

TRANSEVERSE TUNING SCHEME FOR J-PARC LINAC

Masanori Ikegami^{1,A)}, Seishu Lee^{A)}, Zenei Igarashi^{A)}, Hisashi Akikawa^{B)}, Susumu Sato^{B)}, Yasuhiro Kondo^{B)},
Tomohiro Ohkawa^{B)}, Testuo Tomisawa^{B)}, Hiroyuki Ao^{B)}, Akira Ueno^{B)}, Kazuo Hasegawa^{B)}

^{A)} High Energy Accelerator Research Organization (KEK)

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

^{B)} Japan Atomic Energy Research Institute (JAERI)

2-4 Shirakata-Shirane, Tokai, Naka, Ibaraki, 319-1195

Abstract

A transverse matching scheme has been planned for the J-PARC linac beam commissioning with use of wire scanners. The beam diagnostic layout has been determined to realize the planned matching scheme. Continuous monitoring of the matching with beam position monitors is also discussed.

J-PARC リニアックの横チューニングの方法

1. はじめに

昨年の発表[1]では、J-PARC リニアック[2]のビームコミッショニングにおいて計画されている縦方向のチューニング、すなわち各RF空洞の振幅と位相のビームを用いたチューニング方法について述べたが、今回は、J-PARC リニアックのビームコミッショニングにおいて計画されている横方向のチューニング、すなわちマッチングセクションの四重極電磁石の強さのチューニング方法について述べる。J-PARC リニアックでは、ビームハローの生成等によるリニアックおよび下流のRCS (Rapid Cycling Synchrotron) でのビームロスを軽減するため、横方向のマッチングを精密にとることが本質的に重要である。精度の高いマッチングを実現するために、多数のワイヤースキャナー (ビームプロファイルモニター) [3] とストリップライン型BPM (ビーム位置モニター) [4] をリニアック及びL3BT (Linac to 3-GeV RCS Beam Transport) に配置することを計画している。J-PARC リニアックでは、2006年9月に予定されているビームコミッショニングの開始に向けて、現在、機器のインストールを行っており、ビーム診断系の配置を含むほとんどの詳細設計はすでに確定している。本論文では、現在計画されている横方向のマッチングの方法と、それを実現するためのビームモニターの配置について述べる。

2. 横方向のマッチング

2.1 2つのマッチング方法

横方向のハローの生成を防ぐという観点から、われわれは横方向のマッチングの目標 (rmsビームサイズ mismatches に対するトレランス) を10%と設定した。この目標を満たすため、J-PARC リニアックでは、次の2つのマッチング方法を考えている：

・方法1：4台以上のワイヤースキャナーを周期的に配置し、その上流にある4台の四重極電磁石の強さを調節することによって、各ワイヤースキャナーで測定したrmsビーム幅が等しくなるようにする。

・方法2：4台以上のワイヤースキャナーをマッチングセクションに適当に配置し、その測定値からビームのrmsエミッタンスとTwissパラメータを算出する。算出されたエミッタンスおよびTwissパラメータをもとに、マッチングのとれた四重極電磁石の強さを計算で求める。

どちらの方法においても、最低限必要なワイヤースキャナーの台数は3台であるが、統計的に測定精度を上げるため及びワイヤー溶断時のための予備として、4台目以降のワイヤースキャナーを設置する。方法1については、同様の方法がSNSで提案されている[5]。ただし、われわれはSNSと異なり、迅速な再チューニングに対応するため、チューニングに必要なワイヤースキャナーはすべて常設することを想定している。

ビーム幅測定の相対的精度しか要求しないという点で、方法1でマッチングをとることが精度を上げるうえで明らかに有利である。方法2では、ビーム幅の絶対値が必要である。また、空間電荷による横方向と縦方向の結合が無視できないため、マッチングセクションにおける縦方向のプロファイルについても何らかの仮定 (または測定) が必要になる。そのため、われわれは可能な限り方法1によるマッチングを行うことを基本方針として、チューニング方法とビームモニターの配置を検討した。ただし、方法1を採用するためには、ラティス自体が周期的であり、縦方向のプロファイルがマッチングセクション付近で極端に変動していないことが条件となる。

¹ E-mail: masanori.ikegami@kek.jp

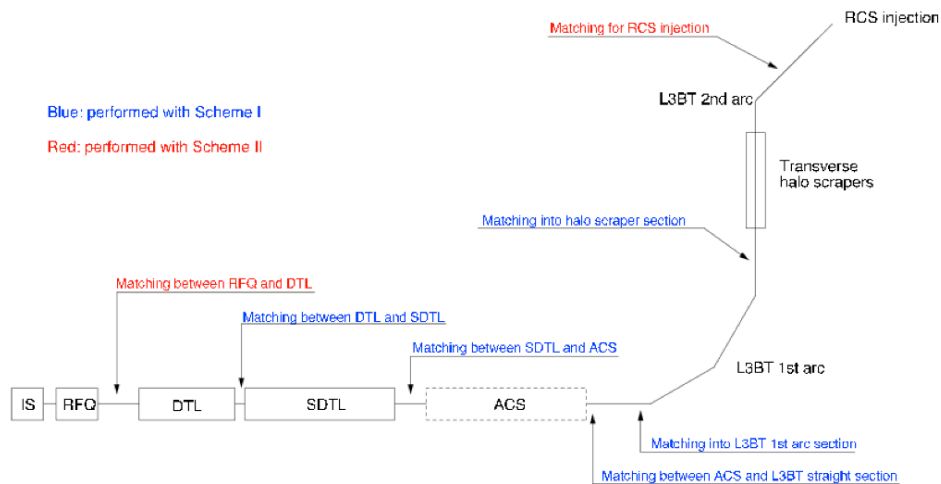


図 1. リニアック及びL3BTにおける横マッチングセクション。青字で示した5つのマッチングセクションでは方法1によるマッチングが、赤字で示した2つのマッチングセクションでは方法2によるマッチングが計画されている。

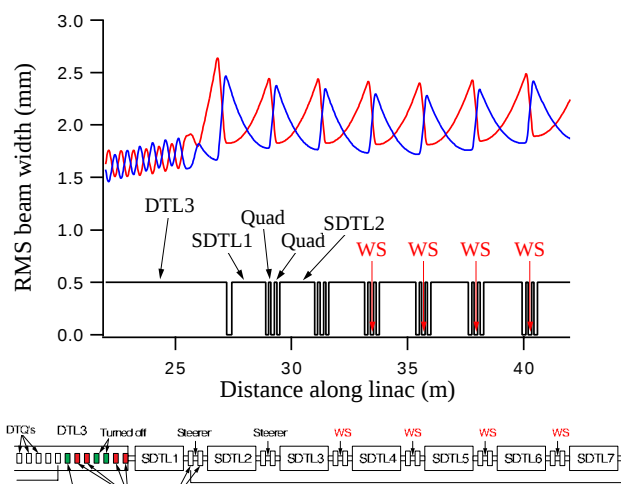


図 2. DTL-SDTL接合部での横マッチング。「WS」がワイヤースキャナー位置を示す。

リニアックとL3BTには、図1に示す7カ所のマッチングセクションがあるが、そのうち5カ所で方法1によるマッチングを行うことが計画されている。残り2カ所については、ラティス自体が周期的ではない（あるいは、周期的な領域にワイヤースキャナーが設置できない）ので、方法2によるマッチングを行う。

2.2 方法1によるマッチング

方法1によるマッチングの典型例を、図2に示す。図2は、DTL（Drift Tube Linac）とSDTL（Separate-type DTL）の接合部のマッチングセクションを示したものである。4台のワイヤースキャナーを、SDTL上流部に周期的に配置し、DTL最下流

の6台の四重極電磁石のうち4台をノブとして、上記の4台のワイヤースキャナーでのrmsビーム幅の測定値が等しくなるように調節する。

他の4つのマッチングセクションでのチューニングの方法及びモニターの配置も同様であるが、触れておく価値のある箇所として、L3BT第1アークへのマッチングセクションがある。L3BT第1アークは、偏向角30度のダブルベンドアクロマトが3つつながった3回対称性を持つという特色がある。第1アークでは、この対称性を利用し、図3のように対称点にワイヤースキャナーを設置することによって、方法1でのマッチングを可能とした。また、これらのワイヤースキャナーの位置では分散関数がゼロになっているため、分散関数の測定への影響も考慮する必要がない。そのため、このような配置をとることによって、アークへのマッチングが格段に容易となると期待される。

2.3 方法2によるマッチング

方法2によるマッチングを行う2カ所は、RFQ（Radio Frequency Quadrupole linac）とDTLをつなぐMEBT（Medium Energy Beam Transport）と、L3BT第2アークとRCS入射点をつなぐL3BT入射部である。前述のように、これらのマッチングセクションでは、縦方向のビームのプロファイルを仮定する必要があり、この仮定の妥当性がマッチングの精度に影響する。MEBTではとくに空間電荷による縦方向と横方向の結合が強いため、この影響がとくに顕著であると考えられる。J-PARCのリニアックでは、運転開始当初は、縦方向のエミッタンスモニターの設置が計画されていない。そのため、この仮定の妥当性を検証する目的で、RFチョッパーを用いた縦プロフィール測定が検討されている[6]。また、MEBT中程から分岐したビーム診断ラインには、ダブルスリット型のエミッタンスモニターが用意されており、ワイヤースキャナーを用いた測定との整合性の

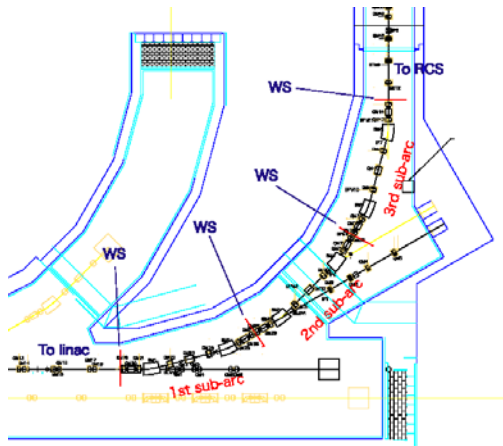


図3. L3BT第1アークへの横マッチング。
上：第1アークのレイアウト。「WS」がワイヤースキャナーの位置を示す。下：第1アークでのビームプロファイル。

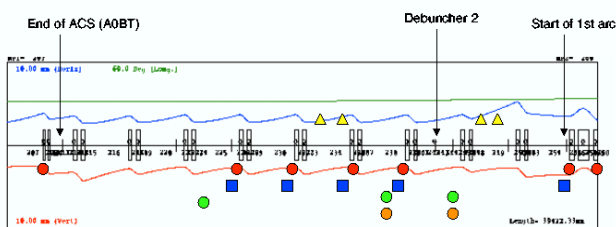


図4. L3BT直線部のモニター配置。■がワイヤースキャナー、(■の上段に記された)●がBPMを表す。

チェックに用いられる予定である。

L3BT入射部については、空間電荷による縦方向と横方向の結合の影響は小さいと予想されるが、チューニングに用いられるワイヤースキャナーが分散のある領域に設置されていることから、分散の影響を考慮する必要がある。入射部のチューニング方法については、今後より詳細な検討が必要であるが、修正したTrace3Dを用いた予備的な評価では、デバンチャーが適切にチューニングされている場合、分散がビーム幅測定に与える影響は2～3%程度という結果が得られており、横マッチングへの影響は無視できる範囲であると予想される。デバンチャーのチューニングがその前提条件となるが、デバンチャー空洞の振幅および位相は、FCT (Fast Current Transformer) を用いたTOF測定で、横マッ

チングとは独立にチューニングを行う予定である。最終的に入射点で得られるビームのプロファイルは、RCSのもつマルチワイヤープロファイルモニターで測定する予定である。

3. 非破壊測定によるマッチングの監視

初期のマッチングが確立した後は、そのマッチングがずれていないことの定常的な監視が重要となる。定常運転に入ると、ワイヤースキャナーによる測定を行う頻度には限界があると考えられるため、BPMによる非破壊の監視を行うことを検討している。BPMの4つの電極で得られる信号を適切に処理することにより、水平方向と鉛直方向の2次のモーメントの差、すなわち $\langle x^2 \rangle - \langle y^2 \rangle$ を得ることができる[4,7]。この差の時間的な変動を監視することにより、マッチングがずれていないことを定常的に監視する。このような定常的な監視を効率よく行うため、J-PARCリニアックでは、マッチングに用いるワイヤースキャナーとBPMをペアで設置することとした。図4は、そのように決定されたビームモニターの配置の一例である。

4. まとめ

J-PARCリニアックのビームコミッショニングで計画されている横方向のチューニングの方法およびそれを実現するためのビームモニターの配置について述べた。J-PARCリニアックの横チューニング方法においては、極力絶対値測定に頼らないこと、迅速な再チューニングを可能にすること、定常的なチューニングの監視を可能にすることに特に重点がおかれている。

参考文献

- [1] M. Ikegami, Y. Kondo, A. Ueno, "Longitudinal Tuning Scheme for J-PARC DTL and SDTL", Procs. of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, 2004, p. 417.
- [2] Y. Yamazaki ed., "Accelerator Technical Design Report for J-PARC", KEK Report 2002-13, 2002.
- [3] H. Akikawa et al., "Beam Profile Measurement with Wire Scanners for J-PARC Linac", submitted to PAC2005.
- [4] S. Sato et al., "Development of Calibration Tools for Beam Position Monitor at J-PARC Linac", submitted to PAC2005.
- [5] D. Jeon, S. Assadi, J. Stovall, "A Technique to Transversely Match High Intensity Linac Using Only RMS Beam Size from Wire Scanners", LINAC2002, Geongju, 2002, p.88.
- [6] F. Naito, "Longitudinal Bunch Shape Monitor Using the Beam Chopper of the J-PARC", LINAC2004, Leubeck, 2004, p.806.
- [7] S. Lee et al., "A Non-Destructive Momentum Spread Measurement with a 4-Stripline Beam Position Monitor in the J-PARC Linac", Procs. of the 1st Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan, Funabashi, 2004, p. 575.