

## ランプアップ時ビームロス要因特定に向けたモニターシステム

### THE MONITORING SYSTEM FOR INVESTIGATION OF THE BEAM LOSS IN RAMP-UP

岩崎能尊<sup>#</sup>

Yoshitaka Iwasaki<sup>#</sup>

SAGA Light Source

#### Abstract

Normally the amount of beam loss at the moment of energy ramp-up is less than 10 mA in the SAGA Light Source storage ring. However, the large beam loss and the all beam loss were sometimes occurred. In order to improve the reliability of the accelerator operation, the beam loss mechanism during energy ramp-up has been investigated using National Instruments PXI system. The beam current, beam positions, and the excited electric currents of the power supplies of the storage ring has been simultaneously measured by the sampling rate of 100 kS/s. As a result of the survey, we did not find a clear relationship between the beam loss and tune shifts.

#### 1. はじめに

SAGA Light Source (SAGA-LS)電子蓄積リング[1, 2]にはリニアックにより 257 MeV まで加速された電子が 1 Hz にて入射される。300 mA 蓄積後、蓄積リング内で 1.4 GeV までランプアップ(加速)する。入射に要する時間は概ね 3~5 分程度、257 MeV から 1.4 GeV までのランプアップに要する時間は約 4 分である。1.4 GeV 到達後、2 台の超伝導ウィグラー[3]励磁、ビームサイズの調整等を行った後、放射光を用いたユーザー運転が開始される。Figure 1 に SAGA-LS 加速器レイアウトを示す。

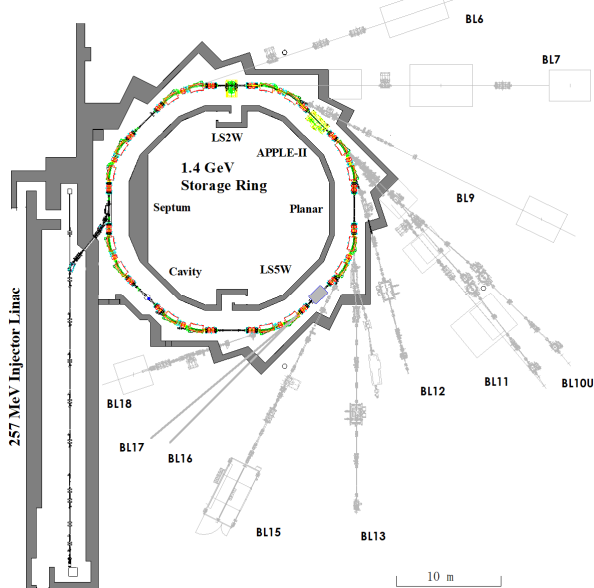


Figure 1: Layout of the SAGA-LS.

近年 SAGA-LS 加速器は一部の機器類の故障を除き概ね良好なユーザー運転を継続している。しかしながら、ランプアップの際に、数 mA~10 mA 程度のビームロス

が継続していた。また稀に数 10 mA 以上のビームロスやビームの全ロスが発生し、入射をやり直す場合があった。ランプアップ不調によるアボートタイムは発生していない。しかし、より安定したランプアップの確立によるユーザー運転信頼性向上を目的として、ランプアップ時のビームロスメカニズムの要因解析が望まれた。SAGA-LSにおいて入射時のビーム寿命はチューンに敏感である。チューンは主に蓄積リング電磁石電源の出力電流により決定される。ランプアップ時ビームロスの原因は、電磁石電源の想定外の出力であると想定した。ビームロスはランプアップ直後(400 MeV 以下、加速開始から数秒以下)で発生する。既存の 1 Hz のモニターシステムによる観測によっては、このように短時間発生する現象のメカニズム解明は不可能であった。そこで、National Instruments (NI) PXI を用いて蓄積ビーム電流、ビーム位置、蓄積リング主要電磁石電源の 100 kS/s の高速観測システムの構築を行った。

本稿において、ランプアップ直後のビームロスの状況、PXI システムを用いたビーム電流、ビーム位置、電磁石電源出力値モニターシステムの概要、解析手法、および解析結果の一部について記述する。

#### 2. ランプアップ時ビームロスの状況

ランプアップ時のビームロスは、加速開始から数秒以内、エネルギー400 MeV 以下でステップファンクショナルに発生する。Figure 2 にランプアップ直後に発生するビームロスの一例を示す。入射エネルギーにおけるタウシェック寿命は数時間以上あり、このような不連続なビームロスの要因は不明であった。Figure 2 に示した例においては、ビームロスはランプアップ開始から約 1 秒後、500 ms の時間内に約 50 mA のロスを生じた。ビームエネルギーは 265 MeV から 275 MeV (偏向電磁石電源出力値 86.1 A から 89.3 A) でロスが発生した。ランプアップの試行ごとにビームロス量、ビームロスするエネルギーは異なる。また、ランプアップ開始時の蓄積ビーム電流が増大するにつれてロス量は増加する傾向がある。蓄積ビーム電流が 200 mA 以下ではほとんどランプアップ直後のビームロスは発生しない。ビーム電流量に対する明

<sup>#</sup> iwasaki@saga-ls

確な閾値は存在しない。通常のビームロス量は数 mA～10 mA 程度でありユーザー運転に影響を与えない。仮に大きなビームロスや全ロスが発生しても再入射を行うことによりユーザー運転の遅延は回避されてきた。しかしながら、より信頼性の高いユーザー運転を実現するため、ビームロス要因の解明が必要であった。ビームロスは 1 秒以内の時間内でステップファンクショナルに発生する。従来の 1 Hz のモニター系によっては要因解析が不可能であった。そのため、PXI を用いた早いビーム電流、ビーム位置、蓄積リング電磁石電源出力値の同時モニターシステムの開発を行った。次節に PXI を用いた 100 kS/s のモニターリングシステムの概要を示す。

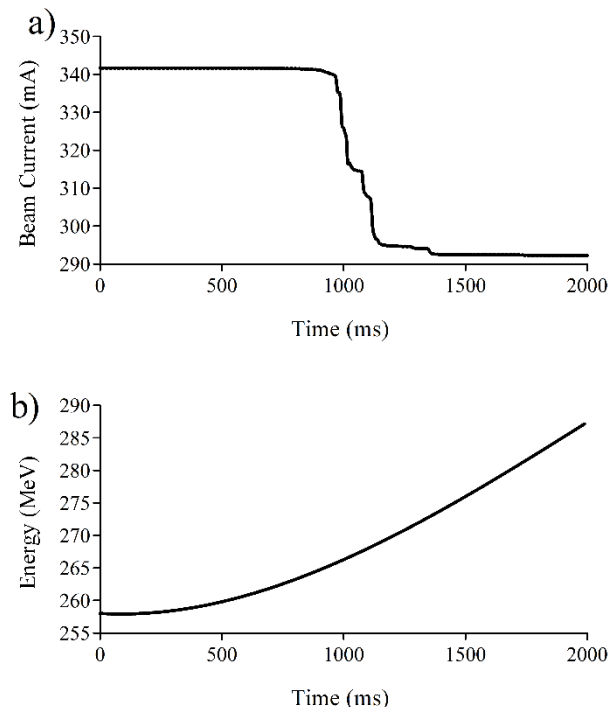


Figure 2: The beam loss a) and the beam energy b) at the beginning of the energy ramp-up.

### 3. PXI を用いたデータ収集システム

NI PXI には様々なモジュール、コントローラー、また OS の種別がある。我々の目的は、100 kS/s 程度のアナログ電圧信号のデータ収集およびある程度の現場コントローラー内でのリアルタイム演算であった。コントローラーには NI PXI-8106 RTOS, モジュールには NI PXI-6251 および PXI6254 を用いた。モジュールのカatalogスペックは差動 1 MS/s 16 bit である。しかし全てのチャンネルを使用した場合には速度は低下し、またチャンネル間クロストーク(ゴースト) [4]の問題もあった。PXI 本体ハードディスクには収録データをそのまま保存する他、簡易なフィルタリング済みのデータはイーサネットにて制御室の PC に表示させた。Figure 3 に既存の 1 Hz のモニターシステムを含めた PXI によるビーム電流、ビーム位置、蓄積リング電磁石電源出力値モニターシステムの系統図を示す。

電磁石電源出力値は外部 DCCT により読み込んでいく。しかし、信号には電源リップル由来のノイズが多く含まれておりサンプリング速度を上げたとしても DC 値の精度を高めることはできない。SAGA-LS 蓄積リングにおいては、 $\pm 0.01$  程度のチューン変動が寿命に影響を与える。4 極電磁石電源の  $\pm 1 \times 10^{-3}$  の変動がチューンに約  $\pm 0.01$  の寄与がある。DC 値の算出精度としては  $1 \times 10^{-3}$  程度を目標とし、得られた生データにはデジタルローパスフィルター処理を施した。偏向電磁石電源、4 極電磁石電源出力値からビームトラッキングコード Tracy2 を用いてランブアップ中のチューンを計算し、チューン変動とビームロスの関係を調べた。Figure 4 にデータ処理からチューンの計算フローを示す。得られたデータは、フィルタリング処理した後、データ点数を 1/100 に縮小した。4 極電磁石電源の K 値の算出には R-Matrix の解析による手法を用いた [5]。データ処理、チューン計算までの一連のフローは自動的に実行できるように環境構築した。

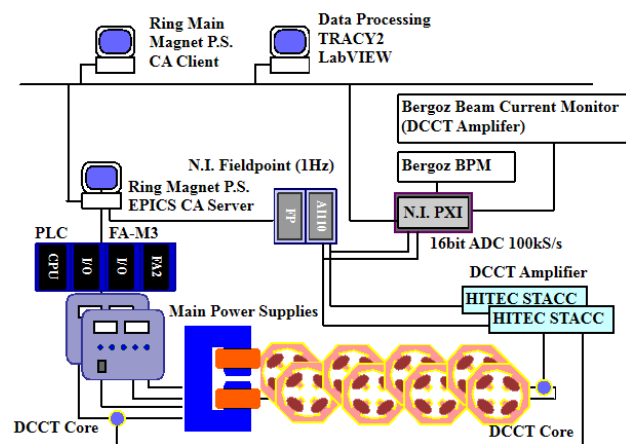


Figure 3: Fast measurement system for beam current, beam positions, and the electric currents of the power supplies of the storage ring.

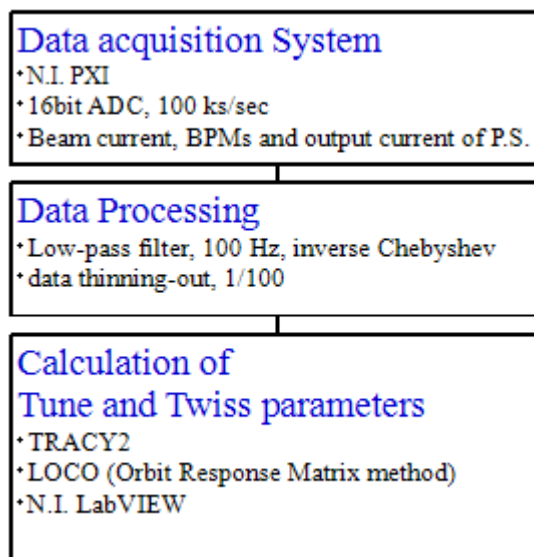


Figure 4: Data acquisition and analyses flow.

#### 4. 結果

Figure 5 にランプアップ開始から 312 MeV までの計算によるチューンシフトを示す。図中、赤色の領域でビームロスが発生している。計算により算出したチューンと計測によるチューンは厳密には一致しない。しかしながら、図中赤色ドットで示した領域付近におけるダイナミックアパーチャーは十分に広い。チューンシフトとビームロスには明確な関連性は見られなかった。また、ランプアップ直後にビーム軌道の変動も見られなかった。一方で 6 極電磁石電源の出力には極端に大きな非線形性が見つかった。これは電源を制御する PLC ラダープログラムの仕様に起因するものである。現在、PLC ラダープログラムの修正を実施し、ランプアップ安定性の調査を継続している。

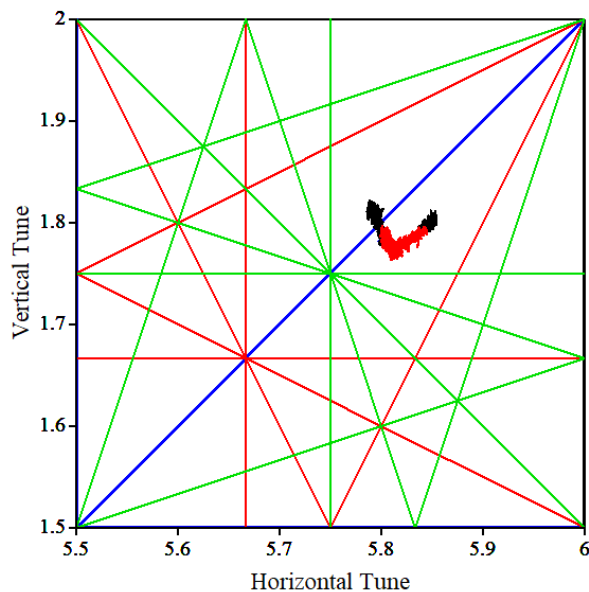


Figure 5: Calculated tune shifts during the energy ramp-up. Electron are lost in the region colored by red. Blue line, red lines, and green lines denote differential, 3rd, and 4th resonances respectively.

#### 参考文献

- [1] T. Tomimasu *et al.*, “The SAGA Synchrotron Light Source in 2003”, Proceedings of PAC’03, Portland, USA, 2003, pp. 902-904.
- [2] Y. Iwasaki *et al.*, “Lattice Design of SAGA Synchrotron Light Source”, Proceedings of PAC’03, Portland, USA, 2003, pp. 3270-3272.
- [3] S. Koda *et al.*, “Design of a Superconducting Wiggler for the SAGA Light Source Storage Ring”, IEEE Transactions on Applied Superconductivity, 21, pp. 32-38, 2011.
- [4] <https://knowledge.ni.com/KnowledgeArticleDetails?id=kA00Z0000019KzzSAE&l=ja-JP>
- [5] J. Safranek, “Experimental determination of storage ring optics using orbit response measurements”, Nucl. Instr. and Meth. A 388, pp. 27-36, 1997.