

## PRESENT STATUS OF ION STORAGE AND COOLER RING, S-LSR

A. Noda<sup>1,A)</sup>, M. Ikegami<sup>A)</sup>, Y. Iwashita<sup>A)</sup>, T. Shirai<sup>A)</sup>, M. Tanabe<sup>A)</sup>, H. Tongu<sup>A)</sup>, S. Nakamura<sup>A)</sup>,  
H. Fadil<sup>A)</sup>, S. Fujimoto<sup>A)</sup>, A. Yamazaki<sup>A)</sup>, T. Takeuchi<sup>B)</sup>, K. Noda<sup>B)</sup>, S. Yamada<sup>B)</sup>  
M. Iwata<sup>C)</sup>, S. Shibuya<sup>C)</sup>, A. Takubo<sup>C)</sup>, T. Fujimoto<sup>C)</sup>, H. Fujiwara<sup>C)</sup>, M. Grieser<sup>D)</sup>,  
I. Meshkov<sup>E)</sup>, E. Syresin<sup>E)</sup>

A) Advance Research Center for Beam Science, Institute for Chemical Research, Kyoto University  
Gokano-sho, Uji-city, Kyoto 611-0011

B) National Institute of Radiological Sciences, 9-1, Anagawa 4, Inage-ku, Chiba-city, 263-8555

C) Accelerator Engineering Co. Ltd. 13-1, Konaka-dai 2, Inage-ku, Chiba-city, 263-0043

D) Max-Planck-Institut für Kernphysik, Postfach 103980, Heidelberg 69029, Germany

E) Joint Institute for Nuclear Research, Dubna, Moscow Region, 141980, Russia

### Abstract

At Institute for Chemical Research, Kyoto University, an ion accumulation and cooler ring, S-LSR is now under construction in the existing accelerator building in order to perform the experimental studies on the energy-spread reduction by phase rotation of laser-produced ions and further electron beam cooling of hot ion beams. In parallel to this, 3-dimensional laser cooling of  $^{24}\text{Mg}^+$  at S-LSR is also planned and the lattice without dispersion throughout the whole circumference is proposed with superposition of the electric fields with the dipole magnetic fields.

## イオン蓄積・冷却リングS-LSR計画の現状

### 1. はじめに

近年の目覚ましいレーザー技術の発展を加速器技術と組み合わせることにより、放医研の臨床試験でそ

の有効性が注目を集めつつある粒子線治療のより広範な普及に貢献するため、京大・化研は放医研及び原研・関西研との協力によりレーザー生成イオンビームをがん治療専用の短パルスイオンシンクロト

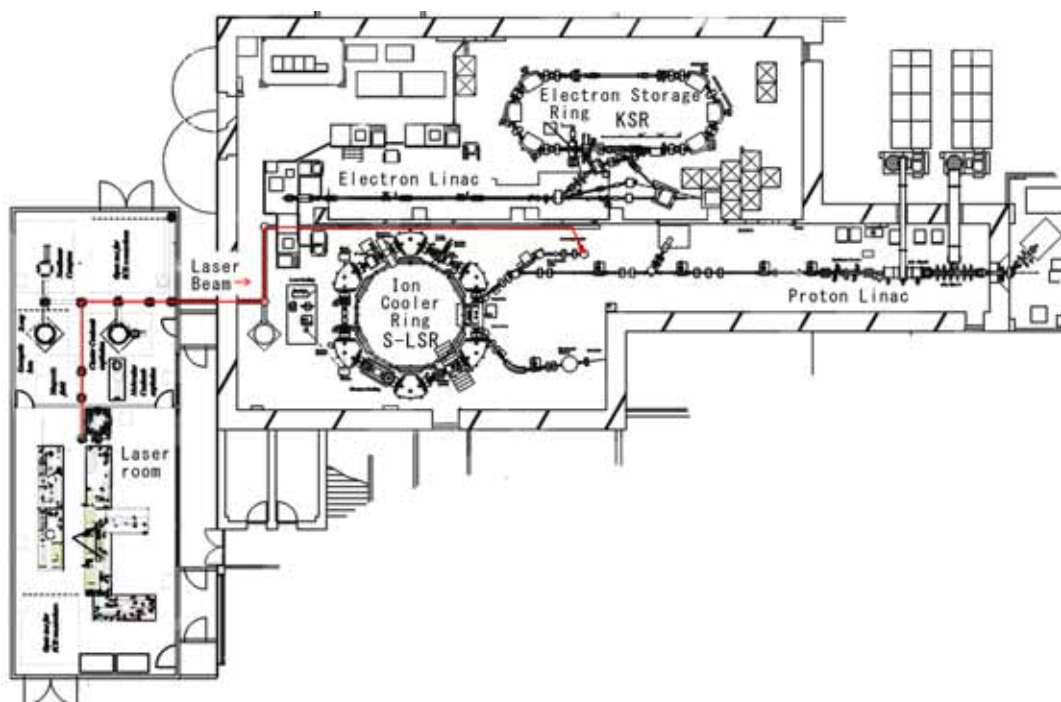
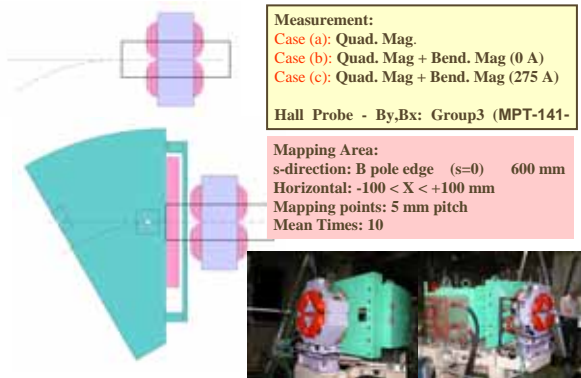


図1：レーザー実験棟と放医研との共同研究により京大・化研に建設中のS-LSRのレイアウト

<sup>1</sup> E-mail: noda@kyticr.kuicr.kyoto-u.ac.jp

Magnetic Field Measurement – Hall probe mapping



Measurement:  
Case (a): Quad. Mag.  
Case (b): Quad. Mag + Bend. Mag (0 A)  
Case (c): Quad. Mag + Bend. Mag (275 A)  
Hall Probe - By,Bx: Group3 (MPT-141-  
Mapping Area:  
s-direction: B pole edge (s=0) 600 mm  
Horizontal: -100 < X < +100 mm  
Mapping points: 5 mm pitch  
Mean Times: 10

図2 . S-LSRの偏向電磁石及び4重極電磁石とその磁場測定

ロンの入射ビームとして用いる可能性に関するR&Dを、先進小型加速器開発の一環として平成13年度から推進してきた<sup>[1]</sup>。ホットイオンビームの電子ビーム冷却に関してはドイツハイデルベルグのマックスプランク原子核研究所のTSRを用いて、イオンビームと電子ビームの相対速度を掃引する手法のfeasibility testを行い、タンデム加速器からのビームのように横方向のエミッタンスの小さなビームについては我々の提案する手法が有効であり、ビーム冷却時間が通常の2.8秒から0.4秒程度にまで短縮可能であることが示されている<sup>[2]</sup>。然しながら、このビーム冷却時間は横方向エミッタンスに依存することが知られており、がん治療装置という臨床使用に当たっては、実際のレーザー生成イオンビームについてのfeasibility testが不可欠である。

この目的のため、図1に示したようなイオン蓄積・冷却リングS-LSRを京大・化研の既存の加速器実験室内に設置し、隣接するレーザー棟に設置される10TWレーザーを導き、薄膜照射によって生成されるイオンビームを位相回転によりエネルギー幅を縮減した後、S-LSRに入射して電子ビーム冷却実験を行うことを予定している。

一方、このS-LSRは6回対称性をもち、1周期あたりのベータatron振動の位相の進みを小さく押さえるモードが可能であるため、岡本らの提案する3次元レーザー冷却<sup>[3]</sup>により極低温イオンビーム（クリスタルビーム）を実現できる可能性も有しており、こうした方向の研究の展開も考慮している。このS-LSRの建設の現状を紹介する。

2 . S-LSRの電磁石系

S-LSRの偏向電磁石はホール素子を直角座標系で駆動するマッピングによる磁場測定（図2参照）でその性能評価が完了しており、磁場の不均一性は $2 \times 10^{-4}$ 以下におさまっていることが確認できている（図3参照）<sup>[4]</sup>。

4重極電磁石に関しては、図2に示したようなホール素子によるマッピングに加えて、コイルを水平面内で駆動し、発生する誘導起電圧を測定す

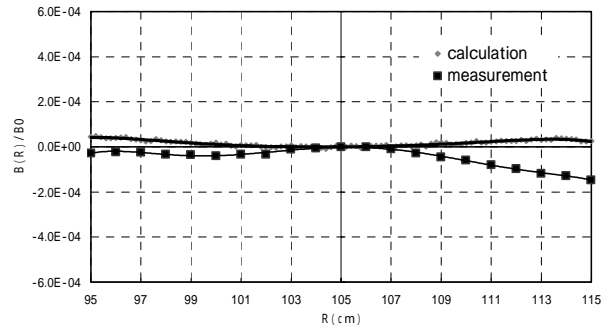


図3 . 偏向電磁石の磁場分布

ることで磁場勾配を評価するシステム（コイルシフターと称する。図4参照）を作成し、測定を行った。

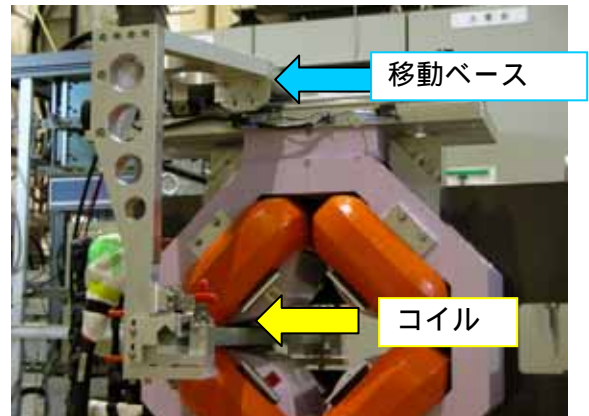


図4 . 4重極電磁石に取り付けられた磁場勾配評価用に製作したコイルシフター

図5にホール素子とコイルシフター両者による測定結果を示す。両者でコンシステントな結果が得られていることが判る。

3 . 電子ビーム冷却

S-LSRの電子ビーム冷却はエネルギー拡がり $\pm 1\%$ 程度のホットイオンビームを扱うので、イオンと電子の相対速度の掃引を行うことを想定している。この目的のためイオンの加減速が可能な

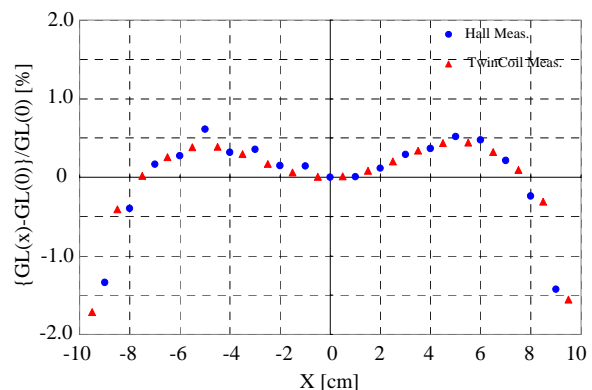


図5 . ホール素子とコイルシフターによる4重極電磁

誘導加速装置を設置する。また、電子ビーム冷却装置は長さ1.86 mの直線部に設置する必要がありトロイドの中心曲率半径は0.25 mと小さく選んでおり、磁場の均一性を実現するために細心の注意が必要とされる。その確認のため、ソレノイド、トロイドの磁場測定は、図7に示したようにホール素子を(a)直交座標系と(b)電子ビーム軌道に沿ったレールを用いる両システムで駆動し、両系でのコンシステンシーを確認しつつ評価を進めている<sup>[5]</sup>。

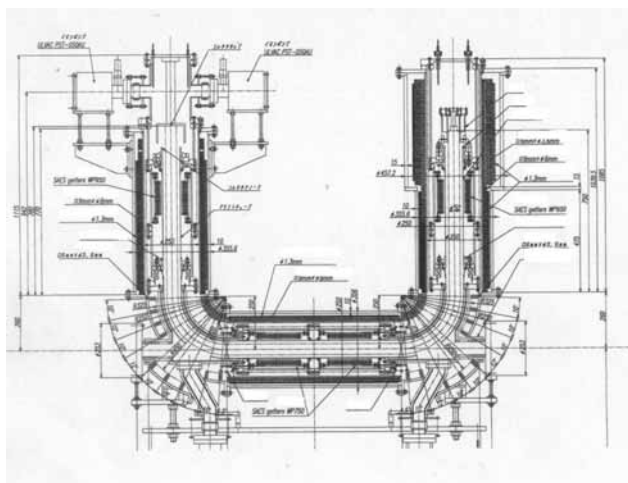


図6 . 製作されたS-LSR用電子ビーム冷却装置

#### 4 . 無分散ラティスに向けての取り組み

S-LSRでは偏向電磁石部に電極を組み込み、磁場に曲率半径に逆比例する電場を重畳することにより、ビーム軌道の運動量分散を消すラティスの採用を計画している<sup>[6]</sup>。放電の問題なく所要の電圧が印加可能であるためには、扱えるビームのエネルギーは低エネルギーに限られることになり、我々は35 ~ 50 keVの $^{24}\text{Mg}^+$ ビームに対してこの方式の適用を考えている。偏向電磁石のギャップ70 mm中に設置される真空槽中に電極を設置して、必要とされる電場の様性を実現するために中間電極を設ける等の種々の工夫が凝らされている。また、この電極はレーザー冷却のための波長282 nmのリングダイレーザー光を導入するための開口部を必要としており、その影響

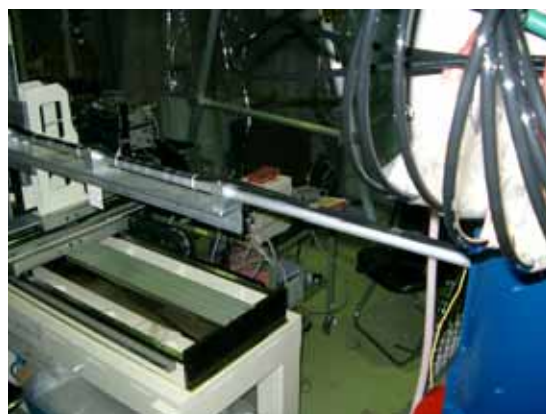


(a)中間電極



(b)レーザー導入穴

図8 . 試作された軌道無分散化のための電極



(a)直交座標系でのホール素子駆動



(b)電子ビーム軌道に沿ったホール素子駆動

図7 . 電子ビーム冷却装置の磁場測定

を最小限に抑える工夫もなされている<sup>[7]</sup>。図8に試作された電極を示す。

#### 5 . タイムスケジュール

S-LSRは今秋に電磁石、電子ビーム冷却装置等の精密据付を完了し、ビームモニター的位置較正を行った上で真空槽の組み込みを行い、電力ケーブル及び制御の配線と冷却水の配管を行い、平成17年春からのビームコミッショニングの開始を予定している。

#### 参考文献

- [1] A. Noda et al., Beam Science and Technology, **6**, 21 (2001)
- [2] H. Fadil et al., Nucl. Instr. Meth. **A517** (2004), pp1-8.
- [3] H. Okamoto, .A.M. Sessler and D. Möhl, Phys. Rev. Lett. **72** (1994) 3977.
- [4] M. Ikegami et al., Proc. of COOL03, Hotel Mt. Fuji, May, 2003, in print.
- [5] H. Fadil et al., 本報告集。
- [6] M. Ikegami et al., submitted to Phys. Rev. ST-AB.
- [7] 池上将弘他、本報告集。