

リアルタイム蓄積リングオプティックス計算システム

岩崎 能尊

九州シンクロトロン光研究センター

電子線形加速器で 255 MeV まで加速された電子は、蓄積リング内で 1.4 GeV まで再加速される。加速途中における軌道応答行列を取得したことにより、任意のエネルギーにおけるオプティックスが計算により評価できるようになった。蓄積リング電磁石設定値は約 1Hz でモニタリングされている。任意の時刻によるオプティックスを評価するため、電磁石設定値をオンラインで加速器計算コード TRACY2 に受け渡すためのインターフェースを構築した。このことにより、任意の時刻(1Hz 間隔)における蓄積リングオプティックスが LabVIEW 上に表示可能となった。計算コード TRACY2 に取りこんでいるのは現在、電磁石設定値である。また、高速の電源出力値モニターシステムの開発も同時に進めている。高速電源出力値モニターシステムの開発により、モニター値ベースのリアルタイムリングオプティックス計算システムが構築される。電源モニター値ベースのリアルタイムリングオプティックス計算システムは、入射効率、加速時のビームロス、ユーザー運転時の安定性評価のためのツールになることが期待される。

リアルタイム蓄積リング オプティックス計算システム

岩崎能尊

九州シンクロtron光研究センター
加速器グループ

R-Matrix解析の手法

$$R_{ij} = \frac{\Delta\theta_i}{2} \sqrt{\beta_i \beta_j} \frac{\cos(\phi_j) - \pi \nu}{\sin \pi \lambda}$$

$$\chi^2 = \sum_{i,j} \frac{(R_{meas} - R_{calc})^2}{\sigma^2}$$

Minimize χ^2

i番目のステアリング電磁石(i)によるキック力を $\Delta\theta_i$ 、ビーム軌道の歪みを観測するBPM(j)およびステアリング電磁石(i)におけるβ関数を β_i, β_j 、両者の位相差を ϕ_j としたときに観測されるCODの変位 R_{ij} が軌道応答行列 (R-Matrix) の定義。

モデル計算により得られるR-Matrixと、実測により得られるR-Matrixの誤差が最小になるように、モデルパラメータを最適化する方法をR-Matrix解析と言う。 χ^2 を明示的に示したのが右の行列式である。

ここではリニアオプティックスに最も重要な4極電磁石K値、ステアリングキック力、BPMのゲインエラーのみのフィッティングを行った。

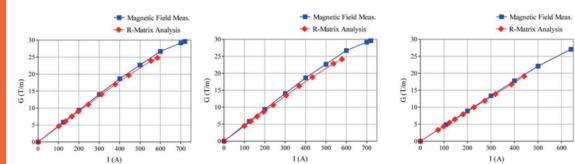
Abstract

電子線形加速器で255 MeVまで加速された電子は、蓄積リング内で1.4 GeVまで再加速される。1.4 GeV時における蓄積リングオプティックスは、ほぼデザインオプティックスを再現していることが実験的に確かめられている。しかし、加速過程におけるオプティックスの計測は実験上の困難があり、加速途中におけるオプティックス変化の状況は未解明であった。蓄積リング電磁石磁場データから計算される蓄積リングオプティックスは計測値を再現せず、計算によっても評価が難しかった。

今後、蓄積電流の増大、加速時間の短縮、あるいは動作点の変更等を行うためには、加速過程におけるオプティックスの評価が不可欠であり、効率的な電磁石励磁パターンの修正が必要であった。そこで、加速過程における軌道応答行列 (R-Matrix) を取得し解析することにより、実効的な蓄積リング4極電磁石の励磁特性を算出した。解析により得られた離散的な4極電磁石磁場強度を線形補間することにより、任意のエネルギーにおけるオプティックスが計算により評価できるようになった。加速過程のチューンの計算値と実験値の違いは水平・垂直各 (0.019, 0.026) 以下であり、オプティックス制御には十分な精度であると考えられる。

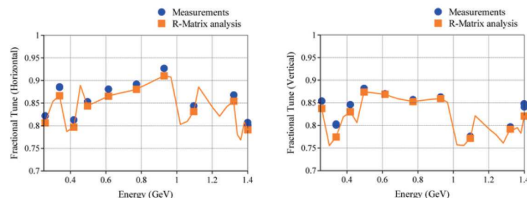
更に、蓄積リング電磁石電源の設定値を約1Hzで読み取り、加速器計算コードTRACY2に対するインターフェースを構築した。順リアルタイム蓄積リングオプティックス計算システムの運用が可能となった。

R-Matrix解析から求めた4極電磁石の実効強度



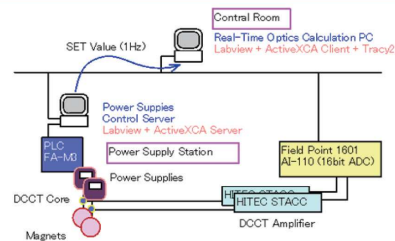
各エネルギーでのR-Matrixを解析し、4極電磁石磁場勾配を算出した。K値から磁場勾配の算出に必要なビームエネルギーは、偏向電磁石磁場データより得ている。4極電磁石磁場勾配は、スタンドアロンでの磁場計測よりも低く算出された (QF1: 6%, QD1: 10%, QF2: 2%)。隣り合う磁石との干渉が原因かもしれない。

加速過程におけるチューン



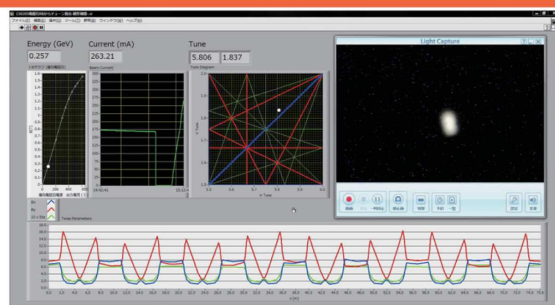
各エネルギーでの4極電磁石磁場勾配を線形補間し、任意のエネルギーについてK値を算出しチューンを計算した。R-Matrix解析により算出されるK値を用いたチューンは計測値を概ね再現し、その差は最大でも(0.019, 0.026) 以下であった。ランプアップ時におけるチューン制御の精度が向上した。

リアルタイムオプティックス計算システム系統図



Real-Time Optics Calculation PCは、Power Supply Control ServerよりActiveXCA (Windows EPICS) を介して蓄積リング電磁石電源のSET Valueを1Hzで受け取る。LabVIEWは受け取ったSET Valueを加速器計算コードTracy2に値を渡す。Tracy2によるオプティックス計算結果をLabVIEW画面上に順リアルタイムで表示させる。

リアルタイムオプティックス計算システム画面



入射時におけるリアルタイムオプティックス計算システムのLabVIEW上の画面。約0.5Hzおきに、チューン、オプティックスを蓄積リング電磁石電源設定値より計算する。ビームエネルギー、蓄積電流、ビームプロファイルも同時に表示させている。

まとめと今後の予定

- 加速時のオプティックスを順リアルタイムで計算するシステムを構築した。
- オプティックスの計算に必要な実効的な4極電磁石磁場強度は、R-Matrixの解析によった。
- 加速途中で停止し、各エネルギーでのR-Matrixを取得した。解析により得られた離散的な4極電磁石磁場強度を線形補間することにより、任意のエネルギーにおけるオプティックスが計算により評価できるようになった。
- 加速途中のチューンの計測値と計算値は、水平・垂直各(0.019, 0.026)以下であり、オプティックスの制御には十分な精度であると考えられる。
- 電磁石電源の設定値をActiveXCA(windows EPICS)を介しリモートで読み込み、加速器計算コードTracy2に取り込むインターフェースを構築した。
- チューンおよびオプティックスは約0.5Hzおきに順リアルタイムで計算され、結果はグラフィカルに表示される。

今後の予定

- 加速瞬間のビームロス機構の解明のためには、電源モニター値ベースでオプティックスを計算する必要がある。電源モニターシステムは、現在、チャンネル間非同期のFieldpointで構築されており、運用に不適切。
- CoRIO + FPGAによる高速(1kHz程度)蓄積リング電磁石電源モニター値システムの構築を行う。