

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  $4.2 \times 10^{-13}$  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

<b>第 1 章</b>	<b>序論</b>	<b>4</b>
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
<b>第 2 章</b>	<b><math>\mu \rightarrow e\gamma</math> 崩壊</b>	<b>5</b>
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
<b>第 3 章</b>	<b>MEG II 実験</b>	<b>6</b>
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
<b>第 4 章</b>	<b>陽電子タイミングカウンター</b>	<b>7</b>
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
<b>第 5 章</b>	<b>時間較正</b>	<b>8</b>
5.1	レーザー較正	8
5.2	ミシェル較正	8
<b>第 6 章</b>	<b>陽電子タイミングカウンターにおける位置情報</b>	<b>9</b>
<b>第 7 章</b>	<b>3D スキャンによる位置較正</b>	<b>10</b>
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
<b>第 8 章</b>	<b>軌跡再構成による位置較正の試み</b>	<b>11</b>
8.1	原理	11
8.2	課題	11
8.3	考察	11
8.4	運用について	11
<b>第 9 章</b>	<b>Physics Run に向けて</b>	<b>12</b>
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
<b>第 10 章</b>	<b>考察とまとめ</b>	<b>13</b>
<b>第 I 部</b>	<b>付録</b>	<b>15</b>
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
<b>参考文献</b>		<b>18</b>

# 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。

質量	$105.6583745 \pm 0.0000024 \text{ MeV}$
寿命	$(2.1969811 \pm 0.0000022 \times 10^{-6}) \text{ s}$

表 2.1: ミューオンの性質 [1]

標準理論において、

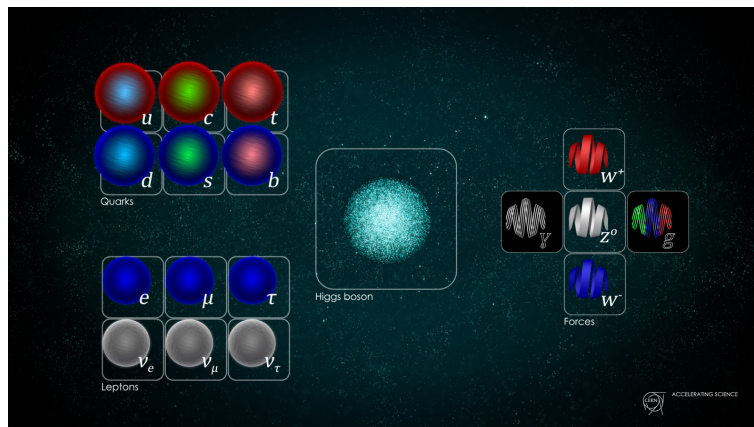


図 2.1: 標準理論における素粒子 [2]

### 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] P.A. Zyla et al. Review of Particle Physics. *Progress of Theoretical and Experimental Physics*, Volume 2020, Issue 8, August 2020, 083C01.  
doi: <https://doi.org/10.1093/ptep/ptaa104>
- [2] CERN website. <https://home.cern/science/physics/standard-model> , cited 14th December 2020.