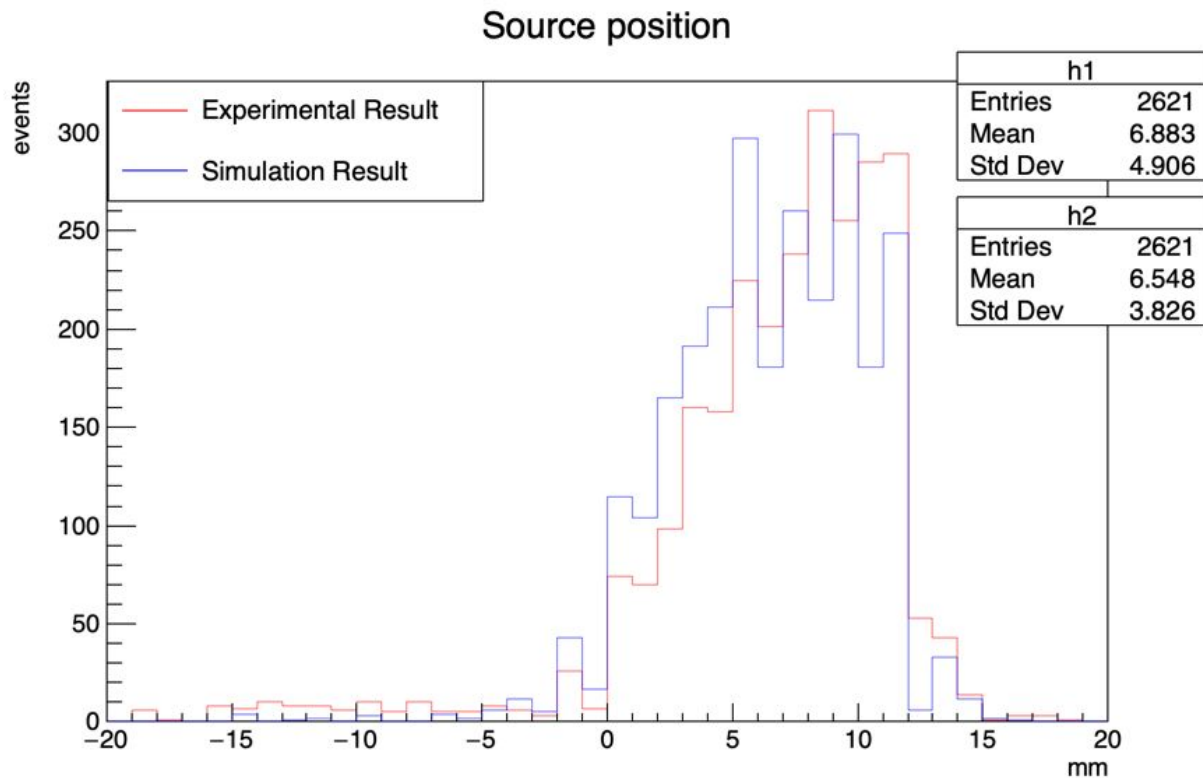
斜めから入射した場合のセットアップ



斜めから入射した場合の誤差



斜めから入射した場合のトラッキング (1cmの引き出しを想定)



まとめ

- 真空槽の形状の変更、ファイバートラッカーとディグレーダの改良により、シミュレーション上では真空への引き出しを確認できる程度の性能があることがわかった。
- シミュレーションと実験結果との比較から、
制作したファイバートラッカーはミュオニウムの真空への引き出しを確認できる性能があると考えられる。

今後の展望

- 5月以降にMLFのミュオンビームが使用可能になれば、改めて真空への引き出しを実験で確認したい。

謝辞

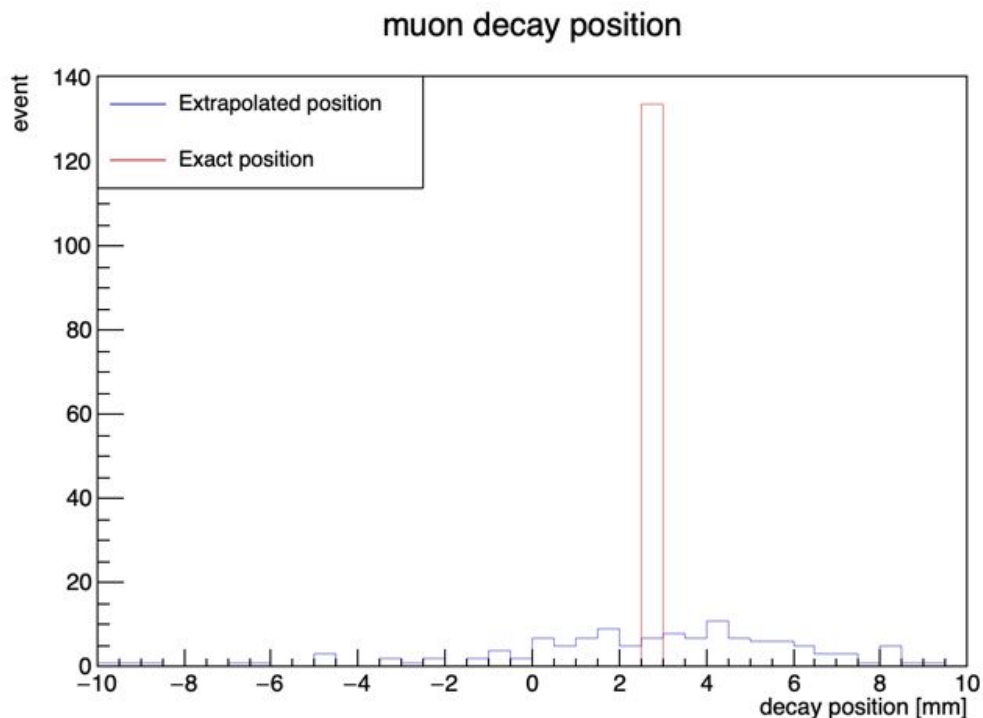
- 指導教員: 中家さん、木河さん
- TA: 恩田さん、溝添さん
- 高エネルギー加速器研究機構: 三部さん、木村さん
- 京都大学化学研究所 粒子ビーム科学研究領域:
若杉さん、塚田さん、頓宮さん

大変お世話になりました。ありがとうございました。

Backup

シミュレーション① ミューオンの崩壊の検出

2018年度の場合で、ミューオンの崩壊位置を2.5 - 3.0 mmに制限した場合



斜め入射の場合の誤差(イベント別ヒットch)

