

修士論文

**MEG II 実験におけるマルチピクセル陽電子タイミングカウン
ターの位置較正に関する研究**

Research on Position Calibration of Multi-pixelated Positron
Timing Counter in MEG II Experiment

東京大学大学院 理学系研究科 物理学専攻
素粒子物理国際研究センター 森研究室

35-196101

米本 拓

2020 年 1 月

概要

標準理論を超える物理の 1 つである $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊を世界最高感度で探索した国際共同実験 MEG では、崩壊分岐比に上限値 4.2×10^{-13} を与えたが発見には至らなかった。分岐比感度 $O(10^{-14})$ を目指し $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊の発見へと至ろうとする後継実験 MEG II のために、多数のプラスチックシンチレータとシリコン光検出器 (SiPM) を搭載する新たなデザインの陽電子タイミングカウンターが製作された。

- ・ pTC の新たなデザインの説明
- ・ 位置較正について
- ・ 成果

目次

第 1 章	序論	4
1.1	素粒子物理学における cLFV の探索	4
1.2	MEG II 実験における陽電子タイミングカウンター	4
1.3	本論文の構成について	4
第 2 章	$\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊	5
2.1	標準理論において	5
2.2	標準理論を超える物理において	5
2.3	実験における信号・背景事象	5
第 3 章	MEG II 実験	6
3.1	MEG 実験	6
3.2	MEG II 実験	6
3.2.1	MEG 実験からのアップグレード	6
3.2.2	ドリフトチェンバー (CDCH)	6
3.2.3	陽電子タイミングカウンター (pTC)	6
3.2.4	液体キセノンガンマ線検出器 (LXe)	6
3.2.5	輻射崩壊検出器 (RDC)	6
3.2.6	DAQ	6
3.2.7	展望	6
第 4 章	陽電子タイミングカウンター	7
4.1	背景	7
4.1.1	MEG 実験での問題点	7
4.1.2	MEG II 実験における新たなデザイン	7
4.2	マルチピクセル化された陽電子タイミングカウンター	7
4.2.1	複数ヒットの仕組み	7
4.2.2	時間分解能	7
4.2.3	位置較正	7
4.3	ピクセル (小型カウンター)	7
4.3.1	SiPM	7
4.3.2	プラスチックシンチレータ	7
4.4	読み出し	7

4.5	解析	7
第 5 章	時間較正	8
5.1	レーザー較正	8
5.2	ミシェル較正	8
第 6 章	陽電子タイミングカウンターにおける位置情報	9
第 7 章	3D スキャンによる位置較正	10
7.1	3D スキャンにおける測量	10
7.2	実験エリアにおける測量	10
7.2.1	測量基準点 (reference point)	10
7.3	スキャンデータの解析	10
7.4	結果	10
7.5	考察	10
第 8 章	軌跡再構成による位置較正の試み	11
8.1	原理	11
8.2	課題	11
8.3	考察	11
8.4	運用について	11
第 9 章	Physics Run に向けて	12
9.1	位置較正システムの運用	12
9.2	課題	12
9.2.1	ドリフトチェンバーとの複合解析に向けて	12
第 10 章	考察とまとめ	13
第 I 部	付録	15
付録 A	3D 測量機器について	16
付録 B	軌跡再構成について	17
B.1	カルマンフィルター	17
B.2	クラスタリング	17
B.3	ドリフトチェンバーとのマッチング	17
参考文献		18

第 1 章

序論

素粒子物理学とは、物質を構成する最小単位から物理法則を記述する試みである。現代素粒子物理学においては、実験的事実と良く整合する『標準模型』が理論的な枠組みの基本となる。2012 年に LHC でヒッグス粒子が発見され、標準模型の主張は盤石なものとなったが、未だにニュートリノ振動やミューオン異常時期能率からのずれなど、標準模型では説明の付かない実験的事実は存在する。これらを説明するため、ひいてはあらゆるエネルギー領域の物理を説明するような、『標準模型を超える物理 (BSM)』の研究が盛んに行われている。MEG 実験及びその後継の MEG II 実験では、標準理論を超える物理の 1 つである『荷電レプトンフレーバーの破れ (cLFV)』という現象のうち $\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊について探索し、BSM の手がかりを掴もうとしている。

1.1 素粒子物理学における cLFV の探索

$$\mu \rightarrow e\gamma$$

$$\mu \rightarrow eN$$

$$\mu \rightarrow eee$$

・過去・国内外での探索

1.2 MEG II 実験における陽電子タイミングカウンター

MEG 実験における陽電子検出の課題として...

1.3 本論文の構成について

本論文は、物理的背景 (2 章)、MEGII 実験における陽電子タイミングカウンターについて (3,4,5 章)、位置較正についての測定・解析・結果 (6,7,8 章) から構成され、展望を交えつつ 9 章でまとめる。

第 2 章

$\mu \rightarrow e\gamma$ 崩壊

2.1 標準理論において

ミューオンの基本性質を以下にまとめる。[1]

標準理論において [?]

2.2 標準理論を超える物理において

2.3 実験における信号・背景事象

第 3 章

MEG II 実験

3.1 MEG 実験

3.2 MEG II 実験

3.2.1 MEG 実験からのアップグレード

3.2.2 ドリフトチェンバー (CDCH)

3.2.3 陽電子タイミングカウンター (pTC)

3.2.4 液体キセノンガンマ線検出器 (LXe)

3.2.5 輻射崩壊検出器 (RDC)

3.2.6 DAQ

3.2.7 展望

第 4 章

陽電子タイミングカウンター

4.1 背景

4.1.1 MEG 実験での問題点

4.1.2 MEG II 実験における新たなデザイン

4.2 マルチピクセル化された陽電子タイミングカウンター

4.2.1 複数ヒットの仕組み

4.2.2 時間分解能

4.2.3 位置較正

4.3 ピクセル (小型カウンター)

4.3.1 SiPM

4.3.2 プラスチックシンチレータ

4.4 読み出し

4.5 解析

第 5 章

時間較正

5.1 レーザー較正

5.2 ミシェル較正

第 6 章

陽電子タイミングカウンターにおける位置情報

第 7 章

3D スキャンによる位置較正

7.1 3D スキャンにおける測量

7.2 実験エリアにおける測量

7.2.1 測量基準点 (reference point)

7.3 スキャンデータの解析

7.4 結果

7.5 考察

第 8 章

軌跡再構成による位置較正の試み

8.1 原理

8.2 課題

8.3 考察

8.4 運用について

第 9 章

Physics Run に向けて

9.1 位置較正システムの運用

9.2 課題

9.2.1 ドリフトチェンバーとの複合解析に向けて

第 10 章

考察とまとめ

謝辭

第Ⅰ部

付録

付録 A

3D 測量機器について

付録 B

軌跡再構成について

B.1 カルマンフィルター

B.2 クラスタリング

B.3 ドリフトチェンバーとのマッチング

参考文献

- [1] aaa
- [2] bbb