

New Septum Magnet at the SAGA Light Source

Yoshitaka Iwasaki^{1,A)}, Yuichi Takabayashi^{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

A new direct-drive, out-of-vacuum injection septum magnet has been built and installed at the SAGA Light Source to improve injection efficiency and vacuum condition at the injection section. We describe the design, assembly, installation and measurements for the new septum magnet.

SAGA Light Sourceにおける新規セプタム電磁石

1. はじめに

九州シンクロトロン光研究センター電子蓄積リングは現在1.4GeV貯蔵電流150mAでのユーザー運転を行っているが^[1]、貯蔵電流300mAのユーザー運転に向けた光源構成機器類のアップグレードのひとつとして、2007年12月に電子蓄積リング入射セプタム電磁石の更新を行った。旧セプタム電磁石は電磁石が真空槽の内部に収納されるタイプであったが、リターンコイルの破断を過去に数回生じ、コイル修復後の真空復帰に時間を要したことから、新規製造セプタム電磁石は電磁石が真空槽の外に置かれるタイプとした。新規セプタム電磁石では旧セプタム電磁石で問題のあった放射光による熱負荷への対応、漏れ磁場対策、アライメント、コイルの耐久性を考慮した設計を行った。新規製造セプタム電磁石の設計、構成、磁場測定、アライメントおよび設置後の入射状況について報告する。

2. セプタム電磁石の基本設計

九州シンクロトロン光研究センター光源装置は、260MeV電子リニアックと1.4GeV電子蓄積リングから構成され、約7mのビームトランスポート最下流のセプタム電磁石より、最大パルス幅1 μ sのビームが1Hzで蓄積リング外側より入射される。新規にセプタム電磁石を設計するにあたり、マシン調整時間を最小限とするため、ビームトランスポート系電磁石および入射キッカーを含む蓄積リング入射部レイアウトの変更は行わないこととした。そのため、セプタム電磁石の偏向角、曲率半径は旧セプタム電磁石と同じくそれぞれ20度、2mとした。セプタム電磁石を通過するビームダクトアパーチャサイズは、トラッキングコード^[2]を用いた入射シミュレーションから必要なサイズを算出した。蓄積リングに入射可能なビーム出射位置は、水平方向がリング中心軌道より30mmから40mm、垂直方向は ± 2 mmの範囲であったので、入射ビームサイズ(± 2.5 mm 2 σ)を考慮

し、ビームダクトの内部アパーチャサイズは水平方向13mm以上、垂直方向8mm以上とした。蓄積リング側真空槽壁のリング中心軌道から距離は、20mm以上のバンプ軌道が生成可能なように、25mm以上確保することとした。図1に新規製造セプタム電磁石出口付近断面図を示す。

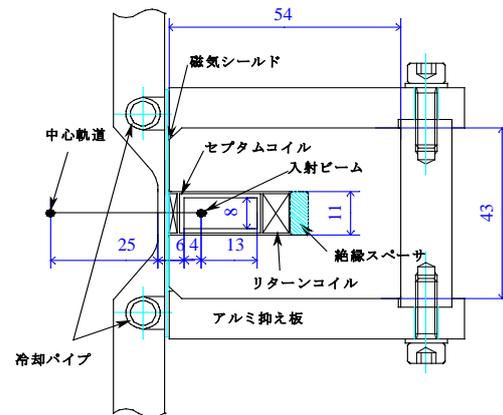


図1：セプタム電磁石断面図

セプタムコイルおよびリターンコイルの寸法はそれぞれ10mm \times 2mm、10mm \times 6mmである。蓄積リング側真空槽とセプタム電磁石間には0.35mm \times 2の電磁鋼板および μ メタルの磁気シールドを設置している。電磁石コアの寸法は54mm \times 43mmとし、材質は厚さ0.35mmの絶縁皮膜付き無方向性珪素鋼板である。蓄積リング側真空槽には6 ϕ のCu冷却水パイプを上下2ヶ所に設け、放射光による熱負荷に対応した。セプタムコイルおよびリターンコイル、ビームダクトは膜厚0.2mmのセラミックコーティングの後、25 μ mカプトンシートを2重巻きにして絶縁している。また、アルミケースとヨーク接触面にもカプトンシートが挟まれている。トランスポート側ビームダクト形状は、厚さ1mm、SUS316L19 ϕ シームレス丸パイプから角型形成される10mm \times 19mmの規格品サ

¹ E-mail: iwasaki@saga-ls.jp

イズでビームアパーチャは水平・垂直方向それぞれ17mm、8mmである。製作上の理由からビームダクトのアパーチャサイズはトラッキングから求めた入射可能なサイズよりもやや大きめの寸法となった。各コンポーネントの製作誤差は±0.1mm以下とし、各コンポーネントのクリアランスを最小限にすることでコイルの振動を抑えている。蓄積リング側のビームアパーチャをできるだけ確保するため、蓄積リング側真空槽のセプタム部の厚みは旧セプタム真空槽厚み2mmよりも薄い1.5mmとした。真空槽の応力計算および熱計算は、本装置の受注会社である株式会社トヤマが行い、蓄積リング側最薄部およびトランスポート側真空ダクト中央部での歪みはそれぞれ22 μ m、3.5 μ m、放射光による熱負荷0.36W/mm²(300mA, 1.4GeV相当)に対して最大で25度の温度上昇であった。

3. セプタム電磁石および真空槽構成

図2にセプタム電磁石および真空槽の構成図を示す。電磁石およびセプタム真空槽は共通のベースプレート上に固定し、蓄積リング側真空槽下部にはベローズを介して200Lイオンポンプを設置している。トランスポート側にはセラミックダクトを接続し渦電流の回り込みを遮断している。蓄積リング側真空槽上流部はRFコンタクト付きベローズを介し入射キッカーダクト、下流部は同じくRFコンタクト付きベローズを介しスクリーンモニタ真空槽に接続される。セプタム電磁石に設置した罫書き線に対しベースプレートごと位置調整可能な構造とした。

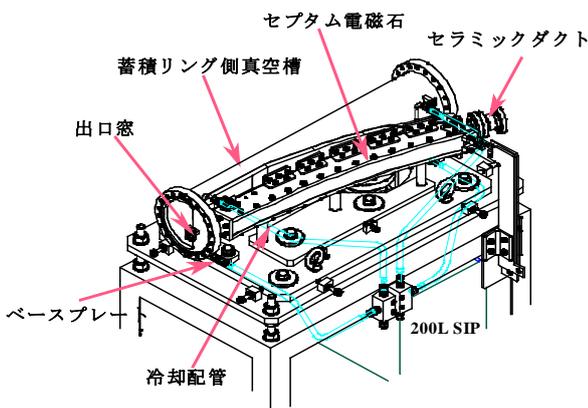


図2：セプタム電磁石および真空槽構成

トランスポートビームダクト出口には厚さ50 μ mのカプトン膜による窓を設置し、蓄積リング側とトランスポート側の真空を分離している。電磁石は入り口のみ20度エッジフォーカスが生じる珪素鋼板の平行積層タイプであり、98%以上の占積率で形成した。

セプタムコイルとリターンコイル接続部の絶縁スペーサの厚みは1mmとし、コイルの空芯部分を可能な限り短くしている。さらに、磁気シールドはヨークのある部分だけでなく、下流部フランジ付近まで

延長し、端部の漏れ磁場を抑えた構造とした。図3にセプタムコイルとリターンコイル接続部を示す。リターンコイルと接続金具は銀ロウ付けのうえ、キャップボルトで固定している。PEEK材の端板上下の切り込みは、漏れ磁場が大きかった場合に使用する外付けヨークをはめ込むためのスペースである。

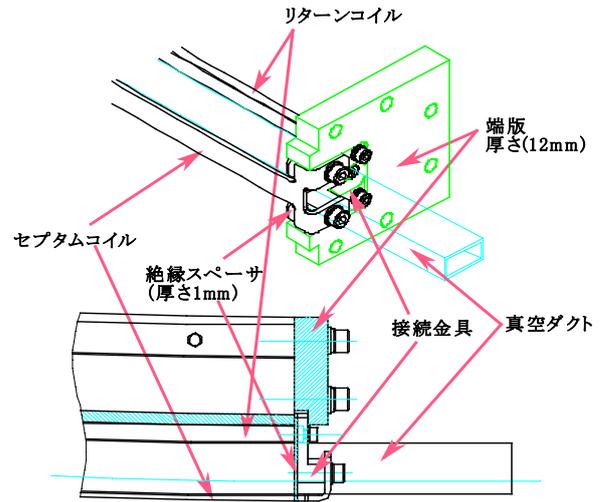


図3：コイル接続部

4. 磁場測定およびアライメント

図4に磁場測定結果を示す。セプタム電磁石電源の出力は1ms Half sine、3700A設定、ガウスメータにはLakeShore475DSPを用いた。

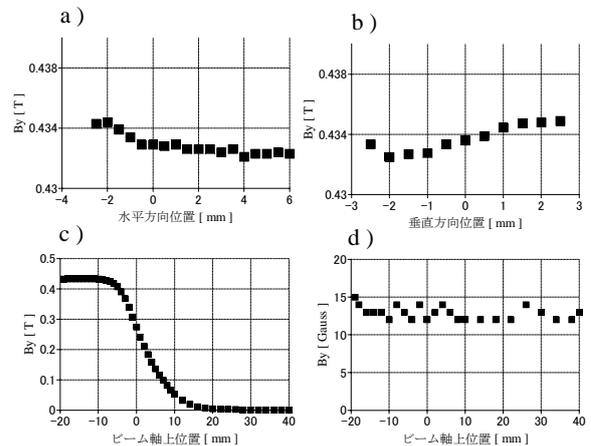


図4：AC磁場測定結果

- a) 水平方向磁場分布(原点は入射点)
- b) 垂直方向磁場分布(原点はビームレベル)
- c) ビーム軸方向磁場分布(中心軌道から35mm)
- d) ビーム軸方向磁場分布(中心軌道から20mm)

磁場測定の結果、水平・垂直方向とも磁場均一度は±0.5%以内であった。ビーム軸方向の磁場分布はリング中心軌道から35mm(入射ビーム出射点)および20mm(バンブ軌道点)において計測した。漏れ磁場の最大値は15Gauss程度であり、最大1mの区間にお

たつて漏れ磁場が発生していたとしても、漏れ磁場により生じるキック角は0.15mrad以下である。

新規製造セプタム電磁石のアライメントは、受注会社の株式会社トヤマと株式会社パスコにより、レーザートラッカを用いて行われた。アライメントの座標規準は蓄積リング入射部上流部および下流部の4極電磁石基準点とした。水平面内の最大アライメント誤差は、座標基準値からの変位量として0.15mmであった。セプタム電磁石のローテーション許容値は、 $\pm 2.5\text{mrad}$ の入射角度トレランスを考慮し、 $\pm 1\text{mrad}$ 以内を目標としたが、セプタム電磁石上流部と下流部で符号が反転した向きにそれぞれ1.1mrad、1.5mradの傾斜があり、セプタム電磁石にやや大きな振れが生じていることが確認された。

5. ビーム出射試験および蓄積状況

セプタム電磁石下流部にあるスクリーンモニタ真空槽を一時的に撤去しコアモニタによるセプタム電磁石通過後の入射ビーム電荷量の測定を行った。図5に結果を示す。

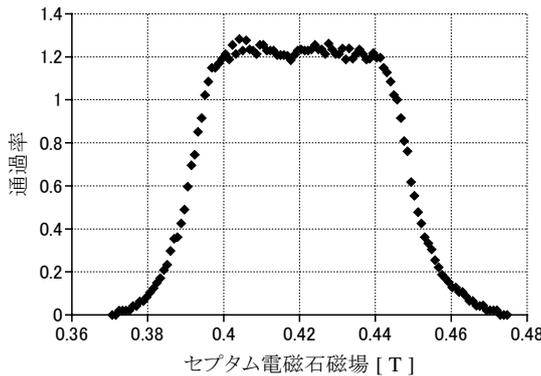


図5：セプタム電磁石通過率測定

縦軸はセプタム上流部コアモニタ測定値に対するセプタム下流部コアモニタ測定値。横軸は電源設定値を励磁特性データから磁場換算した値。

使用したコアモニタは、通常リニアックのエネルギー測定に使用している校正されたものであるが、通過率が100%を超えるのは、通過率測定用に接続したステンレス製出口窓からのカスケードシャワーと思われる。

蓄積リングの真空を立ち上げたのち新規製造セプタム電磁石による蓄積リングへの入射試験を行った。ビームトランスポートおよび入射キッカー電磁石のレイアウトの変更を行わなかった事もあり、ビームを導入したその日のうちにセプタム電磁石電源の設定値の調整のみで100mAの蓄積に成功した。その後、入射系の最適化ののち、蓄積リング内での入射軌道を測定した。図6に測定結果を示す。測定はBPMからの電気信号をオシロスコープに取り込み、データをPCにて波形処理して位置に換算している。2ターン目以上のビームを計測しないよう蓄積リング第2スクリーンモニタにより周回ビームを遮断しているため、計測点は入射点から45mまでの15台のBPMま

である。計測の結果、ほぼ理想的な入射軌道を形成していることが確認できた。

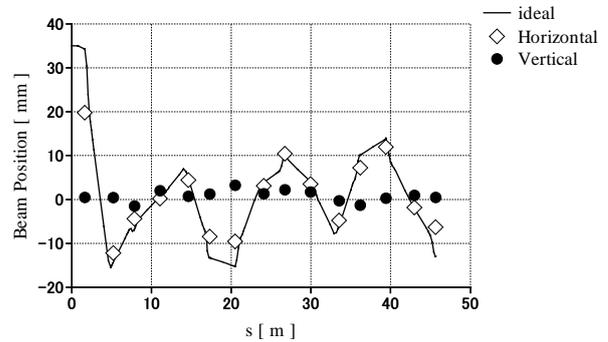


図6：入射軌道

実線は中心軌道から35mmの位置から0度方向に入射された場合の計算値（設計入射軌道）。

セプタム電磁石の更新後、典型的なユーザー運転における入射速度はセプタム電磁石更新前の40mA/min程度から100mA/min程度（0から100mAまでの蓄積速度）に増加した。入射効率は最大で約25%程度である。現在、マシンパラメータの最適化により入射エネルギーでの最大蓄積電流は約330mAとなった。

6. まとめ

貯蔵電流300mAのユーザー運転に向けた光源構成機器類のアップグレードのひとつとして、セプタム電磁石を更新した。新規製造セプタム電磁石は電磁石が真空槽の外に置かれるタイプとし、アライメントおよび真空管理が容易となった。入射ビームはロスなくセプタム電磁石を通過し、ほぼ理想的な入射軌道で蓄積リングに入射されている。入射に影響のある漏れ磁場は観測されていない。新規製造セプタムにより入射効率が改善された。2007年12月に設置後、現在までトラブルなく稼働している。

謝辞

NewSUBARU、HiSOR、SPring-8、KEK、核理研等、国内加速器施設のセプタム電磁石を参考にさせていただき、多くの方から貴重なアドバイスを頂きました。また、株式会社トヤマにはコイル接続部形状の他、随所にアイデアある設計提案をしていただきました。計画どおりに設置が完了し、スムーズなビーム入射試験を行うことができました。感謝いたします。

参考文献

- [1] S. Koda, et al., "RECENT PROGRESS AND FUTURE OF SYNCHROTRON", Proc. of this meeting
- [2] H.Nishimura, "TRACY, A Tool for Accelerator Design and Analysis", Proc. of the EPAC1988, pp. 803-805.