

PERFORMANCE IMPROVEMENT OF AN ELECTRON ORBIT CORRECTION SYSTEM IN THE SCSS TEST ACCELERATOR

Shinichiro Tanaka^{1,A)}, Kazuaki Togawa^{B)}, Mitsuhiro Yamaga^{A)}, Makina Yabashi^{B)}, Yasuyuki Tajiri^{A)}, Taichi Hasegawa^{A)}, Takuya Morinaga^{A)}, Yutaka Kano^{A)}, Ryo Yamamoto^{A)}, Yuji Otake^{B)}, Hitoshi Tanaka^{B)}

^{A)} JASRI/SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 679-5198, Japan

^{B)} RIKEN/SPring-8, 1-1-1 Kouto, Sayo, Hyogo, 671-5148, Japan

Abstract

We have improved an automatic correction of electron beam orbit in the undulator section of the SCSS test accelerator to stabilize a position and an intensity of the extremely ultraviolet SASE laser light. In the old scheme correction cycle was limited to 0.033Hz due to a slow accumulation rate of the beam position data in the database (0.5Hz). In order to correct the orbit more rapidly, we have introduced a synchronous data collection system, in which all shot-by-shot beam position data can be accumulated (max.60 datasets per sec). Using this system, the orbit drifts were suppressed from 9.5 μ m to 6.4 μ m in horizontal and 4.8 μ m to 2.3 μ m in vertical. In this paper, we report on the new correction system and the experimental results.

SCSS試験加速器におけるアンジュレータ部での軌道補正性能の改善

1. はじめに

昨年度の本学会において、SCSS試験加速器のレーザー増幅状態およびレーザー出射位置の安定化に向け、アンジュレータ部の自動軌道ドリフト補正を行い、軌道ドリフトを抑制した結果について報告した^[1]。

軌道補正に用いるビームの位置情報は、データベースを介して最速0.5Hzの周期でしか読み出すことができず、この遅い読み出しスピードが補正周期(30秒に1回)を制限していた。この結果、比較的早いサブHz帯域のビーム軌道変動を抑制できず、レーザーの光軸を高い精度で維持することが困難であった。この問題を解決するため、高速同期データ収集システムを導入し、ショット毎の全データを利用し、S/Nを改善した上で補正の高速化を実現することに取り組んだ。本発表では、軌道ドリフト補正の高速化に向けた取り組みと改善された補正性能について報告を行う。

2. 軌道補正概要と新たに導入された高速同期収集系

2.1 高速同期データ収集系

データ収集システムは、遅いサイクルでデータを収集するものとビーム位置など早いサイクルで且つ加速器の繰り返しと同期したデータを収集するものに分類される。高速同期収集系は、各機器から取得したデータにビームショット毎にタグ番号を付けて一旦共有メモリに確保する。専用のWorkstationは、1秒毎に共有メモリ上にある同じタグ番号のデータ

を加速器の繰り返しレートに応じて、例えば10Hzであれば10セットのデータをまとめて収集し、データ間の同期を保ちながら専用のデータベース(MySQL)に保存する。最速0.5Hz周期(2秒に1データの割合)の遅い読み出しレートにより、補正に利用できるデータ数がこれまで著しく制限されてきたが、高速同期データ収集系が整備されたことで、全ショットのデータが初めて利用可能になった。利用できる軌道データの数が増大する一方で、データ収集とデータベースへの書き込みに現状では1秒程度を要する。このため、データに実時間から最大1秒程度の遅れが発生し、これが補正周期の高速化を制限する。即ち、現状の補正周期は1秒に比べ、十分長く設定せざるを得ない。

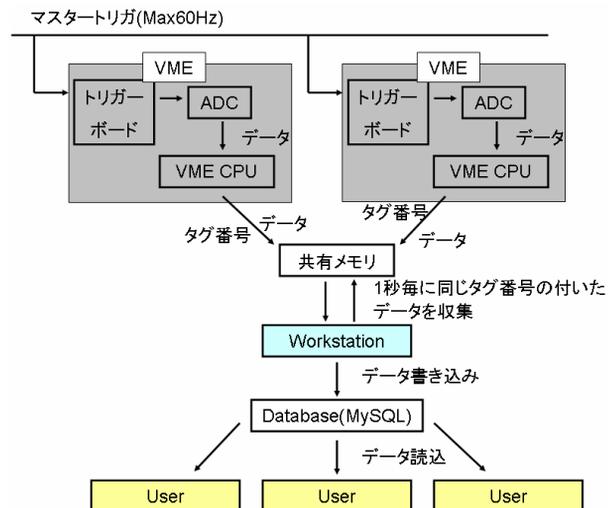


図1: 高速同期データ収集システム

¹ E-mail: tanakas@spring8.or.jp

2.2 軌道補正

軌道ドリフト補正は、レーザー位置と強度を長時間一定に保つ目的で導入される。このため、加速器にわたる全軌道ではなく、レーザー位置と強度に直接影響を与える2台のアンジュレータ内部の軌道のみを対象とする。補正はそれぞれ1台の補正電磁石を用いて2段階で行われる。最初にアンジュレータ入口での軌道の変位補正が、続いてアンジュレータ内の角度補正が実施される。補正電磁石の電流値は、ノイズ抑制操作を経て抽出されるビーム軌道と規準軌道との偏差を補正対象とし、最小二乗法を用いて決定される。

3. 補正に用いる軌道変動のS/Nの改善

これまでの軌道ドリフト補正は、データベースから、ビーム位置情報を取得していたが、読み出し速度が遅く(0.5Hz)、サブHz帯域の変動を抑制することができなかった。S/N改善のために10点のデータの平均処理を必要とし、最短でも補正に30秒程度要していた。今回、高速同期収集用データベースを介してビーム繰返し周期に同期した全てのビーム位置情報を取得できるようになり、全ショットのデータの使用が可能になった。データベースを経由し、0.5Hz周期で取得した15分間のデータ並びにその移動平均(10点)と同期データ収集系で取得した15分間のデータとその移動平均(45点)のS/Nの違いを図2, 3に示す。この時のビーム繰返しレートは20Hzであった。図の比較から、旧補正法で用いられてきた10点のデータの平均で定義される軌道は、ばらつきが大きい上に変動の微細構造も埋もれている。新補正法と同じ45点のデータの平均で軌道を定義した場合(図4参照)、ばらつきは抑制されるものの、軌道変動の早い成分自体も平均化されてしまう事が分かる。一方、高速同期収集システムで全ショットのデータを用いて45点の移動平均を行うと、ノイズを抑制した上で変動の微細構造も抽出できる(図4参照)。高速同期データ収集系の導入により、利用可能なデータ数が大幅に増え、S/Nを改善した上で補正周期の高速化が可能になった。

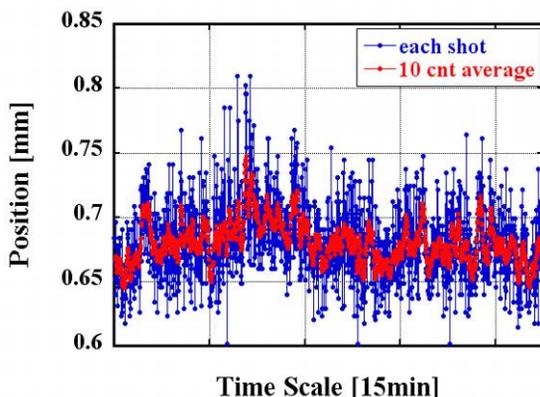


図2: 0.5Hz周期で取得10点の移動平均

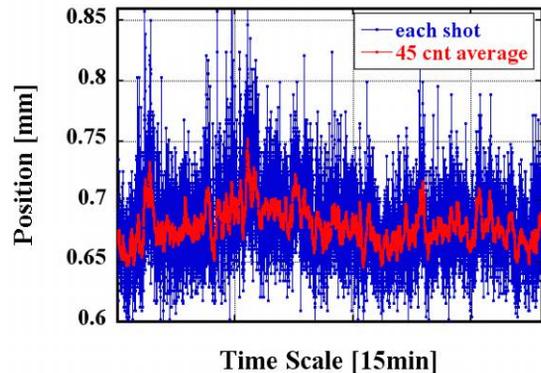


図3: shot by shotで取得45点の移動平均

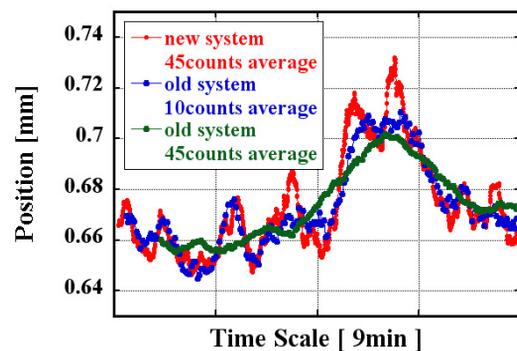


図4: 新旧のデータサンプルリングによる重心位置の微細構造

4. 軌道ドリフト補正の性能

新旧の自動軌道ドリフト補正の性能を表1にまとめる。旧方式は10点の、新方式は45点の軌道データの移動平均をビーム重心として標準偏差を算出している。図5に新旧軌道ドリフト補正の長時間(2時間)における補正ON/OFF時のデータを示す。図6に新軌道ドリフト補正の長時間(2時間)における軌道変動を周波数解析したデータを示す。旧軌道ドリフト補正(図5右)は、補正OFFの時に比べ軌道ドリフトは抑制できているが、S/Nが不十分なため軌道変動幅が小さくなっていない。一方、新方式では、平均データ数45点で補正周期を5秒の条件において、DCから0.05Hz付近まで抑制できているのが分かる(図6)。旧方式では、補正周期が30秒と遅かったため、0.005Hz付近までしか抑制できていなかった。現在ユーザー運転はビーム繰返し周期20Hzで行われている。45点のデータ数を収集するために3秒弱要すること、データに最大1秒の遅れがあることから、現状の0.2Hzの補正周期をさらに高速化することは困難である。

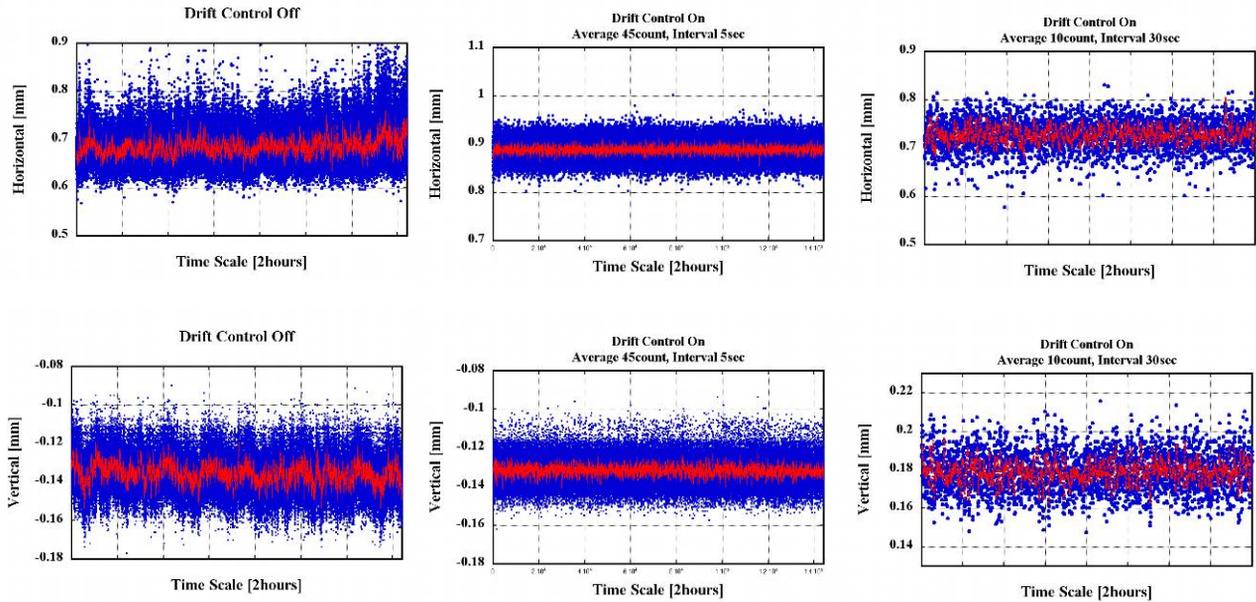


図5: アンジュレータ中間部における水平・垂直軌道の長時間変化

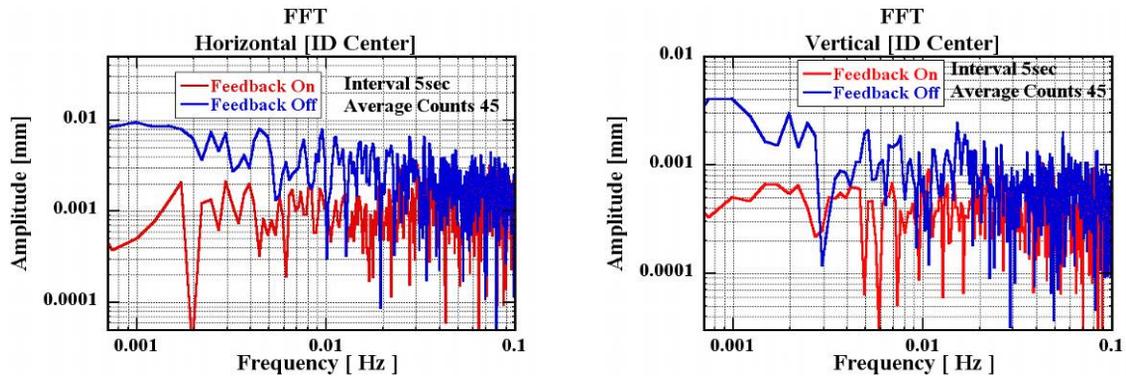


図6: 軌道変動の周波数解析

表1: 軌道ドリフト補正の性能

補正 ON / OFF	水平変 位(σ)* ¹	垂直変 位(σ)* ¹
補正OFF* ²	16.0μm	4.9μm
旧制御(平均10点, 周期30sec)* ³	9.5μm	4.8μm
新制御(平均45点, 周期5sec)* ²	6.4μm	2.3μm

*¹ アンジュレータ中間部の軌道の変位を示す

*² shot by shot のデータ45点を平均して算出

*³ 2秒毎のデータ10点を平均して算出

5. まとめ

これまでレーザー増幅状態、実験棟でのレーザー位置の安定化を行うために軌道ドリフト補正を導入してきた。更なる安定化を行うために、S/Nを改善した上で補正の高速化を行って、アンジュレータ部の軌道ドリフトを水平で9.5μmから6.4μm、垂直で

4.8μmから2.3μmまで抑制することができた。また、バンチ圧縮システム出口のビームエネルギーが運転中に一定に制御される改善がなされ^[2]、自動軌道ドリフト補正と併用することで、加速器運転開始直後から停止まで安定にレーザーを供給することができるようになった。今後は、さらなる補正周期の高速化に向けた改善に取り組むと共に、現状の平均回数及び補正周期が妥当であるかを判断するためにBPM以外のモニタで、例えばOTRスクリーンモニタで観測した画像データからビームの重心位置を求め位置の変動を直接算出し比較検討する予定である。

参考文献

- [1] 田中信一郎、他。“SCSS試験加速器におけるレーザー安定化のための軌道ドリフト制御”, 本研究会2008年ポスター発表
- [2] 田尻泰之、他。“SCSS試験加速器におけるSASE-FEL安定化に向けたエネルギーフィードバック”, 本研究会口頭発表