

S-LSRの真空系

頓宮拓、池上将弘、石塚徹^{A)}、小野 恒一^{A)}、渋谷 真二^{B)}、白井 敏之
竹内 猛^{C)}、田辺幹夫、野田 章、野田 耕司^{C)}、Fadil Hicham、藤本慎司

京都大学化学研究所附属原子核科学研究施設〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

^{A)}住友重機械工業株式会社〒792-8588 愛媛県新居浜市惣開町 5-2

^{B)} 加速器エンジニアリング株式会社〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

^{C)} 放射線医学総合研究所〒263-8555 千葉県千葉市稲毛区穴川 4-9-1

概要

S-LSRの真空システムは目標のリング平均真空度を 10^{-9} Pa としてデザインしました。アークセクションの真空チャンバーには静電型ビームポジションモニタ、静電場電極が設置されガス放出面は広いですが、製作工程にて 950°C のプレバークを採用することで目標の真空度を実現できます。また、ストレートセクション、トランスポートラインについても放出ガス量を抑えたチャンバーの検討をしています。

1 はじめに

京都大学化学研究所 (ICR) ではイオン蓄積・冷却リング、S-LSRの設置が来年度に予定されています。S-LSRは医療用小型シンクロトロンに向けてのレーザーイオン源からのビーム特性の改善とレーザー冷却によるクリスタルビームの実現を主な目的として放射線医学総合研究所(NIRS)と共同で開発を進めてきました。現在、偏向電磁石、四重極電磁石の製作が済み、磁場測定を行っています[1][2]。また、電子冷却装置およびアーク

セクションの真空チャンバーは設計を終え、製作を進めています。

本稿ではS-LSRのアークセクション真空チャンバーと真空システムのデザインおよび現状について報告します。

2 S-LSR概要

S-LSRのデザインはR&Dのためのストレートセクションと速い取り出しビームの利用エリアを確保した上でICRイオン線形加速器実験棟の実験エリアに設置できるコンパクトリングを実現しています。図1のようにS-LSRは周長、ストレートセクション長、曲率半径がそれぞれ約 22.6m、1.86m、1050mm の6回対称のリングで各ストレートセクションにはビーム入出射、ビームモニタ、ビーム加速、レーザー冷却、電子ビーム冷却のコンポーネントを設置します[3][4]。

S-LSRの入射器には調整運転時には既存の 7MeV 陽子線形加速器を使用しますが、その後重粒子線がん治療用加速器研究のために検討中の C^{6+} 、 Mg^{+} イオンを使用します。

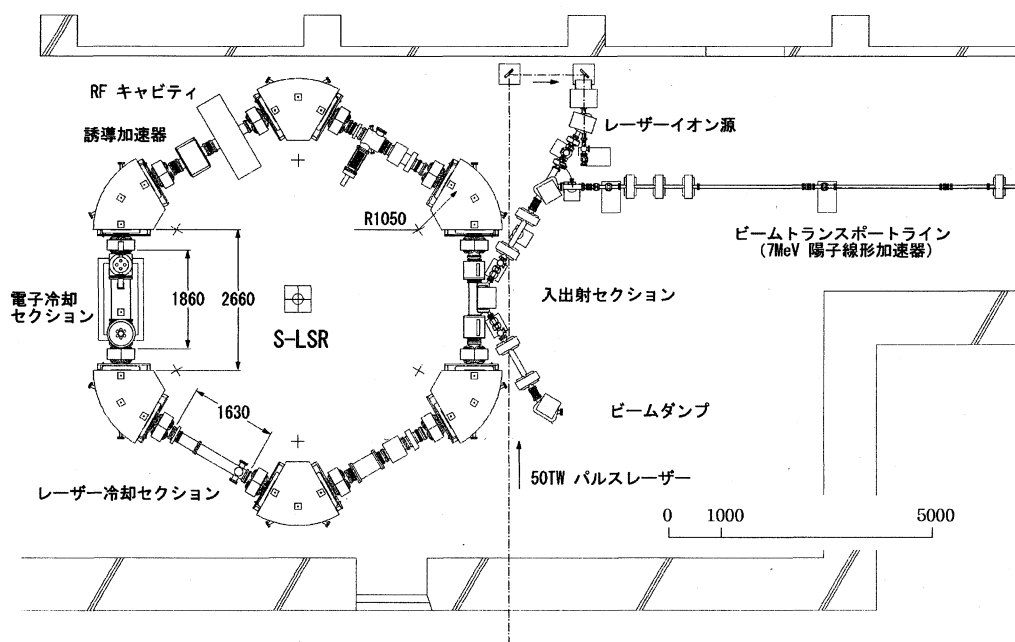


図1 : S-LSRのレイアウト

3 真空チェンバー

3.1 デザイン

図2のようにH型偏向電磁石と四重極電磁石のヨーク間隔は200mmで、その場所には漏れ磁場の影響緩和を目的としたフィールドクランプを設置します。そのためアークセクションの真空チェンバーはベローズを有した偏向電磁石と四重極電磁石の共通のチェンバーにしました。

このチェンバーにはコンダクタンスの良い排気ポートを設けることは難しく、図に示すようにアークセクションにおける真空排気は2個のNEGポンプを採用します。フィールドクランプの開口部にてNEGポンプのメンテナンスを行います。また、直線部の延長にはレーザー導入のために偏向電磁石ヨークを貫通してポートを設けています。

3.2 ビームポジションモニタ

チェンバーの四重極電磁石の設置位置に静電ピックアップ型のビームポジションモニタを取り付けます。モニタには上下各2枚、計4枚三角形のピックアップ電極を使用します。ピックアップ信号の取出しにはフィードスルーフランジを使用します。図3のようにモニタはアパーチャーの確保のため上下分割形状を採用しますが、グランドプレートをチェンバーフランジに固定することでモニタの取付け位置精度、剛性を確保することができます。現在、電気回路系を含めたビーム位置精度、信号強度、分解能等を考慮し、各部のサイズ、材質等を検討しています[5]。

3.3 ビーム軌道補正電極

S-LSRでは低エネルギービームの蓄積時に偏向電磁石中での運動量の違いによる軌道の分散補正を行うための静電場電極を真空チェンバー内に設置します。この電極はS-LSRの運転モードにより使用しない場合にユースフルアパーチャーの外に移動させる必要があるため駆動機構を設けています。電極には約2kVの電圧を加え、

その間の中間電極でビーム軌道付近の電場補正を行います[6]。

2.4 製作

このチェンバーをデザインする上でビームアパーチャーの確保、ビームポジションモニタと静電電極のアライメント精度、到達真空度について注意して検討しました。

ビームポジションモニタと静電電極のアライメント精度は±0.05mmを目標としています。チェンバーはベーク時のひずみ吸収のためのベローズによりポジションモニタ、静電電極の設置された3つの部分はそれぞれ独立にアライメント微調整を行うことができます。そのためチェンバー設置の前にポジションモニタ、静電電極の校正、位置精度をチェンバーに対して行っておくことでマグネットに対するアライメントが可能となります。特に静電電極は真空排気をした状態でチェンバーに対してアライメントを行い、真空によるたわみのエラーを防ぎます。

通常、SUS316Lで製作された真空チェンバーは2時間200℃程度のベーク後、数日の真空排気によるエイジングでガス放出速度は $10^{-8} \sim 10^{-9}$ 程度です[7]。S-LSRでは主に Mg^+ 蓄積時におけるビーム寿命を考慮し、 10^{-9} Paの真空度を実現するためにチェンバー内面を機械研磨、溶接成形後に950℃、2時間の真空焼き出し(プレベーク)による製作工程を採用しました。これと同等の工程にて製作した真空ダクトを用いたNIRSでのR&Dでは $1 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 以下の放出ガス速度を実現しています。

4 真空システム

建設予定の真空排気ポンプの配置は図4のようになります。イオンポンプが使用可能な真空までターボ分子ポンプとロータリーポンプからなる粗引き用排気ユニットを用いて排気し、超高真空域ではバルブによりリングから切り離します。上記のようにアークセクションにはNEGポンプのみで排気しますが、ストレートセクションにはモニタ等の各コンポーネントチェンバーにチタンサブリーメーションポンプとイオンポンプを設置します。

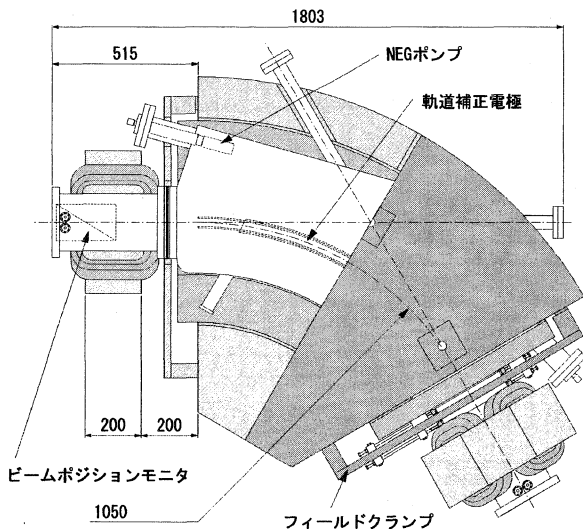


図2：真空チェンバー、マグネット組立図

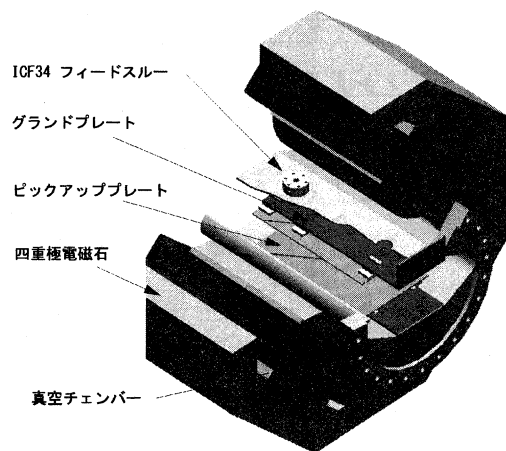


図3：ビームポジションモニタ

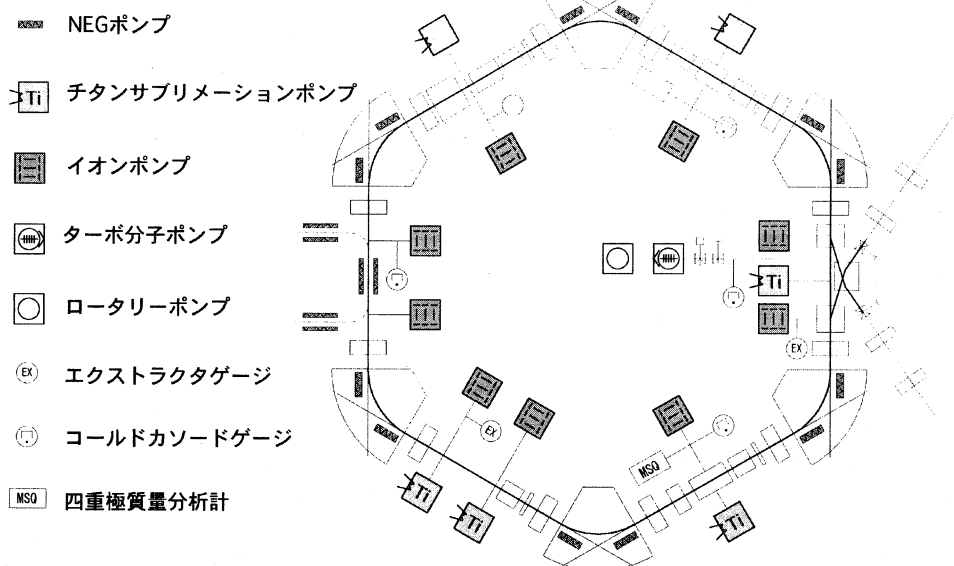


図4：S-LSR 真空システム

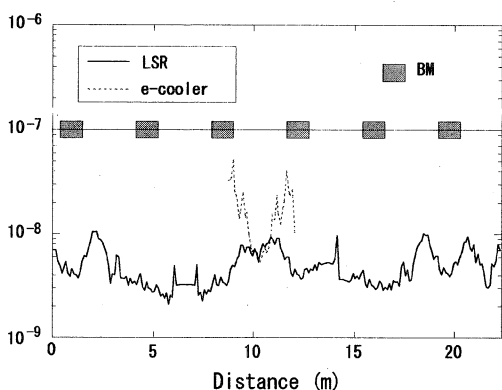


図5：S-LSR の真空度計算結果

チャンバー (材質 sus316L) の放出ガス速度はプレベークの有無でそれぞれ $5 \times 10^{-10} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ 、 $1 \times 10^{-8} \text{ Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1} \cdot \text{m}^{-2}$ としています。

図5は図4の排気系を用いた場合の到達真空度を計算した結果です。これは上記チャンバーと標準的な表面処理を行ったチャンバーを数日程度の約 200°C の現場ベークを行った場合の真空度放出ガス速度を考慮した計算で、リングの平均真空度は約 $5 \times 10^{-9} \text{ Pa}$ を実現することができます。

陽子線形加速器からのビームトランスポートラインは約 5m おきに 1500 /s の排気ユニットを設置します。リング手前約 5m から差動排気のためのイオンポンプを使用しベークを行うためリングの真空に影響はありません。

5 まとめ

S-LSR の目標真空度の実現において重要な点は放出ガス量の軽減で、アークセクションチャンバーはプレベーク

を行うことで実現できると考えています。また、ストレートセクションおよびビームトランスポートラインのチャンバーは機械研磨後のアニールのみで十分に放出ガス速度を抑えることが可能と考えています。現在、NIRS から引き継いで ICR にて低ガス放出速度チャンバーの製作工程について R&D を進めています。

参考文献

- [1] 池上将弘,他, “イオン蓄積リング S-LSR の偏向電磁石磁場測定”, Proceedings of the 14th Symposium of Accelerator Science and Technology, Tsukuba, Nov. 11-13, 2003.
- [2] 竹内猛,他, “小型イオン貯蔵リング S-LSR のための 4 極電磁石製作と磁場測定”, Proceedings of the 14th Symposium of Accelerator Science and Technology, Tsukuba, Nov. 11-13, 2003.
- [3] A Noda, *et al*, “Compact Accelerator Development at S-LSR”, Proceedings of the 14th Symposium of Accelerator Science and Technology, Tsukuba, Nov. 11-13, 2003.
- [4] T Shirai, *et al*, “Lattice design of the compact cooler ring, S-LSR”, Proceedings of the 14th Symposium of Accelerator Science and Technology, Tsukuba, Nov. 11-13, 2003.
- [5] 藤本慎司,他, “S-LSR におけるビームモニタ開発”, Proceedings of the 14th Symposium of Accelerator Science and Technology, Tsukuba, Nov. 11-13, 2003.
- [6] 田辺幹夫,他, “偏向電磁石内部に設置する電極の設計”, Proceedings of the 14th Symposium of Accelerator Science and Technology, Tsukuba, Nov. 11-13, 2003.
- [7] 株式会社アルバック, 新版 真空ハンドブック, 51-57, 2002.