

BEAM COMMISSIONING OF THE L3BT FOR J-PARC

Tomohiro Ohkawa^{1,A)}, Masanori Ikegami^{B)}

^{A)} Japan Atomic Energy Agency, JAEA

1-1 Shirakata-Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1195

^{B)} High Energy Accelerator Research Organization, KEK

1-1 Oho, Tsukuba-shi, Ibaraki, 305-0801

Abstract

L3BT is a beam transport line from J-PARC (Japan Proton Accelerator Research Complex) linac to the succeeding 3-GeV RCS (Rapid Cycling Synchrotron). The beam commissioning of the L3BT has been started since December 2006. In this paper, we present the results of the beam commissioning of the L3BT to date.

J-PARC L3BTのビームコミッショニング

1. はじめに

J-PARCの加速器は線形加速器、3GeV RCS、および50GeV MR (Main Ring)から構成される^[1]。これらの加速器が、それぞれの機能を持つビーム輸送系で接続される。L3BTは線形加速器とRCSを接続するビーム輸送系である。(図1参照)

L3BTのビームコミッショニングは、2006年12月～2007年6月までの第I期と2007年9月以降の第II期に分割される^[2]。第I期のビームコミッショニングでは、後段の3GeV RCSが建設中であるため、0度ダンプ、30度ダンプを含むアークの1/3までのL3BTの約半分しか使用出来ないが、その範囲内で、マッチング、偏向電磁石の調整、軌道補正等を実施した。

一方、ビームコミッショニングの際には、加速器をモデル化するためにTRACE3D^[3]、XAL^[4]等のシミュレーションコードを使用している。我々は、これまでのビームコミッショニングで得られた測定結果とシミュレーション結果の比較評価も実施した。

2. ビームコミッショニング

L3BTのビームコミッショニングとしては、主に上流の線形加速器の調整を行うために、0度ダンプにビームを輸送する0度ダンプモードと第1アークの偏向電磁石の調整を行う30度ダンプモードの2種類の運転モードが存在する。また、30度ダンプモードに関しては、第1期のビームコミッショニングでは、30度ダンプの容量が100W (設計5.4 kW) に制限されるため、ピーク電流5 mA (設計値30 mA) で実施する。

2.1 マッチング

L3BTは直線部、アーク部、スクレーパ部及び入射部から構成され、それぞれ対応するマッチング部が存在する。但し、第I期のビームコミッショニングでは、直線部へのマッチング部のみが調整可能であり、ここでは、0度ダンプモードでの調整結果について報告する。直線部には、ビームサイズを測定するWS (Wire Scanner) 4台が周期的に設置されており、ビームサイズを測定しながら^[5]、マッチング用4極電磁石の磁場勾配を調整する。上記4極電磁石の磁場勾配の初期値は、TRACE3Dを用いて決定する。この初期値の精度が効率的な調整の実現のためには非常に重要である。マッチングの具体的な計算には、XALを使用する^[6]。

マッチング前後での4台のWSの位置でのビームサイズの測定結果を表1に、4極電磁石の磁場勾配の値を表2に示す。

表1より、マッチング後の mismatch factor は、3.6%と充分小さく、XALを用いたモデルと実際のビームの挙動が一致していることを示している。

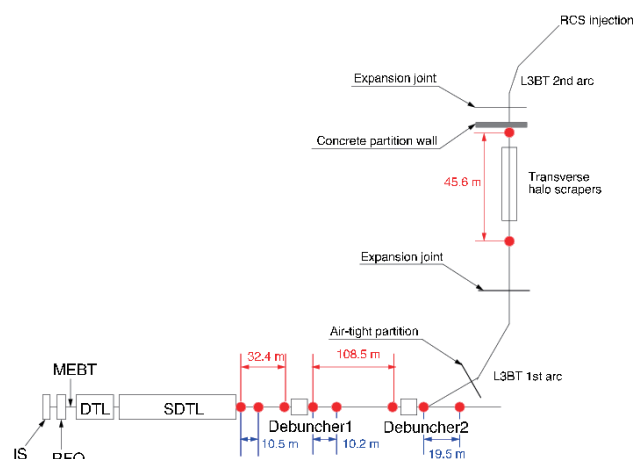


図1: J-PARCの加速器とL3BTの概略図

¹ E-mail: tomohiro.ohkawa@j-parc.jp

表1: ビームサイズ測定結果 (単位: mm)

	設計値	補正前	補正後
σ_{x1}	1.579	1.291	1.357
σ_{x2}	1.585	1.345	1.381
σ_{x3}	1.582	1.433	1.356
σ_{x4}	1.576	1.359	1.332
Mx	0.57 %	10.4 %	3.60 %
σ_{y1}	1.096	1.124	1.090
σ_{y2}	1.094	1.059	1.079
σ_{y3}	1.091	1.064	1.090
σ_{y4}	1.092	1.111	1.094
My	0.46 %	5.96 %	1.39 %

Mx, My: mismatch factor = $(\sigma_{\max} - \sigma_{\min}) / ((\sigma_{\max} + \sigma_{\min}) / 2)$

表2: 4極電磁石の磁場勾配 (単位: T/m)

	設計値	補正值
QM01	-3.959	-4.239
QM02	4.119	4.305
QM03	-5.158	-5.259
QM04	4.756	4.866

表2より、マッチング前後での4極電磁石の磁場勾配の変化量は、最大で約7%と小さく、TRACE3Dを用いた初期値の決定精度も充分高いことが確認できる。

2.2 偏向電磁石

第1アークの1/3を含む30度ダンプモードでのビームコミッショニングにて、偏向電磁石の調整を行った。L3BTの第1アークは、3回対称のDBA (Double Bend Achromatic)のラティスで構成されており、30度ダンプモードで調整可能である。BM1、BM2の通電電流を変化させて、BM1-BM2間のdispersiveな直線部のBPM (Beam Position Monitor) 2台 (BPM22、24) とBM2-BM3間のnon-dispersiveな直線部のBPM2台 (BPM25、30) でのビーム位置の測定を行った。測定結果を表3、図2に示す。ここで、測定値は、16マクロパルスの平均値である。

表3: ビーム位置測定結果 (単位: mm)

電流値	BPM22	BPM24	BPM25	BPM30
143.5 A	-1.607	-1.243	0.641	0.721
144.0 A	0.295	0.605	0.470	0.627
144.5 A	2.186	2.423	0.294	0.486
145.0 A	4.096	4.293	0.134	0.378
145.5 A	6.018	6.138	-0.021	0.269
145.9 A	7.560	7.651	-0.152	0.196

図1より、BPM22、24のビーム位置は、BM1、2の通電電流に依存して大きく変化しているのに対し、BPM25、30のビーム位置の変化は小さく、基本的にはDBAのラティスになっていることが分かる。但し、

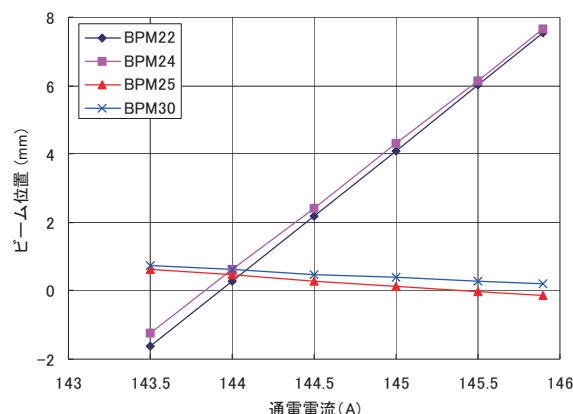


図2: ビーム位置測定結果

BPM25、BPM30でのビーム位置もBM1、2の通電電流に依存して変化しているが、これは、4極電磁石の磁場勾配については今回一切調整しておらず、完全に分散関数が0になっていないためである。理想的には、設計電流値では、4台全てのBPMでのビーム位置が0になるはずであるが、実際は、設置誤差や磁場誤差が存在するので、ビーム位置は0にならない。各BPMの位置での設置誤差や磁場誤差による軌道のずれが同等であると仮定すると、今回のビームエネルギーの測定値181.6 MeVに対するBM1、2の通電電流設定値は144 Aとなる。この場合にBM1、2の通電電流値を $\Delta p/p$ に換算して、分散関数を求める。計算結果を表4に示す。

表4: 分散関数 (単位: m)

	測定結果	計算結果	参考
BPM22	-0.555	-0.537	-0.537
BPM24	-0.538	-0.539	-0.525
BPM25	0.048	0.0	0.044
BPM30	0.033	0.0	0.029

表4より、ビーム位置の測定結果から得られる分散関数の値は、設計値と若干異なるが、これは、測定誤差の影響と4極電磁石の磁場勾配については、今回一切調整していないためであると考えられる。参考に、4極電磁石の磁場勾配が設計値より1%大きかった場合の分散関数の値を表4に示す。そのようにして求めた分散関数の値は、測定結果と傾向的には一致しており、実際の4極電磁石の磁場勾配の値が設計値より大きいことを示している。

一方、今回の偏向電磁石の通電電流の初期設定値は、3次元磁場解析結果から設定した。磁場解析結果と磁場測定結果を表5に示す。今回のビームエネルギーの測定値181.6 MeVに換算すると、BM1、2の通電電流設定値144 Aに対して、解析結果は、1.6%、磁場測定結果は0.7%大きな値となっている。

表5:偏向電磁石基本仕様

	解析結果	測定結果
定格電流	145.9 A	144.7 A
定格磁場	0.307 T	0.310 T
磁場有効長	1.737 m	1.746 m

2.3 軌道補正

30度ダンプモードでのビームコミッショニングにて偏向電磁石の調整を行った際に、水平方向補正電磁石を励磁して、BPMを用いたビーム位置の測定を実施した。補正電磁石の電流値を変化させた場合のビーム位置の変化量の測定結果とシミュレーション結果を図3に示す。横軸は、L3BT起点からの距離であり、シミュレーション結果は、TRACE3Dを用いて計算した。図3より、測定結果とシミュレーション結果はよく一致しており、TRACE3Dによるモデル化が正しいことが確認できる。

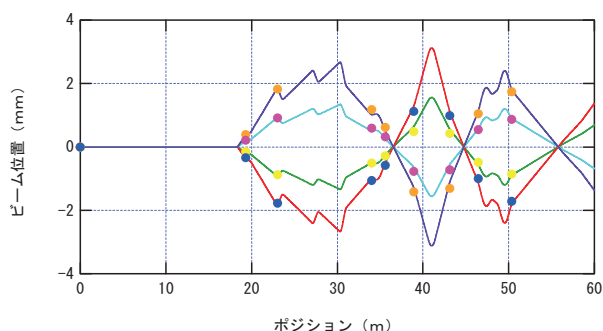


図3:ビーム位置

3. 今後の予定

まもなく、3GeV RCSが完成し、2007年9月から第II期のビームコミッショニングが開始される。それにより、L3BT全体を使用したビームコミッショニングも可能となり、スクレーパセクション、入射セクションの調整が行われる予定である。

4. まとめ

第I期のビームコミッショニングでは、0度ダンプと30度ダンプを含むL3BTの約半分しか使用出来ないが、その範囲内で、マッチング、偏向電磁石の調整、軌道補正等を実施した。

ビームコミッショニングの際には、加速器をモデル化するためにTRACE3D、XAL等のシミュレーションコードを使用しているが、これまでのビームコミッショニングで得られた測定結果とシミュレーション結果は、基本的には一致することを確認した。

また、アークの1部分を含む30度ダンプラインモードにて偏向電磁石を調整し、今後更に4極電磁石の微調整が必要であるが、基本的にはDBAのラティスになっていることも確認した。

参考文献

- [1] Y. Yamazaki(eds), "Accelerator Technical Design Report for J-PARC", KEK-Report 2002-13; JAERI-Tech 2003-044, March 2003.
- [2] K. Hasegawa, "Commissioning of the J-PARC linac", Proc. 2007 PAC, Albuquerque, June 2007.
- [3] K. R. Crandall et al, "TRACE 3-D Documentation (Third Edition)", LA-UR-97-886, May 1997.
- [4] C. K. Allen et al., "XAL online model enhancement for J-PARC commissioning and operation", Proc. 2007 PAC, Albuquerque, June 2007.
- [5] H. Akikawa, "Transverse matching in J-PARC linac", in these proceedings.
- [6] H. Sako et al, "Transverse matching and orbit correction at early J-PARC linac commissioning", in these proceedings.