MEASUREMENT OF BEAM LOSS DISTRIBUTION IN THE SPRING-8 STORAGE RING

Yoshito Shimosaki[1], Kazuo Kobayashi, Masaya Oishi, Masazumi Shoji, Kouichi Soutome
Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)
SPring-8, Sayo, Hyogo, 679-5198

Abstract

One of the major concerns in the SPring-8 storage ring is an irradiation-induced damage due to beam loss. In order to manifest a mechanism of a beam loss and to handle it, a beam loss monitoring system for beam diagnostics has been developed. By using the system, beam loss distributions in time, space and tune diagram were measured. The system and experimental results will be reported.

SPring-8 蓄積リングにおけるビームロス分布の測定

１．はじめに

2003年、SPring-8蓄積リング(SR)において、電子ビームアボートのタイミングで周回電子ビームが真空チェンバーに衝突し、チェンバーの損傷により真空漏れを引き起こした [1]。また、SR内を周回している電子ビームが真空封止型挿入光源用の永久磁石に衝突すると、永久磁石を減磁する可能性がある[2]。SR機器への電子ビームによる照射ダメージを抑制する為に、ビームロスを監視する必要が有る。

ビームロスモニターはいつ・どこで・どの程度、ビームを損失したかを予測することができるので、（１）ビームロスの監視、（２）ビームロスメカニズムの解明、及び（３）ビームロスハンドリング（ビームロスの抑制、または適切な廃棄点へのビームの誘導）に対し、非常に有用である[3]。そこで、SR機器への電子ビームによる照射ダメージを抑制する為に、PINフォトダイオードを用いたビームロス監視システムを開発中である[4]。SR入射時におけるビームロスメカニズムの解明、及びビームロスハンドリングの為に、開発中のビームロス監視システムを用いてビームロス分布を測定した。ビームロス監視システム、及びその実験結果について報告する。

２．ビームロス監視システム

ビームロスモニターは、「ビームがチェンバー等に当たった時に生じる2次粒子を検出するビームロス検出部」と、「パルス磁石からの誘導電圧やクロッチ・アブソーバーからの散乱放射線等のバックグラウンドノイズを検出する為のノイズ検出部」で構成されている[4]。それぞれの検出部には、安価で高速なPINフォトダイオードを採用している。逆バイアス電圧についても、安価でメンテナンスフリーとする為、使用しないこととした。それぞれの検出部は50 x 80 x 34 mm^{3}のアルミシャーシに内蔵され、入射点、廃棄点、25m長尺真空封止型アンジュレータ（ID19）、電子ビーム損傷試験装置（SS48）など、SRトンネル内の主要な11カ所に22個インストールされている。

それぞれの検出部からの信号は、シールド付きツイスト4芯線を用いてトンネルの外に引き出され、処理回路に入力される。処理回路において、ビームロス検出部からの信号とノイズ検出部からの信号が差分増幅（x100）される。処理回路からのアナログ信号はデジタルレコーダーでデジタル信号に変換され、中央制御室に送信される。

３．ビームロス分布のチューン依存性

SPring-8 SRでは、状況に応じ2種類の入射スキーム、すなわち「通常入射」と「トップアップ入射」が行われる。ビームが無い状態からSRにビームを蓄積する場合は、シンクロトロンから出射される全ての電子を、ビーム輸送部（SSBT）を通じて入射する、「通常入射」が行われる。このとき挿入光源のギャップは完全に開いた状態となる。一方で、ユーザー運転中、挿入光源のギャップを閉じた状態で電子減少分をつぎ足し入射する際は、「トップアップ入射」が行われる。

まずトップアップ入射におけるビームロスメカニズムを解明する為に、チューンをユーザー運転時の(40.15, 18.35)から変えながら、SR各点におけるビームロスモニター出力及びSSBTからSRへの入射効率を測定した。このとき、ID19のギャップは、最小の12 mmに設定した。SR各点でのビームロス分布を図1に、入射効率を図2に示す。図1の(Q_x, Q_y)はチューンの小数部を意味する。また図1中に示されている数字は、ビームロスモニターの出力(mV)に相当する。

[1] E-mail: shimosaki@sp8sun.spring8.or.jp

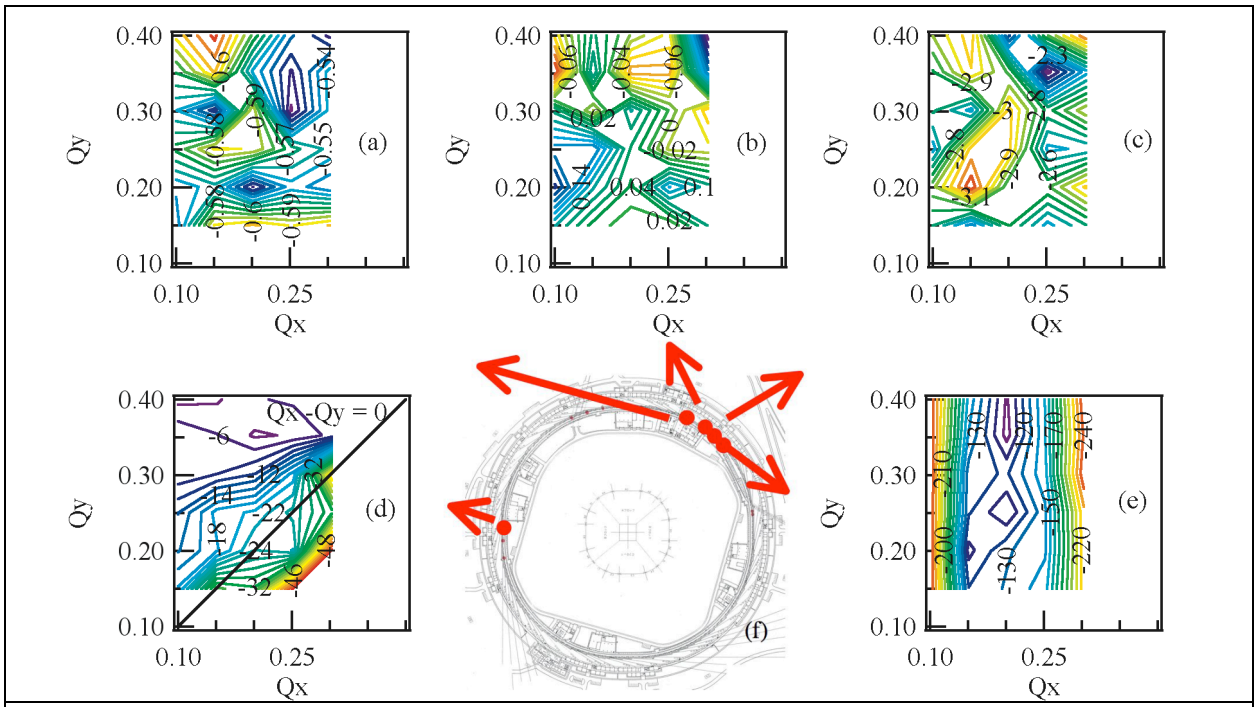

Fig. 1: トップアップ入射時、チューンダイアグラム上で見たSR各点でのビームロス分布。 (a) cell2-B2, (b) 廃棄点, (c) 入射点, (d) ID19入口、及び (e) SS48。(f) Schematic view of SPring-8 SR.

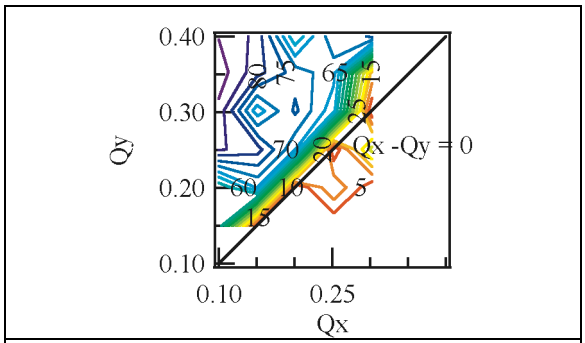

Fig. 2: トップアップ入射時、チューンダイアグラム上で見たSSBTからSRへの入射効率（%）

チューンの小数部(Q_x, Q_y)がQ_x - Q_y = 0の結合共鳴に近づくにつれ、ID19入口におけるビームロスが増大し（図1(d)）、入射効率が減少した（図2）。SS48においては、x方向チューンにのみ依存したビームロスが観測された（図1(e)）。SS48のビームロス信号に関しては、信号強度としてはID19に比べ大きいが、図2の入射効率との明らかな相関は見られなかった。入射点、廃棄点、セル2-B2においては、ビームロスに明確なチューン依存性は見られなかった（図1(a), (b), (c)）。

入射効率との相関が見られるID19入口でのビームロスについて、入射効率の低下が見られた結合共鳴近傍のチューン(Q_x, Q_y) = (0.300, 0.248)におけるビームロス信号の時間変化を図3に示す。ビームロス信号に20 μ sec間隔の時間構造が見られる。SPring-8 SRにおける基準粒子の周回時間は約4.8 μ secであり、Q_y = 0.248のチューンとのかねあいから、y方向位相空間における粒子分布のダイポール振動で4周に1回、ビームがチェンバーに当たって生じたビームロスにより、図3のようにビームロス信号に時間構造が生じたものと思われる。

チューンダイアグラム上及び時間軸上で観測したSR各点におけるビームロス信号から、トップアップ入射におけるビームロスメカニズムについて、次のことが言える：Q_x - Q_y = 0の結合共鳴に近づくにつれ、入射直後にy方向ダイポール振動振幅が増大し、y方向に物理的口径の狭い箇所（ID19入口など）でビームが削れ、ビームロスを生じた（＝入射効率が減少している）ものと思われる。

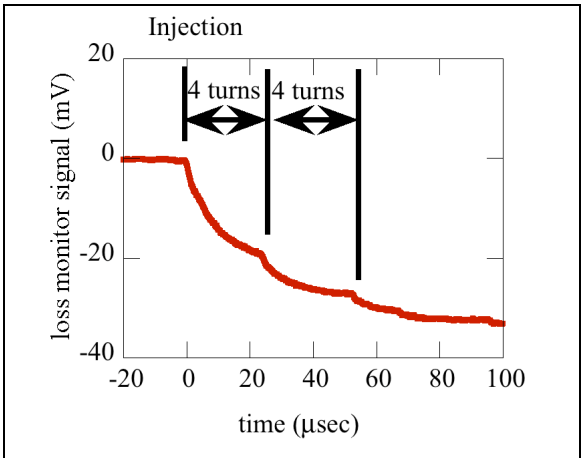

Fig. 3: ID19入口におけるビームロス信号の時間変化。 (Qx, Qy) = (0.300, 0.248).

４．通常入射時におけるビームロスハンドリング

ユーザー運転時、チューンは (40.15, 18.35)に設定されており、Q_x - Q_y = 0の結合共鳴からは離れている。このとき図1から、ID19におけるビームロスよりもSS48の方が信号強度が大きいので、SS48でのビームロスが、より支配的となるものと予想される。そこでユーザー運転通常入射時のSR各点でのビームロス信号を測定した。結果を図4に示す。入射直後に、入射点及びSS48においてビームロス信号が観測されたが、SS48の方が入射点よりも信号強度が約10倍大きくなった。通常入射時、ID19のギャップは完全に開いているので、ID19入口でのビームロスは観測されなかった。

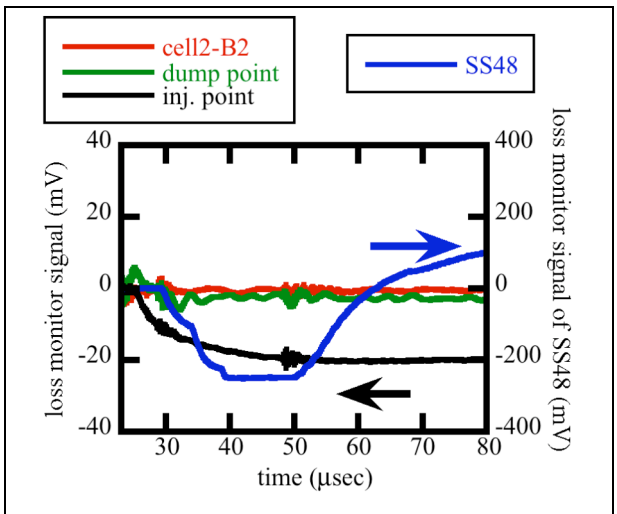

Fig. 4: 通常入射時のビームロス分布。 (Q_x, Q_y) = (0.15, 0.35).

SPring-8 SRでは、周回ビーム軌道に対して入射ビームをオフセンターに入射する、オフセンター入射方式が採用されている。入射ビームはCODの周りをダイポール振動しながら周回するので、ダイポール振動振幅が大きくなって入射ビームが真空チェンバーに衝突した場合、そこでビームロスを生じる。そこで、ビームロス信号が観測された場所にローカルバンプ軌道を作り、入射ビームがチェンバーに当たることを回避できれば、入射ロスが減少し、結果的にSRへの入射効率が上昇するものと思われる。

図4から、通常運転時のチューン (40.15, 18.35)において、SS48におけるビームロスが支配的なので、ここではSS48のx方向及びy方向にローカルバンプ軌道を作り、バンプ高さを変えながら入射を繰り返すことで入射効率を測定した。結果を図5に示す。y方向に関し、正の向きにローカルバンプを作ることで、入射効率の平均値が上昇した。今後、入射ロスが観測されている他の場所に関しても同様にローカルバンプを作ることで、入射効率が改善されないか調査する予定である。

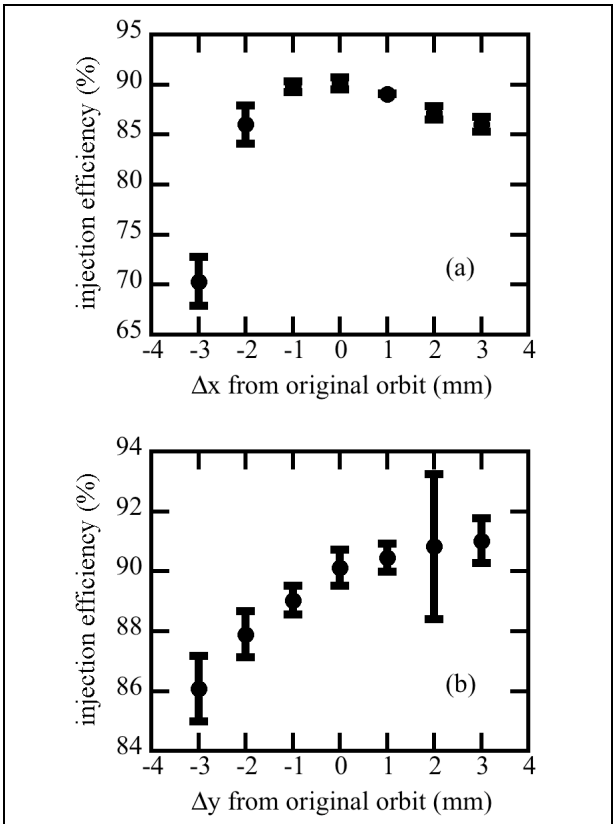

Fig. 5: SS48にローカルバンプ軌道を作って通常入射したときの入射効率。(a) x方向、(b) y方向

５．まとめ

ビームロス分布を場所、時間、またチューンダイアグラム上で観測することで、ビームロスメカニズムを解明し、ビームハンドリングによりビームロスを抑制することが期待できる。

今後、効率よくビームロスを監視する為に、戦略的にビームロスモニターを増強する予定である。

参考文献

[1] M. Shoji, et al., “Development of SPring-8 vacuum system”, to be published in Vacuum.
[2] T. Bizen, Nucl. Instr. and Meth. A 574, 401 (2006).
[3] N. Catalan et al., “Summary of Sessions A and D: Lattices, Beam loss Handling and Collimation & Diagnostics and Instrumentation”, AIP Conf. Proc. 773, pp.449-451.
[4] 下崎義人、大石真也、小林和生、小路正純、早乙女光一、「SPring-8蓄積リングにおける、PINフォトダイオードを用いたロスモニターの開発」、第5回日本加速器学会年会・第33回リニアック技術研究会（広島県東広島）、TP209、2008年8月.