

CONSTRUCTION AND COMMISSIONING OF COMPACT ELECTRON STORAGE RING SR2 FOR SCRIT EXPERIMENTS

Masanori Wakasugi^{A)}, Yuji Miyashita^{A)}, Hiroki Takehara^{B)}, Kazuyoshi Kurita^{C)}, Mamoru Togasaki^{C)}
Hironori Takahashi^{C)}, Masahiro Hara^{A)}, and Tishitada Hori^{A)}

^{A)} RIKEN Nishina Center

Hirosawa 2-1, Wako, Saitama, 351-0198

^{B)} Department of Electrical Engineering, Nagaoka University of Technology,
Kamitomiokamachi 1603-1, Nagaoka, Niigata 940-2188

^{C)} Department of Physics, Rikkyo University,

Nishiikebukuro 3-34-1, Toshima-ku, Tokyo 171-8501

Abstract

In 2009, we constructed an electron accelerator system at RIKEN Nishina Center for electron scattering off short-lived radioactive isotopes using novel target forming technology SCRIT. It consists of a 150-MeV microtron (RTM) and an electron storage ring (SR2), which were transferred from Sumitomo Heavy Industry Co. Ltd. in 2008. The first beam was extracted from the RTM on Dec. 24, 2009, and the commissioning of the SR2 has been started from the beginning of February 2010. The first beam of 0.16 mA was accumulated in the SR2 on Feb. 8, 2010. Over 400-mA electron beam is currently accumulated with the lifetime of 1.2 AH. In this paper, we report the commissioning and the status of the Nishina Center Electron Accelerator Facility.

SCRIT 実験用小型電子蓄積リング SR2 の立上調整

1. はじめに

短寿命不安定核の電子散乱実験を世界で初めて実現させるために、我々は全く新しい不安定核標的生成法 (SCRIT (Self-Confining RI Ion Target) 法) を開発した^[1-3]。この仕組みを用いた電子散乱実験装置の実用機を建設するために、2008 年、(株)住友重機械工業より AURORA-2S^[4]およびその入射器として使用されていた 150MeV マイクロトロン^[5]の無償譲渡を受け、翌 2009 年に理化学研究所・仁科加速器研究センターにて、それぞれ SCRIT-equipped Riken Storage Ring (SR2)および RaceTrack Microtron (RTM)として再建した。

加速器のコミッショニングは 2009 年末より開始し、同年 12 月 24 日には、RTM からファーストビームの加速取出しに成功、翌 2010 年 2 月 8 日には、SR2 での電子ビーム加速蓄積に成功した。SCRIT 電子散乱実験に対応できるよう性能を向上させるために、現在調整運転を継続している。ここでは、この SCRIT 実験用電子加速器システムの建設、コミッショニング、および現状について報告する。

2. SCRIT 電子散乱実験法

SCRIT とは、加速器で生成する稀少な短寿命不安定核の電子散乱実験を実現するために開発した新しい標的生成法である。電子蓄積リング中で発生するイオントラッピング現象を利用して、不安定原子核イオンをリング外から入射し、電子ビーム軸上に捕獲して標的とする。照射される電子ビーム自身が標的を自ら保持することによって、容易に衝突事象を

起こし、なおかつ電子ビーム軸上に最低限必要なイオン数が捕獲されていれば良いので、少ない量でも大きなルミノシティを得ることができる。京大化研 KSR での実証実験に成功し、80mA の蓄積電流において 10^6 個のイオン (Cs イオン) を捕獲し $10^{26}/\text{cm}^2/\text{s}$ のルミノシティが実現できている。SCRIT 装置は、図 1 に示すように、トラップされたイオンを軸方向に閉じ込めるための静電ポテンシャルを与える電極である。これを電子蓄積リングに挿入し、イオンの入射ラインを接続することで、電子と任意のイオン (原子核) との衝突実験を実現できる。これは、これまでに無かった新しい電子蓄積リングの利用法を提案するものである。

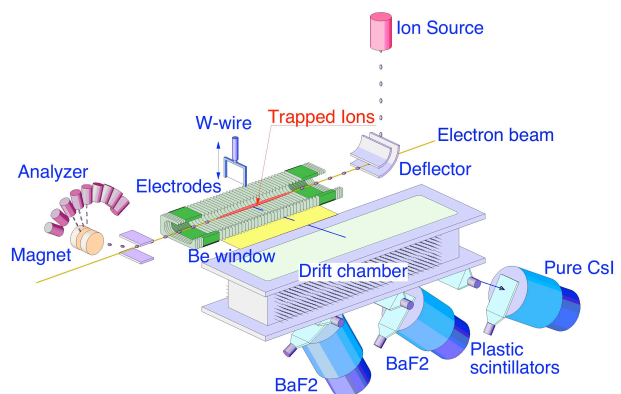


図 1 : KSR に挿入した SCRIT プロトタイプ

3. RTM、SR2 の建設

住重より譲渡された蓄積リングは直線部の短い 2S 型であるので、理研において再建する際には、SCRIT を挿入する直線部を確保するために HiSOR と同型 (2D 型)^{16,7)}に改造した。図 2 に理研 RIBF 実験棟地下 1 階 E21 実験室に建設された加速器の配置を示す。RTM は遮蔽された部屋 (RTM 室) に格納し、150 MeV 電子ビームは 19 m の輸送ラインを通り SR2 に入射される。SR2 は建屋南北軸に対して 12.2° 傾いている。RTM は SR2 への入射だけではなく、不安定核 (RI) 生成のためのドライバーとして利用する。RTM 室内において、UCx 標的を格納したイオン源を建設し、電子ビームから変換された γ 線による ²³⁸U の光核分裂反応を利用して短寿命不安定核を生成する。イオン源から引き出した RI を ISOL で分離した後に SR2 西側直線部に挿入した SCRIT 装置へ入射する仕組みである。

2009 年 5 月 RTM 室建築から加速器建設作業が始まった。同年 8 月末に建築工事とクレーン設置工事を終了し、9 月に測量墨出し作業およびインフラ (電源盤、冷却水、圧空設備等) の整備を行った後、9 月下旬より加速器部品の搬入を始め、据え付け組み立て作業に取りかかった。続いて機内配線、盤内配線、配管作業を進める一方で、制御システムの構築作業を進めた。RTM については、真空引きを 10 月末に、機器通電を 11 月 20 日に開始することができ、その後電子銃およびクライストロンの立ち上げ

等を行い、12 月 17 日にはビーム加速のための準備が整った。SR2 に関しては、10、11 月に据付けアライメント、配線、配管等組み立て作業を行い 12 月に個々の機器動作試験を終え、年末には全機器の通電を完了した。この時期真空は粗引き中であり、翌年 1 月にリングおよび輸送ラインのベーキング準備をおこない、同月 18 日からベーキングを開始、月末に終了した。2 月初旬まで時間を要した RF キャビティのエージングを完了して SR2 の運転開始の準備が整った。

4. コミッショニング

2009 年 12 月 8 日に文科省からのビーム加速許可を得て、同月 24 日午前中の安全業務室によるインターロック試験の後、午後より RTM 加速試験に入った。加速試験開始後、約 2 時間の調整の後 150 MeV (25 ターン) までの加速に成功し、その 30 分後にはビーム取出しに成功した。ファーストビームはピーク電流 0.15 mA であった。SR2 のコミッショニングは 2010 年 2 月 5 日から開始した。4 極電磁石の結線バグなどもあったが、翌 6 日に 150 MeV 電子ビームの入射、そして 8 日には 700 MeV までの加速蓄積に成功した。ファーストビーム蓄積電流は 0.16 mA であった。

初期不良等のダメ出しを行いつつ、SR2 への蓄積電流の増加を目的として、リング光学系、インフレクタやパーターベータの入射要素、RF 空洞設定条件等のパラメータの最適化を図った。コミッショニング開始後 2 ヶ月間はわずかずつではあるが着実に蓄積電流は増加して行った。しかし途中 4 月中旬には、タイミング制御機器の老朽化が原因である漏電事故により、真空排気系と制御系にダメージを受けた。これを修復するために約 1 ヶ月を費やすこととなった。その他、真空リーク、ポンプ故障、RF フィードバック回路の発振、RTM クライストロンモジュレータのダウン、制御用計算機の不調など、数々の事態に遭遇しながらの調整運転を続け、現状では、400 mA を越える蓄積電流で運転できる状態となっている。

ある程度の蓄積電流が得られるようになった後は、安定した加速蓄積のための運転動作点の探索に主眼をおいて、300~400 mA の蓄積電流で枯らし運転を継続してきた。現在までの積算 Dose 量は 54 AH である。図 3 はこの半年間のリング真空度の推移を示している。蓄積電流が増加してゆくにも関わらず電流蓄積時の真空度はコミッショニング初期よりも約 1 桁向上しており、枯らし運転の効果が次第に現れている。蓄積電流の増加や真空度の向上は、ビーム状態を変え、それと結合する RF 空洞の条件を変化させるため、枯らし運転中の性能向上とともに、加速パターンの変更を要した。

SR2 の安定した加速と蓄積のための調整としては、リング光学系と RF 空洞の動作点調整のみが現状なし得る手だてである。光学系については 2 ファミリーの QD、QF の調整によるチューンの最適化を行った。結果として得られた動作点は、入射エネルギー

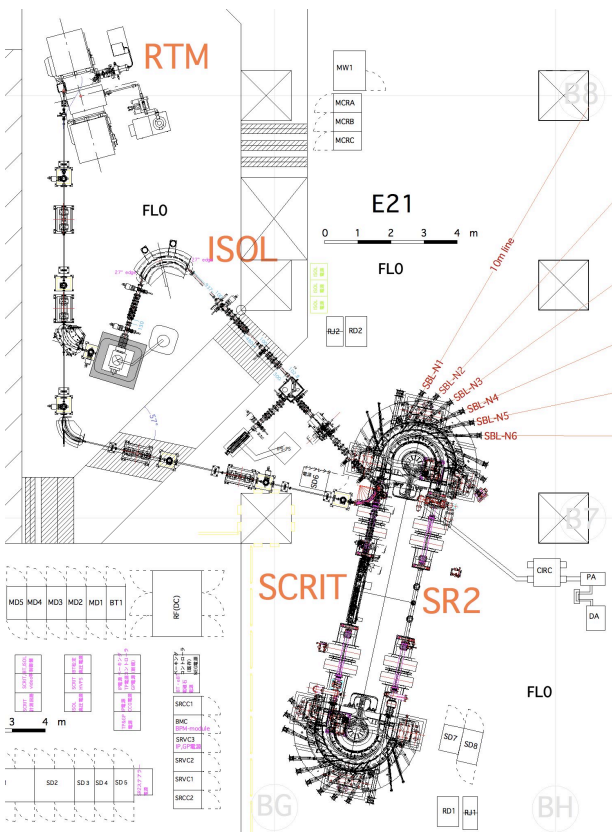


図 2 : 電子加速器 (RTM、SR2) および実験装置

ギー150 MeV で $(v_x, v_y)_{150\text{MeV}}=(1.6205, 1.5699)$ 、加速蓄積 700 MeV では $(v_x, v_y)_{700\text{MeV}}=(1.6125, 1.5651)$ であり、加速中にこの値の間を移動する運転を行っている。RF 空洞の調整は 3 本のチューナーと、入力パワーの 4 つの自由度で行う。図 3 で示すような真空度や蓄積電流の向上に伴って RF 空洞の動作の最適条件は次第に変化して行き、この半年間で大きくパラメータは変動した。RF 空洞に投入するパワーは加速時で最大 18~20 kW、ギャップ電圧にして 120~130 kV に対応する。現状の SR2 運転パラメータを表 1 にまとめた。

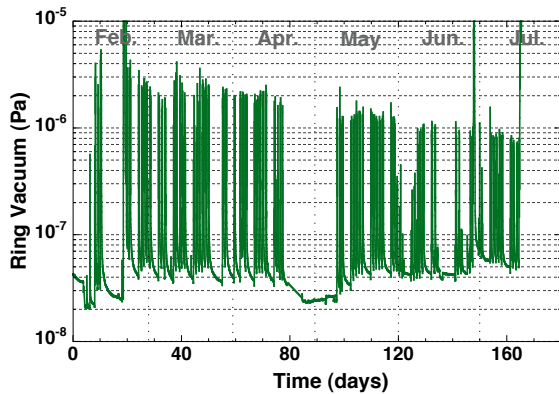


図 3 : SR2 真空度の履歴

表 1 : SR2 運転パラメータ

		入射時	蓄積時
Energy	(MeV)	150	700
Circumference	(m)	21.946	21.946
Energy spread *	(keV)	18.0	392.0
Dipole magnetic field	(T)	0.575	2.682
QF field gradient	(T/m)	2.021	9.557
QD field gradient	(-T/m)	1.832	8.867
Betatron tune v_x		1.6205	1.6125
v_y		1.5699	1.5651
RF frequency	(MHz)	191.244	191.244
Harmonic number		14	14
RF voltage	(kV)	56	123
Emittance ϵ_x *	(π n m rad)	39	847
ϵ_y	(π n m rad)	10	218
Damping time τ_e *	ms	1133	11
τ_x	ms	427	4.2
τ_y	ms	163	1.6

* 0mA での計算値 (未測定)

5. 今後の展開

SCRIT 電子散乱実験のための SR2 における所要条件としては、放射光利用のためのリングのような厳しさを必要としない。大電流を長時間の寿命で蓄積できるリングであればよい。目標蓄積電流は 500 mA、蓄積寿命は 5 h 以上である。図 4 に典型的な蓄積電流の時間変化を、また図 5 に蓄積寿命向上の推移を積分 Dose の関数として示している。ここで示した寿命の進展は、AURORA-2S として住重田無工

場で稼働していた時のデータを完全に再現しつつある。今回のコミッショニングでは、積分 Dose 量 100 AH を越え蓄積寿命が~2.5 AH に到達することを目標にしている。

現状の動作点では、蓄積中において集団的シンクロトロン振動が観測されており、この現象も SCRIT 実験にとってはある程度障害となる可能性があるため、動作点等の調整をさらに進める。SCRIT 実験に必要な情報、バンチサイズ、エネルギー分布等の測定をする必要があるが、現状ではビームモニター系が不足しているため、専用のピックアップやバンチモニターを増設して実験開始に向けた準備を進める。

SCRIT 装置は本年 8 月下旬からインストール作業を開始し、今年度中に安定核を用いたテスト実験を実行する予定である。

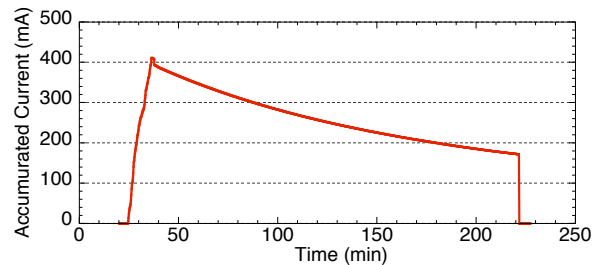


図 4 : 蓄積電流

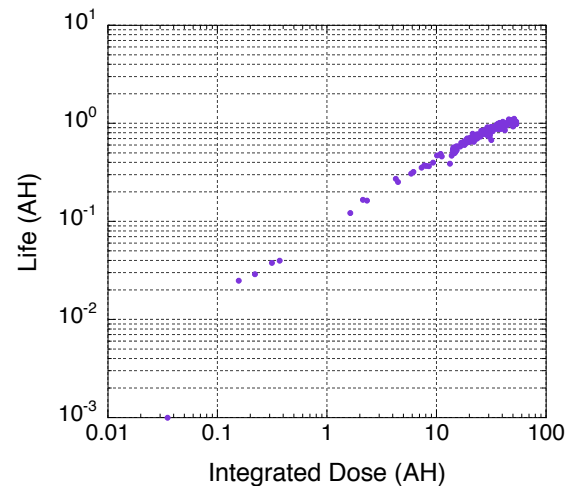


図 5 : ビーム蓄積寿命の推移

参考文献

- [1] M. Wakasugi, T. Suda, and Y. Yano, Nucl. Instrum. Methods Phys. Res. Sect. A532, 216 (2004).
- [2] M. Wakasugi et al., Phys. Rev. Lett., 100, 164801 (2008).
- [3] T. Suda et al., Phys. Rev. Lett., 102, 102501 (2009).
- [4] H. Miyade et al., Euro. Proc. Part. Acc. Conf., 1998, pp. 2413-2415.
- [5] T. Hori et al., Proc. Part. Acc. Conf. 1991, pp. 2887-2879.
- [6] T. Hori et al., Proc. Asian Part. Acc. Conf., 1998, pp.
- [7] T. Takayama et al., Proc. Euro. Part. Acc. Conf., 1996, pp. 709-711.