

横方向ビーム不安定性の8極磁場依存性

宮島 司, 小林 幸則, 原田 健太郎, 長橋 進也
物質構造科学研究所 放射光源研究系

2.5 GeV PF-ring では、マルチバンチ運転時に横方向（水平、垂直方向）のビーム不安定性が観測されている。このビーム不安定性はビームサイズを増大させ、放射光の質を低下させる原因となる。ユーザーラン時はこれを避けるために、直線部改造以前は4台の8極電磁石を励磁し、現在はバンチ毎フィードバックを用いてビーム不安定性を抑制している。

PF-ring で観測されている横方向不安定性の原因として、resistive wall impedance による不安定性、head-tail 不安定性やイオン捕獲による不安定性の可能性が考えられている。これまでに PF-ring で行なわれてきたマシンスタディの結果から、この横方向不安定性はリングの真空圧力に依存することがわかっており、イオン捕獲による可能性が高いと考えられている。しかし、resistive wall impedance による不安定性や head-tail 不安定性の可能性も否定されたわけではなく、現状では起源を特定できていない状態である。

直線部改造計画では、多数の真空チェンバーが更新されたが、これに伴い impedance が変化し、ビーム不安定性の様子が変わった可能性が高い。2005年3月の第22回 PF シンポジウムでは、直線部改造前の横方向不安定性の性質を調べるために行なった、8極磁場に対する応答の測定結果を紹介した。今回は、直線部改造により真空チェンバーが変化した後について同様の測定を行い、impedance の変化がビーム不安定性に及ぼす影響を測定した。また、この不安定性が head-tail 不安定性かどうかを特定するために、クロマティシティに対するビーム不安定性の影響も測定した。これらの詳細なデータを基に、不安定性の原因を特定することが本実験での目的の一つである。

8極磁場による横方向ビーム不安定性抑制効果は、次のようなメカニズムであると考えられている。8極磁場を変化させることは振幅依存チューンシフトを変化させることに対応し、これによりビームにチューンスプレッドが与えられ、ランダウ減衰が生じていると考えられる。本実験で行なっている、ビーム不安定性の8極磁場依存性を測定することは、振幅依存チューンシフトに対する不安定性の変化を測定していることに対応する。8極磁場によるビーム不安定性抑制効果はこのように考えられているが、これを検証するのが本実験でのもう一つの目的となっている。

不安定性の測定では、DC 8極電磁石の磁場の強さを4台同時に同じ値に変更し、ボタン電極からの信号をリアルタイムスペクトラムアナライザ (RSA230) で測定した。直線部改造後の測定では、(1) フィリングパターン (312, 281, 200, 100 bunch)、(2) 1バンチあたりのビーム電流 (1.6, 0.8 mA / bunch)、(3) クロマティシティを変化させた。また、直線部改造後にバンチ毎フィードバックシステムが導入されたが、このフィードバック ON / OFF によるビーム不安定性の変化も測定した。

測定の結果、マルチバンチでの通常ユーザーランの条件下 (281 bunch, 1.6 mA / bunch) では、直線部改造前は8極磁場の強さが $K_3 = 0.0 \text{ m}^{-3}$ 付近で垂直方向不安定性のみが観測されていたものが、改造後は水平、垂直方向の両方の不安定性が観測されるようになった。また、1バンチあたりのビーム電流を下げると、不安定性が励起される領域は8極磁場の強さが負の方向（振幅依存チューンシフトが小さくなる方向）へシフトすることがわかった。

今後、横方向不安定性のフィリングパターン依存性、真空圧力の変化に対する依存性やパルス8極電磁石を用いた不安定性の動的性質などを測定し、PF-ring で観測される不安定性の原因を特定し、また8極磁場による抑制メカニズムを明らかにしたい。