

KEK-PFにおける入射効率改善のための研究

平野広太

M170458

放射光物理研究室

高エネルギー加速器研究機構 (KEK) にある Photon Factory (PF) では、電子加速器から発生する放射光を使って、物性・生命の構造から機能発現の仕組みの研究が行われている。加速器で蓄積された電子ビームは、残留ガスとの散乱や量子寿命、ビーム内散乱など様々な要因で失われてゆく。これを回復するため、線形加速器 (LINAC) から供給される電子ビームを注ぎ足す必要がある。LINAC で作られた電子ビームはビーム輸送路を通り蓄積リングまで輸送される。この輸送路からリングへの受け渡しを入射と呼ぶ。入射では輸送によるビームロスを最小にして、目的の位相空間上へ輸送されることが要求される。

PF ではセプトラムとキッカーを用いた入射方式を採用している。輸送路終端には、入射ビームの向きを蓄積リングの軌道に揃える為、セプトラム電磁石が設置される。セプトラム板では入射ビームと蓄積ビームの間を渦電流の効果で仕切り、リング側に磁場が漏れない工夫がなされる。入射ビームを蓄積リングのダクトに納めるには、入射ビームが蓄積リングに入った後、軌道を曲げ中心に近づける必要がある。その際、蓄積ビームも軌道を曲げられるため、入射部分の上流で予め蹴っておくという操作がなされる。結果として蓄積ビームの軌道は、入射点付近で入射の瞬間のみ入射点側に移動する。これをパルスバンプと呼ぶ。パルスバンプを作る電磁石をキッカーと呼び、リングの周回周期時間の半正弦波波形で励磁され、入射ビームはそのピークのタイミングに合わせられる。パルス幅が短いため、高電圧、大電流の電源が必須となる。

入射時のキッカー誤差による、蓄積ビームの振動は放射光の揺らぎとなり、入射ビームの損失は放射線の発生につながるため、どちらも抑制する必要がある。入射中は実験を休止するという前提で作られた PF では、入射点が遠い為に大きなキッカーバンプが必要であり、その為の特殊なパルス電源では複数台のキッカーの波形やタイミングを完全に一致させて誤差を現代的なレベルまで低減させることが極めて困難である。また、パルス磁石の磁場は環境やダクトに依存し、実験室での準備測定そのままではない。更にセプトラムは真空槽内にあることやターゲット座がないため、再据付されておらず正確な入射ビームの位置が特定されていない。

そこで本研究は、入射効率を改善することを目的に、入射パラメータの測定とそれらの最適化を実施した。入射パラメータの測定ではパルス電磁石の波形や応答特性、入射点のビーム位置情報などをビームベースで調べた。実際の加速器の誤差を反映したモデルを得て校正を行い、次に入射効率低下の原因の調査と最適条件の探索のため入射シミュレーションを実施した。校正によって入射効率低下の問題は緩和されたが、セプトラム電磁石のずれによる入射ビームの初期振幅が問題として残ることを確認した。またキッカーのパルス幅は周回周期時間より長いパルスバンプを複数回蹴る問題も確認した。セプトラム電磁石は交換される予定のため入射効率は改善されるが、パルスバンプの問題が残る。そのため蓄積ビームの振動を抑制する最適化を実施した。その結果、パルスバンプに起因する蓄積ビームの振動を小さくしながら、入射効率を落とさないパラメータを発見した。