

CONSTRUCTION OF THE RILAC2 (RIKEN HEAVY-ION LINAC 2) LINE

Yutaka Watanabe^{#, A)}, Eiji Ikezawa^{A)}, Hiroshi Imao^{A)}, Jun-ichi Ohnishi^{A)}, Hiroki Okuno^{A)}, Masayuki Kase^{A)},
Osamu Kamigaito^{A)}, Keiko Kumagai^{A)}, Akira Goto^{A)}, Misaki Komiyama^{A)}, Naruhiko Sakamoto^{A)},
Kenji Suda^{A)}, Takahide Nakagawa^{A)}, Yoshihide Higurashi^{A)}, Nobuhisa Fukunishi^{A)}, Tadashi Fujinawa^{A)},
Masaki Fujimaki^{A)}, Takeshi Maie^{A)}, Kazunari Yamada^{A)}, Shigeru Yokouchi^{A)}, Hideyuki Yamasawa^{A)},
Tamaki Watanabe^{A)}, Hiroshi Watanabe^{A)}, Shigeaki Arai^{A)}, Yoichi Sato^{B)}
^{A)} RIKEN Nishina Center, 2-1 Hirosawa, Wako, Saitama, 351-0198, ^{B)} KEK

Abstract

A new superconducting ECR ion source (SC-ECRIS) with an operational frequency of 28 GHz has been constructed with the aim of increasing the intensity of uranium beams. A 28-GHz SC-ECRIS was installed in the high-voltage terminal by the end of 2008, and commissioning, beam tests, and machine studies were successfully performed with the new mode “28-GHz SC-ECRIS ~ Low-Energy Beam Transport (LEBT) line ~ Middle-Energy Beam Transport (MEBT) line ~ RILAC” in 2009.

On the basis of the results of the abovementioned tests, a new injector RILAC 2 has been designed for use in heavy-ion acceleration. RILAC2 mainly consists of the 28-GHz SC-ECRIS, a radio frequency quadrupole (RFQ) linac based on the four rod structure, the LEBT line between the source extraction system and the entrance to the RFQ, a drift-tube linac (DTL) based on three quarter-wavelength resonators (QWR), and the High-Energy Beam Transport (HEBT) line.

Current state; 1) 28-GHz SC-ECRIS: set up and conditioning, 2) RFQ and DTL: conditioning and tests, 3) LEBT and HEBT line: set up.

理研リニアック新入射器システム(RILAC2)の建設状況

1. はじめに

理研 RIBF では、ウランなど重いイオンのビーム強度を増強するため、28GHz 超伝導 ECR イオン源 (28G-ECRIS)を開発した^{[1]-[4]}。まず、第一段階として、超伝導イオン源を既存のコッククロフト=ウォルトン高電圧ターミナルに載せ、高周波四重極線形加速器 (radio frequency quadrupole; RFQ)を通さずに、低エネルギービーム輸送 (Low-Energy Beam Transport; LEBT)系および中間エネルギービーム輸送 (Middle-Energy Beam Transport; MEBT)系ラインから重イオンリニアックに入射させた^{[1],[5]}。2009 年秋よりテストを開始し、ウランビームの供給に至った。

その結果を踏まえ、第二段階として、現在、理研リニアック新入射器システム (RILAC2)の建設を始めている^{[6]-[8]}。ここでは、その RILAC2 の建設状況について、報告する。

2. 理研リニアック新入射器(RILAC2)

2.1 RILAC2 の概要

理研リニアック新入射器システム (RILAC2)は、図 1 に示すように、前述の 28GHz 超伝導 ECR イオン源(28G-ECRIS)に加え、高周波四重極線形加速器 (RFQ)、3 台のドリフトチューブ線形加速器 (drift-

tube linac; DTL)タンクから構成される。そのほか、BT 系ラインとして、低エネルギービーム輸送 (LEBT)系、高エネルギービーム輸送 (High-Energy Beam Transport; HEBT)系がある。それぞれの主な構成や特徴は以下の通りである。

- (1) 28GHz 超伝導 ECR イオン源 (28-GHz SC-ECRIS) ; 28GHz マイクロ波に最適な最大ミラー磁場、6 極磁場を発生させることが可能。6 つの超伝導ソレノイドコイルを有し、ECR ゾーンの大きさ、ECR 点における磁場勾配を独立に変更可。
- (2) 低エネルギービーム輸送 (LEBT) ; 28GHz-ECRIS と RFQ 間の BT 系。ペアソレノイド電磁石 2 組、4 連四極電磁石、バンチャー、ステアリング電磁石などで構成される。
- (3) 高周波四重極線形加速器 (RFQ) ; 4 ロッド型。空洞内に 4 枚のベーン電極が配置され、四重極電場が強収束なレンズとしてビームを集光させる。
- (4) ドリフトチューブ線形加速器 (DTL) ; RF 空洞は 1/4 波長の縦型同軸。トランスバースの集束用として DTL 間に強力な薄型三連四重極電磁石を配置。
- (5) 高エネルギービーム輸送 (HEBT) ; 偏向電磁石 2 台、四重極電磁石 6 台、リバンチャーなどで構成される。既存 AVF の BT 系ラインへ合流し、理研リングサイクロトロン(RRC)へ。

[#] ynabe@riken.jp

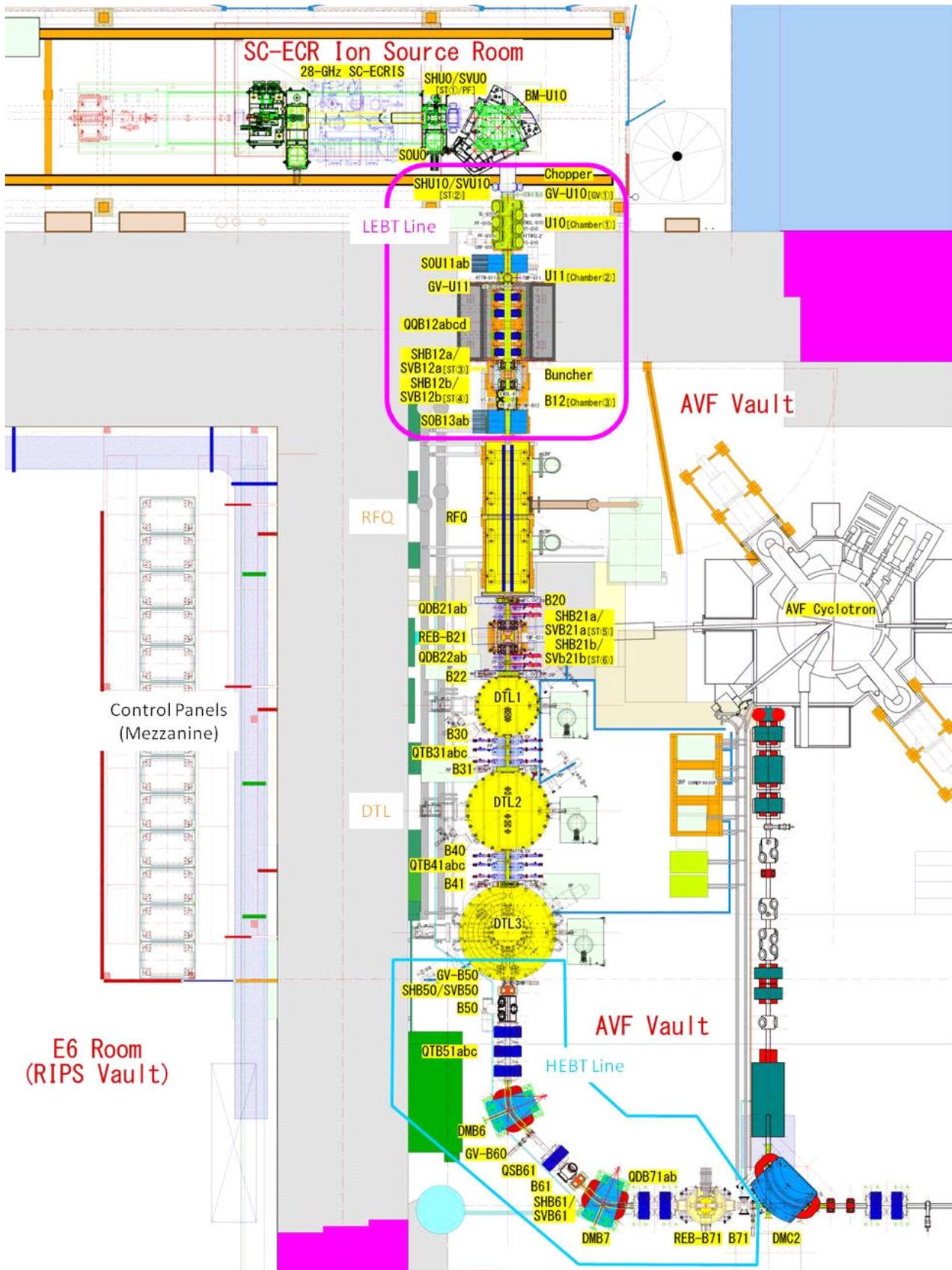


図1 理研リニアック新入射器システム (RILAC2)の配置図

2.2 RILAC2 で用いる機器

RILAC2 で用いる機器は下記の通りである。架台やダクトは新規に製作したものが多く、基本的に既存の各電磁石、チェンバー、バンチャーなどを活用するように機器の設置を進めた。

- (1) RFQ; RFQ [改造]、 Amplifier [新規]
- (2) DTL; DTL1[新規]、 DTL2 [新規]、 DTL3 [改造]、 小照射室の charge-state multiplier system (CMS-D1) 減速用空洞]
- (3) Buncher; Buncher [改造]、 MEBT 系ライン]
- (4) Rebuncher; REB-B21[新規]、 REB-B71[新規]、 REB-S6 [新規]
- (5) 偏向電磁石(BM); DMB6 [新規] DMB7 [新規]、 DMC2 [ヨークの改造]、 新規チェンバー]
- (6) 四極電磁石(QM); QQB1abcd [MEBT 系ライン]、 QDB21abc [新規]、 QDB31abc[新規]、 QTB41abc [新規]、 QTB51abc [MEBT 系ライン]、 QSB61 [MEBT 系ライン]、 QDB71ab [MEBT 系ライン]
- (7) ステアリング電磁石(ST); SHB12ab/SVB12ab [MEBT 系ライン]、 SHB21ab/SVB21ab [旧ライン]、 SHB50/SVB50 [旧ライン]、 SHB61/SVB61 [旧ライン]
- (8) Chambers; U10 [新規]、 U11 [新規]、 B12 [新規]、 B20 [新規]、 B22 [新規]、 B31 [新規]、 B41 [新規]、 B51 [MEBT 系ライン]、 B61 [MEBT 系ライン]、 B71 [MEBT 系ライン]
- (9) ゲートバルブ(GV); GVU10 [新規]、 GVU11 [新規]、 GVB20 [新規]、 GVB22 [新規]、 GVB31ab [新規]、 GVB41ab [新規]、 GVB50 [MEBT 系ライン]、 GVB60 [MEBT 系ライン]、 GVB71 [MEBT 系ライン]
- (10) ビームダクト; ステンレス製ダクト [新規]、 GV-U11~buncher 間]、 アルミニウム製ダクト [新規]、 DTL3~DMC2 間]

3. RILAC2 の建設

3.1 建設にあたり

RILAC2 は、図 1 を見てわかるように、既存施設の AVF 室内へ建設することとした。十分な設置スペースを確保できないため、可能な限り少スペースで十分な性能を発揮できるようにライン設計がなされた^{[6],[7]}。その実現のため、この RILAC2 の建設前に、下記の準備を行った。

- (1) 新イオン源室(第 2 イオン源室)の建設 : AVF 室北側の屋外に、幅 3.5m×奥 12m×高 4m の第 2 イオン源室を建設(2010 年 2 月完成、図 2 参照)。建設前にクーティリティ盛替え工事を実施。
- (2) 冷却設備の設置[第 2 イオン源室屋上] (図 2 参照) : 第 2 イオン源室が完成後、その屋上に 55kW タイプのポンプ、吸収式冷凍機を用いた冷却設備を 2010 年 3 月に設置。
- (3) 壁コア穿孔 (図 3 参照) : RILAC2 建設のため、第 2 イオン源室と AVF 室間で壁コア穿孔 [角 1500mm、壁厚 2000mm]。さらに、各部屋

間で各種ケーブル敷設用壁コア穿孔。

- (4) 盤用ステージの建設 (図 4 参照) : 設置スペースの確保のため、AVF 室隣の E6 室内において、既存電源盤上に DTL や RFQ の各種制御盤および増幅器用ステージ(中二階)を建設。



図 2 第 2 イオン源室 (冷却設備)



図 3 壁コア穿孔

図 4 盤用ステージ

また、RILAC2 の建設には、下記の 2 点を重点に作業を進めている。

- (5) 貫通口内へ 4 連四極電磁石の設置とその遮蔽 (図 5 参照) : 前述(3)の角 1500mm 開口部に①300×400×1200mm の大型コンクリートブロックを周囲に設置し、②共通架台上にアライメントされた状態で設置されている 4 連四極電磁石(QQB12abcd)をビームライン上に設置、③その QQB12abcd と大型コンクリートブロックの間にプラスチックブロック(PE、PA)を設置した。QQB12abcd のコイル間、あるいはヨーク間の隙間は、型を作り、シリコン系遮蔽材を流し込んで、遮蔽部材を作成して組み込んだ。

ただし、この四極電磁石は空冷タイプのため、遮蔽部材により熱が放出できない。そこで、QQB12abcd 用ステンレス製ビームダクトに冷却配管を溶接し、ビームダクトを冷やすことで、接触している鉄心や遮蔽部材を通して、コイルの冷却を図ろうとしている。設置が完了したため、今後通電テストと冷却を行い、状況を確認する。

なお、この開口部や LEBT 系ラインの据付のため、北壁に 1ton のジブクレーンを設置し

た。

(6) 機器の運搬と据付[アライメント]: 搬入では、クレーンやハンドパレットなどがほとんど使えないため、チェンブロックを天井に設置し、機器の上げ下ろしを行ったり、ステージを作り、チルローラーやパレットなどで機器を運搬したりした。

アライメントでは、第2イオン源室、壁開口部、AVF室北側、AVF室南側で床高さが異なったり、既存機器や開口部の影響で、見通しが悪かったり、作業しにくい。据付前にAVFのBT系ラインから第2イオン源室までRILAC2ラインの芯(基準)を落とし、DTLシステム、28G-ECRISを据え付けた。LEBT系、RFQおよびHEBT系は今後据付作業が行われるが、LEBT系とRFQのアライメントが容易ではない。RFQは、4枚のベーン電極にはまるようなアライメント用特殊ジグを作成し、DMB6近辺からビームダクト内を通して(DMB6の設置前に実施する)、アライメントを行う予定である。同じくLEBT系の据付も、ビームダクト、あるいはチャンバーフランジなどに対して下流側からアライメントする。なお、QQB12abcdは、共通架台上に4つの四極電磁石がアライメントされた状態で設置され、それらを1体の機器として同様のアライメントにてビームラインに設置された。

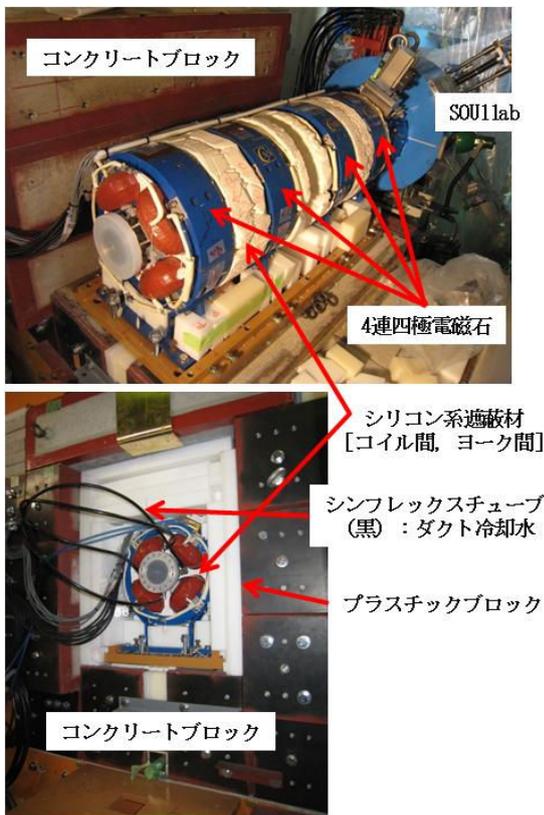


図5 QQB12abcdの設置および開口部遮蔽

3.2 建設状況と今後の予定

現在、RILAC2は建設を進めている最中であるが、主な機器の据付・準備状況は下記の通りである。

- (1) 28GHz-ECR イオン源: 新イオン源室が完成し、イオン源の移設が完了。運転に向けた立ち上げ作業。
- (2) RFQ: 改造と移設が完了し、立ち上げ作業とテスト運転。
- (3) DTL: 据付が完了し、テスト運転。
- (4) BT系: 粗設置がほぼ完了し、アライメント、ダクト接続、真空引きを今後実施。
- (5) 診断系機器、診断系・電源系ケーブル、冷却水・圧空: 敷設作業。今後、末端処理や診断系機器の設置。

また、今後の主な予定は下記の通りである。

2010年

- ～10月: 機器据え付け完了(アライメント)
- 11月: 真空立ち上げと各機器の動作確認
(制御システム、通電テスト、RFシステム、など)
- 12月前半: 各機器の動作確認
(RFコンディショニング、モニタリングシステム、など)
- 12月後半～: コミッショニング、ビーム加速テスト、マシンスタディ

参考文献

- [1] O. Kamigaito, S. Arai et al., “理研 RIBF のビーム増強計画”, Proc. PASJ6 (2009), Tokai, Aug. 5-7, 2009.
- [2] J. Ohnishi, T. Nakagawa et al., “Completion of Superconducting Magnet for the 28 GHz ECR Ion Source”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 42, 2008.
- [3] T. Nakagawa, Y. Higurashi et al., “Status of the RIKEN 28GHz Superconducting ECR ion source”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 42, 2008.
- [4] Y. Higurashi, O. Kamigaito et al., “理研 28GHz 超伝導 ECR イオン源の開発”, Proc. PASJ6 (2009), Tokai, Aug. 5-7, 2009.
- [5] Y. Watanabe, E. Ikezawa et al., “理研リニアック(RILAC)新入射BT系建設状況”, Proc. PASJ6 (2009), Tokai, Aug. 5-7, 2009.
- [6] Y. Sato, E. Ikezawa et al., “理研大強度ビーム用新入射器システム(RILAC2)における低エネルギービーム輸送系の設計”, Proc. PASJ6 (2009), Tokai, Aug. 5-7, 2009.
- [7] H. Okuno, T. Fujinawa et al., “Space Charge effects in the RILAC II”, RIKEN Accel. Prog. Rep. 42, 2008.
- [8] K. Yamada, O. Kamigaito et al., “理研 RIBF 新入射器 RILAC2 の加速空洞の設計および改造”, Proc. PASJ6 (2009), Tokai, Aug. 5-7, 2009.