

IMPROVED PERFORMANCE OF NEWSUBARU USING MULTI-ELEMENT CORRECTOR MAGNET

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

The storage ring NewSUBARU has a 10.8m long undulator and a 1.5m short undulator. In top-up mode the beam current is kept at 220mA, although the beam lifetime and the injection efficiency are worse with the undulator's gap closed. We installed two multi-element corrector magnets at upper and down stream sides of the long undulator and investigated the effect of the correction multi-pole fields in the beam lifetime and the injection efficiency.

ニュースバルの多機能電磁石による性能改善

1. はじめに

ニュースバル蓄積リングは 14m の長直線部を 2ヶ所と 2.5m の短直線部を 4ヶ所持っている。その長直線部の 1 つに 10.8m の長さの Long Undulator (LU)、短直線部の 1 つに 1.5m の長さの Short Undulator (SU) を設置している。2001 年に LU の運転を開始したが、その時点で gap を閉めるとビーム寿命や入射効率が悪化したため、多極磁場エラーなどの調整が行われた後に運用され続けてきた^[1]。2006 年には LU の gap 依存の skew-quadrupole 磁場が測定された^[2]。完全に報償することはできないが、調整によって入射効率が改善される可能性があることが分かっている。

現在、1GeV 運転時に LU だけ gap を閉めるとビーム寿命が約 16%短縮し、SU だけだと約 9%短縮する。LU と SU の gap を同時に閉めると、ビーム寿命が約 24%の短縮になるとともに入射効率も大幅に低下する事が問題となっている。

また、ニュースバルは 2003 年から top-up 運転を行っているが、1シフト(8hr)に入射出来る電荷量が放射線遮蔽の問題から制限されている。そのため、top-up 運転を維持出来るビーム電流値は 200~220mA くらいに留まっており、ビーム電流値を上げるにはこれまで以上にビーム寿命と入射効率を上げる必要がある。

今回、新たに製作した多機能電磁石を LU の上下流に 1台ずつ設置して、vertical dipole 成分、skew-quadrupole 成分、skew-sextupole 成分、octupole 成分を個別に励磁出来るようになった。更にこの多機能電磁石に補助のコイルを巻き、sextupole 成分も励磁出来るようにした(図 1)。これらを使って多重磁場成分を作り、それによる寿命の改善を試みた。

まず、個々の多極磁場成分を励磁して、それによるビーム寿命の延伸率を測定し、次に延伸率が高かった磁場成分を同時に励磁して、総合的な延伸率

を見た。最後に horizontal 及び vertical tune によってビーム寿命の延伸率の違いを見るとともに、多機能電磁石を励磁した状態で入射を行って入射効率を見る事で、top-up 運転を維持出来る時間を算出して、運転に最適なチューンを導き出している。



図 1 : 多機能電磁石

2. 多機能電磁石の効果

測定時の加速器パラメータは、ほぼ通常の利用運転の状態に設定し、ビーム電流は 190~200mA、LU gap = 34.8mm、SU gap = 40mm とした。

2.1 各成分の効果

(1) skew-quadrupole 成分

現在の利用運転では、入射時に蓄積済みのビームが削られる事があり、LU 下流の skew-quadrupole 成分を励磁する事でこれを救っている。ただ、入射最適条件と低カップリング条件は一致せず、削りのメカニズムは解っていない。

最初にこの skew-quadrupole 成分のビーム寿命に与える影響を図 2 に示す。ビーム寿命が最も長くなるのは strength が -0.017 T のときであるので、これ以降の他の補正磁場を励磁する際にも、LU 下流の skew-quadrupole 成分の strength は -0.017 T で行う。この状態で LU 上流の skew-quadrupole 成分に対する

[#] minagawa@spring8.or.jp

寿命変化を測定したがビーム寿命は伸びなかった。

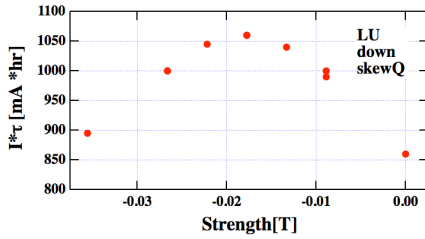


図 2 : LU 下流の skew-quadrupole 成分励磁による $I^* \tau$ の変化

(2) skew-sextupole 成分

図 3 に skew-sextupole 成分を励磁したときのビーム寿命の変化を示す。LU 上下流ともに 1 T/m くらいでビーム寿命が最長となる。

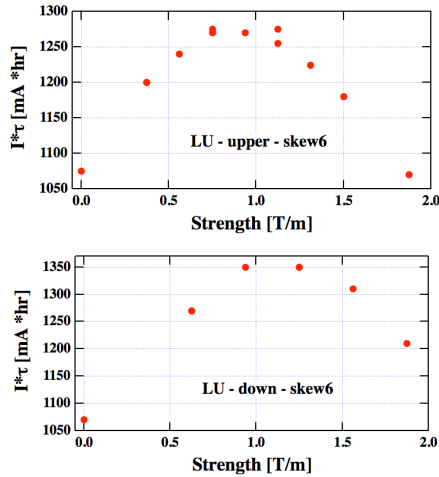


図 3 : LU 上下流の skew-sextupole 成分励磁による $I^* \tau$ の変化

(3) octupole 成分

Octupole 成分を励磁したときのビーム寿命の変化については、ゼロ励磁が最適でビーム寿命が伸びる事はなかった。

(4) sextupole 成分 (補助コイル)

図 4 に sextupole 成分を励磁したときのビーム寿命の変化を示す。LU の上下流のどちらの sextupole 成分も電流値を上げるほどビーム寿命が伸びる結果となった。この位置の非線形分散関数と sextupole により、momentum acceptance が変わった可能性を考えて、RF 電圧を通常運転の 100kV から 120kV に上げた測定も行ったが、それらしい変化は無かった。その測定結果は LU 下流の電磁石についてだけ図 4 の下図に示している。

表 1 に各成分の効果を $I^* \tau$ の伸び率として表した表を示す。

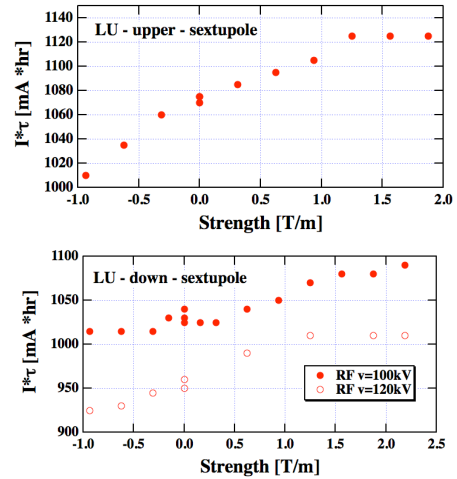


図 4 : LU 上下流の sextupole 成分励磁による $I^* \tau$ の変化

表 1 : 多機能電磁石による $I^* \tau$ の伸び率 [%]

	LU 上流	LU 下流
skew-quadrupole	0.0	23.2
skew-sextupole	18.6	26.1
octupole	0.0	0.0
sextupole	4.6	6.3

2.2 同時励磁

ビーム寿命が伸びる多極磁場成分だけを同時に励磁して、総合的な効果を見てみた。

この測定を行ったのは 2.1 の各成分の測定を行った日とは異なっており、skew-sextupole 成分の効果が異なっていた。LU 上流側はほとんど効果がなく、下流側の伸び率は 5% しか伸びなかった。

LU 上下流の sextupole 成分、LU 下流の skew-quadrupole と skew-sextupole 成分を同時に励磁したところ、 $I^* \tau$ が 12.2% 伸びて、ほぼ、それぞれの磁場成分単体での $I^* \tau$ の伸びを加算した結果となった。

3. tune による効果

異なる測定日で $I^* \tau$ の伸び率に差が出たのは horizontal tune と vertical tune による影響ではないかと考え、tune によって多機能電磁石による $I^* \tau$ の伸びがどのように変化するかを見た。この際、skew-quadrupole 成分の strength は -0.009 T に設定した。 $I^* \tau$ が最も伸びるのは strength が -0.017 T であったが、入射でビームを削ってしまうため実用運転に使用できないからである。この章ではビーム寿命のみでなく、入射効率との関係もあわせて多機能電磁石の効果を見る。

3.1 $I^* \tau$

図 5 に tune を変更した時のビーム寿命を、多機能電磁石励磁前後の結果で示す。H tune=6.2855、V tune=2.2237 をそれぞれ 0 とし、tune を表示した。

測定した全領域で多極電磁石による寿命改善があったが、H tune が小さいほど励磁前の $I^* \tau$ が悪く、また多極電磁石の効果（延伸率）が大きかった。Tune に対する依存は大きく、多機能電磁石の各成分別の測定を行った日は $I^* \tau$ が悪い tune で測定していたと推測出来る。

図 6 に共鳴線との位置関係を示す。 $I^* \tau$ の長い領域が右下がりなのは 4 次共鳴ラインを反映しているように見えるが、octupole 成分は寿命改善に寄与しなかったため、寿命改善は単一共鳴とは関係なさそうである。本来、sextupole 成分で寿命改善が得られるのは 3 次共鳴であるが、実際に寿命改善が得られたのは共鳴線から遠い側であり、やはり共鳴に関係してないことが分かった。

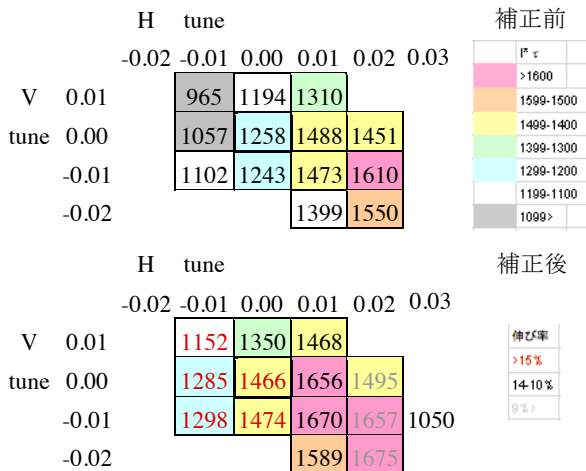


図 5 : tune によるビーム寿命

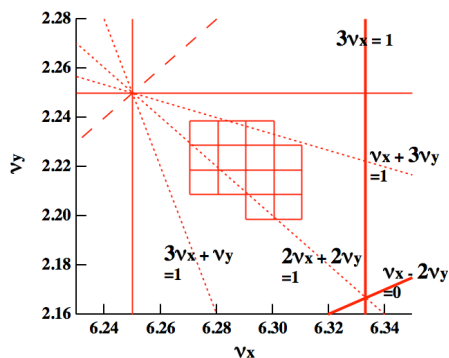


図 6 : 測定した tune と共鳴の関係

3.2 入射効率との関係

図 7 に入射効率についての図を示す。入射効率の tune 依存は不思議な分布をしている。H tune が +0.01 では V tune に対する許容範囲が広い。V tune が 0.00 では H tune に対する許容範囲が広い。入射効率は、ビーム寿命に対して以上に多くのパラメーターが関与しており、測定精度も低いので再測定を考えている。

ビーム寿命と入射効率を合わせて比較するために電荷量 245nC で top-up 運転が持続出来る時間を計算した結果が図 8 である。この結果から、H tune を +0.01 ずらした結果が一番良い結果となっており、通常運転時より運転持続可能時間が 40% 以上と予想できる。但し、水平チューンが高くなると急激に top-up 持続時間が下がるので、注意

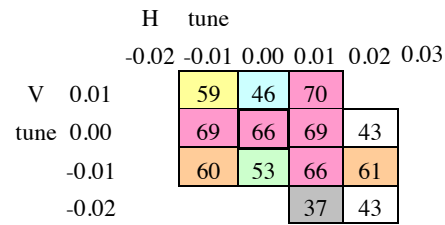


図 7 : 入射効率 [%]

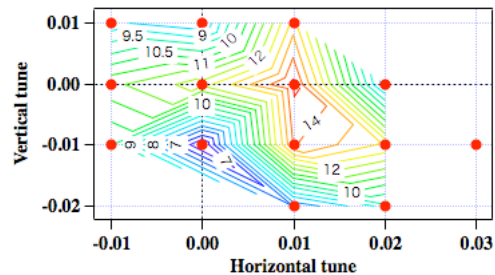


図 8 : Top-up 持続時間の等高線表示

4. まとめ

Undulator の gap を閉じる事で発生する不整磁場を補正する為に LU 前後に多機能電磁石を設置して、ビーム寿命の改善を試みた。多機能電磁石の skew-quadrupole, skew-sextupole, sextupole 成分を同時に励磁することで、ビーム寿命が 12% 伸びる結果が得られた。更に tune によって多機能電磁石の効果に違いがあることが分かり、最適な tune と多機能電磁石の効果によって、top-up の持続時間を通常運転時の 40% 伸ばすことが可能である。この補正パラメーターを使えば、top-up 運転時の蓄積ビーム電流を上げる事も可能である。

参考文献

- [1] Y. Shoji et al., IEEE TRANSACTIONS ON APPLIED SUPERCONDUCTIVITY, Vol.14, No.2, JUNE 2004, pp.572-575
- [2] Y. Hisaoka et al., 第 3 回日本加速器学会年会報告集, 2006, p.224-226