

SAGA-LS 蓄積リング入射不調要因の特定

岩崎 能尊

九州シンクロトロン光研究センター 加速器グループ

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257 MeVまで加速された電子が入射される。約340 mA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。通常、340 mA蓄積に要する入射時間は2~4分程度である。近年、入射不調により所定の時刻までにユーザー運転を開始できないケースが発生した。入射不調の主要因は、入射時におけるリング主要電磁石電源の出力不安定性であると推定し、入射時におけるリング主要電磁石電源の安定性を調査した。調査の結果、リング主要4極電磁石電源のひとつであるQD1電源が約10Hzの周期で 1×10^{-3} オーダーの変動をすることがあり、その際には必ず入射不調となることが判明した。QD1電源の 1×10^{-3} の変動はチューンに0.01程度の影響を与える。SAGA-LS電子蓄積リングの動作点は差共鳴に近く、QD1電源の 1×10^{-3} オーダーの変動により動作点は差共鳴を横断する。入射エネルギーにおいてはビームのブローアップを生じており、チューン変動と伴い入射不調が発生したと推定される。近年の入射不調はQD1電源の補修により抑制された。

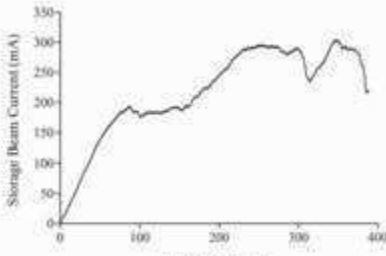
SAGA-LS電子蓄積リング入射不調要因の特定

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255 MeVまで加速された電子が入射される。約340 mA蓄積後、リング内で1.4 GeVまでエネルギーランブアップする。通常、340 mA蓄積に要する入射時間は2~4分程度である。近年、入射不調により所定の時刻までにユーザー運転を開始できないケースが発生した。入射不調の主要因は、入射時におけるリング主要電磁石電源の出力不安定性であると推定し、入射時におけるリング主要電磁石電源の安定性を調査した。調査の結果、リング主要4極電磁石電源のひとつであるQD1電源が約10Hzの周期で 1×10^{-3} オーダーの変動をすることがあり、その際には必ず入射不調となることが判明した。QD1電源の 1×10^{-3} の変動はチューンに0.01程度の影響を与える。QD1電源の補修により近年の入射不調は完全に抑制された。

入射不調時の状況



- ある一定のビーム電流以上となると、蓄積ビーム電流が頭打ちとなる（明確な閾値は存在しない）。
- パラメーター調整しなくとも蓄積ビームが増加することもある。
- しかし340mAの蓄積には届かない。
- リニアックからビームが供給されているにも関わらず、蓄積ビームが減少する。

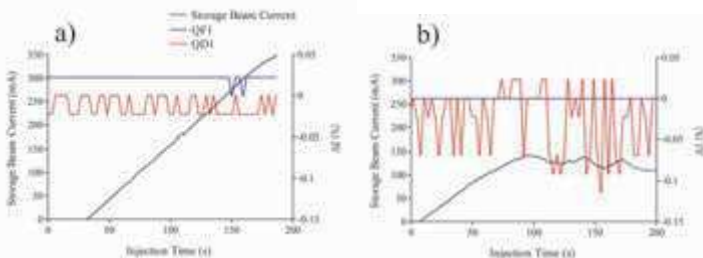
従来の経験則的な対処法

- リング主要電磁石電源設定値の微調整
- RF空洞電圧の調整（下げる）
- ビームの全廃棄
- 再ランブアップ
- COD補正

ユーザー運転日における入射不調の様子

リニアック出射ビームパラメーター、入射セプトム、キッカー電源等が正常な場合であっても入射不調が発生。
従来の経験則的な対処法によっては改善しないケースが発生。

QD1電源の変動と入射状況の関係



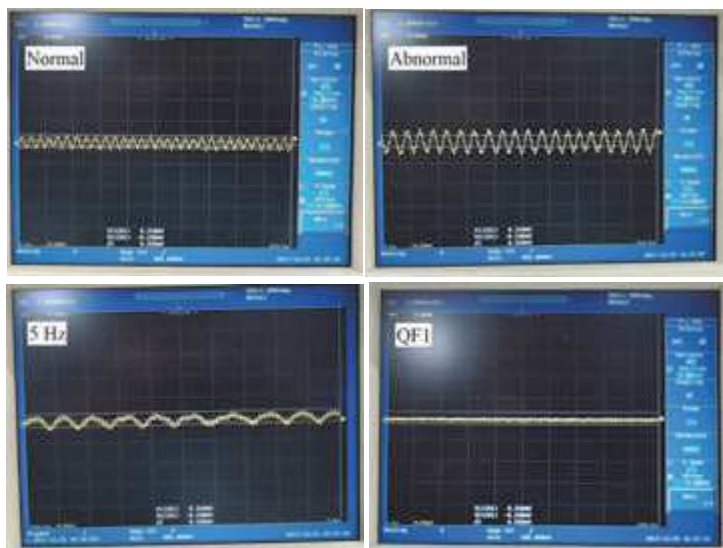
a) 入射好調時におけるQF1, QD1の変動

b) 入射不調時におけるQF1, QD1の変動

SAGA-LS電子蓄積リングにおいては主要電磁石電源 (BM, QF1, QD1, QF2, QFW1, QDW1, QFW2, QDW2, SF, SD) は外部DCCT (HITEC STACC2000) により実電流を計測している。外部DCCTにより検出された出力電流は、National Instruments 16bit ADC (Fieldpoint AI110) により、1Hzでモニターされている。入射不調時において、QD1電源が 1×10^{-3} オーダーで変動しているケースが見つかった（上図b）。

しかし、1Hzの観測系においてはあからさまな異常が見られない場合においても、入射不調が発生することがあった。

高速データロガーによる観測



高速データロガー (YOKOGAWA DL750P) をリング電源室に設置し、ACモードでQD1電源出力変動を観測した。
横軸：200msec/div, 縦軸：1mV/div (400 Hzローパスフィルタ適用)。
上図Normalの際には入射は好調、Abnormalの際には必ず入射不調となることが確認された。QD1電源は入射時において最大で、 1.5×10^{-3} の変動をすることがあることが判明。変動は発生する場合もあれば、発生しない場合もあり、また変動周期数は5Hz程度の場合も10~11Hzの場合もあった。
ちなみに、完全に同スベックで同負荷のQF1電源の入射時の変動は 1×10^{-4} 以下であった。
変動周期が速い場合にはFieldpointによる1Hzの観測系では異常キャッチが難しい。
DL750Pによる電源変動の様子は、制御室にて常時監視できるようにした。

アラーム機能の追加



SAGA-LSでは通常の機器類のパラメーターは1Hzで常時モニターしている。

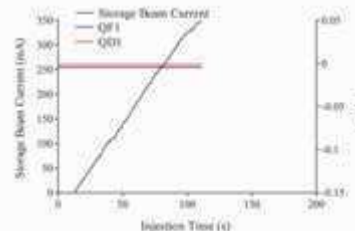
入射好調時における電源出力モニター値よりも0.05%以上ずれている場合にアラーム点灯するよう、電磁石電源モニタープログラムのGUIに簡便なアラーム機能を追加。

入射不調時において、主要4極電磁石電源のうち、QD1電源のみがアラーム点滅するケースがあった。

しかし、QD1電源にアラームがない場合であっても、入射不調となることがあった。

GUIに簡便なアラーム機能の追加

電源補修後の入射の状況



QD1電源補修後の入射の様子

QD1電源は入射時（入射時通電電流：約100A、定格720A）において大きく変動することがあり、その際には必ず入射不調となることが判明した。そのため電源を補修した。

電源の出力変動は、電源制御回路基準ラインおよび接地の強化で抑制された。フィードバック系、部品類の劣化は確認されなかった。電源筐体内に不良なループ回路が形成されていたと推定される。

QD1電源補修後、入射不調は完全に消失した。

リニアックパラメーター、セプトム設定、キッカータイミング調整等により、入射速度には多少のばらつきはあるが、他機器のアクシデントがない場合には概ね2~4分で入射が完了する。

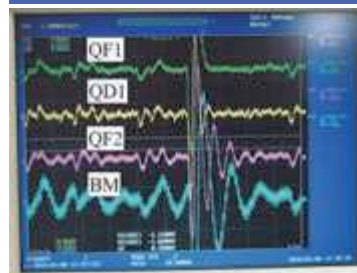
まとめと課題

- 近年、従来の経験則的な対処法によっては改善されない入射不調が発生。
- 入射不調により規定時間までにユーザー運転を開始できないことがあった。
- 1Hz系の観測系にて、入射エネルギーにおいてQD1出力に異常があることを確認。
- しかし、1Hz系の観測系においては異常が見られない場合でも入射不調が発生することがあった。
- 速い計測系をリング電源室に設置。QD1電源が 1×10^{-3} 以上の変動をすることにより必ず入射不調となることが判明（5~11Hz程度で変動）。
- 電源補修後に入射不調は完全に消失した。
- 従来の経験則的な対処法は不要となった。
- 加速器運転前に以前は電磁石を3回初期化していたが現在はウォーミングアップのために1.4 GeVまで1回励磁するのみである。
- 入射不調は超伝導ウィグラー-2号機設置以降に目立って発生したが、因果関係は認められない。
- 1Hz系の簡易なアラームシステムは有効であった。原因特定の第一歩となった。

課題

- なぜ、入射時にQD1電源が 1×10^{-3} オーダーの変動をすると大電流蓄積が困難になるのか、そのメカニズムは不明（ダイナミックアパーチャーへの影響は無視できる程度に小さい）。
- 入射状況はチューンに非常に敏感である。チューンが0.01程度変化するだけで入射に影響がある。入射速度だけでなく、ライフに影響がある。メカニズムの解明が今後の研究課題である。

その他



1.4 GeV運転時、440V受電系の主要電源が一齐に 10^{-3} オーダーで変動する可能性があることが判明。受電圧に変動があることが確認された。440V系のリングRF系受電圧も変動していた。受電圧が変動する原因については調査中。上記電源変動がある場合にビームロスはない。しかし、放射光ユーザーには大きなノイズとして認識されている可能性はある。