

タイトル

蓄積リングに対する「入射」

- 放射光源は電子ビームから出てくる光を使って物質科学、生命科学の実験を行う施設。
- 出てくる光は光源リングの蓄積電流に比例する。
- 蓄積電流(電子ビーム)は時間とともに、残留ガスとの衝突、電子同士の衝突、量子力学的効果による大きすぎる放射エネルギーロス、などで減っていく。
- ユーザー運転の間、時々、電子を足してやらないといけない。
- 以前は1日に2～3回足し、残りの時間は単調減少が一般的だったが、現在はユーザー実験をしながら電子を注ぎ足す、トップアップ、が一般的である。

「入射」の方法

- 電子ビームは線形加速器で作られ、運ばれ、蓄積リングの真空ダクト内に撃ち込まれ、蓄積リング内を安定周回し始める。それを入射という。
- 外からのビームを入射の瞬間だけ蹴る電磁石が使われるが、入射ビームを蓄積リング内で必ず蹴る必要がある(でないとダクトにあたって全て損失)。蓄積リング内の電磁石は、蓄積リングを既に回っているビームに対しても同じように蹴るため、その蹴りを打ち消すため、入射点上流に蓄積リングだけを入射の瞬間だけ蹴る電磁石がさらに必要となる。

「入射」の絶対条件

- 入射ビームを損失なく蓄積リングに撃ち込むこと、既にある蓄積ビームを振動させないこと、が必要。
- 入射ビームの損失は実験ホールの放射線量の上昇に繋がり、蓄積ビームの振動はビームラインの光量の不安定性に繋がる。
- 現在、PFではLINACから0.5[nC/pulse]きていて、例えば5Hzで完全に入射できると1.25[mA/s]になるはずだが、実際は0.5[mA/s]である。また、LINACからのビームは蛍光板モニタで見ているとパルス毎に2～3[mm]くらいの位置の揺らぎがあり、それも入射の不安定に繋がっている。

「入射」の何が難しいか？

- 入射の瞬間だけ蹴ると言いことで、数十キロボルト、数千アンペアのパルス電源、電磁石が使われる。
- 入射の度に雷を落としているようなもので、電氣的ノイズも大きいし、導体があると渦電流が発生し、磁場が空間的にも時間的にも乱れる。
- LINAC全体がパルスであり、もともと不安定を含む。
- 震災や経年変化で入射ビームの本当の軌道が分からない。
- キッカーのビームに対する本当の磁場波形が分からない。

本研究の目的

- ビームを使って現在の通常運転時の入射ビームの「本当の位置」を推定すること。
- ビームを使って蓄積ビームと入射ビームの両方を蹴るパルス電磁石の「本当の磁場波形」を測定すること。
- 蓄積ビームに対する擾乱を低減すること。（これは、昨年度の運転時にユーザーから入射の度に光量が20%減ると苦情が来た内容でもある。入射電磁石の故障がその原因の一つである。）
- 可能ならば入射効率を改善すること。（結果としては入射率を減らさずに蓄積ビーム振動を減らすというところまではできた。）

本研究の難しさ

- 真空ダクト内を通る電子ビームは、真空ダクト内壁に埋め込まれた絶縁電極に電圧を生じる。電圧の差で位置を測定するが、それをビーム位置モニタという。モニタ自身の据付位置誤差、電氣的オフセットがあり、絶対値の測定は難しい。
- 通常の運転時は、約1nC(マルチバンチ蓄積ビーム)の電荷を数千～数万回平均することで、1[um]の精度で位置を相対的に測定している。
- 入射ビームは電荷が少なく、さらに「入射の瞬間だけ」の1回測定で平均ができない。LINACからのビームは不安定である。ということで、入射ビームや入射の瞬間だけの位置測定は非常に難しいものである。それを成功させたところに本研究の偉大さがある！

どう測定したか？

- ボタン電極からの生の電圧の時間波形から、LINACからきちんと電荷が来ている部分だけを抽出、蓄積リング内の軌道を基準にしてオフセットを計算、ノイズをフィルタ処理で落とし、正しい位置データを得ることができた。
- パルス電磁石の誤差以外の影響を排除する為、蓄積リング内の電子軌道やオプティクスもビームで測定した。挿入光源や非線形磁場の影響をきちんと排除して測定を行った。
- これは他の加速器施設ではなかなか正確にできていないことである。

ビームによる測定とパラメータ最適化

- 小電荷に対する1回測定の方法を確立した後、蓄積リング内の複数のモニタを使い、蓄積ビームでパルス電磁石の本当の波形データを、入射ビームで入射軌道のデータを測定した。
- 測定したデータを使い、誤差があった場合の入射率のシミュレーションの検証を行い、蓄積ビーム振動を低減させるためのシミュレーションを行った。
- 現在、PFリングの入射電磁石は故障中であり、入射時の蓄積ビームへの蹴り強さが制限されている。その条件の下シミュレーション、最適値の探索を行った。

最適化と結果

- 入射による蓄積ビームの擾乱を最適化する実験を実際に行った。
- (蓄積ビームの振動を気にしないなら、実際にはある程度振動させた方が入射率が大きくなる。キッカージャンプと呼ぶ。)
- ビームを使った本当の波形データを使ったことにより、振動の大きさはシミュレーションとよく一致し、入射率を減らさずに蓄積ビームの振動を小さくすることに成功した。
- LINACが不安定であり、今回は入射ビームの位置最適化までは至らなかった。それは今後の課題である。

まとめ

- 蓄積中に減少していく電子ビームを注ぎ足す「入射」に関するパラメータを、ビームを使って正確に測定することに成功した。
- 測定したデータを使い、最適化シミュレーションとそのビーム実験を行い、実際に入射しながらユーザー実験に影響が出ないように蓄積ビームの振動を抑制するところまでは成功した。それが現在のPFリングの最優先課題であった。
- LINACが安定な時に入射ビームの軌道等を最適化するスタディを行うことが今後の課題である。