

## 光軸と輝度の安定化

KEK PF 本田 融

PF リングや PF-AR で観測される軌道変動やビーム不安定性の様子と、ユーザー運転時に稼働している軌道フィードバックシステム、横方向及び進行方向のバンチ毎フィードバックシステムの概要を紹介する。

PF リング初期の軌道フィードバックは COD (閉軌道歪み) にみられた日較差の補正を主目的として運用開始され、COD 測定周期が 10 分程度のものであった。1997 年の高輝度化改造時に COD 計測システムが一新され、最短周期 1 ms の高速デジタルフィードバック (垂直方向) が導入された。設計仕様は 10 Hz 付近の機械的な振動領域までをカバーするものであるが、通常は系の安定性を重視してフィードバック周期 10 ms で周波数 1 Hz 以下の変動を抑制するようにパラメータが設定されている。また 2005 年の直線部改造以降は周期約 20 秒の遅い軌道フィードバック (水平、垂直) も併用している。外気温変動に起因するリング周長の日較差や年較差は、RF 加速周波数の微調整によって補正している。数分オーダーの遅い軌道変動は、加速器コンポーネントの温度や冷却水温の変動に寄るところが大きく、トップアップ運転で定電流を保持することは変動の抑制に大変有効である。

PF リングにおける横方向ビーム不安定性は、ベータatronチューンに対応して基本周波数約 640 kHz の水平振動として観測される。横方向ビーム不安定性の主原因は、イオン捕獲と考えられる。すべてのバンチに電子を詰めるとイオン捕獲不安定性が非常に強くなって抑制が困難になる。そこで通常はバンチ間隙を開けたパーシャルフィルで運転し、フィードバックによって横方向ビーム不安定性は完全に抑制されている。

進行方向ビーム不安定性は基本周波数約 20kHz のシンクロトロン側帯波として観測される。不安定性を誘起する共振モードが複数存在し、シンクロトロン振動のスペクトルにはしばしば時間的なゆらぎが生じる。この振動スペクトルの変化が、光源点にエネルギー分散のあるビームラインで輝度の変動として観測されるのである。PF リングでは長年の間、RF 加速に位相変調をかけてバンチ長を伸ばし、振動スペクトルを安定化させて輝度ゆらぎを抑制していた。2008 年の秋からあらたに進行方向バンチ毎フィードバックの常時稼働を始めた。フィードバックの導入で完全にビーム不安定性が抑制され、輝度ゆらぎの問題も解消すると期待されたが、現実には単振動はうまく抑制されたものの、四極振動 (バンチ長の伸縮、基本周波数約 40 kHz) が残って、輝度の変動もやはり生じてしまった。そこで現在はバンチ毎フィードバックと RF 位相変調を併用し、四極振動の振動スペクトルを安定化させて運転している。フィードバックによって単振動が抑制されたことで、ビームラインでは実効的に輝度が向上する結果となっている。