

Status Report of Institute for Chemical Research, Kyoto University

○Advanced Research Center for Beam Science, Institute for Chemical Research, Kyoto University[#]
Division of Physics and Astronomy, Graduate School of Science, Kyoto University

Abstract

Electron cooled short bunch proton beam (~3.1 ns) fast extracted from S-LSR is to be used for biomaterial irradiation. Laser cooling in 3 dimension at S-LSR has been pushed forward in collaboration with MPI-K, Seika University, Hiroshima University and LBNL. Nondestructive investigation of superconducting cavity has been developed for ILC.

京都大学化学研究所 施設現状報告

○京都大学化学研究所 附属先端ビームナノ科学センター、
京都大学大学院 理学研究科 物理学・宇宙物理学専攻

1. はじめに

2004年4月の旧原子核科学研究施設から先端ビームナノ科学センターへの改組から6年を経過した。この間、国内の放射線医学総合研究所、日本原子力研究機構・関西光科学研究所と個別の研究協力協定を結び共同研究を展開し、海外のマックスプランク原子核研究所 (MPI-K、ドイツ)、連合原子核研究所 (JINR、ロシア)、ベルリン放射光研究所 (BESSY-II、ドイツ)とも個別に研究協力協定を結び共同研究を展開してきたが、今年度(2010年度)から化学研究所が共同利用・共同研究拠点として位置付けられたのに伴い、我々の加速器施設も全国の研究者の方々との共同研究の施設として、より一層活用いただけるよう運用面でも工夫を凝らしていきたいと考えている。共同利用、共同研究の可能性をお考えの研究者の方々には遠慮なく忌憚の無いご要望をお寄せいただくことをお願いしたい。

以下、本稿ではまず我々の加速器施設の概要を紹介し、これらを用いた研究及び我々の施設構成員の研究活動の概略も紹介する。

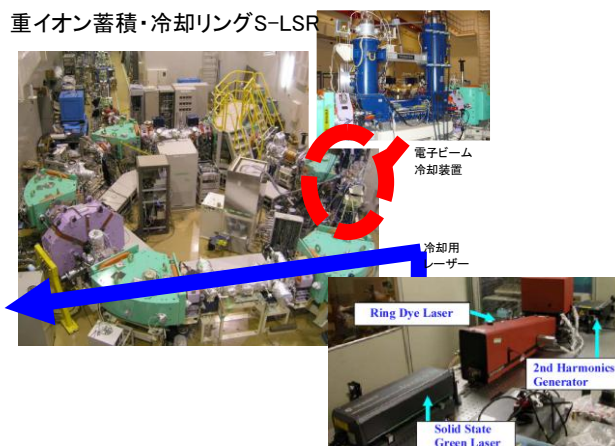


図1 S-LSRのレイアウト

2. 加速器施設の概要

京大・化研のイオン線形加速器実験棟に設置されている加速器施設は以下のようにイオン加速器と電子加速器に大別できる。

2. 1. イオン加速器

(a)陽子線形加速器

RF周波数433MHzのRFQ(出力エネルギー2MeV)及び Alvarez TypeのDTL(出力エネルギー7MeV)が1988年の蹴上からの移転に際して設置され、稼動し続けている。パルス幅は50 μ s(RFのパルス幅は60 μ s)、最大繰返しは180Hzである。この線形加速器は最近はおつばら次に述べるイオン蓄積・冷却リングS-LSRの入射器として使用され、電子ビーム冷却の適用により、陽子ビームに対して世界でも初めて1次元オーダード状態が実現された[1]。

(b)イオン蓄積・冷却リングS-LSR

上記の陽子線形加速器の下流にイオン蓄積・冷却リングS-LSRが設置され、2005年から稼動している。図1にS-LSRの全景を示す。これまでに7MeV陽子の電子ビーム冷却及び²⁴Mg⁺イオンのレーザー冷却に取り組み、前述の陽子ビームでの1次元オーダードビームの実現及び電子ビーム冷却により最短3.1nsまでビームパルス幅を短縮した陽子ビームを早い取り出しでリング外に導き出すことに成功している(図2参照)[2]。このシステムはフリーラジカル等の化学反応を数ナノ秒オーダーの時間分解能で測定可能なシステムとして、放医研との生物照

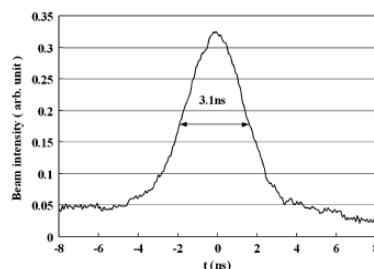


図2. S-LSRで実現された最短の早い取り出しビームの時間構造

[#] noda@kyticr.kuicr.kyoto-u.ac.jp

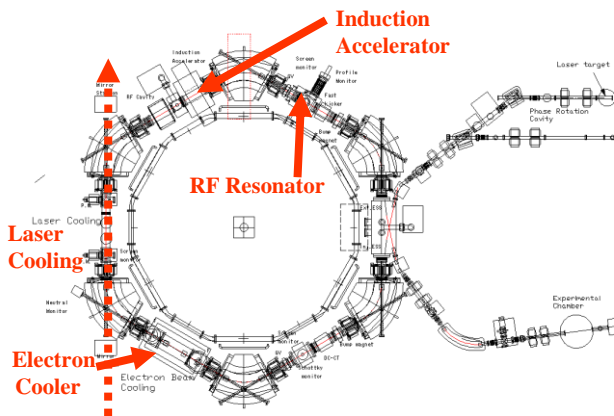


図3 S-LSRの冷却システムのレイアウト

射等の共同研究に供することが予定されており、陽子ビームでの放射線照射の高いピーク値によるDNAの二重鎖切断に関する定量的なデータの取得を目指している。

S-LSRでは現在よりレーザー冷却のより強烈な冷却力を用いて、1次元オーダービームよりさらに低温の結晶化ビームを実現するための取り組みを進めている。図3にS-LSRのビーム冷却システムのレイアウトを表1にS-LSR及びそのレーザー冷却系の主要パラメータをそれぞれ示した[3]。

高速で運動するイオンビームのレーザー冷却は、ビームの進行方向に関しては既に ${}^7\text{Li}^+$, ${}^9\text{Be}^+$, ${}^{24}\text{Mg}^+$ 及び ${}^{12}\text{C}^{3+}$ に対して実現されている[4, 5, 6, 7]が、ビームの進行方向と直角方向の横方向の自由度に関しては、ビーム間相互作用 (Intra-beam Scattering) を利用して横方向の運動エネルギーを縦方向に転化してレーザー冷却を行う手法[8]とリングの有限の分散関数を利用し、レーザーの光軸をイオンビームと並行にずらせることにより縦・横両方向の結合を行う手法[9]が実際に適用されているが、実現された横方向の冷却時間は1秒のオーダーであり、縦方向の冷却効率にははるかに及んでいない。こうした状況を克服し、目的とする極低温イオンビーム (クリスタルビーム) を実現するために、横方向と縦方向の自由度をシンクロベータトロン共鳴を用いて

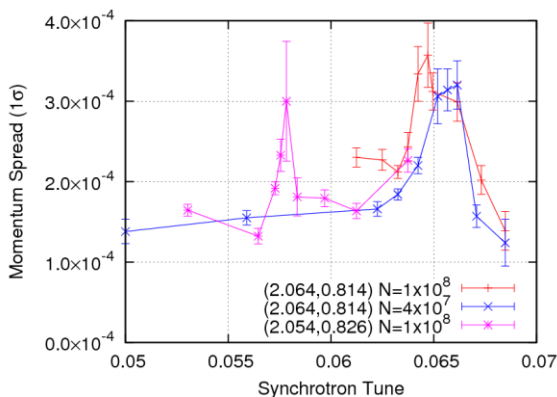


図3. S-LSRで観察されたシンクロベータトロン共鳴条件での縦方向運動量拡がりの増加 (縦・横両方向の共鳴結合を示唆) [3].

表1 :S-LSRとそのレーザー冷却系の主要パラメータ

Ring Lattice		
Circumference	22.557 m	
Average radius	3.59 m	
Length of straight section	1.86 m	
Number of periods	6	
Betatron Tune	Horizontal	2.07
	Vertical	1.07
Laser for Beam Cooling		
Type of Laser	Wave Length	Typical Power
Pumping Laser	532 nm	10 W
Dye Laser	560 nm	600 mW

能動的に結合させる手法[10]を用いた3次元レーザー冷却の実証に取り組んできた。現在までに有限の軌道分散の位置に設置したRF加速空洞を併用したバンチビームのレーザー冷却を実施し、横方向の運動エネルギーが縦方向に転化し、共鳴条件に対応するシンクロトロンチューン付近でレーザー冷却後の縦方向の運動量拡がりが極大値をとることを検証している[3]。今後、こうした探求をよりいっそう発展させるため今年度より化学研究所の共同利用・共同研究の一環として広島大学・先端物質科学研究科を中心として海外のマックスプランク原子核研究所 (MPI-K, ドイツ)、清華大学 (中国)、ローレンスバークレイ研究所 (LBNL:米国) と共同研究を開始しており、Skypeを用いた遠隔ミーティングを通じたビームダイナミクスの検討を進めた後、適当な間隔で共同のビーム実験を実施する予定である。最近の研究成果は本年会でも発表を予定している[11,12,13]。

2. 2. 電子加速器

(a) 100MeV 電子線形加速器

DC電子銃とバンチャー、プリバンチャー及び3空洞からなるs-band(2857 MHz)進行波型電子線形加速器があり、100MeVまでの電子をピーク強度100mA、最大繰り返し25Hz、最大ビームパルス幅1μsで供給可能である。電子蓄積リングKSRの入射器としての役割に加えて、ニュートリノ実験のための検出器の校正に精力的に活用されてきた[14]。

(b) 電子蓄積リングKSR

電子蓄積リングKSRは100MeVで入射された電子を300MeVまで加速蓄積し、放射光源として使用することを当初想定したが、実際には300MeVの最高エネルギーはあまりにも制約が大きく、放射光源としての使用は行われていない。専ら前記100MeV線形加速器の出力ビームのデューティーファクター($<2.5 \times 10^{-5}$)を増大(>0.1)させ、検出時のバックグラウンドの軽減を図るストレッチャーとして使用されてきた[15]が、最近数年間は理化学研究所との共同研究により、リング中にイオントラップを設置 (Self-confining radioactive isotope target:SCRIT) し、トラップ中のイオンの原子核構造を周回電子との散



図4. 空洞内面検査用に新たに開発されたカメラ

乱を通して調べる手法の開発に使用され、安定な原子核を用いた原理検証実験に成功し[16,17]、最終目的の理研の RI ビームファクトリーでの不安定核の構造探求のため、SCRIT は現在理研に移設されている。

3. その他のアクティビティ

3. 1. 超伝導空洞非破壊検査

ILCのための要素技術の開発として高分解能の超伝導空洞の内面観察カメラ (図4参照) の開発及びNb 素材板検査用渦流探傷スキャナーを開発している (図5参照) [18]。これとあわせて超伝導空洞の温度マッピング用基板を開発し、超伝導加速空洞に高周波電力を注入して行う縦測定試験に際して温度マッピングを行って発熱場所を測定し、空洞内表面の欠陥場所を確定する可能性も探っている。温度マッピングシステムの特徴である超多点測定と簡便実装を実現するためにセンサーに酸化ルテニウムのチップ抵抗を用い、短冊状フレキシブル基盤を用いて空洞外壁に接触させる方式を採用した (図6参照)。この温度センサーの高密度化により測温感度と測定位置精度の向上、さらに容易に装備できるデバイスにより空洞内表面の欠陥検査時間の短縮が期待できる[19]。

3. 2. 小型中性子源に向けた加速器開発

近年低速中性子の利用に対するニーズが高まっているが実用可能な中性子源は数ヶ所の大規模施設に限られている。陽子線形加速器ベースの小型中性子

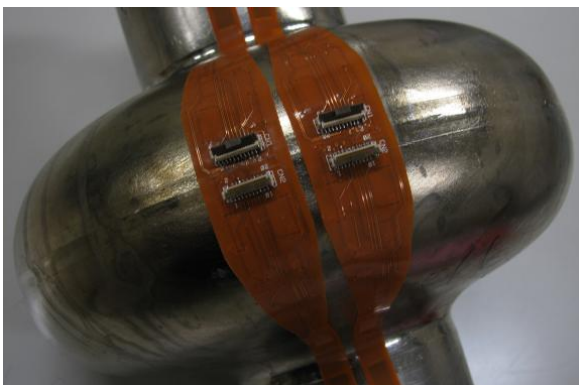


図6. 試作された超伝導空洞の温度マッピング用基板



図5. 開発された Nb 素材板検査用渦流探傷スキャナー

源の開発を目指し、その第一歩として一次ビーム用小型 H^+ イオン源の開発に着手している。イオン源の種類は小型、大強度、長寿命かつビーム中の H^+ の割合が多いという要請に応えるため、永久磁石を用いた ECR イオン源を採用した。開発しているイオン源はチェンバーが小さく水素ガスを定常的に流すとチェンバー内の真空度が悪化するため圧電素子を用いてパルスガス弁を開発し、組み込んでいる。これまでに一号機での測定結果や反省点を踏まえた二号機を製作し、その性能テストを行っている (図7参照) [20]。

参考文献

- [1] T. Shirai et al., Phys. Rev. Lett. 98 (2007), 204801.
- [2] T. Fujimoto et al., Nucl. Instr. Meth A588 (2008), pp330-335.
- [3] A. Noda et al., Proc. of EPAC08, (2008), pp3488-3490.
- [4] S. Schröder et al, PRL 64, 2901 (1990)
- [5] W. Petrich et al, PR A48, 2127 (1993)
- [6] J.S. Hangst et al, PRL 74, 4432 (1995)
- [7] U. Schramm, D. Habs, Progress in Particle and Nuclear Physics, 53, 583 (2004)
- [8] H.J. Meisner et al, PRL 77, 623 (1996).
- [9] I. Lauer et al., PRL 81, 2052 (1998).
- [10] H. Okamoto, A. Sessler, D. Möhl, PRL 72, 3977 (1994).
- [11] M. Nakao et al., Contribution to this meeting.
- [12] H. Souda et al., Contribution to this meeting.
- [13] T. Hiromasa et al., Contribution to this meeting.
- [14] A. Noda et al., Proc. of the 5th Annual Meeting of Particle Accelerator Society of Japan and the 33rd Linear Accelerator Meeting in Japan, Higashihiroshima, Japan (2008) pp52-54.
- [15] T. Sugimura et al., Jpn. J. Appl. Phys., 41 (2002), pp2276-2284.
- [16] M. Wakasugi et al., Phys. Rev. Lett. 100 (2008), 164801.
- [17] T. Suda et al., Phys. Rev. Lett. 102 (2009), 102501.
- [18] Y. Iwashita et al., Contribution to this meeting.
- [19] H. Tongu et al., Contribution to this meeting.
- [20] M. Ichikawa et al., Contribution to this meeting. (THPS020).

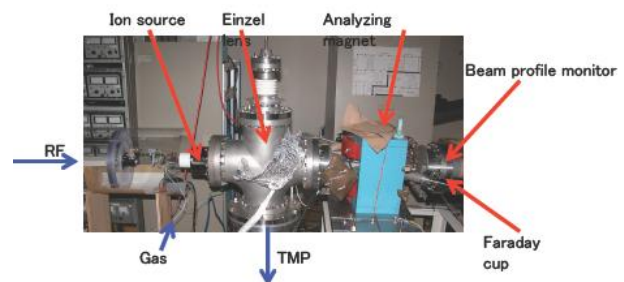


図7. 開発された永久磁石を用いた ECR イオン源