

## VI 研究報告

### 1 放医研超伝導ウィグラー設置可能性の検討

江田茂<sup>1</sup>、岩崎能尊<sup>1</sup>、高林雄一<sup>1</sup>、吉田勝英<sup>1</sup>、岡島敏浩<sup>1</sup>、瀬戸山寛之<sup>1</sup>、

冨增多喜夫<sup>1</sup>、大垣英明<sup>2</sup>、取越正己<sup>3</sup>

<sup>1</sup>九州シンクロトロン光研究センター、<sup>2</sup>京都大学エネルギー理工学研究所、<sup>3</sup>放射線医学総合研究所

SAGA-LS ではより高エネルギーの X 線ニーズに応えるために超伝導ウィグラーの設置を検討している。ひとつの可能性として放医研で医学応用のための試験モデルとして開発された超伝導ウィグラー<sup>1,2)</sup> (以下 NIRS-SCW) を SAGA-LS へ設置することが議論されている。基本的な検討として設置によるラティスへの影響を見積もった<sup>3)</sup>。

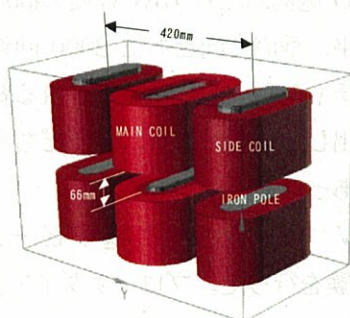


図1 NIRS-SCW 磁極モデル

ウィグラーの3次元磁場計算に Radia<sup>4)</sup>を用いた。磁場計算モデルを図1に示す。放医研で測定された中心軸上の1次元磁場分布の測定結果と Radia での計算との相違は  $10^{-2}$  程度であった。3次元磁場分布からビーム軌道を求め、ビーム軌道上各点でのマルチポール成分を求めた。

このマルチポールを入れたラティスモデルを作り、ラティス計算コード SAD<sup>5)</sup>で計算を行った。図2(A)にラティス関数を(B)にダイナミックアパーチャの計算結果を示す。

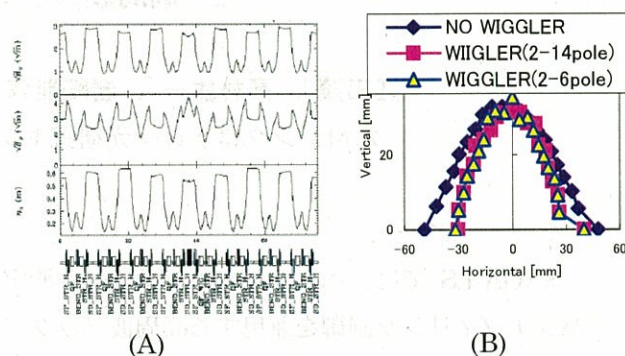


図2 (A) NIRS-SCW 設置ラティス関数(チューン補正後)。ウィグラーは中央。  
(B) 長直線部中央でのダイナミックアパーチャ。

ウィグラー設置によるラティスの歪みは、チューン補正ではほぼ補償できた。ダイナミックアパーチャの縮小は70%程度である。ウィグラーは入射時には励磁せずラティスへの影響は蓄積時のみである。この観点からはダイナミックアパーチャの縮小は許容できると考える。以上の検討から NIRS-SCW のラティスへの影響は重大ではないと考えられる。

#### 参考文献

- 1) M. Torikoshi, T. Tsunoo, M. Endo, K. Noda, M. Kumada, S. Yamada, F. Soga, "Design of synchrotron light source and its beamline dedicated to dual-energy x-ray computed tomography", Journal of Biomedical Optics 6(3) (2001) pp. 371.
- 2) M. Sasaki, M. Torikoshi, M. Kumada, K. Noda, T. Tsunoo, S. Yamada, A. Takubo, H. Ogawa, K. Itoh, T. Kurusu, H. Maeda, T. Wada, "Development of Superconducting Wiggler at NIRS", Proceedings of European Particle Accelerator Conference 2002, Paris,

France, (2002) pp. 2442.

- 3) S. Koda, Y. Iwasaki, T. Okajima, H. Setoyama, Y. Takabayashi, T. Tomimasu, K. Yoshida, H. Ohgaki, M. Torikoshi, "Feasibility Study on Introducing a Superconducting Wiggler to Saga Light Source", Proceedings of 2005 Particle Accelerator Conference, Knoxville, Tennessee, USA (2005)

pp.1021.

- 4) [http://www.esrf.fr/machine/groups/insertion\\_devices/Codes/Radia/Radia.html](http://www.esrf.fr/machine/groups/insertion_devices/Codes/Radia/Radia.html)  
5) K. Hirata, "An introduction to SAD", Second Advanced ICFA Beam Dynamics Workshop, CERN (1988) 88-04.

## 2 高周波ノックアウトシステムの開発

江田茂<sup>1</sup>, 高林雄一<sup>1</sup>, 岩崎能尊<sup>1</sup>, 吉田勝英<sup>1</sup>, 富増多喜夫<sup>1</sup>, 大垣英明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州シンクロトロン光研究センター、<sup>2</sup>京都大学エネルギー理工学研究所

SAGA-LS では、ベータートロンチューン測定とバンチフィリング制御を兼用する高周波ノックアウト (RFKO) システムを開発している。これまでに RFKO の数値シミュレーション、RFKO チャンバーの製作、設置、基本動作の確認を行った。

RFKO チャンバーを図 1 に示す。SAGA-LS 蓄積リング短直線部用に製作された菱形アルミダクトの残材を利用し長直線部 LS6 に設置した。

静電磁場近似によって RFKO のビームへのキック力を見積もった。計算コードには POISSON<sup>2,3)</sup> を用いた。得られたキック力から周回する電子バンチの時間発展をトラッキング計算により求めた。計

算では RFKO とベータートロン振動の共鳴、空洞でのビーム加速、偏向電磁石での放射損失の効果を入れた。RFKO 電極あたり 15W 程度の高周波パワーがあれば水平、垂直方向ともに 2000 回程度の周回でビームがチャンバーから蹴りだされる結果を得た。また蹴り出しの効果は水平、垂直どちらでも概ね同じ程度であった。

260MeV で蓄積された電子ビームを用いて RFKO 試験を行った。ブロックダイアグラムを図 2 に示す。スペクトラムアナライザーのトラッキング機能によって周波数をスキャンしつつ、BPM 用ボタン電極からバンチを検出した。蓄積リング電流は DCCT によって測定した。

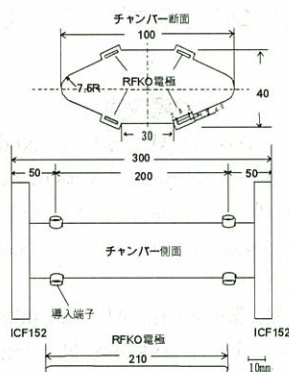


図 1 ノックアウトチャンバー構造

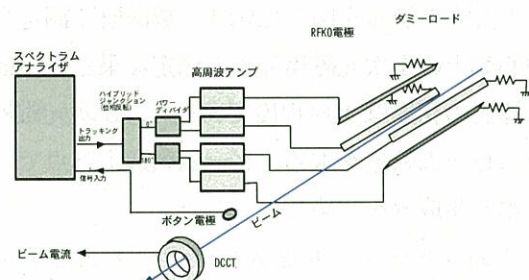


図 2 RFKO 回路系

RFKO 電極あたり 10W 程度の高周波パワーで明らかなビームロスが確認された。図 3 にスペクトラムアナライザーで観測されたベータトロン振動の共鳴ピークと、この測定中に DCCT によって観測された段階的なビームロスを示す。これにより RFKO システムの基本的機能は確認された。

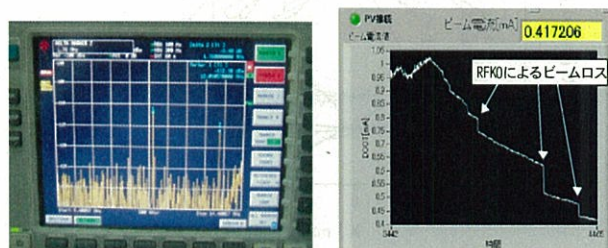


図 3 観測されたベータトロン共鳴によるピーク (左) と DCCT で測定されたビームロス (右)

### 参考文献

- 1) S. Koda, Y. Takabayashi, Y. Iwasaki, K. Yoshida, T. Tomimasu, H. Ohgaki, "Development of RF-KO system at SAGA-LS, Proceedings of the 2nd Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and 30th Linear Accelerator Meeting in Japan, Tosu, Saga, Japan (2005) pp.693.
- 2) J.H. Billen and L.M. Young. "SUPERFISH /Poisson Group of Codes", Los Alamos National Laboratory Report, LA- UR- 96-1834, Los Alamos, USA (1996, rev. 2003).
- 3) J.H. Billen, L.M. Young, "POISSON / SUPERFISH on PC compatibles", Proceedings of 1993 Particle Accelerator Conference, Washington, USA, (1993) pp.790.

## 3 SAGA LIGHT SOURCE の入射システム

岩崎能尊<sup>1</sup>、江田茂<sup>1</sup>、高林雄一<sup>1</sup>、岡島敏浩<sup>1</sup>、吉田勝英<sup>1</sup>、冨増多喜夫<sup>1</sup>、大垣英明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>佐賀県立九州シンクロトロン光研究センター、<sup>2</sup>京都大学エネルギー理工学研究所

電子蓄積リングに入射可能な入射ビームの進入角度およびエネルギーアクセプタンスを求めるために、トラッキングコード TRACY2 を使って入射のスタディを行った。

### 1. 入射スキーム

SAGA-LS では蓄積リングへの入射器として 250MeV リニアックを用いている。リニアックから毎秒 1 回 1 $\mu$ s のビームが蓄積リングに入射される。図 1 に SAGA Light Source の入射部付近のレイアウトを示す。

入射ビームは入射位置とバンブ軌道の距離に相当する振幅で蓄積リングをベータトロン振動するので、バンブ軌道はできる限り入射ビームに近づく

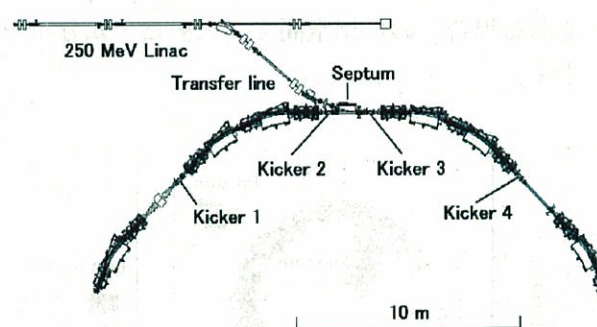


図 1 SAGA Light Source の入射部レイアウト

必要がある。しかしバンブ軌道の大きさはセプタム内壁までの距離とビームサイズによって制限されているのであまり大きくすることはできない。キッカーは入射位置において 20mm のバンブ軌道が作成

できるように配置した。SAGA Light Source 電子蓄積リングはDB(A)型のラティスを採用し非常にコンパクトなレイアウトとなっているため、入射バンプは3つのストレートセクションに跨って作成される。図2に4キッカーで作成されるバンプ軌道を示す。

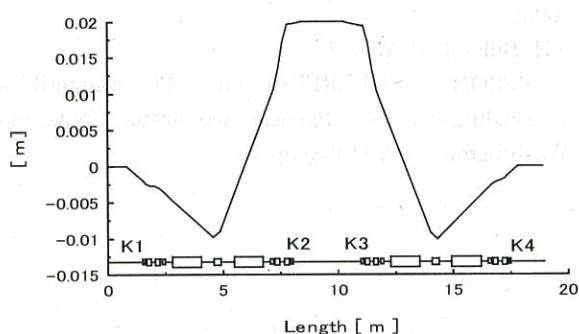


図2 4キッカーシステムによる入射バンプ

## 2. トラッキング

トラッキングはビームサイズの  $2\sigma$  の分布を持つ300個の電子について行った。図3に典型的な入射状態（リング平衡軌道から35mmの位置に平行に入射され、バンプの大きさが20mmである場合）の位相空間での入射ビーム分布を示す。

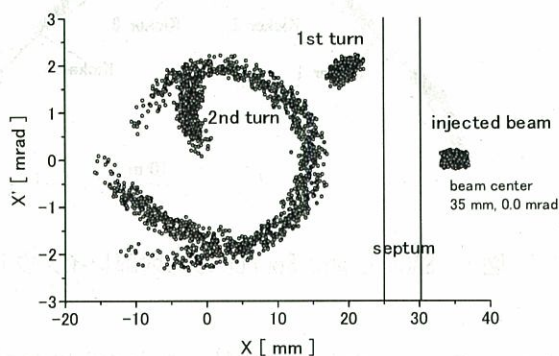


図3 入射後の入射ビーム位相空間分布

図4にバンプの大きさが20mmであるときの入射ビームの角度アクセプタンスを示す。

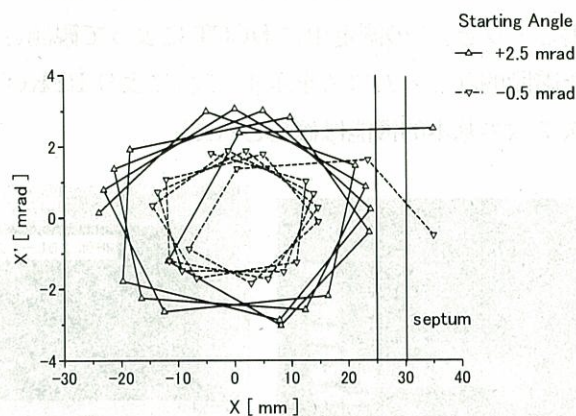


図4 水平方向入射角度のアクセプタンス

入射角度が外側に大きくなると入射ビームが外側に広がりセプタム内壁に衝突する。入射角度が内側になると1ターン目にセプタム内壁に衝突する。4キッカーの場合の水平方向角度アクセプタンスは+2.5mrad から-0.8mrad である。3キッカーの場合には-1.5mrad から -3.5mrad であった。

## 3. まとめ

水平方向の入射角度アパーチャーは+2.5mrad から -3.5mrad である。エネルギーアクセプタンス、垂直方向入射角度アパーチャーはそれぞれ $\pm 1\%$  と  $\pm 2.5\text{mrad}$  であった。

## 4 SAGA-LS 光源装置の制御システム<sup>[1, 2, 3]</sup>

大垣英明<sup>1</sup>、江田茂<sup>2</sup>、岩崎能尊<sup>2</sup>、高林雄一<sup>2</sup>、吉田勝英<sup>2</sup>、冨増多喜夫<sup>2</sup>

<sup>1</sup> 京都大学エネルギー理工学研究所、<sup>2</sup> 九州シンクロtron光研究センター

### 1. システム設計

佐賀県シンクロtron光応用研究施設光源装置は、電子を入射・蓄積及び加速を行った後、長時間の間安定して蓄積させる装置であり、電磁石電源を始め、多数の装置類から構成されている。施設の円滑な運用のためにはこれらの装置を確実・高精度に、また相補的に制御する制御システムが必要である。SAGA-LS では約2千点に達する各種制御変数を効率よく制御するために、分散型サーバクライアントモデルを用いたシステムの設計を行った[1]。また、本制御システムには確実性のみならず、コストパフォーマンス、拡張性等が要求されるため、IO 用ハードウェアとしては市販のリモート IO (FieldPoint, NI) や PLC (FA-M3, 横河) を用いた。FieldPoint はそれぞれのコンポーネントの互換性が高く、電源を落とさずに差し替え可能であり、制御用計算器がダウンしてもスタンドアローンで動作可能である。PLC は、蓄積リングの加速の際に要求される、円滑な多点制御を可能にするために導入した。蓄積リングの加速時には PLC は予め内部入力されたパターンに従って、単独で動作を行う。入射や終了時の動作についても同様である。これらのIO 機器にはイーサネットにより直接制御が可能になっているが、本システムではこれら IO 機器と制御用クライアント計算器 (PC) の間に更にサーバ用計算器 (PC) を挟み、通信手段として、多数の大型施設で取り入れられている、EPICS の Channel Access を使用した。これは、共通の通信手段を採用することで各上位システム間のデータの共有や、連携動作が可能とするためである。また、既存の EPICS ツールもそのまま使用する事が可能という利点もある。

アプリケーション開発にはハードウェアとの親和性が極めて高い、LabView (NI) を用いることで、保守性に優れたシステムを構築する事を可能にしている。システムの概略図を図1に示す。図中の IO device が上記IO 用ハードウェアに、PC-IOC がサーバ用計算器に、Console PC が制御用クライアント計算器にそれぞれ対応している。

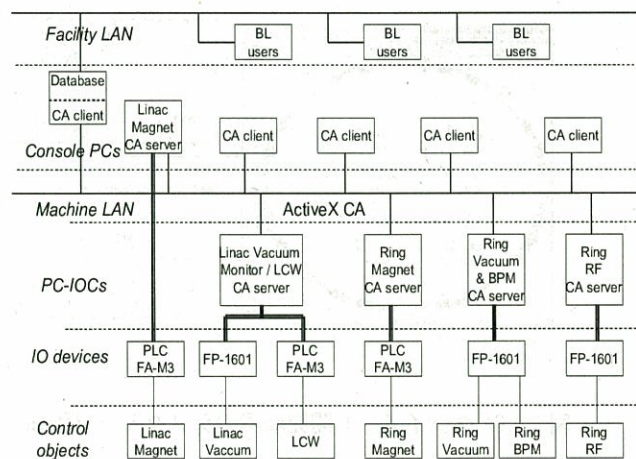


図1 SAGA-LS 制御系概念図

### 2. システムパフォーマンス

図2に蓄積リング電磁石制御用サーバの、図3にクライアントの外観を示す。蓄積リング電磁石の制御ソフトウェアは、サーバ・クライアント間の通信量が制御変数 (Process Variable, PV) の数で約700点と今回のシステム中最大のアプリであり、本システムのパフォーマンスを測定する尺度になるものである。SAGA-LS 施設でのアプリケーションの調整の結果、2.66GHz の CPU と制御専用 100M LAN の使用環境において、2.5Hz での通信が確保

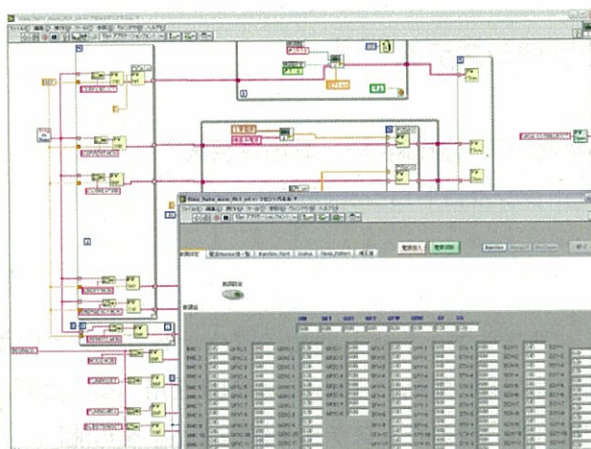


図2 CAサーバー開発環境のデスクトップ画面

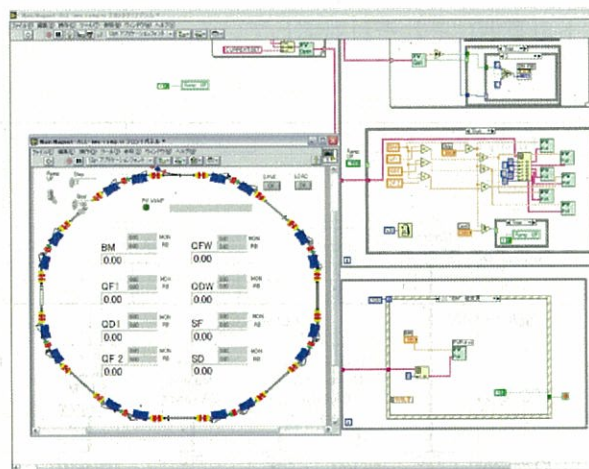


図3 CAクライアント開発環境のデスクトップ画面

できることが分かった。この値は、実際の通常運転において、何ら問題の無い値である。なお単独 PVでの通信レートを測定した結果、最大1 kHzで可能であることが分かった。このことから、ブロック転送によるオーバーヘッドの軽減等の手段を用いる事により、将来の施設の高度化に対する、システムの更なる高性能化が可能である事が分かった。これを受け2006年2月までにブロック転送を用いた通信に変更を行い、現在順調に運用を行っている。

### 3. データベース

ユーザーに定常的に安定した光を供給するために

は、各種モニタからの信号を常時記録し、正常時のパラメータを確定すると共に、長期の変動や異常時のシステム診断に備える必要がある。このために、データベースシステムを制御システムに導入した。データベースには、数種のシステムを試した結果、MySQLを採用することにした。データロガー及び、トレンドデータ表示等のアプリケーションについても、LabViewを用いて当初開発を行った。図4に蓄積リングの真空度についてのトレンド表示画面を示す。なお本表示はLabViewのリモートフロントパネル機能あるいはWEBサーバー機能を用いて、施設内のLAN経由でどのPCからも表示する事が可能である。しかしながらデータロガーに関しては、MySQLへの接続の部分(ODBC)でメモリーリークが見られ、ロガーPCのパフォーマンス低下が頻発した。このために、データロガーに関してはDelphi(Borland)を用いて、直接MySQLとのアクセスを行うことにした。本データベースシステムは2004年7月より部分的に試験動作を開始し、2005年2月からは600点のPVを記録しており、現在まで安定動作を見ている。

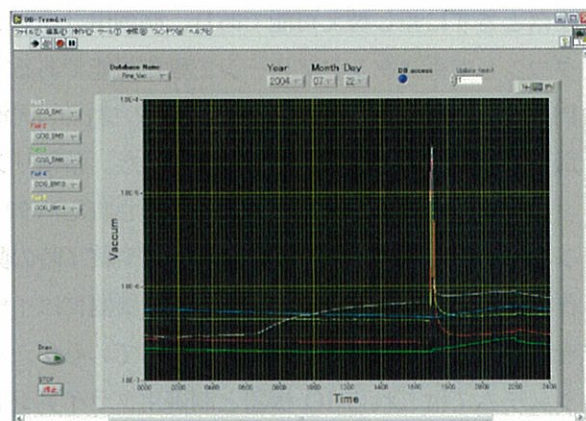


図4 蓄積リング真空モニタのトレンドグラフ

### 参考文献

- 1) H. Ohgaki, T. Tomimasu, S. Koda, Y. Iwasaki, H. Toyokawa, K. Kudo, "DESIGN OF CONTROL SYSTEM FOR SAGA SYNCHROTRON LIGHT

SOURCE", Proc. of the PAC2003, pp.2387-2389 (2003).

- 2) H. Ohgaki, Y. Iwasaki, S. Koda, Y. Takabayashi, K. Yoshida, T. Tomimasu, H. Toyokawa, "SAGA-LS CONTROL SYSTEM USING LABVIEW-ACTIEX

CA ", Proc. of the PCaPAC2005 (2005).

- 3) H. Ohgaki, Y. Iwasaki, S. Koda, Y. Takabayashi, K. Yoshida, T. Tomimasu, H. Toyokawa, "PC-LABVIEW BASED CONTROL SYSTEM IN SAGA-LS", Proc. of the PAC2005 (2005)3976-3978.

## 5 SAGA-LS 電子蓄積リングのラティス関数測定

高林雄一<sup>1</sup>, 岩崎能尊<sup>1</sup>, 江田茂<sup>1</sup>, 吉田勝英<sup>1</sup>, 富增多喜夫<sup>1</sup>, 大垣英明<sup>2</sup>

<sup>1</sup>九州シンクロトロン光研究センター, <sup>2</sup>京都大学エネルギー理工学研究所

SAGA-LS 電子蓄積リングの設計動作点<sup>1)</sup>におけるラティス関数の測定を行った。測定ごとに結果を報告する。

### 1. 分散関数

分散関数 $\eta$ は、ビームの運動量のずれ $\Delta p/p$ に対する軌道位置の変化 $\Delta x$ を表す量である。

$$\Delta x = \eta(\Delta p/p). \quad (1)$$

この式より、分散関数 $\eta$ は、

$$\eta = \frac{\Delta x}{\Delta p/p} = \frac{\alpha \Delta x}{(-\Delta f_{RF}/f_{RF})} \quad (2)$$

と書くことができる。 $\alpha$ はモーメントムコンパクションファクター、 $C$ は周長である。RF周波数 $f_{RF}$ を微量量 $\Delta f_{RF}$ 変化させたときの、ビーム位置の変化 $\Delta x$ をBPMで測定することにより、分散関数を求めることができる。

得られた結果を図1に示す。 $\alpha$ の値として、設計値の $\alpha=0.01343$ を用いた。実線は、設計値<sup>1)</sup>を示す。測定値は設計値とよく一致していた。

### 2. ベータ関数

ベータ関数 $\beta$ は、2種類の方法を用いて測定した。

- (i) 1つは、4極電磁石の磁場の強さ( $K$ 値)を微量量

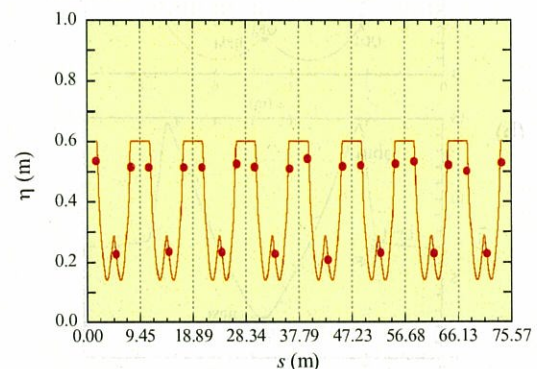


図1 分散関数。実線は設計値を示す。

( $\Delta K$ )変化させたときのチューンのシフト量 $\Delta v$ から求める方法である。 $\Delta v$ は次式で表される。

$$\Delta v = \frac{1}{4\pi} \int \beta(s) \cdot \Delta K(s) ds \cong \frac{1}{4\pi} \beta \cdot \Delta K \cdot NL. \quad (3)$$

$L$ は4極電磁石の有効長、 $N$ は $K$ 値を変化させた4極電磁石の個数である。(3)式より、ベータ関数は

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

と表される。

- (ii) 2つ目の方法は、ステアリング電磁石でシングルキックを生成したときのCODの変化量から求める方法である。ステアリングのすぐ近くにあるBPM位置でのベータ関数は次式のように書くことができ

る。

$$\beta = 2\Delta z \cdot \tan(\pi\nu) / \theta. \quad (5)$$

$\Delta z$  は水平または鉛直方向の COD の変化量、 $\nu$  はチューン、 $\theta$  はステアリングによるキック角である。

測定結果を図2にプロットした。実線は設計値を示す。約10%の精度で、設計値と一致していた。

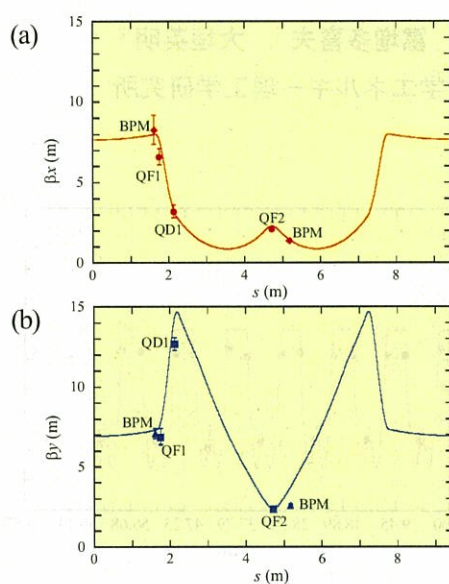


図2 ベータ関数 (a)  $\beta_x$ , (b)  $\beta_y$ .  
実線は設計値を示す。

### 3. まとめ

SAGA-LS 蓄積リングの分散関数・ベータ関数を測定し、設計値とよく一致していることが確認された。

### 参考文献

- 1) Y. Iwasaki, S. Koda, T. Tomimasu, H. Ohgaki, H. Toyokawa, M. Yasumoto, Y. Yamatsu, T. Kitsuka, Y. Hashiguchi, Y. Ochiai: Proc. of PAC2003, 3270, (2003).