

挿入光源の誤差磁場による軌道変動の高精度補正法の開発

田中 均¹, 高雄 勝², 松下智裕², 青柳秀樹²

竹内政雄², 安居院あかね³, 吉越章隆³, 中谷 健⁴

¹財団法人高輝度光科学研究センター 〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1, CREST, JST

²財団法人高輝度光科学研究センター 〒679-5198 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

³独立行政法人日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 放射光科学研究ユニット
〒679-5148 兵庫県佐用郡佐用町光都 1-1-1

⁴独立行政法人日本原子力研究開発機構 量子ビーム応用研究部門 パルス中性子装置開発研究グループ
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白根白方 2-4

要旨 挿入光源の誤差磁場のうち、軌道変動を引き起こすダイポール成分を高精度で補正する方法を開発した。この方法は、基本的に全ての挿入光源に適用可能である。高精度補正を実現するには、挿入光源のギャップや位相の変更により生じる誤差磁場の变化を精密に測定する必要がある。挿入光源の誤差磁場の变化は、通常感度の高い蓄積ビームの軌道変動を測定することで間接的に行うが、実際の蓄積リングには様々な軌道変動要因が混在し、目的の誤差磁場による軌道変動のみを精度良く抽出するのは困難であった。そこで信号変調の考え方を取り入れ、挿入光源の位相やギャップを鏡像対称のパターンで周期的に駆動し、生じる軌道変動を広帯域の実時間軌道測定システムで測定することを考えた。これにより、測定中の軌道ドリフトや周期の異なる変動の影響を取り除くことが可能になる。また、鏡像対称の駆動パターンを用いることで、挿入光源のギャップや位相の変化により真空チェンバー等に誘起される誘導磁場（動的誤差磁場）に線形性が成り立つ条件において、動的誤差磁場と静的誤差磁場の軌道変動を分離して抽出・補正が可能になる。このため、一度、1つの駆動パターンで補正テーブルが作成できれば、任意のパターンに対する補正テーブルに拡張できるメリットもある。この新しい高精度補正法を、SPring-8の23 INの直線部に設置されたAPPLE-2型アンジュレータの位相駆動時の軌道変動補正に適用した。その結果円偏光の極性反転に必要な位相区間において、サブミクロンの精度で軌道変動を抑制できること、任意の駆動パターンに対し補正が拡張できることが分かった。

1. はじめに — どうして高精度軌道補正が必要になるのか —

SPring-8等の高輝度放射光光源では、電子ビームを曲げて円周状に周回させる偏向電磁石ではなく、直線部に設置される挿入光源が主要光源として用いられる。挿入光源は、その機能により幾つかの種類に分類されるが、なかでも広いエネルギースペクトル範囲で準単色光を発生させることが可能なアンジュレータがその主力である。アンジュレータは、例えば垂直（水平）交番磁場を永久磁石の周期磁石配列で実現し、放射の角度発散より小さい角度で電子を水平（垂直）面内で蛇行させる。これにより各蛇行で放射された光が干渉し、進行方向軸上に準単色水平（垂直）偏光放射が発生する。準単色光の波長は、電子ビームのエネルギー、アンジュレータの磁場の強さと周期長等で主に決まる。アンジュレータの磁石列の垂直ギャップ間隔の調

整により電子ビーム軌道上の磁場を変えることができること、また、放射は基本放射波長を一次光とした高次のラインスペクトルを伴うので、この2つの特性を用いることで、1つのビームラインで広いエネルギー範囲に渡り、高輝度の準単色光を利用できる訳である。さらに放射の偏光特性は、電子ビームの蛇行により制御できるため、1つのビームラインで異なる偏光の光を利用できるばかりでなく、例えば、円偏光の右回りと左回りの高速切り替え等も実現が可能になる。

挿入光源はこのように幅広い実験の可能性を有している。故に、放射光利用者が他のビームラインの実験を気にせずに、エネルギーキャンや偏光切り替え等、挿入光源の潜在能力を最大限に利用して実験できる状態、「独立チューニング」¹⁾が理想となる。「独立チューニング」が、高輝度放射光施設としての性能を最大化する上で極めて重要であることがお分かりいただけたことと思う。しかし、これを達成するのは簡単なことではない。SPring-8では現

在, 25台を上回る数の挿入光源が稼働しているが, これらの挿入光源が勝手に, 磁石列の垂直ギャップや位相を動かしている様を想像して欲しい。「独立チューニング」を実現するには, 各挿入光源のパラメータをどのように変化させても, 電子ビームへの影響が無視できる挿入光源誤差磁場の精密補正が必須の要件になる。挿入光源の誤差磁場による軌道変動, チューン変動の補正精度が「独立チューニング」の質を決定づけることになる。

2. 補正精度を制限するもの

SPring-8 では, 挿入光源戦略²⁾に基づく挿入光源設計が行われ, 挿入光源のパラメータの変化による誤差磁場も小さいレベルに抑えられている。しかし, SPring-8 蓄積リングでは, $1\mu\text{m}$ の軌道変動は地磁気より小さい積分磁場変化 ($\sim 20\text{ mG}\cdot\text{m}$) で生じる。このため, 挿入光源設置後, 蓄積ビームを用いて, フィードフォワード補正用の補正テーブルを作成し, 挿入光源パラメータを変えることによる軌道変動を抑える努力が継続されてきた³⁾。通常, 挿入光源の補正テーブルは, 静的な軌道測定に基づいて作成される。即ち, パラメータの可動範囲を十分な点数で分割し, パラメータの値を各点にセットし, 生じる軌道変動から補正するステアリングの値を決定する。このようなプロセスにおいて, 補正の精度を左右するものは何であろうか? それは, 蓄積リングの軌道補正を実施していない通常状態における軌道の安定性 (バックグラウンドレベル) である。蓄積リングを周回する軌道は色々な摂動要因により絶えず変動している。この変動の影響を極力小さく抑え, 挿入光源の磁場変化による軌道変動を如何に高精度に測定できるかが, 補正精度向上の鍵になる。また, SPring-8 では挿入光源の台数も多く, 高精度のフィードフォワード補正を実現できない場合には, 挿入光源の誤差磁場が軌道変動の主要因ともなるため, 軌道安定化⁴⁾の一環として, 挿入光源の誤差磁場の精密補正法の開発を進めてきた。

3. 信号変調に基づく高精度補正法

私たちが提案した方法⁵⁾は, 色々な実験において通常良く用いられる信号変調法に基づいている。つまり目的の信号に周期的変調をかけ, 広帯域の実時間検出器で信号を測定し, 適当なフィルターで信号の持つ帯域を切り出し, 変調周期で信号を折りたたむことで目的の信号を高精度に抽出するものである。これを挿入光源の誤差磁場による軌道変動の高精度測定に応用する場合, 1つだけ考慮すべき事がある。それは挿入光源のパラメータの変更により, 真空チェンバーやサポート等, まわりの導体に渦電流を発生させる可能性である。これによりパラメータの変化に応じ, 「動的誤差磁場」と呼ばれるものが発生する。挿入光源の

パラメータを高速に変化させる場合, パラメータの変化率に依存しない静的誤差磁場と変化率に依存する動的誤差磁場により軌道が変動する。これまでは, これらが一緒に測定され, 同時にフィードフォワードもしくはフィードバックで補正されてきた⁶⁻¹³⁾。特に, フィードフォワード補正の場合, 補正テーブルが新たな駆動パターンに対応できないため, パターンに応じて, 補正テーブルを何種類も作成する必要があった。一方, 私たちが提案した方法では, 以下に述べるように, 2種類の誤差磁場による軌道変動を分離して測定でき, 独立の補正テーブルを作成することが可能になる。これにより, 準静的にギャップを変化させて使用する通常の挿入光源を含む, 任意のパラメータの変化に対応することが可能になった。

3.1 静的誤差磁場と動的誤差磁場による軌道変動の分離測定

渦電流が真空チェンバーで発生すると考えよう。渦電流の作る誘導磁場は, 真空チェンバーを貫く磁束密度 B の時間変化に比例する。これから, 多くの場合で, 挿入光源のパラメータの変化率 v に動的誤差磁場は比例すると考えて良い。この線形関係を利用すれば, パラメータの変化率の符号のみが異なる2つのデータを足し込むことで, 動的誤差磁場による軌道変動をキャンセルできることが分かる。これを簡便に実現するには, Fig. 1 に示すような鏡像対称のパラメータ駆動パターンを用いればよい。鏡像対称パターンを用いて得られた軌道変動データをパターンの対称軸で折り返して足し併せ, 折り畳んだ数の2倍で平均

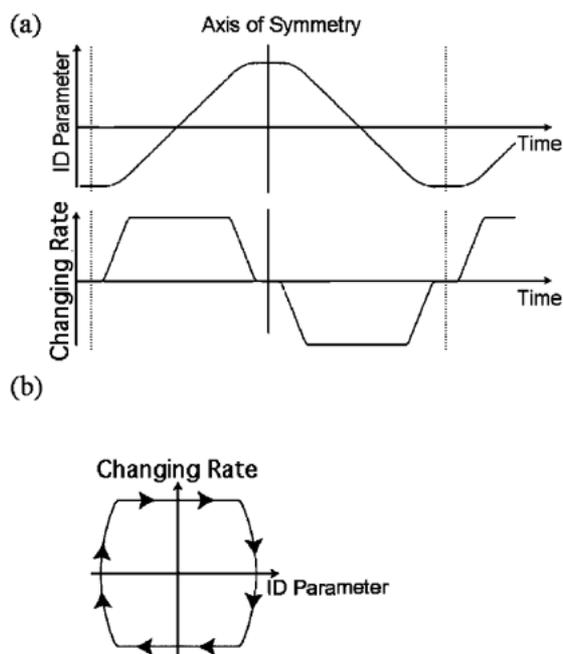


Fig. 1 (a) The relationship between the time variation of ID parameter and changing rate. (b) The relationship between the changing rate and ID parameter.

すれば、静的誤差磁場のみによる軌道変動が分離して抽出できる。この静的誤差磁場による軌道変動を元々の1周期分の軌道変動から差し引けば、動的誤差磁場による軌道変動が分離抽出できる。

3.2 補正テーブルの作成方法

軌道変動の補正では、補正ダイポール電磁石の強さと補正量に線形関係があり、重ね合わせが成立する。これにより、それぞれの軌道変動を補正する補正ダイポール電磁石の強さを独立に計算し、足し併せることで、補正ダイポール電磁石の全補正量を得ることができる。補正テーブルとしては、静的誤差磁場、動的誤差磁場に対応した2種類の補正テーブルを用意する。補正テーブルを2種類に分けておくことで、あらゆる補正パターンに対応する事が初めて可能になる。最初の補正テーブル作成時のパターンにおけるパラメータ変化率を $v_1(t)$ とし、運転で使用する新たなパラメータ駆動パターンにおけるパラメータ変化率を $v_2(t)$ とする。動的誤差磁場は挿入光源のパラメータの変化率 $v(t)$ に比例するので、動的誤差磁場に対する補正テーブルのステアリングの強さに対し、 $k(t) = v_2(t)/v_1(t)$ の補正係数を掛け合わせるだけで、任意の補正パターンに対し適用できるようになる。この際、静的誤差磁場に対する補正量を変える必要はない。

4. 高精度補正法の適用結果

SPRING-8 の23 IN の直線部に設置された APPLE-2 型アンジュレータ (ID23)¹⁴⁾ の円偏光極性切り替えを目的とした位相駆動¹⁵⁾ によりひき起される軌道変動の抑制にこの方法を適用し、補正性能の実験的検証を行った。

4.1 測定及び補正システム⁵⁾

ID23の位相駆動の周期は約0.1 Hz である。周期長は120 mm であり、右回りから左回りの円偏光極性切り替えを行う1サイクルの移動量は240 mm になる。このため、移動量1 mm 毎に補正を行うには、30 msec の周期で補正ループをまわす必要がある。そこで、PCベース計測器 WE7000 (横河電機株式会社) の100 kHz アイソレーションデジタルモジュールを利用し、挿入光源の位相駆動に同期し、100 Hz (サンプリング周期10 msec) で軌道変動及び光軸変動データを読み込むシステム¹⁶⁾ を構築した。アンチエイリアシングの目的で50 Hz のローパスフィルターを、また、バックグラウンドノイズを抑制するため、6.25 Hz を上限、0.05 Hz を下限のカットオフとするバンドパスフィルターを挿入した。この条件で、Fig. 2 に示すパターンで位相駆動を8周期おこない、対応するデータを取り込み、平均化を行ってリングの各位置での位相駆動1周期に伴う軌道変動、光軸変動データに再構成する。位相駆動1周期 (Fig. 2 参照) は、位相位置 -60

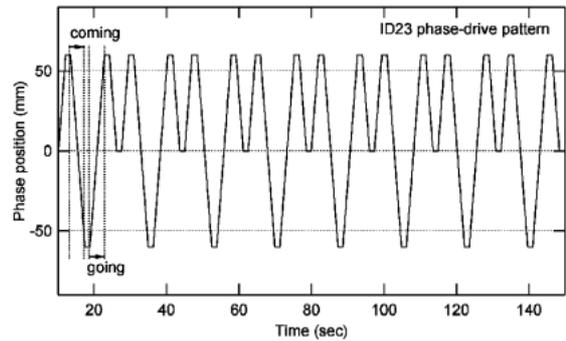


Fig. 2 The phase-driving pattern with eight repetitions and phase position in the range between -60 mm and +60 mm.

mm から +60 mm へ移動する“行き (going)”と位相位置 +60 mm から -60 mm へ移動する“戻り (coming)”から構成され、対称軸 (-60 mm) を中心に変化率が反対称になる鏡像対称パターンとなっている。位相駆動範囲 -60 mm から +60 mm は、後述するように、右回りから左回りの円偏光極性切り替えに必要な -45 mm から +45 mm の範囲で位相変化率が一定に制御できるように十分広く設定している。

軌道変動及び挿入光源の光軸変動は、リング1周に分布したビーム位置モニター (BPM)¹⁷⁾ と光位置モニター (XBPM)¹⁸⁾ (ともに周波数帯域200 kHz 以上) で測定され、100 kHz 以上の帯域を有する光ファイバーを経由して WE7000 まで転送される。

補正ダイポール電磁石はヒステリシスのない空芯型で、水平、垂直補正用が各1組ずつ、挿入光源の上流と下流に分かれて配置されている。設定分解能は3 nrad 以下であり、サブミクロンの補正性能に対し十分な分解能を有している。また、50 Hz 周期まで補正可能な電流設定の時間応答も備えている。

4.2 得られた補正性能⁵⁾

上下流の1組の水平・垂直ダイポールステアリングの励磁量は、リングに分布した各測定点のデータを180度位相反転し、ステアリングの各測定点への線形応答の実測値を用い、最小自乗アルゴリズムで決定した。軌道変動の水平・垂直混合が少ないので、水平と垂直の混合は無視し、独立にステアリングの強さが決められた。また、計算では最低5点の測定点がい用いられた。Fig. 3 に ID23 の静的誤差磁場で生じた水平軌道変動を位相位置の関数として示す。ここで示されている軌道変動は、BPM15 で測定された軌道変動を対称軸で折り畳み、平均化処理を施したものである。補正前 (a) では、軌道変動は、Peak-to-Peak で約180 μm 、1周期に渡る rms で約54 μm であった。数回の補正の繰り返しにより、実線 (c) で示されるように静的誤差磁場で生じた軌道変動を1周期に渡る rms でサブミクロン程度まで抑制できた。

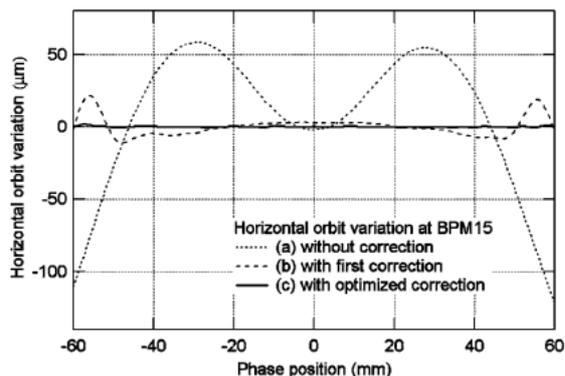


Fig. 3 The orbit variation measured by BPM15 as a function of the phase position between -60 mm and $+60$ mm of ID23 at the gap height of 25mm: (a) without the correction, (b) with the first correction and (c) with the optimized correction.

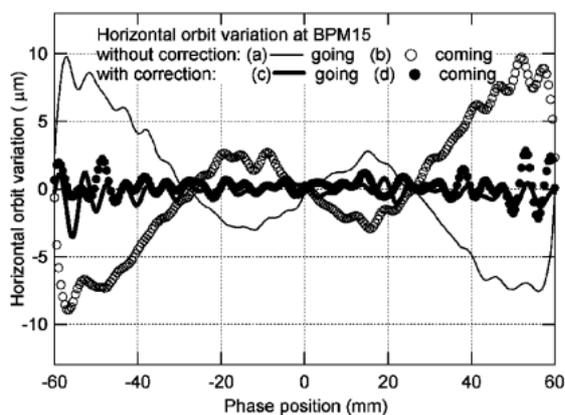


Fig. 4 The horizontal orbit variation, which was measured at BPM15 during the phase drive of ID23, as a function of the phase position. The thin line (a) and open circles (b) show the orbit variations for the going- and coming-paths without the correction, respectively. The thick line (c) and solid circles (d) show the orbit variations for the going- and coming-paths with the correction, respectively.

静的誤差磁場による軌道変動を補正した後、測定データを対称軸で折り畳まずに“行き (going)”と“戻り (coming)”を別々に補正した水平軌道変動を **Fig. 4** に示す。

Fig. 3 と同様に横軸は位相位置を表し、BPM15で測定されたものである。図の (a) と (b) は補正前の動的誤差磁場による軌道変動を表している。“行き (going)”と“戻り (coming)”の軌道変動はほぼ反対称となっている事から、第一段階の静的誤差磁場による軌道変動が精度良く補正されている事が分かる。数回の補正の繰り返しにより、(c) と (d) のレベルまで軌道変動は抑制されたものの、 -45 mm から $+45$ mm の位相位置の外側において、比較的大きな数 μm の変動が残っているのが分かる。 $+60$ mm と -60 mm の位相位置で永久磁石列の移動速度がゼロとなり、移動方向が反転するため、この点の前後では速度の加減速が生じる。大きな慣性力の影響で“行き (going)”と

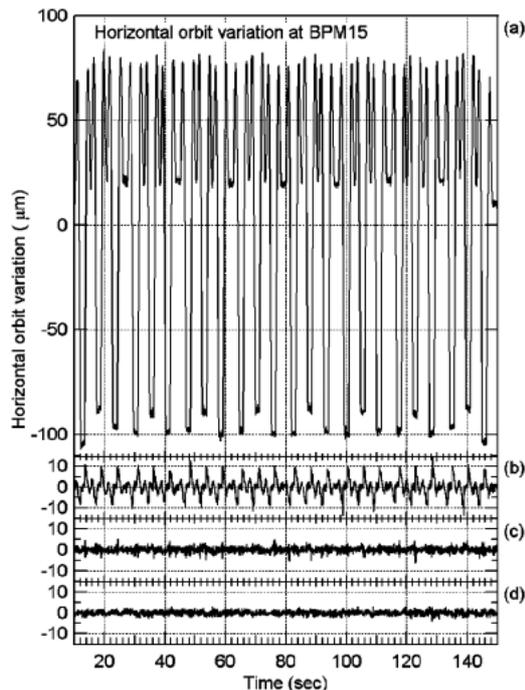


Fig. 5 The horizontal orbit variation measured at BPM15 during the phase drive of ID23 as a function of time. (a) The variation without the correction. (b) The variation with the correction for the static error-field. (c) The variation with the correction for the static and dynamic error-fields. (d) The background level without the phase drive of ID23.

“戻り (coming)”の永久磁石列の移動速度を同一に制御できない為に大きな変動が残っていると考えられる。このため、実際の位相駆動利用範囲 (-45 mm から $+45$ mm) 内で“行き (going)”と“戻り (coming)”の速さに違いが生じないように測定範囲を拡大した。この配慮により、実際の位相駆動利用範囲では、軌道変動は1周期に渡る rms でサブミクロンに抑制されている。

Fig. 2 のパターンで ID23 を位相駆動した時に BPM15 で測定された軌道変動データを、補正の段階毎に **Fig. 5** に示す。(a) が補正前、(b) と (c) がそれぞれ静的誤差磁場による軌道変動補正後と静的、動的両誤差磁場による軌道変動補正後を、(d) が位相駆動を行っていない通常時の軌道変動 (バックグラウンド) を示す。1周期に渡る rms で各補正段階での軌道変動は、(a) $54 \mu\text{m}$, (b) $4.2 \mu\text{m}$, (c) $0.68 \mu\text{m}$, (d) $0.27 \mu\text{m}$ となった。静的、動的両誤差磁場による軌道変動補正後、実際の位相駆動利用範囲で評価した軌道変動は、rms で $0.4 \mu\text{m}$ となった。さらに、リング全周に分布した5台のXBPMと3台のBPMを用いて、実際の位相駆動利用範囲におけるリング全周での軌道変動抑制の様子を調べた。最大の水平変動はXBPM39で、また、最大の垂直変動はXBPM29で観測され、各々 rms で $0.76 \mu\text{m}$ と $0.53 \mu\text{m}$ であった。XBPMは発光点から20 m 下流に位置し、発光点での軌道変動が水平で約1.5倍、垂直で約4倍に拡大される。これらを考慮すると、私たちの提

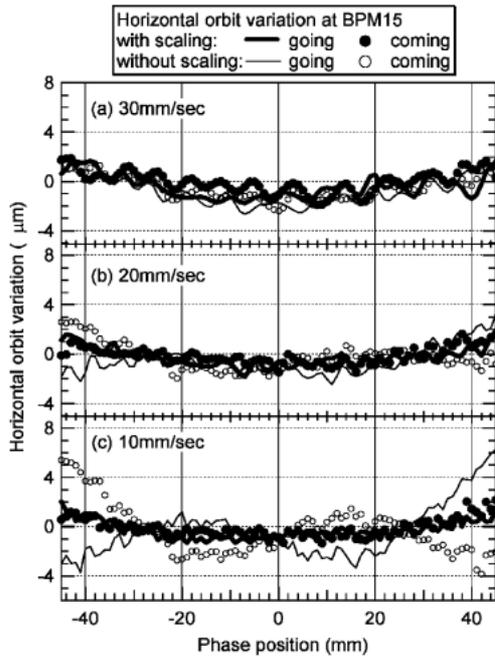


Fig. 6 The adjustment of the correction for the driving speed of 30 mm/sec (a) to the corrections for that of 20 mm/sec (b) and 10 mm/sec (c) by speed scaling. The thin line and open circles represent the variations in the going- and coming-paths of the phase drive without speed scaling, respectively. The thick line and solid circles represent the variations in the going- and coming-paths of the phase drive with speed scaling.

案した方法により ID23の位相駆動によって生じた軌道変動は、リング1周に渡り rms でサブミクロンのレベルに抑制されていると考えられる。

次に、任意の駆動パターンへの補正の拡張性を確認するために、補正を実施した駆動パターン（位相駆動速度30 mm/sec, 位相駆動範囲-45 mm から+45 mm）に対し(a)位相駆動速度, (b)位相駆動範囲を変えた駆動パターンで ID23の位相駆動を行った。これにより生じる軌道変動が、動的誤差磁場による軌道変動の補正テーブルの単純なスケールリングで抑制できるかどうかを調べた。**Fig. 6**は位相駆動速度を30 mm/sec から10 mm/sec まで変えて位相変化率のスケールリングの効果を示したものである。スケールリング無し(○と細線)では速度が遅くなるにつれ、補正の精度が悪くなっていくが、スケールリングを実施すると(●と太線) 駆動速度が10 mm/sec になっても補正性能に変化が見られない事が分かる。**Fig. 7**は位相駆動範囲を-40 mm から+40 mm に狭めてみた場合のスケールリングの効果を示している。(b)と(c)を比較すればスケールリングにより軌道変動が高精度に補正されていることは明らかである。これら2つの結果から、私たちの提案した方法を用い、挿入光源パラメータの1つの駆動パターンで行った補正を、任意の駆動パターンに拡張できる事が実験的に確認された。

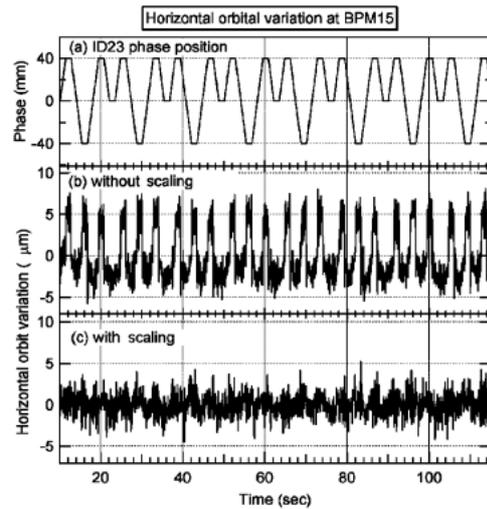


Fig. 7 The adjustment of the correction to that for the different driving pattern by speed scaling. The original correction is for the phase-driving pattern in the phase position ranging from -45 mm to +45 mm. (a) The phase-driving pattern in the phase position ranging from -40 mm to +40 mm. (b) The variation without speed scaling. (c) The variation with speed scaling.

5. まとめ

鏡像対象の変調パターンを利用して、挿入光源の誤差磁場による軌道変動を高精度で補正する方法を開発した。この方法を用いる事で、サブミクロンの補正精度を実現できるだけでなく、簡単なスケールリングにより、作成した補正データを任意の駆動パターンに対応させる事が可能である。今後は、この方法が SPring-8 に設置されている他の挿入光源のフィードフォワード補正に適用できるように実時間計測システムの整備を進めていきたい。

謝辞

この補正法を開発する機会を与えて下さった JASRI 加速器部門の熊谷教孝部門長、並びに大熊春夫運転・軌道解析 Gr. リーダーに感謝致します。

参考文献

- 1) H. Kitamura: *J. Synchrotron Radiat.* **5**, 184 (1998).
- 2) 挿入光源ハンドブック'96, 高輝度光科学研究センター (1996).
- 3) T. Hara and T. Tanaka: RIKEN/SPring-8 (private communication).
- 4) H. Tanaka: "Orbit Stabilization at SPring-8", presented in the 2nd International Workshop on Beam Orbit Stabilization 2002, SPring-8, Hyogo, Japan, December 2002 <http://acc-web.spring8.or.jp/%7Eoper/iwbs2002/pdf/4-A2.pdf>; H. Tanaka, "Present Status of Orbit Stabilization at SPring-8", presented in the 3rd International Workshop on Beam Orbit Stabilization '04, Hotel Kirchbuhl, Grindelwald, December 6-10th (2004)

-
- http://iwbs2004.web.psi.ch/documents/program/Tanaka.Hitoshi/1_compact.pdf.
- 5) T. Nakatani, A. Agui, H. Aoyagi, T. Matsushita, M. Takao, M. Takeuchi, A. Yoshigoe and H. Tanaka: *Rev. Sci. Instrum.* **76**, No. 5, 055105 (2005).
 - 6) L. Pivetta, D. Bulfone, M. Lonza and P. Michelini: Proceedings of International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, 1999, Trieste, Italy, pp. 137–139.
 - 7) C. Steier, G. Portmann and A. Young: Proceedings of the 7th European Particle Accelerator Conference, 2000, Vienna, Austria, pp. 2343–2345.
 - 8) G. Decker and O. Singh: Proceedings of the 2001 Particle Accelerator Conference, 2001, Chicago, Illinois U.S.A., pp. 390–392.
 - 9) H. P. Chang, C. H. Chang, J. Chen, K. T. Hsu, C. S. Hwang, C. C. Kuo and G. H. Luo: Proceedings of the 2003 Particle Accelerator Conference, 2003, Portland, Oregon U.S.A., pp. 1044–1046.
 - 10) J. Feikes, K. Holldack, P. Kuske and R. Muller: Proceeding of International Conference on Accelerator and Large Experimental Physics Control Systems, 2003, Gyeongju, Korea, pp. 551–553.
 - 11) L. Emery, I. Vasserman, O. Makarov, B. Deriy, S. Sasaki and R. Soliday: Proceeding of the 2003 Particle Accelerator Conference, 2003, Portland, Oregon U.S.A., pp. 2261–2263.
 - 12) T. Nakatani, A. Agui, A. Yoshigoe, T. Matsushita, M. Takao, H. Aoyagi, M. Takeuchi and H. Tanaka: Proceedings of Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation 2003, AIP Conf. Proc. vol. **705**, pp. 290–293 (2004).
 - 13) M. Lonza, D. Bulfone, G. Gaio and L. Pivetta: Proceedings of the 8th European Particle Accelerator Conference, 2002, Paris, France, pp. 2091–2093.
 - 14) S. Sasaki, K. Miyata and T. Takeda: *Jpn. J. Appl. Phys.* **31**, L1794 (1992); S. Sasaki, K. Kakuno, T. Takada, T. Shimada, K. Yanagida and Y. Miyahara: *Nucl. Instrum. Methods Phys. A* **331**, 763 (1993).
 - 15) A. Agui, A. Yoshigoe, T. Nakatani, T. Matsushita, Y. Saitoh, A. Yokoya, H. Tanaka, Y. Miyahara, T. Shimada, M. Takeuchi, T. Bizen, S. Sasaki, M. Takao, H. Aoyagi, T. P. Kudo, K. Satoh, S. Wu, Y. Hiramatsu and H. Ohkuma: *Rev. Sci. Instrum.* **72**, 3191 (2001).
 - 16) T. Nakatani, N. Hosoda, T. Masuda, T. Fukui, H. Tanaka and R. Tanaka: Proceedings of PCaPAC 2002, Frascati, Italy.
 - 17) S. Sasaki: JASRI/SPring-8 (private communication).
 - 18) T. Kudo, H. Aoyagi, H. Shiwaku, Y. Sakurai and H. Kitamura: *J. Synchrotron Radiat.* **5**, 630 (1998); H. Aoyagi, T. Kudo, S. Wu, K. Sato, S. Sasaki, H. Tanaka, T. Ishikawa and H. Kitamura: Proceedings of Conference on Synchrotron Radiation Instrumentation 2003, AIP Conf. Proc. vol. **705**, pp. 593–596 (2004).
-

Scheme for precise correction of orbit variation caused by dipole error-field of insertion device

Hitoshi TANAKA¹, Masaru TAKAO², Tomohiro MATSUSHITA²,
Hideki AOYAGI², Masao TAKEUCHI², Akane AGUI³,
Akitaka YOSHIGOE³, Takeshi NAKATANI⁴

¹Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8) and CREST, Japan Science and Technology Agency

²Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI/SPring-8)

³Synchrotron Radiation Research Unit, Quantum Beam Science Directorate, Japan Atomic Energy Agency (JAEA/SPring-8)

⁴Quantum Beam Science Directorate, Japan Atomic Energy Agency (JAEA)

Abstract We developed a scheme for precisely correcting the orbit variation caused by a dipole error-field of an insertion device (ID) in a storage ring. In principle, this scheme is applicable to the correction of the orbit variation caused by any ID. The key point for achieving the precise correction is to measure precisely the ID error-field varied by the change of an ID parameter. This measurement is usually carried out by using the induced orbit variation of a stored beam, which is highly sensitive to a dipole error-field. However, various perturbation sources continuously fluctuate the beam orbit in a real storage ring and hence, it is quite difficult to extract the target orbit variation from the measured variation. We therefore periodically change an ID parameter such as a gap or phase of the specified ID with a mirror-symmetric pattern over the measurement period to modulate the orbit variation by the ID error-field. The orbit variation is measured using a time synchronization measurement system with a wide-frequency-band and then the induced variation is extracted precisely through averaging and filtering procedures. Furthermore, in the case where an error-field induced by the dynamical change of an ID gap or phase parameter (dynamic error field) linearly depends on the changing speed of the parameter, the mirror-symmetric pattern enables us to independently extract the orbit variations caused by a static error field and by a dynamic one. This means that only changing speed scaling makes one correction applicable to other corrections for different phase- or gap-driving patterns. We applied the scheme to the correction of the orbit variation caused by phase-driving of an APPLE-2-type undulator installed in the #23 straight section of the SPring-8 storage ring (ID23). The results show that the developed scheme suppresses the orbit variation caused by phase-driving of ID23 down to the order of sub-micron over the phase-driving range necessary for circular-polarization switching and also clarify the expansion of the obtained correction to an arbitrary driving pattern.
