

## 光源の現状 (Photon Factory News Vol.29 No.4 Feb 2012)

加速器第七研究系主幹 小林 幸則

## 光源リングの運転状況

PF リング, PF-AR とともに秋の運転は概ね順調だった。図 1 に典型的な運転として, 11 月 7 日から 12 月 7 日までの蓄積電流値の推移を示す。PF リングでは 11 月 18 日から 11 月 24 日にかけては単バンチユーザ運転を行っている。単バンチモードは寿命が短いため, トップアップ運転は必須となっている。そのため, 火曜日ごとに行われているリニアックマシン調整をこの週に限り中止して頂いた。また, 12 月 1 日のマシン調整日に多バンチ 300 mA と単バンチ 50 mA を組み合わせたハイブリッドモードでのテスト運転をビームライン側と合同で行い, ビームライン側での問題点を洗い出して頂いた。特に, 問題は無いようである。PF-AR では再入射を必要とする寿命急落が 11 月 11 日に 2 回, 1~2 時間で回復する寿命急落が 11 月 12 日と 11 月 15 日に 3 回ずつ発生した (11 月 15 日には 2 分間隔で 2 回起きていた)。その 8 回のうち 5 回は SW12-13 間の FB ダンパ部の圧力のハネと同期していた。一度起きると頻発する傾向がある。カレント依存性も見えており, 非回復型は 60 mA 付近で発生, 回復型は 50mA 付近で発生している。放電条件やダストの種類やサイズの違いが考えられている。FB ダンパを改良型に交換する方向で検討している。さらに再入射を要する寿命急落が 11 月 22 日, 11 月 25 日, 11 月 29 日に 3 回あった。短時間で回復する急落も頻繁にあったが, そのうちの幾つかでは NW14-2 付近の圧力が変動していたこともあり, ギャップを 10 mm まで閉じたことによる (ダストでは

ない) ビームロス率の上昇と思われる。

PF リング, PF-AR とともに, 12 月 22 日 9:00 に運転を停止した。冬の停止期間中には, PF リングの超伝導ウィグラー上流のゲートバルブを取り外し, ダミー管と交換する作業を行った。このゲートバルブは震災後にハイブリッドモード運転での真空悪化が顕著になったので撤去した。1 月の立ち上げは, PF リングが 1 月 16 日に, PF-AR が 1 月 20 日に行われ, 現在ユーザ運転が行われている。なお, 1 月のマシン調整で, 蓄積電流値を多バンチ 400 mA と単バンチ 50 mA で行ったが, 顕著な真空悪化は見られなかった。2 月 3 日から 2 月 7 日まで予定されているハイブリッドモードでのユーザ運転では, 通常のマルチバンチ運転と同じ 450 mA で行う予定である。

## PF リングにおける進行方向四極振動について

PF リングにマルチバンチ・大電流を蓄積した際には, 進行方向のカップルドバンチビーム不安定が発生する。これを抑制するために, 従来より広帯域進行方向キッカー, 高速デジタル信号処理装置からなるフィードバックシステムを開発してきた。進行方向のフィードバックによって重心振動モード (シンクロトロン振動の二極振動成分) を完全に抑制することに成功し, 2008 年秋からは常時ユーザ運転に供している。しかしながら, 実際の不安定現象は二極振動だけではなく, バンチが進行方向に伸縮する四極振動が発生していることもこのとき判明した。これをフィードバックによって抑制するには新たなキッカーを設計・製作する必要があるうえ, 強力なアンプも必要になるなど費用と時間の両面で容易に対処できなかった。そこで, 主加速 RF 信号 (約 500 MHz) にシンクロトロン周波数の 2 倍 (約 43 kHz) で位相変調をかけることでバンチ長を伸ばし, 全体としてビームを安定化する手法を併用してきた。この手法は四極不安定の安定化に有効である一方, ビームのエネルギー広がりが大きくなる欠点を持ち合わせている。したがって, リング内の分散がある場所ではビームサイズが大きくなり, 結果としてビーム輝度の減少につながってしまう。とくに顕著に表れるのが BL3, BL17 など, 分散のある場所にある挿入光源ビームラインである。

東日本大震災の後, 6 月 30 日にはじめて単バンチ・大電流のビームを蓄積したところ, B23-B24 間の真空が悪化してビームダンプにつながる事態が発生した。この時点では原因究明に至らなかったものの, 夏の停止期間の作業によって RF コンタクト付きのゲートバルブ付近が変色し, O リングが変質していることが判明した。このタイプのゲートバルブは PF リングでは全部で 3 か所使用していたため, このうち 2 つはダミー管と交換し, 残り 1 つは状態が比較的良好と思われたためそのままにする方針とした。

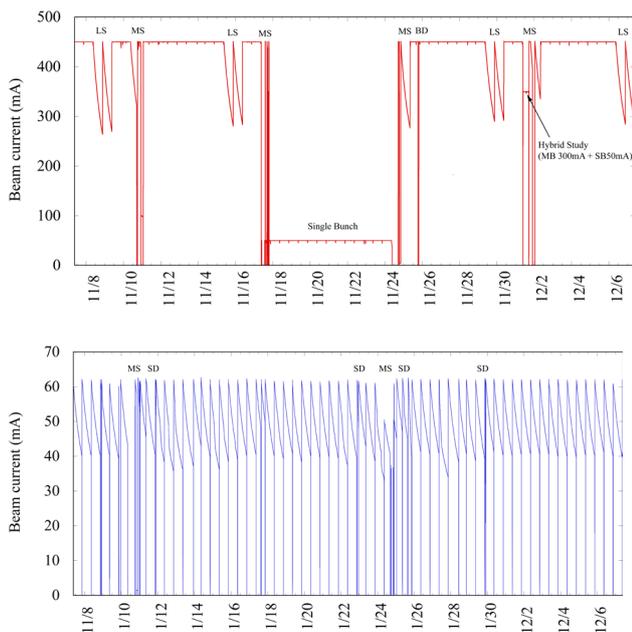


図 1 (上) PF リングと (下) PF-AR の蓄積電流値。MS はマシン調整, LS はリニアックマシン調整, BD はビームダンプ, SD は寿命急落を示している。

この状態で秋の運転を開始したところ、進行方向の四極振動の様子が従来とは変わっていることが判明した。四極振動が起き始めるビーム電流の閾値は 230 mA 程度であったものが 270 mA 程度まで上昇した（閾値は RF 空洞のパラメータにも依存しており、常に同じ電流で起き始めるわけではない）。また、蓄積電流値がさらに大きくなって 400 mA を越えたあたりでは、夏以前の運転では四極振動が起きたり起きなかったりを繰り返す奇妙な現象が起きていたのに対し、400 mA を越えても不安定が発生することが無くなり、ビームが安定になった（念のため付言するとビーム不安定の二極振動モードは起きているため、進行方向フィードバックによる抑制は不可欠である）。このため、ゲートバルブ部分が空洞構造となり、四極振動をひきおこすインピーダンス源になっていたものと推定した。

これで四極振動問題が全て解決したかと思っただけの間、ビーム電流が 450 mA でトップアップ運転を継続している間は非常に安定であったのに対し、リニアックマシン調整にともなってトップアップを停止して蓄積モードで運転したところ、電流が 320 mA 付近まで減少したときに四極振動が起きはじめることが判明した（図 2）。この現象には

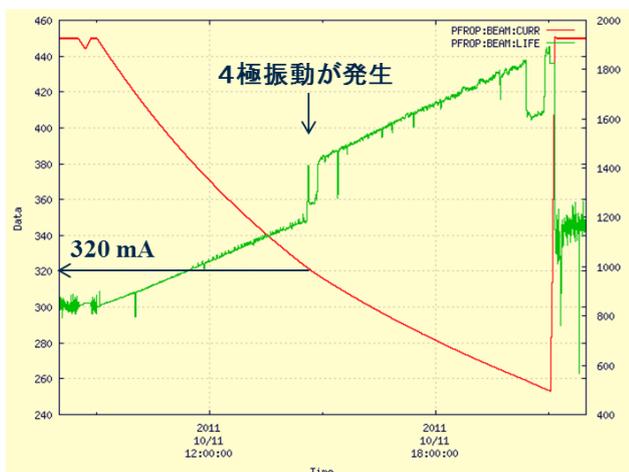
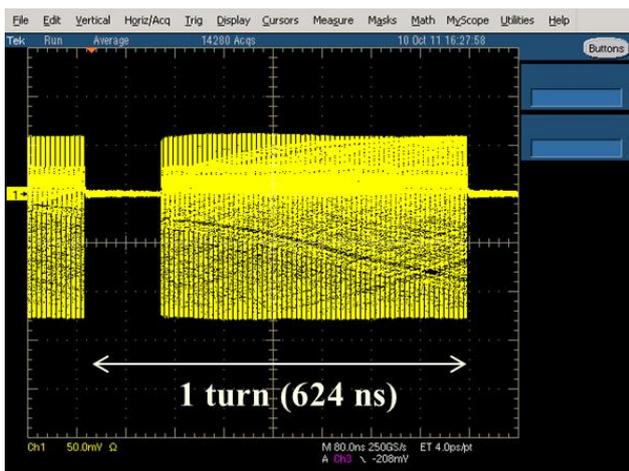


図 2 (上) 250 バンチ + 62 ギャップのフィルパターン、(下) ビーム電流 320 mA 付近まで減少したときに四極不安定発生。バンチ体積が増えるためビーム寿命が増加する。

ヒステリシスがあり、一度不安定が起きはじめると 450 mA でのトップアップ運転に戻しても四極振動が治まることは無かった。

フィードバックシステムの解析機能を使用して個々のバンチ振動の様子を測定したところ、バンチトレイン後半になるにしたがって振動が大きくなることが分かった。これまで PF はハーモニック数 312 に対し、連続した 250 パケットにビームを蓄積して、残り 62 パケットはイオン捕獲不安定を抑制するためのギャップとしていた（バンチトレイン 1 個）。バンチ列後半で不安定が成長するならば、バンチトレインの数を増やして、個々のトレインの長さを短くすれば不安定が抑制可能になると考えて、いくつかのフィルパターンを試行した。その結果、4つのバンチトレイン（63 バンチ + 15 ギャップ）× 4 個、とすれば四極振動が起き始める電流値が下がることを確認できた（図 3）。これ以上分割しても効果は無く、むしろ不安定が起りやすくなってしまった。当面のユーザーランは 4 バンチトレインで行うとともに、今後も原因究明のマシンスタディを継続する。

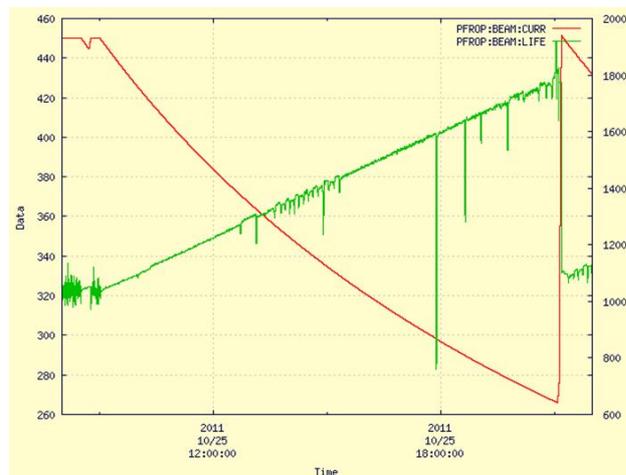
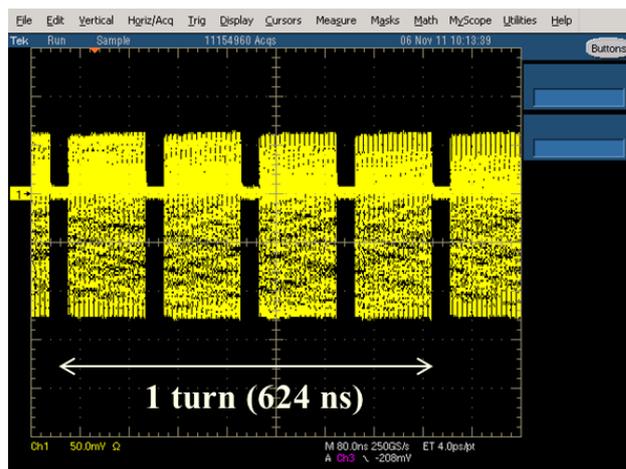


図 3 (上) (63 バンチ + 15 ギャップ) × 4 個のフィルパターン、(下) ビーム電流 260 mA 付近になっても四極不安定は発生しない。（ビーム寿命がスパイク的に下がっているのは挿入光源のパラメータ変更にもなうもので、不安定とは無関係）