

J-PARC リニアック バンチシェイプモニタの位相分解能測定

PHASE RESOLUTION MEASUREMENT FOR THE BUNCH SHAPE MONITOR AT J-PARC LINAC

宮尾智章^{#,A)}, 丸田朋史^{A)}, 劉勇^{A)}, 三浦昭彦^{B)}

Tomoaki Miyao^{#,A)}, Tomofumi Maruta^{A)}, Yong Liu^{A)}, Akihiko Miura^{B)}

^{A)} KEK

^{B)} JAEA

Abstract

In the J-PARC Linac, using the ACS (Annular-ring Coupled Structure) accelerating cavity from the 2013 fiscal year, negative hydrogen is accelerating the ion beam to 400MeV. When it is entering the beam in this ACS acceleration cavity, the RF acceleration frequency 324MHz to jump to 972MHz from, because the instability of the phase direction can occur, a bunch shape monitor So we measure the beam profile in the phase direction, using the actual beam position for performance evaluation of the monitor. The phase resolution measurements was calculated that the phase resolution is 1.8°. Also, when entering the beam to the ACS accelerating cavity to adjust the RF amplitude of the buncher cavity in order to adjust the beam phase width. We show the measured relationship between the amplitude and phase width, ACS for adjustment of the accelerating cavity is described.

1. はじめに

J-PARC リニアックでは、RF 駆動イオン源で生成された負水素イオンを高周波四重極型リニアック (RFQ), ドリフトチューブリニアック (DTL), 機能分離型 DTL (SDTL), 環状結合型リニアック (ACS) により 400 MeV まで加速している。SDTL 空洞から ACS 空洞までのビーム輸送路(MEBT2) には、ACS 型のバンチャー空洞が 2 台設置している。各加速空洞の共振周波数は、RFQ 空洞から SDTL 空洞までが 324MHz, ACS 空洞は 3 倍の 972MHz となっており、位相方向の不安定性が発生する可能性があるため、ロシア原子力 研究所 (INR: Institute for Nuclear Research of the Russian Academy of Sciences) と共同で開発したバンチシェイプモニタ(BSM) を用いて位相方向のビームプロファイルを測定することで、ACS 空洞へのビーム入射をマッチングする手段として縦方向のビーム形状を診断し、運用している。現状では SDTL 空洞最下流部及び、ACS 型バンチャー空洞のパワーを変えながら、ビームの位相方向の形状を測定している。

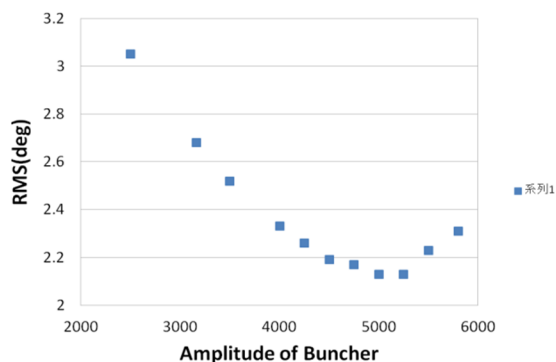


Figure 1: Beam measurement for phase direction.

Figure 1 は ACS 型バンチャー空洞のパワーとビーム位相方向のビーム位相幅との関係を示す。位相方向は 2.1° まで絞ることができる。この測定と、ACS 空洞に入射するビームの縦横方向の測定を組み合わせることで、ビームの向上につながっている。

2. 測定原理

Figure 2, 3 に BSM の立面図及び測定原理を示す。バンチ化された負水素イオンビームがタングステンワイヤーに衝突すると、二次電子が発生する。このとき、タングステンワイヤーには高圧(本測定では-10kV)が印加されており、ワイヤーからのポテンシャル(U_{target})により加速される。加速された二次電子の一部は Figure 2 のビームラインから筒部の方向にコリメータ(Figure 3 の 2 番)があり、入射される。筒部の中には銅製の筒と電極(Figure 3 の 3 番)で構成されている。電極の役割は 3 つある。1 つ目は RF 電場を用いてビームの位相方向を変調して、ビーム位相方向の測定を行っている。本モニタの共振周波数は 324MHz となっている。2 つ目は、静電レンズを用いて二次電子の軌道を 2 番目のコリメータ(Figure 3 の 5 番)に収束させる。3 番目は静電レンズで収束された二次電子の軌道を電極間の電圧差を用いて水平方向に軌道補正している。二次電子の輸送系にはステアリング電磁石が設置されており、垂直方向に軌道の微調整を行うことができる構造になっている。2 番目のコリメータを通過した二次電子は双極電磁石により 90° 偏向されて最終コリメータ (Figure 3 の 7 番) を通過できる運動量だけが弁別される。最終的に二次電子は、電子増倍管 (Secondary Electron Multiplier) を用いて、増幅されて信号として取り出される [1]。

[#] tomoaki.miyao@j-parc.jp

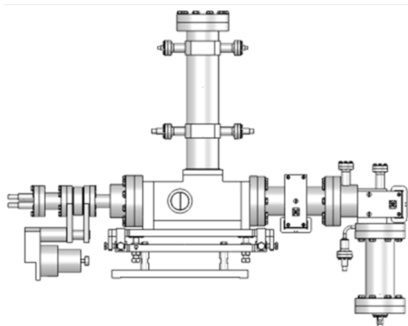


Figure 2: The model of BSM.

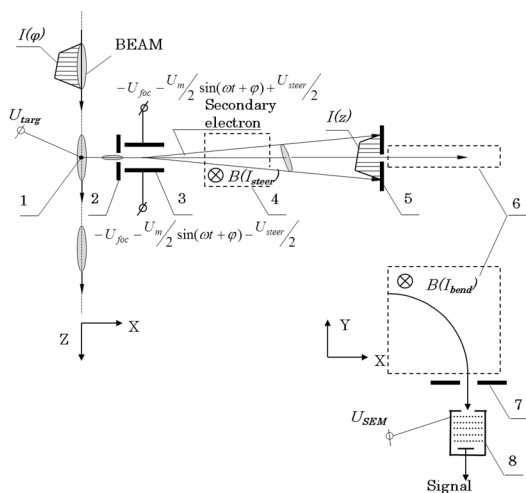


Figure 3: Principle of BSM.

3. 位相分解能の測定

3.1 補正電圧の最適化

BSM によるビーム位相方向の測定に必要なパラメータはワイヤーにかける高圧、電極にかける静電レンズ、双極電磁石に流す電流、電子増倍管にかける電圧である。これらを設定した後に、補正電磁石の最適値を Figure 4 のような測定プログラムを使用して決定している。補正電圧を変えながら、信号強度 10V を超えないように最適値を測定毎に探す必要がある

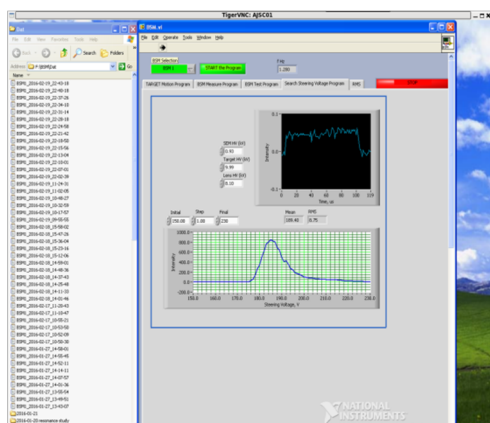


Figure 4: Searching program of Steering Voltage.

3.2 補正電圧を変えての測定

3.1 で最適化した補正電圧は、二次電子が 2 番目のコリメータをまっすぐ通過するときのパラメータである。ここで、補正電圧を変えることによって二次電子は進行方向に対して水平方向にシフトする。J-PARC Linac の BSM は 0~400V まで変更できる。本測定では補正電圧の最適値から、±150V の範囲で測定した。なお、各々の測定位相の範囲は 0~540° としている。

Figure 5 に測定位相を 0~540° でのビーム位相方向の分布を示す。各ピーク間の位相は 180° ずつになっている。補正電圧の値を 0V にした場合と、最適値から 150V 高い場合での分布を Figure 6 に示す。最適値と比較すると、1 つ目のピークは補正電圧を上げれば上げるほど、測定位相の低い方向にシフトし、3 番目のピークも、同様の傾向が見られる。一方、2 番目のピークは補正電圧を上げると、測定位相の高い方向にシフトしていることがわかる。各ピーク間の位相差と補正電圧との関係を示す Figure 7 に示す。

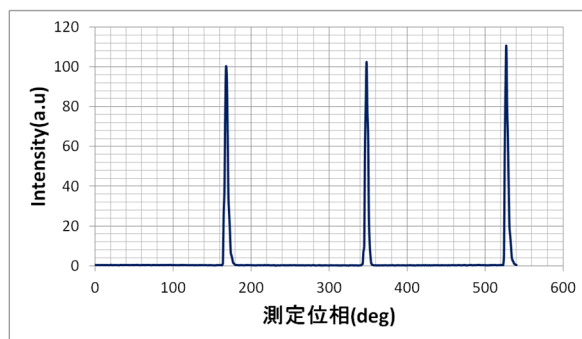


Figure 5: Beam profile for phase direction.

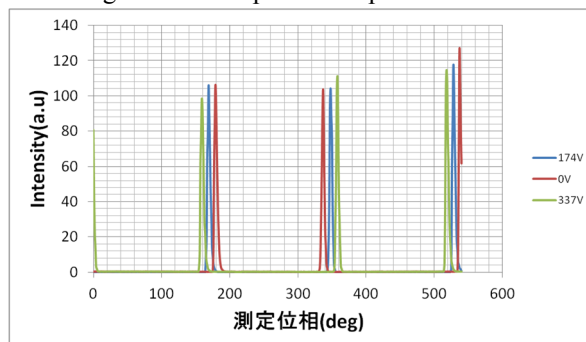


Figure 6: Beam profile for phase direction changing steering voltage.

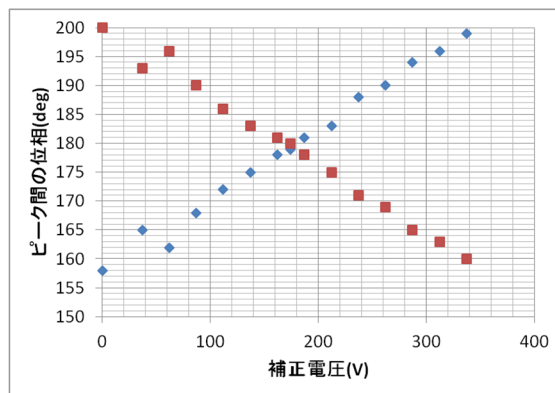


Figure 7: Peak-to-peak phase difference.

今回の測定では補正電圧のプログラム結果が 187V に対して、ピーク間の位相が等間隔な値が 174V と 13V ずれている結果となった。位相分解能を計算する際には、2本の直線の交点を基準にして、計算をする必要がある。

3.3 位相分解能の計算

BSM の位相分解能は

$$\Delta\phi = \frac{\Delta Z_0}{Z_{\max}} \quad (1)$$

と計算できる。ここで ΔZ_0 は電極によって収束された二次電子が双極電磁石に曲げられる前のスリット幅(Figure 8)で、J-PARC の BSM は 0.5mm、 Z_{\max} はスリット幅の中心からの二次電子の最大変位量を表す。(1)式のようになるのは、スリット幅が二次電子の最大変位量に対して充分近似できるものと考えられる。次に、 Z_{\max} を計算するには

$$Z_{\max} = \frac{Z_c}{\sin \Delta} \quad (2)$$

と計算する。ここで Z_c は補正電圧によって水平方向に曲げられた二次電子の変位量を表し、補正電圧 10V に対して、二次電子がスリット軸に沿って 1.0mm 変位する。 Δ は補正電圧によって変位したピーク間の位相変位量を表す。補正電圧が適正な値の場合、第二スリットの中心を通り、各ピーク間の位相差は 180° であると、仮定すると補正電圧を $+V_c$ だけ高い状態での電子の軌道は $Z_c = V_c/10$ と計算できる。Figure 9 に補正電圧が V_c ずれたときの比較図を示す。

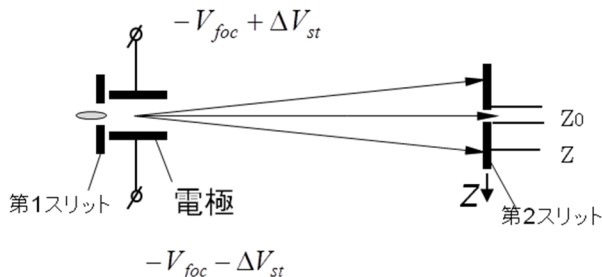


Figure 8: Phase resolution model.

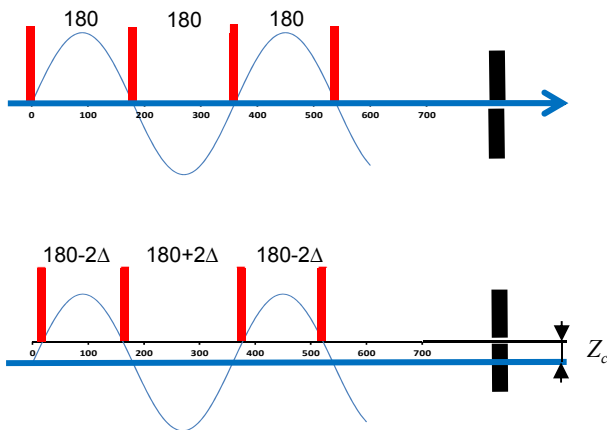


Figure 9: phase difference of peak-to-peak.

赤い縦線はビーム位相方向の分布のふもとを表し、本測定では最適値から 163V 高いとき、すなわち、二次電子の変位量が 16.3mm でのピークのふもとと間での位相は 140° であったので、 Δ は 20° と算出した。ここから(2)式より

$$Z_{\max} = 16.3 / \sin 20 = 47.66 \text{ mm}$$

と計算できる。そして、(1)式より

$$\Delta\phi = \frac{0.5}{47.66} \times 180 = 1.89 \text{ deg}$$

と算出される。

4. まとめ

加速周波数がジャンプする区間では、ビーム位相方向の診断を実施している。SDTL 空洞から加速された 191MeV ビームを ACS 空洞に入射するための重要な位置づけとなっている。位相分解能については、INR のメンバーが見積もった方法で実施し、 1.8° と算出したが、彼らが見積もった値と異なる点がいくつかあり、今後の課題としなければならない。

参考文献

- [1] A. V. Feschenko, "Technique and Instrumentation for Bunch Shape Measurements", Proc. of RuPAC2012, Saint Petersburg, Russia, Sep. 24-28, 2012.