

J-PARCでのRFQによるミューオン 加速に向けた準備状況と展望 (WEOL05)

R. Kitamura^A, M. Otani^B, Y. Kondo^C, S. Bae^D, S. Choi^D, Y. Fukao^B, K. Futatsukawa^B,
K. Hasegawa^C, H. Inuma^E, K. Ishida^F, N. Kawamura^B, B. Kim^D, T. Mibe^B, Y. Miyake^B,
T. Morishita^C, G. Razuvaev^G, N. Saito^H, K. Shimomura^B, P. Strasser^B

^{A)}University of Tokyo, ^{B)}KEK, ^{C)}JAEA, ^{D)}Seoul National University, ^{E)}Ibaraki University,
^{F)}RIKEN, ^{G)}BINP SB RAS, ^{H)}J-PARC Center

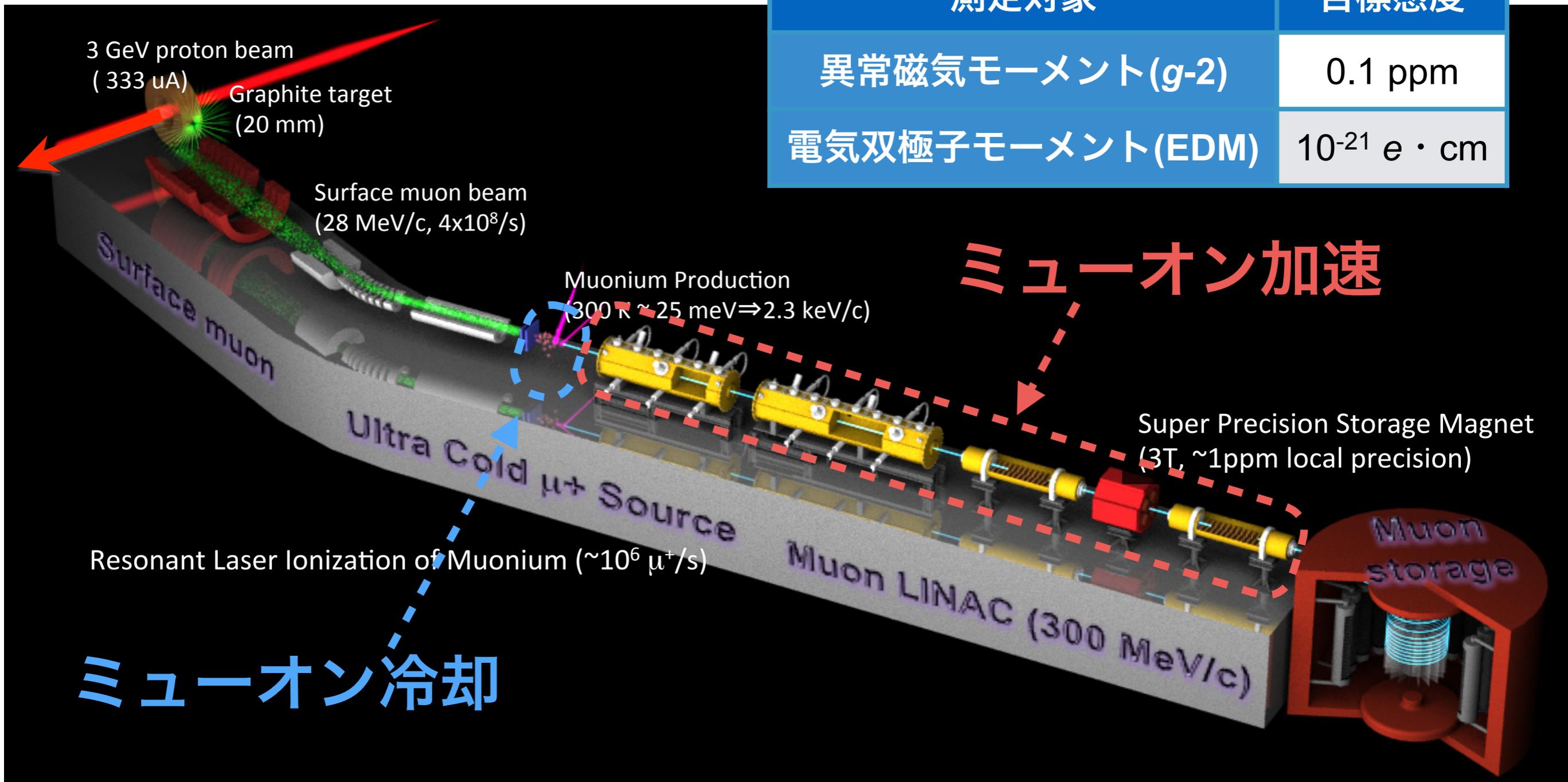
August 2nd 2017
PASJ2017@ Hokkaido Univ.

目次

- J-PARC ミューオン $g-2$ /EDM実験に向けたミューオンリニアック開発
- RFQによるミューオンRF加速実証試験
- 低速ミューオン源開発
- RFQ加速試験に向けた準備状況
- まとめ

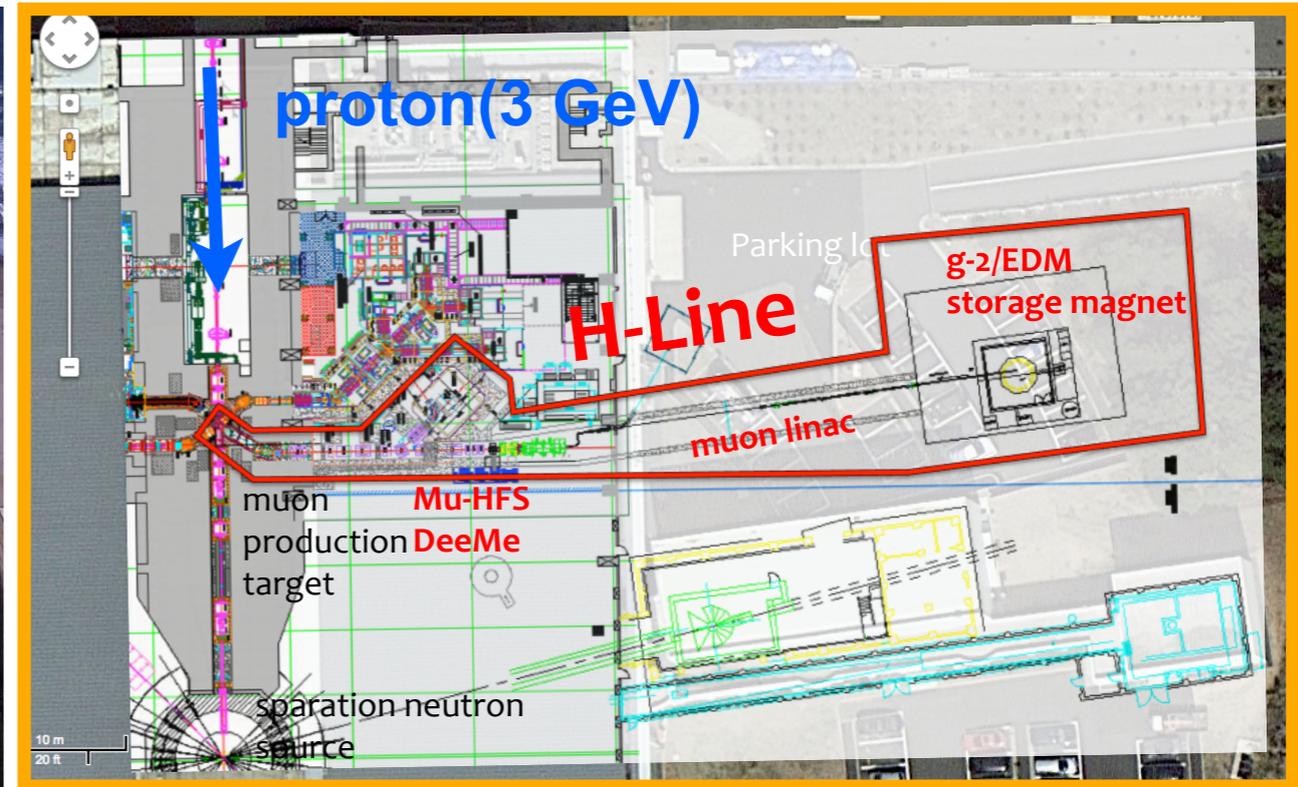
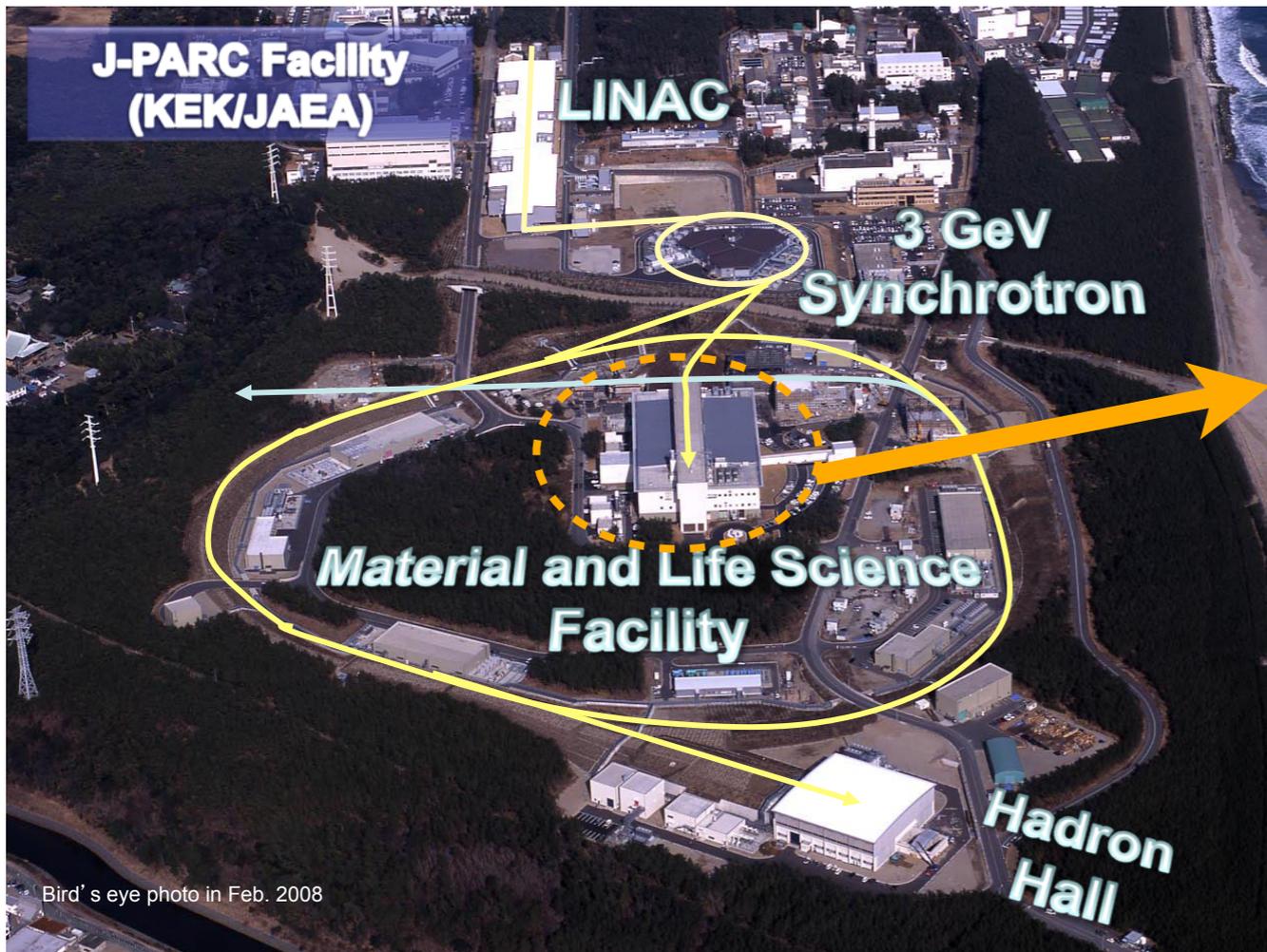
ミュオン $g-2$ /EDM 精密測定 (J-PARC E34)

測定対象	目標感度
異常磁気モーメント ($g-2$)	0.1 ppm
電気双極子モーメント (EDM)	$10^{-21} e \cdot \text{cm}$



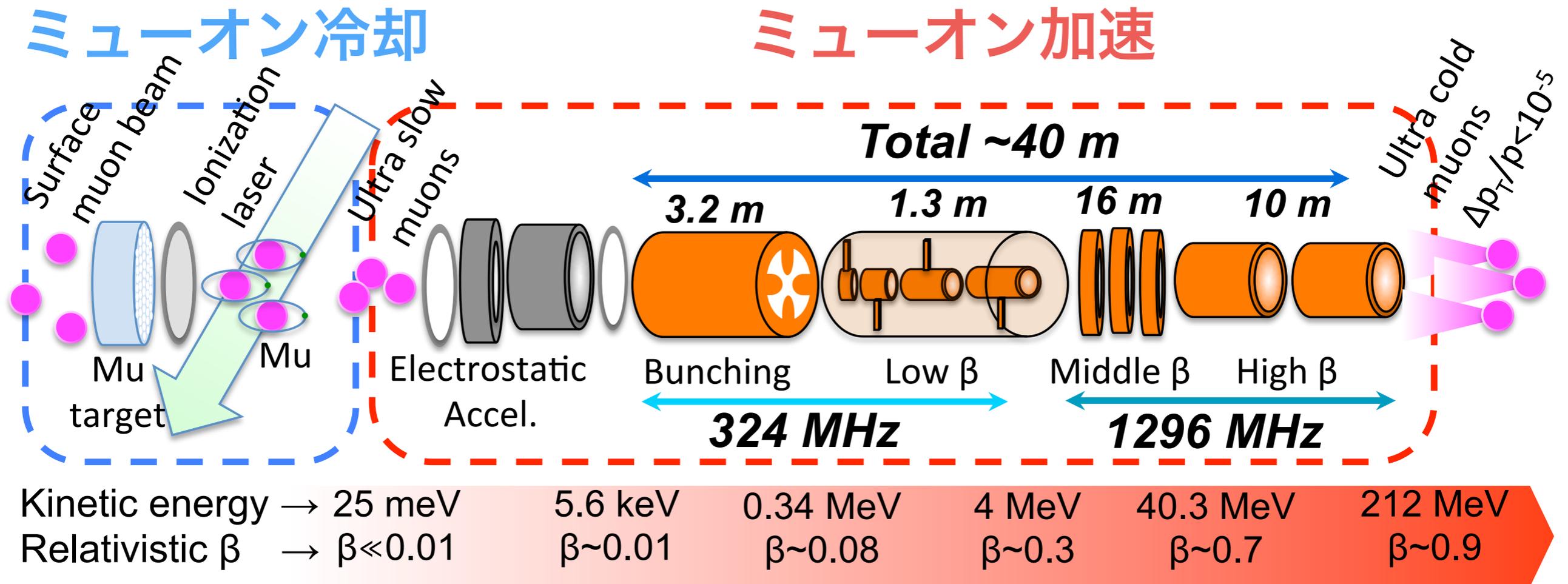
低エミッタンスビームにより素粒子標準模型を超えた物理を探索

実験サイト：J-PARC MLF



- 大強度陽子加速器施設J-PARC (茨城県東海村)
- 物質生命科学棟 MLF (Material and Life science Facility)
- 基礎実験用ミュオンビームライン (Hライン)を新たに建設

ミュオンリニアック

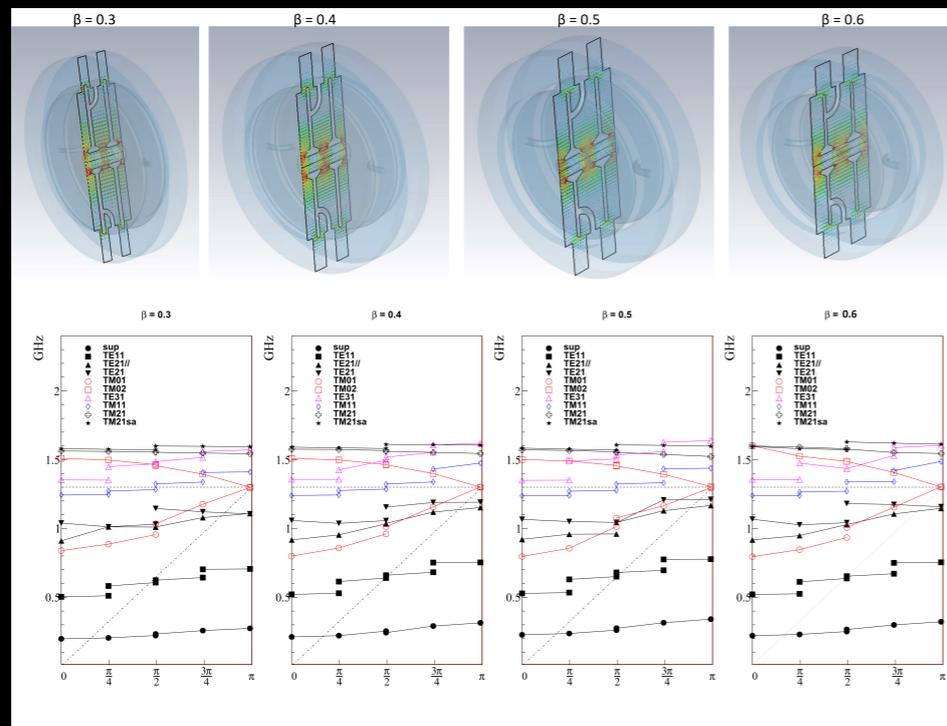


- 低エミッタンスミュオンビームを実現
 - ミュオン冷却
 - ミュオン加速
- ミュオンのRF加速は世界初

エネルギー	212 MeV
ビーム強度	1×10^6 /sec
繰り返し周期	25 Hz
パルス幅	10 ns
規格化横エミッタンス	1.5π mm · mrad
運動量幅	0.1%

これまでの加速器学会での発表

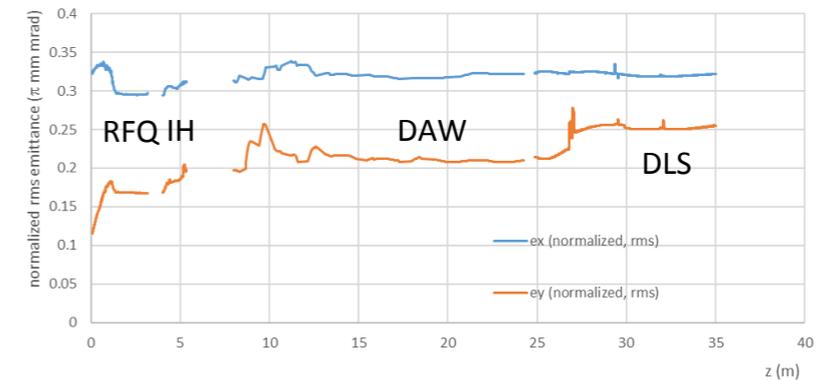
結果



空洞設計が完了→コールドモデルで実証予定

15

End to end シミュレーションまとめ



	入射	RFQ	IH	DAW	DLS
粒子シミュレーションコード	GEANT4	PARMTEQM	GPT	PARMILA	GPT
透過率 (%)	87	94.7	99.9	99.5	99.9
崩壊ロス (%)	17	19	2	4	1
$\epsilon_{n, rms, x}$ (π mm mrad)*	0.38	0.30	0.32	0.32	0.32
$\epsilon_{n, rms, y}$ (π mm mrad)*	0.13	0.17	0.20	0.21	0.25
* 規格化rmsエミッタンス					

2016/8/8

近藤恭弘 第13回日本加速器学会年会@幕張メッセ国際会議場

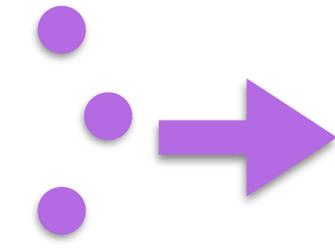
12

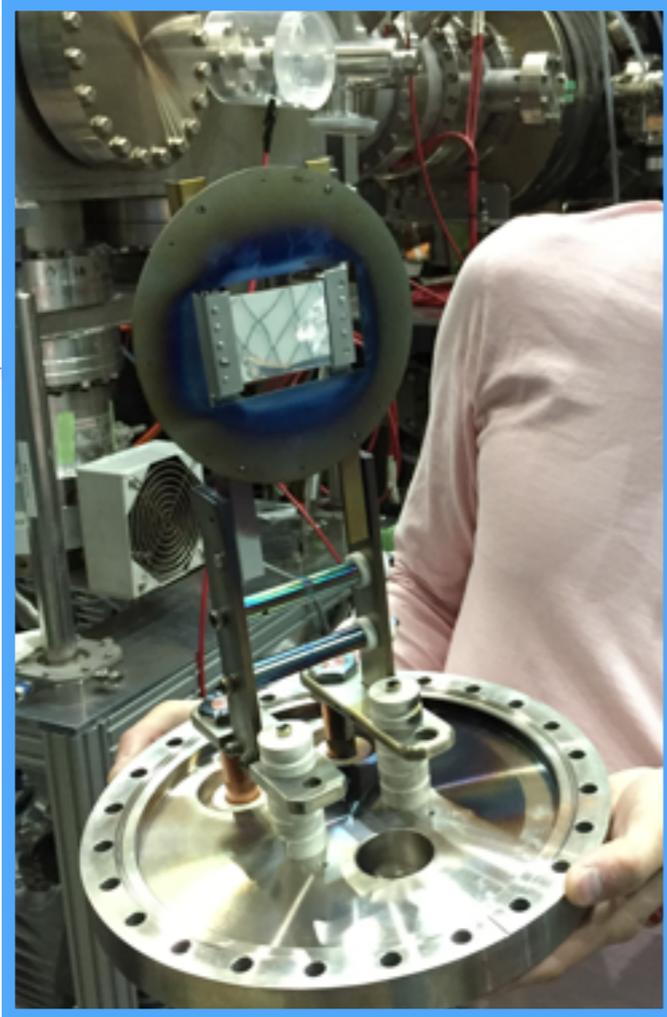
第12回加速器学会 by M.Otani et al.

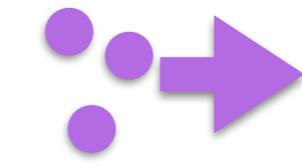
第13回加速器学会 by Y.Kondo et al.

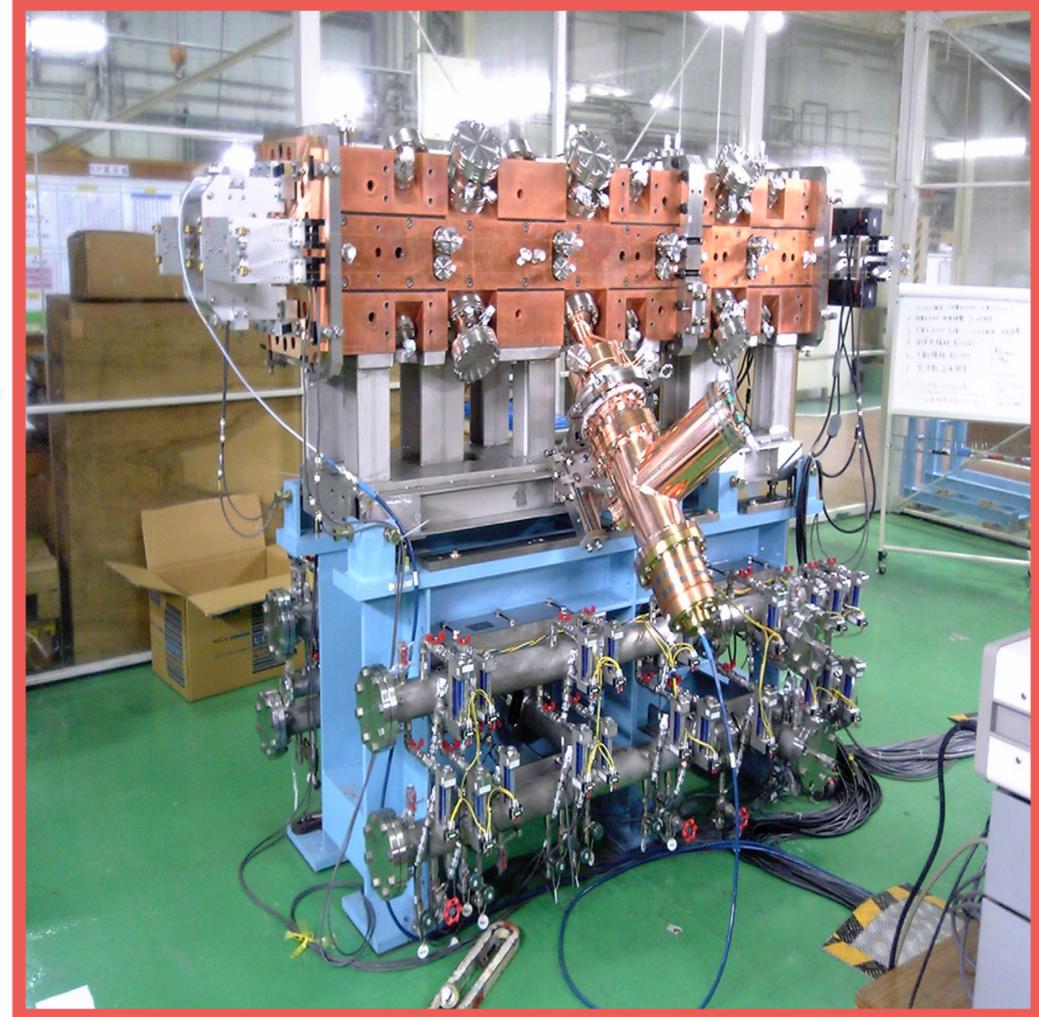
- 2015年(第12回)@敦賀→ミュオンリニアック専用空洞の設計
- 2016年(第13回)@幕張→ミュオンリニアック基本設計を完了
- 2017年(第14回)@北大→ミュオンRF加速実証試験へ

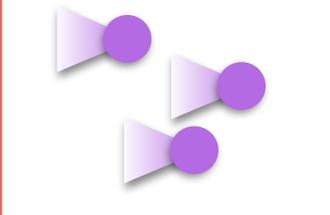
ミュオンRF加速実証試験


μビーム
(~4 MeV)




減速μ
(5.6 keV)




加速μ
(~100 keV)

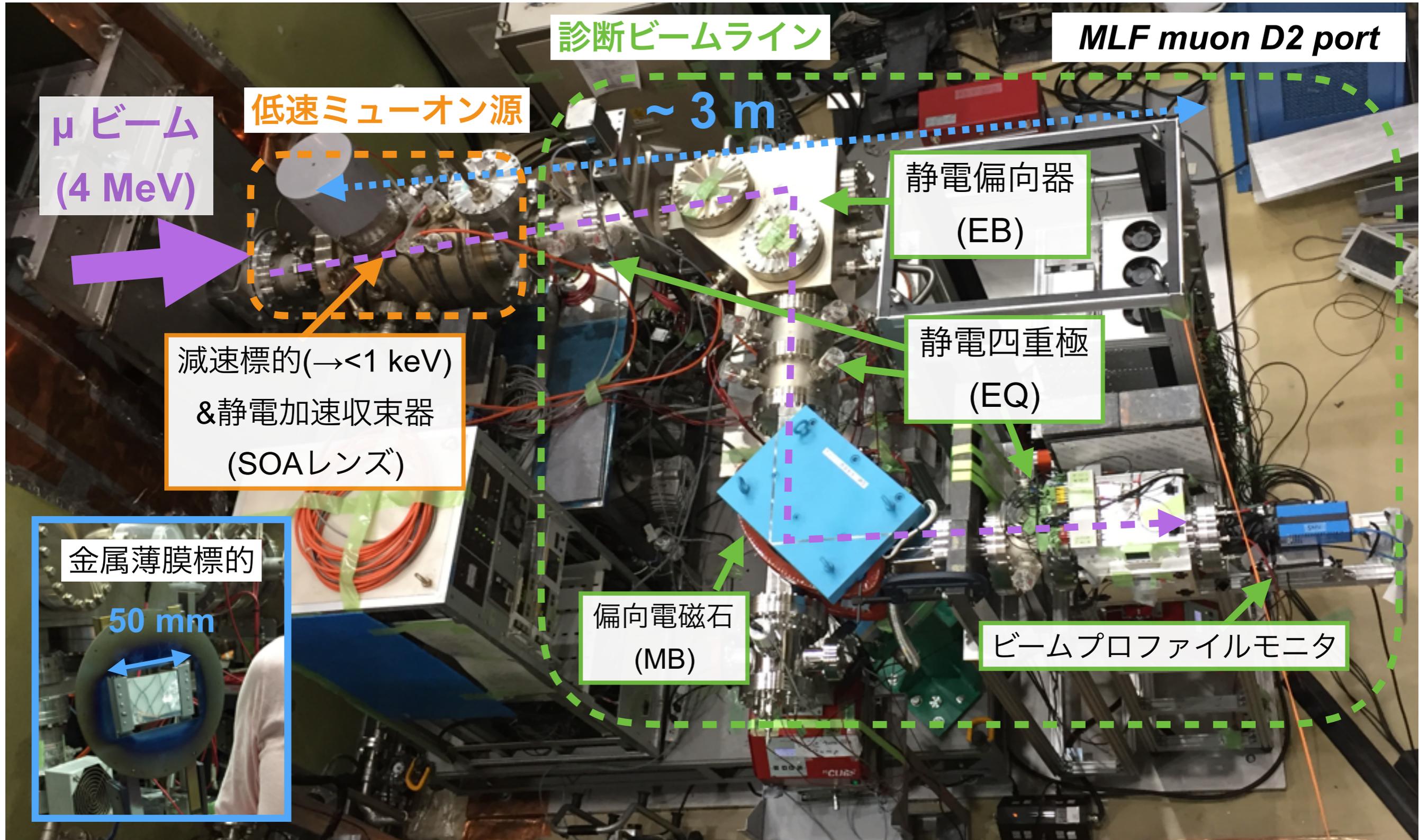
Mu-イオン解離レーザー法に代えて
簡易的な金属薄膜標的による減速(<1 keV)
→静電加速収束器により5.6 keVまで再加速

*J-PARC*陽子リニアックのプロトタイプRFQ
5.6→~100 keVまでのRF加速($f=324$ MHz)

- 全長2 mのRFQを用いてミュオンを100 keVまで加速
- RFQの入射エネルギー(5.6 keV)にマッチしたμビームが必要

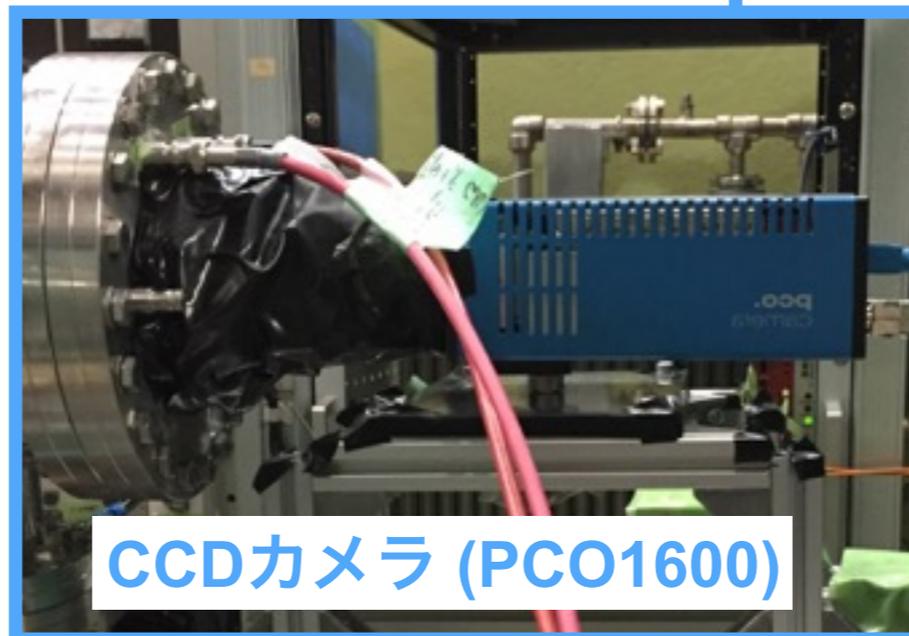
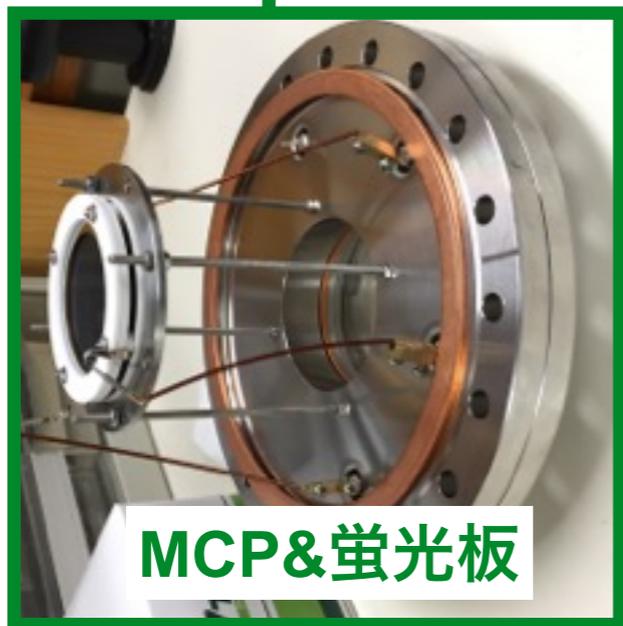
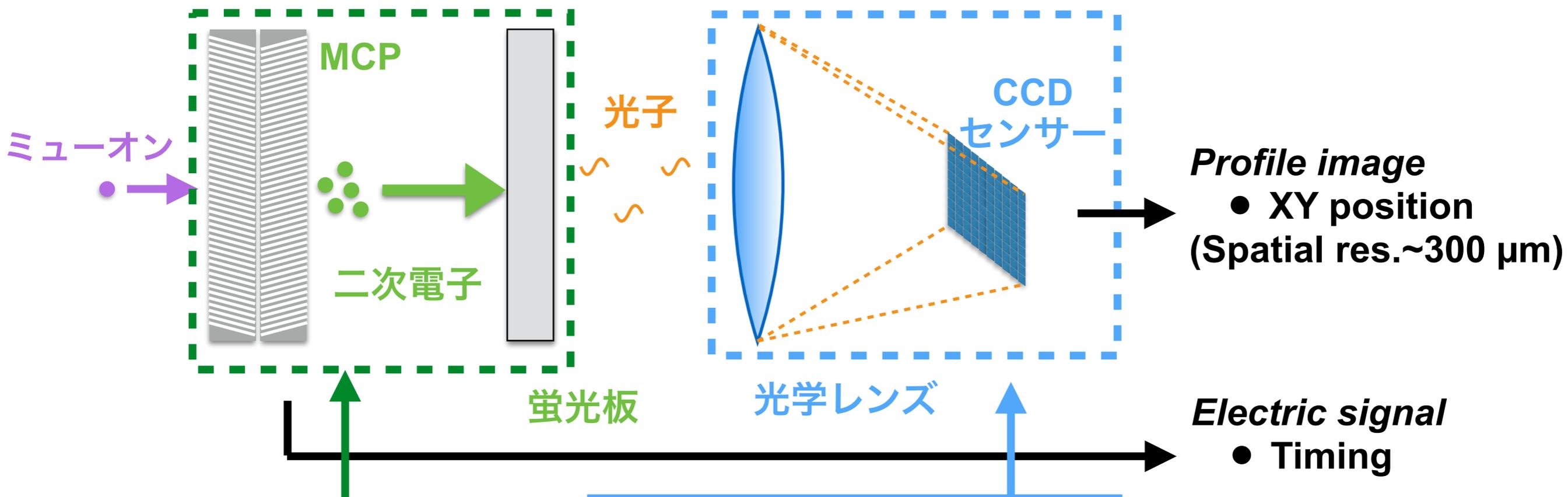
金属薄膜で減速した低速ミュオン源(<1 keV)の開発

低速ミュオン源実験セットアップ



- 低速ミュオン生成&ビーム取り出し実証試験(2016/12)
- 低速ミュオンビームプロファイル測定試験(2017/03)

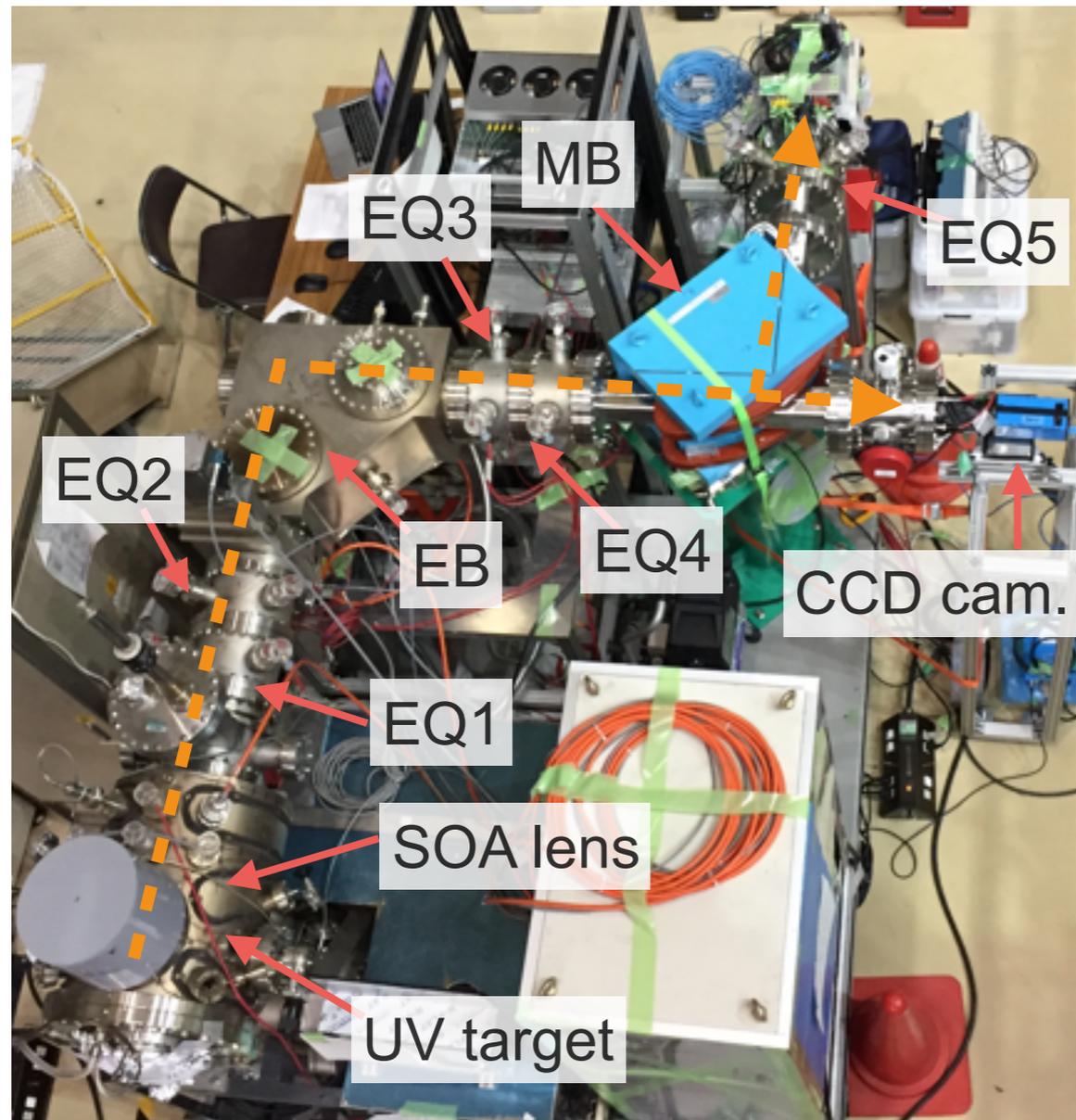
低速ミュオン専用ビームプロファイルモニタ



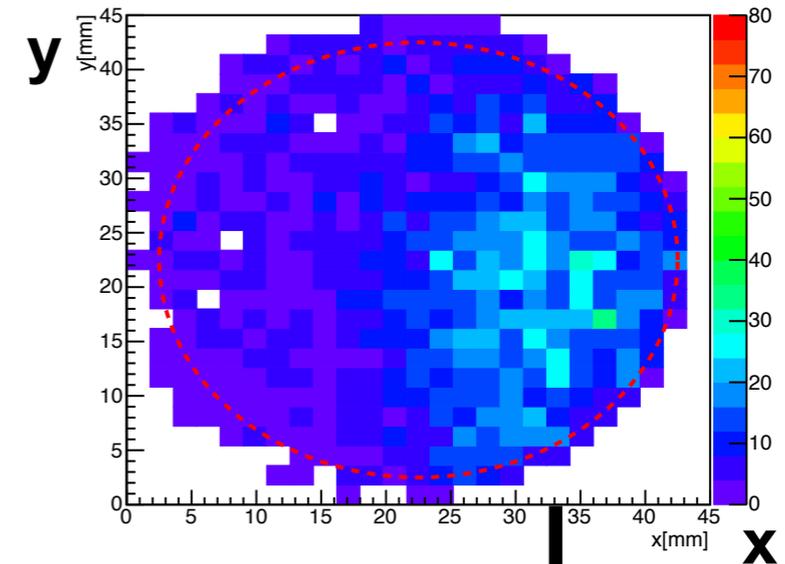
- シングルミュオンから測定可能な専用ビームモニタ
- **低エネルギーミュオンビームのプロファイルが測定可能**

輸送ビームラインのコミッショニング

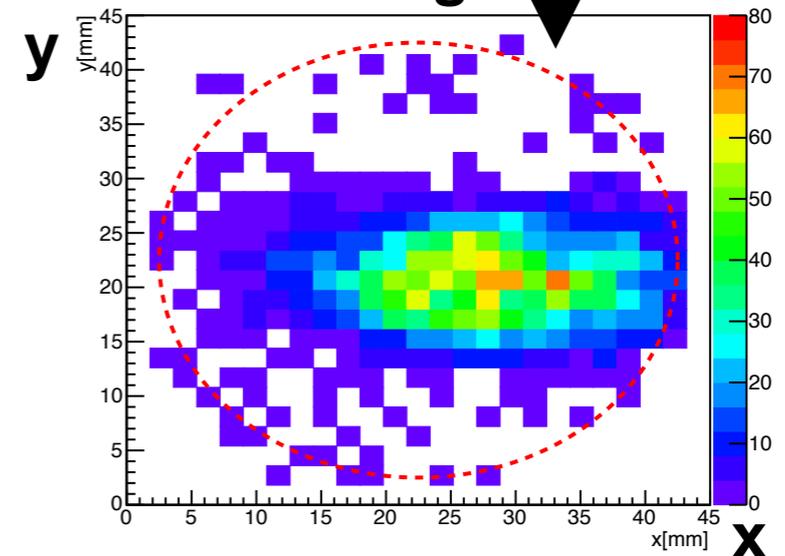
コミッショニングのセットアップ



Before EQ tuning (ion beam)

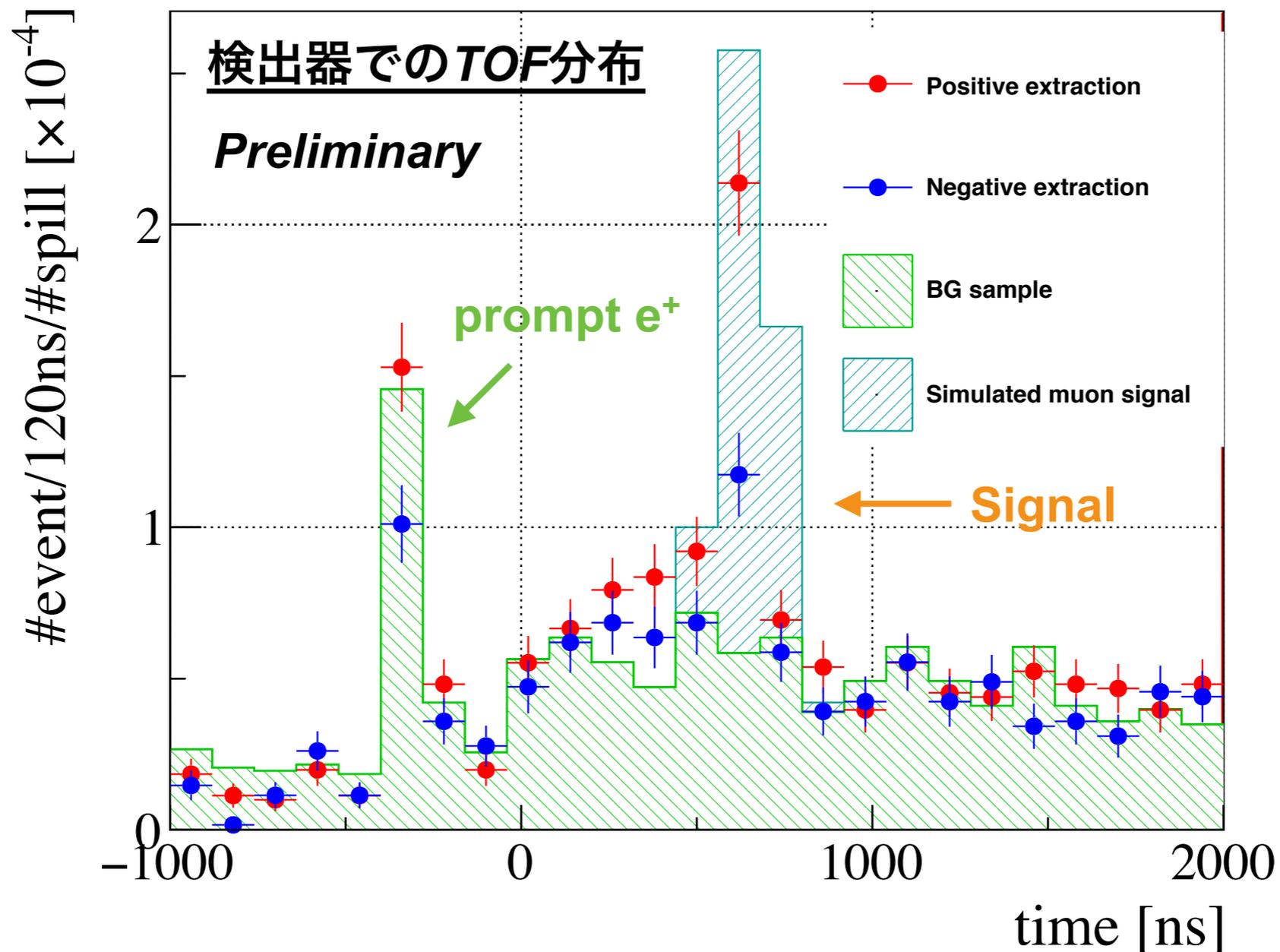


After EQ tuning



- ビームプロファイルモニタを輸送ビームラインへ設置して、イオンビームによりコミッショニング
- UV光で生成した水素分子イオンをビーム源として輸送
- ビームプロファイル測定結果に基づき、EQ電圧とSOAレンズのビーム軸を調整
- **BPMの有効半径内($\phi 40$)へとビームを輸送できることを確認**

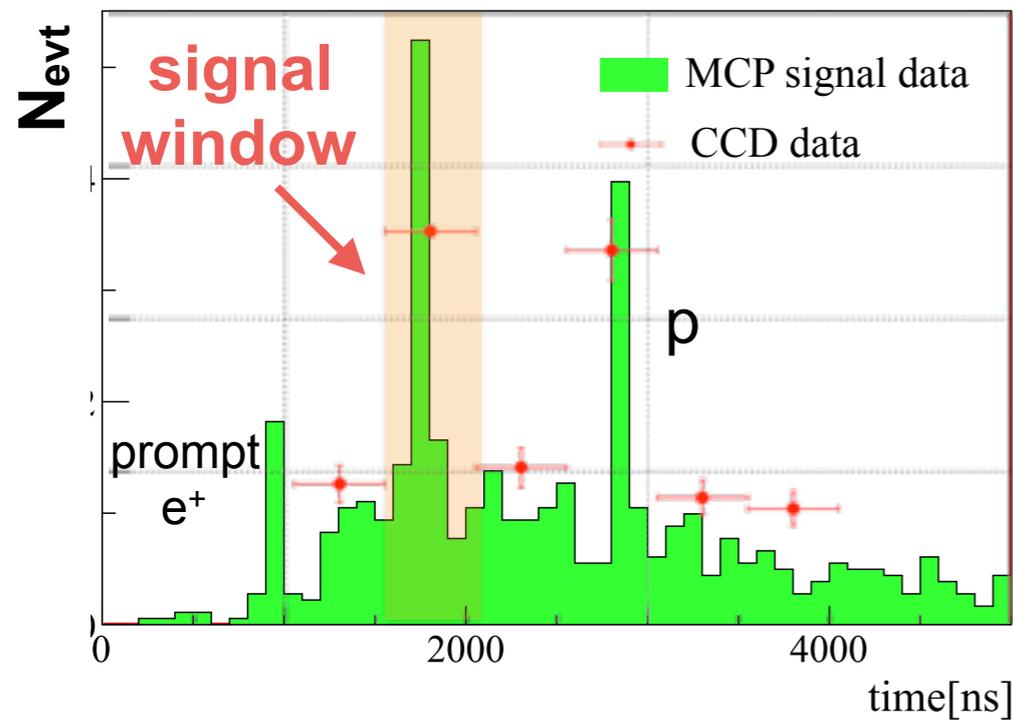
低速ミュオン生成実験



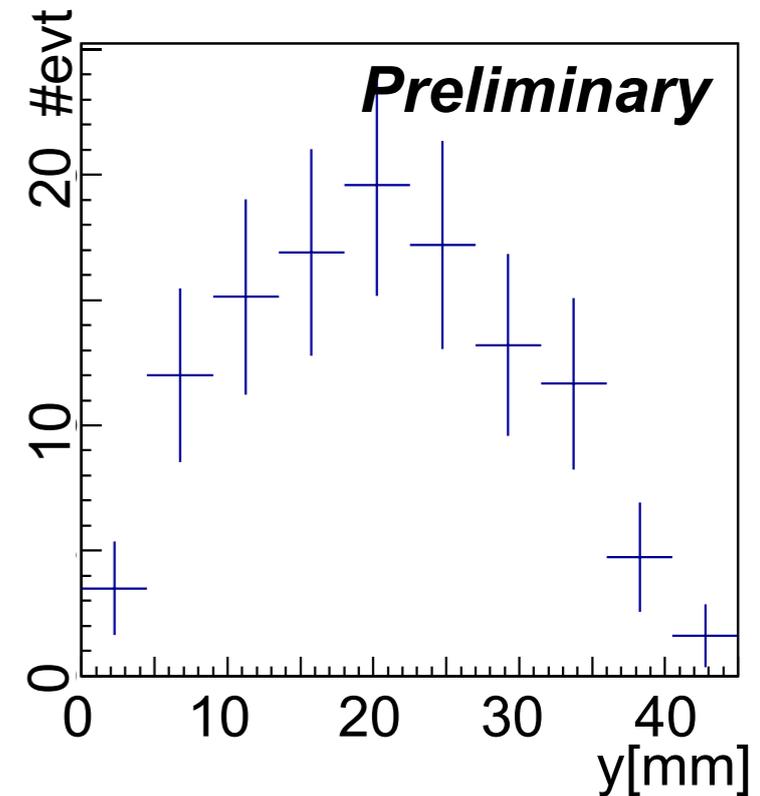
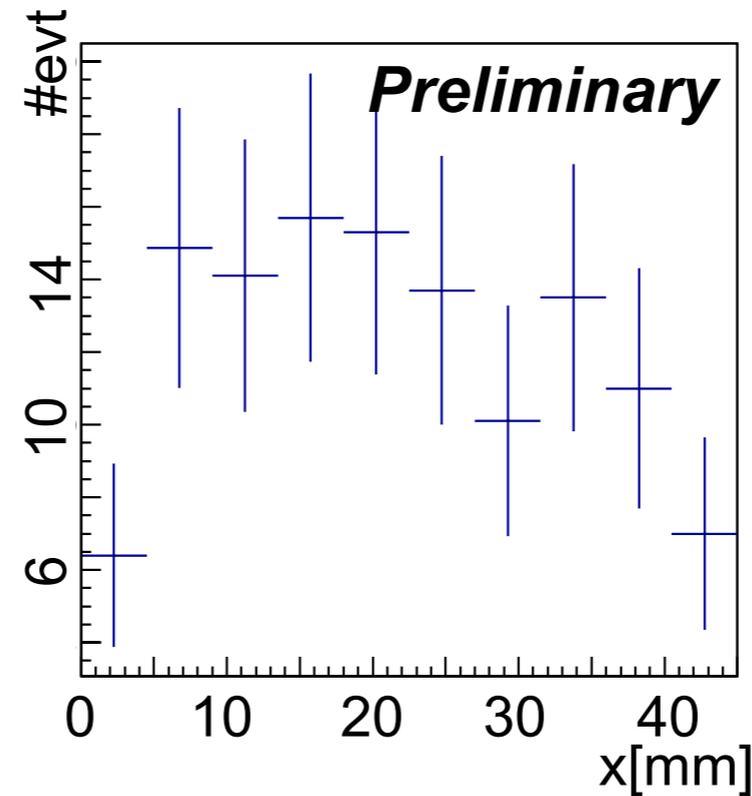
- Time-Of-Flight(TOF)を測定することで、ミュオンを同定
- SOAレンズ及び輸送ビームラインの極性を正/負にすることで運動エネルギー1 keV以下の減速 μ^+/μ^- ($\mu^+e^-e^-$ の束縛状態)を生成・観測
- **RFQ試験へ必要な低速ミュオン源として利用可能**

低速 μ ビームプロフィール測定

CCDとMCPのトリガー同期

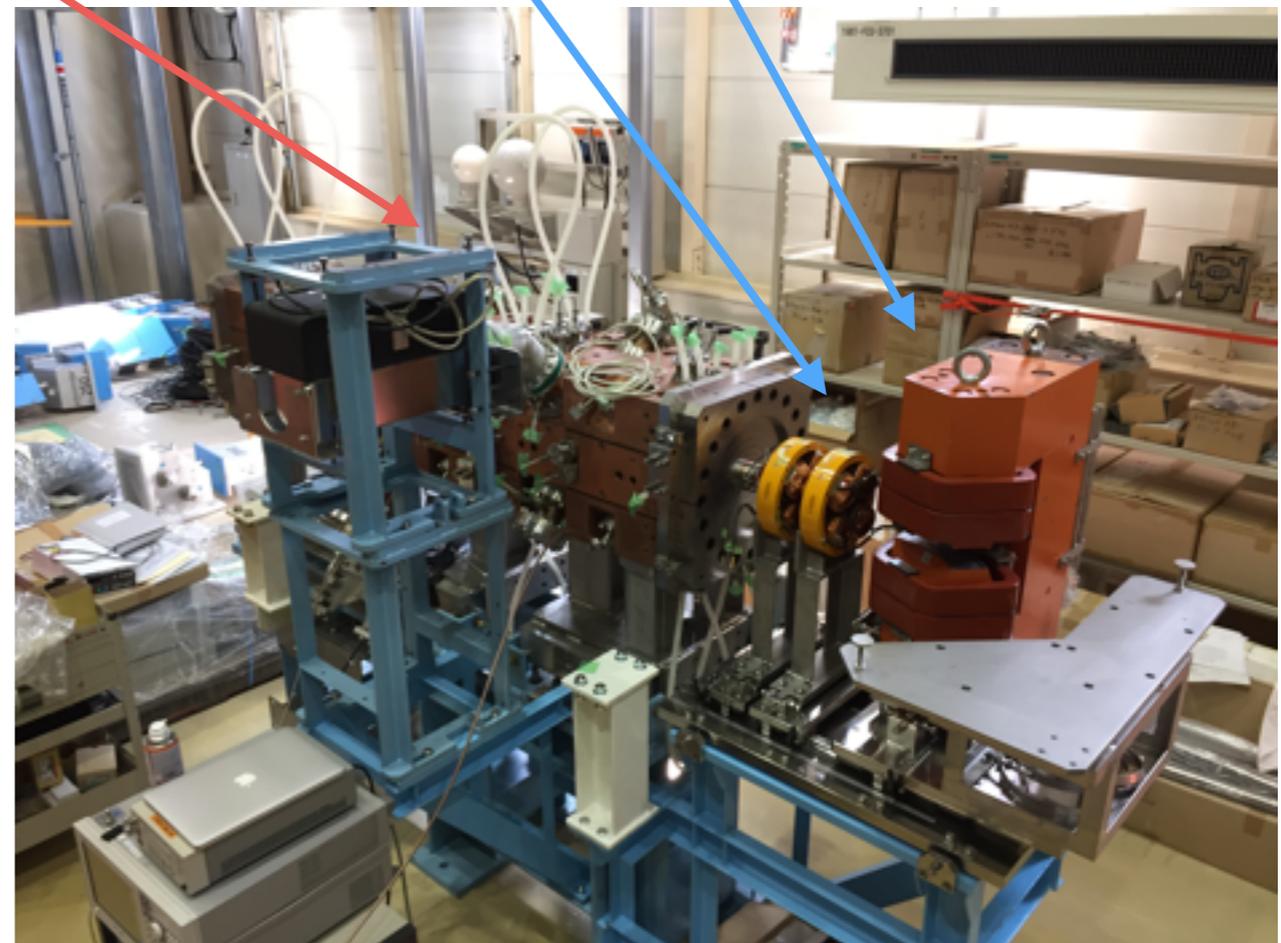
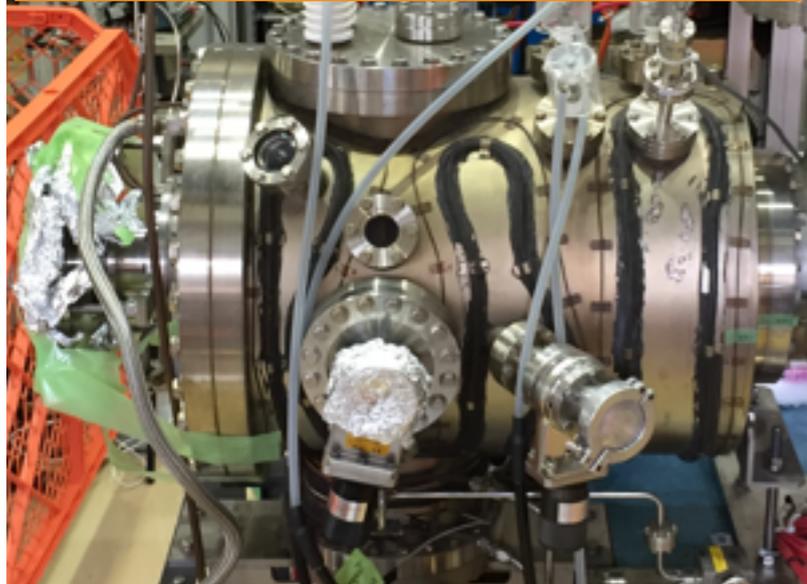
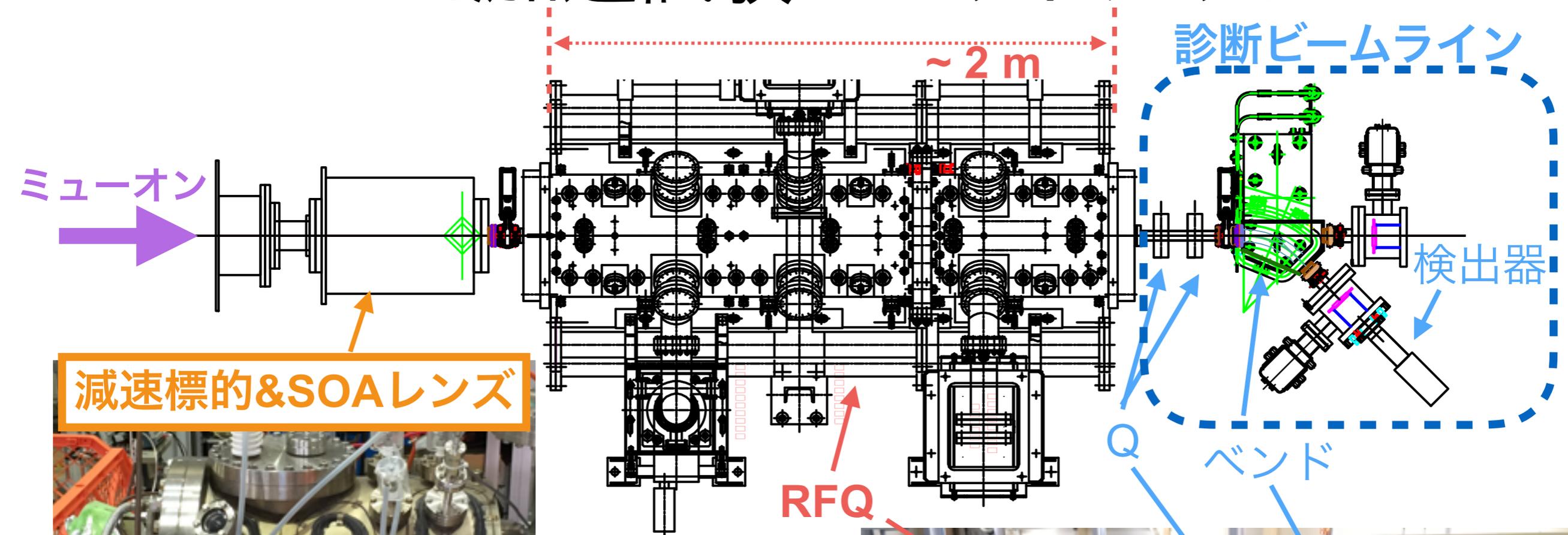


減速 μ^+ ビームのプロファイル測定結果



- CCDカメラのトリガータイミングスキャンを行い、ミュオンビーム到達時刻にトリガーを調整して、ミュオンビームのプロファイルを測定した
- 測定したプロファイルデータの解析が進行中

RFQ加速試験のセットアップ

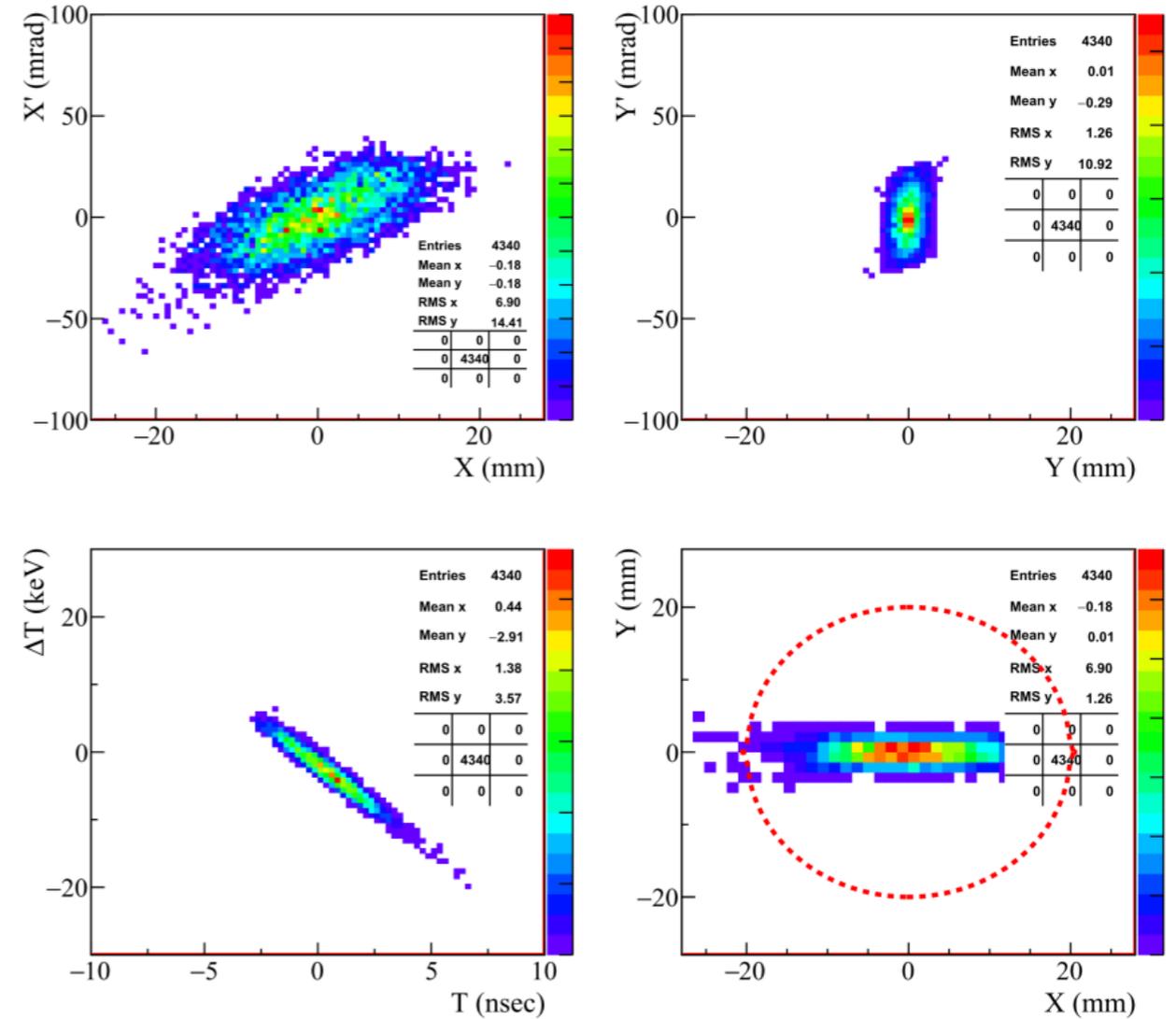


- RFQ試験セットアップ
- 減速標的&SOAレンズ、RFQ、診断ビームラインから構成
- 2017年8月中に完成、オフライン試験を行う予定

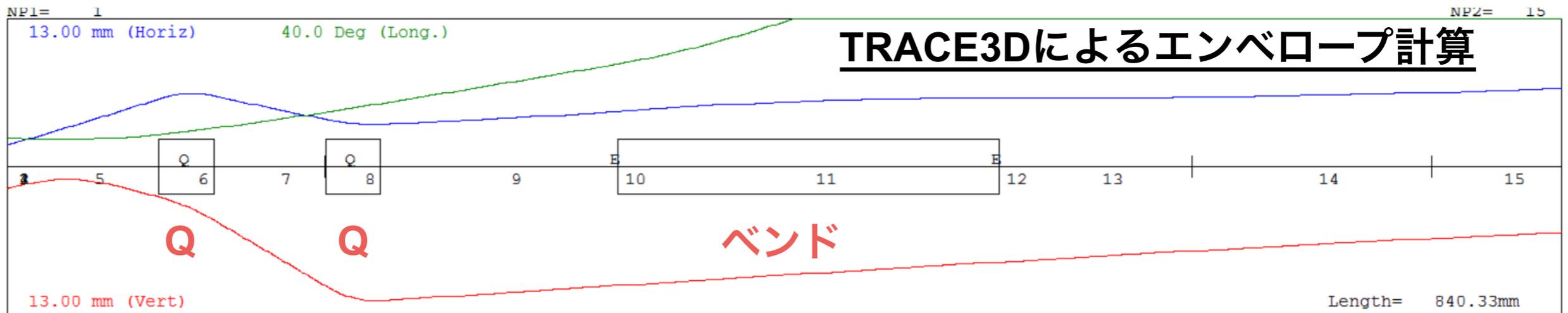
診断ビームラインによるビーム輸送

- PARMTEQM(RFQ)、TRACE3D・PARMILA(診断ビームライン)の各シミュレーションコードで粒子軌道を計算
- Qによりビームを収束させつつ検出器まで輸送
- **輸送効率~90%の光学系を設計**

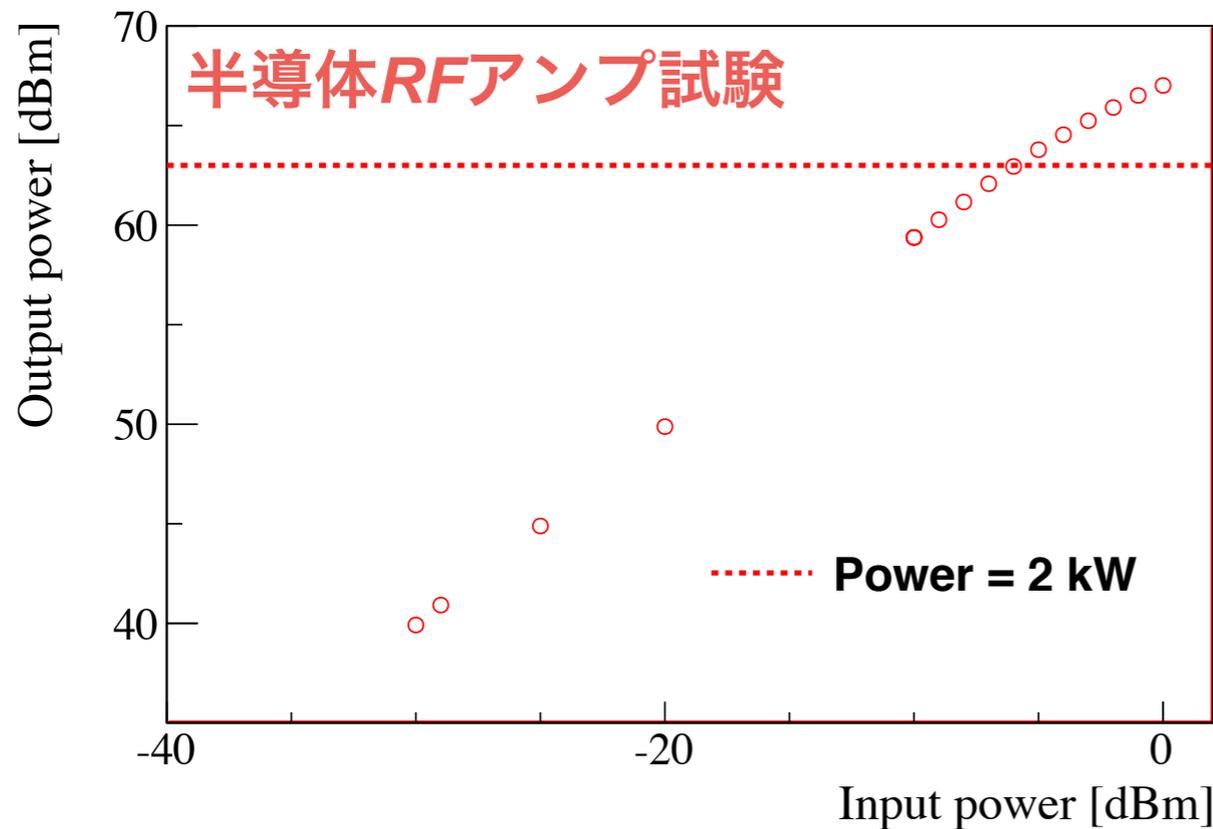
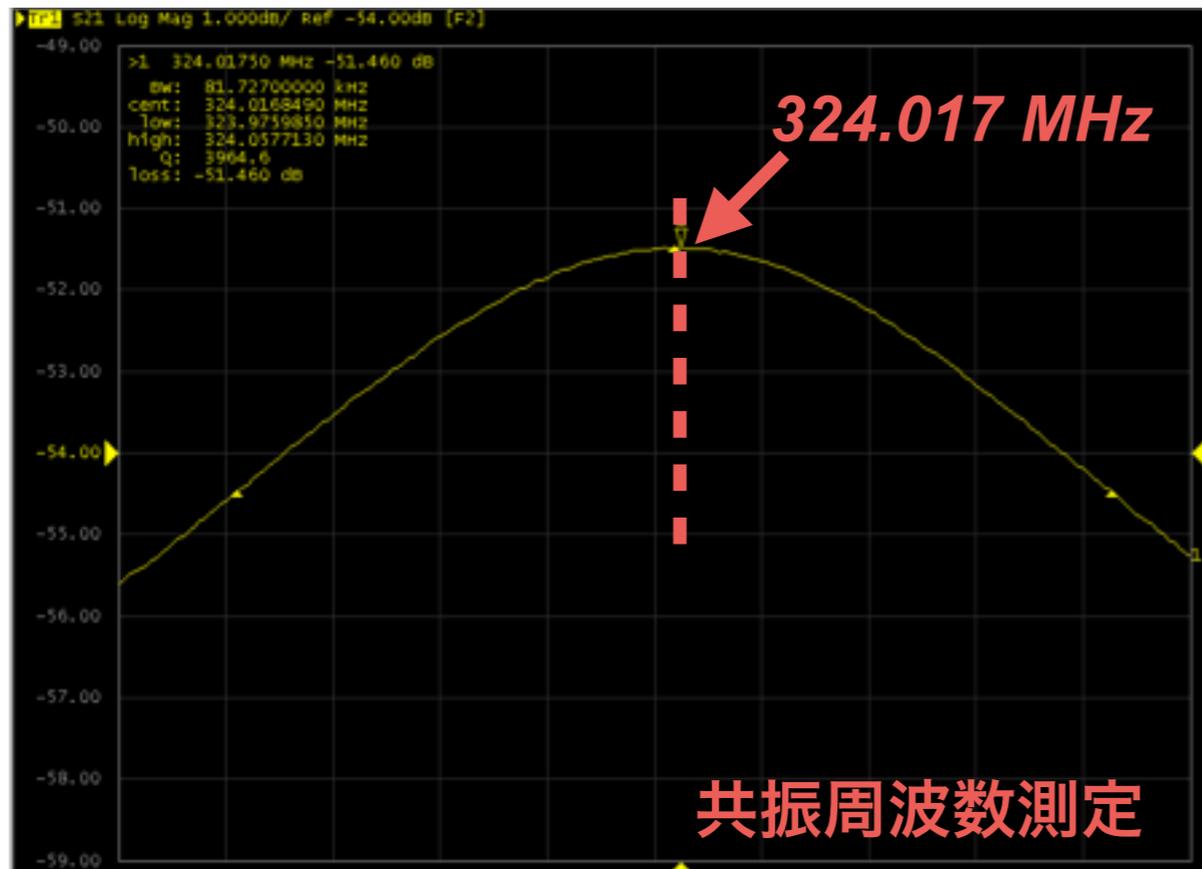
検出器での位相空間分布



TRACE3Dによるエンベロップ計算

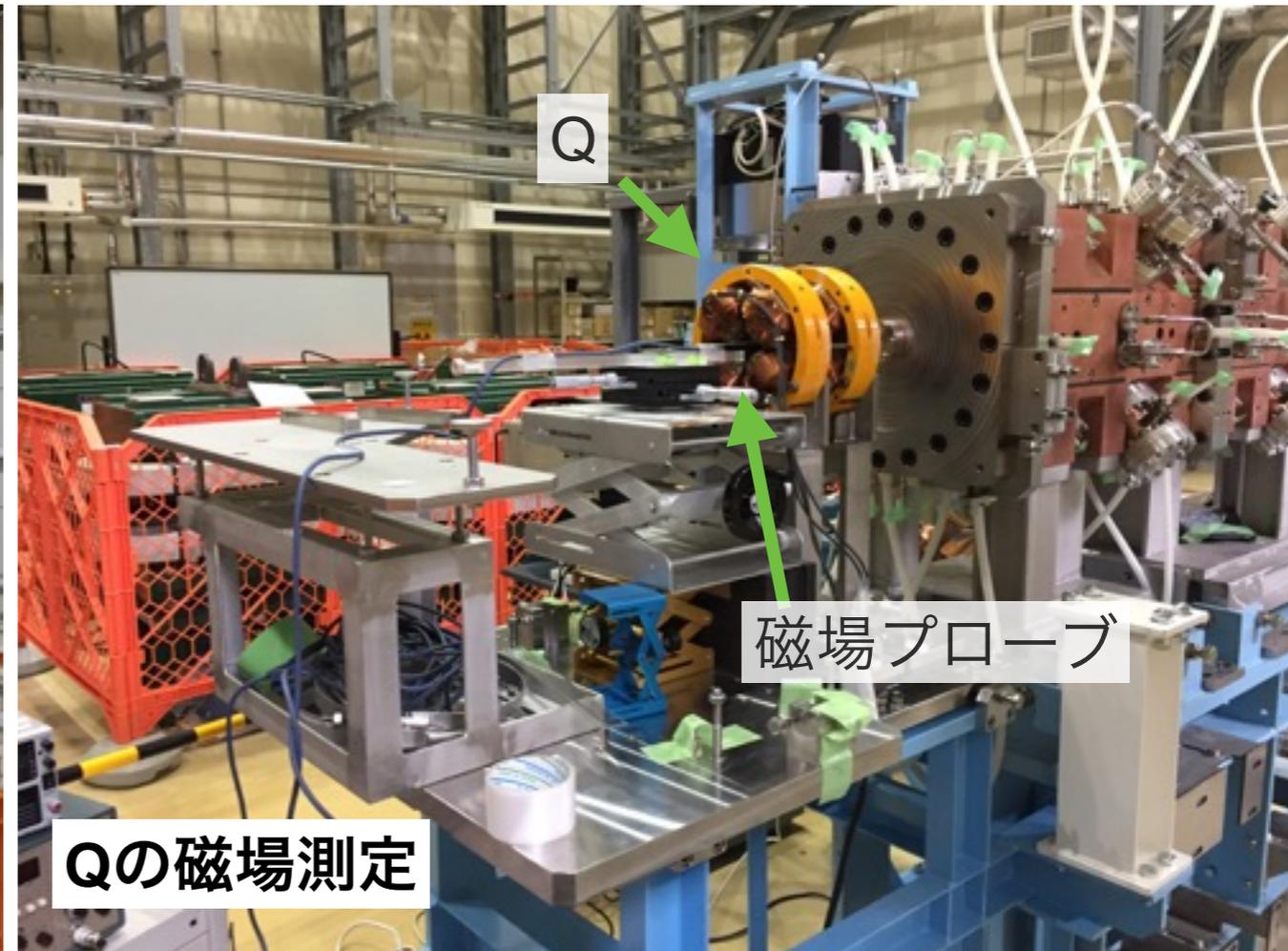


RFQの準備状況



- RFQ立ち上げ
- 共振周波数測定
 - $f=324$ MHz
- RFアンプの動作試験
 - $P_{out} > 2$ kW(必要電力)
- **RFQの準備を完了**

診断ビームラインの準備状況



Thanks to KEKB group!

- RFQ~診断ビームラインの各機器をレーザートラッカーなどでアライメント
- Qの磁場は実測とOPERAによる磁場シミュレーションによりクロスチェック
- **8月から全機器を立ち上げ→オフライン試験へ**

まとめ

- 世界初のミュオンリニアック実現に向けて、RFQを用いたミュオン加速実証試験の準備を進めている。
- RFQ加速試験に必要な低速ミュオン源、専用ビームプロファイルモニターを開発し、ビーム試験により必要な性能が出ていることを確認した。
- 加速試験セットアップの構築、動作試験を進めている。世界初のミュオンRF加速試験は2017年11月にJ-PARC MLFにて実施予定である。