

遂に実現した ミュオンRF加速

M. Otani¹



Y. Kondo², R. Kitamura³, Y. Nakazawa⁴,
Y. Sue⁵, S. Bae⁶, H. Choi⁶, S. Choi⁶,
K. Futatsugawa¹, K. Hasegawa²,
T. Iijima⁵, H. Iinuma⁴, N. Kawamura¹,
B. Kim⁶, H.S. Ko⁶, Sirui Li³, T. Mibe¹,
Y. Miyake¹, T. Morishita², G.P. Razuvaev⁷,
N. Saito¹, K. Shimomura¹, E. Won⁶,
T. Yamazaki¹

¹ KEK

² JAEA

³ Univ. of Tokyo

⁴ Ibaraki Univ.

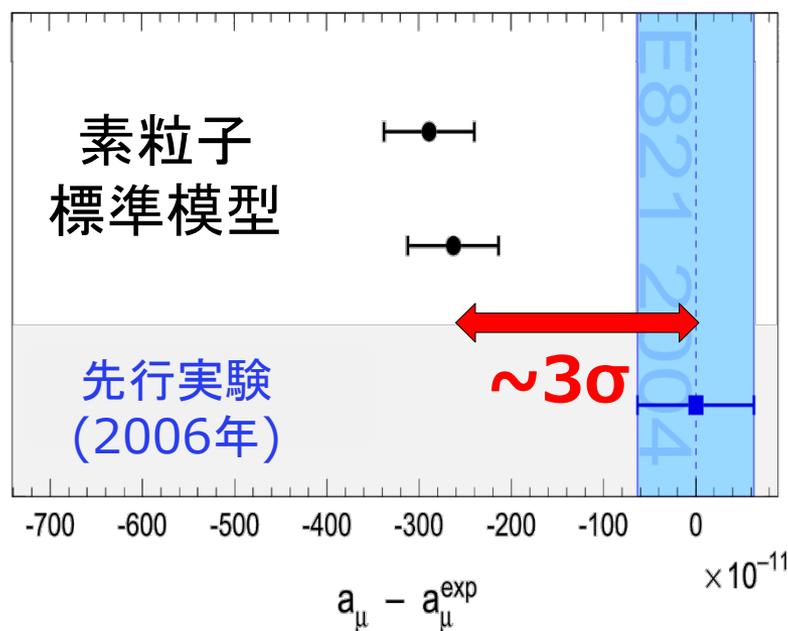
⁵ Nagoya Univ.

⁶ SNU

⁷ BINP

ミューオン異常磁気能率 $g-2$

- 2006年の測定結果以来、素粒子標準模型との 3σ 以上の乖離。
- 独立な高精度検証が必要不可欠。
 - 先行実験で主要な系統誤差はビームエミッタンスに起因。



系統誤差 [ppb]

| | |
|--------------|-----|
| B field | 170 |
| Lost muons | 90 |
| CBO | 70 |
| E and pitch | 50 |
| Gain changes | 120 |
| Pileup | 80 |

ミューオン
ビームに起因

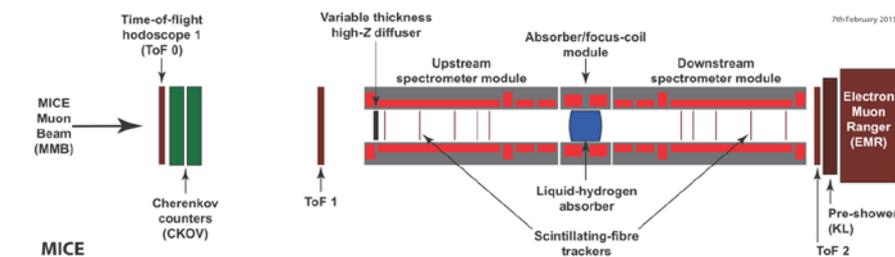
- ミューオン冷却・加速**による低エミッタンスビームで高精度測定

ミューオン冷却・加速

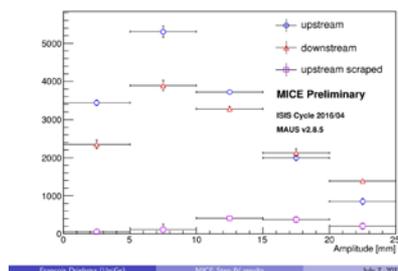
- これまでに世界各地で様々な研究開発

MICE

徐々に減速&加速して冷却



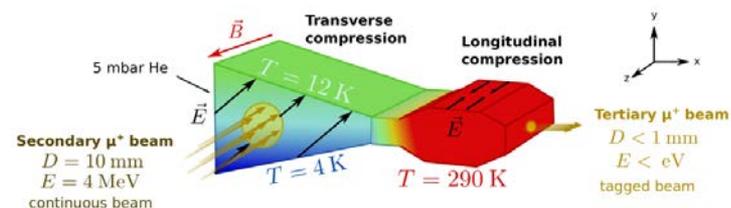
3 mm input normalised emittance



EPS HEP2017, V. Palladino et al.

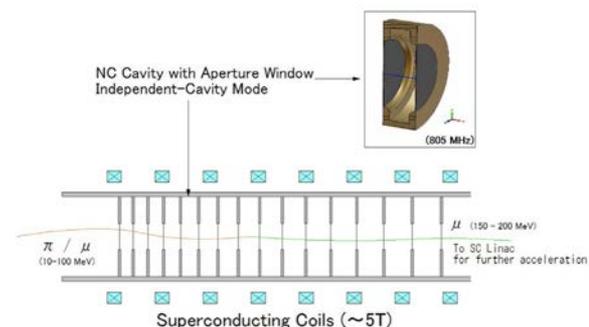
液体He中の
減速過程の測定

Muon Cooling@ETH Zurich



PRL 112, 224801 (2014)

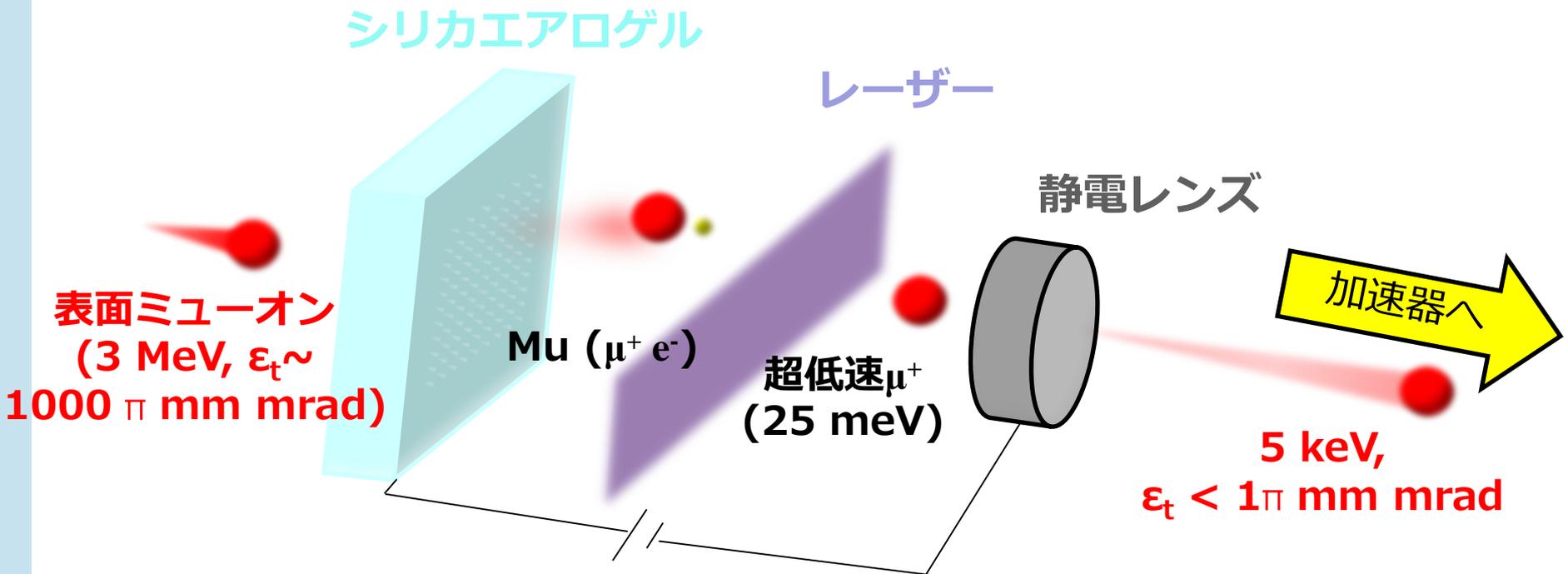
@LANL



H. Miyadera, Proc. of linac2010

実際に冷却&高周波加速したことは無い

冷却手法@J-PARC g-2実験



USμ brief History

1986.

室温ミュオニウム@真空の生成 [PRL.56.1463. 1986.]

1988.

ミュオニウムイオン化(1s-2s) [PRL.60.101.1988]

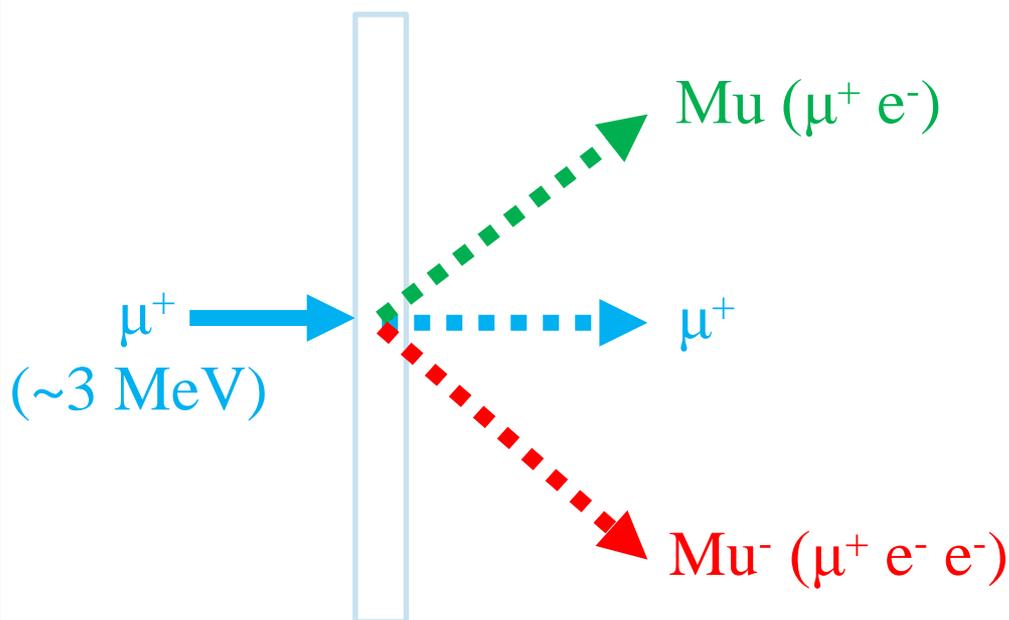
1995-2008.

超低速 μ^+ @ KEK & RAL[RRL.74.4811.1995, NIMB.266.335.2008.]

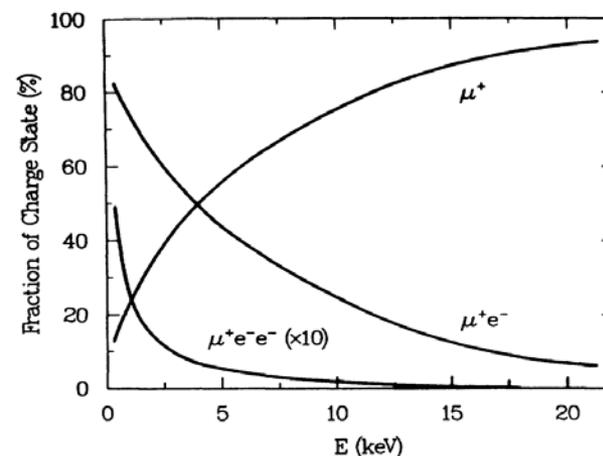
2014.

レーザー加工技術による高効率Mu生成 [PTEP.091.C01.2014]

早期にミュオン加速を実現するための冷却手法



- 1980年代後半に初観測
[Phys.Rev.A, 39, 6109]



- お手軽・お安く冷却可能

Mu⁻生成・収量を確認→加速に応用

これまでの取り組み

2014

2015

2016

2017

加速試験(2017/10)

組立@J-PARC (~2015/5)



ミュオン減速装置輸送 (2014/8)

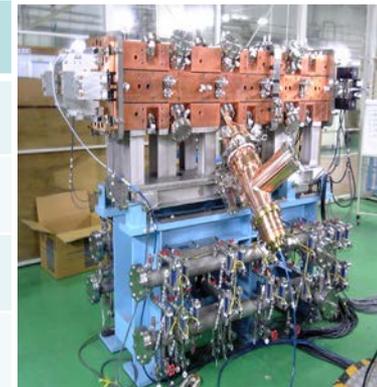
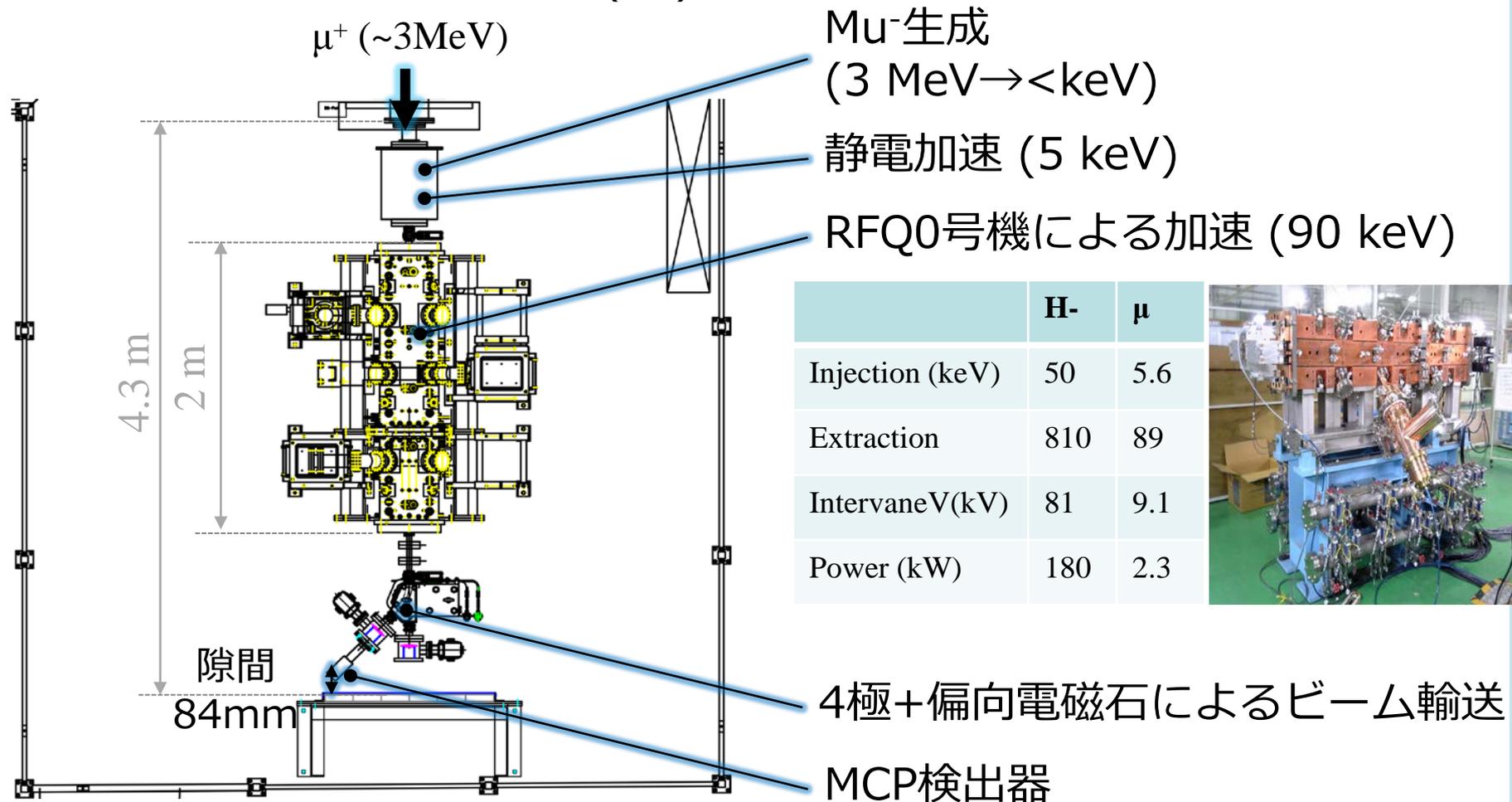


Lead by RIKEN-RAL group

 μ^+ 減速&BPM試験(2016/2)Mu⁻観測 (2016/12) μ^+ プロファイル測定 (2017/3)

RFQ加速試験

@J-PARC MLF テストエリア(D2)



シミュレーション

減速・ μ 生成過程

静電加速

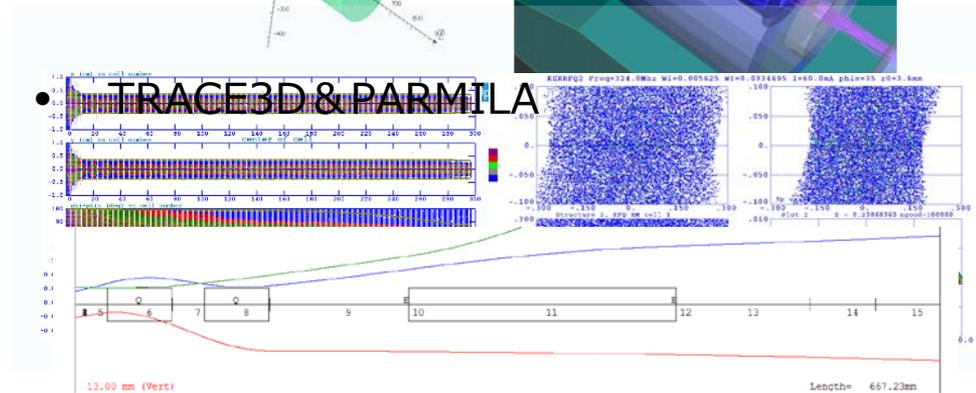
RFQ加速

診断ビームライン

検出位置・時間

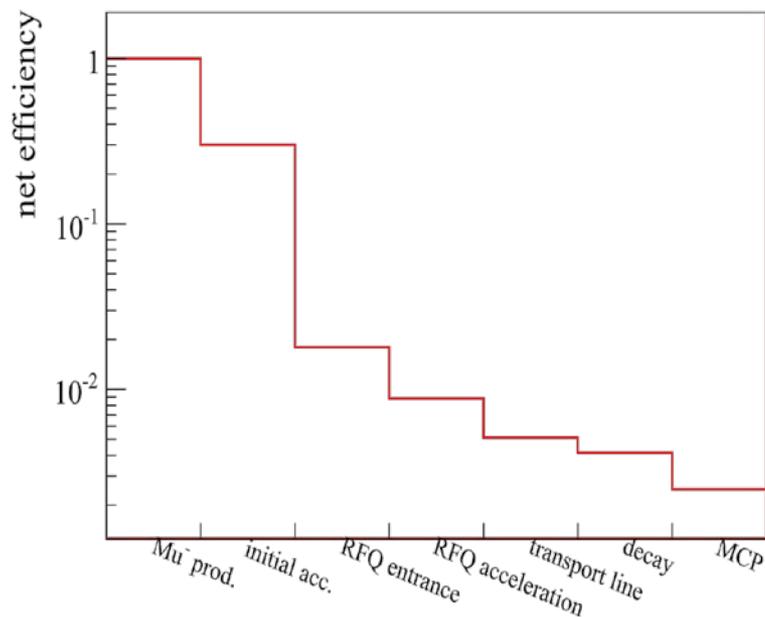
- ビーム試験の測定データを反映 (実測に基づく冷却効率)
- 有限要素法による電場計算(OPERA) + 粒子トラッキング(Geant4)

- PARMTEQM + CST EMでFRINGE場まで評価

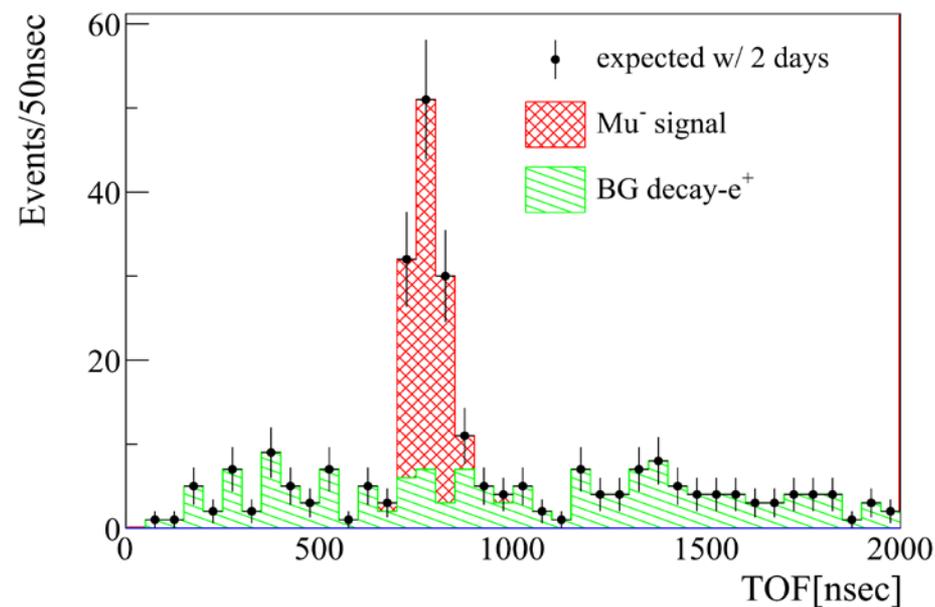


シミュレーション結果

各ステップでの輸送効率



予想される飛行時間分布



ミューオン加速の実証に十分なシグナル数
(~100 events / 2days)

実験準備

- 7月~10月にJ-PARCライナック棟で組立作業

RFQ下流



診断ビームライン架台 (新設)

検出器チェンバー

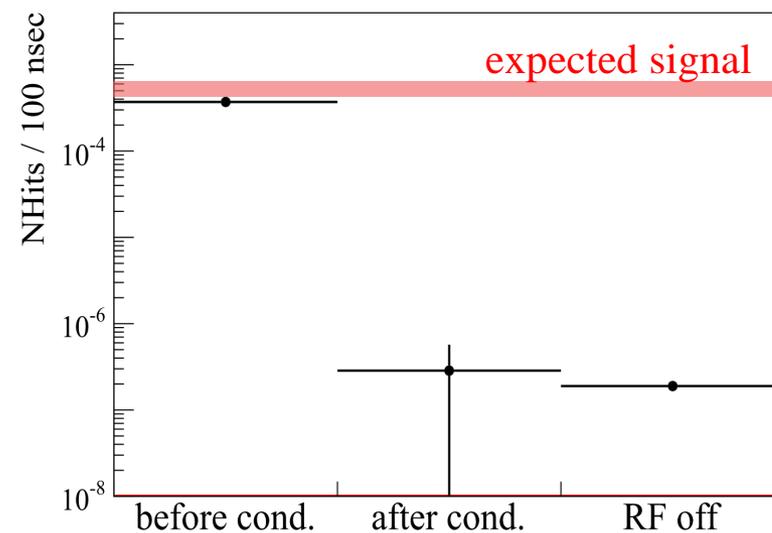
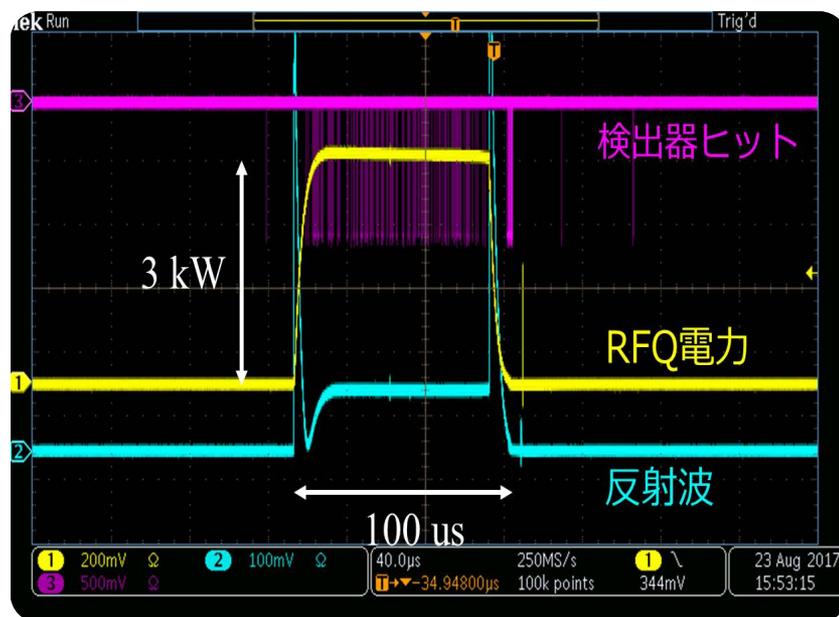


4極電磁石
(from KEKB)

偏向電磁石
(from J-PARC)

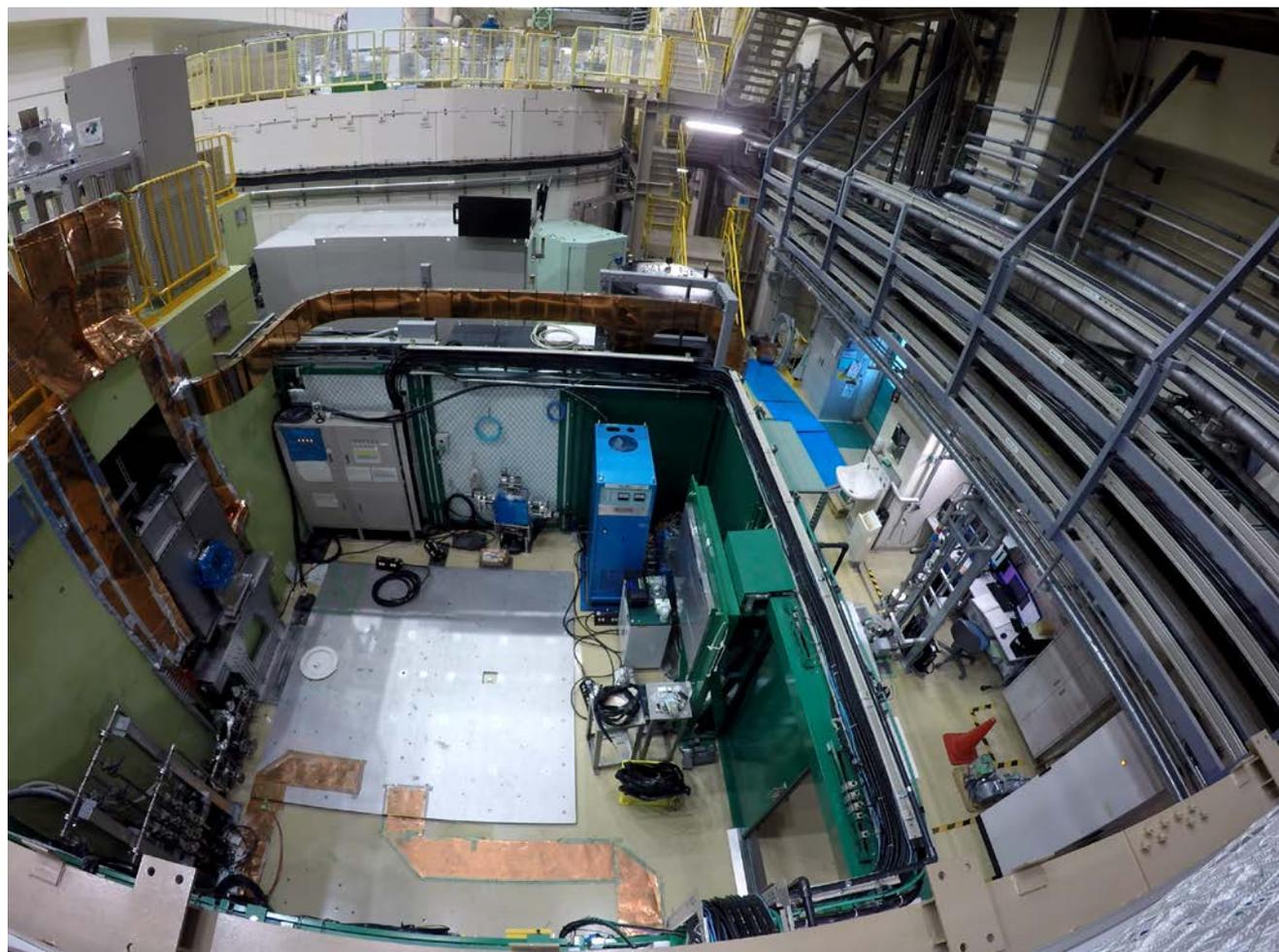
試運転

- RFQのRF印加による検出器バックグラウンドの測定

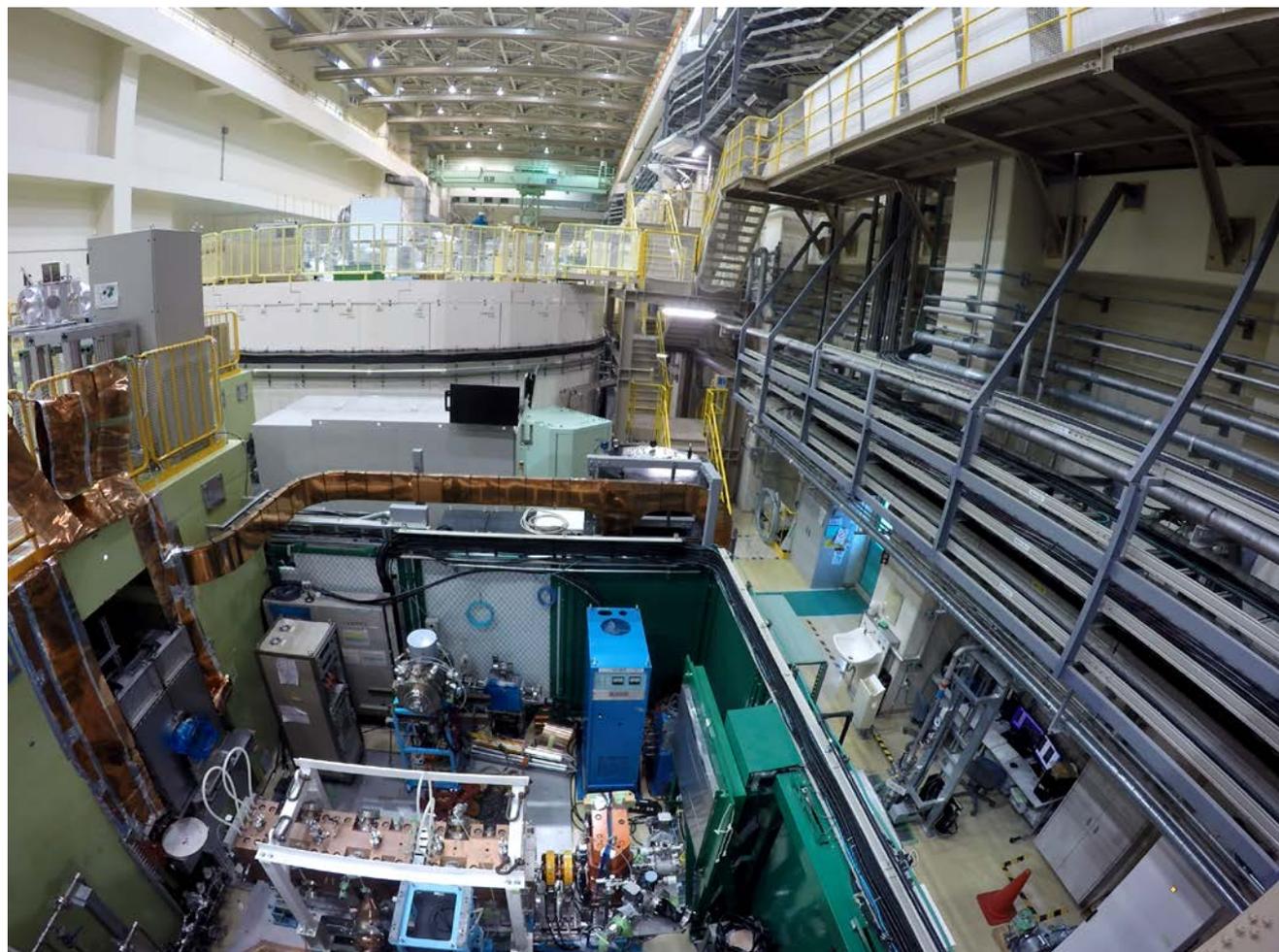


☑ コンディショニング→バックグラウンドフリーな環境を実現

MLF移動 (10月16日)



BL接続 & アライメント (10月17日)



ビーム試験 (10月24日~30日)

Mu⁻ production

μ^+ (~3MeV)

R. Kitamura
(Tokyo, D3)

5.6 keV

RFQ

Y. Kondo

Y. Sue
(Nagoya, M1)

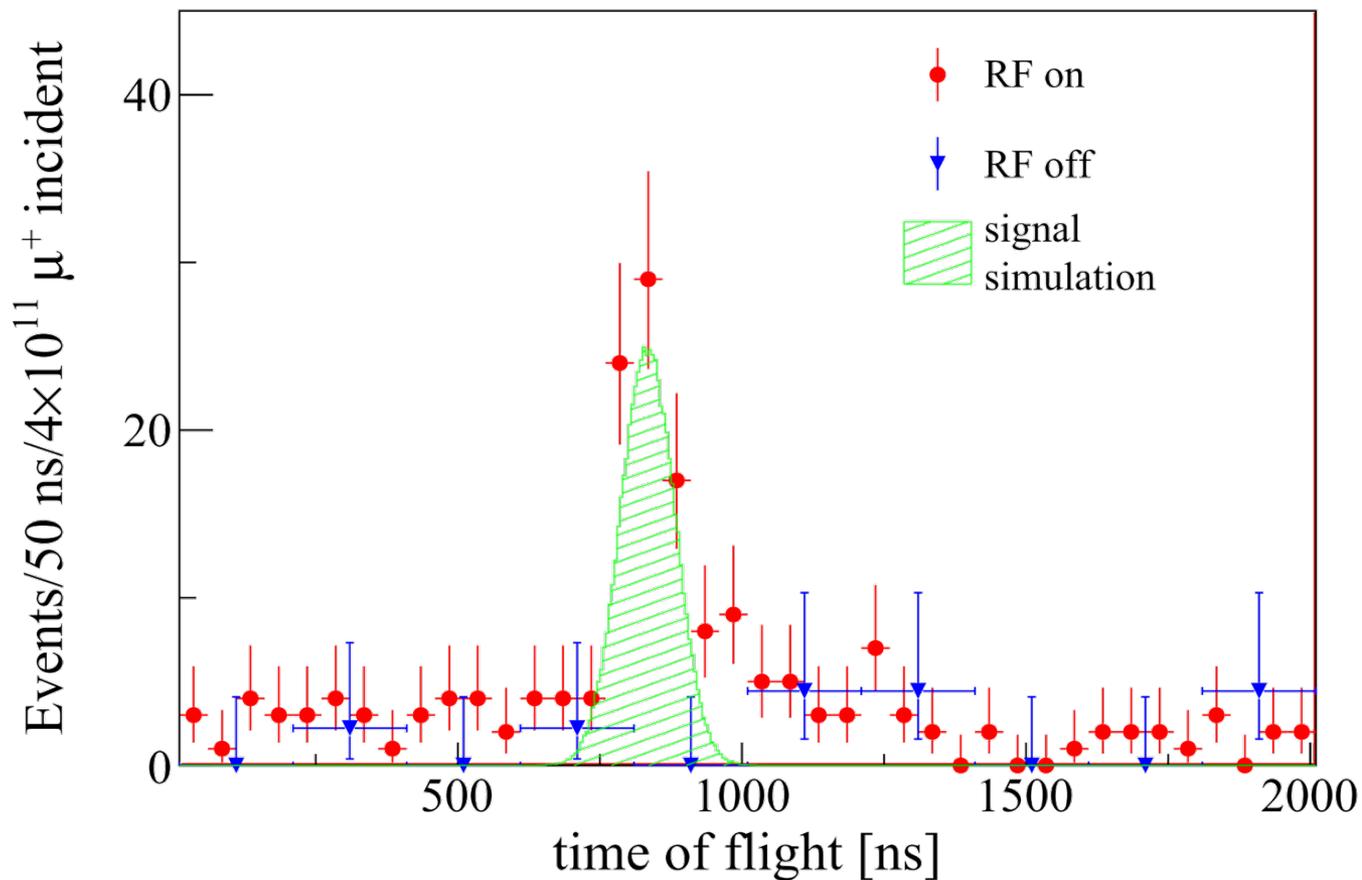
Y. Nakazawa
(Ibaraki, B4)

90 keV

診断BL
(4極+偏向電磁石)

MCP検出器

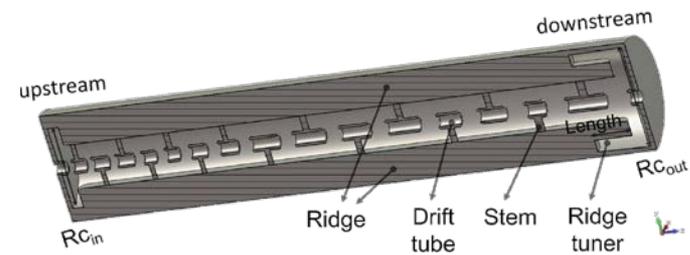
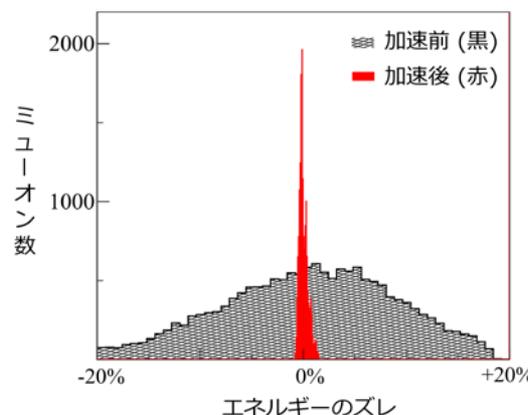
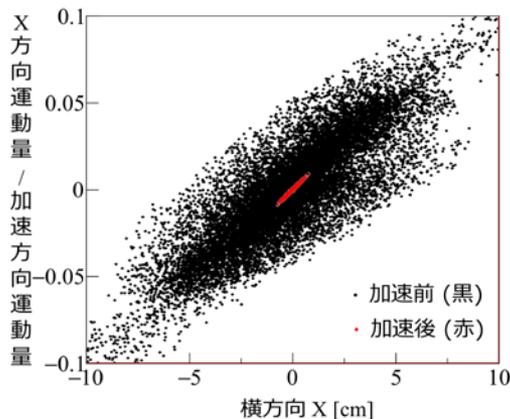
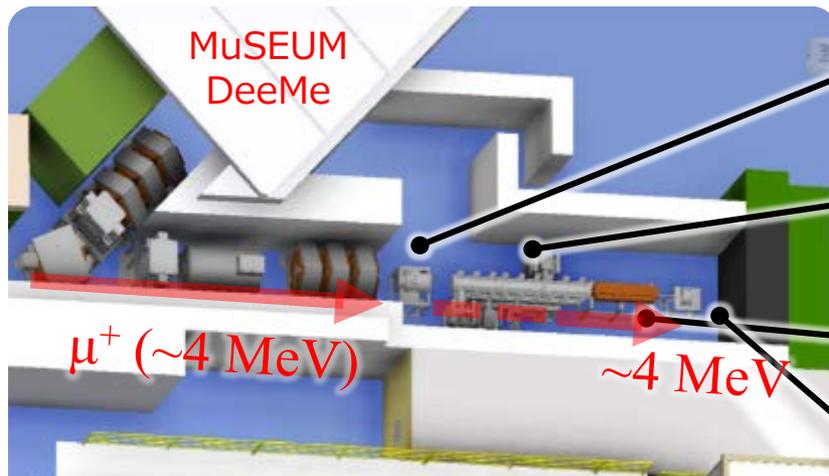
加速試験結果



世界初のミュオンRF加速に成功

展望₁

- 来年度以降にMLF Hラインで実機RFQ→IHの加速を順次実証

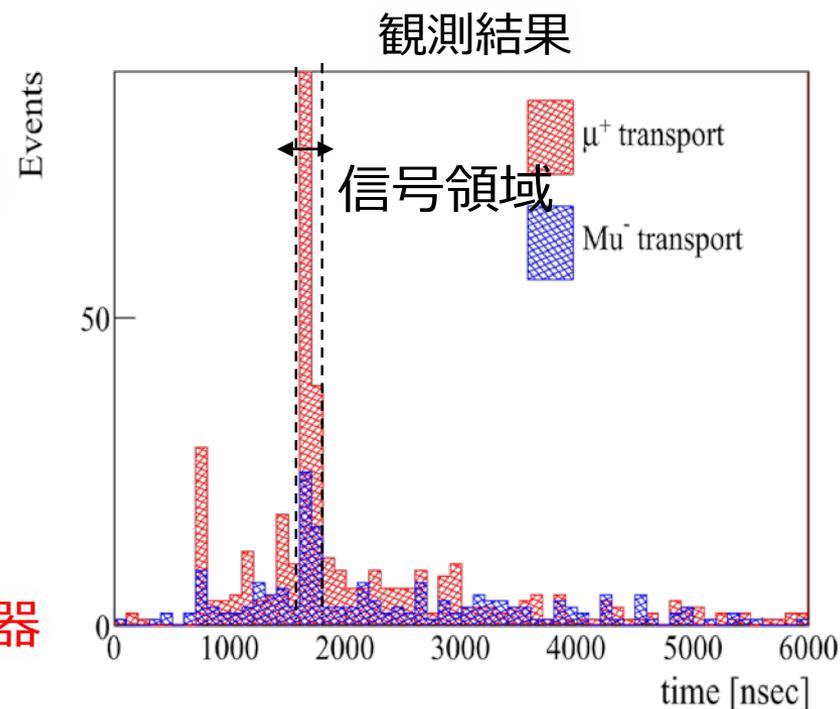
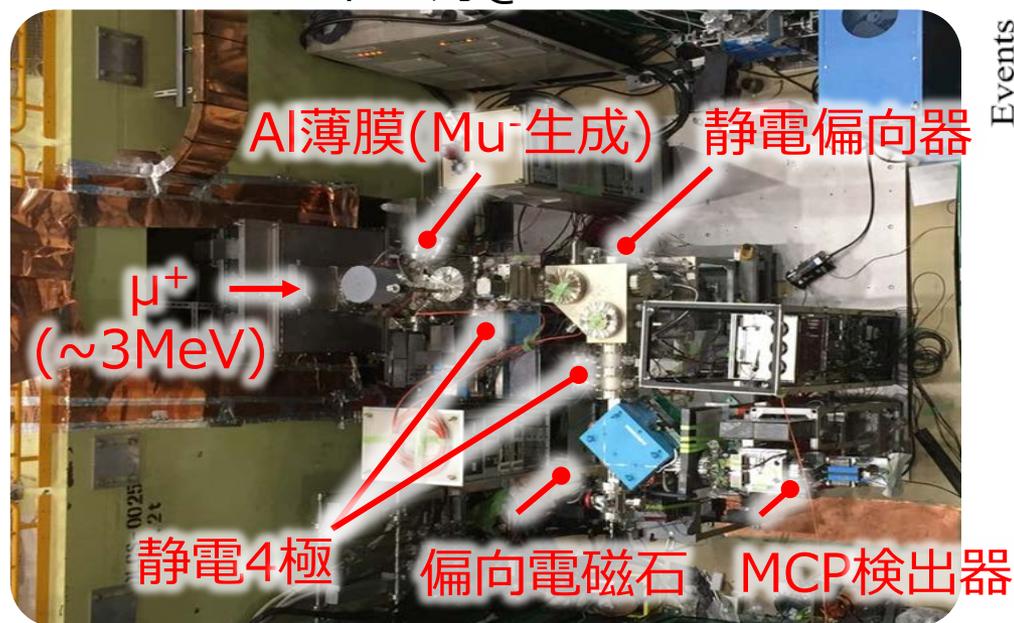


M. Otani et al., Phys. Rev. AB, 19, 040101, 2016.

展望₂

- Mu^- 収量の大強度化 → 荷電変換による大強度 Mu/μ^+ ビームの実現
- 1987年の初観測から議論されてきたが、未だに実験が皆無
 - Cs蒸着金属で10倍以上の収量が示唆 [Proc. of IPAC2017, pp.289802901 (2017)]

2016年12月@J-PARC MLF



大強度化を容易に検証 → 即座にRF加速まで可能

まとめ

- 世界初のミュオンRF加速を実現した。
 - 論文投稿

本研究は日本学術振興会科学研究費JP15H03666、JP16H03987、JP16J07784の助成を受けております。



バックアップ