

コンプトン散乱ガンマ線の自動エネルギー可変計測のための ニュースバル加速器運転自動化

AUTOMATIC OPERATION OF NEWSUBARU RING FOR AUTOMATIC ENERGY VARIABLE MEASUREMENT OF COMPTON SCATTERED GAMMA RAYS

橋本智^{#,A)}, 宮本修治^{A)}, 鍛冶本和幸^{B)}, 皆川靖幸^{B)}

Satoshi Hashimoto^{#,A)}, Shuji Miyamoto^{A)}, Kazuyuki Minagawa^{B)}, Yasuyuki Minagawa^{B)}

^{A)}University of Hyogo, LASTI

^{B)}JASRI

Abstract

We have developed the new system that automatically controls the energy ramping of the NewSUBARU electron storage ring for the Laser Compton Scattered gamma-ray experiments. Using this system the ramping operation becomes more stable and users can easily do their Gamma-ray energy scans experiments than before.

1. はじめに

兵庫県立大ニュースバル放射光施設[1]はレーザーコンプトン散乱による準単色・エネルギー可変・高指向性のガンマ線ビームライン BL01 を有する。蓄積リング型のコンプトンガンマ線源では蓄積電子ビームエネルギーを変えることでガンマ線ビームのエネルギーを連続的に可変でき、ガンマ線エネルギー依存性を測定する際には大きな利点となる。

ガンマ線利用に応じてニュースバルの電子ビームエネルギーを小刻みに変えながらビーム調整を行う必要があるが、従来この操作の一部は人による監視と手動操作が必要であった。そのため誤操作や調整不足により生じるビーム損失を低減し、光源の安定化を図ることは大きな課題であった。

本研究では個々のガンマ線ユーザーの要求に合わせて様々なパターンの電子エネルギー加減速を安定かつ容易にするため、各ユーザーに応じた加減速パターンの自動生成、加速器加減速に関わる操作の自動化およびガンマ線の自動計測を実現するシステムを開発したので報告する。

2. 電子蓄積エネルギーの加減速の問題点

ニュースバルは SPring-8 線形加速器から 1.0 GeV ビームを入射後に、蓄積エネルギーを 0.5~1.5 GeV の範囲で加減速することができる。エネルギーの刻み幅は数 10 MeV で、各エネルギーステップ毎に B, Q, Sx, ST などすべての電磁石についてそのエネルギーでの電流値を事前に調整しておき、加減速開始とともに順番にそれらの値を各電源に与えることで加減速を行う。例えば 1.5 GeV 加速の場合は 14 ステップあり、加速終了までに 10 数分を要する。

エネルギー加減速の問題として、再現性がある。つまり一度、加減速パラメータを調整しても、様々な要因、例えば環境温度やリング周長の季節変動、ビーム条件などにより、うまく加減速できない場合

もあり定期的に再調整が必要になる。

1.5 GeV 利用運転の場合は、最終使用エネルギーが決まっており (1.5 GeV)、週に 1, 2 回は同じ加速パラメータを使用するので、万一問題があってもすぐに微調整が可能である。一方、ガンマ線利用における加減速運転の場合、各ユーザー・各実験によって使用したい電子エネルギーは異なるので、その実験に合わせたオーダーメードの加減速パラメータセットが必要になる。多数の加減速パラメータを一つ一つ定期的に手動で再調整するのは困難であり、実際のユーザー実験ではビーム寿命の悪化や損失がよく起こっており、これらの改善が課題であった。

またガンマ線エネルギーを変えながら計測する実験の場合、電子ビーム加減速の一時停止し、ビーム調整 (ビーム機動やベータトロンチューンなど) の後、ビームラインでの計測を行い、計測終了後に次の加減速を実行する一連の操作を手動で行わなければならない。操作の自動化による省力化も課題であった。

3. リング加減速運転の自動化

これらの課題の解決のため、リング加速器加減速運転の自動化、特にエネルギーを変えながらガンマ線利用を繰り返す実験の自動化に取り組んできた。

3.1 加減速パラメータの自動作成

各ユーザーの求めるオーダーメードの加減速パラメータを最新の標準データから自動で作成できるようにした (Fig. 1, Fig. 2)。標準データは 100 MeV ステップでステップ数の少ない加減速パラメータである。各ユーザーが使用するステップ数の大きいデータはこの標準データから補間により作成される。一年を通して定期点に調整・更新すればいいのはステップ数の少ない標準データだけでよく、標準データさえきちんと管理されていればどのようなエネルギー刻み幅、ステップ数であってもすぐに安定な加減速パラメータを自動で生成できるようになった。

[#]hashi@lasti.u-hyogo.ac.jp

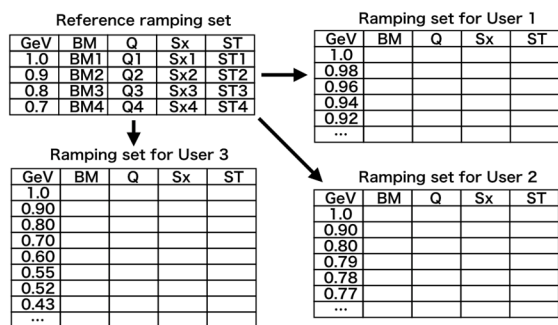


Figure 1: Generation of multiple ramping data sets from a reference data.

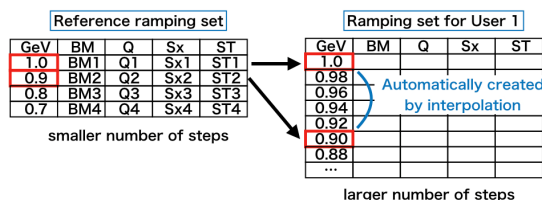


Figure 2: Automatic generation of the new ramping data. The new data is generated by an interpolation.

3.2 加速器運転操作の自動化

電磁石の通電量を制御するエネルギー加減速、COD (Closed Orbit Distortion) の測定・補正など主なビーム制御は C 言語で作成されたプログラムで制御される一方、ベータトロンチューンの測定・補正などモニター関連機器は LabVIEW で制御されているものが多く、今回の一連の操作自動化のためにはこれらの機器間の連携が必要であった。既存の C 言語プログラムの改修は最小限にするために、各機器制御の流れ全体をコントロールする役割を PC(LabVIEW) にもたせて、C 言語プログラムと LabVIEW プログラムの間のやり取りはコマンドの受け渡しで行うよう実装した。

Figure 3 に減速自動運転時の操作の流れを示す。ビーム入射し、ガンマ線自動計測を開始後、(1)最初の減速、(2)各種ビーム調整、(3)ビームラインでの計測を行う。その後、減速パラメータに指定された各エネルギーにおいて、(1)から(3)を繰り返し、最終エネルギーまで到達する。

(1)のエネルギー加減速は既存の C 言語プログラムが担当し、各電磁石の電流量を同期して変えていく。

(2)のビーム調子では先ず C 言語プログラムで COD 測定を行い、変位が大きければ補正を行う。次にベータトロンチューンを計測し、最適値からずれていれば自動で補正を行う。チューンの測定・補正は LabVIEW プログラムが行う。さらに電子エネルギーに応じて RF 電圧の調節やタウシェック寿命改善のために印加している RF シェーカーの強度の調整などを自動で行う。

(3)のビームライン計測では指定された時間、加速器の状態を保持しビームラインでの計測が完了するのを待つ。

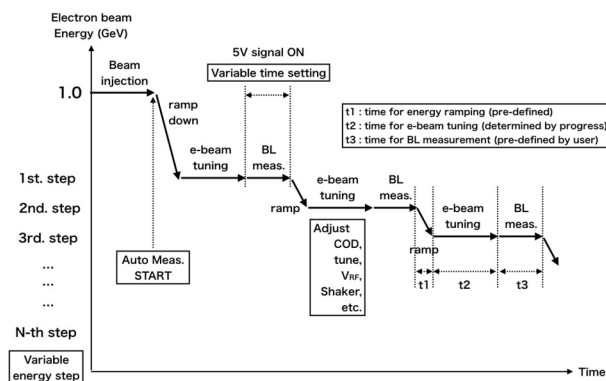


Figure 3: Time sequence of deceleration operation.

3.3 ビームライン測定自動化との連動

加速器側の自動化だけでなく、加速器の操作と連動してビームラインでの計測も連動動作できるようにビームライン計測可能な時間に TTL 5 V 信号をビームライン BL01a で生成できるようにした。Figure 4 に本システムに関連する機器のネットワーク図を示す。ビームライン側にはネットワーク接続 5V 信号発生器(LINEEYE)の他、専用ノート PC を設置しリング加減速やビーム調整など、自動処理の進行状況をモニターすることができる。またこの欄末には自動運転操作に関するログデータが残るので、ユーザーは後日オフラインで取得データの解析に使用できる。

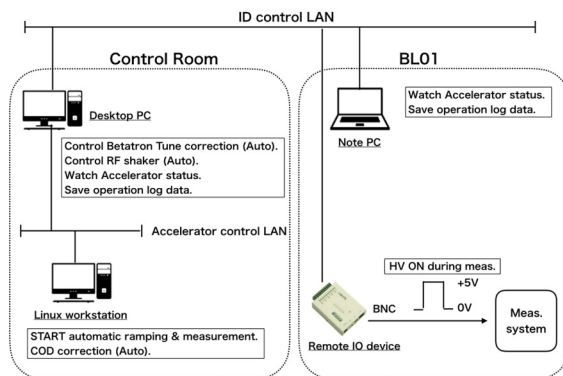


Figure 4: Network distributed equipments in this system. Flow of all sequence is controlled by a PC.

4. 実験結果

システムの動作検証を行うため、1.0 から 0.4 GeV まで 0.1 GeV 幅で計 5 ステップの標準ファイルを作成し、各エネルギーでビーム調整を行い、各電磁石の通電量を決定した。この標準データから 1.0 から 0.4 GeV まで 14 ステップの新しい減速パラメータを作成し、この減速パラメータを用いて実際に 300 mA 蓄積後に自動減速運転を行った。各エネルギーではビーム調整後に 2 分間のビームライン測定時間を含んでいる。Figure 5 に蓄積電子のエネルギーと電流値を、Fig. 6 に蓄積エネルギーとビーム

寿命（蓄積電流とビーム寿命の積）を示す。低エネルギーになるほどダウチェック効果が顕著になりビーム寿命が減少するが、ビーム損失や異常な寿命低下は見られず、問題なく減速に成功した。RF 電圧の最適化でもう少しビーム寿命は改善できる見込みである。Figure 6 より各ステップで減速直後にビーム寿命が落ち込んでいるのは、COD 測定やチューンのズレによるものであり、これらの自動補正によりビーム寿命が改善しているのがわかる。

できる加速器運転操作の自動化が可能になった。本研究の結果、ガンマ線利用研究において課題であったエネルギー加減速の安定性の問題は解決し、ニュースバル・ガンマ線光源性能の向上が実現できた。今後はユーザーが自分で操作できるよう本システムのユーザーインターフェースの改善やエラー処理の改善を図ると共に、ユーザーグループと連携して本システムを使用したガンマ線エネルギー・スキャン計測を実施する予定である。

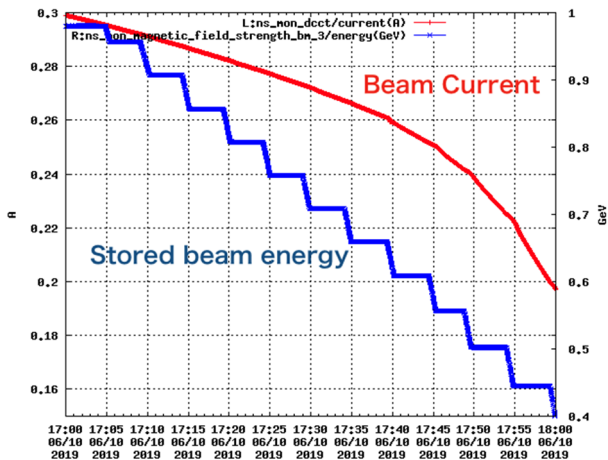


Figure 5: Electron beam deceleration by auto-generated ramping data. Stored beam energy (blue) and stored beam current (red).

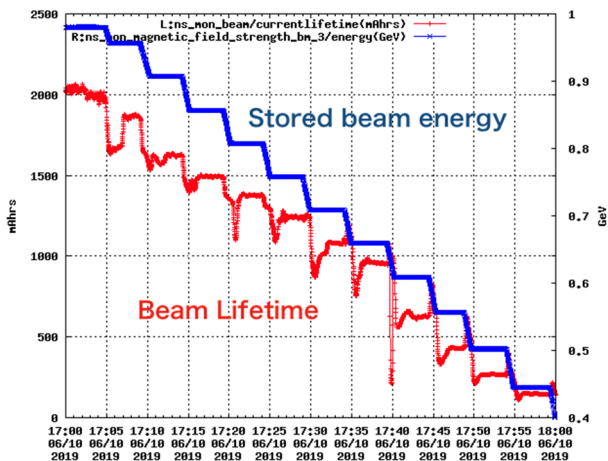


Figure 6: Electron beam deceleration by an auto-generated ramping data. Stored beam energy (blue) and beam lifetime $I \cdot \tau$ (red).

5. まとめ

本研究ではコンプトンガンマ線エネルギー可変のため、電子ビームエネルギーをより安定に損失なく加減速できるよう、任意のパターンの加減速パラメータを自動生成できるようにした。また本研究で開発したシステムにより、ボタンを押すだけで任意のパターンのガンマ線エネルギー依存性計測を完了

謝辞

本研究は平成 30 年度兵庫県立大学特別研究助成の支援により行われました。

参考文献

- [1] <http://www.lasri.u-hyogo.ac.jp/NS>