

MEASUREMENTS OF LATTICE FUNCTIONS OF THE SAGA-LS STORAGE RING

Yuichi Takabayashi^{1,A)}, Yoshitaka Iwasaki^{A)}, Shigeru Koda^{A)}, Katsuhide Yoshida^{A)}, Takio Tomimasu^{A)},
Hideaki Ohgaki^{B)}

^{A)} Kyushu Synchrotron Light Research Center
8-7 Yayoigaoka, Tosu, Saga, 841-0005

^{B)} Institute of Advanced Energy, Kyoto University
Gokanoshō, Uji, Kyoto, 611-0011

Abstract

Lattice functions of the SAGA-LS storage ring have been measured. The measured values are compared with the designed values. A reasonable agreement is obtained between them.

SAGA-LS電子蓄積リングのラティス関数測定

1. はじめに

SAGA Light Source (SAGA-LS)は佐賀県によって建設された放射光施設であり、2006年2月17日にオープンした^[1-3]。現在、蓄積電流値100 mAでユーザーに放射光を提供している。蓄積リングのラティスが設計通り実現されているかどうかを確認するため、ラティス関数の測定を行った。

表1に蓄積リングのパラメータをまとめた。ラティスは8回対称で、Double Bend型の電磁石配置である。ただし、長直線部に分散を設けることにより、エミッタンスを抑えた設計になっている。図1に1セル分の配置を示す。4極電磁石にはQF1、QD1、QF2の3ファミリーがある。各4極電磁石は補正コイルを備えており、個別に磁場の大きさを変えることができるようになっている。6極電磁石にはSF、SDの2ファミリーがある。SF、SDは補正コイルによるステアリング機能も有している。この他に、QF2のすぐ下流に水平・垂直のステアリング電磁石が1台ずつある。BPMは1セルあたり3台、リング全体で24台設置されている。

2. ベータ関数

2.1 4極電磁石位置におけるベータ関数

ベータ関数は次式のように表すことができる^[4-5]。

表1: 蓄積リングのパラメータ

周長	75.57 m
入射エネルギー	260 MeV
貯蔵エネルギー	1.4 GeV
エミッタンス	25 nm-rad
チューン	(5.796, 1.825)
モーメントムコンパクション	0.0134
エネルギー幅	6.7×10^{-4}
RF周波数	499.8688 MHz
ハーモニック数	126
RF電圧	500 kV
カップリング (測定値)	1%

$$\beta = 4\pi \frac{\Delta v}{\Delta K \cdot L} \quad (1)$$

Δv は4極電磁石のK値を ΔK だけ変化させたときのチューンシフト量、 L は磁石長である。チューンの測定系は文献^[6-7]を参照されたい。式(1)を用いてチューンシフト量から求めたベータ関数の値を図2に示した。

2.2 BPM位置におけるベータ関数

ステアリング電磁石で $\Delta\theta$ のキックを与えたとき、そのステアリング電磁石の近くにあるBPMで測定し

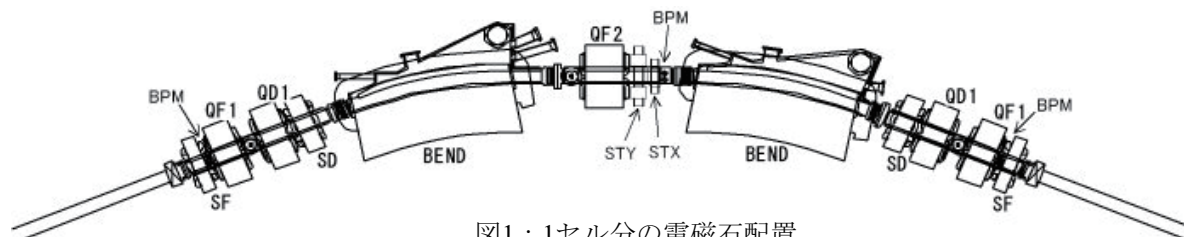


図1: 1セル分の電磁石配置

¹ E-mail: takabayashi@saga-ls.jp

たCODの変化量 Δx (または Δy)からベータ関数を求めることができる^[4-5]。

$$\beta = 2\Delta x \cdot \tan(\pi\nu) / \Delta\theta \quad (2)$$

ν はチューンである。この式を用いて求めたベータ関数も図2に示した。

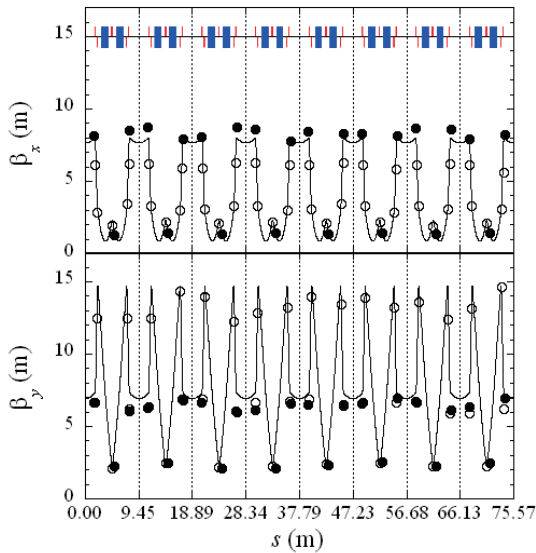


図2：ベータ関数。○は4極電磁石位置における値、●はBPM位置における値を示す。実線は設計値を示す。

2.3 計算値との比較

図2の実線は、設計値を示す。概ね測定値と一致していたが、ベータ関数にゆがみがみられた。表2に、測定値の平均値とばらつき(標準偏差 σ)を示した。長直線部に設置されている16台のBPMをBPM-a、QF2の近くにある8台のBPMをBPM-bと名づけた。

納入時の各4極電磁石の磁場データによると、QF1には0.11%、QD1には0.19%、QF2には0.22%のK値のばらつきがあった。これらを考慮して計算したベータ関数を図3に示す。表2には、計算値の平均

表2：ベータ関数の値

		測定値 (m)		計算値 (m)	
		平均値	σ	平均値	σ
QF1	β_x	6.1	0.2	7.50	0.18
	β_y	6.5	0.3	7.92	0.50
QD1	β_x	3.2	0.2	3.32	0.08
	β_y	13.3	0.7	14.19	0.92
QF2	β_x	2.1	0.1	2.23	0.05
	β_y	2.3	0.1	2.49	0.19
BPM-a	β_x	8.3	0.3	7.99	0.19
	β_y	6.5	0.3	7.30	0.45
BPM-b	β_x	1.4	0.1	1.46	0.04
	β_y	2.3	0.2	3.75	0.33

値とばらつきの大きさも示した。約2倍程度の範囲内ではばらつきの大きさを再現することができた。しかし、図3からわかるように、ゆがみの傾向は完全には一致しておらず、4極電磁石の磁場データのばらつきだけではベータ関数のゆがみを説明できないことがわかった。

最近、線形ラティスに基づいた軌道応答行列のフィッティング^[8]による、より詳細なラティスの解析も行われている^[9-10]。この解析では、各4極電磁石のK値を推定できるので、その結果を考慮し、ベータ関数のゆがみを補正する予定である。

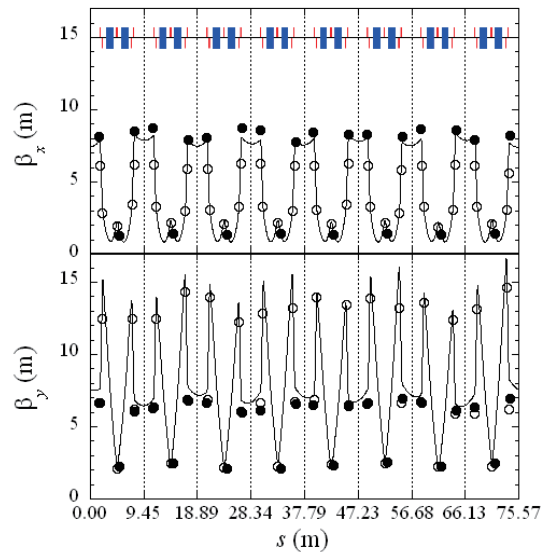


図3：ベータ関数。実線は4極電磁石の磁場のばらつきを考慮した計算値を示す。測定点○と●は図2と同じ。

3. 分散関数

分散関数は、RF周波数 f_{RF} を Δf_{RF} だけ変化させたときの軌道位置の変化量 Δx から次式を用いて求めた。

$$\eta = \frac{\Delta x}{\Delta p/p} = -\alpha \frac{\Delta x}{\Delta f_{RF}/f_{RF}} \quad (3)$$

Δp は運動量のずれ、 α はモーメントムコンパクション因子である。 α として設計値の0.0134を用いた。 Δx はBPMで測定した。測定値と計算値の比較を図4に示す。測定値は計算値とほぼ一致していた。

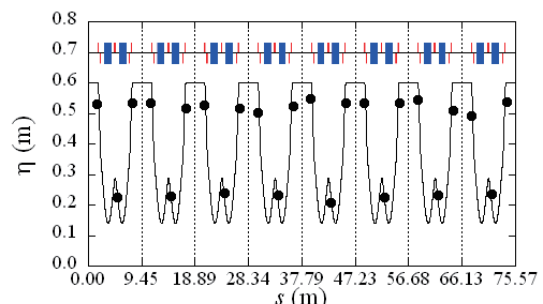


図4：分散関数

4. クロマティシティ

クロマティシティ ξ は、RF周波数 f_{RF} を Δf_{RF} だけ変化させたときのチューンシフト量 Δv から求めた。

$$\xi = \frac{\Delta v}{\Delta p/p} = -\alpha \frac{\Delta v}{\Delta f_{RF}/f_{RF}} \quad (4)$$

ビームを蓄積後、6極電磁石をOFFにし、ナチュラルクロマティシティを測定した。表3に測定結果を示す。計算値からのずれは $(\Delta\xi_x, \Delta\xi_y) = (-1.1, +1.8)$ であった。このずれの原因として、計算で考慮されていない6極成分の存在が考えられる。予備的な解析によると、偏向電磁石の6極成分を考慮した場合、クロマティシティの計算値は測定値に近づく方向にシフトする。

表3: ナチュラルクロマティシティ

	測定値	計算値
(ξ_x, ξ_y)	$(-8.2 \pm 0.2, -6.8 \pm 0.2)$	$(-7.1, -8.6)$

図5に、クロマティシティの6極電磁石電流値依存性の測定結果を示す。通常、 $(\xi_x, \xi_y) = (+3.0, +3.0)$ で運転を行っている。実線は、直線でのフィットを示す。直線の傾きから求めた単位 $K'L$ 積あたりのクロマティシティの変化量を表4にまとめた。測定値は計算値とよく一致していた。この値は、ベータ関数と分散関数の積に近似的に比例する量なので、6極電磁石位置におけるそれらのラティス関数はほぼ予想通りの値になっていると考えられる。

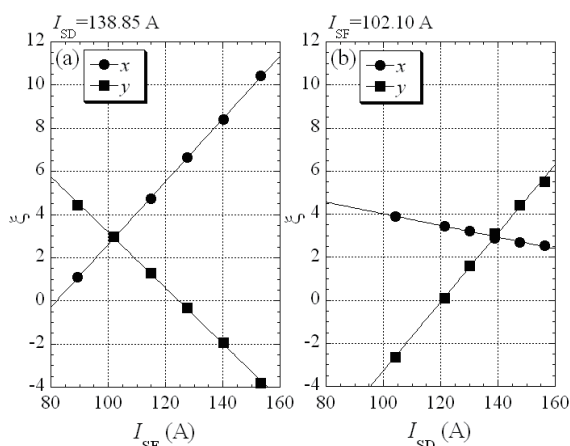


図5: クロマティシティの6極電磁石電流値依存性

表4: クロマティシティの変化量

	測定値 (m ²)	計算値 (m ²)
$\Delta\xi_x/\Delta(K'L)_{SF}$	5.91 ± 0.16	6.08
$\Delta\xi_y/\Delta(K'L)_{SF}$	-5.26 ± 0.16	-5.55
$\Delta\xi_x/\Delta(K'L)_{SD}$	-0.83 ± 0.15	-0.91
$\Delta\xi_y/\Delta(K'L)_{SD}$	4.93 ± 0.15	5.33

5. シンクロトロン振動数

通常、RF電圧500 kVで運転を行っているが、このときのシンクロトロン振動数は34.8 kHzであった。

一方、下記の式によるシンクロトロン振動数の計算値は38.7 kHzとなるが、これは測定値よりも約10%大きい値である。

$$f_s = f_{rev} \sqrt{\frac{h\alpha}{2\pi E} [(eV_c)^2 - U_0^2]^{\frac{1}{2}}} \quad (5)$$

ここで、 f_{rev} は周回周波数、 h はハーモニック数、 E は電子のエネルギー、 V_c はRF電圧である。 U_0 は放射損失で、1.4 GeVでの値は106 keVである。RF電圧が200~600 kVの範囲でもシンクロトロン振動数を測定したが、同程度の計算値とのずれがあった。ずれの原因として、 α と V_c の不確かさがある。 α と V_c がそれぞれ単独でずれているとすると、そのずれの大きさは約20%に相当する。まず、 α の不確かさを見積もるため、4極電磁石の K 値をある範囲内(チューンの変化幅が ~ 0.1 、長直線部の分散の変化幅が ~ 0.1 m)で変えたときの α の変化量を計算したところ、最大で10%程度であった。また、ラティス関数の測定値が計算値とほぼあっていることから、 α が20%もずれることは考えにくい。 V_c の精度は数%程度と考えていたが、ずれの原因を明らかにするため、 V_c の再校正を検討している。

6. まとめ

SAGA-LS電子蓄積リングのラティス関数の測定を行った。測定値は設計値と概ね一致しており、総合的にみて設計ラティスが実現していると考えられる。ベータ関数のゆがみの補正が今後の課題である。

参考文献

- [1] T. Tomimasu, et al., "Commissioning of SAGA Light Source", Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference.
- [2] T. Tomimasu, et al., "Current Status of the SAGA Light Source Commissioning", Proceedings of Synchrotron Radiation Instrumentation: Ninth International Conference.
- [3] K. Yoshida, et al., "The SAGA Light Source", Proceedings of Synchrotron Radiation Instrumentation: Ninth International Conference.
- [4] 神谷幸秀, "加速器の原理", OHO '84 高エネルギー加速器セミナー.
- [5] 小林幸則, "電子ストレージリングII—ビームの性質—", OHO '93 高エネルギー加速器セミナー.
- [6] S. Koda, et al., "Development of RF-KO System at SAGA-LS", Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan.
- [7] S. Koda, et al., "Bunch Filling Control at SAGA-LS Storage Ring", Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan.
- [8] J. Safranek, Nucl. Instr. and Meth. A 388 (1997) 27.
- [9] Y. Iwasaki, et al., "Model Calibration of the SAGA Light Source Electron Storage Ring Using Orbit Response Matrix", Proceedings of the 4th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan.
- [10] H. Ohgaki, et al., "Global COD Correction of SAGA-LS", Proceedings of 2007 Particle Accelerator Conference.