

加速器科学研究 Accelerator Science Research

RI ビームファクトリー研究 RI Beam Factory Project

代表研究者 矢野 安重
YANO, Yasushige
(加速器基盤研究部)
(Cyclotron Center)

1. RI ビームファクトリー計画推進

研究担当者：矢野（加速器基盤研究部）；後藤，江本，久保，若杉，上垣外，吉田（光），吉田（敦），小関，福西，大西，坂本，日下^{*1}（加速器技術開発室）；加瀬，中川，田辺，稲辺，伊藤，渡辺，横内^{*2}，木寺^{*1}，龍頭^{*1}，日暮^{*1}（ビーム分配技術開発室）；池上，大竹，奥野，富中^{*1}（低温技術開発室）；上簗（安全管理部）

本研究では，大強度 RI ビームの発生を目指した RI ビームファクトリー計画の，主に加速器の基本設計・技術開発を行っている。加速器（および関連装置）は，現有のリングサイクロトロン（RRC）のエネルギーを数倍増強するもので，固定周波数リングサイクロトロン（fRC），中間段リングサイクロトロン（IRC），超伝導リングサイクロトロン（SRC），RI ビーム生成分離装置（Big RIPS）で構成される。新方式の電子-RI 散乱実験装置の開発も行っている。

(1) 18 GHz ECR イオン源の磁場配位，プラズマ電極位置の最適化を行い多価イオンビーム強度の増強に成功した。 $(\text{Ar}^{8+} \sim 2 \text{ mA}, \text{Kr}^{13+} \sim 0.6 \text{ mA}, \text{Xe}^{20+} \sim 0.3 \text{ mA})$ 液体 He を用いない超伝導 ECR イオン源を RILAC の外部イオン源として配置しテストを開始した。ウランビーム生成のためのオープンの設計を開始した。

(2) ウランビームの生成に向け，イオン源に導入するウランマテリアルを製造するためのドラフトチャンバーを仁科記念棟ホットラボ室に 2 台設置した。また，フッ化ウラン，金属ウランや二酸化ウランなどの化学処理を行うため，化学実験装置や放射線測定装置などを開発した。

(3) SQUID 電流モニターのプロトタイプを RRC のビームトランスポートラインに据え付けた。サイクロトロンからの漏れ磁場，RF および大強度ビームによる放射線によって SQUID や電気回路が正常に作動できなかった問題を解決し，63 MeV/u $^{40}\text{Ar}^{15+}$ に対して 20 eμA のビーム強度を 100 nA の分解能で長時間にわたって測定することが可能となった。

(4) 不安定核の電子散乱実験のための SCRIT 法開発の R&D 研究では，京都大学化学研究所の電子蓄積リングに挿入した SCRIT プロトタイプを用いて，安定 ^{133}Cs イオンの蓄積に成功した。SCRIT 中での ^{133}Cs イオンは，電子ビーム電流 80 mA の時に，約 10^7 個であり，蓄積寿命は約

2 秒であった。この時の電子ビームとの衝突ルミノシティは $10^{26} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{-1}$ 以上となる。これによって，SCRIT が電子散乱用のターゲットとして機能することが実証された。

(5) 回転炭素円板ストリッパの初期的なビーム試験を行い良好な結果を得た。また，回転炭素薄膜ストリッパおよびそれに使用する大面積炭素薄膜の開発を開始した。昨年度に引き続き炭素薄膜の長寿命化の研究を行った。

(6) いくつかの外部研究機関と以下のような共同研究を実施した：(i) メルボルンに建設中のオーストラリア放射光計画（ASP）用高周波加速空洞の設計およびモデル空洞を用いた特性評価，(ii) 電子蓄積リングの加速空洞の，ビームダクトにラディアルライン導波管を利用した新しい高次モード減衰機構の提案，(iii) 磁性合金を負荷した 18～45 MHz の広帯域バンチャー空洞の開発。

2. RI ビームファクトリー整備

研究担当者：矢野安重（加速器基盤研究部）；後藤，江本，久保，若杉，上垣外，吉田（光），吉田（敦），福西，大西，坂本，日下^{*1}（加速器技術開発室）；加瀬，中川，田辺，稲辺，伊藤，藤縄^{*2}，横内^{*2}，龍頭^{*1}，山口^{*3}（ビーム分配技術開発室）；池上，大竹，奥野，富中^{*2}（低温技術開発室）；上簗（安全管理部）；岡添^{*3}，山中^{*4}

本研究では，大強度 RI ビームの発生を目指した RI ビームファクトリーの建設を行う。

(1) fRC の製作は最終段階に入り，4 台のセクター電磁石，2 台の主共振器，および 2 台のバレー箱が完成した。

(2) IRC は共振器据付，真空排気系設置，配線，冷却水配管などを行った。電磁石の励磁試験，ビームチェンバーの真空排気を行い，所定の性能を達成した。

(3) SRC は，極低温部，クライオスタット真空容器，上ヨーク（セクター電磁石 6 台分），ヘリウムコントロールデュアー，入射取出し機器の据付けを行った。ヘリウム冷凍システム（SRC 用）の単体試験を行い，所定の性能が出ることを確認した。

(4) BigRIPS は，液体ヘリウム冷凍システム（BigRIPS 用）による第 1 ステージ用超伝導三連四重極電磁石 5 台の冷却試験を行った。第 2 ステージ用の常伝導双極電磁石 4 台，小型冷凍機搭載型超伝導三連四重極電磁石 9 台の搬入

を行い、そのうち5台の四重極電磁石を冷却した。また、焦点面チェンバー8台、真空排気系1式を製作・搬入した。

(5) ビームトランスポート系関連では、(i) fRC 入射および取り出し側ビームラインレイアウトの最終化、(ii) SRC 入射ビームラインの現地据付け工事まで含めた詳細設計、(iii) fRC および SRC の入射ビームライン用偏向電磁石および電源の製作、(iv) ビームライン用各種モニターの製作を行った。

(6) CGS の最大出力電力を 6.3 MW から 6.5 MW に向上させた。既設の電動式冷凍機に代わって、仁科記念棟とリニアック棟の装置用空調設備および RRC と AVF の真空ポンプ用熱交換器に対して CGS で作られた冷水 (7°C) の供給を開始した。

(7) 実験棟の建設工事を引き続き行った。

*¹ 協力研究員, *² 協力技術員, *³ 嘱託職員, *⁴ 出向契約職員

1. Research and development for RI Beam Factory

We did design and R&D study on the accelerators for the RI Beam Factory. The accelerators were: the fixed-frequency ring cyclotron (fRC), the intermediate-stage ring cyclotron (IRC), the superconducting ring cyclotron (SRC), and the RI beam generator (Big RIPS) as well as a new type of electron-RI scattering experimental device.

(1) We successfully produced intense beams of multi-charged heavy ions ($\text{Ar}^{8+} \sim 2 \text{ mA}$, $\text{Kr}^{13+} \sim 0.6 \text{ mA}$ and $\text{Xe}^{20+} \sim 0.3 \text{ mA}$) by optimizing the magnetic field configuration and plasma electrode position. We installed the liquid He-free SC-ECRIS in the upstream of the RILAC and we started to make a test experiment by using it. We also started to fabricate special ovens for producing a uranium beam.

(2) For the production of a uranium beam, two draft chambers for treatments of uranium materials for ion sources were installed in the Hot laboratory of the Nishina building. The chemical apparatuses and detectors for chemical treating of uranium fluoride, metallic uranium, and uranium oxide were developed.

(3) We installed a prototype of the HTS-SQUID in a beam transport line of the RRC. By figuring out the problems that the SQUID and the electric circuit could not work normally due to the stray RF and magnetic fields of the RRC as well as the radiation, we succeeded in measuring the intensity of $20 \text{ e}\mu\text{A}$ for $63 \text{ MeV/u } ^{40}\text{Ar}^{15+}$ beam with a resolution of 100 nA.

(4) In the R&D study of the SCRIT development, we succeeded in trapping stable ^{133}Cs ions in the prototype of the SCRIT device, which has been installed in the KSR at Kyoto University. The number of trapped ^{133}Cs ions was about 10^7 , and the trapping lifetime was measured to be about 2 s at an electron beam current of 80 mA. It is

demonstrated that the SCRIT system can work well as a target for electron scattering experiments.

(5) A preliminary beam test on the rotating carbon disk stripper showed good results. We started to develop a rotating carbon foil stripper as well as carbon foils with a large area for the stripper. Long-life carbon foils continue to be developed.

(6) We have carried out the following studies and R&D's in collaboration with other institutes: (i) a design study and prototype model test of the HOM (higher-order modes) free cavity with SiC microwave absorbers for the Australian Synchrotron Project, (ii) a proposal of new HOM damped structure using parallel-plate radial transmission lines on a beam duct of rf cavities for intense beam electron storage rings, and (iii) R&D of an MA (magnetic alloy) loaded buncher cavity which can be used in the wide frequency range from 18 to 45 MHz without any tuning systems.

2. Construction of RI Beam Factory

We construct the RI Beam Factory in order to produce intense RI beams.

(1) For the fRC, we have completed four sector magnets, two main RF resonators and two valley chambers.

(2) For the IRC, we have installed the rf resonators and assembled the vacuum pumping system, cabling and piping for cooling water. Excitation tests for the magnets and evacuation of the beam chamber have been carried out and the specified performance has been achieved.

(3) For the SRC, we have made the alignment of the cold mass, the cryostat vacuum chamber, the upper yokes for six sector magnets, the He control Dewar vessel and the injection and extraction elements. A test operation of the liquid-helium cryogenic system (for the SRC) has been made successfully.

(4) For the BigRIPS, we have made a test operation of the liquid-helium cryogenic system (for the BigRIPS) with five superconducting quadrupole triplets (STQ) in the first section of BigRIPS four room-temperature dipole magnets and 9 STQs equipped with a small refrigeration system have been installed, among which 5 STQs have been cooled down. Eight beam chambers placed at the focal planes and vacuum pumping system have also been installed.

(5) For the beam transport system, we have made (i) the finalization of the injection and extraction beam lines of the fRC, (ii) the detailed design of the injection beam line of the SRC, (iii) the fabrication of the bending magnets and their power supplies for the injection beam lines of the fRC and SRC, and (iv) the fabrication of various monitors for the beam lines.

(6) We have increased the maximum electrical output of the CGS from 6.3 MW to 6.5 MW. Instead of the old chillers, the CGS has started to supply the cooled water (7°C) for the air-conditioning units in the Nishina and linac buildings as well as the heat exchanger of the vacuum cooling system of the RRC and AVF.

(7) We have continued the construction of an experimental building.