

SAGA-LS 電子蓄積リングにおけるランプアップ速度の向上

岩崎 能尊

九州シンクロトロン光研究センター

SAGA-LS 電子蓄積リングにはリニアックにより 255 MeV まで加速された電子が入射される。所定のビームカレントまで蓄積したのち、蓄積リング内にて 1.4 GeV までランプアップ（エネルギー加速）を行う。ランプアップに要する時間は従来約 4 分であった。規定のユーザー運転開始時刻までの時間的なマージンを可能な限り担保するため、ランプアップ速度の向上を行った。ランプアップ時においては加速開始直後に 10 mA～20 mA 程度のビームロスが発生し、コミッシュニング期に決定したランプアップパターン（電磁石の励磁パターン）の変更は困難であった。ビームロスはチューンシフト、ビーム軌道の大きな変動、各種ビーム不安定性等により発生する。そこで、ランプアップ途中のチューンシフトを測定し、ランプアップ中においてチューンシフトが発生しない 4 極電磁石の励磁を行った。また、ビーム軌道の補正を行うステアリング電磁石の励磁パターンの見直しを行い、ランプアップ時のビーム軌道の変動を抑えた。しかし、ランプアップ直後に発生するビームロスは削減されなかった。SAGA-LS 電子蓄積リングにおいては、入射エネルギー近傍におけるビーム寿命はチューンだけでなくクロマチシティーにも敏感である。そこで、ランプアップ中においてクロマチシティーが保存されるように 6 極電磁石電源の励磁パターンを修正したところ、ランプアップ直後のビームロスは抑制された。6 極電磁石の励磁パターンをランプアップ速度に応じ修正することでランプアップ時間の短縮にも成功した。2019 年度におけるマシンスタディーにより、ランプアップ開始直後のビームロスはほぼ解消され、ランプアップに要する時間は 4 分から 3 分に短縮された。

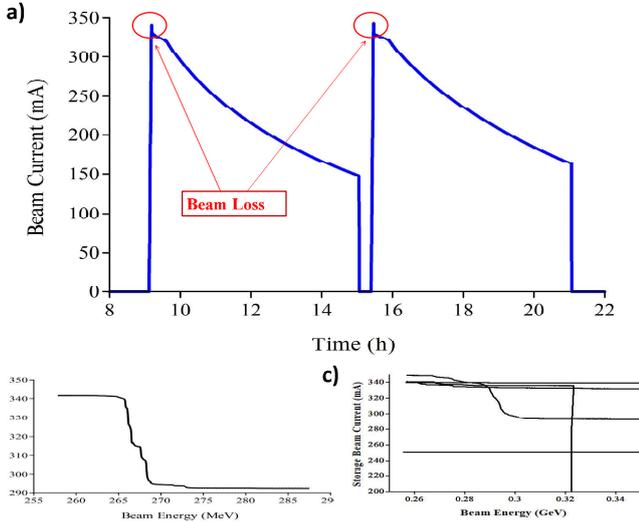
SAGA-LS電子蓄積リングにおけるランプアップ速度の向上

岩崎 能尊, 高林 雄一, 金安 達夫, 江田 茂

九州シンクロトロン光研究センター

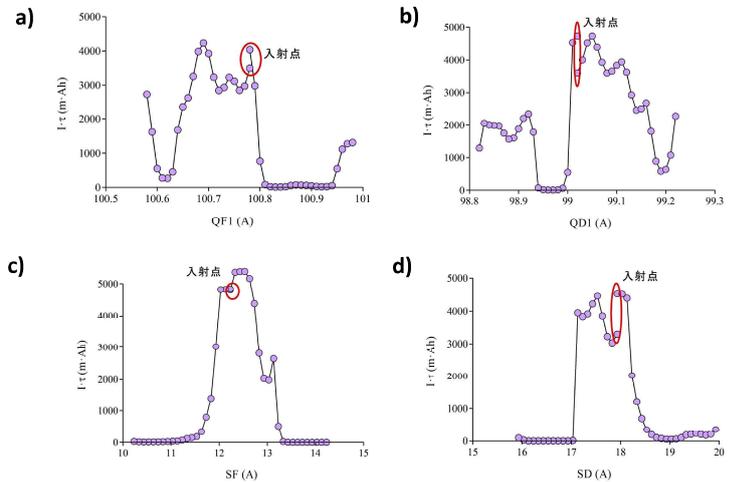
SAGA Light Source (SAGA-LS)電子蓄積リングにはリニアックよりエネルギー255MeVまで加速された電子が入射される。約300mA蓄積後、リング内で1.4 GeVまでエネルギーランプアップする。ランプアップに要する時間は従来約4分であった。規定のユーザー運転開始時刻までの時間的なマージンを可能な限り担保するため、ランプアップ速度の向上を行った。しかし、ランプアップ速度を速めた場合、ランプアップ直後に発生するビームロス量が大きくなるためユーザー運転に支障があった。大電流のビーム蓄積時には、ビーム寿命はベータートロンチューンだけでなく、クロマティシティーに敏感であることがマシンスタディーを通り明らかになった。ランプアップ時において4極電磁石だけでなく、6極電磁石の励磁パターンを調整することによりビームロスはほぼ解消された。その結果、ランプアップに要する時間は4分から3分に短縮された。

ランプアップ時のビームロス



ランプアップ時のビームロスの様子。a)ユーザー運転時におけるビームロス。340mA程度蓄積するものの、ランプアップ直後のビームロスにより10mA~20mA程度のビームロスを生じる。b)ビームロスは260MeVから300MeV以下のエネルギーで発生する(入射エネルギー257MeV)。c)蓄積ビーム電流とビームロスの関係。蓄積ビーム電流が250mA程度以下だとほとんどビームロスは発生しない。まれに全ロスを生じる。

入射エネルギーにおける安定領域



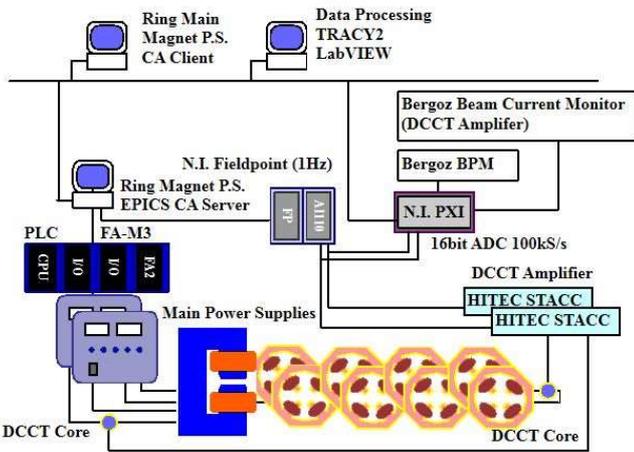
ビームロスの要因を調査するために、入射エネルギーにおけるビーム安定領域を調査した。

a)QF1電源に対するビーム寿命 ($I \cdot \tau$)。b)QD1電源に対するビーム寿命。QF1、QD1はそれぞれ主に水平方向チューン、垂直方向チューンの変動に対応する。c)SF電源に対するビーム寿命、d)SD電源に対するビーム寿命。SF、SDはそれぞれ主に水平方向、垂直方向クロマティシティーの変化に大きな寄与がある。

- 4極は $I \cdot t$ が急落する縁に入射点がある。安定領域 $D/I \sim 2 \times 10^3$
- 6極の安定領域は4極に比較して広いものの、入射エネルギー付近で $\pm 0.5A$ 程度の精度で制御しないとビームロスの要因となる。安定領域 $D/I \sim 8 \times 10^2$
- ランプアップの際にアルミ製の偏向電磁石用真空槽に発生する渦電流の効果は無視できない。

非常にゆっくりとしたランプアップにおいては、4極および6極をリニアに増加させるとビームロスが発生しないことが確かめられた。ダイナミックな影響が無視できる状況においては、チューン、クロマティシティーが固定されていれば、ランプアップ直後のビームロスは発生しない。

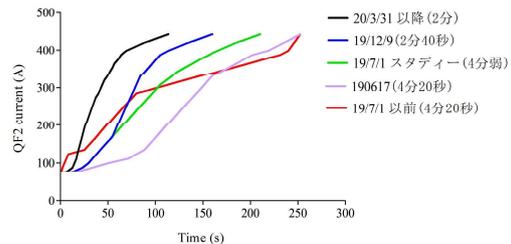
モニターシステムの開発



Data acquisition System *N.I. PXI *16bit ADC, 100 ks/sec *Beam current, BPMs and output current of P.S.	<p>リップル由来のノイズによりDC計測精度が低下。 高い周波数成分の磁場はアルミ真空槽内に浸透しない。 100Hzのデジタルローパスフィルタ後、データ点数を1/100に圧縮。</p>
Data Processing *Low-pass filter, 100 Hz, inverse Chebyshev *data thinning-out, 1/100	
Calculation of Tune and Twiss parameters *TRACY2 *LOCO (Orbit Response Matrix method) *N.I. LabVIEW	

ランプアップ直後の電源の速い応答を観測するために、従来の1Hzのモニターに加え、100ks/secのモニター系を構築した。読み取りにはNational Instruments社PXIシステムを用いた。PXIシステムには電磁石電源だけでなく、Beam Position Monitor, Beam Current Monitoringシステムからの情報も同時に取り込んだ。電磁石電源のモニター値には電源リップル由来のノイズによるDC計測精度が低下した。そのため、計測値にデジタルローパスフィルタを施しDC値を算出した。電源電源モニター値からK値の算出にはR-Matrixの解析による手法を用いた。K値からチューンその他ツイスパラメーターをTracy2により計算。ランプアップ直後にチューン変動をもたらす4極電磁石電源の変動はあるものの、ビームロスとの関連は見られなかった。また、ビームロス時に大きなベータビーティングは発生していないことがわかった。一連の解析は自動化した。

ランプアップ速度の変更



- ランプアップ直後のスピード増加 6極調整
- ランプアップ途中の速度向上
- 更にランプアップ直後のスピード増加 6極および4極調整
- ランプアップの所要時間を4分から3分に短縮。
- 2分以下のランプアップはまだ安定しない。

まとめと課題

- ランプアップ直後の不連続なビームロスを低減するために、PXIを用いた速いモニターシステムの開発を行った。
- ダイナミックな影響が無視できる状況においては、チューンおよびクロマティシティーが保存されていればランプアップ中に不連続なビームロスは発生しない。
- 4極電磁石電源に加えて、6極電磁石電源のランプアップパターンを調整することにより、ビームロスは低減された。
- 偏向電磁石真空槽に誘起される渦電流による6極成分がビームロスの原因になっている可能性がある。
- 従来4分だったランプアップ時間を3分に短縮した。

課題と今後

- 2分弱のパターンにおいては、数10mA以上のビームロスが発生することがあり、実用には至っていない。
- 原因を特定すべく、ビームプロファイルとビームロスの関係を調査するためのモニター系開発を行っている。