

KEK インターンシップ報告書

大阪大学工学部環境・エネルギー工学科 4 年 守實友梨

1. はじめに

本インターンシップは加速器の概要・操作の十分な理解のため、大学共同利用機関法人 高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設 大谷将士助教の指導のもと 2022 年 3 月 1 日～2022 年 3 月 11 日の期間に実施されました。茨城県東海村 J-PARC の皆様に深謝いたします。

2. 実習概要

加速器に対する全般的な理解のため、J-PARC リニアックにおける上流部分の RFQ スタンドにおけるビーム出力調査やモニタによるビームの測定・及びシミュレーションとの比較を行った。また、J-PARC 内の施設見学や筆者の専門分野である BNCT 施設の見学を行い、知見を深めた。

2.1. RFQ スタンドにおけるビーム測定

2.1.1. ビームシミュレーションによる計算

ビームの測定の前に、TRACE 3D を用いてビームの挙動の確認を行った。TRACE 3D は転送行列を用いたビームダイナミクス計算が可能なシミュレーションソフトである。初めに RFQ スタンドの環境と同様に四極電磁石を配置し、該当する電圧を設定すると、想定されるビームエミッタンスと Twiss パラメータが出力される。

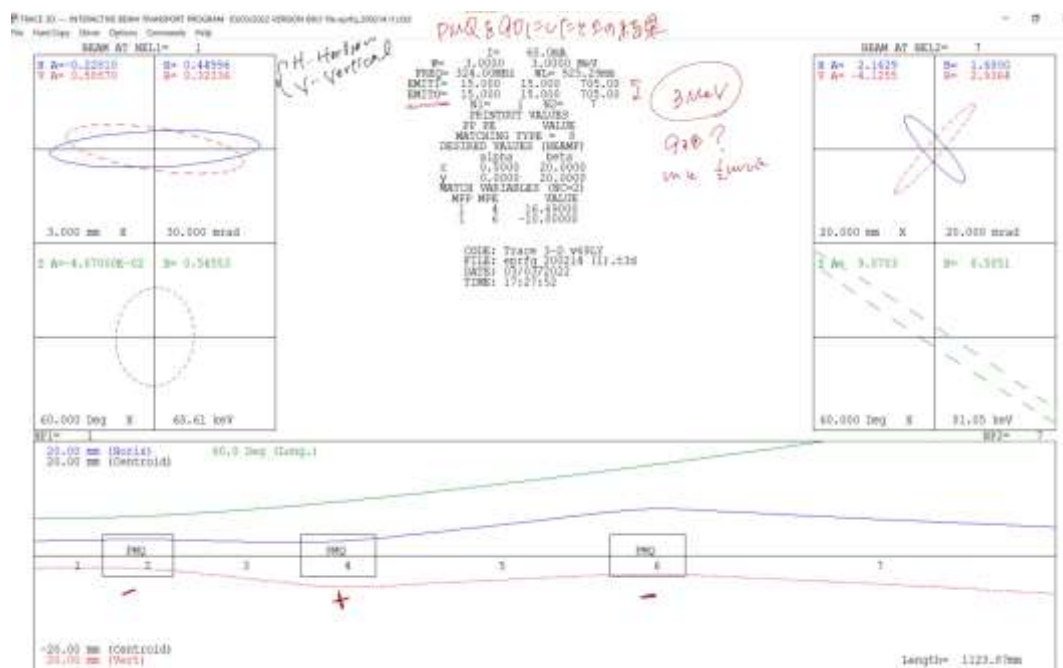


Fig.1 TRACE 3D ビームシミュレーションの例

2.1.2. ビームエミッタンスの実測

RFQ は 3MeV 程度の低エネルギーによる加速を行う。加速方法は高周波加速であり、これは荷電粒子の進行に加速の位相を合わせることによって行われる。今回は RFQ スタンドでのビーム出力とビームエミッタンスを測定した。RFQ テストスタンドでは四極電磁石が 3 つ使用されているが、今回は Fig.2 に示すようにイオン源から最も離れた位置にある電磁石の電圧を変化させてビームの挙動を観察・測定した。

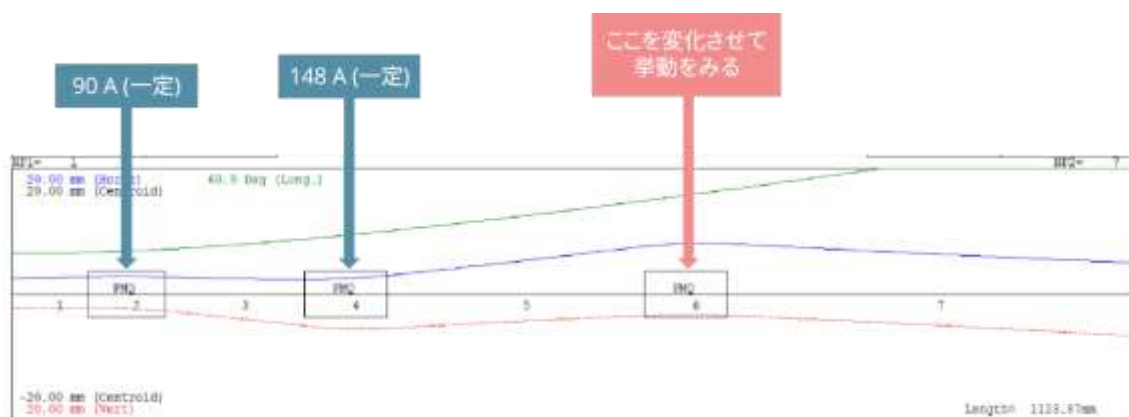


Fig.2 ビームエミッタンス測定実験概要

2.1.3. 結果

エミッタンスモニターによる測定結果を Fig.3 に示す。3 つ目の電磁石である QM3 の電圧を強くすると、ビームの形状はより細くなった。ビームの傾きは電圧を変更しても相違

が少なかった。

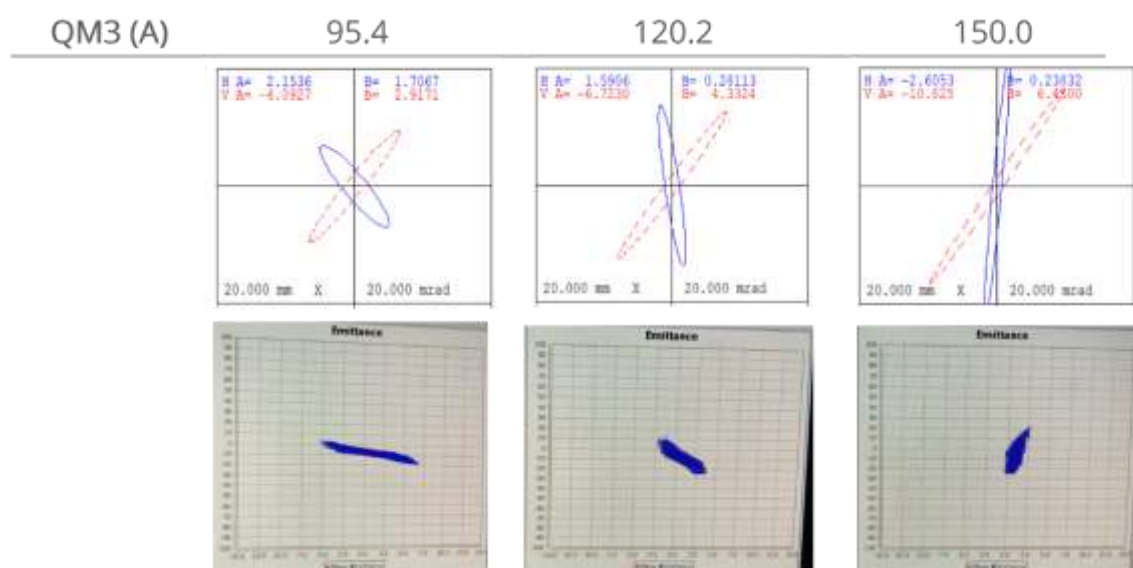


Fig.3 測定結果とシミュレーションの比較

実験結果について Fig.4 にプロットした。縦軸はビームサイズ、横軸は四極電磁石の K 値である。その後、プロットに基づいてカーブフィッティングを行った。フィッティングは以下の式を用いて行った。

$$\sigma = \sqrt{a(K - b)^2 + c} \quad (1)$$

(1)式でフィットすることで、フィッティングパラメータ a,b,c からエミッタンスの算出 g 可能である。

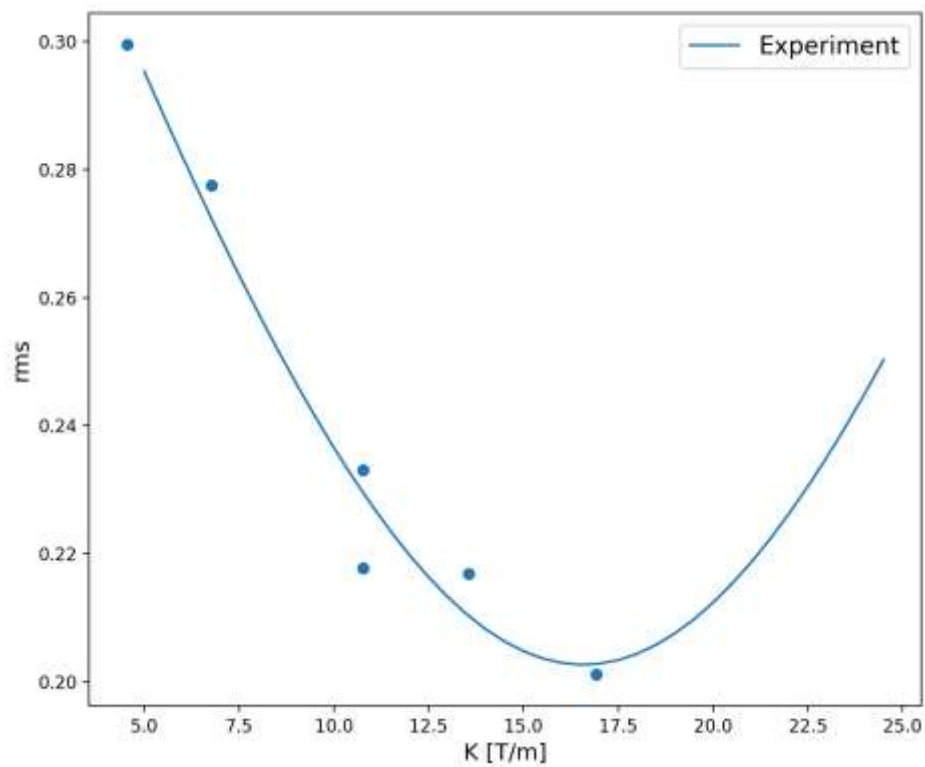


Fig.4 測定結果のプロットとフィッティング結果

また、ワイヤーエミッタンスによる測定結果とシミュレーション結果・そのフィッティングについて Fig.5 に示す。Fig.4 と同様、フィッティングは(1)式を用いて実施した。Twiss パラメータにおいて、 β は実験に比べ極めて近い値を得ることができた。Table.1 にはシミュレーション結果と実験結果のフィッティングから得られた Twiss パラメータ・エミッタンスについて各々示す。

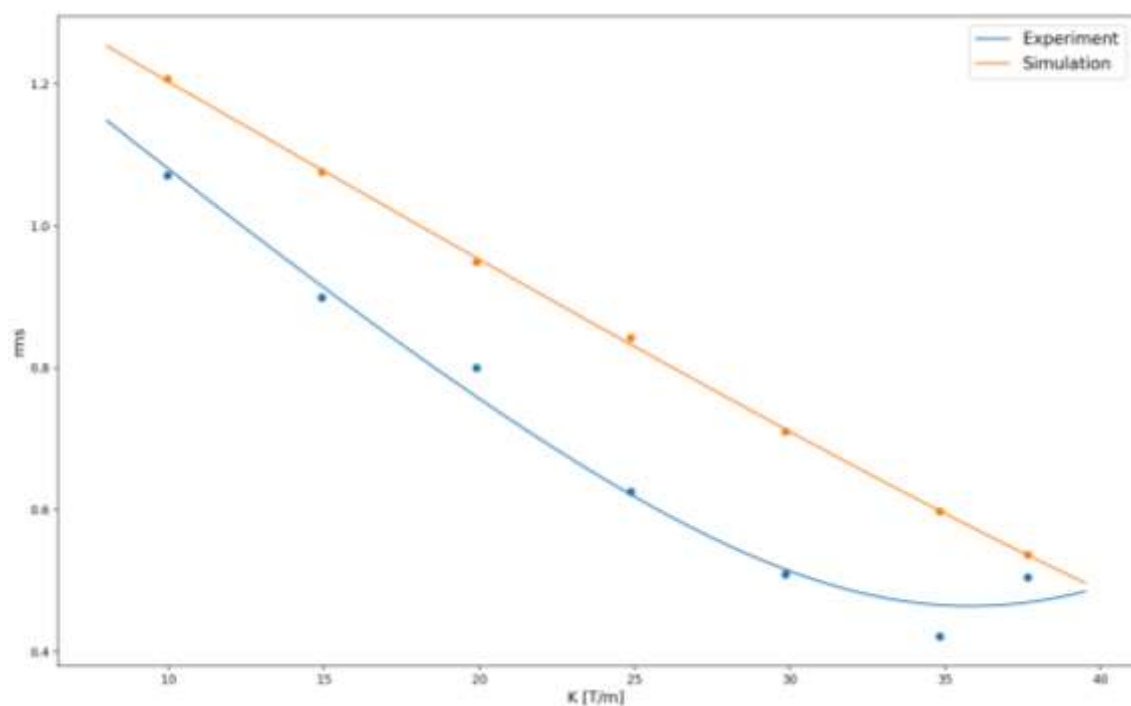


Fig.5 ワイヤエミッタンスモニタにおけるシミュレーションと実験結果の比較

Table1. Twiss パラメータとエミッタンスの結果

	α	β	σ	ε
シミュレーション	-4.716	0.08634	0.0003428	1.361e-06
実験	-2.912	0.08136	0.0004963	3.028e-06

2.1.4. 考察

Twiss パラメータについて相違は少ないものの、エミッタンスではシミュレーションと実験の間に 3 倍程度の差が見られた。これは、シミュレーションでは空間電荷効果が考慮されていないためであると考えられる。空間電荷効果はビームのエネルギーが低い際に考慮せねばならないものであり、電子が互いにクーロン斥力を及ぼしあって伝導するようになる現象のことである。TRACE 3D では転送行列の計算のみであるため、空間電荷効果分だけ実験値と相違がみられると考えられる。

2.2. ミューオン加速器及び iBNCT の施設見学

現在設計・施工中であるミューオン加速器の見学を行った。ミューオン研究グループの研究者や博士学生の方々ににご協力いただき、現在設計中の加速器についての説明を詳細

に頂いた。

また、自身の研究分野である BNCT についても知見を深めるため、筑波大の iBNCT 施設の見学も行った。筑波大学の熊田先生に BNCT の現状やプロジェクトについてご教授頂いた後、加速器や照射施設について案内頂いた。

3. 最後に

大学共同利用機関法人高エネルギー加速器研究機構 加速器研究施設の皆様には大変お世話になりました。大谷助教をはじめ、研究室の方々にも研究のご紹介から滞在時の生活についても多くの助言を頂き、充実した滞在となりました。また、自身の研究分野である BNCT 施設だけでなく、学会でも良くお見掛けしていた熊田先生とも談義をすることができ素晴らしい機会になりました。最後に、インターンシップに携わる全ての方々に深く感謝申し上げます。