

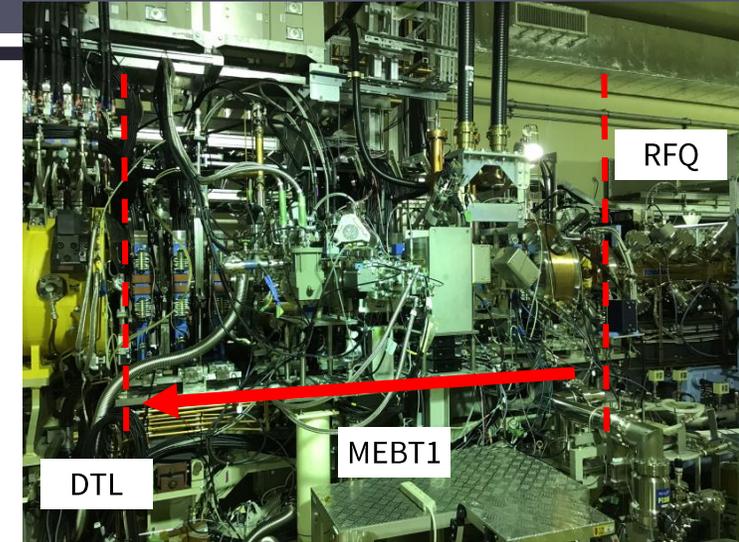
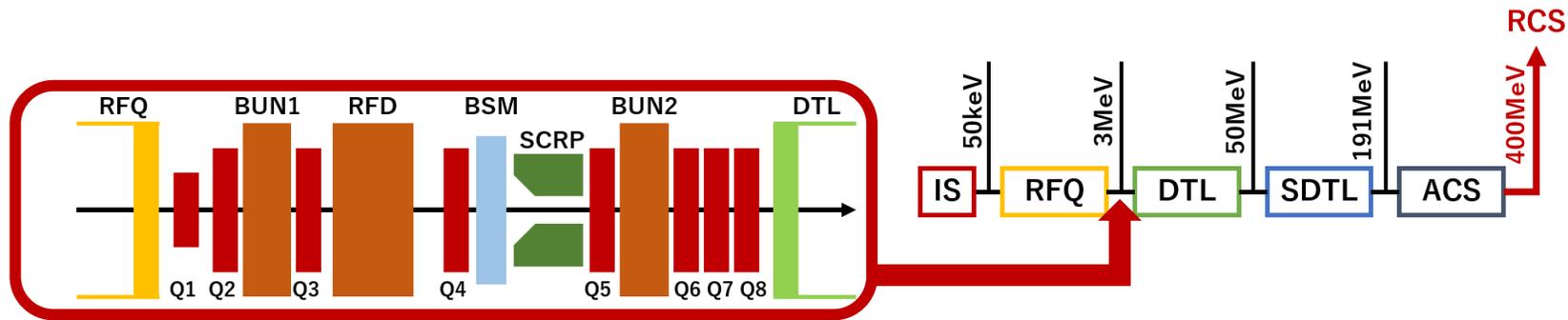
J-PARCリニアックDTLの入射マッチング改善に向けた 中エネルギービーム輸送系(MEBT1)のビーム測定

楊井京輔^{1,2}

飯沼裕美² 大谷将士³ 近藤恭弘¹ 平野耕一郎¹ 宮尾智章³ 守屋克洋¹

¹日本原子力研究開発機構 ²茨城大学理工学研究科 ³高エネルギー加速器研究機構

J-PARC リニアック MEBT1



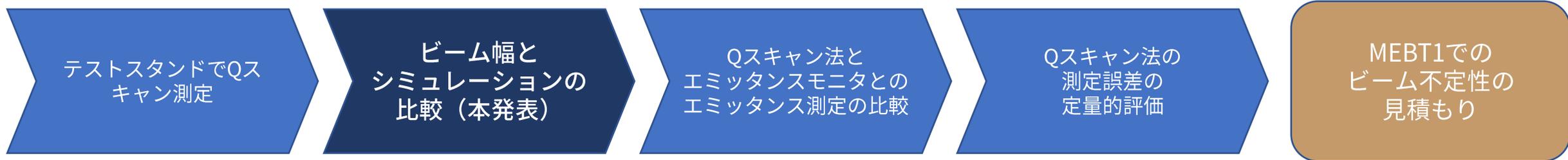
- J-PARC リニアックの中エネルギービーム輸送系(MEBT1)
- 2018年よりピーク電流を50mAに増強 → MEBT1の透過率がビーム軌道に大きく依存することが判明
- MEBT1下流のDTLでエミッタンスが20~30%増大 → 残留放射線増加の懸念
- ⇒初段RFQと次段DTL間のMEBT1で、DTLとのパラメータの不整合が考えられる
- 運転に最適なビーム軌道が本来想定していたデザイン軌道とは異なる
- ビームの品質を保つにはMEBT1で精密なビーム調整が必要

MEBT1のビーム軌道・Twissパラメータの測定を見直して正しく把握したい

写真：実機MEBT1
赤矢印はビームの方向

MEBT1のビーム測定の見直し

- ①MEBT1のTwissパラメータの正確な把握（エミッタンス測定誤差の評価）
 - MEBT1におけるQスキャン法は測定の系統誤差が定量的に評価されていない
 - MEBT1と同一構成のRFQテストスタンドで測定を行い、実機測定ビームの不定性を見積もる

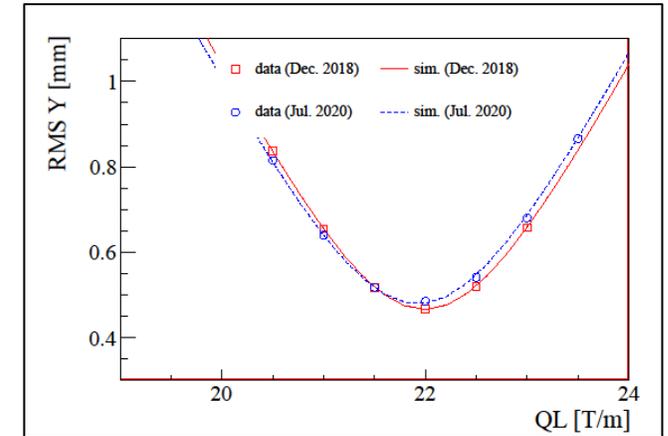


- ②MEBT1のビーム軌道の正確な把握（モニター特性の評価）
 - ⇒ ビーム重心位置情報の健全性確認
 - Beam-based Alignment (BBA)によるビームポジションモニタ(BPM)の中心確認

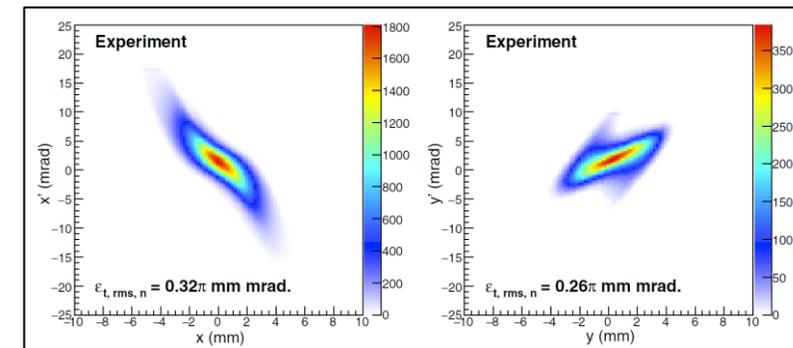


実機MEBT1のエミッタンス測定見直し

- MEBT1を含む現行の実機Linacはスペースの都合上ビームモニタ類を追加不可
- ビーム試験時間も限られる
- 予備用のRFQの試験設備（RFQテストスタンド）を使用
- Qスキャン法の測定誤差を定量的評価を行うために、出射ビームのエミッタンスをを複数の手法で測定
 - ワイヤスキャナモニタx2を用いたQスキャン法
 - エミッタンスモニタによるエミッタンス測定
- 測定結果を比較
 - 最終的な目標はエミッタンスだが、本発表では途中経過としてビームエンベロープの比較を行った結果を報告
- 各モニタの位置が異なるのでシミュレーションも使用し評価
 - 空間電荷効果を考慮したビーム輸送計算としてIMPACTを使用
 - ビームの初期条件はRFQシミュレーション結果を適用

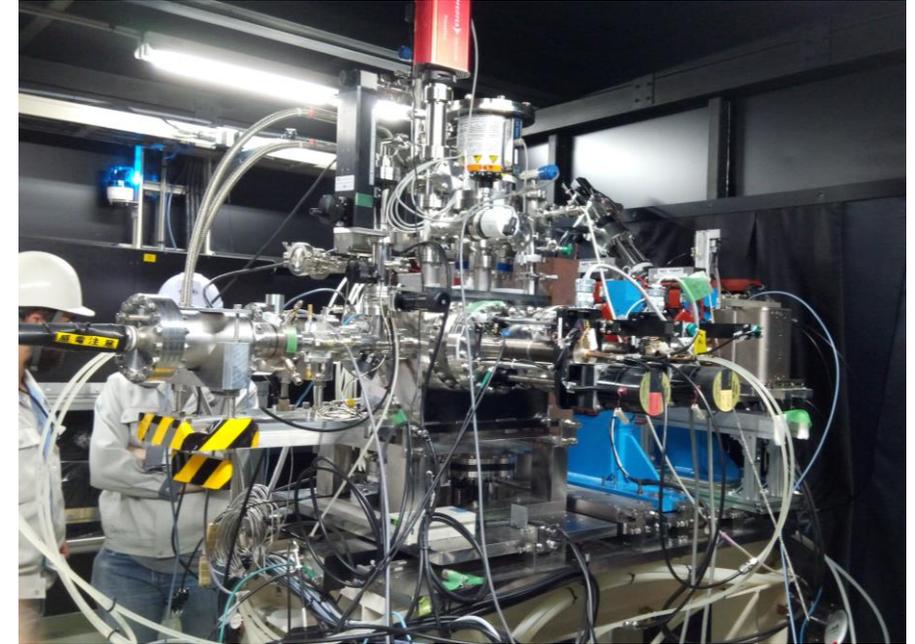


相互に比較し
測定誤差を評価
※図は上下ともに測定例

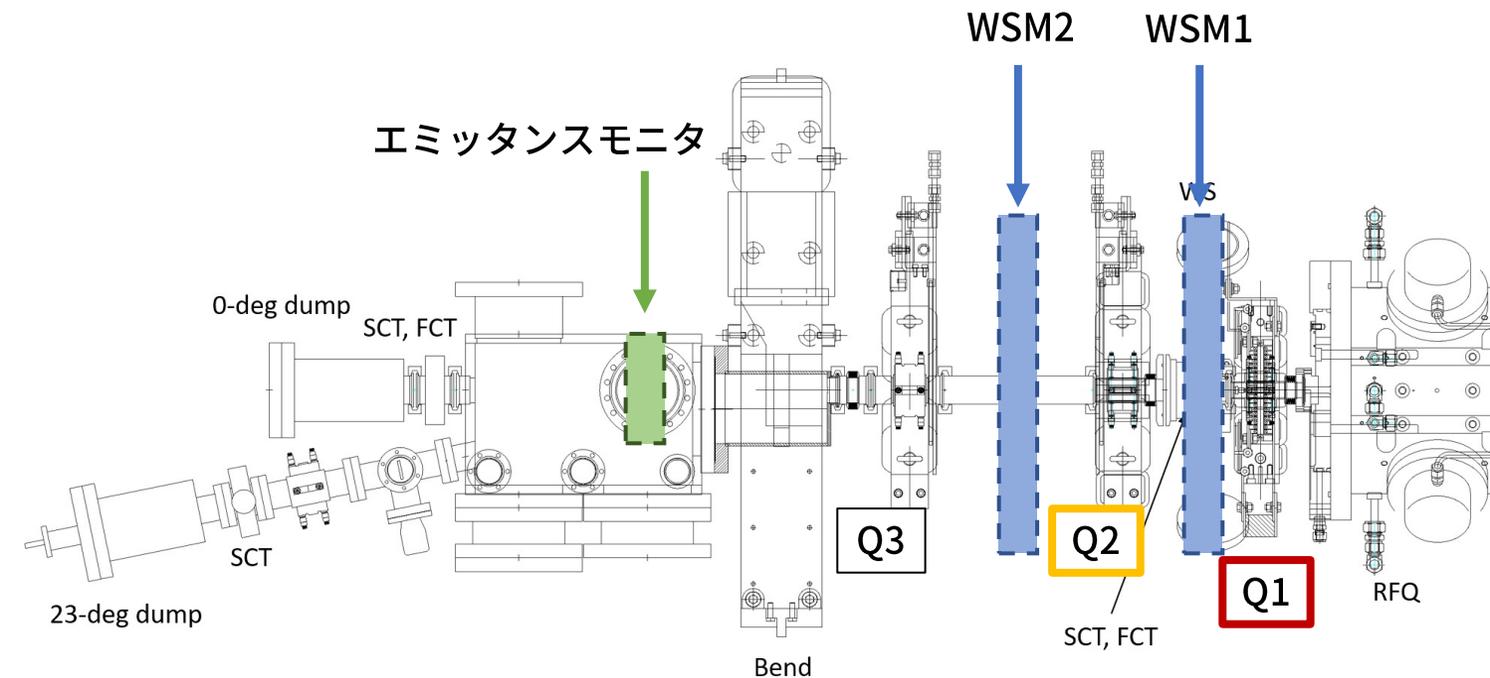


RFQテストスタンド

- 実機MEBT1と上流側Q3まで同等の構成
- Q1-Q2間, Q2-Q3間にワイヤスキャナを設置
- ビーム試験用チャンバー内にエミッタンスモニタ (ダブルスリット+ファラデーカップ) を設置

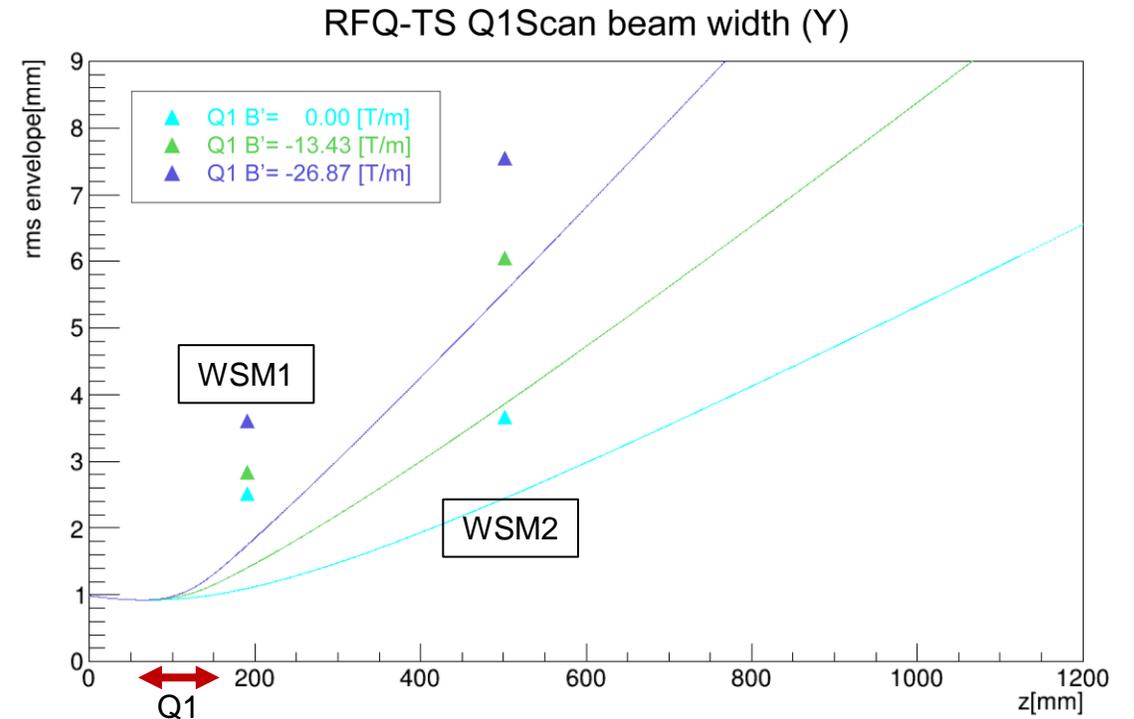
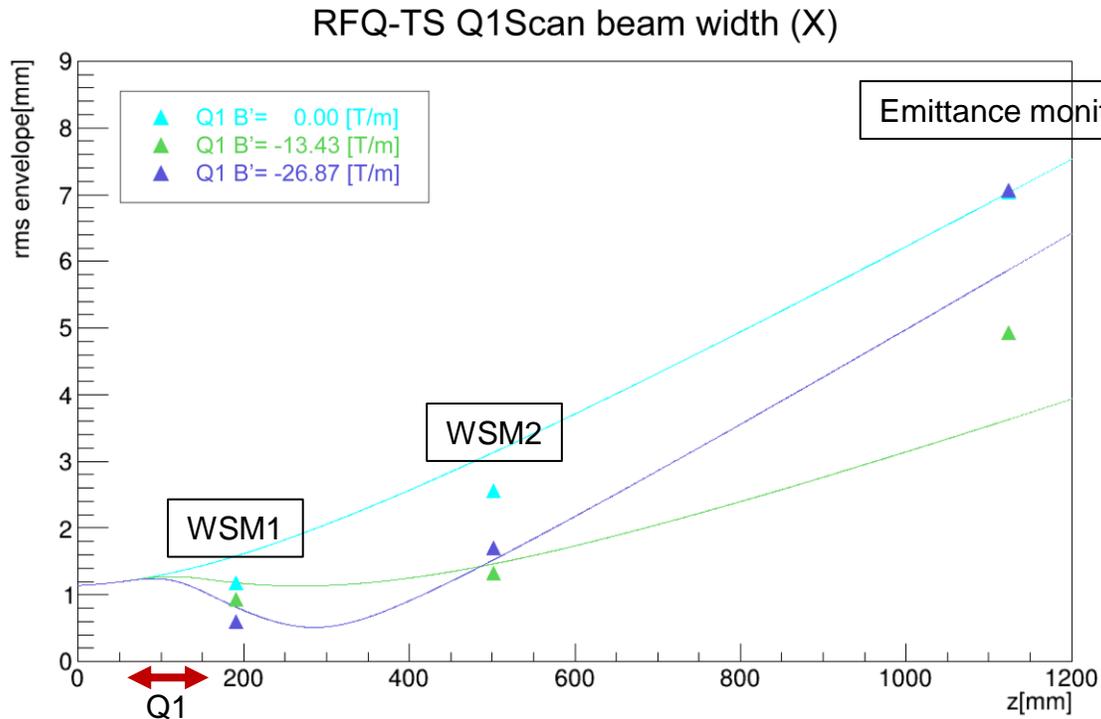


↑RFQテストスタンド
RFQ本体は右の黒い壁の向こう側



ビーム幅測定・シミュレーション結果比較(Q1)

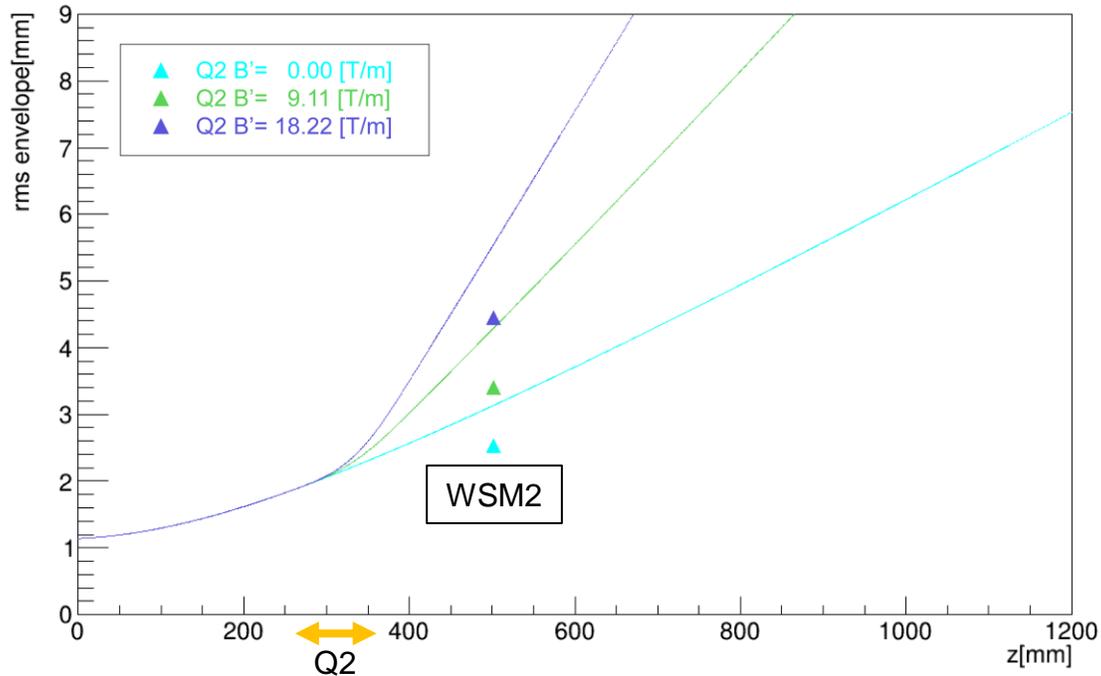
- IMPACTによるシミュレーション(図中曲線)との比較 (Q1)
- Q1の電流値複数点に対してビーム測定 (Q1:B'= 0.00[T/m], -13.43[T/m], -26.87[T/m] Q2,Q3=OFF)
- Y方向エミッタンスモニタの測定は発散が大きく測定が困難だったため除外
- X方向(左図)は概ね1mm以内の差 / Y方向(右図)は2mm以上の差
- Zが大きくなるにつれてX, Yとも測定値との乖離が大きい



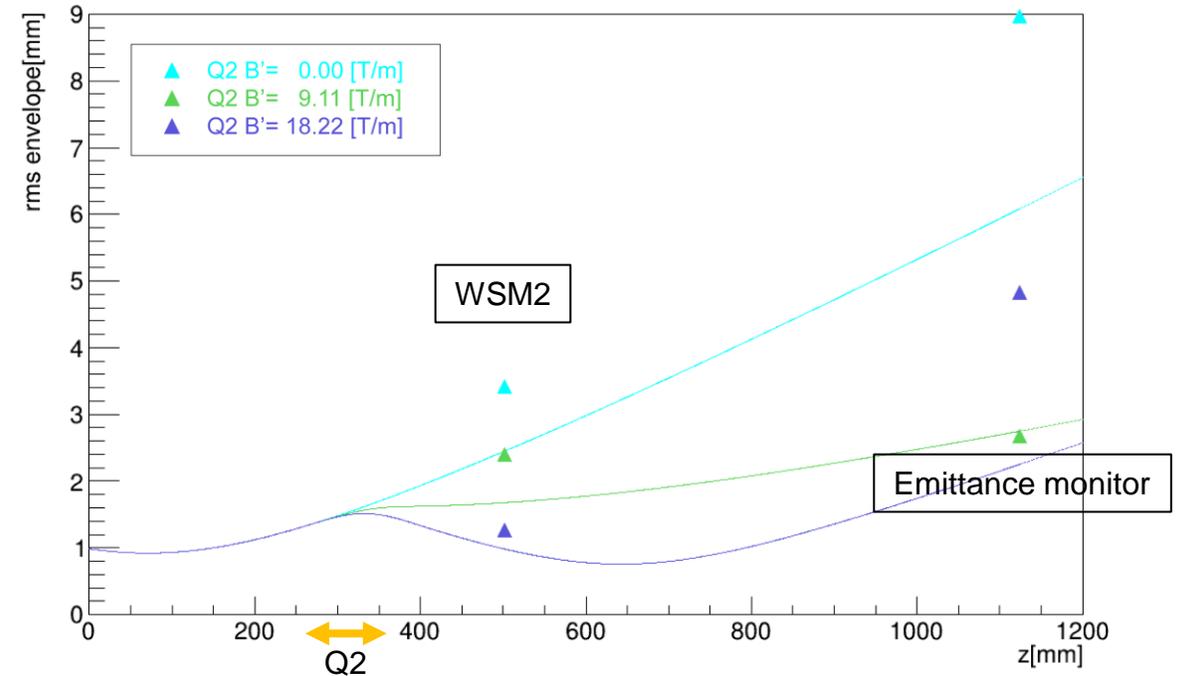
ビーム幅測定・シミュレーション結果比較(Q2)

- IMPACTによるシミュレーション(図中曲線)との比較 (Q2)
- Q2の電流値複数点に対してビーム測定 (Q2:B'= 0.00[T/m], 9.11[T/m], 18.22[T/m] Q1,Q3=OFF)
- X方向エミッタンスモニタの測定は発散が大きく測定が困難だったため除外
- Q1の測定と同じく、X方向(左図)は概ね1mm以内の差 / Y方向(右図)は2mm以上の差
- Zが大きくなるにつれてX, Yとも測定値との乖離が大きい

RFQ-TS Q2Scan beam width (X)



RFQ-TS Q2Scan beam width (Y)



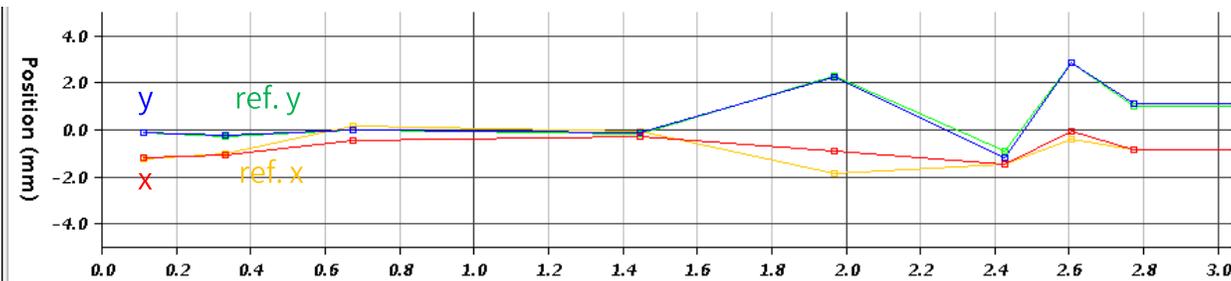
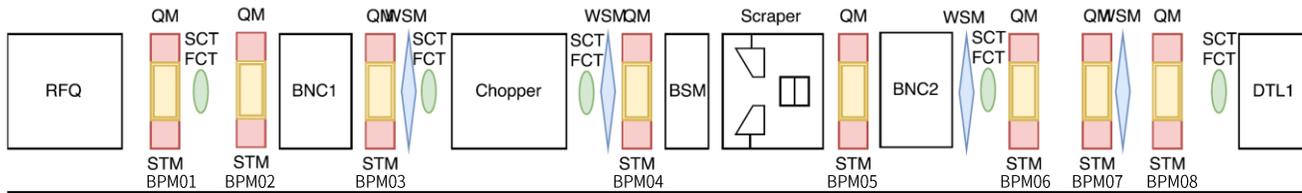
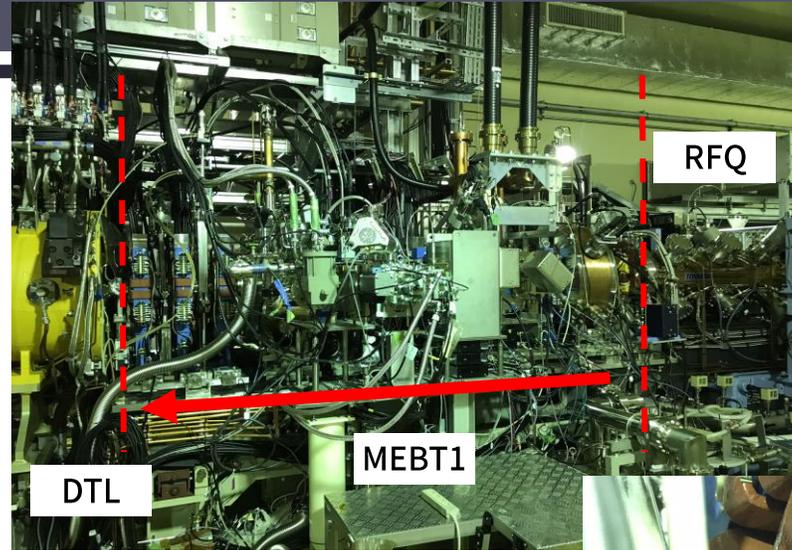
ビーム幅測定結果

- Q1, Q2ともに X方向：1mm以内の差 Y方向：2mm以上の差
- Zが大きくなるにつれてX, Yとも測定値との乖離が大きい
- IMAPCTの初期ビームのパラメータが、実際のRFQ出射ビームと異なる？
 - IMPACTの初期ビームのパラメータはRFQのシミュレーション結果を適用
- IMPACTは今後このテーマを通じてWSMとエミッタンスモニタの測定の比較に使用するため、初期ビームのパラメータとしてRFQシミュレーションの見直しが求められる
- そのほか測定結果からシミュレーションによって初期ビームを推定するアプローチも



現在のMEBT1のビーム軌道・BPM

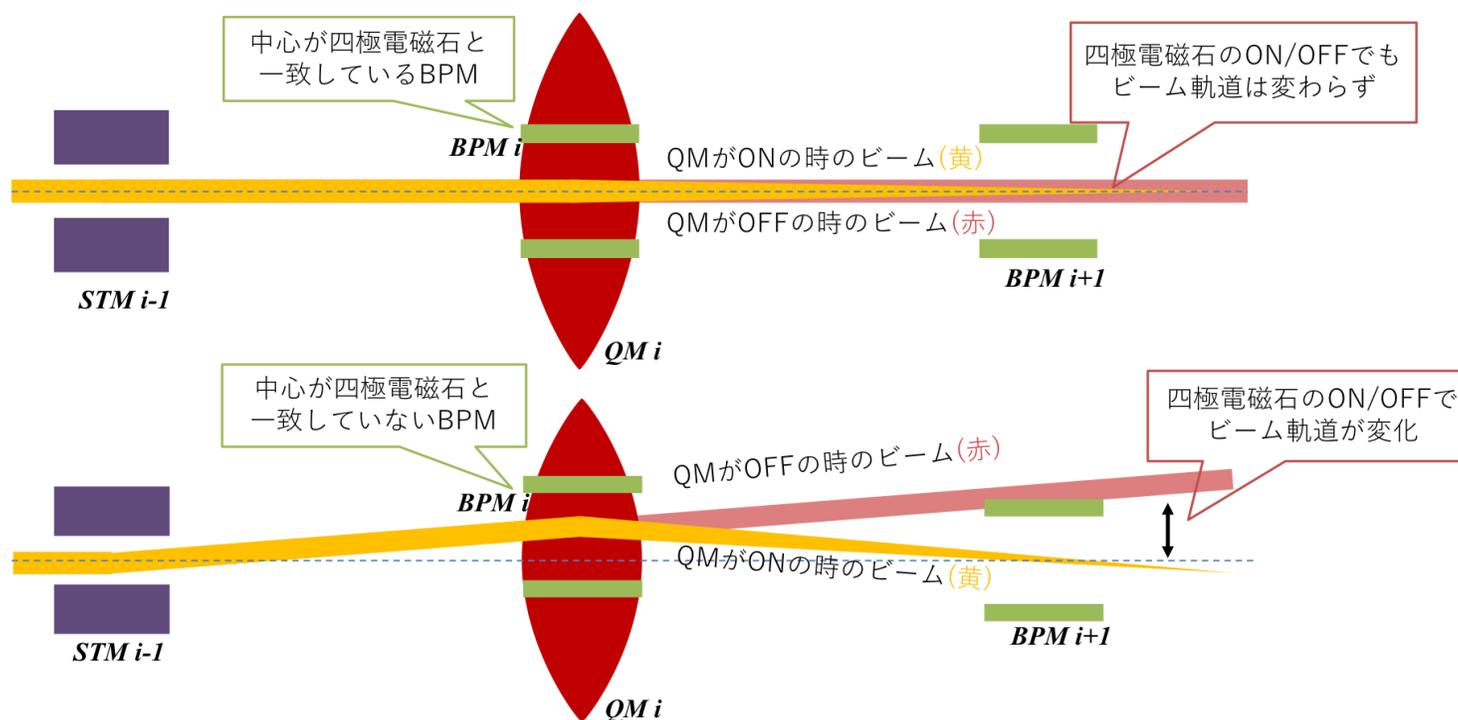
- 四極・偏向一体化の電磁石内部にBPMを設置
- MEBT1上に8箇所（上流から順番にBPM01→08）
- BPM01～BPM04 | デザイン軌道にほぼ一致
- BPM05～BPM08 | デザイン軌道にのらず
- 運転時の軌道はデザイン軌道より最大で1mm近くの差
⇒ビームポジションモニタ(BPM)やその校正値に異常がある？



実機と同形のBPM
 本体，ケーブル，コネクタ接続の健全性確認済
四重極電磁石の中心とBPMの中心が一致しているか不明
 (ビームパイプ内部に電極があるため目視などでは確認できない)

Beam-based Alignment による中心確認

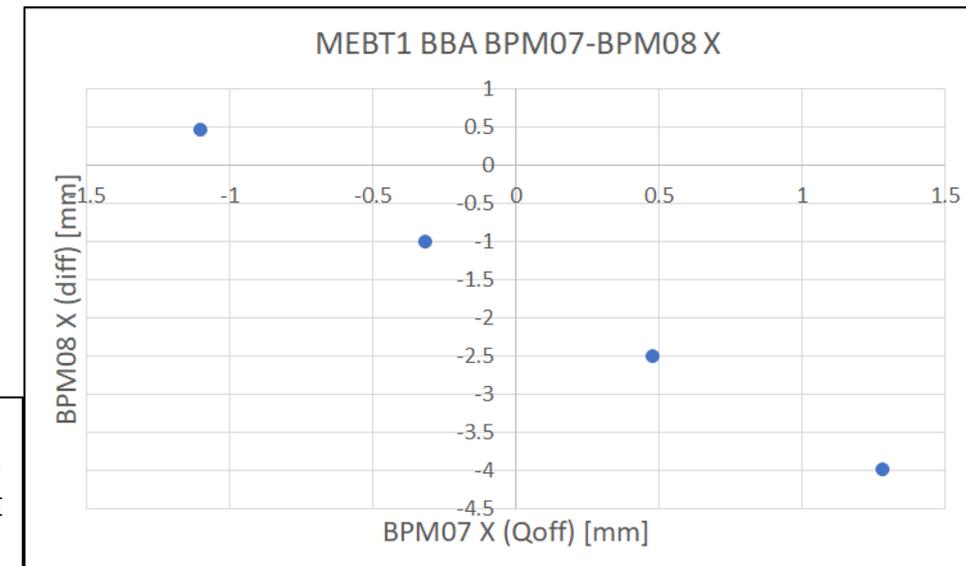
- ビームを使ったBPMのoffset推定法
- ビームが磁場中心を通過していれば，四極電磁石をON/OFFしても軌道は不変
- 四極電磁石の磁場中心を通過していないと，ON/OFFによってビーム軌道が変化
 - ⇒四極電磁石をON/OFFしても下流のBPMの数値が変わらない条件を探す



BBA測定結果 (BPM07)

- 横軸が対象のBPMが示すビーム重心位置、
縦軸がQ磁石(Q7)のON/OFFによって生じるビーム重心位置の変化量（差分, BPM08で測定）
- BPM07のX方向の測定結果（右下図）では、
測定点を結ぶ直線と横軸の値から、0.7mmのoffsetがあることが判明
- MEBT1のBPMがビーム中心位置を正しく把握できていない
- 一般的にBPMと4極電磁石の中心の不一致は、
対象BPM・変化測定用BPMの物理的なアライメントの
ほか、電極やケーブルの異常に由来することがある
- BBAによって判明したBPMの中心位置のずれの原因は
様々な要因が考えられるため、現在調査中
- ビーム運転の都合から行えなかった
他のBPMも測定を検討中

縦軸：
QM07のON/OFFで生じる
BPM08での重心位置の変化量
(差分)



横軸：BPM07の示すビーム重心位置

まとめ

- J-PARC Linac では2018年よりピーク電流を50mAに増強したところ MEBT1の透過率がビーム軌道に大きく依存することが判明。
- 加速前後でエミッタンスが20~30%増加しており、ビーム損失による残留放射線の増加も懸念。
- 初段RFQと次段DTL間のMEBT1で、DTLとのパラメータの不整合が考えられるため、MEBT1を通過するビームのパラメータを正確に把握する必要がある。
- MEBT1のエミッタンス測定の系統誤差の検討から、ビーム不定性を見積もるため、テストスタンドでWSMとエミッタンスモニタとの2種の機器による測定を行った。
- ビーム幅についてシミュレーションと比較したところ、シミュレーションに使用している初期ビームのパラメータが異なるとみられる結果を得た。
- 今後もシミュレーションは比較の評価材料として使用するため初期ビームパラメータを見直す必要がある。
- MEBT1のBPMで中心確認を行ったところ、ビーム重心位置を正確に把握できていないと考えられる結果を得た。
- 今後ビーム運転の都合から行えなかった他のBPMの中心確認や、再現性の確認などを行う。

- 本研究は日本原子力研究開発機構が設ける特別研究生制度により行われた

