

IMPROVEMENT OF COD CONTROL SYSTEM OF NEWSUBARU

Yasuyuki Minagawa^{#A)}, Takahide Shinomoto^{A)}, Yasuhiro Takemura^{A)}, Yoshihiko Shoji^{B)}

^{A)} Japan Synchrotron Radiation Research Institute (JASRI)

1-1-1 Kouto, Sayo-cho, Sayo-gun, Hyogo, 679-5198

^{B)} LASTI/NewSUBARU, University of Hyogo

1-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo, 678-1205

Abstract

At the NewSUBARU, the response matrix calculated from an optics model had been used for a closed orbit correction (COD) program. We measured the response matrix of NewSUBARU and used it in the new program. We compared performance of the new one with that of the old one.

ニュースバルにおける COD 補正の改善

1. はじめに

ニュースバル放射光施設は 1998 年から稼働しており、COD 補正にはベストコレクタ法“MICADO”^[1] が用いられていた。測定された COD に対して、水平、垂直各 18 台あるステアリング電磁石から最適な電磁石を選択して励磁して、COD を収束させている。補正計算で使用する応答行列はモデル計算によるベータatron関数とベータatron位相の値から算出されていた。

これまでニュースバルでは、このベストコレクタ法で選択されたステアリング電磁石をそのまま励磁しても、vertical 方向に関しては COD を収束させる事が出来ずにいた。これは実機のキック量がモデルより 20~30 %程度強い事と、応答行列の計算に用いるモデルの精度が低い為と考えられた。そのため、ステアリング電磁石のキック量を計算値より弱め、更に一度に使用するステアリング台数を 8 台程度に制限する事で対処していた。

水平方向の応答行列の精度は垂直より高かったが、分散部に設置されたステアリング電磁石による周長変化が考慮されていなかった。2005 年に周長を制御するアルゴリズムが追加されて^[2]、RF 周波数の制御をする必要がなくなり、COD が収束するまでの時間は大幅に短縮された。また、ステアリング電磁石の設定のビット落ちの影響を抑える為に、小さい COD に対して台数を減らす論理も追加された。

これらの改善を経たあとも、最も確実な方法として実際に測定したステアリング応答を用いた COD 補正が望まれてきた。しかし、これまで実際のステアリング応答測定を利用しなかったのは、加速器トンネル内の温度や冷却水温度によるビーム軌道変動の問題^[3]、シンクロトロン振動による BPM の読み値の変動の問題^[4]などがあって、測定精度が低いと考えたからであった。

この十数年の間に、加速器トンネル内の空調設備改造によりトンネル内の温度および冷却水温度のコントロールが良くなり^{[5][6]}、ビーム軌道の変動は小さくなった。また、RF の Low Level 系の改造により

シンクロトロン振動も小さくなっている^[7]。

この報告では、応答行列測定に加えて各 BPM の測定精度を測定している。その結果から、ステアリング応答の測定精度を確認した。最後に測定したステアリング応答を用いた COD 補正とこれまでの COD 補正の比較を行っている。

2. BPM の測定精度

ニュースバルの BPM は加速器リング一周で 18 台設置されている。各々の BPM で連続 100 回のビーム位置測定を行い、その標準偏差 σ を表したのが図 1 である。Horizontal 方向は $1\sim 2\mu\text{m}$ 、vertical 方向は $3\sim 4\mu\text{m}$ とステアリング応答測定には十分な精度である。通常運転時の COD 測定に対して平均化が必要になるのは $10\mu\text{m}$ 以下のときである。

以前はシンクロトロン振動が大きかった為、水平分散の大きな位置で vertical position がばらつく現象がみられた。しかし現在は horizontal 方向、vertical 方向ともに β 関数や分散関数との相関は見られない。このことから、この BPM の精度を決めている要因はノイズか、1 台の BPM の測定時間 (約 300 ms) より早いビームのゆれであると考えられる。

図 1 では vertical の σ は horizontal の σ の約 3 倍の値である。BPM の 4 電極の信号から horizontal と vertical のビーム位置を求める補正式の 1 次項の係数がそれぞれ 8.44 と 21.32 (2.5 倍) であり、図 1 の horizontal と vertical の σ の差を説明できる。

今回の測定では BPM ごとの σ に多少の差が出て

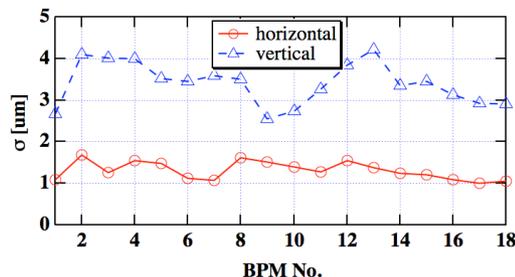


図 1 : BPM の測定精度の結果

[#] minagawa@spring8.or.jp

いる。ただ 100 回測定 of 誤差は 10%程度なので、必ずしも有意とは言えない。

3. ステアリング応答の測定

3.1 1.0GeV のステアリング応答

まず top-up 運転を行う 1.0GeV でステアリング応答の測定を行った。ステアリング電磁石、horizontal 方向の st_h_1~18、vertical 方向の st_v_1~18 を 1 台ずつ+0.1mrad 相当励磁して、horizontal、vertical の COD 変化を測定した。ニュースパルは DBA を基本とした 6 個のベンディングセルと直線部から構成されている。直線部を含む 1 セル内には BPM、horizontal 方向のステアリング電磁石、vertical 方向のステアリング電磁石がそれぞれ 3 台ずつ設置されている。測定結果の例として図 2 にセル 1 の結果を示す。セル 2~6 の測定結果も同じような傾向を示している。図 2 にはこれまでの COD 補正で用いられてきた optics の値から計算した COD も青線で示している。

Horizontal 方向の応答は実測値と計算値があっている。Vertical 方向については、応答関数の形状は概ね合っているが、部分的には 2 倍近く実測値と計算値が異なる測定点があった。従来得ていた感度

おりであり、実測のステアリング応答を使用する事で、COD の収束速度が改善されると期待できる。これと平行してステアリング応答の結果から新しいモデルを構築する事で、応答行列の精度を上げる作業も進んでいる¹⁸⁾。また、図は示さないが、例えば st_h_1 を励磁したときに horizontal の COD だけでなく、vertical にも COD が観測された。Horizontal の COD の最大値が 1mm なのに対して、vertical の COD の最大値が 0.1mm となっており、10%弱の大きさになっている。この原因である skew 成分については、既に別の報告がなされている。¹⁹⁾

3.2 1.5GeV のステアリング応答

1.0GeV と同様に応答関数を測定した。1.5GeV のステアリング応答の結果を 1.0GeV のステアリング応答の結果で割ってみた。理想的には全ての結果が 1 になる。各 BPM において割った値を分布図で示したのが図 3(a)である。Horizontal 方向の結果を見ると、ピークが二つに分離している。そこで、マグネットの種類ごとに分離して分布を示した図を図 3(b)に示す。sth_IB (逆偏向電磁石に補助巻線を巻いてステアリング電磁石としている) や sth_LSS (長直線部前後にあるステアリング専用電磁石) はほぼ 1 を中心に分布しているが、sth_SSS (六極電磁石に

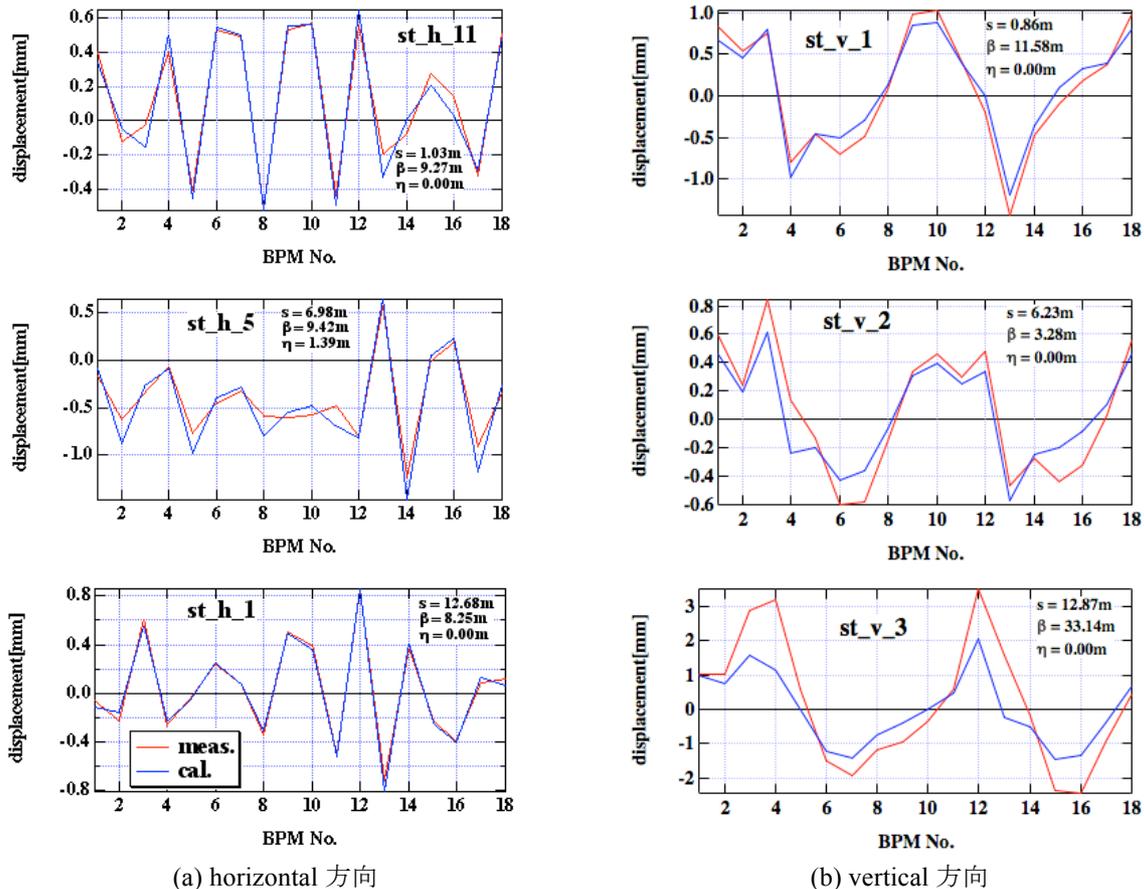
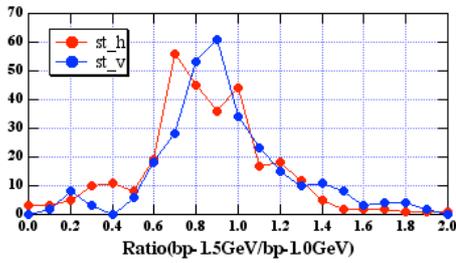
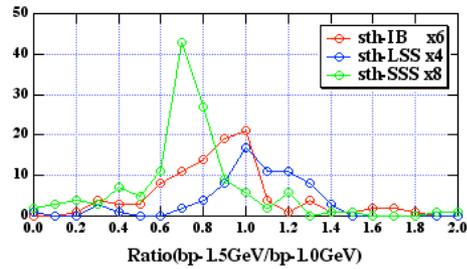


図 2 : セル 1 のステアリング応答測定結果 (赤線)。各図の中にステアリング電磁石の名称、入射点からその電磁石までの距離 s 、 β 値、分散値 η を記している (optics の設計値)。青線は optics からの計算値。



(a) horizontal 方向と vertical 方向



(b) horizontal 方向をマグネットの種類ごとに分離

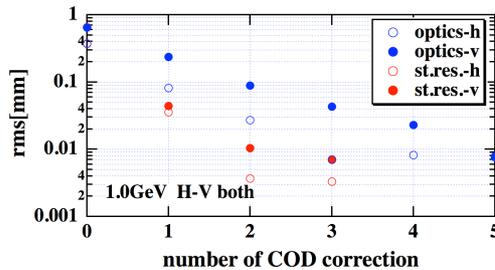
図 3 : 1.5GeV の steering 応答を 1.0GeV の steering 応答で割った結果の分布図。

補助巻線を巻いてステアリング電磁石としている) については 0.7 にピークが来ている。図 3(a)で vertical 方向を見ると 0.9 にピークが来ている。この結果から、1.0GeV と 1.5GeV では実際の kick 量が合っていない。すなわち、プログラムに kick 量の数値を与えたときに電磁石電源への電流値に変換する式の係数が間違っていることが判明した。

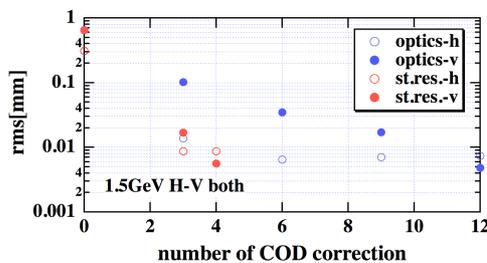
4. COD 補正の比較

最後にこれまでの COD 補正と実測したステアリング応答を使用した COD 補正において、COD が収束するまでの回数の比較を行った。

あらかじめセル 1 の最初のステアリング電磁石の値を horizontal 方向、vertical 方向ともに +0.1mrad 変えて、ビーム軌道をずらしておき、各 COD 補正を行い、何回で COD の rms で $10\mu\text{m}$ 以下になるかを測定した。測定結果を図 4 に示す。1.0GeV の結果については計算値と実測値がほぼ合っている為か、



(a) 1.0GeV 運転



(b) 1.5GeV 運転

図 4 : COD 補正の比較

これまでの COD 補正が 5 回かかっているのに対して実測のステアリング応答を使用した COD 補正では 3 回となっており、そんなに差はなかった。しかし、1.5GeV については、いままでの COD 補正が 12 回かかっているのに対して 4 回で COD が収束しており、実測のステアリング応答を用いた効果が如実に現れる結果となった。

5. まとめ

ニュースバルにおいてステアリング応答の測定を行った。測定に際して、COD を測定する為の BPM の測定精度を調査し、horizontal 方向は $1\sim 2\mu\text{m}$ 、vertical 方向は $3\sim 4\mu\text{m}$ という値を得た。実測したステアリング応答を使用して COD 補正を行う事で、従来の COD 補正よりも COD を収束させる時間を大幅に短く出来る事が確認出来て、実際に運用を開始している。

謝辞

COD 補正のプログラムやステアリング応答の測定の仕方についてアドバイスを頂いた早乙女光一氏 (JASRI) に感謝いたします。

参考文献

- [1] B. Autin and Y. Marti, CERN ISR-MA/73-17
- [2] Y. Shoji and H. Fukuda, 第 2 回日本加速器学会年会報告集, 2005, p.573-575
- [3] Y. Hisaoka et al., 第 2 回日本加速器学会年会報告集, 2005, p.570-572
- [4] Y. Hisaoka et al., 第 2 回日本加速器学会年会報告集, 2005, p.570-572
- [5] Y. Shoji et al., 第 4 回日本加速器学会年会報告集, 2007, p.863-865
- [6] S. Hashimoto et al., 第 6 回日本加速器学会年会報告集, 2009, p.661-663
- [7] Y. Shoji et al., Proceedings of APAC, 2004, p.368-370
- [8] 庄司善彦, 「ニュースバルの線形ラティスマデル」本会プロシーディング
- [9] 陳彩華, 「NewSUBARU に於ける SkewQ 磁場分布の測定」, ビーム物理研究会 2010 発表