2022年度 ビーム物理研究会・若手の会

ミューオン用 円盤装荷型加速管の開発

<u>名古屋大学 鷲見一路</u>















J-PARC ミューオン g-2/EDM 実験

- ミューオン用円盤装荷型加速管
- ・ミューオン加速用DLSの試作状況
- 等価回路を用いたDLSの過渡応答解析(の準備)

• まとめ

2022/03/09



White

Paper

(2020)

17

[3]



ミューオンスピン \vec{s} と電磁場 \vec{E}, \vec{B} の相互作用ハミルトニアン (静止系):

異常磁気能率 g-2

$$H = -\frac{g_{\mu}}{2m_{\mu}} \overrightarrow{s} \cdot \overrightarrow{B} - \frac{d_{\mu}}{|\overrightarrow{s}|} \cdot \overrightarrow{E}_{m_{\mu}: \exists n_{\mu} = n_{\mu} \forall \exists n_{\mu} = n_{\mu} \forall n_{\mu} \neq n_{\mu} \forall n_{\mu} \forall n_{\mu} \neq n_{\mu} \forall n_{\mu$$

電気双極子能率 EDM



<u>加速ミューオン</u>を用いた<u>新手法</u>による精密測定 @ J-PARC

[1] *Phys. Rev. D*, vol. 73, p. 072003, 2006.
[2] *Phys. Rev. Lett.*, vol. 126, p. 141801, 2021.
[3] *Phys. Rep.*, vol. 887, pp. 1-166, 2020.
[4] *Phys. Rev. D*, vol. 80, p. 052008, 2009.
[5] *Prog. Theor. Exp. Phys.*, vol. 2019, p. 053c02, 2019.

2022/03/09

ミューオン加速用円盤装荷型加速管の開発:鷲見一路

acceleration



Muon g-2/EDM experiment @ J-PARC



19

4

-PARC 30 GeV MR 3 GeV RCS (750 kW) (1 MW) 10 m lev H- LINAC 324 MHz & 972 MHz) Neutrino Facility <u>ミューオン冷却</u> Silica aerogel target (~300 K) 5.6 keV → 212 MeV **Ionization laser** Electrodes $\varepsilon_{\text{norm.; total}} \sim 1\pi \text{ mm mrad}$ 蓄積 Thermal muon Surface muon Muonium $\Delta p / p < 0.1 \%$ (RMS) (25 meV) (5.6 keV) (4.1 MeV) (蓄積磁場 3 T, 軌道半径 33 cm)

前例のない冷却と再加速で低エミッタンスミューオンビームを実現

2022/03/09



ミューオン線形加速器・高速部



Muon LINAC for J-PARC muon g-2/EDM experiment (~40 m)



それぞれの速度域に適した4種類の加速空洞 → 高速部には<u>円盤装荷型加速管</u> (DLS)

- 高速部の主要パラメータ
 - # of DLS: 4 (高速部の全長~10 m)
 - 運動エネルギー: 40 → 212 MeV
 - 速度 β : 70% \rightarrow 94% of the speed of light
 - 加速モード: TM01-2pi/3 mode (3 cells per cycle)
 - 運転周波数: 2592 MHz





·路



加速中にビームと電場を同期させ続け、 設計通りの加速勾配を与えることが重要

加速勾 SUPERFISH 19.6 MV/m* 18 16 * 38 MW input RF power 100 0 セル番号 n

20

2022/03/09

ミューオン加速用円盤装荷型加速管の開発: 鷲見一路 21.4 MV/m

200

21.3 MV/m

20.8 MV/m







1. 試作機製作状況

2. DLSの過渡応答解析

Image of real DLS field



設計通りの空洞が製作できるか

- セル間カップリング,Q値,周波数
- シャントインピーダンス
- 反射係数

2022/03/09

誤差に対して加速勾配がどう変化するか



ミューオン加速用DLS1の試作



/ 19

8



上流側 (β=0.70相当)と下流側 (β=0.82相当)のカプラー・基準管を試作

2022/03/09



ミューオン加速用DLS1の試作



/ 19

9



上流側 (β=0.70相当)と下流側 (β=0.82相当)のカプラー・基準管を試作

2022/03/09







上・下流側基準管のろう付け、チューニング完了

超精密旋盤による数umの鏡面加工



ろう付けされた基準管

2022/03/09







Output of VNA



- ベクトルネットワークアナライザ(VNA)を用いて
 S21のピーク = 共振がある周波数を得る
- 各共振モードに対応する移相を横軸にとり
 分散曲線を描いてセル間のカップリングを求める

·路



2022/03/09







·路



上流側、下流側ともにカップリングは3桁の精度で一致

2022/03/09







ろう付け後の基準管の周波数・Q値を端板法で測定



シミュレーションの97%のQ値を得られた

周波数についても30℃真空換算で2592.00 ± 0.05 MHzにチューニング

下流側は結果を精査中…電場分布の測定も行う

2022/03/09



2022/03/09

ミューオン加速用円盤装荷型加速管の開発:鷲見一路

14 / 19







電子加速管製作で調整経験が豊富なKyhl法を使用



現在、ろう付け前カプラー調整加工が進行中

2022/03/09







19

16



(difference approximated)

 $F_n^{\text{iii}}V_n(t + \Delta t) = F_n^{\text{ii}}V_n(t) + F_n^{\text{i}}V_n(t - \Delta t) + F_{n-1}V_{n-1}(t) + F_{n+1}V_{n+1}(t) + I_0(t)$ x65

2022/03/09



等価回路に適用するパラメータ



19



Q値とシャントインピーダンスはセル長に依存

* Software for 2D electromagnetic field analysis using finite element method



過渡解析の現状



19

18

骆



2022/03/09







- J-PARCで計画しているミューオン g-2/EDM 精密測定に向けて ミューオン用の円盤装荷型加速管を開発中
- ミューオン加速用DLSの試作状況
 - 基準管

カップリング: 3桁の精度で一致 周波数: 運転周波数 2592.00 MHzに対して0.05 MHzの精度でチューニング Q値: シミュレーションの97%の値(上流側)

- カプラー

Kyhl法による調整をシミュレーション → 試作機調整に移る

- 等価回路を用いた過渡解析
 - 加速管内を伝搬する電力の描像を得た → 適用パラメータ等の検証

本研究は、JSPS 科研費 JP18H03707、JP18H05226、JP20H05625、21K18630、21H05088、22H00141、22J20870、 JST 創発的研究支援事業 JPMJFR212O、三菱財団自然科学研究助成の助成を受けたものです。



19 / 19

また、本稿は新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) からの委託事業で得られた成果を基に作成したものです。