

パルス4極電磁石によるスタディー報告

KEK-PF 原田 健太郎, 小林 幸則, 長橋 進也, 宮島 司, 帯名 崇, 程 衛星, 梅森 健成
ISSP-SRL 高木 宏之, 中村 典雄

PF-AR に原理実証のために設置されたパルス4極電磁石を用いた新しい入射システムは、ビーム入射に成功し、低蓄積電流における入射効率は十分に大きな値となった。しかしながら、蓄積電流が増えてゆくに従って入射効率が下がり始め、約30mAを超えたあたりでそれ以上の入射が滞る（入射し続けても蓄積電流は増大しない）。なお、パルス偏向電磁石を用いた既存の入射システムでも同様の現象が存在し、現在の最大蓄積可能電流値は約60mAである。（2.5GeV入射時は45mAであった。）

さて、パルス4極電磁石を用いた入射システムに関するマシンスタディは、最初の1回で入射可能であるということが確認された後は、ひたすら蓄積電流上限の問題の解明・克服努力に費やされた。KEKB 運転中に伴う入射ビーム利用時間制限により、系統的かつ網羅的なサーベイは難しかったものの、まずは各種パラメータ、例えばパルス4極の磁場、COD、ベータトロンチューン、RF 空洞電圧、RF 空洞チューナー、8極磁場、色収差などを調整した結果、シングルバンチで約50mA、2バンチで約90mAの蓄積に成功した。それでもなお既存の入射システムの上限であるシングルバンチ60mAには及ばなかったため、次に蓄積電流上限を決めるメカニズムの調査へと進んだ。

入射の滞る原因としては、入射ビームの損失と蓄積ビームの損失の2通りが考えられた。すなわち、蓄積電流の増大に伴い、入射ビームが何らかの原因で徐々に蹴り落とされる様になり、入射ができなくなる場合と、入射ビームは蓄積されるが、同時に蓄積ビームが損失し始め、両者が釣り合ったところで入射が滞ったように見える場合とである。30mA以上の蓄積ビームがある状態で入射ビームなしでパルス4極電磁石を励磁すると、蓄積電流値が約30mAまで削れるため、入射の滞る原因は蓄積ビームの損失であることが分かった。また、パラメータを変えて同様の実験を行った結果、蓄積ビーム損失はRF電圧などビーム不安定性に関するパラメータに敏感であることも分かった。

次に、蓄積ビーム損失の原因として、パルス4極電磁石による4極振動不安定性の励起が考えられたため、蓄積ビームの4極振動を測定するスタディを行った。BODやBPM、スペクトラムアナライザ等を用いた結果、4極振動は励起されるがビーム損失に繋がるほどの大きさではないということが分かった。また、それとは別に励磁後の電流減少が何周かけて起こるかを調査したところ、ほぼ励磁直後に損失が起こっていることが分かった。パルス4極で励起された不安定性が損失に繋がるとしたら、不安定性に依る振動が徐々に増幅される時間（不安定性の成長時間）が必要であり、励磁直後の損失は不安定性が直接的な損失の原因ではないことと矛盾しなかった。

以上の結果をふまえ、蓄積ビーム損失の原因は、パルス4極電磁石の励磁に関係なく存在する不安定性が、電流の増加に伴って蓄積ビームサイズを増大させ、4極電磁石はビームの外側をより強く蹴るといった特性があるため、強く蹴られたビームの裾が大振幅の振動を始め、どこかのアパーチャに当たって損失を起こすことだと予想された。パルス偏向電磁石とパルス4極電磁石とで振る舞いが違うこともこれで説明ができる。

最後に、ビーム損失が具体的にどこで起こるのか調査を行った。水平方向の最小物理アパーチャは入射セプタムの内壁（中心軌道から約35mm）と考えられたが、ビームスクレーパーによってアパーチャを徐々に狭める調査を行った結果、セプタムよりもかなり狭いアパーチャでなければビーム損失は起きないという結果になった。実際、セプタムに向けてバンブを立てても損失に変化はなかった。どこにその様な狭い部分があるのか探す為、2002年のPF-AR高度化の際に唯一改造されていないリングの北直線部にバンブを立てた結果、北直線部のリング上内側方向に最小アパーチャが存在することが分かった。アパーチャに関して春のシャットダウン中により詳細な調査が行われる予定である。