

5-2 大強度ビームの新しいチューニング方法を確立 ービームロス低減を目指した位相拡がりモニタの開発ー

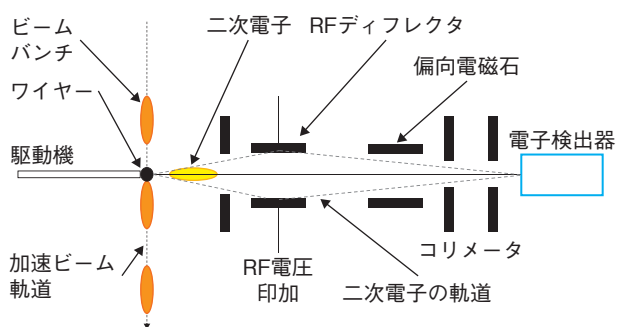
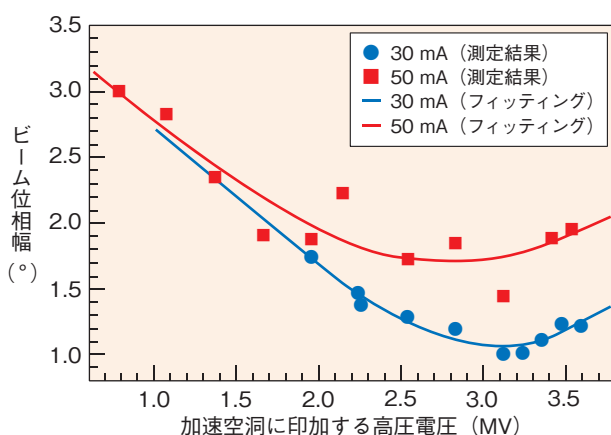


図 5-7 ビーム位相拡がりを検出するパンチシェイプモニタの原理
パンチシェイプモニタは、ワイヤーを付けた駆動機、RF 電圧を印加するディフレクタ、二次電子軌道を調整する偏向電磁石、余剰電子を除去するコリメータ、電子を信号電圧に変換する検出器より構成します。



J-PARC 加速器施設の最上流部にあるリニアックでは、負水素イオン (H^-) ビームを、エネルギーに応じた複数の種類の加速空洞を用いて 400 MeV まで加速します。ここでは、高周波 (RF) に対するビーム重心の位相を測定するモニタを用いて、RF の位相設定値を決定しています。J-PARC のような大強度の加速器では、加速できなくなって散逸した粒子 (ビームロス) による機器の放射化を低減することが重要です。リニアックの前段部では加速周波数 324 MHz、下流の高エネルギー部ではその 3 倍の 972 MHz を使用していますが、周波数がジャンプする場所では、位相の絶対値だけでなく位相幅までを含む調整が、ビームロス低減のカギとなります。そこで私たちは、 H^- ビームの位相拡がり測定するパンチシェイプモニタを開発し、運転中に発生するビームロス量を 1 W/m より小さくするチューニング方法を確立しました。

図 5-7 にパンチシェイプモニタの原理を示します。このモニタでは、駆動するホルダーの端に取り付けた金属ワイヤーに加速した H^- ビームを衝突させ、二次電子を放出させます。この二次電子は元のビーム位相情報を持っているので、RF ディフレクタの位相変化による二次電子の強度分布が得られ、 H^- ビームの位相幅を得る

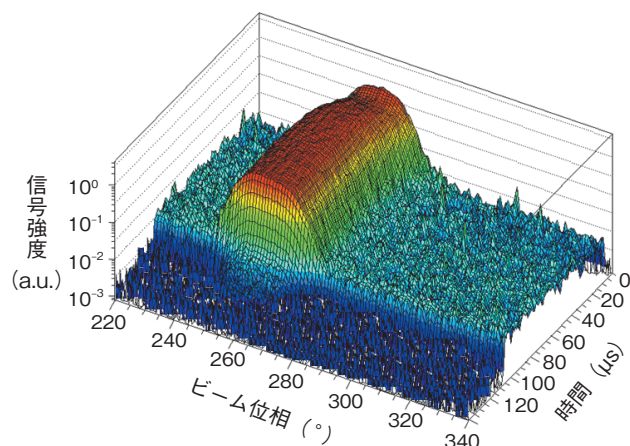


図 5-8 リニアックピークビーム電流 15 mA のときのビーム位相波形

ビームは図の右奥から左下に向かって進行します。山の形 (拡がり方) が重要な位相情報です。

図 5-9 加速空洞への印加電圧に対するビーム位相幅の変化
ピークビーム電流が 30 mA と 50 mA の場合の、パンチシェイプモニタの上流に設置したチューニング用加速空洞に印加する高圧電圧とビーム位相幅の実測値 (青い丸, 赤い四角) とそのフィッティング結果 (実線) を示します。印加電圧を上げると RF の電場が大きくなり、位相幅が小さくなります。

ことができます。図 5-8 にビーム位相と信号強度の例を示します。時間方向の長さは、パルス幅 (ここでは $100 \mu\text{s}$) を示します。この図の $1 \mu\text{s}$ ごとの分布の標準偏差から位相幅を求めます。図 5-9 にパンチシェイプモニタの上流側に設置した、チューニング用加速空洞の印加電圧に対する位相幅の変化を示します。光のレンズと同様に、印加電圧を上げると RF から H^- ビームが受ける力が大きくなり、焦点を結ぶように位相幅が小さくなります。この幅が最小となる焦点の位置は、電圧が増加するにつれて加速空洞側に近づきます。しかし、電圧が大きすぎると過焦点が生じ、位相幅が広がって見えます。図のような曲線を、シミュレーションで得た位相幅と比較し、最適な印加電圧を求めることで、ビームロス量が 1 W/m を下回るチューニングに成功しました。

同じ原理に基づくパンチシェイプモニタは、世界各国の大強度加速器で使用されています。J-PARC では、世界に先駆けて大強度ビーム運転時の位相幅測定に積極的に使用し、周波数変化によるビームロスを低減する印加電圧を求めるなど、この計測による新しいチューニング方法を確立し、ビームロス量を低減したことで、大強度ビーム運転を実現しています。

●参考文献

Miura, A. et al., Bunch Shape Measurement of 181 MeV Beam in J-PARC Linac, JPS Conference Proceedings, vol.8, 2015, p.011003-1-011003-6.