

STATUS OF CURE OF TRANSVERSE INSTABILITIES BY CHROMATICITY MODULATION AT NEWSUBARU

Takeshi Nakamura¹, Haruo Ohkuma, Noritaka Kumagai, Takashi Ohshima, Hideki Takebe, Sakuo Matui

Ainosuke Ando^{A)}, Yoshihiko Shoji^{A)}, Satoshi Hashimoto^{A)}, Tadashi Hattori^{A)}

Keiko Kumagai^{B)}

JASRI / SPring-8, 1-1-4 Kouto, Mikazuki-cho, Sayo-gun, Hyogo 678-5198, Japan

^{A)} LASTI, Univ. of Hyogo, 3-1-2 Kouto, Kamigori-cho, Ako-gun, Hyogo 678-1205, Japan

^{B)} RIKEN, 2-1, Hirosawa, Wako, Saitama 351-0198, Japan

Abstract

Chromaticity modulation by synchrotron frequency produces betatron tune spread inside of a bunch and suppress transverse instabilities in storage rings by Landau damping. We will apply this method to the NewSUBARU storage ring and are preparing and testing an AC sextuple magnet, a vacuum chamber for installation of an AC field transparent ceramics duct, and a tuning of a ring lattice for optimized dispersion at the magnet. The principle of the scheme, the current status of the experiment and the unwanted effect on a beam by misalignment and its tolerance are described.

クロマティシティ変調による横方向不安定性の抑制実験の現状

1. はじめに

クロマティシティをシンクロトロン周波数で変調すればベータトロンチューンに広がりを持ち込むことができ、横方向不安定性を抑制しうることが著者の一人により示されている[1]。NewSUBARU蓄積リング[2]にこの手法を適用し、より安定した大電流の蓄積を行うことを目指した研究を2004年度より開始した。現在、そのためのリングのラティスパラメータの最適化・調整、クロマティシティの変調に必要な交流六極電磁石の開発・製作および交流磁場を透過させるセラミックスチェンバを設置するための真空系の改造を行っている。

2. クロマティシティ変調

クロマティシティ変調によるチューン広がりと言ダウ減衰

クロマティシティに変調を行い、

$$\xi(t) = \xi_0 + \xi_1 \cos \omega_s t \quad (1)$$

とする。ここで、 ξ_0 および ξ_1 は、クロマティシティのDC成分およびAC成分であり、 ω_s はシンクロトロン角周波数である。電子はシンクロトロン振動を行っているので、そのエネルギーは

$$\Delta E(t)/E = \delta(t) = \hat{\delta} \cos(\omega_s t + \phi) \quad (2)$$

となる。このとき、この電子のチューンは

$$\nu(t) = \xi(t)\delta(t) \quad (3)$$

となるが、この時間平均をとると、式(1)-(3)から

$$\bar{\nu} = \bar{\xi}\bar{\delta} = \frac{1}{2}\xi_1\hat{\delta}\cos\phi = \frac{1}{2}\xi_1\delta(0) \quad (4)$$

が得られる。これから、DCのクロマティシティのみでは生じなかった時間平均後のチューンの広がりが見えており、その分布はエネルギーの分布と同じであることがわかる。エネルギーの広がりを σ_δ すると、チューンの広がり

$$\sigma_\nu = \frac{1}{2}\xi_1\sigma_\delta \quad (5)$$

をもち、ベータトロン振動の角周波数広がりとして $\sigma_\omega = \omega_0\sigma_\nu$ が得られる。ここで、 ω_0 はリング周回の角周波数である。さて、角周波数が r.m.s. として σ_ω をもつガウス分布となっている振動子集合のコヒーレント振動のランダウ減衰時間 τ_L は $1/\tau_L = \sqrt{2/\pi}\sigma_\omega$ であるので[3]、これと、式(5)から、エネルギー分布がガウス分布である場合、減衰時間として

$$\frac{1}{\tau_L} = \sqrt{\frac{2}{\pi}}\omega_0\sigma_\nu \quad (6)$$

が得られる。これはシミュレーションでも確認されている[1]。但し、パンチ電流が大きいたときにはポテンシャルが変化して調和振動からずれていくので、その効果は別途に検討せねばならない。

クロマティシティ変調の特徴

チューン広がりを導入する方法として、八極磁場をもちいて振幅への依存性を持ち込み、ビームサイズによってチューンの広がりを発生させる手法がある。しかし、低エミッタンスリングではビームサイズは小さいためにより強力な八極磁場が必要となるが、これはダイナミックアパチャの減少につながり、寿命の減少や入射の困難をもたらす。

¹ E-mail: nakamura@spring8.or.jp

これに対して、クロマティシティの変調は、このようなダイナミックアパチャに対する影響は小さいため、このような場合にも適用できることが期待される。さらにバンチ内部にチューンの広がりを作りだすのでシングルバンチでの不安定性にも有効である。

3. NewSUBARU蓄積リングへの適用

NewSUBARU蓄積リングの入射時のパラメータを表1に示す。1GeVでの入射後に1.5GeVへと上昇させている。

表1 NewSUBARU蓄積リングのパラメータ

エネルギー	1.0 GeV
エネルギー広がり r.m.s.	4.7×10^{-4}
周回周波数	2.5 MHz
シンクロトロン周波数	5~6 kHz
ベータトロン放射減衰時間	22 ms
シンクロトロン放射減衰時間	12 ms
バンチ長 r.m.s.	16 ps
ベータトロン振動数 (ν_x/ν_y)	6.29 / 2.23

式(6)から、クロマティシティ変調の強さ ξ_1 を1とできれば減衰時間として、0.3msが得られるので、これを目標とする。クロマティシティの変調は交流六極電磁石により行うが、通常運転時にディスパージョンが0でない場所にはすでに設置する空間が残されていないため、長尺アンジュレータの下流部の空間に設置する。現状ではこの場所のディスパージョンは0であるので、ラティスを変更してディスパージョンを導入する必要がある。

4. ラティス調整

交流六極電磁石を設置する長尺アンジュレータ下流部にディスパージョンをもつラティスの検討が行われ、実験的には蓄積に成功しており、0.5m程度のディスパージョンが可能である事が示された[4]。このラティスのパラメータの測定値を表2に示すが理想計算値[4]に近い値である。計算上の自然エミッタンスは通常運転の約2倍(70nm)だが、一方でエネルギーアクセプタンスは拡大したと考えられる。

表2 交流六極にディスパージョンがある場合

ディスパージョン [†]	η	0.5 m
β 関数 [†]	β_x/β_y	17.3 m / 13.3 m
ビームサイズ [†]	σ_x/σ_y	1.1mm / 0.31mm
クロマティシティ	$\xi_x/\xi_y/\xi_s$	1.8 / 8.0 / 0.056

[†]: 交流六極磁石での値

蓄積はできたが、入射は単発入射の段階である。更に、リング6極の最適化などの課題を順次解決して行く予定である。

5. 交流六極電磁石用真空チェンバ

交流六極電磁石(AC6極)を設置する長尺アンジュレータ(LU)下流部には1,260mmの空間があり、現在、上流側にアルミチェンバ、下流側に溶接ベローズが置かれている。アルミチェンバにはイオンクリア電極とイオンポンプ用ポートがつき、Skew 4極磁石が置かれている。ここにAC6極の交流磁場を透過させるのに必要なセラミックスチェンバおよびAC6極でのビームの位置を測定する位置モニタ(BPM)を設置する。そのため、下流側のベローズを残して上流側のアルミチェンバを撤去し、図1に示すように下流側から、イオンポンプ用ポートをもつチェンバ、AC6極のための有効スペース230mmをもつ既存のセラミックスチェンバ、そして今回、新たに設計・製作した”LU下流BPMチェンバ”の順で設置する。そして、これにLU部チェンバが接続される。

LU下流BPMチェンバはSUS製であり、BPM、イオンクリア電極をもち、Skew 4極磁石が設置される。さらに通常のアパチャ28mm (B-B開口断面)をもつセラミックスチェンバと19.4 mm (A-A開口断面)をもつLU部チェンバとを滑らかにつなげ、ビームへの影響を抑えている。また、無酸素銅製の水冷アブソーバを設けチェンバ内壁の放射光照射を避けた。セラミックスチェンバへの負荷を避けるため、下流端のフランジの支持にはビーム軸方向に自由度を持ったスライドサポート機構を設けた。

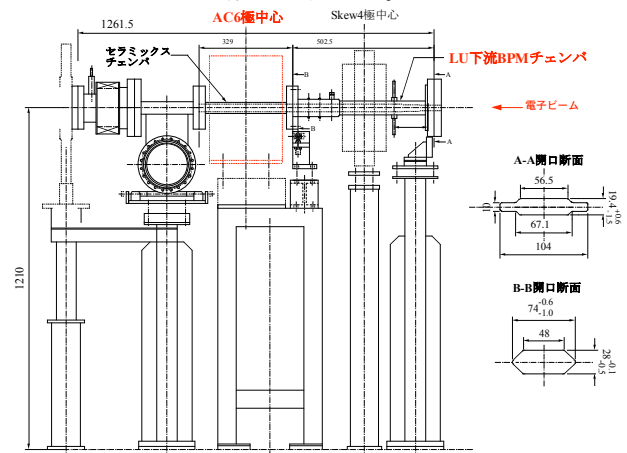


図1： 交流六極電磁石用真空チェンバ。右が上流でLU側。左の下流端にベローズが設置されている。

6. 交流六極電磁石

製作中である交流六極電磁石を図2に示す。磁石

長は、既存のセラミックスチェンバを用いるため150mm となった。生成する磁場の周波数は約5kHz であるのでコアは 0.35mm 厚のケイ素電磁鋼板を用いた積層型とし、コイルは、表皮効果をさけるため4mm厚の銅板とした。コイルは、各磁極を縫うように巻いた半ターン形状とし、ボア側および外側をそれぞれ反対方向に流すことにより1ターンとした。ボア側、外側のコイルはそれぞれ単独でも電流を流すことが可能である。

NewSUBARUではエネルギーが1GeVから1.5GeVに変化するが、放射励起によるエネルギー広がりエネルギーに比例して増大するので、磁石の動作は一定でよい。また、その際にシンクロトロン周波数を磁石の動作範囲に保つことは可能である。

表3：交流六極電磁石のパラメータ

磁極長		150 mm
ボア直径		80 mm
六極磁場強度†	B''	36 T/m ²
ターン数	N	1 (=1/2+1/2)
ピーク電流	I_p	300 A _{peak}
周波数	f_s	4~6 kHz
インダクタンス	L	~10 μ H (計算)
クロマティシティ振幅	ξ_l	1

† 磁場は $B = 1/2 B'' x^2$

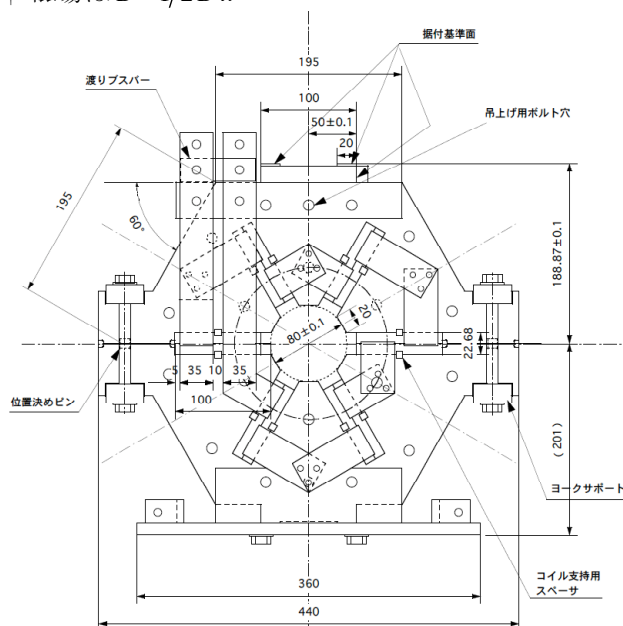


図2： 交流六極電磁石。ビーム軸上からみた形状。

7. 交流六極電磁石電源

交流六極電磁石のインダクタンスは、10 μ H程度と見積もられているので、磁場発生のための電流

300A_{peak}、5kHzを供給するのに必要な電圧は約100V_{peak}となる。電源には、キャパシタを磁石に並列に接続して並列型共振回路を構成し、それを並列に接続した増幅器により駆動する方法をとる。キャパシタは磁石の直下に設置し、周波数の切替は、キャパシタをいくつか並べ、これを組み合わせて用いることにより行う。増幅器には NF4520(170V_{peak}、23A_{peak})を用いるが、200Hz程度の共鳴点からのずれに対しては駆動可能であるので、周波数の微調整はこれで行う。

8. ビーム品質への影響

交流六極磁場のもたらすビーム品質への影響として、六極磁場の中心がビーム軸とずれることによる影響を検討した。影響として、軸のずれ Δx により生じる双極磁場によるC.O.D.の変動、生じた四極磁場によるチューンの変動を検討した。結果として、

- 1) C.O.D.の変動 $x/\Delta x^2 = 12 \mu\text{m/mm}^2$
- 2)シンクロトロン振動の励起 $\hat{\tau}/\Delta x^2 = 21 \text{ ps/mm}^2$
- 3)チューンの変動 $\Delta\nu/\Delta x = 0.002/\text{mm}$

が得られている。もっとも問題となるのは2)であるが、中心を0.1mm程度の範囲であわせることができれば無視できる程度となる。これは通常のC.O.D.補正で容易に実現できる値である。

8. まとめ

横方向不安定性抑制の効果的かつ簡便な方法であるシンクロトロン周波数によるクロマティシティ変調をNewSUBARUリングにおいて実験を行うべく準備を進めている。2005年夏にチェンバと交流六極磁石を設置し、秋からビーム実験を行う予定である。

謝辞

本研究は平成16、17年度の文部科学省科学研究費補助金（基盤研究(B)、課題番号16360043）の助成を受けて行われている。

参考文献

- [1] T. Nakamura, "Cure of Transverse Instabilities by Chromaticity Modulation" in Proc. of the 1995 IEEE Particle Accelerator Conference (Dallas, 1995), Vol. 5, p. 3100.
- [2] A. Ando, et al., Jour. Synch. Rad.5 (1998), 342.
- [3] A. Chao, "Physics of Collective Beam Instabilities in High Energy Accelerators", John Wiley & Sons, Inc., 1993.
- [4] Y. Shoji, "Off-Momentum Injection into Non-Achromatic Lattice", these proceedings.