

# J-PARC E34実験muon線型加速器の 原理実証及び空洞設計

大谷将士(KEK)

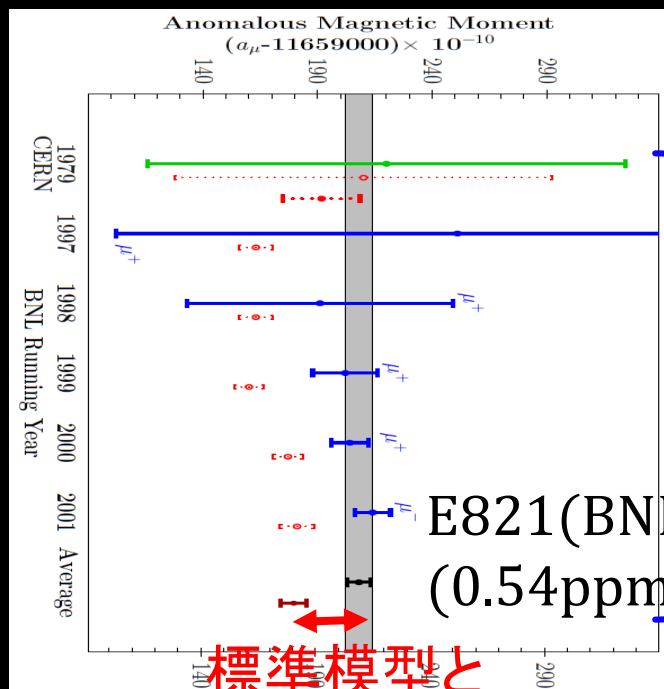
北村遼(東大理), 岩下芳久(京大), 三部勉(KEK)  
近藤 恭弘(原研J-PARC), 吉田 光宏(KEK), 齊藤 直人(KEK)

2015/8/5

1. イントロダクション
2. ミューオン加速の原理実証
  1. 低速ミューオン源の開発
  2. RFQオフライン試験
3. RF空洞の設計
4. まとめ

# ミューオン異常磁気能率

- ダークマター等を説明するには標準模型を超える新物理が必須
- ミューオンg-2における標準模型と測定乖離→手の届く範囲に新物理の存在を示唆

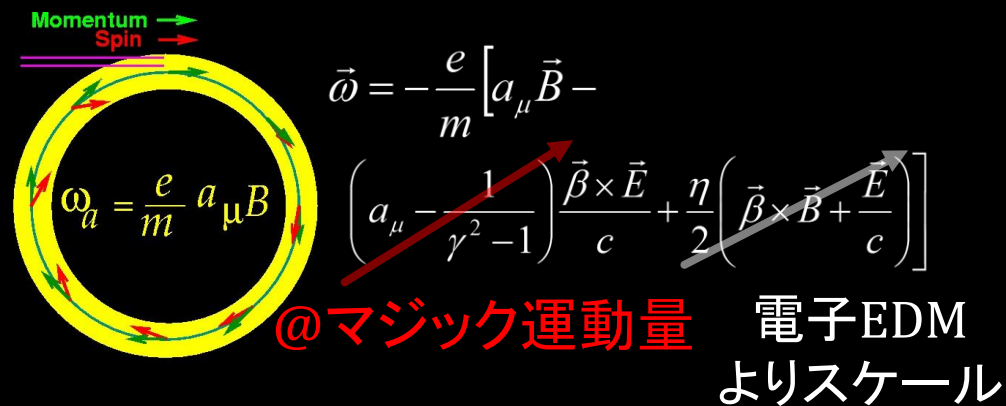


測定が約3σ乖離

- 更なる高精度測定(<0.54ppm)が必要
- 新原理による測定方法が急務

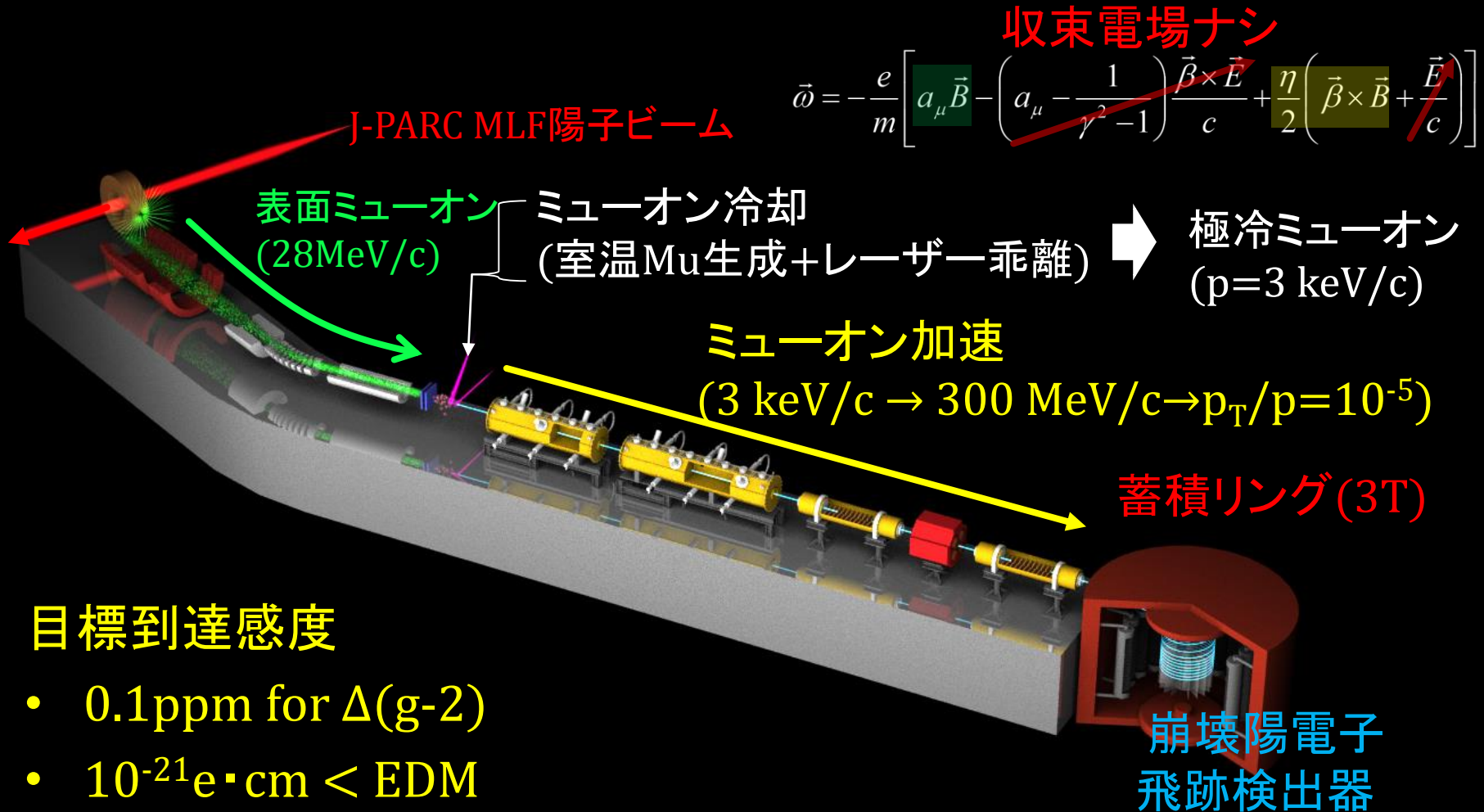
## これまでの測定方法

ビームエミッタンス大  
 →収束電場→マジック運動量



# E34実験

- 世界初のミュオン加速によって極冷ミュオンビーム ( $p_T/p=10^{-5}$ ) を実現 → 高精度  $g-2$  測定・高感度 EDM 探索



# ミュオン線型加速器

$E \sim 4 \text{ MeV}$   
 $\beta \sim 0.3$

5.6 keV  
 0.01

0.34 MeV  
 0.08

4 MeV  
 0.27

42 MeV  
 0.7

212 MeV  
 0.95

表面 $\mu$

冷却

静電加速

RFQ

IH

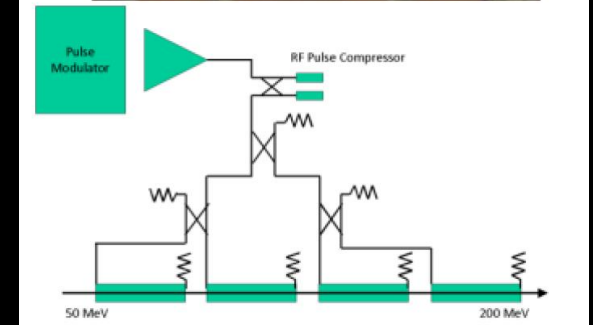
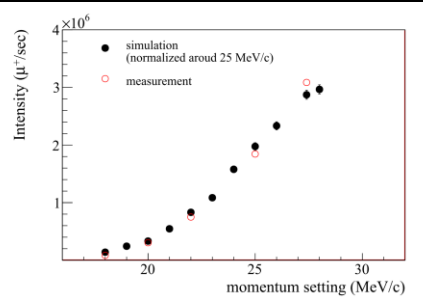
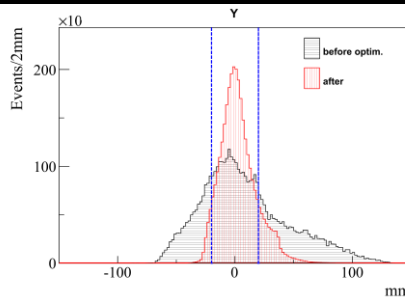
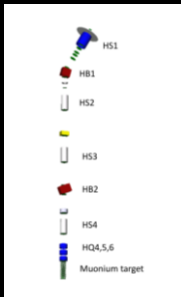
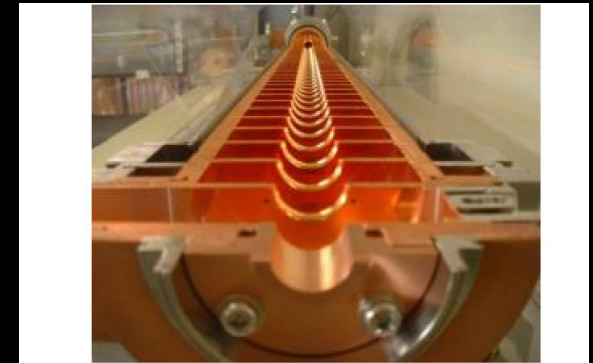
DAW

Disk loaded

本公演で発表



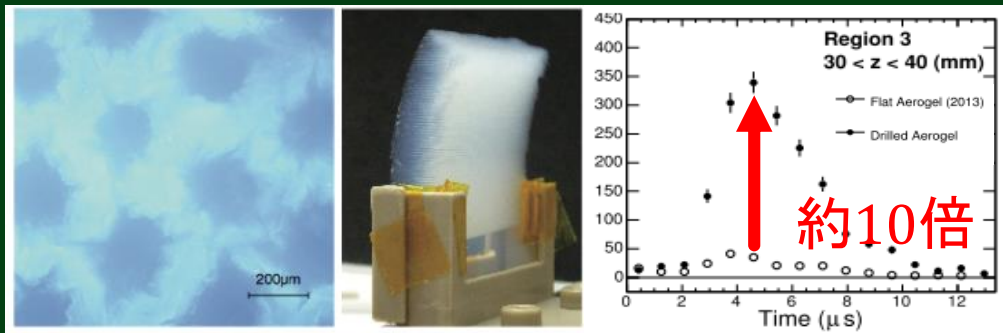
東工大 斎藤 修士論文 etc



# ミューオン冷却

本実験用(高効率冷却)とミューオン加速実証用(迅速性)

室温Mu + レーザーイオン化 ( $E_{\mu^+} = 30 \text{ meV}$ ,  $\varepsilon \sim 10^{-3}$ )



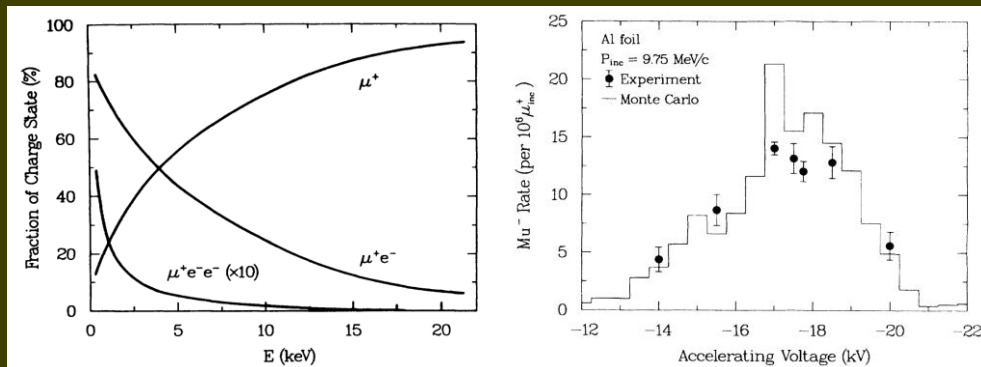
*G. A. Beer et al. PTEP 091 (2014) C01*

高効率Mu標的の開発に成功



先行実験を超える実験が可能  
(0.34 ppm)

金属薄膜による低速(0.2~数keV)Mu<sup>-</sup>/μ<sup>+</sup> ( $E_{\text{Mu}^-/\mu^+} \sim \text{keV}$ ,  $\varepsilon \sim 10^{-4}$ )



*Phys. Rev. A. 39.6109 (1989)*

低コストで $E_{\text{RFQin}} = 5.6 \text{ keV}$ まで冷却



迅速に世界初の  
ミューオン加速に挑戦可能

# 低速 $\text{Mu}^-/\mu^+$ 測定実験

◇ J-PARCで試験予定 (MLF2014B, 2015Aで採択済)

◇ 低速ミュオン源の確立・静電加速機器の運転確立

## セットアップ

### 表面ミュオンビーム

・ $8 \times 10^4 \mu^+ / \text{s}$   
@ $10 \text{ MeV}/c$

### Mu-生成標的

・Alフォイル

$\text{Mu}^-$

~1.5m

### 静電加速レンズ

・電極x3で加速  
(~7keV) & 収束

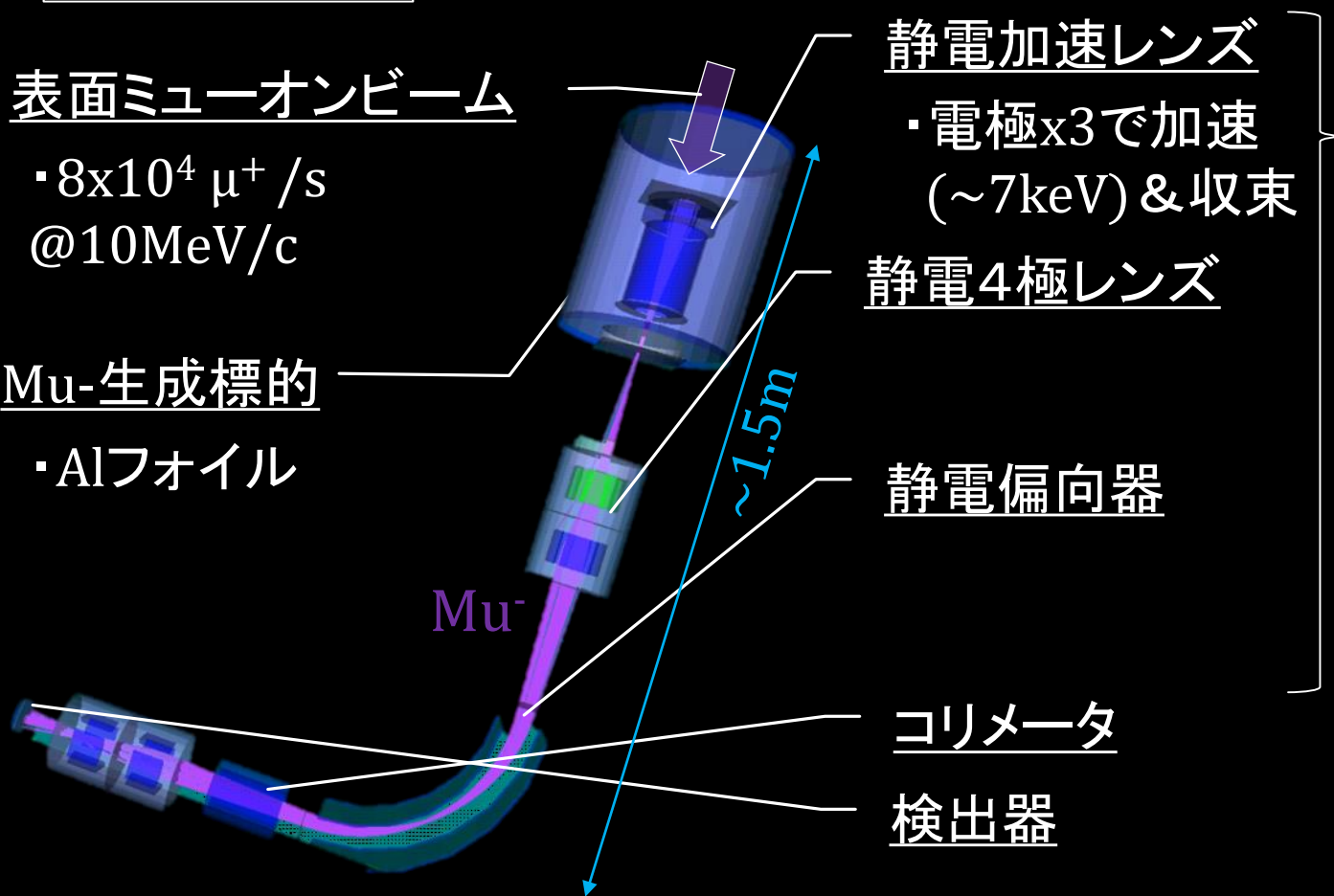
### 静電4極レンズ

### 静電偏向器

### コリメータ

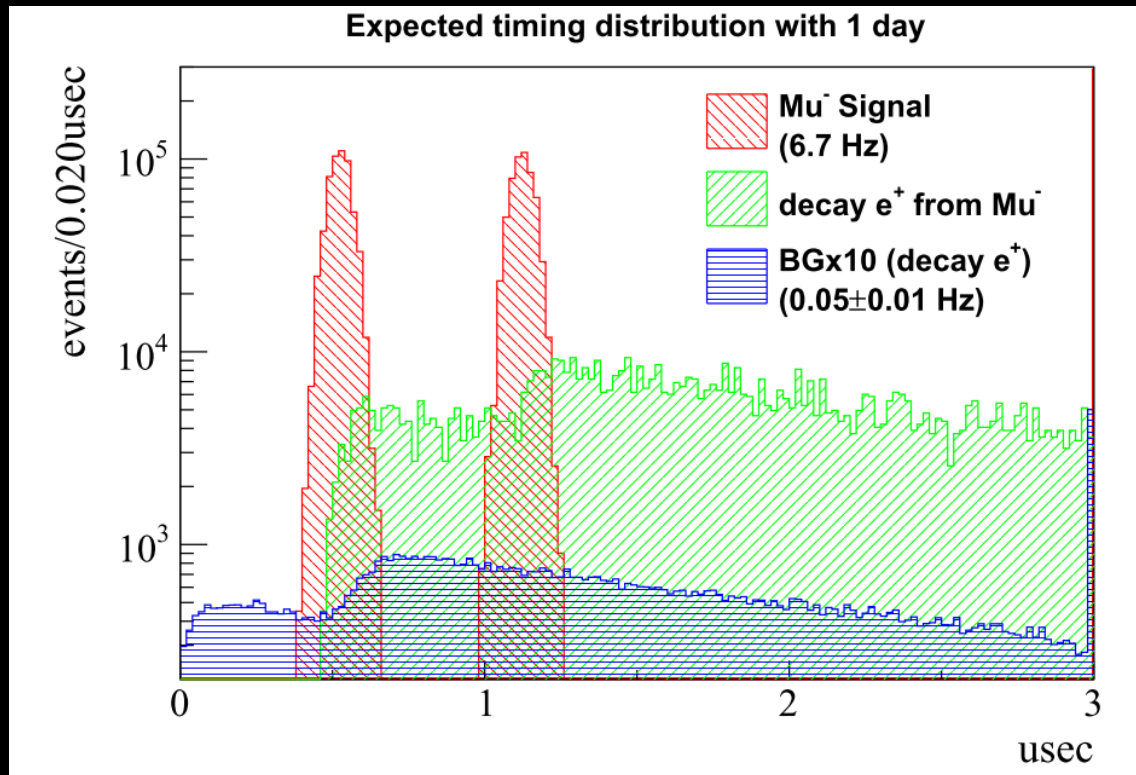
### 検出器

過去の実験で  
運用実績アリ



# シミュレーション

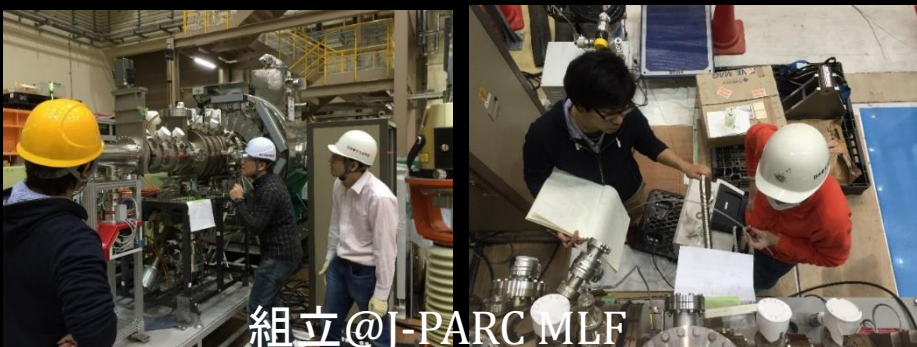
- ◇ 信号&バックグラウンドレートの見積
- ◇ 電場計算: OPERA 3d, 粒子トラッキング: GEANT4
- ◇ 信号: 0.2 keV  $\text{Mu}^-$ , BG: ビームミュオン由来の崩壊陽電子



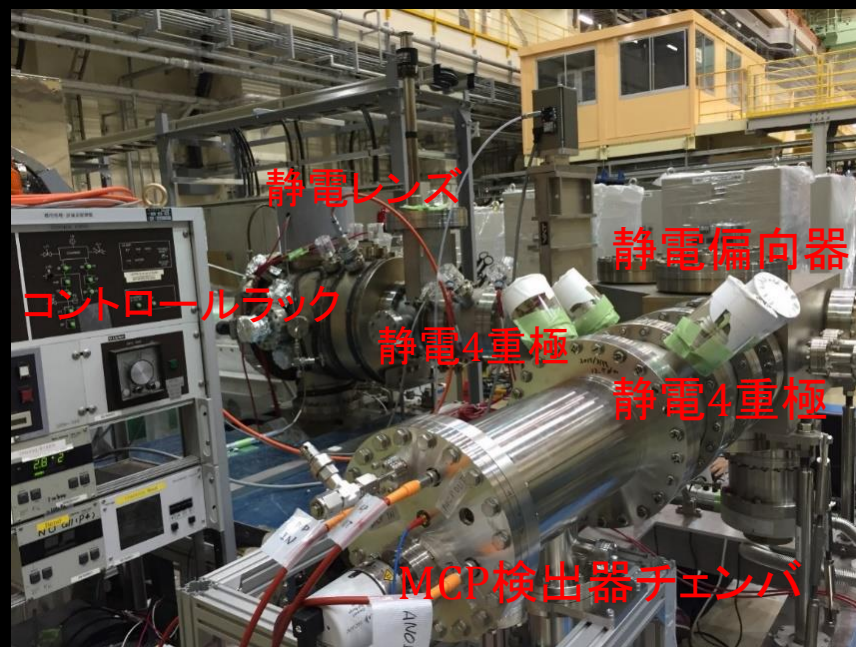
十分な感度で測定が可能

# ビームライン組立

- 2014/8-11 理研RAL施設から一部機器をJ-PARCへ輸送
- 2014/12 J-PARC MLFで機器組立を開始
- 2015/1-3 MLF火災による作業中断
- 2015/4-5 組立再開、試運転完了



組立完了 (2015年3月)

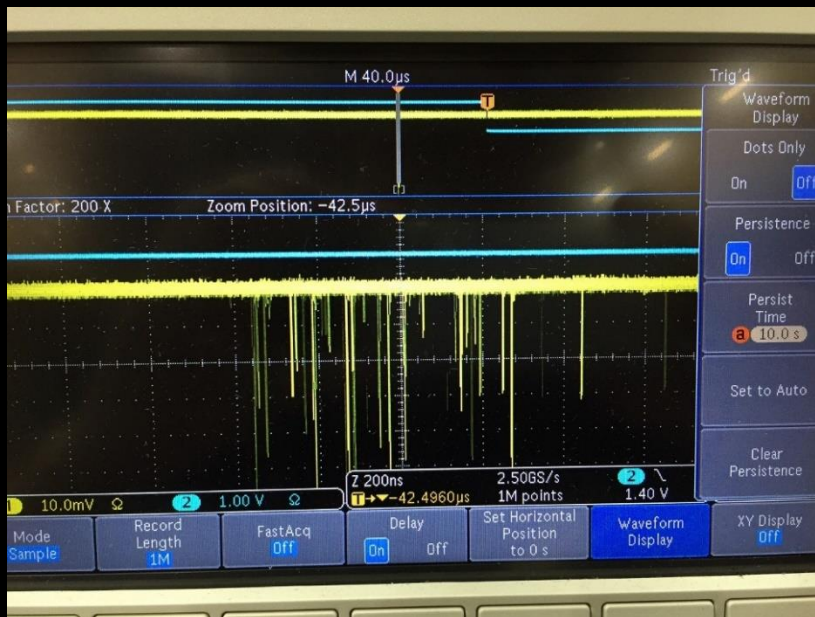




# 試運転結果

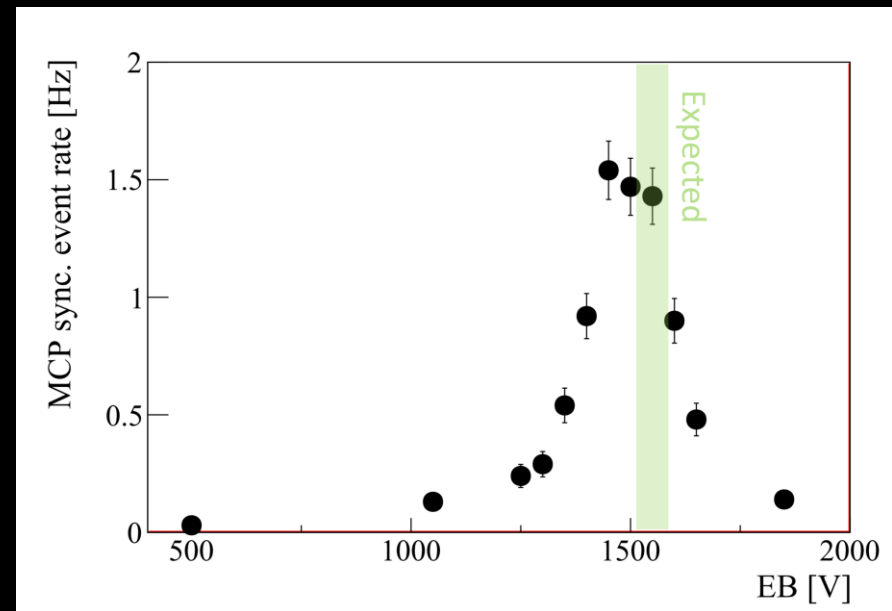
◇ 光電子イベント(アルミ標的+UV光)でビームライン機器を調整

MCP生波形



→UVに同期したイベント観測

静電偏向器印加電圧vs  
MCPイベントレート



→機器の電圧調整が完了

低速 $\mu^+$ 測定にむけた準備が完了

(低速Mu-測定には機器のアップグレードが必要)

# RFQオフライン試験

◇ J-PARC LINAC棟でRFQ II試運転及びバックグラウンド測定

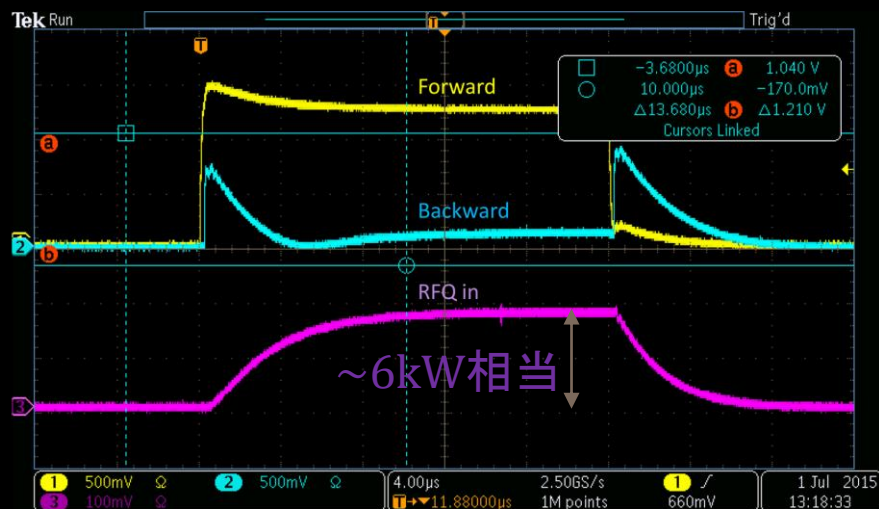


Thanks to great help by J-PARC LINAC group!

# 結果

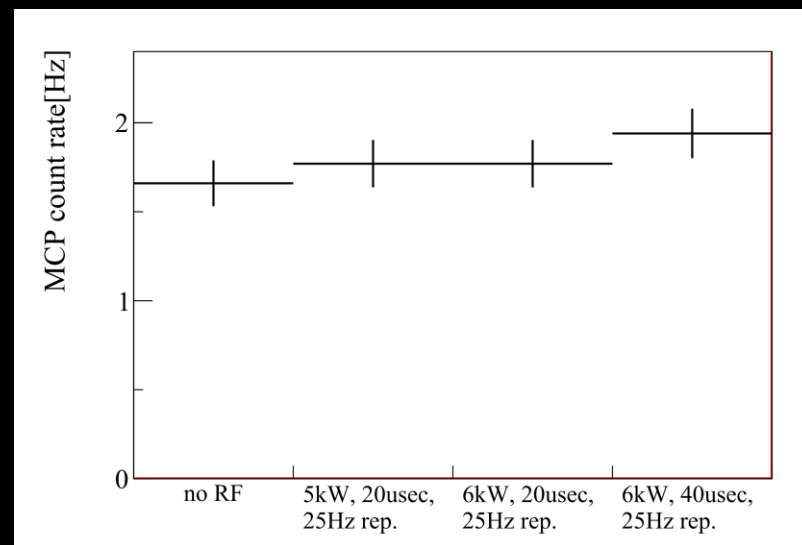
- ◇ RFQ IIをミュオン加速に必要なパワー>5kWで運転
- ◇ MCP検出器でバックグラウンド測定

## 進行/反射波, RFQピックアップ波形



→ $\sim 6\text{ kW}$ 運転を実証

## BG測定結果



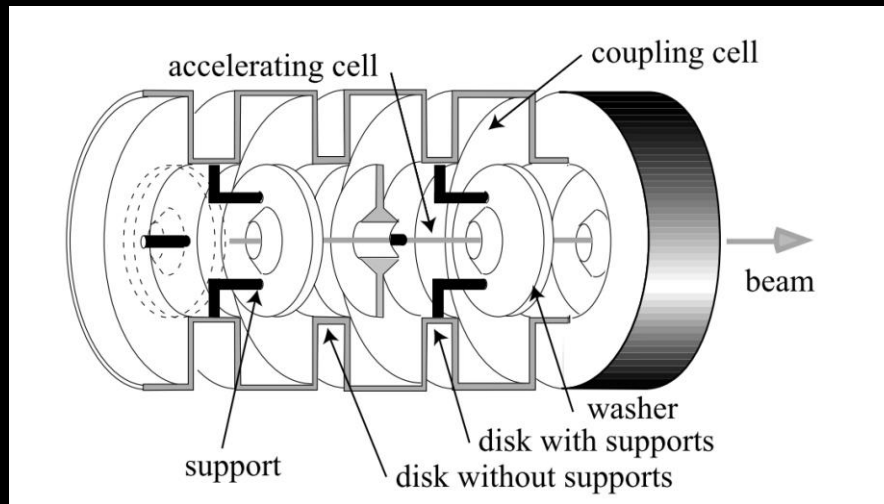
→BGフリー測定が可能

加速試験に必要な機器のチェックが完了

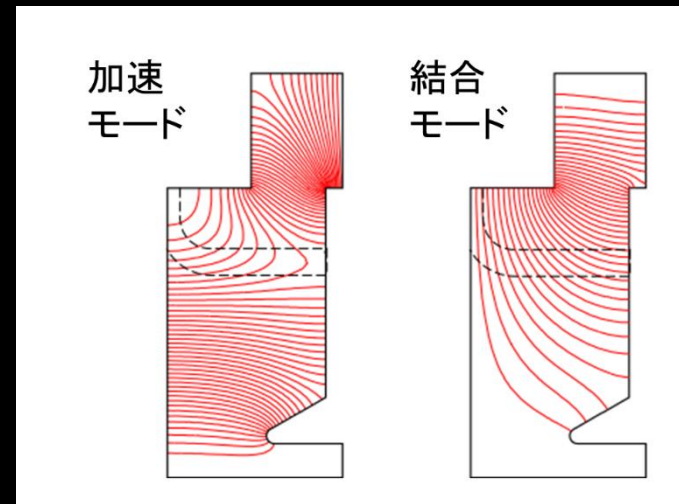
# 中速域RF空洞の開発

- ◇ Disk And Washer (DAW)で $\beta \sim 0.3-0.7$ 領域を加速
  - ◇ サイドカップル型加速空洞, 高シャントインピーダンス
  - ◇ 加速モードと結合モードの周波数が一致
  - ◇ ミューオン加速, 特に低速領域は初めての試み

LサポートDAW空洞模式図



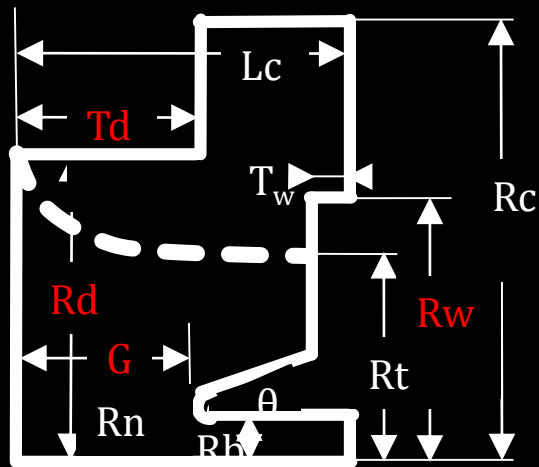
加速/結合モード( $TM_{02\pi}/TM_{01\pi}$ )



世界初のミューオン用DAWセル設計が必須

# 設計方法

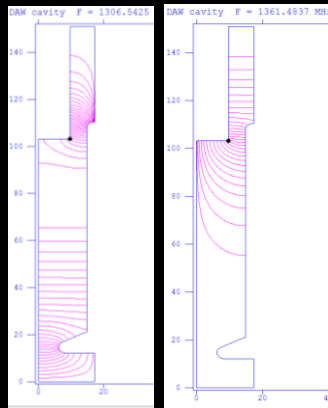
## DAWモデル



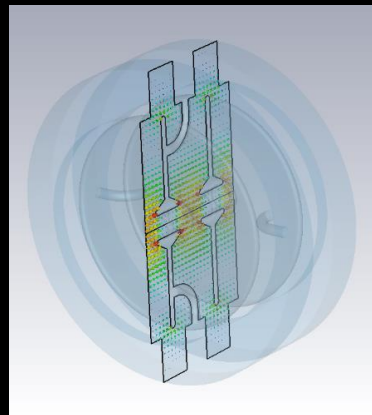
$T_d, R_d, R_w, G$ : フィットパラメータ

## 計算例

SF



CST MW



2次元モデル  
サポート無

SIMPLEX

SUPERFISH

最適化関数  
( $f_a, f_c, Z_{TT}, E_{max}$ )

3次元モデル  
サポート有

SIMPLEX

CST MW

最適化関数

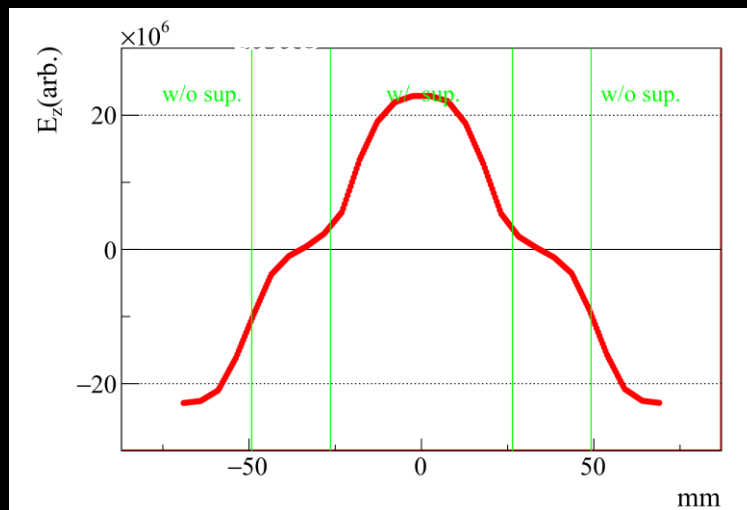
分散曲線

# 結果 ( $\beta=0.6$ )

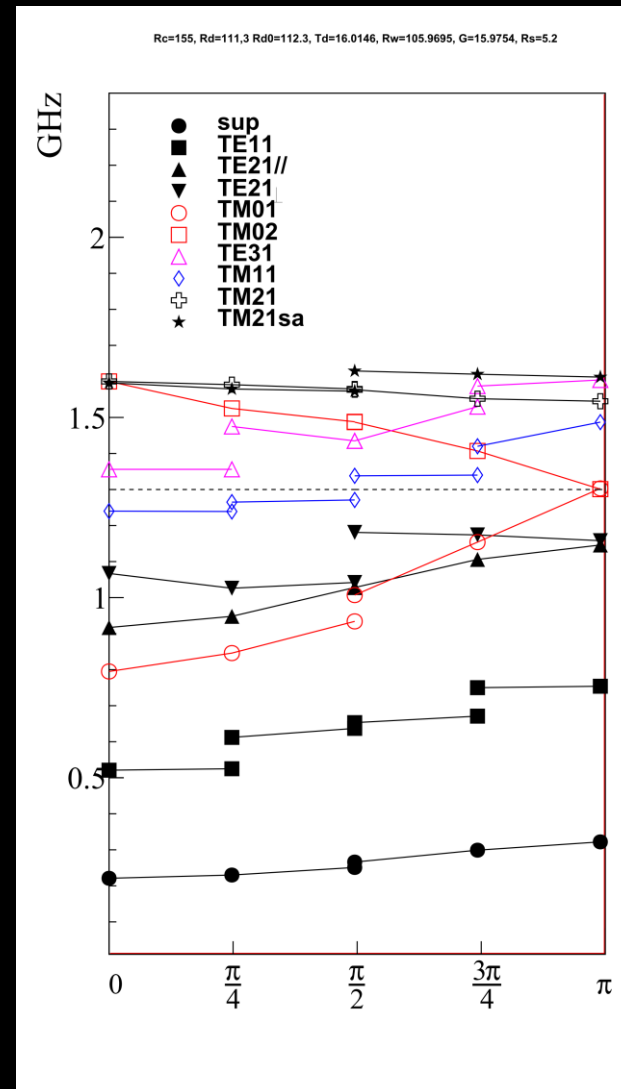
## parameters

Rc [mm]	155
Rd [mm]	111.3
Rdn [mm]	112.3
Td [mm]	16.0146
Rw [mm]	105.9695
G [mm]	15.9754
Rs [mm]	5.2
Rt[mm]	75
ZTT [M $\Omega$ /m]	57.8

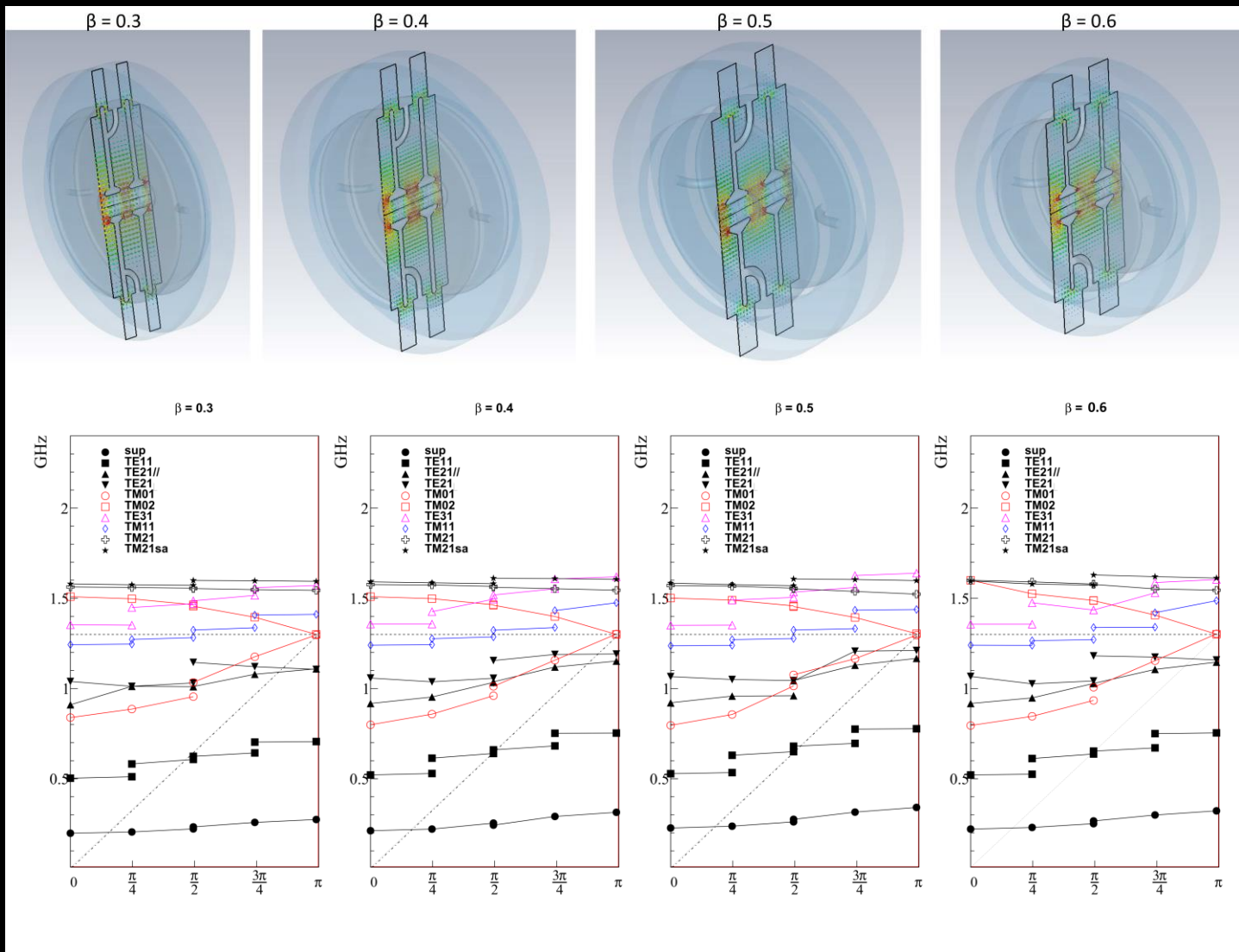
## $E_z$ along beam



## 分散曲線



# 結果



空洞設計が完了→コールドモデルで実証予定

# Collaboration status

- ◇ 高効率室温 $\mu$ 生成標的の開発に成功  
→ 先行実験 (BNL 0.46ppm) を超える統計を実証 (0.37ppm)
- ◇ Technical Design Reportを提出

Technical Design Report  
for  
the Measurement of the Muon Anomalous  
Magnetic Moment  $g - 2$  and Electric  
Dipole Moment at J-PARC

May 15, 2015



9か国136名



# まとめ

- ◇ E34実験は世界初のミュオン加速によって極冷ミュオンビームを実現し、 $\mu g-2$ を高精度で測定して標準模型を超える物理を探る。
- ◇ ミュオン加速の実証試験に必要な機器の準備が完了
  - ✓ 低速ミュオンビームライン
  - ✓ RFQ運転・バックグランド測定
- ◇ 後段のRF空洞のデザインが進行中
  - ✓ DAW空洞デザインが完了→プロトタイプを製作開始

本研究はJSPS科研費 15H03666

(「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」代表:大谷)の助成を受けたものです

# バックアップ